



Кадирова Д.К.

**Кадирова Д.К., Євдулов О.В.**

ФДБОУ ВПО «Дагестанський державний  
технічний університет»,  
пр. імама Шаміля, 70, Махачкала, 367015, Росія



Євдулов О.В.

### **ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ІНТЕНСИФІКАТОР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ПРОТОЧНОГО ТИПУ**

*Запропонована конструкція термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі, у якій для збільшення коефіцієнта теплообміну між спаями термоелементів в середовищах, що рухаються в транспортних зонах, використаний примусовий продув повітряного потоку у відповідних зазорах за допомогою вентиляторних агрегатів. Розглянута модель приладу, побудована на основі розв'язку рівнянь теплового балансу по потоках середовищ у транспортних зонах, поверхнях термоелектричної батареї, зазорах між транспортними зонами й поверхнями батареї для умов прямопотоку. Проведені теоретичні дослідження інтенсифікатора теплопередачі по розробленій моделі.*

**Ключові слова:** термоелектричний інтенсифікатор теплопередачі, термоелектрична батарея, температура, модель, рухоме середовище, коефіцієнт теплообміну.

*The design of a thermoelectric heat transfer intensifier is proposed in which a forced airflow in the respective gaps by means of fan assemblies is used to increase the coefficient of heat transfer between the thermoelement junctions and the media moving in transport zones. The model of the device based on the solution of heat balance equations for media flows in transport zones, thermopile surfaces, the gaps between transport zones and thermopile surfaces for direct flow conditions is considered. Theoretical studies of the heat transfer intensifier according to the developed model have been carried out.*

**Key words:** thermoelectric heat transfer intensifier, thermopile, temperature, model, moving medium, coefficient of heat exchange.

#### **Вступ**

У наш час актуальними стають задачі дослідження спеціальних технічних засобів для забезпечення інтенсивної теплопередачі від джерел з високими тепловими навантаженнями до приймачів теплоти з метою вирівнювання температурних рівнів об'єктів. Дані питання особливо актуальні для утилізації теплоти, котра виділяється при виконанні тих або інших технологічних процесів на виробництві, відведенні теплоти від охолоджуючих рідин твєлів ядерних реакторів і т.п. [1].

Одним з перспективних напрямків при створенні систем подібного типу є використання термоелектричних перетворювачів енергії, що забезпечують побудову економічних, малогабаритних теплообмінних апаратів із широкими функціональними можливостями по

підтримці заданого теплового режиму. Так, у цій області можна виділити роботи [2-4], де досліджені можливості застосування термоелектричних перетворювачів енергії для інтенсифікації теплообміну між потоками двох рідких або газоподібних середовищ. Однак незважаючи на наявність теоретичних і експериментальних досліджень у даній області усе ще залишається актуальним питання по підвищенню інтенсивності теплообміну між середовищами, оптимізації енергетичних і масогабаритних показників приладів.

**Метою роботи** є теоретичне дослідження термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі, у якому за рахунок використання примусового продуву повітряного потоку уздовж спайв термоелементів забезпечується більш високий коефіцієнт теплообміну між останніми та середовищами, що рухаються в транспортних зонах, температура яких підлягає зміні.

### Конструкція термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі.

Розроблена конструкція приладу для інтенсифікації процесу теплопередачі між потоками двох середовищ, структурна схема якого зображена на рис. 1, а зовнішній вигляд на рис. 2. Апарат складається з термоелектричної батареї (ТЕБ) 1, складеної з ідентичних по розмірах і фізичних властивостей термоелементів, що живляться джерелом електричної енергії (на рис. 1 не показаний), обидві поверхні якої перебувають на деякій відстані від стінок 2 транспортних зон 3 із середовищами, що рухаються в них, 4. На початку й кінці транспортних зон 3 у напрямку, перпендикулярному руху середовищ 4 встановлюються вентиляторні агрегати 5, які живляться від того ж джерела електричної енергії, що й ТЕБ 1. Вентиляторні агрегати 5 здійснюють продув повітря в зазорі між стінками 2 транспортних зон 3 і поверхнями ТЕБ 1, причому один вентиляторний агрегат працює на вдування повітряного потоку, а другий на його видування. ТЕБ 1, транспортні зони 3 і вентиляторні агрегати 5 утворюють тверду механічну конструкцію за допомогою кріпильних пристосувань 6.

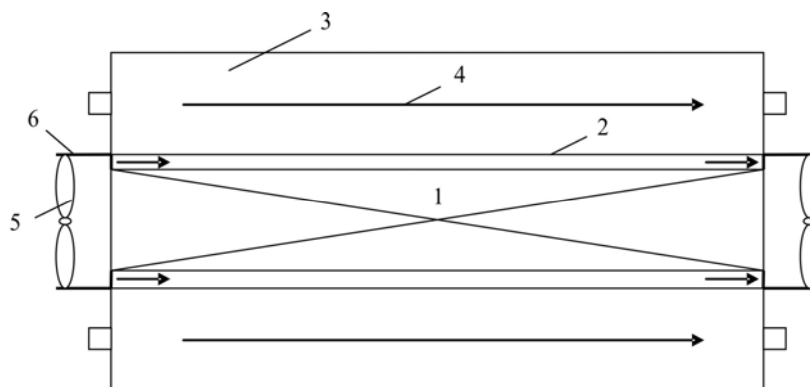


Рис. 1. Структурна схема термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі.



Рис. 2. Зовнішній вигляд термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі.

Термоелектричний інтенсифікатор теплопередачі функціонує в такий спосіб. При пропусканні через ТЕБ 1 постійного електричного струму від джерела енергії на одних спаях термоелементів буде поглинатися теплота Пельтьє, а на інших – виділятися. Якщо холодні спаї термоелементів будуть перебувати в безпосередній близькості зі стінкою 2 транспортної зони 3 з гарячим рухомих середовищем, 4, а гарячі спаї термоелементів – зі стінкою транспортної зони з холодним рухомих середовищем, то за рахунок наявного перепаду температур буде відбуватися інтенсифікація обміну тепловою енергією між двома потоками середовищ. При цьому продув повітря в зазорах між стінками 2 транспортних зон 3 і поверхнями ТЕБ 1 повітряними агрегатами 5 дасть можливість підвищити коефіцієнт теплопередачі між ними за рахунок забезпечення режиму вимушеної конвекції, при якому значення даного коефіцієнта вище, ніж у випадку кондуктивного механізму теплообміну.

### Модель термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі.

Для розглянутої конструкції розроблена математична модель, яка описує електро- і теплофізичні процеси, що протікають у приладі. Модель побудована на основі рівнянь теплового балансу по потоках середовищ у транспортних зонах, поверхнях ТЕБ, зазорах між транспортними зонами й поверхнями ТЕБ [5]. Розглядається умова прямопотоку.

Рівняння теплового балансу в зазорах між стінками транспортних зон і спаями ТЕБ для наведеної схеми виглядають у такий спосіб:

$$W' \frac{dT_1}{dx} = \alpha' L (T_{1ТЕБ} - T_1') \quad (1)$$

$$W' \frac{dT_2}{dx} = \alpha' L (T_{2ТЕБ} - T_2') \quad (2)$$

де  $T_{1ТЕБ, 2ТЕБ}$  – температури відповідно холодних і гарячих спаїв ТЕБ,  $T_{1,2}$  – температури повітряного потоку в зазорах,  $W'$  – повна теплоємність повітряного середовища, що протікає уздовж спаїв ТЕБ (у зазорах) в одиницю часу (дорівнює добутку масової витрати на питому теплоємність середовища),  $L$  – довжина транспортних зон,  $\alpha'$  – коефіцієнт теплообміну між спаями ТЕБ і повітряним середовищем у зазорі.

Рівняння теплового балансу по потоках середовищ у транспортних зонах визначаються зі співвідношень:

$$W_1 \frac{dT_1}{dx} = \alpha_1 L (T_1' - T_1) \quad (3)$$

$$W_2 \frac{dT_2}{dx} = \alpha_2 L (T_2' - T_2) \quad (4)$$

де  $T_{1,2}$  – температури середовищ, що охолоджуються й нагріваються,  $W_1$  – повна теплоємність середовища, що протікає уздовж холодних спаїв ТЕБ в одиницю часу,  $W_2$  – повна теплоємність середовища, що протікає уздовж гарячих спаїв ТЕБ в одиницю часу,  $\alpha'$  – коефіцієнт теплообміну між охолоджуваним повітряним середовищем у зазорі й охолоджуваним середовищем у транспортній зоні,  $\alpha_1$  – коефіцієнт теплообміну між повітряним середовищем, що нагрівається, у зазорі, й середовищем, яке нагрівається у транспортній зоні.

Рівняння теплового балансу на спаях ТЕБ з боку термоелементів мають вигляд:

$$\alpha'(T_1' - T_{1ТЕБ}) = \bar{e}jT_{1ТЕБ} - \frac{1}{2}j^2\rho d - \frac{\lambda}{d}(T_{2ТЕБ} - T_{1ТЕБ}), \quad (5)$$

$$\alpha'(T_{2\text{ТЕБ}} - T_2') = \bar{e}jT_{2\text{ТЕБ}} + \frac{1}{2}j^2\rho d - \frac{\lambda}{d}(T_{2\text{ТЕБ}} - T_{1\text{ТЕБ}}), \quad (6)$$

де  $\bar{e}$  – коефіцієнт термоЕРС термоелементів,  $j$  – густина електричного струму,  $\rho$  – питомий електричний опір віток термоелементів,  $\lambda$  – питомий коефіцієнт теплопровідності віток термоелемента,  $d$  – висота віток термоелементів.

Розв'язок системи рівнянь (1) – (6) знайдено чисельним методом кінцевих елементів. Результати розрахунків представлені на рис.3. У якості середовищ виступала вода, характеристики термоелементів наступні:  $\lambda = 1.5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\rho = 10.65 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\bar{e} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ В/К}$ ,  $d = 0.003 \text{ м}$ . Коефіцієнти теплообміну:  $\alpha_1 = \alpha_2 = 100 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , величини  $W' = 90 \text{ Вт/К}$ ,  $W_1 = W_2 = 120 \text{ Вт/К}$ .

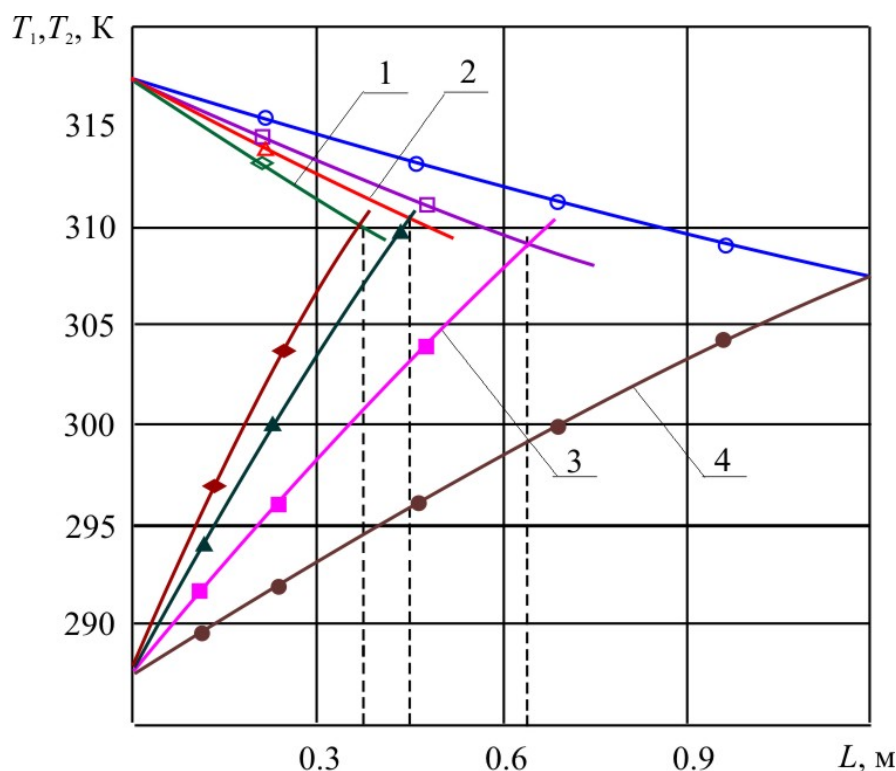


Рис. 3. Зміна температури середовищ на виході з інтенсифікатора теплопередачі в залежності від довжини при різних величинах  $\alpha'$  ( $1 - \alpha' = 90$ ;  $2 - \alpha' = 80$ ;  $3 - \alpha' = 70$ ;  $4 - \alpha' = 60 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ).

Отримані залежності зміни температури середовищ на виході інтенсифікатора теплопередачі від величини коефіцієнта теплообміну між спаями ТЕБ і повітряним середовищем у зазорі при фіксованій величині струму живлення ТЕБ, рівній 5 А, представлені на рис. 3. Згідно отриманим даним збільшення значення  $\alpha'$  дає можливість знизити (збільшити) їх температуру на виході з теплообмінного апарата при його однаковій довжині. Так зміна  $\alpha'$  на  $10 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  у середньому змінює температуру середовища, що охолоджується, на 2 К, а що нагрівається – на 3 К.

На рис. 4 представлені графіки зміни граничних довжин ТЕБ залежно від значення  $\alpha'$ , тобто тих довжин, при яких температури рідин на виході з інтенсифікатора теплопередачі рівні між собою. Як впливає з представлених даних, чим більше різниця температур теплоносіїв на

вході в пристрій, тим більша довжина ТЕБ, необхідна для втримання режиму інтенсифікації. Графіки носять монотонно спадаючий характер залежно від коефіцієнта теплообміну між спаями ТЕБ і повітряним середовищем у зазорі. Чим більша різниця температур середовищ на вході, тим різкіше спадають функції  $L = L(\alpha')$  при постійному струмі живлення  $I = 5$  А.

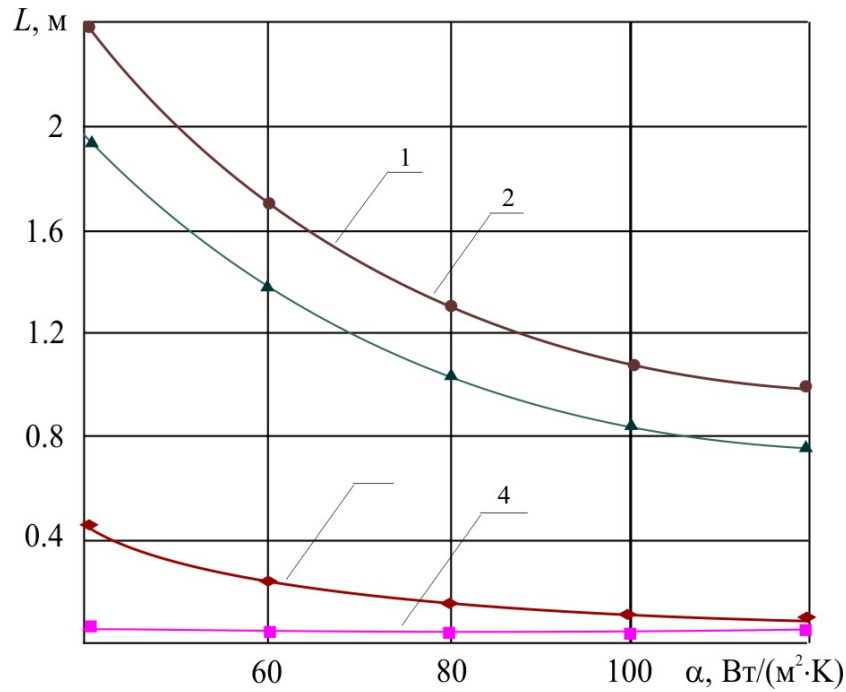


Рис. 4. Залежності граничних довжин ТЕБ в режимі інтенсифікації від коефіцієнта заповнення при різних значеннях перепаду температури на вході в інтенсифікатор теплопередачі (1 –  $\Delta T = 40$ ; 2 –  $\Delta T = 30$ ; 3 –  $\Delta T = 10$ ; 4 –  $\Delta T = 5$  К;  $I = 5$  А).

#### Висновки.

1. Запропонована конструкція термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі, у якій для збільшення коефіцієнта теплообміну між спаями термоелементів та рухомих в транспортних зонах середовищ використаний примусовий продув повітряного потоку у відповідних зазорах за допомогою вентиляторних агрегатів.
2. Розроблена модель термоелектричного інтенсифікатора теплопередачі, побудована на основі розв'язку рівнянь теплового балансу по потоках середовищ у транспортних зонах, поверхнях ТЕБ, зазорах між транспортними зонами й поверхнями ТЕБ для умов прямопотоку.
3. Встановлено, що збільшення значення коефіцієнта теплообміну між спаями ТЕБ і повітряним середовищем у зазорі дає можливість знизити (збільшити) їх температуру на виході з теплообмінного апарата при його однакової довжині, при цьому зміна  $\alpha'$  на 10 Вт/(м<sup>2</sup>·К) у середньому змінює температуру середовища, що охолоджується, на 2 К, а, що нагрівається - на 3 К.
4. Встановлено, що збільшення різниці температур середовищ на вході сприяє більш різкому спаданню функцій залежності граничних довжин ТЕБ від коефіцієнта теплообміну між спаями ТЕБ і повітряним середовищем у зазорі при постійному струмі живлення.

### Література

1. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. Санкт-Петербург. 2005. 534 с.
2. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Киев. 1979. 768 с.
3. Булат Л.П. Прикладные исследования и разработки в области термоэлектрического охлаждения в России. *Холодильная техника*. 2009. №7. С. 34-37.
4. Малкович Б.Е.-Ш. Термоэлектрические модули на основе сплавов теллурида висмута. *Доклады XI Межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применение»*. Санкт-Петербург. 2008. С. 462 – 468.
5. Каганов М.А., Привин М.Р. Термоэлектрические тепловые насосы. Ленинград. 1970. 176 с.

Надійшла до редакції 19.11.2016