



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

для служебного пользования ЭКЗ №

000110

(21) SU (11) 1382078 A

(51) 4 F 03 G 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 3384484/25-06

(22) 20.01.82

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

(72) В.А.Ерошенко

(53) 621.499.2 (088.8)

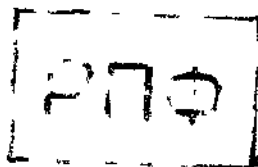
(56) Авторское свидетельство СССР № 1254811, кл. F 03 G 7/00, 1981.

(54) ГЕТЕРОГЕННАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ И УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

(57) Изобретение м.б. использовано для создания новых агрегатов и устр-в преобразования тепловой энергии и тепловых двигателей с повышенной удельной мощностью и повышенным термическим КПД. Цель изобретения - повышение КПД и удельной работоспособности единицы объема системы и ускорение процессов преобразования энергии. Система выполнена в виде взвеси в немагнитной жидкости частиц капиллярно-пористого тела из ферромагнитного материала. В первой

замкнутой емкости систему нагревают и сжимают, а во второй охлаждают и расширяют. Перед самопроизвольным расширением системы емкости соединяют и перемещают с помощью магнитного поля частицы капиллярно-пористого тела из одной емкости в другую. После этого систему во второй емкости охлаждают, а в первой нагревают и соединяют гидравлически между собой. Рабочая камера выполнена в виде полого тора, разделенного на равные емкости, снабженные соленоидами. Такое выполнение позволяет обеспечить большую удельную и абсолютную мощность, высокую динамичность и компактность устр-ва. Бесшумность работы обеспечивается тем, что процессы тепломеханических превращений происходят без акустических и кавитационных явлений. Преобразование тепловой энергии в механическую реализуется в различных диапазонах измерения т-р, что позволяет применять как невозобновляемые, так и возобновляемые источники тепловой энергии. 3 с.п.ф-лы, 2 табл., 12 ил.

(21) SU (11) 1382078 A



Изобретение относится к области теплоэнергетики и может быть использовано для создания новых агрегатов и устройств преобразования тепловой энергии и тепловых двигателей с повышенной удельной мощностью и повышенным термическим КПД за счет использования сил межфазного взаимодействия на поверхности раздела жидкости и твердого тела гетерогенной термодинамической системы.

Целью изобретения является повышение КПД и удельной работоспособности единицы объема системы и ускорение процессов преобразования энергии.

На фиг.1 представлена принципиальная схема элементарного устройства, реализующего описываемый способ преобразования энергии с использованием гетерогенной термодинамической системы в разных фазах четырехтактного цикла его работы; на фиг.2 - $T = S$ диаграмма термодинамического цикла работы устройства при реализации описываемого изобретения; на фиг.3 - $P = V$ диаграмма термодинамического цикла работы устройства при реализации описываемого изобретения; на фиг.4 - схема двух циклов работы устройства, изображенного на фиг.1; на фиг.5 - принципиальная схема устройства, реализующего описываемый способ преобразования энергии, с гидравлическим двигателем и вентилем, установленными в соединяющем емкости рабочей камеры канале, и клапанами для разобщения емкостей; на фиг.6 - схема циклов работы устройства, изображенного на фиг.5, с совмещением по времени тактов подачи частиц, не заполненных жидкостью, в горячую емкость и частиц, заполненных жидкостью, - в холодную емкость, а также тактов расширения гетерогенной термодинамической системы в охлаждаемой емкости и тактов сжатия системы в нагреваемой емкости; на фиг.7 представлено устройство преобразования с одной рабочей камерой (вид вдоль оси, перпендикулярной плоскости кольцевой оси тора рабочей камеры); на фиг.8 дан разрез А-А на фиг.7; на фиг.9 представлено устройство с двумя параллельно установленными рабочими камерами; на фиг.10 дан разрез Б-Б на фиг.9; на фиг.11 представлена электрическая

схема системы электромагнитного перемещения ферромагнитных частиц; на фиг.12 - схема циклов работы устройства, изображенного на фиг.10 и 11 и временная диаграмма работы основных элементов этого устройства.

Устройство, реализующее описываемый способ, содержит рабочую камеру 1, разделенную посредством поперечных перегородок 2 и 3 на две равные емкости 4 и 5. Емкость 4 постоянно связана с источником охлаждения, а емкость 5 - с источником нагрева (источники нагрева и охлаждения на чертеже не показаны). В обе емкости 4 и 5 камеры 1 помещена гетерогенная термодинамическая система в виде взвеси в немагнитной жидкости 6, заполненные объемом "нетто" 7 жидкости 6 частиц "брутто" 8 и не заполненных жидкостью 6 частиц "тары" 9. "Тара" 9 представляет собой частицу капиллярно-пористого тела из ферромагнитного материала с гидрофобной поверхностью. "Брутто" 8 состоит из "тар" 9 и "нетто" 7. В перегородках 2 и 3 выполнены отверстия 10 и 11, посредством которых емкости 4 и 5 сообщены друг с другом. Сечение отверстий 10 и 11 достаточно велико, чтобы через них свободно проходили "тара" 9, "нетто" 7 и "брутто" 8 в процессе тепломеханических превращений, но достаточно мало, чтобы можно было пренебречь деградацией тепловой энергии, связанной с возможным перетокom тепла из емкости 4 в емкость 5 через отверстия 10 и 11. Внутренний объем камеры 1 устройства, представленного на фиг.1, ограничен поршнем 12, связанным с нагрузкой (на чертеже не показана) для отбора механической энергии от термодинамической системы и сжатия системы.

Для простоты описания работы устройства гетерогенная термодинамическая система условно содержит единственную частицу - "тару" 9 с одной порой, объем которой равен объему "нетто" 7 жидкости 6, способной заполнить "тару" 9. Жидкость 6 является практически не сжимаемой, поэтому изменение объема гетерогенной термодинамической системы, представленной на фиг.1, будет связано лишь с процессами нагнетания объема "нетто" 7 жидкости 6 в пору "тары" 9

(сжатие гетерогенной термодинамической системы) или вытеснения жидкости 6 из "тары" 9 (расширение гетерогенной термодинамической системы). Изменение объема гетерогенной термодинамической системы в процессе тепломеханических превращений будет таким образом равно элементарному объему "нетто" 7 жидкости 6 (объему поры "тары" 9).

Рассмотрим рабочий цикл элементарного устройства, представленного на фиг.1.

I такт. В начале такта "тара" 9 и "нетто" 7 находятся в емкости 4 при температуре T_2 источника холода. Давление в емкостях 4 и 5 равно или чуть меньше капиллярного давления $P_1 = 2\sigma_1 \cos \theta / r$, где σ_1 - поверхностное натяжение при температуре T_1 , $\theta > 90^\circ$ - угол смачивания, r - радиус поры "тары" 9. Этого давления недостаточно, чтобы преодолеть капиллярное давление $P_2 = 2\sigma_2 \cos \theta / r$, где σ_2 - поверхностное натяжение при температуре T_2 источника холода, и заполнить "тару" 9 жидкостью 6 в холодной емкости 4.

Связь между величиной поверхностного натяжения σ и температурой T определяется равенством

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_{кр}}\right), \quad (1)$$

где σ_0 - поверхностное натяжение при $T = 0$;

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

Внешним магнитным полем "тару" 9 перемещают в емкость 5 с температурой T_1 через отверстия 10 и 11 (см. фиг.1). Здесь и в дальнейшем для упрощения математического анализа будем принимать во внимание лишь работу изменения объема гетерогенной термодинамической системы, по сравнению с которой работа перемещения частиц "тары" 9 и объема "нетто" 7 жидкости 6 пренебрежимо мала.

Теплоемкость "тары" 9 и "нетто" 7 пренебрежимо мала по сравнению с теплоемкостью горячей емкости 5, поэтому в конце 1-го такта "тара" 9 и "нетто" 7 находятся в емкости 5 при температуре T_1 . Поскольку жидкость 6 несжимаема, а "тара" 9 и "нетто" 7 в течение 1-го такта не

меняли объем, то их нагрев за счет тепла Δq_1 , подводимого извне, можно квалифицировать как изохорно-изоповерхностный (их межфазная поверхность в данном случае равна нулю, но в общем случае она остается неизменной при нагреве рабочего тела). Изменение энтропии $\Delta S_{д-б}$ в этом процессе определяется формулой

$$\Delta S = (C_H + C_T) \ln \frac{T_1}{T_2} = \Delta S_H + \Delta S_T = \Delta S_B = C_B \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (2)$$

где C_H - теплоемкость объема "нетто" 7 жидкости 6;

C_T - теплоемкость "тары" 9;

C_B - теплоемкость "брутто" 8;

$\Delta S_H, \Delta S_T,$

ΔS_B - изменение энтропии соответственно "нетто" 7, "тары" 9 и "брутто" 8.

На T-S и P-V диаграммах (см. соответственно фиг.2 и 3) этот процесс изображен линией а-б.

II такт. Поскольку капиллярное давление Лапласа при температуре T_1 снижается до величины $P_1 = 2\sigma_1 \cos \theta$ из-за снижения поверхностного натяжения при росте температуры (см. формулу 1), то теперь легко в горячей емкости 5 осуществить сжатие гетерогенной термодинамической системы путем нагнетания элементарного объема "нетто" 7 жидкости 6 в полость "тары" 9, совершив работу, равную

$$\Delta W_{2,3} = -P_1 \Delta V = -P_1 V_0, \quad (3)$$

где V_0 - объем поры, равный объему "нетто" 7.

Процесс образования межфазной поверхности контакта жидкости 6 и твердой частицы "тары" 9 является тепломеханическим процессом, поэтому необходимо подвести тепло Δq_2 извне к системе, равное скрытой теплоте образования поверхности в изобарно-изотермических условиях. При этом изменение энтропии $\Delta S_{б-б}$ будет равно

$$\Delta S_{б-б} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} \cdot \Delta \Omega_n \cos \theta, \quad (4)$$

где $\frac{\partial \sigma}{\partial T}$ - удельная поверхностная энтропия;

$$\Delta \Omega_n = \Omega_1 - \Omega_2 -$$

изменение межфазной поверхности контакта в процессе нагнетания жидкости 6 в пору (Ω_2 - поверхность в начале такта равна нулю; Ω_3 - поверхность в конце такта $\Omega_3 = \Omega_n$ - внутренняя поверхность единичной поры радиусом r).

Таким образом, в конце второго такта "тара" 9 и "нетто" 7 сливаются в заполненную жидкостью 6 часть "брутто" 8, которая остается в горячей емкости 5.

На T-S и P-V диаграммах процесс сжатия гетерогенной термодинамической системы (изобарно-изотермический обратимый процесс образования поверхности) обозначен линией б-в (см. фиг.2 и 3).

III такт. В течение 3-го такта поршень 12 остается неподвижным (жестко зафиксирован). В условиях постоянства объема и межфазной поверхности контакта "тары" 9 и "нетто" 7 перемещают "брутто" 8 в холодную емкость 4, где происходит охлаждение "брутто" 8 за счет отвода тепла Δq_3 от системы.

Как и прежде, пренебрегаем работой перемещения "брутто" 8 из емкости 5 в емкость 4. Изменение энтропии системы определяется по формуле

$$\Delta S_{b-2} = -C_b \ln \frac{T_1}{T_2}. \quad (5)$$

Изохорно-изоповерхностное охлаждение гетерогенной термодинамической системы показано линией в-г на фиг.2 и 3. Важно отметить, что в конце 3-го такта капиллярное давление Лапласа возрастает до величины P_2 в связи с понижением температуры до уровня T_2 и возрастанием поверхностного натяжения до величины σ_2 (см. формулу 1).

IV такт. В силу возросшего капиллярного давления жидкости 6 "нетто" 7 выталкивается из "тары" 9, т.е. происходит самопроизвольное расширение гетерогенной термодинамической системы под действием сил капиллярного давления Лапласа для совершения полезной работы в условиях изобарно-изотермического обратимого сок-

ращения поверхности межфазного контакта жидкости 6 и твердой частицы "тары" 9. При этом выделяется скрытая теплота образования (сокращения) поверхности Δq_4 , которую надо отвести от системы, чтобы обеспечить изотермическое протекание процесса. Изменение энтропии при этом определяется по формуле

$$\Delta S_{2-a} = - \frac{\partial \sigma}{\partial T} \cdot \Delta \Omega_n \cos \theta. \quad (6)$$

Вытесняемый элементарный объем "нетто" 7 жидкости 6 совершает работу

$$\Delta W_{4-1} = P_2 \Delta V = P_2 V_n \quad (7)$$

изобарно-изотермического расширения гетерогенной термодинамической системы, в результате которой поршень 12 возвращается в исходное положение.

Процесс вытеснения жидкости 6 из поры "тары" 9 происходит при постоянном и максимальном значении давления P_2 в системе. Рабочий такт IV заканчивается тем, что "тара" 9 и "нетто" 7 возвращаются в исходное состояние (начало 1-го такта на фиг.1).

На T-S и P-V диаграммах рабочий такт изображен линией г-а (см.фиг.2 и 3).

В результате четырехтактного цикла совершается полезная работа

$$\Delta W = \Delta W_{2-3} + \Delta W_{4-1} = -P_1 \Delta V + P_2 \Delta V =$$

$$= \frac{2 \cos \theta}{r} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial T} (T_1 - T_2) \Delta V, \quad (8)$$

где $\Delta V = V_n$ - изменение объема гетерогенной термодинамической системы "жидкость 6 - пора "тары" 9 с жесткой оболочкой, несмачиваемая этой жидкостью", равное объему единичной поры V_n "тары" 9 или элементарному объему "нетто" 7 жидкости 6.

Указанная работа ΔW совершается за счет тепла Δq , осевшего в системе за цикл

$$\begin{aligned} \Delta q &= \Delta q_1 + \Delta q_2 - \Delta q_3 - \Delta q_4 = \Delta q_2 - \Delta q_4 = \\ &= \frac{\partial \sigma}{\partial T} (T_1 - T_2) \Delta \Omega_n \cos \theta. \end{aligned} \quad (9)$$

Термический КПД η цикла без регенерации тепла (см. T-S диаграмму на фиг.2) рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{\Delta q_1 + \Delta q_2}{C_B T_1 \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\partial \sigma}{\partial T} \Delta \Omega_n T_1 \cos \theta} \quad (10)$$

С учетом равенства (2) для теплоемкости C_B запишем выражение

$$C_B = V_n \rho_* C_* + V_T C_T \rho_T = V_n \rho_* C_* \left(1 + \frac{V_T C_T \rho_T}{V_n C_* \rho_*}\right) \quad (11)$$

Полагая, что каркас "тары" 9 выполнен из тонкой оболочки с малым объемом твердой фазы V_T по сравнению с объемом "нетто" 7 жидкости 6, $V_* = V_n$, а также с учетом справедливости неравенства $C_* \rho_* > C_T \rho_T$ (где C_* , C_T и ρ_* , ρ_T — соответственно теплоемкость и плотность жидкости и твердого тела) для большинства пар "жидкость — твердое тело" можно сделать допущение, что $V_T C_T \rho_T / V_n C_* \rho_* \ll 1$ и, используя равенство (11), принять, что

$$C_B \approx V_n \rho_* C_* \quad (12)$$

Тогда с учетом уравнения связи

$$\Omega_n = K \frac{V_n}{r} \quad (13)$$

где K — коэффициент формы пор и капилляров,

Уравнение (10) для пор шаровидной формы ($K = 3$) запишется в виде

$$\eta \approx \frac{T_1 - T_2}{T_1} - \frac{\frac{\partial \sigma}{\partial T} \cos \theta}{\frac{1}{3} r \rho_* C_* \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\partial \sigma}{\partial T} \cos \theta} \quad (14)$$

При неравенстве вида

$$3 \frac{\partial \sigma}{\partial T} \cos \theta \gg r \rho_* C_* \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (15)$$

термический КПД описываемого цикла может приближаться к КПД предельного

цикла Карно, но никогда не достигнет его, так как для этого необходимо выполнение условия, при котором $\gamma = 0$, а это физически не осуществимо: ведь молекулы жидкости 6 имеют конечный размер, поэтому минимальный радиус r применяемых пор не может быть меньше радиуса молекулы жидкости 6, не говоря уже о равенстве его нулю.

При соблюдении неравенства (15) за счет подбора физических характеристик жидкости и твердого тела

$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial T}, \theta, \rho_*, C_*\right)$ или применения в качестве капиллярно-пористых частиц молекулярных сит (цеолиты с $r = 5-8 \text{ \AA}$) и с учетом равенства (14) справедливо будет приближенное равенство

$$\eta \approx \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \eta_{\text{Карно}} \quad (16)$$

Сущность описываемого способа преобразования тепловой энергии в механическую поясняется схемой работы устройства, изображенного на фиг.1, представленной на фиг.4.

В течение I-го такта при отсутствии межфазного контакта между "тарой" 9 и "нетто" 7 ($\Delta \Omega \approx 0$) происходит изохорно-изоповерхностный раздельный нагрев "тары" 9 и "нетто" 7 от температуры T_2 до температуры T_1 . В течение II-го такта происходит сжатие гетерогенной термодинамической системы путем нагнетания "нетто" 7 в "тару" 9 с образованием "брутто" 8 с развитой межфазной поверхностью контакта $\Omega_{\text{макс}}$ (изобарно-изотермическое образование поверхности при $P_1 = \text{const}$, $T_1 = \text{const}$, $\Delta \Omega > 0$). В

течение III-го такта происходит охлаждение "брутто" 8 от температуры T_1 до температуры T_2 при $\Omega_{\text{макс}} = \text{const}$ (изохорно-изоповерхностное

охлаждение, $\Delta \Omega = 0$). В течение IV-го такта происходит рабочий процесс самопроизвольного расширения гетерогенной термодинамической системы и сокращения межфазной поверхности ($\Delta \Omega < 0$), в результате чего система воздействует на нагрузку и совершает полезную работу (изобарно-изотермическое сокращение поверхности, $P_2 = \text{const}$, $T_2 = \text{const}$).

Зигзагообразная стрелка на схеме на фиг.4 в IV такте процесса обозначает здесь и далее рабочий такт процесса. После окончания одного цикла следует другой с аналогичными тепломеханическими превращениями (см. фиг.4).

Естественно, что если вместо единичной "тары" 9 (см.фиг.1) поместить в емкость 4 множество таких дискретных капиллярно-пористых частей "тары" 9, которые можно перемещать между емкостями 4 и 5, то термодинамическая сущность процесса преобразования тепловой энергии в механическую останется прежней (см.фиг.2,3 и 4), изменится лишь мощность устройства (см.фиг.1).

Устройство, изображенное на фиг.5, отличается от устройства, изображенного на фиг.1, тем, что в перегородках 2 и 3 установлены управляемые клапаны соответственно 13 и 14 для соединения и отделения емкостей 4 и 5 друг от друга, и емкости 4 и 5 в средней части гидравлически соединены между собой каналом 15, причем в последнем установлены управляемый вентиль 16 и роторный объемный гидродвигатель 17, связанный с нагрузкой (на чертеже не показана).

Отличие устройства на фиг.5 от устройства на фиг.1 заключается в том, что в исходном положении обе емкости 4 и 5 содержат дискретные капиллярно-пористые частицы "брутто" 8 и "тары" 9. В частности, в горячей емкости 5 находится "брутто" 8, состоящее из "тары" 9 и "нетто" 7 (как и прежде, вначале рассматриваем модель устройства с единичной порой в каждой частице "тары" 9), в холодной емкости 4 находится лишь "тара" 9, а соответствующий ей объем "нетто" 7 можно мысленно выделить в объеме жидкости 6 емкости 4.

Отверстие 10 и управляемый клапан 13 предназначены только для прохода "тары" 9, а отверстие 11 и управляемый клапан 14 - только для прохода "брутто" 8. Канал 15 служит только для прохода "нетто" 7 (собственно немагнитной жидкости 6).

Устройство содержит компенсатор 18, состоящий из поршневой вставки 19, цилиндра 20 и упругой среды 21. (В качестве упругой среды 21 может

быть использована, например, гетерогенная система "жидкость - пористое твердое тело, не смачиваемое этой жидкостью). Компенсатор 18 служит для поддержания постоянного давления в емкостях 4 и 5 независимо от положения клапанов 13 и 14 (открыто-закрыто), имеющих конечный объем. Из-за несжимаемости жидкости 6 при закрытии клапанов 13 и 14 поршневая вставка 19 входит в глубь цилиндра 20, компенсируя объем клапанов 13 и 14. Объем рабочего элемента вентилей 16 пренебрежимо мал, чтобы его перемещение в канале 15 могло вызвать существенное изменение давления жидкости 6 в емкостях 4 и 5.

Одновременное присутствие "брутто" 8 в емкости 5 и "тары" 9 в емкости 4 в исходном состоянии устройства (см.фиг.5) достигается размещением "тары" 9 в изолированные друг от друга емкости 4 и 5 при минимальном давлении $P_1 = 2\sigma / r$. Этого давления достаточно для того, чтобы элементарный объем "нетто" 7 жидкости 6 вошел в пору "тары" 9 в емкости 5, связанной с источником тепла при температуре T_1 , но этого давления недостаточно для того, чтобы элементарный объем жидкости 6 с температурой T_2 мог проникнуть внутрь поры "тары" 9 в емкости 4. В этом случае принудительный ввод "тары" 9 в емкость 4 под давлением P_1 вызывает лишь вытеснение соответствующего объема жидкости 6 в емкости 4 через отдельный кран (на фиг.5 не показан).

Указанная операция ввода дискретных капиллярно-пористых частиц в емкости 4 и 5 осуществляется один раз во время изготовления устройства при закрытых клапанах 13, 14 и вентиле 16. В дальнейшем при эксплуатации устройства необходимое состояние частиц "брутто" 8 и "тары" 9 поддерживается автоматически.

Устройство при осуществлении описываемого способа и использовании гетерогенной термодинамической системы работает следующим образом (см. фиг.5,6 - начало и конец каждого такта).

В начале I-го такта под действием электромагнитного поля с напряженностью H "тара" 9 перемещается из ем-

кости 4 в емкость 5, а "брутто" 8 перемещается из емкости 5 в емкость 4. В течение всего контакта клапан 16 закрыт. С целью исключения деградации тепловой энергии клапаны 13 и 14 открываются лишь на время прохода через них "тары" 9 и "брутто" 8, после чего они закрываются, и дальнейшее перемещение "тары" 9 в емкости 5 и "брутто" 8 в емкости 4 совершается в гидравлически изолированных емкостях 4 и 5. Клапаны 13 и 14 могут открываться одновременно для пропускания движущихся ферромагнитных частиц "тары" 9 и "брутто" 8 или с небольшим сдвигом по фазе. В дальнейшем будем считать, что они работают синхронно (с целью упрощения системы электромагнитного перемещения ферромагнитных частиц). Клапаны 13 и 14 обладают достаточно низкой теплопроводностью, чтобы можно было пренебречь теплообменом между емкостями 4 и 5 через отверстия 10 и 11 при закрытых клапанах 13 и 14.

В конце I-го такта "тара" 9 в емкости 5 нагревается до температуры T_1 , а "брутто" 8 охлаждается в емкости 4 до температуры T_2 . С целью упрощения дальнейшего анализа считаем, что первый раз элементарный объем "нетто" 7 жидкости 6 был внесен в емкость 5 при температуре T_2 , и за время движения "тары" 9 в емкости 5 и нагрева ее до температуры T_1 "нетто" 7 также успевает нагреться до температуры T_1 (см. схему работы устройства на фиг. 6, интервал 0-1). Капиллярное давление в емкости 5 равно P_1 , в емкости 4 оно достигает максимального значения P_2 из-за более низкой температуры T_2 .

Поскольку в конце I-го такта все отверстия 10, 11 и канал 15 закрыты, а поршневая вставка 19 компенсатора 18 не может дальше входить в цилиндр 20 из-за несжимаемости упругой среды 21 (все микропоры твердого тела внутри цилиндра 20 уже заполнены жидкостью среды 21), элементарный объем "нетто" 7 в емкости 4 не может быть вытеснен из жесткой оболочки "тары" 9, несмотря на большое давление P_2 в емкости 4. "Нетто" 7 не может заполнить "тару" 9 в замкнутой емкости 5, так как для этого необходимо совершить работу сжатия жидкости 6 при постоянном давлении P_1 .

В начале II-го такта клапан 16 в канале 15 открывается и остается открытым до конца такта. Под действием капиллярного давления P_2 Лапласа гетерогенная термодинамическая система в емкости 4 самопроизвольно расширяется, при этом "нетто" 7 вытесняется из "тары" 9 (при изобарно-изотермическом сокращении поверхности межфазного контакта) и перемещается в емкость 5, где из-за несжимаемости жидкости 6 "нетто" 7 заполняет "тару" 9, освобождая место для поступившего сюда элементарного объема "нетто" 7 жидкости 6 с температурой T_2 .

Таким образом, в емкости 5 происходит изобарно-изотермическое образование межфазной поверхности. Суммарным эффектом этих двух процессов в течение II-го такта является получение полезной работы $\Delta W = (P_2 - P_1) \Delta V$, совершаемой гидродвигателем 17.

Во время II-го (рабочего) такта процесс изотермического сокращения межфазной поверхности в емкости 4 совершается с выделением скрытой теплоты образования поверхности (см. фиг. 2, линия г-а на T-S диаграмме), которая отводится в объем холодной емкости 4. Процесс образования межфазной поверхности в это время в емкости 5 совершается наоборот с поглощением тепла Δq_2 (см. фиг. 2, линия б-в на T-S диаграмме), которое поступает из объема горячей емкости 5.

В конце II-го такта "тара" 9 остается в емкости 4, а "брутто" 8 и "нетто" 7 - в емкости 5. Цикл на этом завершается.

Начало нового цикла отсчитывается от закрытия управляемого клапана 16 и включения системы электромагнитного перемещения "тары" 9 и "брутто" 8. Когда указанные движущиеся частицы достигают клапанов 13 и 14, последние открываются, чтобы пропустить частицы через отверстия 10 и 11. После этого клапаны 13 и 14 закрываются, "брутто" 8 при дальнейшем движении в емкости 4 охлаждается до температуры T_2 , а "тара" 9 и "нетто" 7 в емкости 5 нагреваются до температуры T_1 .

Из схемы (см. фиг. 6) циклов работы рассмотренного устройства (см. фиг. 5) следует, что за термодинамический

цикл совершается два рабочих такта, т.е. при прочих равных условиях мощность устройства, изображенного на фиг.5, в два раза больше мощности устройства, изображенного на фиг.1 (см.схемы на фиг.4 и 6). T-S и P-V диаграммы циклов для устройства, представленного на фиг.5, остаются аналогичными представленным на фиг.2 и 3.

В верхней половине схемы на фиг.6 представлена последовательная цепочка термодинамических процессов для частицы "брутто" 8, находящейся первоначально в холодной емкости 4, а в нижней половине этой схемы - для частицы "тары" 9 и объема "нетто" 7 жидкости 6, находящихся первоначально в горячей емкости 5. На участке 0-1 (см.фиг.6) происходит отвод тепла Δq_3 (см.фиг.2) от частицы "брутто" 8 в емкости 4 и подвод тепла Δq_1 (см.фиг.2) к частице "тары" 9 и объему "нетто" 7 жидкости 6 в емкости 5. На участке 1-2 (см.фиг.6) происходит рабочий такт и отвод тепла Δq_4 сокращения межфазной поверхности в верхней цепочке процессов и подвод тепла Δq_2 образования межфазной поверхности в нижней цепочке процессов. На участке 2-3 (см.фиг.6) происходит раздельный нагрев "тары" 9 и "нетто" 7 с подводом тепла Δq_1 в верхней цепочке процессов и охлаждение "брутто" 8 с отводом тепла Δq_3 в нижней цепочке процессов. На участке 3-4 (см.фиг.6) происходит изобарно-изотермическое нагнетание "нетто" 7 в "тару" 9 с подводом тепла Δq_2 образования межфазной поверхности в верхней цепочке процессов. Одновременно осуществляется рабочий такт с отводом тепла Δq_4 сокращения межфазной поверхности в нижней цепочке процессов.

Из анализа работы устройства (см.фиг.5) и схемы термодинамического цикла (см.фиг.6) следует, что за время одного термодинамического цикла (см.фиг.2,3 и 4) данное устройство совершает два рабочих такта (см. фиг.6). Это достигается за счет совмещения по времени и разведения в пространстве процессов "нагрев-охлаждение" гетерогенной термодинамической системы и процессов сжатия и расширения последней соответственно

с образованием и сокращением межфазной поверхности контакта жидкости 6 и твердых частиц "тары" 9 в силу обратимости этих процессов.

На фиг.7 и 8 представлена более подробная конструктивная схема устройства, принцип действия которого был описан ранее (см.фиг.5,6). Рабочая камера 1 этого устройства выполнена в виде полого тора 22. Перегородки 2 и 3 выполнены в виде корпусов клапанов 13 и 14. Для управляемого перемещения клапанов 13 и 14 предусмотрены электромагниты 23 и 24 соответственно. Емкости 4 и 5 снабжены соленоиды 25-30 для перемещения частиц "брутто" 8 из горячей емкости 5 в холодную емкость 4 и соленоиды 31 - 36 для перемещения частиц "тары" 9 из емкости 4 в емкость 5.

В качестве гидродвигателя 17 использован роторный двигатель объемного типа, например двигатель с ротором 37, смещенным относительно оси корпуса гидродвигателя 17 на величину эксцентриситета e . Ротор 37 содержит поворотные лопатки 38, периодически утапливаемые в процессе вращения ротора 37 в пазы 39. В качестве гидродвигателя 17 может быть использован также любой другой роторный двигатель объемного типа (например, гидравлический двигатель трехвентового коловратного типа). Гидродвигатель 17 имеет полость 40 высокого давления и полость 41 низкого давления (см.фиг.8).

Работа устройства, представленного на фиг.7 и 8, осуществляется аналогично описанной выше работе устройства, представленного на фиг.5. Перемещение частиц "тары" 9 и "брутто" 8 между емкостями 4 и 5 осуществляется при этом следующим образом. Если последовательно (во времени) подавать электрическое питание на соленоиды 25, 26...30, то частицы "брутто" 8 будут перемещаться под действием электромагнитного поля с напряженностью H из емкости 5 в емкость 4 через клапан 14. Аналогично последовательная подача электрического питания на соленоиды 31, 32...36 приведет к перемещению частиц "тары" 9 из емкости 4 в емкость 5 через клапан 13.

В случае одновременной подачи электрического питания указанным способом на соленоиды 25 - 30 и 31 - 36 "тара" 9 и "брутто" 8 будут перемещаться таким образом, что в каждый момент времени они будут всегда находиться на диаметрально противоположных позициях внутри тора 22, образованного емкостями 4 и 5 (см. фиг.7).

При периодическом обесточивании системы электромагнитного перемещения в момент прохождения частицами "брутто" 8 и "тар" 9 районов спаренных соленоидов 29 - 30 и 35 - 36 (см.фиг.7) "брутто" 8 и "тара" 9 будут периодически останавливаться всегда в заранее определенных диаметрально противоположных точках тора 22.

Уже указывалось, что клапаны 13 и 14 открываются лишь на время прохода через них ферромагнитных частиц "тар" 9 и "брутто" 8. Остальное время они закрыты.

Поскольку емкости 4 и 5 устройства заполнены взвесью множества ферромагнитных капиллярно-пористых частиц "тар" 9 с конечным числом пор в каждой частице, то в процессе тепло-механических превращений в каждой емкости 4 и 5 будет перемещаться уже не единичная частица (заполненная жидкостью 6 - "брутто" 8 или не заполненная жидкостью 6 - "тара" 9), а целый рой частиц (рой "тар" 9 и рой "брутто" 8), что не меняет сущности способа электромагнитного перемещения этих частиц в емкостях 4 и 5 (см.фиг.7) и способа преобразования энергии с помощью устройств, представленных на фиг.5,7 и 8.

Так как устройство (см.фиг.7,8) содержит одну рабочую камеру 1 (как и устройство, представленное на фиг.5) и за время полного термодинамического цикла совершает два рабочих такта (см.фиг.6), то вал 42 гидродвигателя 17, будучи связанным с нагрузкой, совершает полезную работу именно в период этих тактов.

Если к двум одинаковым соединенным в противофазе рабочим камерам 1 подключить один гидродвигатель 17, то за время одного термодинамического цикла полезная работа будет совершаться в течение всех этапов цикла (4

рабочих такта), и ротор 37 за один цикл совершит вдвое большее количество оборотов. Такая конструкция усовершенствованного устройства преобразования тепловой энергии в механическую представлена на фиг.9 и 10. Устройство содержит две рабочие камеры 1, выполненные в виде торов 22 и 43.

Торы 22 и 43 размещены параллельно в термостате 44 источника 45 нагрева и термостате 46 источника охлаждения (в качестве источника охлаждения служит окружающая среда). В источнике 45 нагрева может использоваться тепловая энергия сжигания органического топлива, солнечная энергия, тепло слоев воды морей и океанов, геотермальных вод, глубинных горных пород Земли, атомных реакторов. Объем термостата 44 заполнен газообразной, жидкой или твердой средой, обладающей высокой теплопроводностью и теплоемкостью, существенно превышающей теплоемкость рабочих камер 1. Термостаты 44 и 46 образуют корпус 47 и выполнены в виде двух полуцилиндров, теплоизолированных друг от друга с помощью изоляционной вставки 48, которая одновременно экранирует гидродвигатель 17, размещенный в полости корпуса 47, от термостатов 44 и 46.

Роторный гидродвигатель 17 объемного типа (например, трехвинтовой) состоит из рубашки 49, ведущего (центрального) винта 50, ведомых (боковых) винтов 51 и 52. Ведущий винт 50 содержит верхний и нижний поворотные золотники 53 и 54 соответственно с каналами 55 и 56 соответственно подвода и отвода рабочей жидкости 6.

В корпусе теплоизоляционной вставки 48 имеются соединительные каналы 15, а также каналы 57, 58, 59 и 60, 61. На одном конце винта 50 гидродвигателя 17 находится фланец 62 для связи с нагрузкой, а на другом конце винта 50 расположен рабочий элемент распределителя 63, который через блок 64 управления и клемму К₁ связан с клапанами 13 (для прохода "тар" 9), клапанами 14 (для прохода "брутто" 8) и системой электрического питания соленоидов 25 - 36 тора 22, а через блок 65 управления и клемму К₂ связан с клапанами 13 и

14, а также с системой питания соленоидов 25 - 36 тора 43. Корпус гидродвигателя 17 с золотником 53, 54 крепится внутри цилиндрической изоляционной вставки 48 с помощью шайбы 66. Термостат 44 источника 45 нагрева теплоизолирован материалом 67, а термостат 46 источника охлаждения наоборот имеет развитую поверхность контакта с окружающей средой в виде оребрения 68.

Разделительные стенки 69 и 70 верхнего поворотного золотника 53 и разделительные стенки 69, 70 нижнего поворотного золотника 54 (на фиг. 9 эти стенки не показаны) позволяют автоматически подключать полости 40 и 41 высокого и низкого давления гидродвигателя 17 к емкостям 4 и 5 того из торов 22 и 43, в котором в данный момент происходит рабочий такт. Остальные обозначения на фиг. 9 и 10 аналогичны ранее представленным на других фигурах.

На фиг. 11 показана одна из возможных схем управления питанием соленоидов 25 - 36 для перемещения роев ферромагнитных частиц "брутто" 8 и "тары" 9 внутри торов 22 и 43. Электро-механическая система управления электромагнитным перемещением ферромагнитных частиц (см. фиг. 11) базируется на двух шаговых искателях 71 и 72 соответственно для торов 22 и 43, которые через контактные группы 73 и 74 управляют обмотками соленоидов 25 - 30 и 31 - 36 торов соответственно 22 и 43.

В свою очередь шаговые искатели 71 и 72, являющиеся составной частью управляющего устройства (на фиг. 7 - 10 не показано), приводятся в действие через группу контактов, образующую рабочим элементом - ламелью 75 управляющего устройства, жестко связанной с выходным валом 42 гидродвигателя 17 и контактными сегментами 76 и 77. Обмотки шаговых искателей 71 и 72 запитываются напряжением U_1 , подводимым через скользящий контакт 78. Соленоиды 25 - 30 и 31 - 36 тора 22 запитываются напряжением U_2 через нормально разомкнутый контакт 79 реле 80, включенного параллельно с обмоткой шагового искателя 71, и скользящий контакт 81 вращающегося распределителя 82.

Соленоиды 25 - 30 и 31 - 36 тора 43 запитываются через нормально разомкнутый контакт 83 реле 84, включенного параллельно с обмоткой шагового искателя 72, и скользящий контакт 85 вращающегося распределителя 86.

Электромагниты 23 и соленоиды 33, а также электромагниты 24 и соленоиды 27 включены параллельно, чтобы осуществить открытие клапанов 13 и 14 в момент прохождения роев ферромагнитных частиц "тары" 9 и "брутто" 8 через эти клапаны.

Система электромагнитного перемещения ферромагнитных частиц работает следующим образом. Рассмотрим промежуток времени, когда в торе 43 происходит рабочий такт, т.е. осуществляются совмещенные процессы "выталкивание" жидкости 6 из пор частиц "брутто" 8, расположенных в емкости 4, и нагнетание ее в поры частиц "тары" 9, находящихся в емкости 5. В этот момент распределитель 86 неподвижен, так как отсутствует контакт ламели 75 с сегментом 77, питание U_2 также не поступает на вход контактной группы 74 из-за того, что реле 84 обесточено. На фиг. 11 представлен момент времени, когда вращающийся распределитель 82 уже отключил стартовые соленоиды 31, 32 и включил электромагнит 23 клапана 13 и соленоид 33, обеспечивая проход ферромагнитных частиц "тары" 9 через клапан 13. Параллельно осуществляется открытие клапана 14 с помощью электромагнита 24 и проход через него частиц "брутто" 9 благодаря эффекту их притяжения соленоидом 27 (см. фиг. 7).

За время существования контакта ламели 75 с сегментом 77 вращающийся распределитель 82 делает пол-оборота, начиная движение от контакта, связанного с соленоидом 29, 30, и кончая контактом соленоидов 35, 36. При достижении контакта соленоидов 35, 36 цепь "ламель 75 - сегмент 77" разрывается и распределитель 82 останавливается, контакт 79 также размыкается, и напряжение U_2 не поступает на соленоиды 29-30 и 35-36. При этом процесс перемещения "тары" 9 и "брутто" 8 в торе 22 (см. фиг. 7 - 11) окончен, а процессы нагрева "тары" 9 и охлаждения "брутто" 8 про-

должаются и оканчиваются тогда, когда ламель 75 достигает контакта 77 (рабочий такт в каждом торе 22 и 43 обеспечивает поворот вала 42 и ламели 75 на пол-оборота). В момент первого касания ламелью 75 контакта 77 рабочий такт начинается теперь в торе 22 и дальнейший поворот вала 42 гидродвигателя 17 осуществляется уже за счет рабочего такта в торе 22. За это время в торе 43 совершаются совмещенные такты нагрева "тары" 9 и охлаждения "брутто" 8 за счет того, что вращающийся распределитель 86 начинает движение по часовой стрелке, включает стартовые соленоиды 31-32 и 25-26 (частица "тары" 9 приближается к клапану 13 тора 43, который еще закрыт в этот момент, а частица "брутто" 8 приближается к закрытому клапану 14 тора 43). Потом питание U_2 поступает одновременно на соленоид 33 и электромагнит 23 тора 43 и соответственно на соленоид 27 и электромагнит 24 этого тора 43. "Тара" 9 поступает из емкости 4 в емкость 5, а "брутто" 8 - из емкости 5 в емкость 4 тора 43. За время существования контакта ламели 75 с сегментом 77 заканчивается перемещение ферромагнитных частиц "брутто" 8 и "тары" 9 и дальнейшее движение ламели 75 сопровождается дальнейшим охлаждением уже неподвижных частиц "брутто" 8 в емкости 4 и нагревом частиц "тары" 9 в емкости 5 тора 43.

Сразу же по окончании процессов охлаждения "брутто" 8 и нагрева "тары" 9 в торе 43 начинается рабочий такт (в момент времени, когда ламель 75 касается сегмента 76) и дальнейшее движение ламели 75 осуществляется уже за счет рабочего такта в торе 43. В этот промежуток времени процессы перемещения ферромагнитных частиц "брутто" 8 и "тары" 9 и их охлаждения и нагрева в торе 22 происходят описанным ранее образом.

Рассмотренный вариант системы электромагнитного перемещения частиц (см. фиг. 7-11) служит лишь для объяснения принципа действия устройства и может быть с успехом заменен на любой другой известный вариант системы, осуществляющий те же функ-

ции по перемещению ферромагнитных частиц в магнитном поле (например, с электронным управлением соленоидов 25 - 36 торов 22 и 43).

Работу описанного устройства (см. фиг. 7 - 11) при реализации описываемого способа преобразования тепловой энергии в механическую с использованием гетерогенной термодинамической системы иллюстрирует схема, представленная на фиг. 12. Вдоль общей оси абсцисс на этой схеме отложено время t , цифрами от 1 до 12 на оси абсцисс снизу схемы обозначены такты работы устройства.

В верхней части а этой схемы (см. фиг. 12) аналогично схеме, приведенной на фиг. 6, представлены последовательные цепочки термодинамических процессов для частиц "брутто" 8 и "тары" 9 в торе 22 (верхние две цепочки) и в торе 43 (последующие две цепочки процессов); в части б схемы на фиг. 12 представлена циклограмма открытия и закрытия спаренных золотников 53-54 тора 22 и тора 43 с показом расхода Q жидкости 6 через гидродвигатель 17; в части в схемы на фиг. 12 - изменение величины напряженности H магнитного поля соленоидов 25 - 36 для каждого из торов 22 и 43, в части г схемы на фиг. 12 - циклограмма открытия и закрытия клапанов 13 и 14 для каждого из торов 22 и 43.

Устройство (см. фиг. 7 - 11) работает следующим образом. Допустим, что рабочий такт происходит в торе 22. Вытеснение жидкости 6 при температуре T_2 из емкости 4 и одновременное нагнетание ее при температуре T_1 в поры ферромагнитных частиц "тары" 9 в емкости 5 (см. фиг. 9, 10). Вытесненный объем "нетто" 7 жидкости 6 покидает емкость 4 и через каналы 15 и 55 поступает в полость 40 высокого давления гидродвигателя 17. Совершив полезную работу, жидкость 6 из полости 41 низкого давления через каналы 56, 57, 58 и 59 поступает в емкость 5, вытесняет здесь "горячие" объемы жидкости 6 при температуре T_1 , которые нагнетаются при этом в поры капиллярно-пористых частиц "тары" 9, нагретых к этому времени также до температуры T_1 . Одновременно происходит нагрев посту-

предельного цикла Карно), большая удельная и абсолютная мощность, высокая динамичность, компактность устройства - позволяют при создании тепловых двигателей обеспечить долговечность и эксплуатационную надежность, обусловленную тем, что жидкость 6 контактирует с рабочим органом двигателя при температуре T_2 источника охлаждения, т.е. при температуре окружающей среды; бесшумность работы, обусловленную тем, что процессы тепломеханических превращений в соответствии с предложенным способом (с использованием новой гетерогенной термодинамической системы) происходят без акустических и кавитационных явлений, так как обратимые изобарно-изотермические процессы образования и сокращения межфазной поверхности жидкость-твердое тело происходят без разрыва сплошности текучей среды - жидкости.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

1. Гетерогенная термодинамическая система, содержащая жидкость и капиллярно-пористое тело с лиофобной поверхностью, отличающаяся тем, что, с целью повышения КПД и удельной работоспособности единицы объема системы и ускорения процессов преобразования энергии, система выполнена в виде взвеси в немагнитной жидкости частиц капиллярно-пористого тела из ферромагнитного материала.

2. Способ преобразования тепловой энергии в механическую путем нагрева и сжатия в нагретом состоянии гетерогенной термодинамической системы, содержащей жидкость и капиллярно-пористое тело, последующего охлаждения системы и использования самопроизвольного расширения последней под действием сил капиллярного давления

Лапласа для совершения полезной работы, отличающийся тем, что гетерогенную термодинамическую систему нагревают и сжимают в первой замкнутой емкости, а во второй, замкнутой и отделенной от первой емкости, термодинамическую систему охлаждают и расширяют, а перед самопроизвольным расширением системы емкости соединяют между собой и перемещают с помощью магнитного поля частицы капиллярно-пористого тела из одной емкости в другую до заполнения первой емкости частицами, не заполненными жидкостью, и второй емкости - частицами, заполненными жидкостью, отделяют емкости друг от друга, после чего снова гетерогенную систему во второй емкости охлаждают, а в первой емкости нагревают и соединяют гидравлически емкости между собой.

3. Устройство преобразования тепловой энергии в механическую, содержащее источник нагрева и охлаждения, помещенную по крайней мере в одну рабочую камеру гетерогенную термодинамическую систему в виде жидкости и капиллярно-пористого тела с лиофобной поверхностью, соединенный с камерой каналом гидродвигатель, вентиль и клапаны, отличающееся тем, что рабочая камера выполнена в виде полого тора, разделенного посредством дополнительных введенных поперечных перегородок на две равные емкости, одна из которых постоянно связана с источником нагрева, а другая - с источником охлаждения, каждая емкость снабжена соленоидом для перемещения термодинамической системы, емкости в средней части гидравлически соединены между собой каналом, а в последнем установлены вентиль и гидродвигатель, при этом клапаны установлены в перегородках.

Т а б л и ц а 1

Вариант	Гетерогенная термодинамическая система	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta T = T_1 - T_2$	$\frac{\partial \sigma}{\partial T}, \text{Н/м}\cdot\text{град}$
1	Вода - графитизированный алунд*	25	5	20	$0,23 \cdot 10^{-3}$
2	Вода - графитизированный алунд	120	20	100	$0,23 \cdot 10^{-3}$

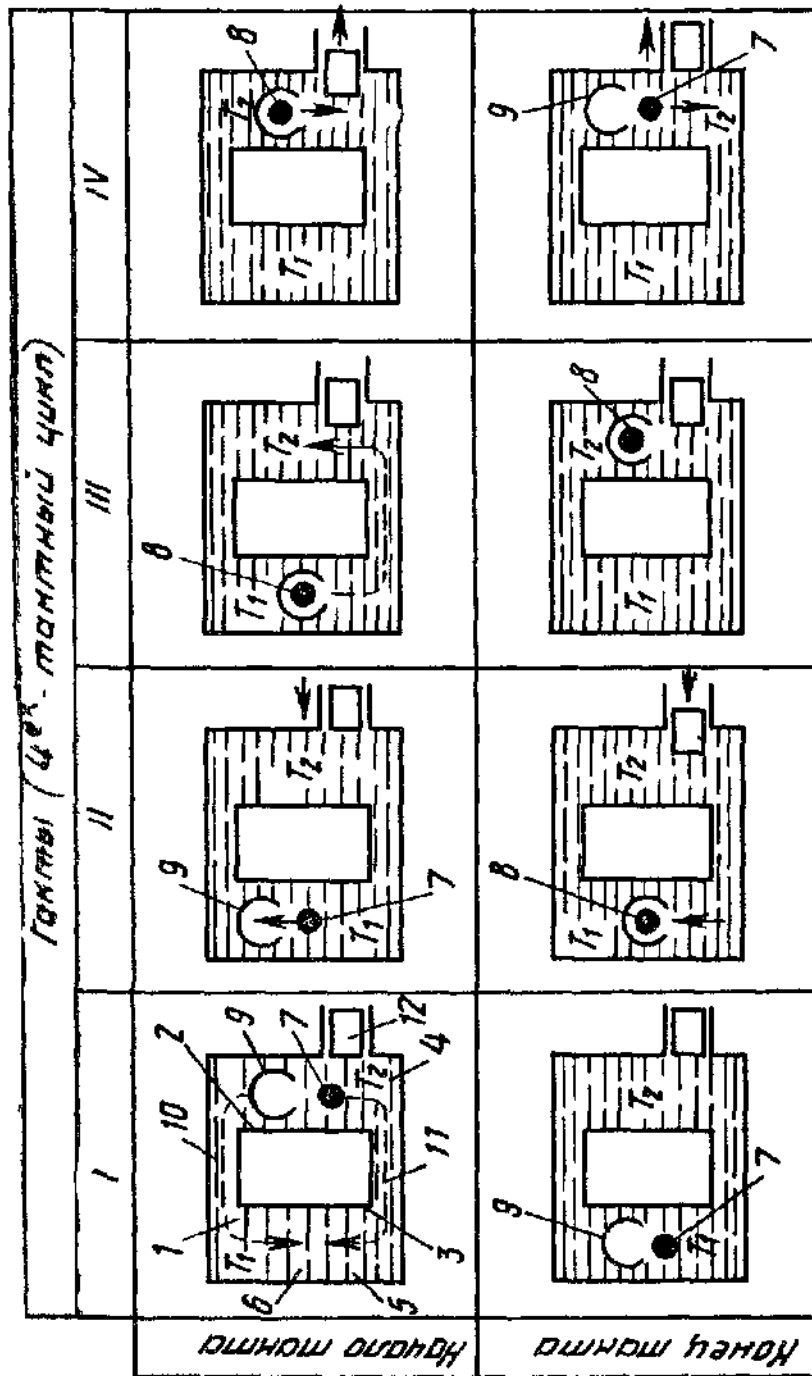
Продолжение табл. 1

Вариант	Гетерогенная термодинамическая система	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta T = T_1 - T_2$	$\frac{\partial \sigma}{\partial T}, \text{Н/м.град}$
3	Этиловый спирт - графитизированный алунд	230	20	210	$0,11 \cdot 10^{-3}$
4	Висмут (расплав) - графит	350	150	200	$0,28 \cdot 10^{-3}$
5	Цинк (расплав) - графит	700	400	300	$0,26 \cdot 10^{-3}$
6	Алюминий (расплав) - окись бериллия	900	600	300	$0,51 \cdot 10^{-3}$
7	Алюминий (расплав) - ниобий	1200	600	600	$2,2 \cdot 10^{-3}$
8	Ртуть - кварц, окись алюминия, алунд	1400	20	1380	$0,27 \cdot 10^{-3}$
9	Ванадий (расплав) - окись бериллия	2100	1800	300	$1,04 \cdot 10^{-3}$

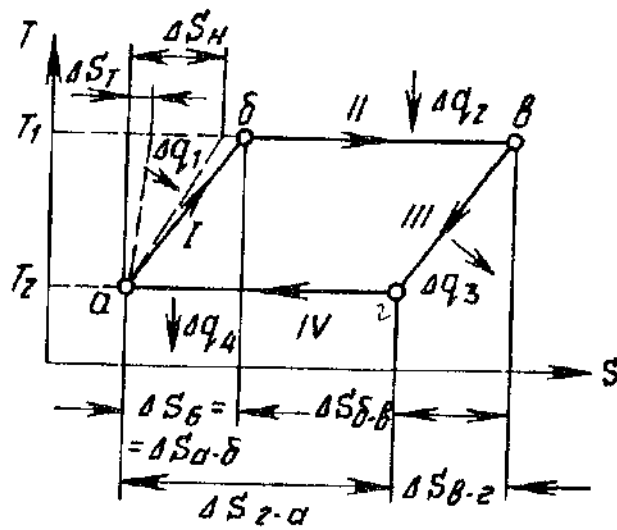
* П р и м е ч а н и е: Любая капиллярно-пористая частица может быть ферромагнетизирована методами порошковой металлургии присадками ферромагнетика (точка Кюри ферромагнетика должна быть несколько выше температуры источника тепла).

Т а б л и ц а 2

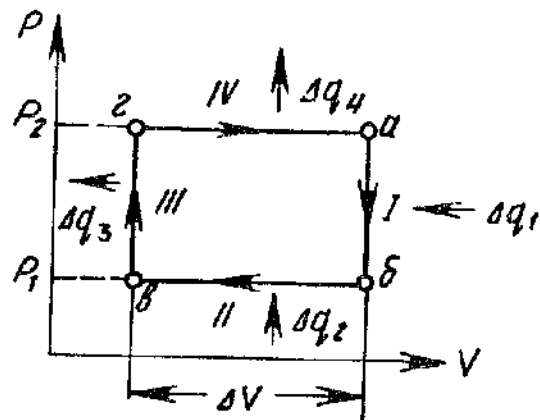
$r, \text{\AA}$	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,0653	0,3260	0,3880	0,7920	1,1086	2,1726	18,744	5,291	4,430
20	0,0376	0,163	0,194	0,396	0,554	1,0863	9,372	2,645	2,21
30	0,0217	0,109	0,129	0,264	0,369	0,724	6,25	1,764	1,477
50	0,013	0,0652	0,0776	0,1584	0,221	0,434	3,749	1,06	0,866
75	0,0087	0,0435	0,052	0,1056	0,1477	0,29	2,5	0,705	0,59
100	0,0065	0,0326	0,0388	0,0792	0,1108	0,217	1,874	0,529	0,443
150	0,0044	0,027	0,026	0,0528	0,074	0,145	1,25	0,353	0,295
200	0,0038	0,0163	0,0194	0,055	0,055	0,109	0,937	0,2645	0,221



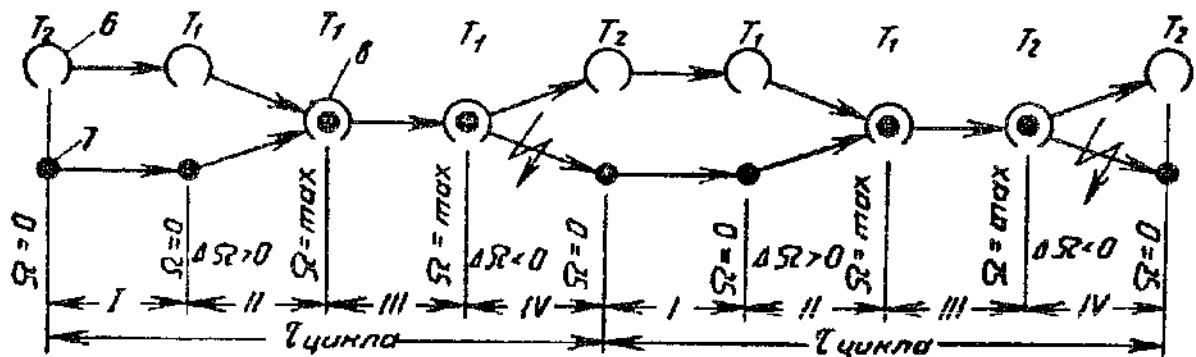
Фиг. 1



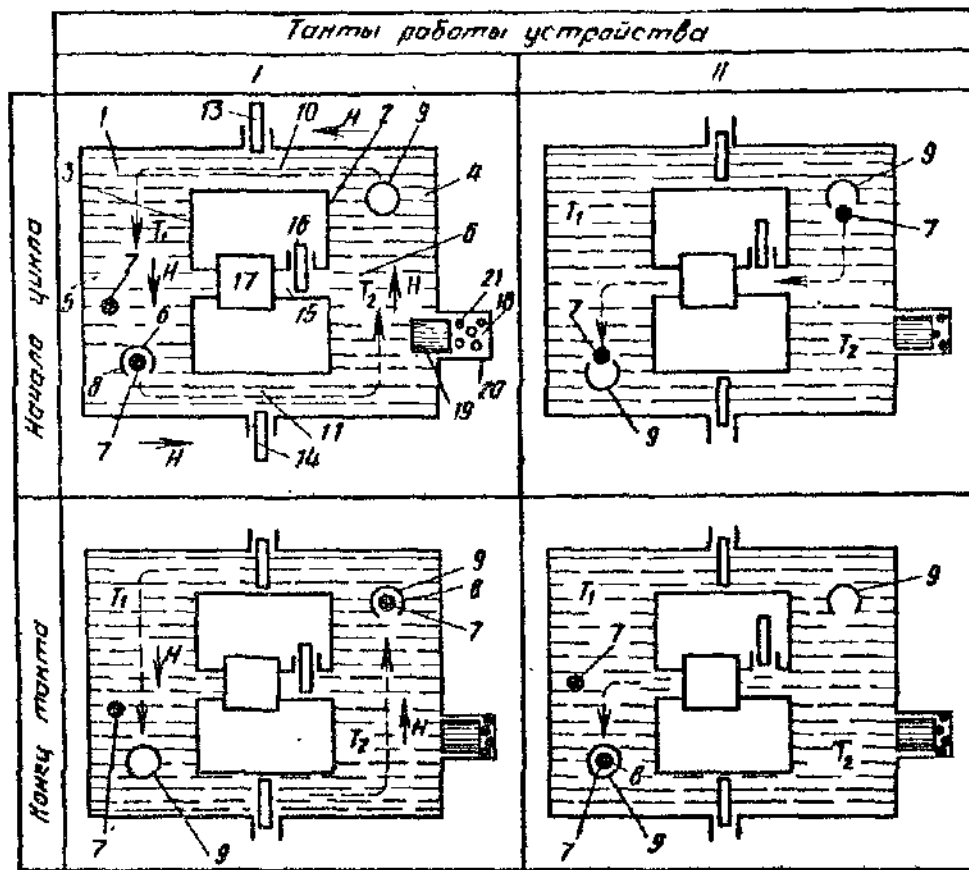
фиг 2



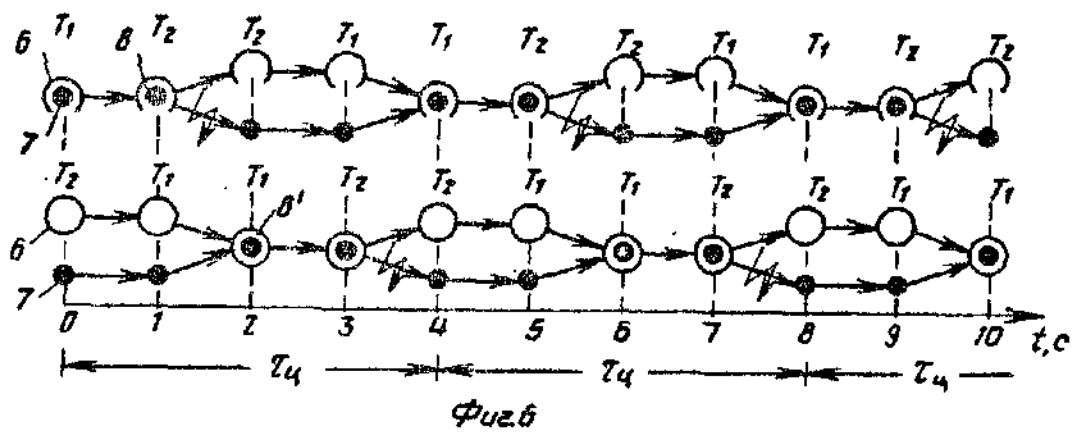
фиг 3

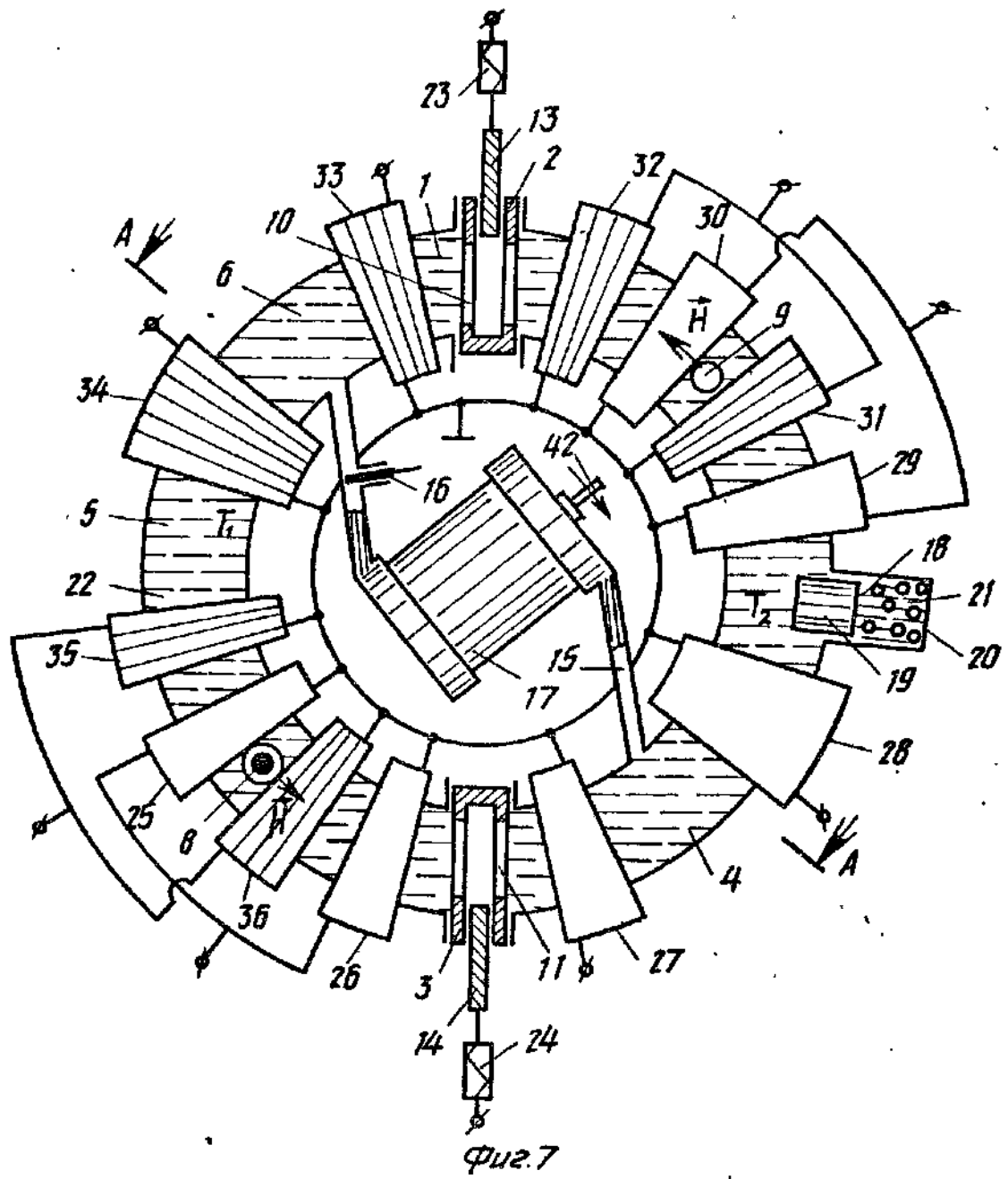


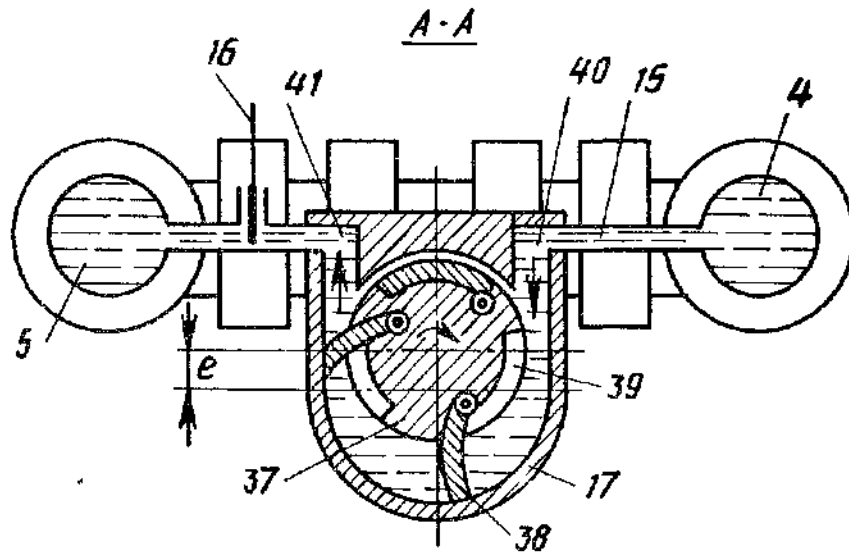
фиг 4



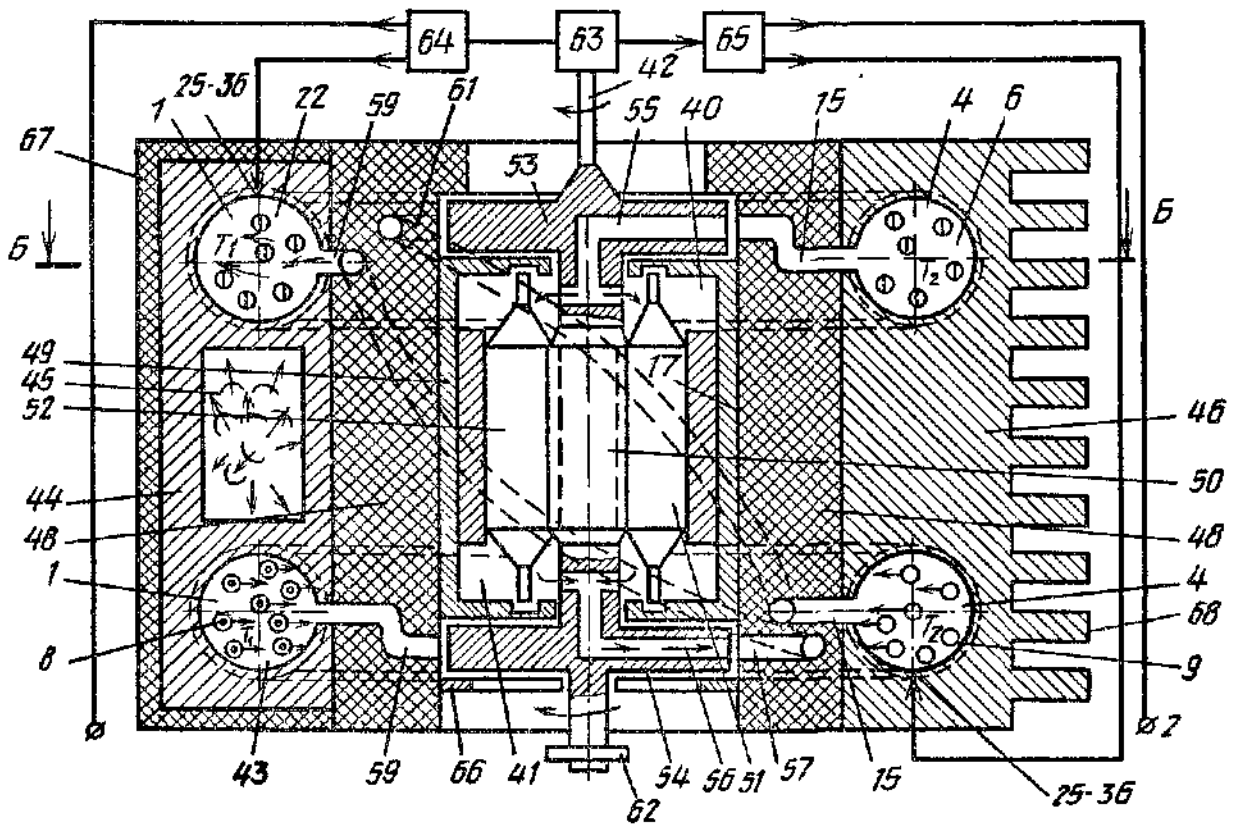
фиг. 5





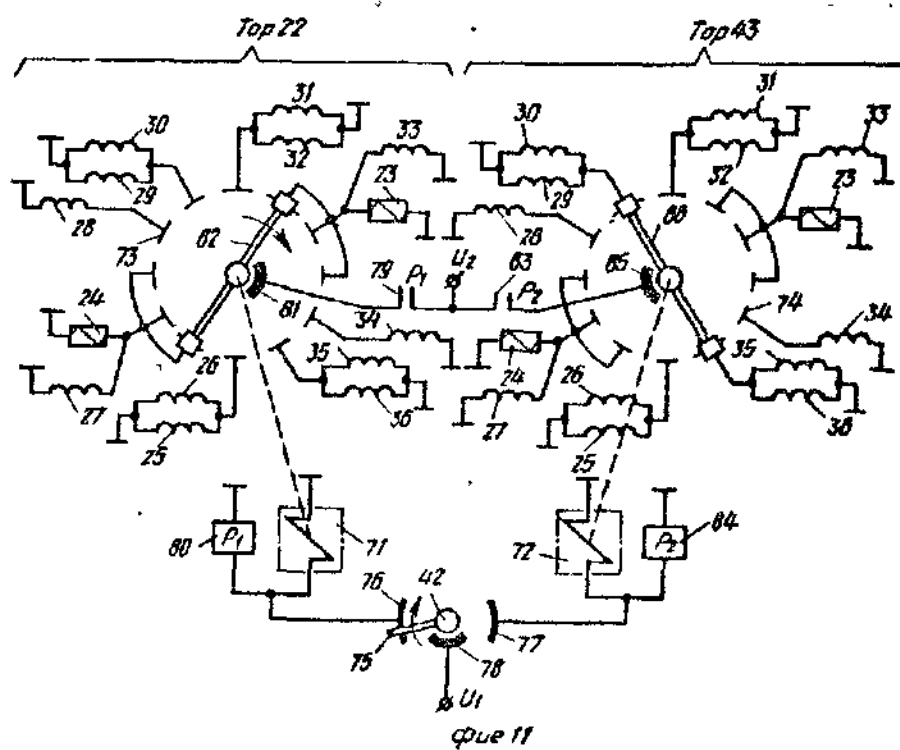
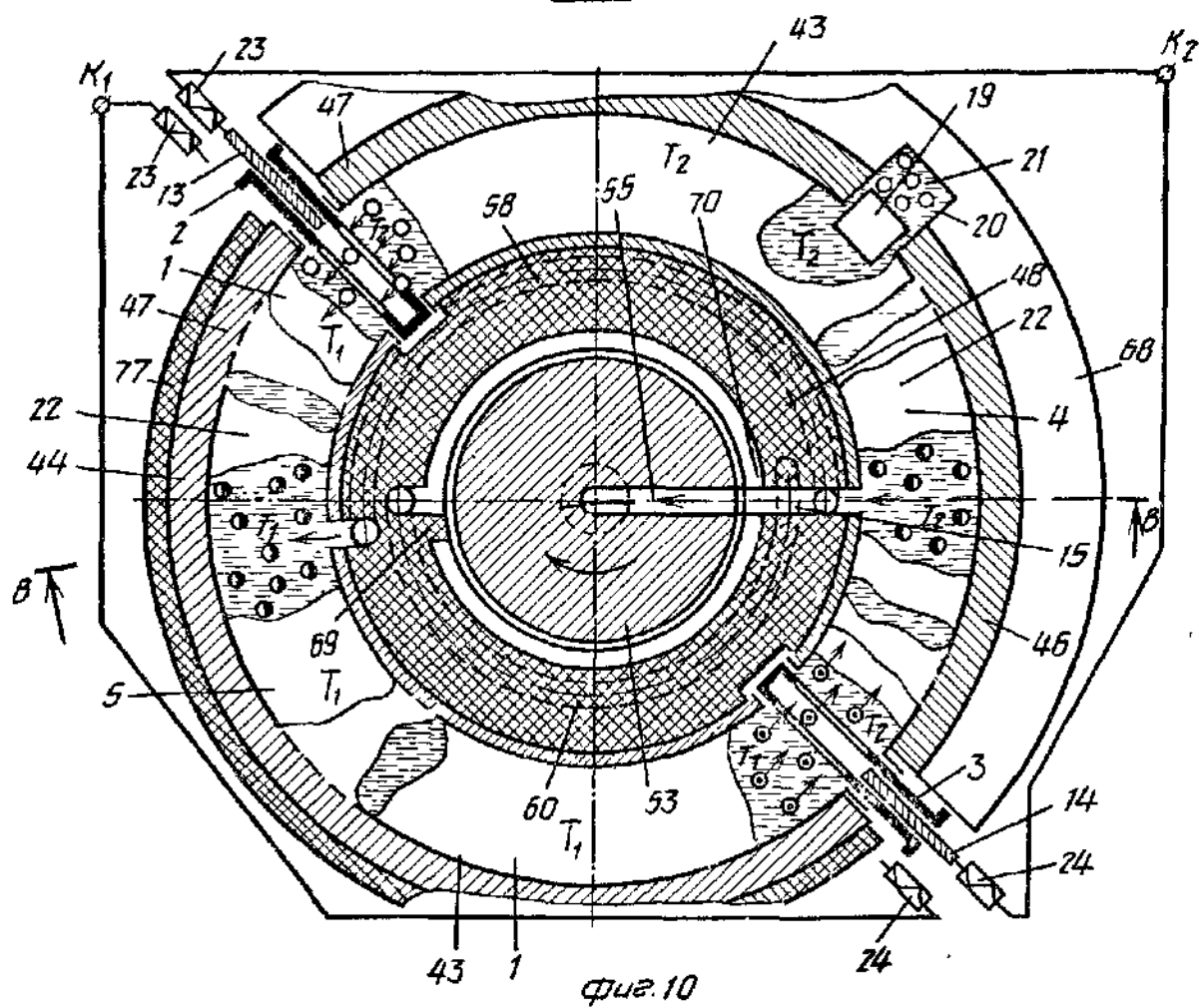


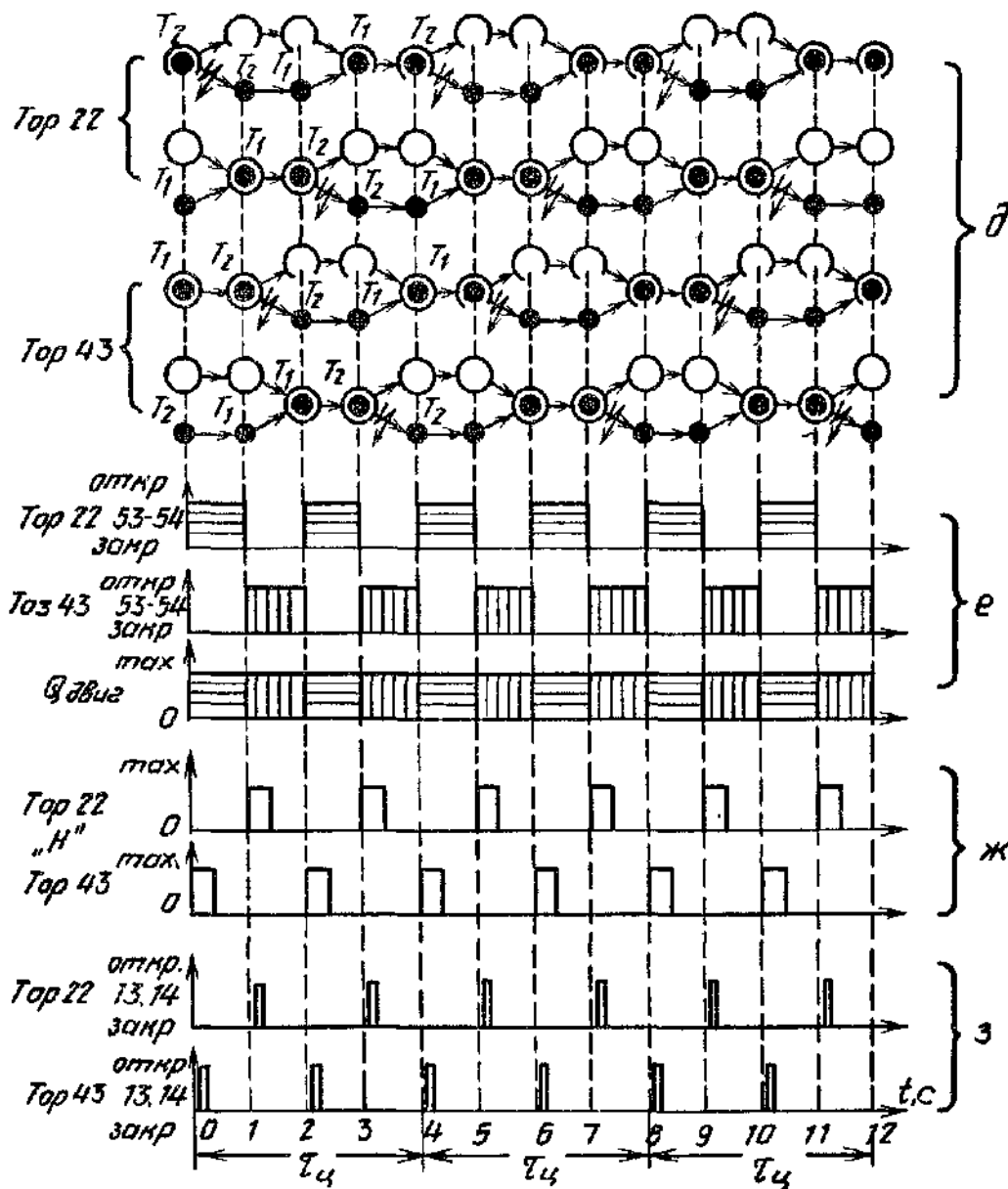
Фиг. 8



Фиг. 9

6-6





Фиг 12

Редактор В.Фельдман Составитель В.Троицкая
 Техред М.Дидык Корректор Л.Пилипенко

Заказ 79/ДСП Тираж 208 Подписное
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д.4/5

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