

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Термодинаміка та теплопередача»
обов'язкових компонент
о освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти

272 Авіаційний транспорт
(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)

Тема 10. Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту

.

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.02.2024 р. № 2

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
ХНУВС
Протокол від 17.01.2024 р. № 6

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.02.2024 р. № 2

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 12.12.2023 р. № 8

Розробники:

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки , спеціаліст вищої категорії Яніцький А.А.

Рецензенти:

Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

Тема 10. Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту

План лекції

1. Передача теплоти через плоску стінку;
2. Передача теплоти через циліндричну стінку;
3. Теплова ізоляція;
4. Передача теплоти через ребро і реберну стінку;
5. Методи теплового захисту;
6. Конвективне охолодження;
7. Загороджувальне охолодження;
8. Проникаюче (пористе) охолодження
9. Теплозахисні покриття.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Котовський В. Н. Технічна термодинаміка : тексти лекцій, 2015. 88 с.
2. Котовський В. Н. Теплопередача : тексти лекцій, 2015. 76 с.

Допоміжна:

3. Базаров І. П. Термодинаміка : підручник. 2010. 384 с.
4. Баранов В. М., Коньков А. Ю. Термодинаміка і теплопередача: навчальний посібник; 2-е видання, перероблене. 2004. 91 с.

Інформаційні ресурси в інтернеті:

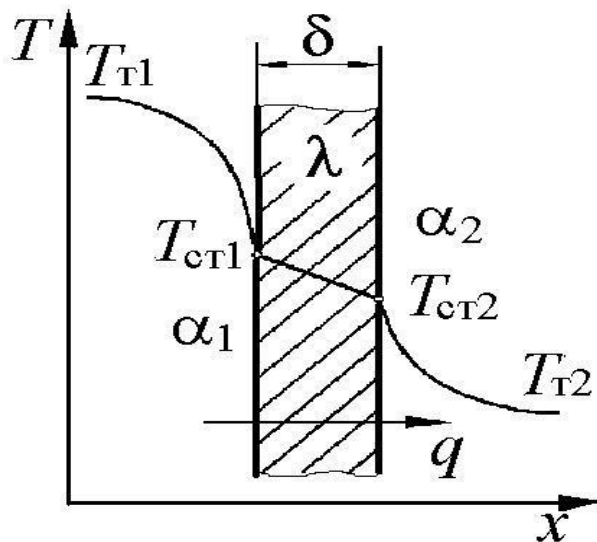
5. URL : <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
6. URL : <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl76.pdf>
7. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=rfOI3PwO194>

10.1 Передача теплоти через плоску стінку.

При створенні і експлуатації авіаційної техніки необхідно враховувати передачу теплоти через стінки різних елементів їх конструкції і її вплив на роботу і основні параметри цієї техніки.

Теплообмін між двома теплоносіями, розділеними стінкою, називається теплопередачею. Передача теплоти від теплоносія до стінки і від стінки до іншого теплоносія відбувається в основному шляхом конвективного теплообміну. У самій стінці перенесення теплоти здійснюється теплопровідністю. У багатьох випадках в теплообміні між теплоносіями і стінкою бере участь і випромінювання, однак, для простоти його вплив в даній главі не будемо враховувати. Процес теплопередачі будемо вважати стаціонарним.

На малюнку представлена плоска стінка товщиною δ із матеріалу з коефіцієнтом теплопровідності λ , з одного боку якої знаходиться гарячий теплоносіє, а з іншого холодний. Відомі температури теплоносіїв T_{T1} і T_{T2} , а також відповідають умовам конвективного теплообміну коефіцієнти тепловіддачі α_1 і α_2 . Теплота передається у напрямку, нормальному до поверхні стінки, від гарячого теплоносія до холодного,



де $T_{ст1}$ і $T_{ст2}$ - температури поверхонь стінки відповідно з боку гарячого і холодного теплоносіїв, а x - напрямок нормалі.

Щільності теплових потоків від гарячого теплоносія до стінки (q_1), через стінку ($q_{ст}$) і від стінки до холодного теплоносія (q_2) визначаються за формулами Ньютона і закону Фур'є і рівні:

$$q_1 = \alpha_1(T_{T1} - T_{ст1}); \quad q_{ст} = \lambda(T_{ст1} - T_{ст2}); \quad q_2 = \alpha_2(T_{ст2} - T_{T2})$$

або щільність теплового потоку через плоску стінку буде рівною:

$$q = \Delta T / R$$

де $\Delta T = T_{T1} - T_{T2}$ температурний напір, а R - загальне (сумарне) тепловий

опір, яке складається з зовнішніх теплових опорів теплоносіїв і стінки.

Отже, щільність теплового потоку при передачі теплоти через плоску стінку прямо пропорційна температурному напору і обернено пропорційна загальному (сумарному) тепловому опору стінки і теплоносіїв.

α

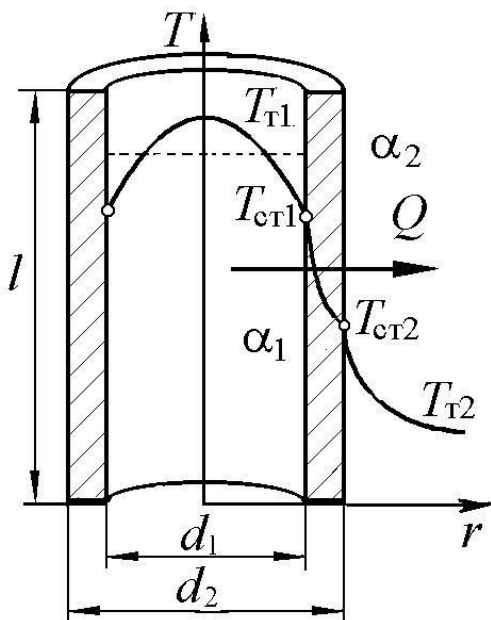
10.2 Передача теплоти через циліндричну стінку

На малюнку представлена циліндрична стінка (труба) довжиною l з коефіцієнтом теплопровідності λ . Відомі її внутрішній d_1 і зовнішній d_2 діаметри. Задані значення середньої температури поточного всередині труби гарячого теплоносія T_{T1} (штрихова лінія на малюнку) і температури холодного теплоносія T_{T2} , а також коефіцієнтів тепловіддачі від гарячого теплоносія в стінку α_1 і від стінки - в холодний теплоносій α_2 .

Слід зазначити, що відповідні щільності теплових потоків (q_1 , $q_{ст}$ і q_2) в даному випадку не рівні між собою, так як площа поверхні, через яку проходить один і той же тепловий потік Q , зі збільшенням радіуса зростає.

$$\text{тоді } q = \Delta T / R_l$$

, де $\Delta T = T_{T1} - T_{T2}$ температурний напір а R_l - загальний лінійний тепловий опір.



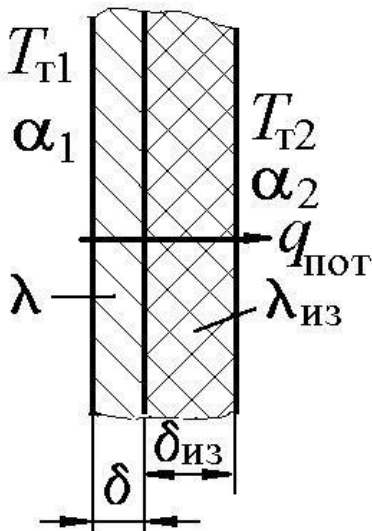
10.3 Теплова ізоляція

При створенні і експлуатації літальних апаратів виникає необхідність зменшити теплові потоки від деяких їх елементів в навколишнє середовище або, навпаки, із зовнішнього середовища до них. Для цього на стінки, що оточують ці елементи конструкції, наноситься зовні (іноді зсередини) шар

матеріалу з низьким коефіцієнтом теплопровідності (утеплювач).

Для теплоізоляції ємностей, призначених для зберігання рідкого водню, кисню та інших криогенних речовин, застосовуються вакуумно - порошкові прошарку, у яких коефіцієнт теплопровідності досягає значень $0,001 \dots 0,0003 \text{ Вт / (мК)}$.

Для стінки, чим товще шар ізоляції і чим менше коефіцієнт теплопровідності ізолюючого матеріалу, тим менше коефіцієнт теплопередачі через стінку.



10.4 Передача теплоти через ребро и реберної стінку

Часто для інтенсифікації теплопередачі стінку постачають ребрами. Зростання теплового потоку в цьому випадку відбувається внаслідок збільшення загальної поверхні теплообміну. Такі стінки прийнято називати оребрені.

Ребра може бути виконано з одного або з двох сторін стінки і широко застосовується в авіаційних і космічних теплообмінниках, на циліндрах поршневих двигунів повітряного охолодження, в калорифери і в інших теплообмінних пристроях. Зазвичай використовуються прямі або круглі ребра прямокутного, трикутного або трапецієподібного перерізу. Товщина ребра повинна бути по можливості мінімальною. Відстань між двома сусідніми ребрами (крок ребра) вибирається з умови розміщення максимального числа ребер. Однак зі зменшенням кроку посилюється вплив прикордонного шару, що утворюється на поверхні ребра, на протягом теплоносія в міжреберних каналах. В результаті цього зростають гідравлічні втрати при обтіканні ребер і може зменшитися швидкість течії теплоносія між ними,

Застосування оребрення у всіх випадках збільшує коефіцієнт теплопередачі і тепловий потік через стінку при заданих значеннях температур теплоносіїв і коефіцієнтів тепловіддачі. При односторонньому оребрення найбільший ефект буде отриманий тоді, коли воно виконується на тій стороні стінки, де значення коефіцієнта тепловіддачі менше.

10.5 Методи теплового захисту

Найбільш поширеною теплової захистом є конвективне охолодження

елементів конструкції, при якому гарячий теплоносій знаходиться з одного боку охолоджувальної поверхні, а охолоджуюча рідина (або газ) — з іншого боку.

Часто використовується також загороджувальні охолодження, коли у захищається стінки через щілину або ряд отворів у напрямку руху гарячого теплоносія подається струмінь холодного газу, яка відтісняє гарячий потік від стінки і тим самим захищає її від теплового впливу.

Різновидом загороджувального охолодження є плівкове охолодження, яке відрізняється від попереднього тим, що через отвори або спеціальні щілини подається не газ, а рідина, що охолоджує, яка утворює на поверхні захисну плівку. На випаровування цієї плівки витрачається теплота, що підвищує ефект теплового захисту. У багатьох реальних конструкціях конвективне і загороджувальні охолодження застосовуються спільно. Таке охолодження називають комбінованим.

При проникаючому (пористом) охолодженні захищається стінка виконується проникною (пористою, перфорованою і т.д.) і через неї в прикордонний шар гарячого газу подається охолоджуючий газ (або рідина). Тепловий захист в цьому випадку, крім загороджувального ефекту, доповнюється тим, що при русі холодного газу (або рідини) крізь стінку відбувається її додаткове охолодження.

Для зменшення температури стінки можуть бути використані і теплозахисні покриття з тугоплавких матеріалів з властивими їм малими значеннями коефіцієнта теплопровідності λ (кераміка, жаростійкі емалі і т.д.), які наносяться на захищає стінку з боку, що омивається гарячим газом, і не руйнуються в процесі роботи.

Застосовуються також віднесених покриття, які, на відміну від тугоплавких, в процесі роботи руйнуються внаслідок фазових (сублімація, плавлення, випаровування) або хімічних перетворень, що протікають з поглинанням теплоти. Такі покриття в принципі призначені для одноразового застосування.

10.6 конвективне охолодження

На малюнку приведена принципова схема організації конвективного охолодження. Охолоджувана стінка з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{\text{ст}}$ з одного боку стикається з гарячим газом, що має температуру $T_{\text{г}}$ і коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{г}}$, а з іншого боку омивається охолоджувачем (рідким або газоподібним) з температурою $T_{\text{ст.г}}$, який тече в спеціально спрофільоване каналі при коефіцієнті тепловіддачі $T_{\text{х}}$. Параметри системи охолодження повинні забезпечувати тепловий захист стінки в такій мірі, щоб її температура з боку гарячого газу $T_{\text{ст.г}}$ не перевищувала б допустимого значення.

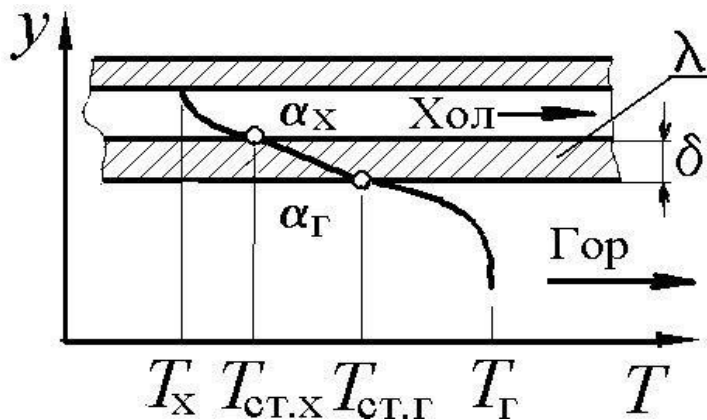
Для поліпшення теплового стану стінки доцільно зменшувати її товщину і застосовувати матеріали з високою теплопровідністю за умови забезпечення їх необхідної міцності і жаростійкості. До зниження температури стінки призводить також збільшення коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{\text{х}}$. При вимушеному перебігу в каналах коефіцієнт тепловіддачі залежить від природи теплоносія,

щільності струму і значення еквівалентного діаметра каналу.

Для підвищення ефективності охолодження на стінці з боку охолоджувача можуть розташовуватися ребра, штирі або якісь інші нерівності.

Конвективне охолодження використовують для охолодження:

- камер згоряння;
- дисків турбін;
- лопаток турбін;
- вихідних пристроїв;
- блоків електро і радіоапаратури і т.п .;



10.7 Загороджувальне охолодження

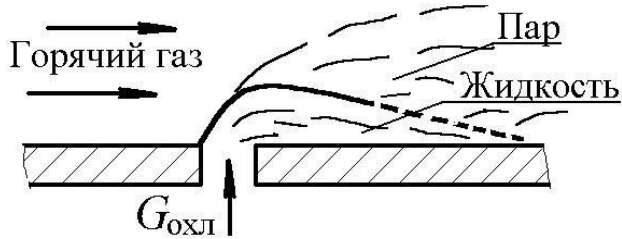
Сутність такого охолодження полягає в тому, що на деякій ділянці охолоджувальної стінки організовується протягом загороджувального захисного шару охолоджувача (холодного газу) між гарячим газом і стінкою. Цей захисний шар називають завісою.

10.8 Проникаюче (пористе) охолодження

При проникаючому охолодженні стінка виготовляється з пористого матеріала або має велике число дрібних отворів, рівномірно розташованих на її поверхні. Ці отвори створюються або шляхом перфорації стінки, або за рахунок її виготовлення з пористого матеріалу.

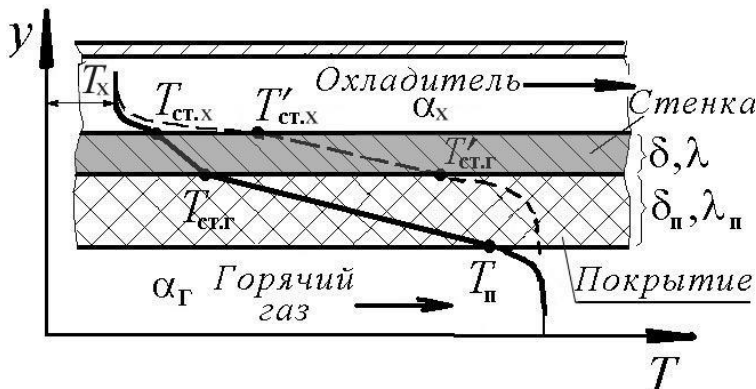
Через отвори охолоджувач подається в прикордонний шар гарячого газу. Що випливає з отворів охолоджувач зменшує швидкість і температуру гарячого газового потоку поблизу стінки і збільшує товщину прикордонного шару. Це зменшує коефіцієнт тепловіддачі від гарячого газу в стінку.

Проникаюче охолодження по суті є комбінованим, так як в ньому присутні елементи конвективного і загороджувального охолодження. Крім того, при русі через стінку по малорозмірних каналах (порах або спеціально створеним отворів) охолоджувач (газ або рідина) сприймає теплоту від стінки і тим самим значно зменшує її температуру.



10.8 Теплозахисні покриття

Тугоплавкі теплозахисні покриття. До тугоплавким відносяться покриття з малими значеннями коефіцієнта теплопровідності, які не руйнуються високотемпературним газовим потоком. Тому їх розмір (товщина) не змінюється в процесі роботи. Покриття, що наноситься на поверхню, що захищається стінки з боку гарячого теплоносія, являє собою додаткове теплове опір між стінкою і теплоносієм. Теплозащитное покриття дозволяє зменшити температуру захищається стінки лише при наявності теплового потоку через стінку, тобто при наявності відведення теплоти від неї, наприклад, за рахунок конвективного охолодження.



Віднесені теплозахисні покриття. На відміну від тугоплавких, ці покриття в процесі роботи руйнуються. У віднесених покриттях при їх нагріванні до певного значення температури відбуваються фазові перетворення (сублімація, плавлення, випаровування) або хімічні перетворення з наступним винесенням продуктів цих перетворень газовим потоком.

Як віднесених теплозахисних покриттів можуть застосовуватися матеріали, в яких при нагріванні протікають хімічні реакції (наприклад, реакції розкладання) з утворенням газоподібних продуктів і обвуглене шару. Газоподібні продукти розкладання несуться потоком гарячого теплоносія, а обвуглений шар виконує роль теплоізолятора.

