



УДК 612.3:629.7:537.3

OBTAINING ADDITIONAL ELECTRICAL ENERGY IN THE AIRCRAFT TURBOJET ENGINE DUE TO THE SEEBECK EFFECT**ОТРИМАННЯ ДОДАТКОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ТУРБОРЕАКТИВНОМУ ДВИГУНІ ЛІТАКА ЗА РАХУНОК ЕФЕКТУ ЗЕСБЕКА****Tatarchuk T. V. / Татарчук Т.В.***PhD Tech., associate prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-6408-0463

SPIN: 9539-7370

Zasovenko A. V. / Засовенко А. В.*s.f.-m.s., as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-1012-6742

*Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063**Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063***Chyzh D.M. / Чиж Д.М.***student / студент*

ORCID: 0009-0006-2317-8583

*Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут",**Харків, вул. Чкалова 17, 61070**National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»**Kharkov, st. Chkalov, 17 61070***Sapronov I.I. / Сапронов І.І.***student / студент*

ORCID: 0009-0007-7896-1281

*Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063**Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063*

Анотація. У сучасному світі більшість літаків здійснюються у небо завдяки модернізованим та високоефективним двигунам. Майже у всіх літаках застосовуються двоконтурні турбореактивні двигуни, що розділяють потік повітря на вході на два потоки: холодний та гарячий. Через це внутрішній корпус двигуна нагрівається, а зовнішній охолоджується - виникає різниця температур близько 780...880°C.

Це явище можна було б застосувати, щоб отримувати додаткову електричну енергію (наприклад, для додаткового живлення елементів усередині літака). Це можна зробити, завдяки розміщенню між корпусами двигуна елемента, принцип роботи якого базується на ефектах Зеебека та Пельтьє.

Завдяки існуючій різниці температур, одна зі сторін елемента охолоджується, інша нагрівається - виникає електричний струм(тобто маємо електричну енергію, яку можна якось використовувати). Ця установка ніяк не погіршує роботу турбореактивного двигуна, а навпаки допомагає використати явище розподілу потоків у двоконтурному двигуні літака задля додаткового живлення.

Правильно підібравши матеріали для виготовлення елемента, обравши місце його розміщення та зробивши розрахунки, можна отримати максимальне значення напруги, що виникне на елементі.(це було розглянуто і досліджено в роботі).

У подальшому завдяки вдосконаленню ідеї, іспитам на різних двигунах та використанню додаткових конструкцій, можливо б вдалося отримати більше енергії або взагалі замінити існуючі електричні генератори у літаках (якщо маса нової установки буде меншою за масу генератора та буде виробляти стільки ж енергії, то це підвищить ККД двигуна).

Ключові слова: ефект Зеебека, елемент Пельтьє, двоконтурний турбореактивний двигун, різниця температур, енергія.



Вступ.

У сучасних літаках для забезпечення його елементів електричною енергією використовують спеціальні електрогенератори. У цій роботі розглянуто ідею, яка полягає у його додатковому живленні, а в подальшому (при вдосконаленні та розвитку технологій виготовлення елементу) можливому підвищенні потужності елементів Пельтьє та заміні генератора цими конструкціями. Для отримання додаткової електричної енергії пропонується використати факт виникнення різниці температур у турбореактивному двигуні під час його роботи.

Таким чином, в роботі розглянуто один зі способів підвищення ККД турбореактивного двигуна за рахунок отримання додаткової електричної енергії. Представлений принцип та ідею можна використовувати у двигунах літаків, вдосконаливши її завдяки професійним інженерам та сучасним технологіям, які використовуються для виготовлення елементів літака.

Види двигунів та на якому двигуні краще за все буде використати зазначену в роботі ідею

Усі турбореактивні двигуни можна поділити на дві групи: одноконтурні (рис. 1, а) та двоконтурні (рис. 1, б).

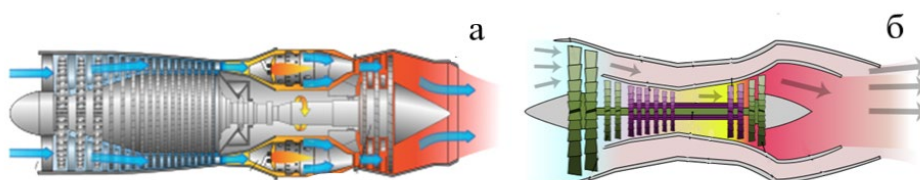


Рисунок 1 – Турбореактивний двигун:
а – одноконтурний; б – двоконтурний

На відміну від одноконтурного ТРД завдяки своїй конструкції двоконтурний турбореактивний двигун (ТРДД) може переміщувати додаткові маси повітря, що проходять крізь зовнішній контур двигуна. Вона забезпечує порівняно вищий польотний ККД. Український конструктор авіадвигунів Архип Люлька першим в авіадвигунобудуванні запропонував концепцію ТРДД. На основі дослідів, які проводилися з 1937 року, Люлька подав заявку на винахід двоконтурного ТРД (22 квітня 1941 року було отримано авторське свідоцтво) [12].

Після того як повітря пройде через вхідний пристрій, воно потрапить до компресора низького тиску, який також називають вентилятором. Після проходження вентилятора утворюється два потоки повітря: частина потрапляє у зовнішній контур і, обходячи камеру згорання, формує у соплі реактивний струмінь, інша - проходить крізь внутрішній контур, повністю ідентичний з ТРД.

Одним з найважливіших параметрів ТРДД є ступінь двоконтурності, тобто відношення використання повітря у зовнішньому контурі до використання повітря у внутрішньому контурі.

$$m = \frac{G_1}{G_2}, \quad (1)$$

де G_1 і G_2 — використання повітря у зовнішньому і внутрішньому контурі відповідно [13].



Внаслідок зростання використання повітря у двигуні зростає площа фронтального перерізу, що призводить до зростання його лобового опору і маси. Іншими словами, чим вищий ступінь двоконтурності (розраховується за формулою 2.1) — тим більшого діаметра двигун при інших рівних умовах [12].

ТРДД поділяються на ТРДД зі змішуванням потоків за турбіною і без змішування. В ТРДД зі змішуванням потоків потоки повітря (ТРДДзм) із зовнішнього і внутрішнього контуру надходять в єдину камеру змішування. В камері змішування ці потоки змішуються і виходять з двигуна крізь єдине сопло з єдиною температурою. ТРДДзм ефективніші, однак наявність камери змішування збільшує габарити і масу двигуна.

ТРДД як і ТРД можуть бути оснащені керованими соплами і форсажними камерами. Зазвичай ТРДДзм з малими ступенями двоконтурності використовують на надзвукових військових літаках.

Для даного задуму нам підійде тільки двоконтурний турбореактивний двигун, так як в одноконтурному не існує такого місця розташування елемента Пельтьє, в якому ми могли б домогтися бажаної різниці температур.

У разі двоконтурного двигуна внутрішній корпус, в якому розташовується гаряча зона нагрівається до досить високої температури, а зовнішній за рахунок потоку холодного повітря, що охолоджується на вході вентилятором, має набагато меншу температуру. Тобто, розмістивши елемент Пельтьє в правильному місці, ми можемо домогтися максимально можливої в даній конструкції різниці температур на сторонах елемента. У одноконтурному ж двигуні ми не маємо такої можливості через відсутність подібної зони.

У цій роботі ми розглянемо як встановити елементи Пельтьє в ТРДД з високим ступенем двоконтурності, так як вони частіше використовуються в повсякденності (тобто в пасажирських і вантажних літаках).

Тепер давайте визначимося з маркою виробника:

Для отримання найбільшої кількості електричної енергії нам необхідний двигун з якомога більшою різницею температур між холодним і гарячим потоком. Однією з важливих характеристик для турбореактивного двигуна є сила тяги - сила, яка виробляється двигунами і штовхає літак крізь повітряне середовище, яку ми обчислюємо за формулою:

$$P = G \cdot (c - v), \quad (2)$$

де P - сила тяги, G - витрата робочого тіла в секунду, c - швидкість виділення реактивного струменя, v - швидкість польоту.

Тобто з формули 2 ми бачимо, що чим більше швидкість виділення реактивного струменя, тим більше сила тяги двигуна. Так як швидкість на пряму залежить від температури (тобто чим більше температура струменя, тим більше її швидкість при виході з сопла), то ми робимо висновок, що з двох літаків, що летять з однаковою швидкістю і витрачають однакову кількість палива, більшу температуру гарячої зони має той, тяга якого більше.

Це означає, що отримати найбільшу різницю температур, ми можемо, вибравши з усіх двигунів, які витрачають приблизно однакову кількість палива за секунду (проте серед двигунів з однаковою силою тяги, краще вибрати той, який витрачає менше палива, адже це економічно вигідніше), той який розвиває



найбільшу силу тяги.

Гарними прикладами таких двигунів, виготовлених в нашій країні є, двигун Д-36 серії 4А (для пасажирських літаків) і Д-18Т серії 3 (для цивільних вантажних літаків) [14,15].

Головні переваги цих двигунів:

- ✓ велика злітна тяга (щодо інших двигунів схожого призначення)
- ✓ низька питома витрата палива
- ✓ низька вартість обслуговування
- ✓ низькі рівні шуму і емісії забруднюючих повітря речовин (відповідає нормам ІСАО)
- ✓ простота обслуговування і висока ремонтпридатність
- ✓ висока надійність;
- ✓ наявність універсальної підвіски, що дозволяє без змін конструкції двигуна застосовувати його на різних літаках, розміщуючи двигун під або над крилом, в фюзеляжі літака або по обидва його боки (для Д-36 серії 4А)
- ✓ наявність реверсивного пристрою (для Д-36 серії 4А) [14,15].

Надалі ми будемо розглядати, як приклад, установку нашої конструкції на Д-18Т серії 3, так як він володіє великою силою тяги і відповідно невеликими витратами палива.

Спосіб розміщення елемента та вибір матеріалів

Для елемента Пельтьє нам знадобиться напівпровідниковий матеріал і домішки до нього, адже як ми вже з'ясували нам необхідні напівпровідник електронною та діркової провідності. Найголовнішими критеріями вибору будуть:

- температура плавлення матеріалу, адже у зоні де ми будемо розміщувати елемент Пельтьє вона може досягати 800...900°C. (Не дивлячись на те, що у гарячій зоні турбореактивного двигуна максимальна температура може становити до 2000°C, у вибраному для установки елемента місці вона досягає лише 800-900°C градусів через наявність внутрішнього корпусу двигуна, зробленого з тугоплавкого матеріалу невисокої теплопровідності)
- теплопровідність напівпровідникового матеріалу: чим менша теплопровідність, тим краще
- висока електрична провідність матеріалу

На даний момент найбільш використовуваними напівпровідниками є кремній, германій і арсенід галію. Подивимось на властивості кожного і порівняємо їх (табл. 1).

З порівняльної таблиці 1 бачимо: за температурою плавлення нам підходить будь-який з зазначених матеріалів, але, порівнюючи їхні коефіцієнти теплопровідності, робимо висновок, що найвигідніше буде використати арсенід галію, адже в цього матеріалу цей коефіцієнт найвищий. Також арсенід галію порівняно з іншими напівпровідниками має високу рухливість носіїв заряду, з чого можна зробити висновок, що він має кращу електропровідність. Отже, ми можемо виготовити елемент Пельтьє, використовуючи арсенід галію та додаючи до нього зазначені у таблиці 1 домішки.



Таблиця 1 – Характеристики напівпровідникових матеріалів: германію, кремнію, арсеніду галію [16]

Назва властивості	Ge	Si	GaAs
Температура плавлення, °C	937	1420	1240
Ширина забороненої зони, eV	0.74	1.166	1.52
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м × К)	58	109	54
Температурний коефіцієнт $\gamma * 10^{-4}$, eV/К	2.333	1.533	3
Ефективна маса			
Електрони	0.92	1.59	0.068
Дірки	0.5	0.3	0.45
Рухливість носіїв зарядів, м ² /(В×с)	0.39	0.15	0.85
Електронів дірок	0.19	0.06	0.04
Активні домішки			
донорні	Sb	P, Sb	Sn, Te
акцепторні	Ga	B	Zn

Що стосується керамічних платин елемента: кераміка має температуру плавлення від 2000 до 4040°C, тому ми можемо не хвилюватися щодо витривалості цих частин елемента.

Розміщувати елемент Пельтьє будемо на металевих стержнях. Матеріал для стержнів повинен бути тугоплавким (мати високу температуру плавлення) та мати високу теплопровідність, аби як модна сильніше нагрілась гаряча сторона елемента та як можна сильніше охолола холодна сторона. Так ми отримаємо більшу різницю температур, тобто більше електричної енергії.

На даний момент найбільш вживаними тугоплавкими металами є молібден, вольфрам, хром та титан. Вони витримують дуже високі температури, а сплав з титану використовується для виготовлення корпусів турбореактивного двигуна. Але ці матеріали мають порівняно невисоку теплопровідність: від 93 Вт/(м×К) до 163 Вт/(м×К) (саме тому температура гарячої зони 1500...2000°C, а самого корпусу 800...900°C).

Тому нам слід вибрати метал з більш високою теплопровідністю, але такий, який не розплавиться при зазначеній температурі корпусу. У цій ситуації непоганим рішенням буде використати мідь (теплопровідність: 401 Вт/(м×К), температура плавлення: 1085°C).

Що стосується розміщення самого елемента: його треба розмістити якомога ближче до внутрішнього корпусу (ближче до гарячої зони), аби холодний потік повітря, який проходить між зовнішнім та внутрішнім корпусами не встигав сильно охолодити гарячу сторону елемента, адже повітря біля внутрішнього корпусу має вищу температуру, ніж ближче до зовнішнього корпусу.

Розрахунок термо-ЕРС елемента з врахуванням концентрації домішки

Порахуємо напругу, що ми отримаємо на одному р-п-блоці елемента Пельтьє. Напругу, що виникає на напівпровіднику з електронною та дірковою провідностями ми можемо отримати завдяки формулам [1, 17]:

$$\varepsilon_n = \int_{T_2}^{T_1} \alpha_n dT \quad (1),$$



$$\varepsilon_p = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_p dT \quad (2),$$

де ε_n – термоЕРС (напруга) *n*-напівпровідника; α_n – коефіцієнт термоЕРС *n*-напівпровідника; ε_p – термоЕРС(напруга) *p*-напівпровідника; α_p – коефіцієнт термоЕРС *p*-напівпровідника; T_1 – температура холодної сторони елемента; T_2 – температура гарячої сторони елемента

Коефіцієнт термоЕРС для напівпровідника з електронною та дірковою провідностями рахується за наступними формулами [1,17]:

$$\alpha_n = -\frac{k}{e} \cdot \left(\frac{3}{4} + \frac{(E_{g(0)} - \gamma \cdot T) \cdot e}{2 \cdot k \cdot T} + \frac{\ln \frac{m_p^*}{m_n^*}}{2} \right) = -\frac{3 \cdot k}{4 \cdot e} - \frac{E_{g(0)}}{2 \cdot T} + \frac{\gamma}{2} - \frac{k \cdot \ln \frac{m_p^*}{m_n^*}}{2 \cdot e} \quad (3),$$

$$\alpha_p = -\frac{k}{e} \cdot \left(\frac{3}{4} - \frac{3 \cdot E_{g(0)} \cdot e}{2 \cdot k \cdot T} + \frac{\ln \frac{m_p^*}{m_n^*}}{2} \right) = -\frac{3 \cdot k}{4 \cdot e} + \frac{3 \cdot E_{g(0)}}{2 \cdot T} - \frac{k \cdot \ln \frac{m_p^*}{m_n^*}}{2 \cdot e} \quad (4),$$

де α_n – коефіцієнт термоЕРС *n*-напівпровідника; α_p – коефіцієнт термоЕРС *p*-напівпровідника; $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд електрона; $E_g(0) = 1.52$ eВ – ширина забороненої зони; γ – температурний коефіцієнт; $m_p^* = 0.45m_0$ – ефективна маса дірки (табл. 1); $m_n^* = 0.068m_0$ – ефективна маса електрона; T – температура.

Оскільки температура у гарячій зоні досягає від 800 °С до 900 °С, то у такому випадку себе починає проявляти власна провідність. Тоді термо-ЕРС напівпровідників рахуються за такими формулами:

$$\alpha_N = \frac{\alpha_p \cdot \mu_p \cdot p - \alpha_n \cdot \mu_n \cdot N_d}{\mu_p \cdot p + \mu_n \cdot N_d} \quad (5),$$

$$\alpha_p = \frac{\alpha_p \cdot \mu_p \cdot N_a - \alpha_n \cdot \mu_n \cdot n}{\mu_p \cdot N_a + \mu_n \cdot n} \quad (6),$$

де α_N – коефіцієнт термо-ЕРС *n*-напівпровідника, враховуючи власну провідність; α_p і α_n – значення коефіцієнтів термо-ЕРС для напівпровідників *p*- та *n*-типів відповідно (формули 3, 4); μ_p і μ_n – дрейфова рухливість зарядів (дірок та електронів відповідно, табл. 1); N_d – концентрація носіїв заряду домішки (електронів); p – концентрація власних носіїв заряду (дірок); N_a – концентрація носіїв заряду домішки (дірок); n – концентрація власних носіїв заряду (електронів).

Концентрацію власних носіїв струму в залежності від температури знаходимо за наступною формулою:

$$n = p = \frac{2}{h} \cdot (2 \cdot \pi \cdot k)^{\frac{3}{2}} \cdot (m_p^* \cdot m_n^*)^{\frac{3}{4}} \cdot T^{\frac{3}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_g(0) - \gamma \cdot T}{2k \cdot T}\right) \quad (7)$$

У формулах 5, 6 значення N_d та N_a найдоцільніше буде прийняти рівними $2,5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, адже саме за цього значення свого максимуму досягає ефективність елемента Z (ефективність термоелемента залежить лише від електрофізичних параметрів напівпровідникових матеріалів; чим вища



ефективність елемента, тим вищі значення ККД та максимальної потужності) [18].

Розглянемо два випадки – у формулах 5, 6 коефіцієнт термо-ЕРС:

а) залежить від температури згідно формул 3 та 4;

б) візьмемо середні значення згідно формул 8 та 9.

Середнє значення коефіцієнтів термо-ЕРС для температур від 800 °С до 900 °С:

$$\langle \alpha_n \rangle = \frac{\int_{T_{r1}}^{T_{r2}} \alpha_n dT}{T_{r2} - T_{r1}} \quad (8),$$

де $\langle \alpha_n \rangle$ – середнє значення коефіцієнту термоЕРС n -напівпровідника; α_n – коефіцієнт термо-ЕРС n -напівпровідника (формула 3); $T_{r1} = 1073$ К; $T_{r2} = 1173$ К.

$$\langle \alpha_p \rangle = \frac{\int_{T_{r1}}^{T_{r2}} \alpha_p dT}{T_{r2} - T_{r1}} \quad (9),$$

де $\langle \alpha_p \rangle$ – середнє значення коефіцієнту термоЕРС p -напівпровідника; α_p – коефіцієнт термо-ЕРС p -напівпровідника(формула 3.4); $T_{r1} = 1073$ К; $T_{r2} = 1173$ К.

Аналіз формул показав, що для розрахунку термо-ЕРС необхідно скористатись чисельними методами. Для цього було створено програмний код у вигляді комп'ютерної симуляції.

Оскільки $T_1 \in [283; 303]$ К, $T_2 \in [1073; 1173]$ К, то знайдемо розподіл значень термо-ЕРС у цих проміжках (рис. 3, E2 та 3, E3), середні та максимальні значення термо-ЕРС (табл. 2).

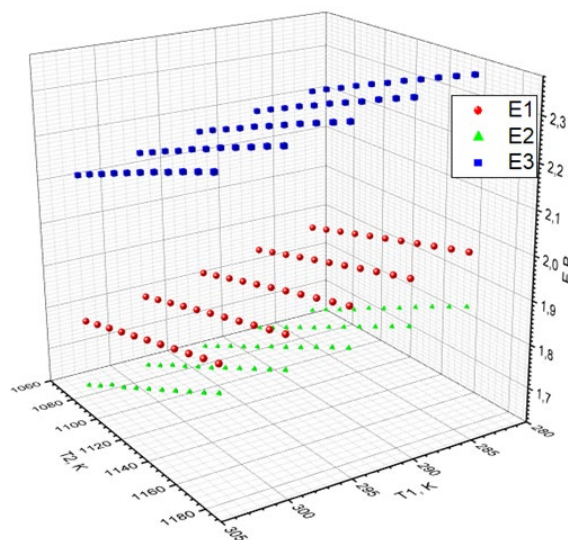


Рисунок 2 – 3D-модель для розрахунку термо-ЕРС елемента:

E1 – значення коефіцієнту термо-ЕРС без врахування концентрації домішки;

E2 – середні значення коефіцієнтів термо-ЕРС згідно формул 8 та 9;

E3 – коефіцієнти термо-ЕРС залежать від температури згідно формул 3 та 4

Аналіз 3D-моделі показав, що найбільшого значення напруга сягає за найбільшої різниці температур ($T_2 = 1173$ К, а $T_1 = 283$ К); максимальне значення напруги ε_p складає приблизно 2 В (для порівняння напруга на одній лампочці,



що використовують для підсвічування деяких приладів в літаку складає 6 В).

Таблиця 2 – Середні та максимальні значення термо-ЕРС

Випадок	$E_{T1}, В$	$E_{T2}, В$	$E_{T3}, В$
Максимальне значення	1,99677	1,874	2,376
Середнє значення	1,888707	1,7494	2,249727

Оскільки напівпровідники з'єднані між собою послідовно (якщо розглядати один горизонтальний ряд), то загальну напругу на елементі можна розрахувати за формулою:

$$\varepsilon_{n-p} = N \cdot (\varepsilon_n + \varepsilon_p) \quad (10),$$

де ε – загальна напруга від елемента; ε_n – напруга на n-напівпровіднику; ε_p – напруга на p-напівпровіднику; N – кількість n-p-блоків (в одному ряді, адже ряди блоків в елементі сполучені паралельно)

Тобто ми можемо підвищити кількість p-n-блоків, тим самим збільшити напругу на елементі, а отже і енергію. Ми можемо використати її для додаткового живлення елементів літака: додаткове живлення фар, підсвічування приладів у літаку, лампочок у салоні тощо.

Висновки.

1. В роботі розглянуто існуючі види турбореактивних двигунів та напівпровідникові матеріали, що зараз найчастіше використовуються. Для реалізації запропонованої ідеї обрано двигун Д-18Т серії 3, оскільки він двуконтурний, а у якості напівпровідникового матеріалу та провідників, виходячи з їх фізичних параметрів, найбільш оптимальним є арсенід галію та мідні стрижні.

2. Моделювання показало, що при використанні даного матеріалу для однієї пари термоелементів можна отримати значення термоЕРС у проміжку від 1,75 В до 2,5 В.

3. Як результат, блок з таких термоелементів можна використати для додаткового живлення елементів літака: додаткове живлення фар, підсвічування приладів у літаку, лампочок у салоні тощо.

Література:

1. Физика полупроводников: Учебник. 4-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 400с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература)

2. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике – 10-е изд., испр. И доп. – М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 256 с., ил.

3. Явище Зеебека ефект Пельтье. Термоелектричний ефект Зеебека [Електронний ресурс] – Режим доступу URL:<https://technerium.ru/uk/yavlenie-zeebeka-effekt-pelte-termoelektricheskii-effekt-zeebeka/>

4. Эффект Зеебека. Работа и применение [Електронний ресурс] – Режим доступу URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrotehnika/effekt-zeebeka/>

5. Эффект Пельтье [Електронний ресурс] – Режим доступу URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%8C%D1%94



6. Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3-х т./Под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 2. Электричество и магнетизм. – 10-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико – математической литературы. – 480с.,ил.

7. А.И. Ансельм Введение в теорию полупроводников. Издание 2-ое. Учебник, 1978, 616 стр. с ил.

8. Элемент Пельтье [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%9F%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%8C%D1%94

9. Б.М. Аскеров Электронные явления переноса в полупроводниках М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985.— 320 с

10. Турбореактивный двигатель [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C

11. Газотурбинный двигун [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%96%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD

12. Турбореактивный двигун [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD

13. Повітряно-реактивний двигун [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: https://znaimo.com.ua/%D0%9F%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%82%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%BE-%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD

14. Д-36 серии 4А [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <http://www.motorsich.com/rus/products/aircraft/tde/d-36-4a/>

15. Д-18Т серии 3 двигун [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <http://www.motorsich.com/rus/products/aircraft/tde/d-18t/>

16. Общая характеристика полупроводников [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/70/%D0%97%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B0%20%D0%BC%D0%B0%D1%82/Lekciya-7.pdf>

17. Примесная проводимость полупроводников [Электронный ресурс] – Режим доступа URL: <https://studfile.net/preview/5648377/page:2/>

18. Полупроводниковые приборы: Учеб. Для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики» и «Полупроводниковые и микроэлектронные приборы» – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк., 1987. – 479 с. ил.



Abstract. *In today's world, most airplanes take to the skies thanks to modernized and highly efficient engines. Almost all aircraft use dual-circuit turbojet engines, which divide the air flow at the entrance into two streams: cold and hot. Due to this, the internal engine housing heats up, and the external one cools down - there is a temperature difference of about 780...880°C.*

This phenomenon could be used to obtain additional electrical energy (for example, to additionally power the elements inside the aircraft). This can be done by placing an element between the motor housings, the principle of which is based on the Seebeck and Peltier effects.

Due to the existing temperature difference, one of the sides of the element cools, the other heats up - an electric current arises (that is, we have electric energy that can be used somehow). This installation in no way impairs the operation of the turbojet engine, but on the contrary helps to use the phenomenon of flow distribution in the two-circuit engine of the aircraft for additional power.

By correctly choosing the materials for the manufacture of the element, choosing the place of its placement and making calculations, it is possible to obtain the maximum value of the voltage that will occur on the element. (this was considered and investigated in the work).

In the future, thanks to the improvement of the idea, tests on different engines and the use of additional designs, it may be possible to obtain more energy or even replace the existing electric generators in aircraft (if the mass of the new installation will be less than the mass of the generator and will produce the same energy, then this will increase the efficiency engine).

Key words: *Seebeck effect, Peltier element, two-circuit turbojet engine, temperature difference, energy.*

Статья отправлена: 14.05.2024 г.

© Татарчук Т.В., Засовенко А. В., Чиж Д.М., Сапронов И.И.