



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

ДЛЯ СЛУЖЕБНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗ. №

110

(19) SU (11) 1380357 A2

(5D) 4 F 03 G 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (61) 1254811
(21) 3710878/25-06
(22) 30.11.83
(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) СПОСОБ ЕРОШЕНКО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ
(57) Изобретение относится к теплоэнергетике. Изобретение позволяет

повысить КПД без использования регенерации тепла, упростить конструкцию и уменьшить габариты реализующих способ тепловых двигателей путем организации квазиadiaбатического охлаждения. В качестве одной из компонент гетерогенной термодинамической системы 3 берут жидкость 4, у которой вторая производная от коэффициента поверхностного натяжения по t -ре больше нуля. При осуществлении данного способа преобразования тепловой энергии в механическую нет необходимости в создании регенерирующих устройств для тепловых двигателей. 9 ил.

(19) SU (11) 1380357 A2

Изобретение относится к области теплоэнергетики, а именно к способам преобразования тепловой энергии в механическую, и может быть использовано для повышения эффективности работы тепловых двигателей. Изобретение является усовершенствованием способа по авт. св. № 1254811.

Целью изобретения является повышение КПД без использования регенерации тепла, упрощение конструкции и уменьшение габаритов реализующих способ тепловых двигателей путем организации квазиadiaбатического охлаждения.

На фиг. 1 представлена T-S диаграмма термодинамического цикла при реализации способа-прототипа; на фиг. 2 - P-V диаграмма цикла, изображенного на фиг. 1; на фиг. 3 - T-S диаграмма термодинамического цикла при реализации описываемого способа; на фиг. 4 - P-V диаграмма цикла, изображенного на фиг. 3; на фиг. 5 - график зависимости коэффициента поверхностного натяжения σ от температуры T для различных жидкостей гетерогенной термодинамической системы, используемой при реализации способа-прототипа и описываемого способа; на фиг. 6 - схема устройства для реализации описываемого способа в положении, соответствующем процессу а-б (см. фиг. 3 и 4); на фиг. 7 - то же, в положении, соответствующем процессу б-в (см. фиг. 3 и 4); на фиг. 8 - то же, в положении, соответствующем процессу в-г (см. фиг. 3 и 4); на фиг. 9 - то же, в положении, соответствующем процессу г-а (см. фиг. 3 и 4).

Устройство для реализации способа-прототипа и описываемого способа (см. фиг. 6-9) содержит рабочую камеру 1 с установленным в ней поршнем 2. В камере 1 помещена гетерогенная термодинамическая система 3 в виде взвеси в жидкости 4 частиц 5 капиллярно-пористого тела с лиофобной поверхностью. Заполненные жидкостью 4 частицы 5 капиллярно-пористого тела гетерогенной термодинамической системы 3 на фиг. 7 и 8 показаны зачерненными кружками, а не заполненные жидкостью 4 частицы 5 - показаны на фиг. 6 и 9 светлыми кружками. Поршень 2 соединен при помощи штока 6 с нагрузкой (не показана) и с бло-

ком 7 управления, который, в свою очередь, связан с источниками 8 и 9, соответственно нагрева и охлаждения для осуществления взаимодействия рабочей камеры 1 с источником 8 или 9 в различных стадиях термодинамического цикла при реализации описываемого способа.

При реализации способа-прототипа по основному авт. св. (см. фиг. 1 и 2) в процессе а-б к гетерогенной системе 3 подводят тепло Δq_1 для нагрева системы 3 от температуры T_2 источника 9 охлаждения до температуры T_1 источника 8 нагрева. При этом площадь Ω_1 межфазной поверхности в системе 3 минимальна, а объем V_1 гетерогенной системы 3 максимален.

$$\Delta q_1 = \Delta S_{1-2} T_{cp} = C \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}} \quad (1)$$

где ΔS_{1-2} - изменение энтропии гетерогенной системы 3 при нагреве;

$C = [C_T] + [C_X]$ - теплоемкость гетерогенной системы 3 (C_T и C_X - теплоемкости соответственно частиц 5 твердого тела и жидкости 4 системы 3);

T_{cp} - средняя температура системы 3 в процессе а-б.

В изобарно-изотермическом процессе б-в ($P_1 = \text{const}$, $T_1 = \text{const}$, где P_1 - давление системы 3 в процессе б-в) к системе 3 подводят теплоту Δq_2 образования поверхности межфазного контакта жидкости 4 и частиц 5 капиллярно-пористого тела системы 3. При этом площадь Ω межфазной поверхности изменяется от минимального значения Ω_1 до максимальной величины Ω_2 и происходит сжатие системы 3 с изменением ее объема V от максимального значения V_1 до минимального значения V_2 (см. фиг. 1 и 2).

В процессе в-г энтропия гетерогенной системы 3 уменьшается на величину ΔS_{2-3} , т.е. от системы 3 отводится тепло $\Delta q_3 = |\Delta q_2|$. При этом площадь Ω_2 межфазной поверхности максимальна, а объем V_2 системы 3 минимален.

$$\Delta q_3 = \Delta S_{\theta-1} T_{cp} = -C \ln \frac{T_1}{T_2} \times$$

$$\times \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}} \quad (2)$$

В процессе г-а от системы 3 отво-
дят тепло Δq_4 изобарно-изотермиче-
ского ($P_2 = \text{const}$, $T_2 = \text{const}$, где
 P_2 - давление системы 3 в процессе
в-г) самопроизвольного сокращения
поверхности от максимальной значе-
ния Ω_2 до минимальной величины Ω_1 ,
в результате чего система 3 расширя-
ется от объема V_2 до объема V_1 и в
гетерогенной системе 3 оседает тепло
 Δq

$$\Delta q = \Delta q_2 - \Delta q_4 = \left| \frac{\partial \phi}{\partial T} \right| (T_1 -$$

$$- T_2) (\Omega_2 - \Omega_1) \cos \theta \quad (3)$$

за счет которого и осуществляется
полезная работа δW

$$\delta W = (P_2 - P_1) (V_1 - V_2) =$$

$$= \frac{2 \cos \theta}{r} \left| \frac{\partial \phi}{\partial T} \right| (T_1 -$$

$$- T_2) \frac{(\Omega_2 - \Omega_1) \cdot r}{K} \quad (4)$$

где ϕ - коэффициент поверхностного
натяжения жидкости 4;
 θ - угол смачивания ($\theta > 90^\circ$);
 K - коэффициент формы пор и ка-
пилляров с радиусом r частиц
5 капиллярно-пористого тела,
устанавливающий связь между
площадью Ω_n поверхности и

$$\text{объемом } V_n \text{ пор: } \Omega_n = K \frac{V_n}{r}.$$

При отсутствии регенерации тепла
термический КПД термодинамического
цикла η при реализации способа-про-
тотипа определяется равенством

$$\eta = \frac{\Delta q}{\Delta q_1 + \Delta q_2} =$$

$$= \frac{\left| \frac{\partial \phi}{\partial T} \right| (\Omega_2 - \Omega_1) (T_1 - T_2) \cos \theta}{C(T_1 - T_2) + \left| \frac{\partial \phi}{\partial T} \right| (\Omega_2 - \Omega_1) T_1 \cos \theta} \quad (5)$$

из которого следует, что

$$\eta < \eta_k = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (6)$$

где η_k - термический КПД предельного
цикла Карно.

В случае же осуществления полной
регенерации тепла ($\Delta q_1 = \Delta q_3$) тер-
мический КПД термодинамического цик-
ла при реализации способа-прототипа
равен КПД предельного цикла Карно

$$\eta = \frac{\Delta q}{\Delta q_2} = \eta_k \quad (7)$$

но это требует создания в тепловом
двигателе весьма эффективной системы
регенерации тепла (КПД регенерирую-
щего устройства должен быть близок к
100%), что усложняет конструкцию дви-
гателя и делает его громоздким, не
говоря уже о том, что практически
невозможно регенерировать все тепло
 Δq_3 .

Расчет величин изменения энтропии
 $\Delta S_{\theta-1}$ и $\Delta S_{\theta-2}$ и соответственно теплот
 Δq_1 и Δq_3 по формулам (1) и (2) про-
изведен для гетерогенной термодина-
мической системы 3, в которой исполь-
зованы жидкости 4, поверхностное на-
тяжение которых линейно зависит от
температуры, т.е. $\frac{\partial \phi}{\partial T} = \text{const}$, а $\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} = 0$ (линия g на фиг. 5). Такую зави-
симость имеют большинство жидкостей
в природе.

Однако, наряду с подобными, суще-
ствуют жидкости с нелинейной зависи-
мостью поверхностного натяжения от
температуры. Например, муравьиная
кислота, фенол и в какой-то степени
вода характеризуются зависимостью,
для которой характерно соотношение
 $\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} < 0$ (см. линию e на фиг. 5), а
для триолеина, трипалмитина и ряда
синтетических жидкостей характерна
зависимость, представленная на
фиг. 5 кривой ж $\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} > 0$.

В соответствии с описываемым изображением в качестве одной из компонент гетерогенной системы 3 используют как раз жидкость 4 с характеристикой $\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} > 0$ (кривая ж на фиг. 5).

Изменение энтропии гетерогенной системы 3, содержащей такую жидкость 4, в процессах нагрева и охлаждения показано на фиг. 3.

В общем случае суммарное изменение энтропии ΔS^Z гетерогенной системы 3, определяющее величину затрат тепла Δq_1^* и Δq_2^* соответственно на нагрев и на охлаждение системы 3, равно

$$\Delta S^Z = \Delta S_T^0 + \Delta S_{*}^0 + \Delta S_{*}^{\Omega} \quad (8)$$

где ΔS_T^0 и ΔS_{*}^0 — изменение энтропии объемной фазы соответственно частиц 5 твердого тела и жидкости 4 системы 3;

ΔS_{*}^{Ω} — изменение энтропии поверхностной фазы жидкости 4.

С достаточной для практики точностью можно считать теплоемкость гетерогенной системы 3, зависящей в основном от теплоемкости жидкости 4, т.е. справедливо неравенство вида (с использованием равенства (8))

$$\Delta S_T^0 \ll \Delta S_{*}^0 + \Delta S_{*}^{\Omega} \quad (9)$$

Величины изменения энтропии ΔS_{*}^0 и ΔS_T^0 объемных фаз соответственно жидкости 4 и частиц 5 твердого тела и соответствующие затраты тепла на их нагрев и охлаждение определяются в соответствии с формулами (1) и (2), т.е. процессы нагрева и охлаждения объемных фаз являются обратимыми.

Что касается затрат тепла на нагрев и охлаждение поверхностной фазы жидкости 4, то эти затраты определяются уже величиной изменения поверхностной энтропии ΔS_{*}^{Ω} жидкости 4. В свою очередь, величина ΔS_{*}^{Ω} при $\Omega = \text{const}$ зависит от природы жидкости 4 (знака второй производной $\frac{\partial^2 G}{\partial T^2}$), капиллярно-пористого тела частиц 5 (угол смачивания θ) и направления процесса: нагрев ($\Delta T > 0$)

или охлаждение ($\Delta T < 0$). Величина ΔS_{*}^{Ω} определяется равенством, вытекающим из термодинамики поверхностных явлений

$$\Delta S_{*}^{\Omega} = - \cos \theta \left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right)_{cp} \Delta T \quad (10)$$

где $\left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right)_{cp}$ — среднее значение второй производной в интервале температур $\Delta T = T_1 - T_2$.

Поскольку в соответствии с описываемым способом преобразования тепла в работу используют жидкость 4 с характеристикой $\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} > 0$ (см. кривую ж на фиг. 5), то из равенства (10) следует, что при нагреве ($\Delta T > 0$) величина $\Delta S_{*}^{\Omega} < 0$. Физически это означает, что требуется меньше тепла, чтобы нагреть молекулы этой жидкости 4, находящейся на межфазной поверхности, чем молекулы жидкости 4, которые находятся внутри объема системы 3.

Однако, учитывая, что в процессе нагрева а-б (см. T-S диаграмму на фиг. 3) площадь Ω_1 межфазной поверхности минимальна (по крайней мере, ничтожно мала по сравнению с площадью Ω_2 чрезвычайно развитой межфазной поверхности при заполнении пор частиц 5 жидкостью 4), справедливым и обоснованным будет допущение: $\Delta S_{*}^{\Omega} = 0$. Другими словами, в процессе нагрева а-б к гетерогенной системе 3 подводится тепло Δq_1^* на нагрев фактически объемной фазы

$$\begin{aligned} \Delta q_1^* &= \Delta q_1^T + \Delta q_2^* = (\Delta S_T^0 + \\ &+ \Delta S_{*}^0) T_{cp} = [C_T] \cdot \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot T_{cp} + \\ &+ [C_{*}] \cdot \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot T_{cp} = \Delta q_1, \end{aligned} \quad (11)$$

т.е. нет принципиальной разницы между процессами нагрева а-б по способу-прототипу (фиг. 1) и по описываемому способу (фиг. 3).

Принципиально иная картина возникает при охлаждении гетерогенной термодинамической системы 3 (процесс в-г на T-S диаграмме фиг. 3, совершаемый при $\Omega_2 = \text{const}$) с использованием жидкости 4, для которой справедливо неравенство $\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} > 0$. Из равенства

(10) следует, что при охлаждении ($\Delta T < 0$) величина ΔS_{Σ}^* становится положительной и весьма большой по модулю из-за чрезвычайно развитой площади Ω_2 межфазной поверхности. Физически это означает, что часть теплоты, подведенной к системе 3 в процессе нагрева а-б ($\Delta q_1^* \approx \Delta q_1$), остается связанной в системе 3 в виде поверхностной теплоты Δq_3^{Ω}

$$\Delta q_{\Sigma}^{\Omega} = \Delta S_{\Sigma}^{\Omega} \cdot T_{cp} \quad (12)$$

где $\Delta S_{\Sigma}^{\Omega} = \Delta S_{b-g}$ (см. T-S диаграмму на фиг. 3).

Это происходит в силу чрезвычайно развитой межфазной поверхности контакта с площадью Ω_2 и специфики при-
меняемой жидкости 4 ($\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \gg 0$).

С учетом равенств (1), (2), (8) и (10) изменение энтропии гетерогенной термодинамической системы 3 ΔS_{3-4}^* в процессе охлаждения в-г (см. T-S диаграмму на фиг. 3) определяется равенством

$$\Delta S_{3-4}^* = \Delta S^{\Sigma} = -[C_T] \ln \frac{T_1}{T_2} - [C_{\Sigma}] \ln \frac{T_1}{T_2} + \Omega_2 \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} (T_1 - T_2) \quad (13)$$

Соответствующим подбором физических характеристик системы 3 можно обеспечить равенство нулю алгебраической суммы двух слагаемых равенства (13)

$$[C_{\Sigma}] \ln \frac{T_1}{T_2} - \Omega_2 \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} \cdot (T_1 - T_2) = 0 \quad (14)$$

и тогда справедливы будут выражения для изменения энтропии ΔS_{3-4}^* и тепла Δq_3^*

$$\Delta S_{3-4}^* = -[C_T] \ln \frac{T_1}{T_2}; \quad (15)$$

$$\Delta q_3^* = \Delta S_{3-4}^* \cdot T_{cp} = -[C_T] \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot T_{cp} \quad (16)$$

Из совместного рассмотрения равенств (13) - (16) следует, что та часть тепла $\Delta q_1^* = [C_{\Sigma}] \ln \frac{T_1}{T_2} \cdot T_{cp}$,

которая подведена к системе 3 в процессе а-б (см. T-S диаграмму на фиг. 3) для нагрева объемной фазы жидкости 4, оседает в гетерогенной системе 3 при ее охлаждении в виде поверхностной теплоты Δq_3^{Ω}

$$\begin{aligned} \Delta q_3^{\Omega} &= \Delta q_1^* = \Delta S_{\Sigma}^{\Omega} \cdot T_{cp} = \\ &= \Omega_2 \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} (T_1 - T_2) \cdot T_{cp} = \Omega_2 \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} \cdot \frac{(T_1 - T_2)^2}{\ln \frac{T_1}{T_2}} \quad (17) \end{aligned}$$

В силу этого суммарное количество тепла Δq_3^* , отведенного от гетерогенной системы 3 в процессе ее охлаждения (см. T-S диаграмму на фиг. 3, процесс в-г), незначительно (см. неравенство (9)), что дает основание квалифицировать этот процесс охлаждения как квазидиабатический (при допущении $\Delta q_3^* \rightarrow 0$).

В связи с вышеизложенным при осуществлении способа преобразования тепловой энергии в механическую нет необходимости в создании регенерирующих устройств для тепловых двигателей, так как все тепло Δq_1^* , подведенное к гетерогенной системе 3 в процессе ее нагрева (см. T-S диаграмму на фиг. 3, процесс а-б) практически полностью оседает в системе 3 после ее охлаждения (процесс в-г на T-S диаграмме фиг. 3), и справедливо неравенство $\Delta q_3^* \ll \Delta q_1^*$, в то время как при реализации способа-прототипа (фиг. 1) выполняется равенство $\Delta q_1 = \Delta q_3$.

Увеличение площади T-S диаграммы термодинамического цикла а-б-в-г-а в соответствии с описываемым способом (фиг. 3) по сравнению с площадью термодинамического цикла а-б-в-г в способе-прототипе на величину площади треугольника в-г-г на T-S диаграмме фиг. 3 означает увеличение термического КПД при реализации описываемого способа вплоть до значений, близких к термическому КПД предельного цикла Карно, без необходимости регенерации тепла.

Критерий физической реализуемости описываемого способа преобразования энергии следует из равенства (14), которое после преобразований можно записать в виде

$$V_* \rho_* C_* \ln \frac{T_1}{T_2} = K \frac{V_*}{r} \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} \cdot (T_1 - T_2) \quad (18)$$

Отсюда следует выражение для критерия физической реализуемости описываемого способа преобразования

$$r = \frac{K \cos \theta \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} \right)_{cp} \cdot (T_1 - T_2)}{\rho_* C_* \ln \frac{T_1}{T_2}} \quad (19)$$

С учетом вышеизложенного сущность описываемого способа заключается в следующем.

В качестве одной из компонент гетерогенной термодинамической системы 3 берут жидкость 4, у которой вторая производная $\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} > 0$, (например, трипалмитин или триолеин), и для заданного интервала температур $T_2 \sim T_1$, в котором осуществляют преобразование тепловой энергии в механическую, с учетом плотности ρ_* и удельной теплоемкости C_* этой жидкости 4 рассчитывают по уравнению (19) величину радиуса r микропор, подставляя в выражение (19) значение $K = 3$ (для шаровидной поры) и $\cos \theta$ по известному значению угла смачивания ($\theta > 90^\circ$) для данного сочетания жидкость 4 - твердое тело частиц 5. Зная значение r , подбирают требуемую степень дисперсности капиллярно-пористого тела частиц 5, в качестве которого можно использовать силикагели, алумосиликаты, цеолиты, молекулярные сита, широко применяемые в катализной промышленности, а также высокодисперсные фторорганические или кремнийорганические соединения. Как правило, величина r , вычисленная по уравнению (19), составляет 8-20 Å, а в катализной промышленности имеются такие мелкодисперсные материалы.

Полученную указанным образом гетерогенную термодинамическую систему 3 жидкость 4 с $\frac{\partial^2 \phi}{\partial T^2} > 0$ - капиллярно-пористое тело частиц 5 с вычисленным

радиусом r его пор подвергают термомеханическому воздействию в соответствии со способом, термодинамический цикл которого представлен на фиг. 3 и 4.

В процессе а-б к гетерогенной системе 3 подводят тепло Δq_1^* от источника 8, нагревая ее от температуры T_2 до T_1 при минимальной площади Ω_1 межфазной поверхности контакта и максимальном объеме V_1 системы 3. При этом капиллярное давление жидкости 4 в системе 3 снижается от значения P_2 до P_1 из-за снижения поверхностного натяжения жидкости 4 от значения ϕ_2 до ϕ_1 (см. P-V диаграмму на фиг. 4). Очевидно, что тепло Δq_1^* на нагрев равно теплу Δq_1 в способе-прототипе (см. T-S диаграмму на фиг. 1 и положение частей устройства для реализации описываемого способа на фиг. 6).

После этого в процессе б-в (фиг. 3) при постоянных максимальной температуре T_1 и минимальном давлении P_1 сжимают систему 3 до объема V_2 , развивая межфазную поверхность контакта до максимального значения ее площади Ω_2 . Для этого к гетерогенной системе 3 подводят от источника 8 скрытое тепло Δq_2^* изобарно-изотермического образования поверхности, которое в точности равно теплу Δq_2 образования поверхности в термодинамическом цикле способа-прототипа (фиг. 1). В процессе б-в, сжимая систему 3, совершают небольшую работу $P_1 (V_2 - V_1)$, при этом поршень 2 перемещается влево, и жидкость 4 системы 3 заполняет капилляры частиц 5 ее пористого тела (см. фиг. 7). При перемещении поршня 2 влево прекращается при помощи блока 7 управления взаимодействие камеры 1 с источником 8 нагрева, а источник 9 охлаждения, наоборот, начинает воздействовать на камеру 1 и помещенную в ней гетерогенную термодинамическую систему 3.

Далее в процессе в-г (см. T-S диаграмму на фиг. 3) охлаждают гетерогенную систему 3 от температуры T_1 и до T_2 при неизменной чрезвычайно развитой межфазной поверхности с площадью Ω_2 и минимальном объеме V_2 системы 3 (см. P-V диаграмму на фиг. 4). При этом поверхностное натяжение

жидкости 4 в порах и капиллярах частиц 5 системы 3 достигает своего максимального значения δ_2 , что вызывает рост капиллярного давления до максимальной величины P_2 . Если это обычная гетерогенная система 3 по способу-прототипу (фиг. 1), то процесс охлаждения характеризуется линией в-г (фиг. 3), и от системы отводят тепло Δq_3 , которое в точности равняется Δq_1 (см. T-S диаграмму на фиг. 1), т.е. в результате обратных процессов нагрева и охлаждения теплосодержание гетерогенной системы 3 не изменяется.

Однако, в силу специфичности гетерогенной термодинамической системы 3 по описываемому способу $\left(\frac{\partial^2 \delta}{\partial T^2} > 0\right)$

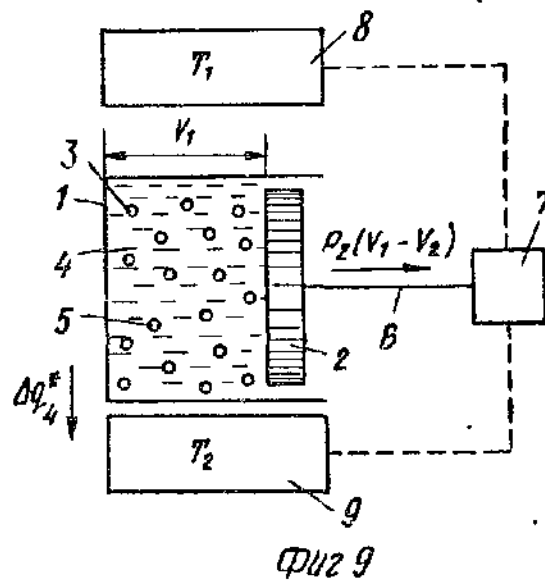
и расчетное значение радиуса r микропор), а также из-за чрезвычайно развитой межфазной поверхности контакта поверхностная энтропия жидкости 4 системы 3 в процессе охлаждения увеличивается (процесс в-г на фиг. 3) на величину $\Delta S_{\text{в-г}}^{\text{ср}}$ (отрезок г-т на T-S диаграмме фиг. 3) и полностью компенсируется снижением объемной энтропии жидкости 4 в процессе охлаждения (отрезок г-т характеризует изменение объемной энтропии, этот отрезок, естественно, равен отрезку г-т).

Результатом указанного теплофизического явления в процессе охлаждения гетерогенной системы 3 является резкое снижение количества тепла Δq_3^* отводимого от гетерогенной системы 3 в процессе в-г (фиг. 3) по сравнению с теплом Δq_3 процесса в-г в способе-прототипе (фиг. 1). Суммарное изменение энтропии $\Delta S^{\text{ср}}$ гетерогенной системы 3 в процессе в-г (фиг. 3) сводится к уменьшению объемной энтропии лишь капиллярно-пористого тела частиц 5 (отрезок г-т на T-S диаграмме фиг. 3), нагретого ранее в процессе а-б до температуры T_1 . Физически это означает, что в процессе охлаждения в-г (T-S диаграмма на фиг. 3) теплоемкость гетерогенной системы 3 возрастает из-за резкого увеличения поверхностной теплоемкости. Именно по этой причине от гетерогенной системы 3 удалось отвести лишь незначительную часть тепла Δq_3^* , равную изменению теплосодержания лишь капиллярно-по-

ристого тела частиц 5, которая в балансе теплосодержания всей гетерогенной системы 3 (как указывалось раньше) составляет исчезающе малую долю. Основная доля тепла Δq_1^* осела в гетерогенной системе 3, чтобы в период следующего такта г-а превратиться в полезную работу.

После охлаждения гетерогенной системы 3 до температуры T_2 (при постоянных максимальной площади Ω_2 поверхности межфазного контакта и минимальном объеме V_2) гетерогенную систему 3 связывают с нагрузкой (процесс г-а на T-S диаграмме фиг. 3), и она расширяется до значения ее объема V_1 с вытеснением жидкости 4 из пор и капилляров частиц 5 и перемещением поршня 2 вправо (см. фиг. 9) при постоянных минимальной температуре T_2 и максимальном давлении P_2 (см. P-V диаграмму на фиг. 4). Отмеченный процесс г-а изобарно-изотермического сокращения межфазной поверхности происходит самопроизвольно, и за счет именно этого процесса совершается полезная работа. В процессе г-а (см. T-S диаграмму на фиг. 3) от системы 3 отводится количество тепла Δq_4^* , которое несколько больше, чем величина Δq_4 в способе-прототипе (фиг. 1), но по абсолютному уровню величины Δq_4 и Δq_4^* сравнительно малы и соизмеримы, так как рабочие такты г-а в обоих сравниваемых случаях происходят при низкой температуре T_2 . На этом рабочем такте г-а термодинамический цикл завершается, и система 3 приходит в исходное состояние (точка а на T-S и P-V диаграммах цикла на фиг. 3 и 4). После перемещения поршня 2 вправо (см. фиг. 9) прекращается при помощи блока 7 взаимодействие камеры 1 с источником 9 охлаждения, а источник 8 нагрева, наоборот, начинает воздействовать на камеру 1. Далее описанный цикл повторяется.

Из сопоставительного анализа термодинамических циклов а-б-в-г-д на фиг. 1 и 3 следует, что в описываемом способе (фиг. 3) площадь T-S диаграммы больше, чем аналогичная площадь в способе-прототипе (фиг. 1) на величину площади треугольника в-г-т (при условии, что в известном способе не применяют регенерацию



Составитель Л. Тугарев

Редактор О. Юркова Техред Л. Сердюкова Корректор Г. Решетник

Заказ 51/ДСИ

Тираж 208

Подписное

ВНИИИ 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