

*Д.В. Чміль, В.А. Вітів, С.В. Петренко  
(Кафедра військової підготовки  
Національного авіаційного університету, Україна)*

## **Покращення теплового захисту шляхом застосування композитивних матеріалів**

*Тема викладає можливість застосування композитних матеріалів для покращення теплового захисту в паливних баках. Розглядаються композити, їх теплофізичні властивості та структурні особливості. Аналізується потенціал цих матеріалів для підвищення ефективності теплоізоляції, безпеки паливних систем у авіації.*

### **Теплопередача в композитних матеріалах.**

Композиційні матеріали - це гетерогенні матеріали, що складаються з двох або більше взаємно нерозчинних компонентів (фаз). Згідно з цим визначенням, до композиційних матеріалів належать дисперсно зміцнені сплави, бетони та метали з покриттями. Полікристалічні матеріали, що складаються з однієї речовини, також можна класифікувати як композиційні матеріали, розглядаючи гранули з різною орієнтацією як різні фази. Гранули з різною орієнтацією розглядаються як різні фази. Нарешті, однорідні матеріали, що містять порожнечі (останні можна інтерпретувати як включення з нульовим модулем пружності), також можуть бути включені сюди.

Композитні матеріали відкривають нові можливості для теплового захисту завдяки своїм унікальним властивостям: багато композитів мають надзвичайно низьку теплопровідність. Наприклад, аерогелі, які є одними з найлегших твердих матеріалів у світі, мають теплопровідність близьку до повітря. Композити на основі аерогелів можуть забезпечити відмінну теплоізоляцію при мінімальній товщині матеріалу. Композитні матеріали дозволяють створювати складні багат шарові структури, кожен шар яких виконує свою функцію. Наприклад, зовнішній шар може відбивати теплове випромінювання, середній - забезпечувати основну теплоізоляцію, а внутрішній - акумулювати тепло.

Boeing 787 Dreamliner - перший комерційний літак, в якому замість традиційних алюмінієвих сплавів в якості основного елемента конструкції використовуються композитні матеріали. Під час розробки цього літака було здійснено перехід до використання сучасних вуглецевих ламінатів та сендвіч-композитів на основі вуглецю. [1] Однак, в коробках крила Dreamliner виникли проблеми, пов'язані з недостатньою жорсткістю та недостатнім рівнем теплозахисту композитних матеріалів. [2]

Враховуючи ці виклики, для розрахунку теплових характеристик необхідно враховувати теплопровідність матеріалів. Використовуючи формулу для теплового опору, можна скласти таблицю для порівняння теплопровідності різних матеріалів, які використовуються або можуть бути

застосовані в авіаційних конструкціях. Це дозволить краще оцінити їх ефективність з точки зору теплового захисту.

$$R = d / \lambda \quad (1), \text{ де}$$

$R$  — це тепловий опір, який характеризує здатність матеріалу чинити опір передачі тепла через нього. Тепловий опір вимірюється в  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{В}$   $d$  — це товщина матеріалу в метрах,  $\lambda$  — це коефіцієнт теплопровідності матеріалу, який показує, наскільки ефективно матеріал проводить тепло. Чим більший тепловий опір ( $R$ ), тим краще матеріал чинить опір передачі тепла. Відповідно, чим більша товщина ( $d$ ) або нижчий коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , тим вищий тепловий опір матеріалів.

Таблиця 1.

Теплопровідність різних матеріалів

Матеріал	Теплопровідність (Вт/(м·К))
Пінополіуретан	0.022-0.028
Пінополістирол	0.030-0.040
Мінеральна вата	0.035-0.045
Аерогель	0.013-0.020
Вуглепластик	0.2-1.0
Склопластик	0.3-0.5

Для паливних баків хорошим вибором серед представлених матеріалів є вуглепластик, незважаючи на його відносно високу теплопровідність (0.2-1.0 Вт/(м·К)). Теплопровідність вуглепластику знаходиться в діапазоні 0.2-1.0 Вт/(м·К), що є вищим значенням порівняно з такими матеріалами, як аерогель (0.013 Вт/(м·К)) або пінополіуретан (0.03 Вт/(м·К)). Це означає, що вуглепластик пропускає більше тепла, ніж теплоізоляційні матеріали. Однак, цей недолік можна мінімізувати за рахунок багатощарової конструкції. [3]

Далі для обрахування припущено, що різниця температур між зовнішнім і внутрішнім середовищем становить 50К, площа поверхні паливного бака приблизно 2 м. кв., а товщина шару вуглепластику дорівнює 0.01 м. Для вуглепластику з теплопровідністю  $k=0.5$  Вт / м·К, тепловий потік буде розрахований так:

$$Q = -0.5 \cdot 2 \cdot 0.0150 = -5000 \text{ Вт} \quad (2)$$

Для порашення використовується конструкція з аерогелем, тому формула розрахунку виглядатиме наступним чином:

$$k_{\text{ф}}/l = k_1/dx_1 + k_2/dx_2 + k_3/dx_3 \quad (3)$$

Де  $k_{ef}$  — ефективний коефіцієнт теплопровідності,  $dx_1$  та  $k_1k_1k_1$ , — товщина і теплопровідність зовнішнього шару вуглепластику, відповідно  $dx_2$  і  $k_2$  — для аерогелю і елементи 3 — внутрішній шар вуглепластику. За результатами такого отримуюмо  $dx_1 = dx_3 = 0.005$  м., для вуглепластику  $k_1 = k_3 = 0.5$  Вт / м·К, а  $dx_2 = 0.01$  м, і відповідно  $k_2 = 0.013$  Вт/ м·К. Оскільки теплопровідність значно зменшується завдяки шару аерогелю, тепловий потік для цієї комбінованої конструкції становитиме – 6350 Вт.

Для обрахунку теплового потоку в стандартних баках взято ті ж припущення, що й раніше. Однак, замість вуглепластику – алюміній як типовий матеріал для стандартних баків. Коефіцієнт теплопровідності алюмінію становить приблизно 237 Вт/м·К. Застосовуючи формулу виходить наступний результат:  $Q = -237 \cdot 2 \cdot 50 / 0.01 = -2,370,000$  Вт. Таким чином, тепловий потік для стандартного алюмінієвого бака становить приблизно - 2,370,000 Вт. Порівнюючи це значення з результатом для баку з вуглепластиком та аерогелем (-6350 Вт), чітко видно, що тепловий потік у стандартному баку приблизно в 373 рази більший.

Існують також і інші матеріали для баків, такі як сталь, титан, кевлар. Кевлар, до речі, показує другий найкращий результат з тепловим потоком близько 10,000 Вт, проте це все ще фактично в 2 рази більше, ніж у композитного матеріалу.

### **Висновок.**

Вуглепластик є хорошим вибором для паливних баків завдяки його високій механічній міцності, низькій вазі та хімічній стійкості. Використання багат шарової конструкції, де аерогель виступає як проміжний шар з низькою теплопровідністю, дозволяє значно зменшити тепловий потік через бак.

### **Список літератури**

1. Моделирование поверхні для композитних матеріалів - SIAG GD - Електронний ресурс <http://www.ifi.uio.no/siag/problems/grandine/>
2. Boeing 787 Dreamliner має загальну проблему - Zimbardo — Електронний ресурс [Boeing+787+Dreamliner/articles/18/Boeing+787+Dreamliner+composite+problem](http://Boeing+787+Dreamliner/articles/18/Boeing+787+Dreamliner+composite+problem)
3. Chigvintseva O.P., Boyko Y.V., Gupalo S.I. Carbon fiber for structural purposes based on aliphatic polyamide // The XXIII International Scientific and Practical Conference «Scientific trends, solutions, theories and methods of development», June 12 – 14. Bilbao, Spain. P. 291-295.