



Кшевецкий О.С.

Черновицкий торгово-экономический институт
Киевского национального торгово-экономического университета,
Центральная площадь, 7, г. Черновцы, 58002, Украина,
e-mail: kshevov@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЧАСТНОМ СЛУЧАЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА МЕЖДУ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ И ПОДВИЖНЫМ ВЕЩЕСТВОМ, ЧАСТЬ 2

Теоретически проанализированы особенности использования компрессионных и термоэлектрических тепловых насосов в частном случае способа тепломассообмена между подвижным веществом и тепловыми насосами, при котором подвижное вещество (или хотя бы часть этого подвижного вещества) приводят в тепловой контакт с теплопоглощающей и тепловыделяющей теплообменными частями по крайней мере двух тепловых насосов. Приведены примеры соответствующих расчетов. Описаны некоторые варианты возможных технических решений. Библ. 11, рис. 9, табл. 2.

Ключевые слова: тепловой насос, подвижное вещество, тепломассообмен, эффективность, энергоэффективность, компрессионный тепловой насос, термоэлектрический тепловой насос, термоэлектрический модуль.

Введение

Эта работа (часть 2) является продолжением предыдущей работы [1] (части 1). В этой части 2 будем использовать сокращения и аббревиатуры, которые были введены в [1], в том же смысле, как и в [1]. В [1] были получены математические выражения для оценки эффективности исследуемого способа тепломассообмена. Эти математические выражения имеют общий характер и в них непосредственно не учитывается специфика тех или иных отдельных типов ТН. В то же время хорошо известно, что различные типы ТН имеют различные свойства.

Целью данной работы является создание теоретических предпосылок для приближенной количественной оценки эффективности (в первую очередь – энергоэффективности) исследуемого способа тепломассообмена с использованием компрессионных ТН (КТН) и термоэлектрических ТН (ТТН). Для реализации этой цели в данной работе проведен анализ соответствующих особенностей КТН и ТТН. Также задачей этой работы является анализ особенностей применения КТН и ТТН в исследуемом способе тепломассообмена и получение математических выражений, которые можно было бы использовать для оценки эффективности исследуемого способа тепломассообмена с использованием КТН и с использованием ТТН. Также задачей этой работы является проведение соответствующих оценочных расчетов.

КТН в исследуемом способе тепломассообмена

Для КТН при расчетах в начальном приближении используют усредненную величину

отопительного коэффициента, который имеет значение примерно 0.5 от значения отопительного коэффициента соответствующего цикла Карно [2, 3]. Используем это здесь для соответствующих дальнейших оценочных расчетов. Примем:

$$\mu_i^{KTH} = B_i^{KTH} \mu_{K,i}, B_i^{KTH} = const = 0.5, \quad (2.1)$$

где μ_i^{KTH} – отопительный коэффициент i -го КТН; B_i^{KTH} – безразмерный множитель, учитывающий отличие отопительного коэффициента i -го КТН от отопительного коэффициента идеального ТН, который при тех же условиях работает по циклу Карно; $\mu_{K,i}$ – отопительный коэффициент идеального ТН, который работает по циклу Карно при тех же условиях, что и i -й КТН.

Рассмотрим случай исследуемого способа тепломассообмена, в котором: все ТН – это КТН; ПВ в его входном потоке охлаждаются всеми отдельно взятыми КТН согласно рис. 2 [1] так, что все изменения температуры ПВ в результате ее ТК с каждой отдельно взятой ТЧ КТН во входном потоке этого ПВ одинаковы (допущение 9 [1]). Для этого случая $\Delta T_{1,i}^{ПВ} = \Delta T_{cool,i}^{ПВ}$, $\Delta T_1^{ПВ} = \Delta T_{cool}^{ПВ}$, $\Delta T_{2,i}^{ПВ} = \Delta T_{hot,i}^{ПВ}$, $\Delta T_2^{ПВ} = \Delta T_{hot}^{ПВ}$. Для определения суммарного перепада температур ПВ в его исходном потоке в таком случае можно использовать выражения (43) [1] и формулу (2.1). В табл. 2.1 приведен пример результатов соответствующих расчетов.

Таблица 2.1

Пример результатов оценочных расчетов эффективности исследуемого способа тепломассообмена с использованием КТН для случая охлаждения ПВ в его входном потоке всеми отдельно взятыми КТН согласно допущениям 9 [1] (согласно рис.2 [1]; $T_{2,n}^{ПВ} = T_{1,n}^{ПВ}$

$$B_i^{KTH} = const = 0.5)$$

Общее количество ТТН, n	Входная температура ПВ $T_{1.0}^{ПВ}$, К	Суммарный перепад температур ПВ в его входном потоке $\Delta T_1^{ПВ}$, К	Суммарный перепад температур ПВ в его выходном потоке $\Delta T_2^{ПВ}$, К	$\frac{\Delta T_1^{ПВ}}{\Delta T_2^{ПВ} - \Delta T_1^{ПВ}}$
1	303.15	24	29.719	4.1965
2	303.15	24	26.443	9.8241

ТТН в исследуемом способе тепломассообмена

ТТН могут быть изготовлены на основе термоэлектрических модулей (ТМ). Холодильный и отопительный коэффициенты ТТН могут быть меньше, чем соответствующие холодильный и отопительный коэффициенты ТМ [4 – 6]. Для того, чтобы это учесть, примем, что для i -го ТТН его холодильный коэффициент $\varepsilon_i^{ТТН}$ и его отопительный коэффициент $\mu_i^{ТТН}$ определяются из соотношений:

$$\varepsilon_i^{ТТН} = C_i^{ТТН} \cdot \varepsilon_i^{ТМ}, C_i^{ТТН} \leq 1, \quad (2.2)$$

$$\mu_i^{ТТН} = D_i^{ТТН} \cdot \mu_i^{ТМ}, D_i^{ТТН} \leq 1, \quad (2.3)$$

где C_i^{TTH} – безразмерный множитель, учитывающий отличие холодильного коэффициента i -го ТТН от холодильного коэффициента ТМ (на основе которого изготовлен этот ТТН), который работает в тех же условиях, что и этот ТТН; D_i^{TTH} – безразмерный множитель, учитывающий отличие отопительного коэффициента i -го ТТН от отопительного коэффициента ТМ (на основе которого изготовлен этот ТТН), который работает в тех же условиях, что и этот ТТН; ε_i^{TM} – холодильный коэффициент ТМ (на основе которого изготовлен i -й ТТН), который работает в тех же условиях, что и i -й ТТН; μ_i^{TM} – отопительный коэффициент ТМ (на основе которого изготовлен i -й ТТН), который работает в тех же условиях, что и i -й ТТН. Для исследуемого способа тепломассообмена может быть желательной работа ТН при возможно больших значениях отопительного и холодильного коэффициентов. Это может быть особенно актуальным для ТТН. Проанализируем, при каких режимах работы ТТН могут иметь сравнительно высокие значения отопительного и холодильного коэффициентов. В ТТН, который изготовлен на основе ТМ, существенную роль играют ТМ. В связи с этим проанализируем, при каких режимах работы ТМ (типичные ТМ, в которых все ветви термоэлементов электрически соединены последовательно, а с точки зрения тепловых потоков – параллельно, например, ТМ ТЕС1-12706) могут иметь сравнительно высокие значения отопительного и холодильного коэффициентов. Для этого используем общеизвестные соотношения для определения холодильного коэффициента ТМ ε^{TM} и отопительного коэффициента ТМ μ^{TM} [4, 7]:

$$\varepsilon^{TM} = \frac{\alpha I T_{cool}^{TM} - \frac{1}{2} I^2 r - k(T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM})}{I^2 r + \alpha(T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM}) I}, \quad (2.4)$$

$$\mu^{TM} = \frac{\alpha I T_{hot}^{TM} + \frac{1}{2} I^2 r - k(T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM})}{I^2 r + \alpha(T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM}) I}, \quad (2.5)$$

где ε^{TM} – холодильный коэффициент ТМ; α – дифференциальный коэффициент Зеебека материала; I – сила тока, протекающего через ТМ; r – общее электрическое сопротивление ТМ; k – теплопроводность ТМ; T_{hot}^{TM} – температура тепловыделяющей ТЧ ТМ; T_{cool}^{TM} – температура теплопоглощающей ТЧ ТМ; μ^{TM} – отопительный коэффициент ТМ.

Обозначим:

$$T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM} = \Delta T^{TM}. \quad (2.6)$$

На основе выражений (2.4) и (2.6) получим:

$$\Delta T^{TM} = \frac{\alpha I T_{cool}^{TM} - I^2 r \left(\varepsilon^{TM} + \frac{1}{2} \right)}{\varepsilon^{TM} \alpha I + k}. \quad (2.7)$$

На основе выражений (2.5) и (2.6) получим:

$$\Delta T^{TM} = \frac{\alpha I T_{hot}^{TM} + I^2 r \left(\frac{1}{2} - \mu^{TM} \right)}{\mu^{TM} \alpha I + k}. \quad (2.8)$$

С использованием выражения (2.7) можно получить графики зависимости ΔT^{TM} от I для фиксированных значений ε^{TM} . Пример таких графиков приведен на рис. 2.1. Из приведенных графиков видно, например, что соответствующий ТМ может иметь значение холодильного коэффициента больше 10 ($\varepsilon^{TM} > 10$) только при достаточно малых значениях разности температур ΔT^{TM} и силы тока I (соответствующие точки на плоскости графиков ограничены кривой для $\varepsilon^{TM} = 10$ и находятся ниже этой кривой).

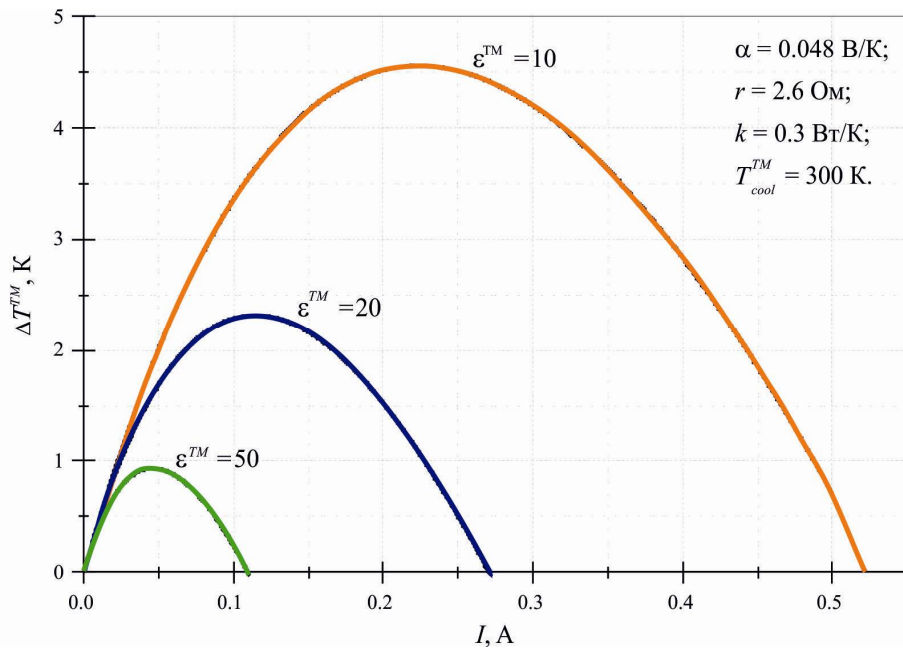


Рис. 2.1. Теоретические зависимости разности температур ΔT^{TM} от силы тока I при фиксированных значениях холодильного коэффициента ε^{TM} для ТМ, который работает при $T_{cool}^{TM} = 300$ К и имеет следующие параметры: $\alpha = 0.048$ В/К; $r = 2.6$ Ом; $k = 0.3$ Вт/К.

Подобные графики можно получить и для фиксированных значений отопительного коэффициента с использованием выражения (2.8).

Случай использования ТТН на основе ТМ в режимах максимальной энергоэффективности

Допустим, что все ТТН, которые используются в исследуемом способе тепломассообмена, изготовлены на основе типичных ТМ (на основе типичных термоэлементов), и эти ТМ работают в режимах максимальной энергоэффективности. Для оценки эффективности исследуемого способа тепломассообмена в этом случае используем общеизвестное выражение для определения холодильного коэффициента термоэлемента, который работает в режиме максимальной энергоэффективности [8]:

$$\varepsilon_{\max}^{TM} = \frac{\sqrt{1 + 0.5Z(T_{hot}^{TM} + T_{cool}^{TM})} - T_{hot}^{TM} / T_{cool}^{TM}}{\sqrt{1 + 0.5Z(T_{hot}^{TM} + T_{cool}^{TM})} + 1} \cdot \frac{T_{cool}^{TM}}{T_{hot}^{TM} - T_{cool}^{TM}}, \quad (2.9)$$

где ε_{\max}^{TM} – холодильный коэффициент ТМ, который работает в режиме максимальной энергоэффективности; Z – термоэлектрическая добротность материала ТМ; T_{hot}^{TM} – темпера-

тура тепловыделяющей ТЧ ТМ; T_{cool}^{TM} – температура теплопоглощающей ТЧ ТМ.

Обозначим:

$$\frac{\sqrt{1+0.5Z(T_{hot}^{TM} + T_{cool}^{TM})} - T_{hot}^{TM} / T_{cool}^{TM}}{\sqrt{1+0.5Z(T_{hot}^{TM} + T_{cool}^{TM})} + 1} = A_{max}^{TM}, \quad (2.10)$$

где A_{max}^{TM} – безразмерный множитель, учитывающий отличие холодильного коэффициента ТМ (который работает в режиме максимальной энергоэффективности) от холодильного коэффициента идеального ТН, который работает по циклу Карно в тех же условиях, что и ТМ. Предположим, что

$$A_{max}^{TTH} = C^{TTH} A_{max}^{TM}, \quad C^{TTH} \leq 1, \quad \text{при условии, что } T_{cool}^{TTH} = T_{cool}^{TM} \text{ и } T_{hot}^{TTH} = T_{hot}^{TM}, \quad (2.11)$$

где A_{max}^{TTH} – безразмерный множитель, введенный в [1], учитывающий отличие холодильного коэффициента ТН на основе ТМ (который работает в режиме максимальной энергоэффективности) от холодильного коэффициента идеального ТН, работающего по циклу Карно в тех же условиях, что и ТН; C^{TTH} – безразмерный множитель, учитывающий возможное отличие холодильного коэффициента ТН от холодильного коэффициента ТМ (на основе которого изготовлен этот ТН), работающего в тех же условиях, что и ТН; A_{max}^{TM} – безразмерный множитель, учитывающий отличие холодильного коэффициента ТМ, работающего в режиме максимальной энергоэффективности и являющегося основой ТН, от холодильного коэффициента идеального ТН, работающего по циклу Карно в тех же условиях, что и ТМ; T_{cool}^{TTH} – температура теплопоглощающей ТЧ ТН; T_{hot}^{TTH} – температура тепловыделяющей ТЧ ТН.

Для фиксированного значения термоэлектрической добротности Z значение A_{max}^{TM} зависит от температур T_{hot}^{TM} и T_{cool}^{TM} .

С использованием выражений (2.10) и (2.11) можно получить графики зависимостей значений A_{max}^{TM} от температуры T_{cool}^{TM} (в частности, при фиксированном значении T_{hot}^{TM}) и A_{max}^{TTH} от температуры T_{cool}^{TTH} (в частности, при фиксированном значении T_{hot}^{TTH}). Пример таких графиков приведен на рис. 2.2.

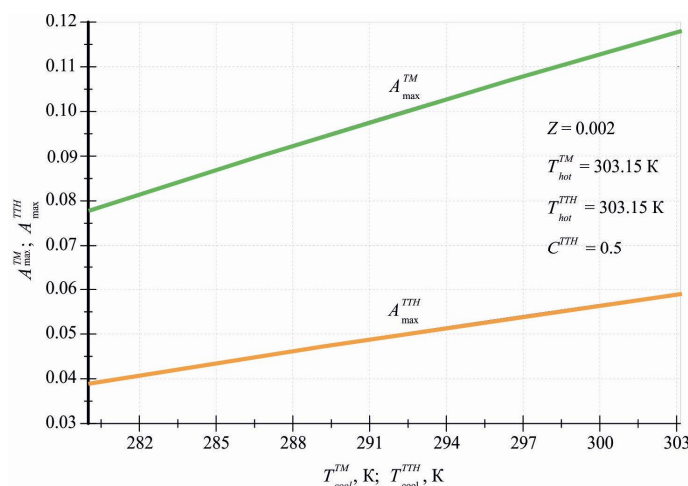


Рис. 2.2. Графики зависимостей значений A_{max}^{TM} от температуры T_{cool}^{TM} для случая, когда $Z = 0.002$, $T_{hot}^{TM} = 303.15$ К и A_{max}^{TTH} от температуры T_{cool}^{TTH} для случая, когда $Z = 0.002$, $T_{hot}^{TTH} = 303.15$ К и $C^{TTH} = const = 0.5$ (графики получены на основе выражений (2.10) и (2.11)).

В связи с приведенной здесь информацией о значениях A_{\max}^{TM} и A_{\max}^{TTM} отметим, что на основе выражений (2), (4), (7), (8) [1], (2.2), (2.9), (2.10), (2.11) получено следующее уравнение для определения температурного режима работы i -го ТТН на основе ТМ, работающего в режиме максимальной энергоэффективности:

$$\frac{\Delta T_{cool,i}^{PB}}{\Delta T_{hot,i}^{PB} - \Delta T_{cool,i}^{PB}} = C_i^{TTN} \frac{\sqrt{1+0.5Z_i(T_{hot,i}^{TTH} + T_{cool,i}^{TTH})} - T_{hot,i}^{TTH} / T_{cool,i}^{TTH}}{\sqrt{1+0.5Z_i(T_{hot,i}^{TTH} + T_{cool,i}^{TTH})} + 1} \frac{T_{cool,i}^{TTH}}{T_{hot,i}^{TTH} - T_{cool,i}^{TTH}}, \quad (2.12)$$

где $\Delta T_{cool,i}^{PB}$ – изменение температуры ПВ вследствие его ТК с теплопоглощающей ТЧ i -го ТТН;

$\Delta T_{hot,i}^{PB}$ – изменение температуры ПВ вследствие его ТК с тепловыделяющей ТЧ i -го ТТН;

Z_i – термоэлектрическая добротность материала i -го ТМ, являющегося основой i -го ТТН;

$T_{hot,i}^{TTH}$ – температура тепловыделяющей ТЧ i -го ТТН;

$T_{cool,i}^{TTH}$ – температура теплопоглощающей ТЧ i -го ТТН.

Такие уравнения можно решать численными методами.

Рассмотрим случай исследуемого способа тепломассообмена, в котором: все ТН – это ТТН, у каждого из которых ТМ, являющийся основой соответствующего ТТН, работает в режиме максимальной энергоэффективности; ПВ в его входном потоке охлаждаются всеми отдельно взятыми ТТН согласно рис. 2 [1] и допущению 9 [1]. В табл. 2.2 приведен пример результатов расчетов для оценки эффективности этого случая исследуемого способа тепломассообмена с использованием решения соответствующих уравнений (2.12) численными методами.

Таблица 2.2

Пример результатов оценочных расчетов эффективности исследуемого способа тепломассообмена с использованием ТТН для случая охлаждения ПВ в его входном потоке всеми отдельно взятыми ТТН согласно рис. 2 [1] и допущением 9 [1] $T_{2,n}^{PB} = T_{1,n}^{PB}$ (с использованием уравнения (2.12); $C_i^{TTN} = const = 0.5$; $Z_i = const = 0.002$)

Общее количество ТТН, n	Входная температура ПВ $T_{1.0}^{PB}$, К	Суммарный перепад температур ПВ в его входном потоке ΔT_1^{PB} , К	Суммарный перепад температур ПВ в его выходном потоке ΔT_2^{PB} , К	$\frac{\Delta T_1^{PB}}{\Delta T_2^{PB} - \Delta T_1^{PB}}$
1	303.15	2	2.2628	7.6092
2	303.15	2	2.1249	16.016
16	303.15	24	29.926	4.0502
17	303.15	24	29.502	4.3618

Некоторые возможные варианты технической реализации исследуемого способа тепломассообмена

Техническая реализация исследуемого способа тепломассообмена с использованием нескольких ТТН может быть несколько усложненной, особенно при большом количестве ТТН.

Решение этого вопроса может быть связано с разработкой и созданием специализированных ТМ. Например, такие ТМ могут содержать, по крайней мере, один термоэлемент, который отделен (тем или иным способом), с точки зрения возможных тепловых потоков (в тепловом отношении) от, по крайней мере, одного другого термоэлемента этого же ТМ. Это, согласно допущению 1 [1], дает возможность термоэлементу ТМ работать в обособленных с точки зрения возможных тепловых потоков тепловых режимах. Соответствующие ТТН на основе таких термоэлементов ТМ (которые отделены с точки зрения возможных тепловых потоков друг от друга) при этом можно рассматривать как отдельные ТТН. ТН в исследуемом способе теплообмена работают в различных тепловых условиях. В связи с этим может быть целесообразным, чтобы соответствующие специализированные ТМ содержали термоэлементы или группы термоэлементов с различными свойствами. Также может быть целесообразным, чтобы ТМ были выполнены с возможностью отдельного электрического подключения их частей в электрические цепи (например, для подключения отдельных термоэлементов или групп термоэлементов к электрическим цепям могут использоваться соответствующие проволочные выводы или клеммы).

На рис. 2.3 приведена упрощенная схема примера такого специализированного ТМ, который можно рассматривать как модифицированный типичный ТМ (например, ТЕС1-12706). Этот специализированный ТМ (рис. 2.3) содержит 16 частей на основе групп термоэлементов с теплопроводными электроизоляционными удлиненными пластинами (например, керамическими) 1, которые отделены с точки зрения возможных тепловых потоков (в тепловом отношении) друг относительно друга с использованием 15-ти слоев теплоизоляции 2. Части этого специализированного ТМ 1 имеют различные свойства, на рис. 2.3 это условно показано различными оттенками серого цвета. С точки зрения электрических соединений этот специализированный модуль имеет 8 частей, от которых отходят 9 электрических проводных выводов 3 для подключения этих частей к электрическим цепям. На рис. 2.3 также условно показаны ПВ и его возможное направление движения 4. Специализированный ТМ (рис. 2.3) отличается от типичного ТМ, в частности, тем, что его термоэлементы соединены в единую конструкцию не двумя теплопроводными электроизоляционными керамическими пластинами квадратной формы, как у типичного ТМ, а 32 удлиненными теплопроводными электроизоляционными пластинами (по 16 шт. с каждой стороны модуля) и слоями теплоизоляции (например, на основе вспененного теплоизоляционного материала). Для использования специализированного ТМ (рис. 2.3) в исследуемом способе теплообмена может понадобиться установка отдельных дополнительных теплообменников (радиаторов) на этот модуль. Это показано на рис. 2.4 (на рис. 2.4 также условно показаны ПВ и его возможное направление движения). Также этот специализированный ТМ может использоваться и без таких теплообменников, например, при непосредственном тепловом контакте ПВ (например, воды) с 32 удлиненными теплопроводными электроизоляционными пластинами).

В частности, для уменьшения термических сопротивлений между термоэлементами ТМ и ПВ в исследуемом способе теплообмена (а также и в других приложениях) могут применяться такие специализированные ТМ, ветви термоэлементов которых электрически соединены теплообменниками (например, медными), которые имеют ТК с ПВ. Через теплообменники может осуществляться подключение специализированного ТМ в электрической цепи. При необходимости теплообменники могут иметь защиту от коррозии (в частности, обусловленной контактом с ПВ) и/или электроизоляцию. Пример такого возможного специализированного ТМ представлен на рис. 2.5. Помимо прочего этот специализированный ТМ имеет теплоизоляцию от окружающей среды. В частности, с

использованием теплоизоляции в этом специализированном ТМ реализованы два канала для движения ПВ.

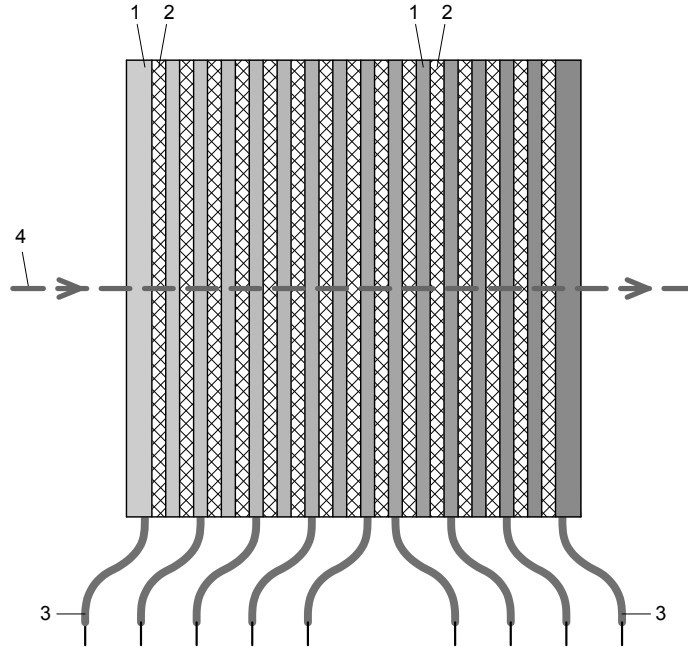


Рис. 2.3. Упрощенная схема возможного специализированного ТМ (модифицированного обычного ТМ), который содержит 16 частей с различными свойствами на основе групп термоэлементов с теплопроводными электроизоляционными удлиненными пластинами, которые отделены с точки зрения возможных тепловых потоков друг от друга. 1 – части специализированного ТМ на основе групп термоэлементов с теплопроводными электроизоляционными удлиненными пластинами; 2 – теплоизоляционные слои; 3 – электрические выводы; 4 – ПВ и его возможное направление движения.

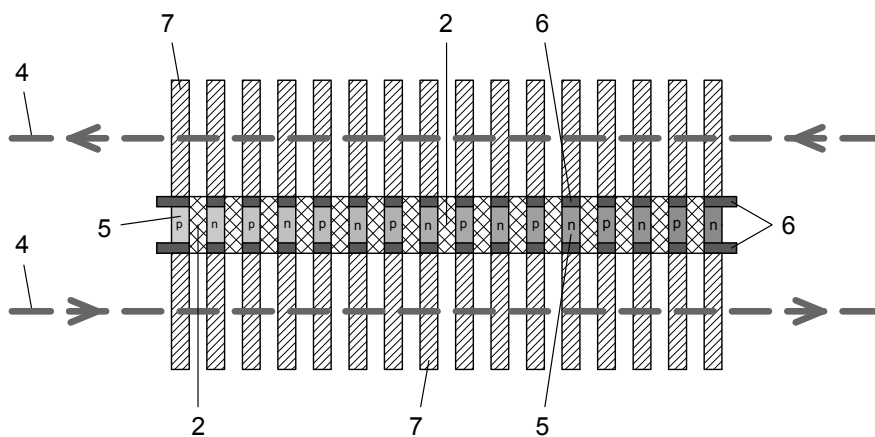


Рис. 2.4. Упрощенная схема возможного варианта специализированного ТМ (представленного на рис. 2.3), с установленными на него 32-мя отдельными теплообменниками (радиаторами). 2 – теплоизоляционные слои; 4 – ПВ и его возможное направление движения; 5 – ветви термоэлементов; 6 – теплопроводные электроизоляционные удлиненные пластины (поперечный вид); 7 – теплообменники (радиаторы), которые установлены на пластины 6.

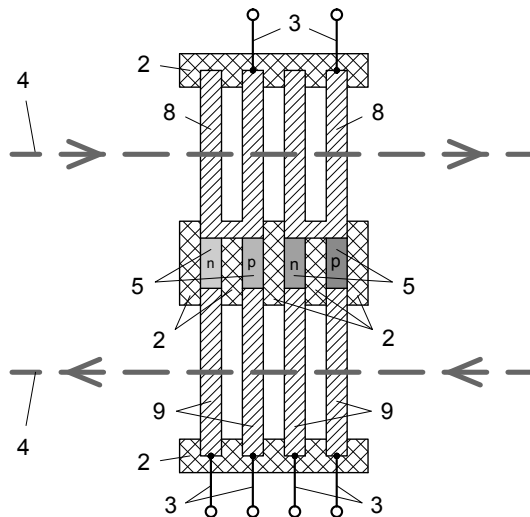


Рис. 2.5. Упрощенная схема возможного специализированного ТМ с использованием теплообменников для электрических соединений, теплоизоляции от окружающей среды и каналами для движения ГТ. 2 – теплоизоляция; 3 – элементы для подключения к электрическим цепям (например, проволочные выводы или клеммы); 4 – ПВ и его возможное направление движения; 5 – ветви термоэлементов; 8 – теплообменники (радиаторы), в частности через которые осуществляется электрическое соединение ветвей термоэлементов и подключения этих ветвей к электрическим цепям; 9 – теплообменники (радиаторы), в частности через которые осуществляется подключение ветвей термоэлементов 5 к электрическим цепям.

До некоторой степени повысить эффективность использования типичных ТМ в исследуемом способе теплообмена (а также и в других приложениях, например, в таких приложениях, в которых термоэлементы типичного ТМ работают в разных условиях) можно, по сравнению с тем случаем, когда на каждой отдельно взятой ТЧ ТМ (керамической пластине) установлен один теплообменник – радиатор (как показано на рис. 2.6), если хотя бы на одну отдельно взятую ТЧ ТМ (на теплопроводную керамическую платину типичного ТМ) установить не один, а несколько отдельных теплообменников (радиаторов). Пример представлен на рис. 2.7.

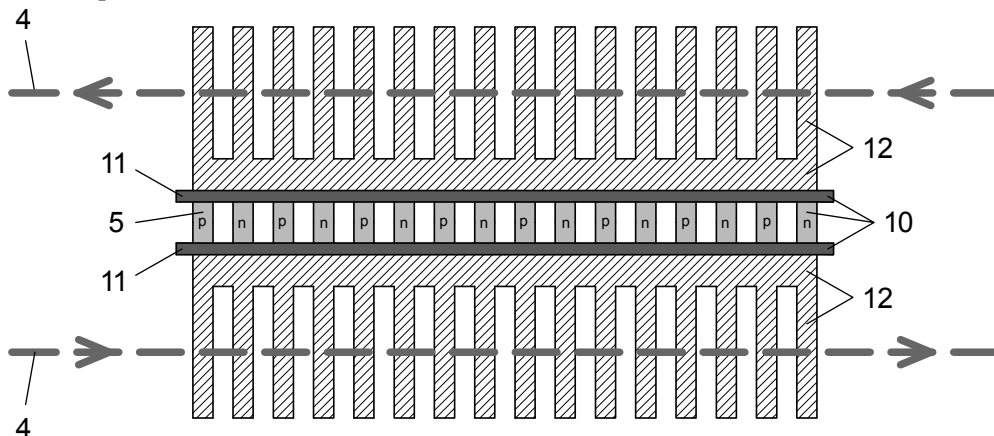


Рис. 2.6. Упрощенная схема типичного ТМ с установленным на каждую из его противоположных ТЧ (теплопроводных керамических пластин) только по одному теплообменнику. 4 – ПВ и его возможное направление движения; 5 – ветви термоэлементов типичного ТМ; 10 – типичный ТМ; 11 – теплопроводные керамические пластины типичного ТМ; 12 – теплообменники (радиаторы), которые являются общими для всех термоэлементов типичного ТМ.

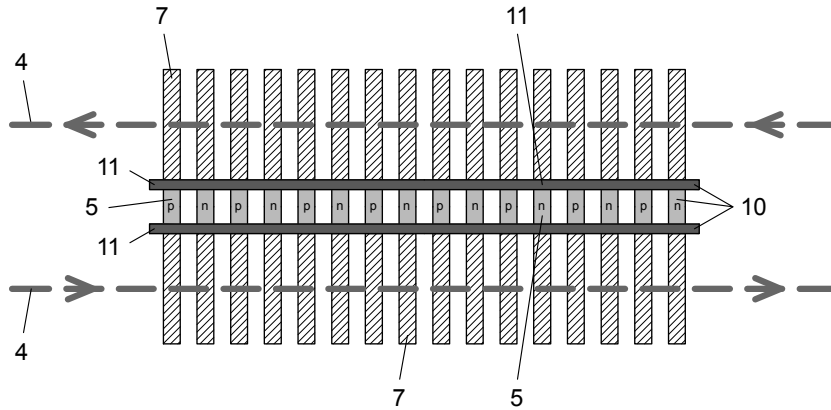


Рис. 2.7. Упрощенная схема типичного ТМ 10 с установленными на него 32-мя теплообменниками (радиаторами) 7 (по 16 шт. с каждой стороны типичного ТМ), которые являются отдельными для соответствующих 16-ти частей этого типичного ТМ (эти части объединены с точки зрения возможных тепловых потоков 2-мя теплопроводными электроизоляционными керамическими пластинами 11); 4 – ПВ и его возможное направление движения; 5 – ветви термоэлементов.

Также в исследуемом способе тепломассообмена могут применяться такие специализированные ТМ, которые можно рассматривать как модифицированные типичные ТМ, термоэлементы которых подобно конструкции типичных ТМ с противоположных сторон соединены двумя теплопроводными пластинами (имеют конструкцию подобную конструкции типичных ТМ), но отличаются от типичных ТМ тем, что содержат части (на основе хотя бы одного термоэлемента) с различными свойствами и/или выполнены с возможностью отдельного электрического подключения их частей в электрические цепи. Упрощенные схемы примеров таких специализированных ТМ представлены на рис. 2.8 и на рис. 2.9. На рис. 2.8 представлен пример упрощенной схемы специализированного ТМ с установленными на него дополнительными отдельными теплообменниками. В этом примере термоэлементы имеют различные свойства, что условно показано на рис. 2.8 различными оттенками серого цвета. На рис. 2.9 представлена упрощенная схема примера специализированного ТМ, который имеет 9 электрических проводных выводов для подключения частей этого специализированного ТМ к электрическим цепям.

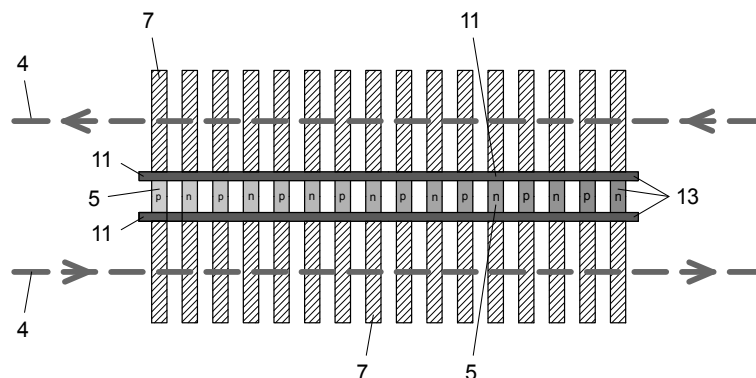


Рис. 2.8. Упрощенная схема возможного специализированного ТМ (модифицированного обычного ТМ), который содержит 16 частей на основе термоэлементов, которые имеют разные свойства. 4 – ПВ и его возможное направление движения; 5 – ветви термоэлементов, которые имеют различные свойства; 7 – отдельные теплообменники (радиаторы); 11 – теплопроводные электроизоляционные пластины; 13 – специализированный ТМ.

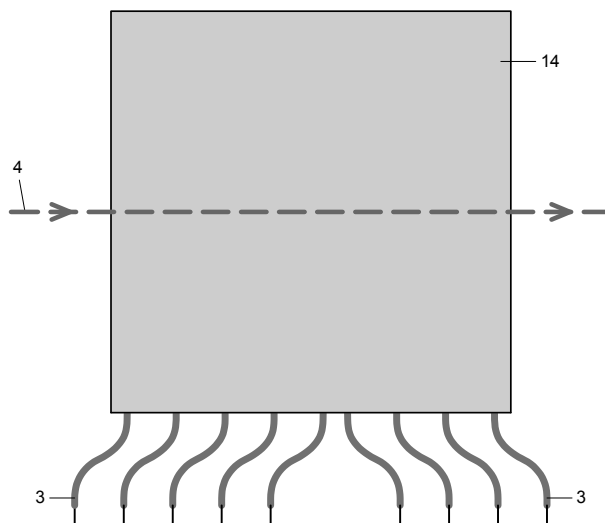


Рис. 2.9. Упрощенная схема возможного специализированного ТМ (модифицированного обычного ТМ), содержащего 9 электрических выводов. 3 – электрические выводы; 4 – ПВ и его возможное направление движения; 14 – часть ТМ на основе термоэлементов, которые с противоположных сторон соединены двумя теплопроводными пластинами.

Возможны также другие специализированные ТМ для исследуемого способа тепломассообмена, которые могут иметь признаки описанных выше специализированных ТМ в различных комбинациях. Описанные выше специализированные ТМ, кроме использования в исследуемом способе тепломассообмена, могут иметь другие приложения (назначения). Подобные описанным выше или принципиально им аналогичные технические решения возможны и при использовании других типов ТН с модульной конструкцией.

Выводы

1. Приведенные в этой работе примеры оценочных расчетов для случаев использования КТН и ТТН в исследуемом способе тепломассообмена подтверждают принципиальную возможность повышения энергоэффективности соответствующих процессов благодаря увеличению количества применяемых при этом ТН [1, 9 – 11].
2. Описаны некоторые возможные варианты технической реализации исследуемого способа тепломассообмена.
3. В то же время для принятия решений относительно практических применений исследуемого способа тепломассообмена могут потребоваться дальнейшие теоретические и/или экспериментальные исследования.

Литература

1. Кшевцевский О.С. Оценка эффективности частного случая процессов тепломассообмена между тепловыми насосами и движущимся веществом, часть 1.// Термоэлектричество.– 2017.– №6.– С.41-56.
2. Bonin J. Heat Pump Planning Handbook. London and New York, Routledge, 2015. 326 p.
3. Снежкин Ю.Ф., Чалаев Д.М., Дабижа Н.А. Анализ энергетических показателей процесса теплонасосной сушки. Промышленная теплотехника. 2017. Том 39, №3. С.47-52.

4. Анатычук Л.И., Прибыла А.В. Сравнительный анализ термоэлектрических и компрессионных тепловых насосов для индивидуальных кондиционеров. Термоэлектричество. –2016. –№2. –С.33-42.
5. Анатычук Л.И., Прибыла А.В. О влиянии качества теплообменников на свойства термоэлектрических тепловых насосов жидкость-жидкость. //Термоэлектричество. –2017. – №5. –С.59-64.
6. Анатычук Л.И., Прибыла А.В. О холодильном коэффициенте термоэлектрических тепловых насосов жидкость-жидкость с учетом энергии на перемещение теплоносителя. Термоэлектричество. 2017. №6. С.34-40.
7. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. М. – Л., Издательство АН СССР, 1960. 188 с.
8. Anatyчук L.I. Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric Power Converters. Kyiv, Chernivtsi, Institute of Thermoelectricity, 2005. 348 p.
9. Кшевецкий О. С. Оценка энергоэффективности способа теплообмена между подвижным веществом и тепловыми насосами. Материалы Всеукраинской научно-практической конференции "Инновационные технологии в гостинично-ресторанном бизнесе" (22-23 марта 2017, г. Киев), Киев, НУХТ, 2017. С.172-174.
10. Кшевецкий О. С. О возможности повышения энергоэффективности процессов теплообмена, предусматривающих нагревание и охлаждение подвижного вещества. Chemical Technology and Engineering (Химическая технология и инженерия): сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции (26-30 июня 2017, г.. Львов), Львов, Издательство Львовской политехники, 2017. С.96-97.
11. Кшевецкий О. С., Штангеева Н.И. О возможности использования нескольких тепловых насосов для повышения энергоэффективности некоторых процессов теплообмена. Тезисы докладов X-й Международной конференции «Проблемы теплофизики и теплоэнергетики» (23-26 мая 2017 г. Киев, Украина), Промышленная теплотехника. 2017. Том 39, №7. С.79-80.

Поступила в редакцию 15.05.2018

O.S. Kshevetsky, cand. Phys. - math. Sciences, assistant professor

Chernivtsi Institute of Trade and Economics
of Kyiv National University of Trade and Economics,
7, Tsentralna Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine,
e-mail: kshevos@gmail.com

**ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF PARTIAL CASE
OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES
BETWEEN HEAT PUMPS AND MOVING SUBSTANCE, PART 2**

Theoretical analysis is made of the peculiarities of using compression and thermoelectric heat pumps in the partial case of heat and mass transfer between moving substance and heat pumps, whereby moving substance (or at least part of this moving substance) is brought into thermal contact with the heat absorbing and heat releasing heat-exchange parts of at least two heat pumps. Examples of

corresponding calculations are given. Some variants of respective possible technical solutions are described. Bibl. 11, Fig. 9, Table 2.

Key words: heat pump, moving substance, heat and mass transfer, efficiency, energy efficiency, compression heat pump, thermoelectric heat pump, thermoelectric module.

References

1. Kshevetsky O.S. (2017). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 1. *J. Thermoelectricity*, 6, 41–56.
2. Bonin J. (2015). *Heat Pump Planning Handbook*. London and New York: Routledge.
3. Snezhkin Yu.F., Chalaiev D.M., Dabizha N.O. (2017). Analiz energetychnykh pokaznykiv protsesu teplonasosnoho sushinnia [Analysis of energy performance of heat pump drying]. *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial Heat Engineering*, 39, 47–52 [in Ukrainian].
4. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V. (2016). Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners. *J. Thermoelectricity*, 2, 33–42.
5. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V. (2017). The influence of quality of heat exchangers on the properties of thermoelectric liquid-liquid heat pumps. *J. Thermoelectricity*, 5, 59–64.
6. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V. (2017). On the coefficient of performance of thermoelectric liquid-liquid heat pumps with regard to energy loss for heat carrier transfer. *J. Thermoelectricity* 6, 34–40.
7. Ioffe A.F. (1960). *Semiconductor Thermoelements*. Moscow- Leningrad: USSR Academy of Sciences.
8. Anatyshuk L.I. (2005). *Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric Power Converters*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.
9. Kshevetsky O.S. (2017). Otsinka energoefektyvnosti sposobu teplomasoobminu mizh rukhomoiu rehovynoiu i tepolvymy nasosamy [Estimation of energy efficiency of a method for heat and mass transfer between moving substance and heat pumps]. *Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Innovatsiini tekhnologii v hotelno-restorannomu biznesi” – Proc. of All-Ukrainian scientific and practical conference “Innovation technologies in hotel and restaurant business”* (Ukraine, Kyiv, March 22–23). Kyiv: NUFT [in Ukrainian].
10. Kshevetsky O.S. (2017). Pro mozhlyvist pidvyshchennia enerhoefektyvnosti procesiv teplomasoobminu, yaki peredbachaiut nahrivannia ta okholodzhennia rukhomoi rehovyny [On the possibility of increasing the energy efficiency of heat and mass transfer processes which involve heating and cooling of moving substance]. *Khimichna tekhnologiia ta inzheneriia: zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - Chemical Technology and Engineering: collection of abstracts of International scientific and practical conference* (Ukraine, Lviv, June 26–30, 2017). Lviv: Lvivska Politehnika [in Ukrainian].
11. Kshevetsky O.S., Shtangeieva N.I. (2017). Pro mozhlyvist vykorystannia dekilkokh teplovykh nasosiv dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti deiakykh procesiv teplomasoobminu [On the possibility of using several heat pumps for increasing energy efficiency of some heat and mass transfer processes]. Tezy dopovidei X Mizhnarodnoi konferentsii “Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky” – Abstracts of X International conference “Problems of thermophysics and heat power engineering” (Ukraine, Kyiv, May 23–26, 2017). *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial Heat Engineering*, 39(7), 79–80 [in Ukrainian].

Submitted 15.05.2018