

**ОСНОВНИЙ ЗАКОН ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ.
ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ОДНО- ТА
БАГАТОШАРОВИХ ПЛОСКИХ І ЦИЛІНДРИЧНИХ
СТІНОК У СТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ, ТЕПЛОВА
ІЗОЛЯЦІЯ. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА
ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ**

ОСНОВНИЙ ЗАКОН ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

- ✘ Перенесення теплоти теплопровідністю в чистому вигляді спостерігається тільки у твердих тілах, а в нерухомих рідинах і газах тільки при умові неможливості виникнення в них конвекції.
- ✘ Основним або першим законом теплопровідності є твердження Фур'є, що густина теплового потоку пропорційна градієнту температури в тій самій точці:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}t.$$

(Жан Батіст Жозеф Фур'є – французький математик, фізик (1768-1830)).



→

* q – вектор густини теплового потоку, направлений по нормалі до ізотермічної поверхні в сторону зменшення t і чисельно рівний густині теплового потоку на цій поверхні. Знак (-) означає протилежність напрямків векторів густини потоку і температурного градієнта.

* λ - коефіцієнт пропорційності – теплопровідність тіла в даній точці (стара назва коефіцієнт теплопровідності) – це теплофізична характеристика тіла, яка показує його здатність пропускати крізь себе теплоту на молекулярному рівні під дією різниці температур і яка має розмірність [Вт/м.К.]. Він залежить від агрегатного стану речовини, її температури і тиску, пористості та вологості і т.п. Його не можна розрахувати теоретично (за виключенням газів при дуже низьких температурах), тому усі дані про коефіцієнти теплопровідності, які приводять в різних довідниках та таблицях, отримані експериментально. Для більшості матеріалів використовують:

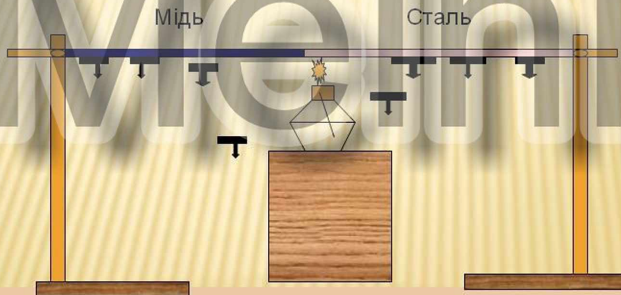
* $\lambda = \lambda_0 [1 + b(t - t_0)]$, де

* λ_0 - теплопровідність при 0°C. b – константа, яка визначається дослідним шляхом, $(t - t_0)$ - різниця температур.

Теплопровідність – це переносення енергії від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих за рахунок теплового руху та взаємодії мікрочастинок (атомів, молекул, іонів и т.п.), який призводить до вирівнювання температури тіла.

Не супроводжується перенесенням речовини!

Потребує безпосереднього контакту між тілами!



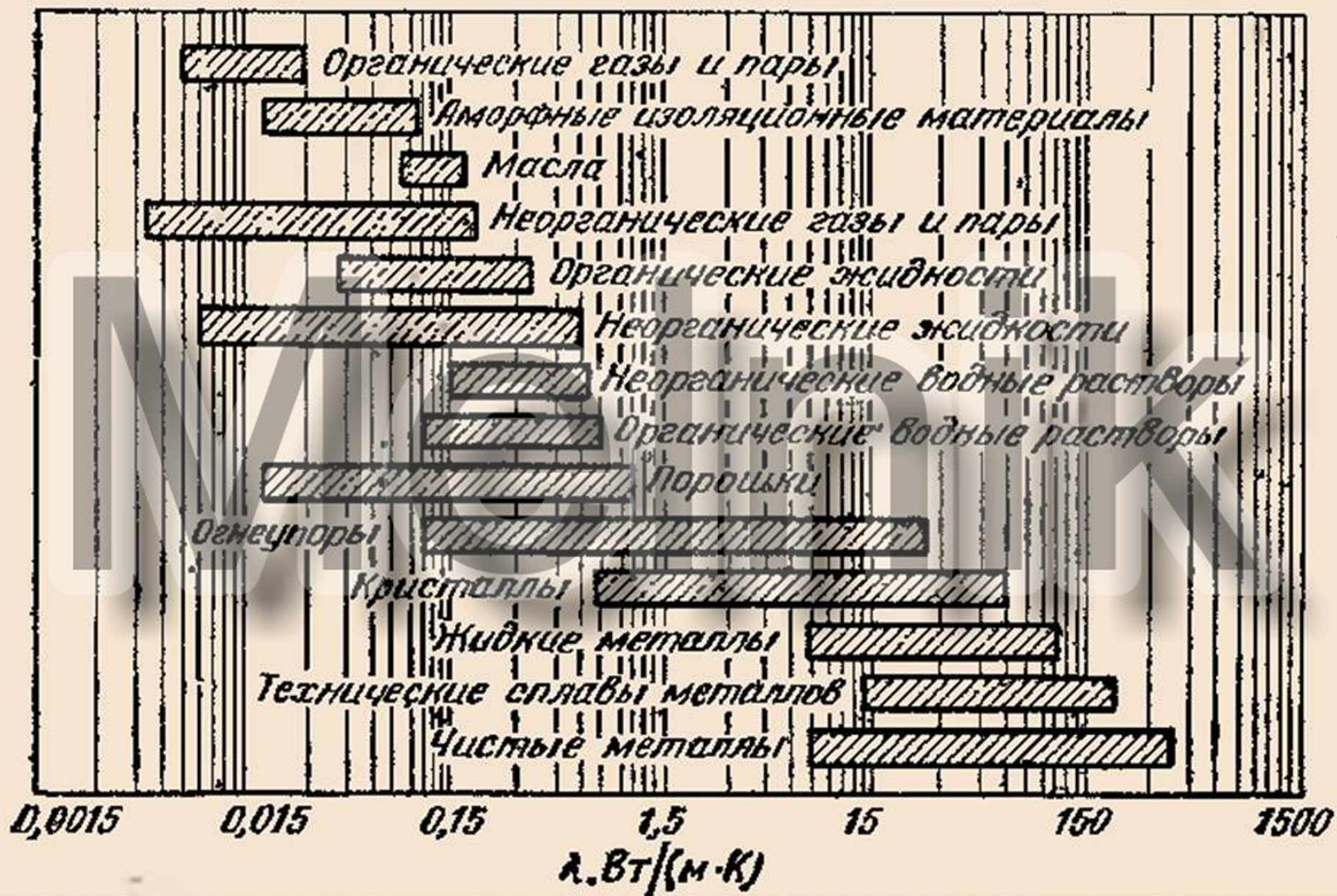
РІЗНІ РЕЧОВИНИ МАЮТЬ РІЗНУ ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ – ЦЕ ТЕПЛОФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА, ЯКУ НЕ МОЖЛИВО РОЗРАХУВАТИ, ЗА ВИКЛЮЧЕННЯМ ДЕЯКИХ ГАЗУВ В ОБЛАСТІ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР, ТОМУ ЇЇ ВИЗНАЧАЮТЬ ДОСЛІДНИМ ШЛЯХОМ ТА ЗАНОСЯТЬ У ДОВІДНИКИ.

ПОРІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ



Одинаково сохраняют тепло

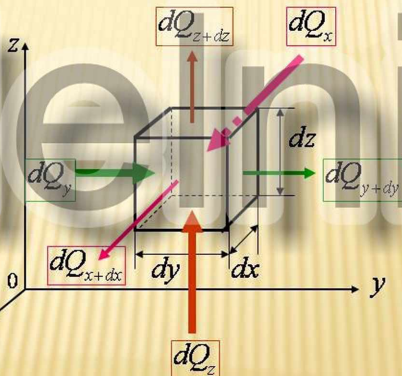




ДИФЕРЕНЦІЙНЕ РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ (ФУР'Є – КІРХГОФА)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c\rho} = a \nabla^2 t (q_v = 0)$$

Це рівняння являється основним при вивченні питань нагрівання та охолодження тіл в процесі передавання теплоти теплопровідністю і встановлює зв'язок між просторовими та часовими змінами температури у часі



$$a = \lambda / c\rho$$

Коефіцієнт теплопровідності $[m^2/s]$ – характеризує швидкість поширення температурного поля.

УМОВИ ОДНОЗНАЧНОСТІ.

- Обидва закони теплопровідності є диференціальними рівняннями і виведені на основі загальних законів фізики, тобто описують безліч подібних явищ в самому загальному виді. Щоб отримати однозначну інформацію, тобто, щоб з незліченої кількості часткових розв'язків виділити той, що описує конкретний процес – потрібно додати додаткові умови про конкретні особливості даного явища, які виділяють його із усього класу однорідних явищ, які описує це рівняння. Ця інформація, разом з диференціальним рівнянням, однозначно визначає таке одиночне явище і має назву - умови однозначності. Вони бувають:

Умови однозначності

Геометричні
(форма, розміри і т.п.)

Фізичні
(c, λ, ρ і т.п.)

Крайові
(сукупність часових та граничних)

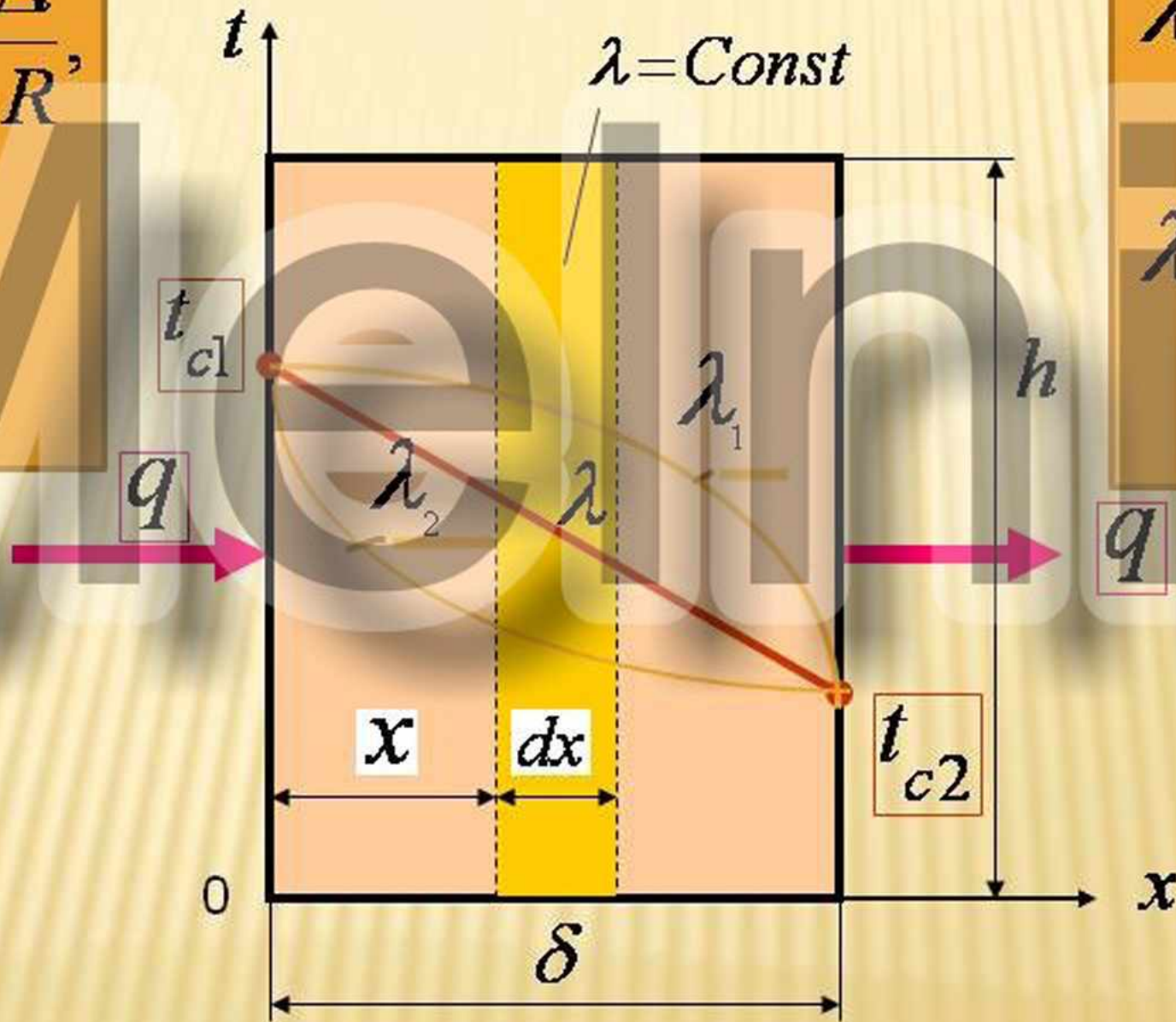
- ✘ **Граничні умови** стосуються взаємовідносин тіла з навколишнім середовищем чи іншими тілами. Вони можуть бути задані кількома способами – родами:
- ✘ Граничні умови першого роду, або умови Діріхле дають розподіл потенціалу – температури в просторових границях тіла і її зміни у часі – $t_A = f(x, y, z, \tau)$.
- ✘ Для стаціонарного режиму $t_A = \text{const}$.
- ✘ Граничні умови другого роду - або умови Неймана визначають розподіл щільності теплових потоків по просторових границях тіла, а також їх зміни у часі – $q_A = f(x, y, z, \tau)$. Для стаціонарного режиму: $q_A = \text{const}$.
- ✘ Граничні умови 3-го роду, або умови Фур'є, які встановлюють залежність щільності теплового потоку від значення температур поверхні тіла і середовища. Тобто, вони задають величину потенціалу навколо тіла або інтенсивність взаємодії між тілом та середовищем: $q = \alpha(t_1 - t_2)$.
- ✘ Граничні умови 4-го роду або умови ідеального контакту виражають суть закону збереження енергії і умови безперервності теплового потоку по поверхні дотику двох тіл чи середовищ. Вони базуються на припущенні, що сусідні тіла 1 та 2 (тверді, рідкі або газоподібні) мають спільні точки з однаковими потенціалами та потоками, тобто $t_1 = t_2$.

ТЕПЛОПРОВОДНІСТЬ ЧЕРЕЗ ОДНОШАРОВУ ПЛОСКУ СТІНКУ (ГРАНИЧНІ УМОВИ 1 РОДУ)

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2}) = \frac{\Delta T}{R},$$

де $R = \frac{\delta}{\lambda} \left[\frac{\text{м}}{\text{Втм}} \right]$ —

термічний опір



$$\lambda_1 \uparrow, \text{ при } T \uparrow$$

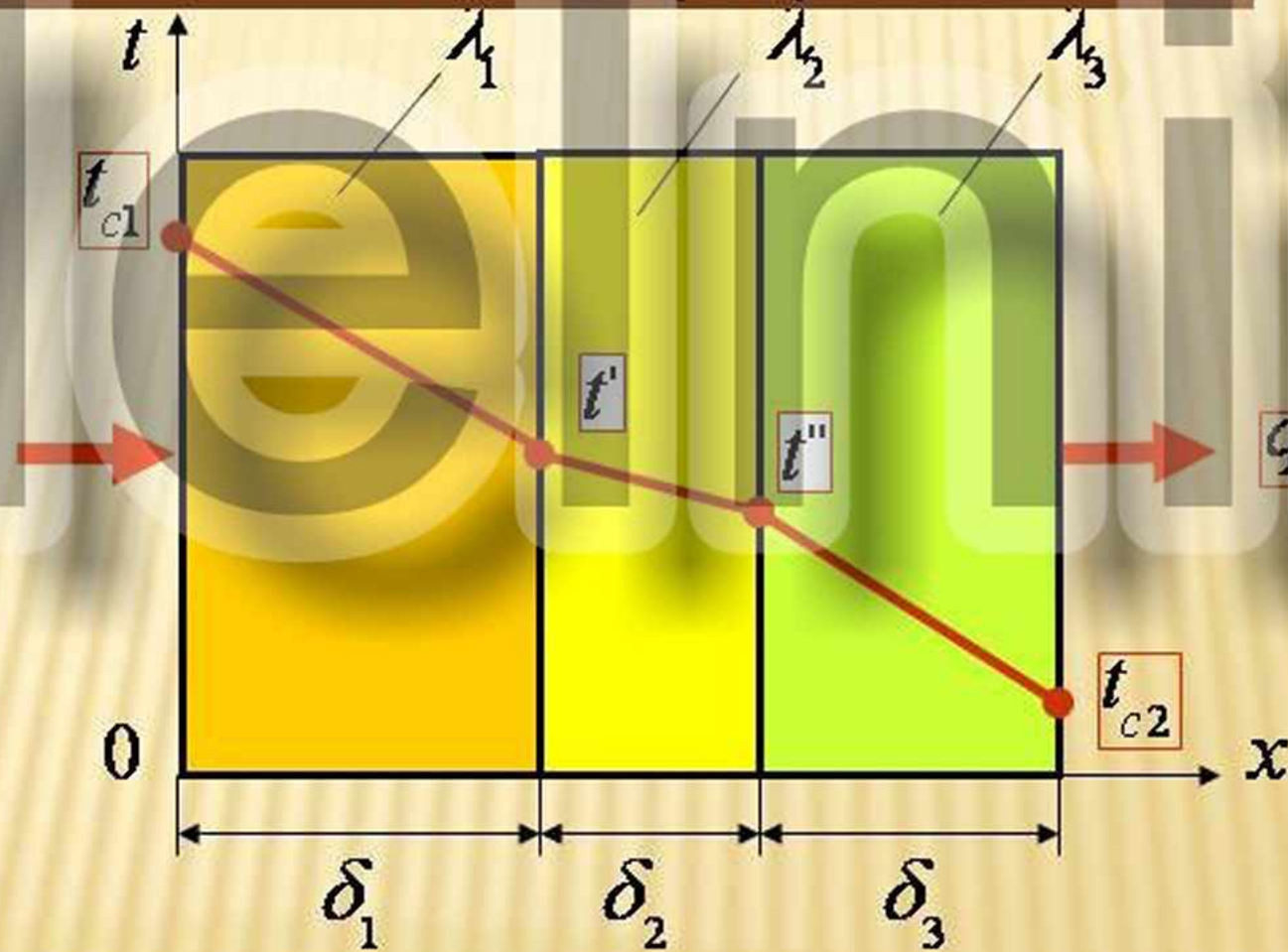
$$\lambda_2 \downarrow, \text{ при } T \uparrow$$

$$\lambda \neq f(T)$$

q

ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ЧЕРЕЗ БАГАТОШАРОВУ ПЛОСКУ СТІНКУ (ГРАНИЧНІ УМОВИ 1 РОДУ)

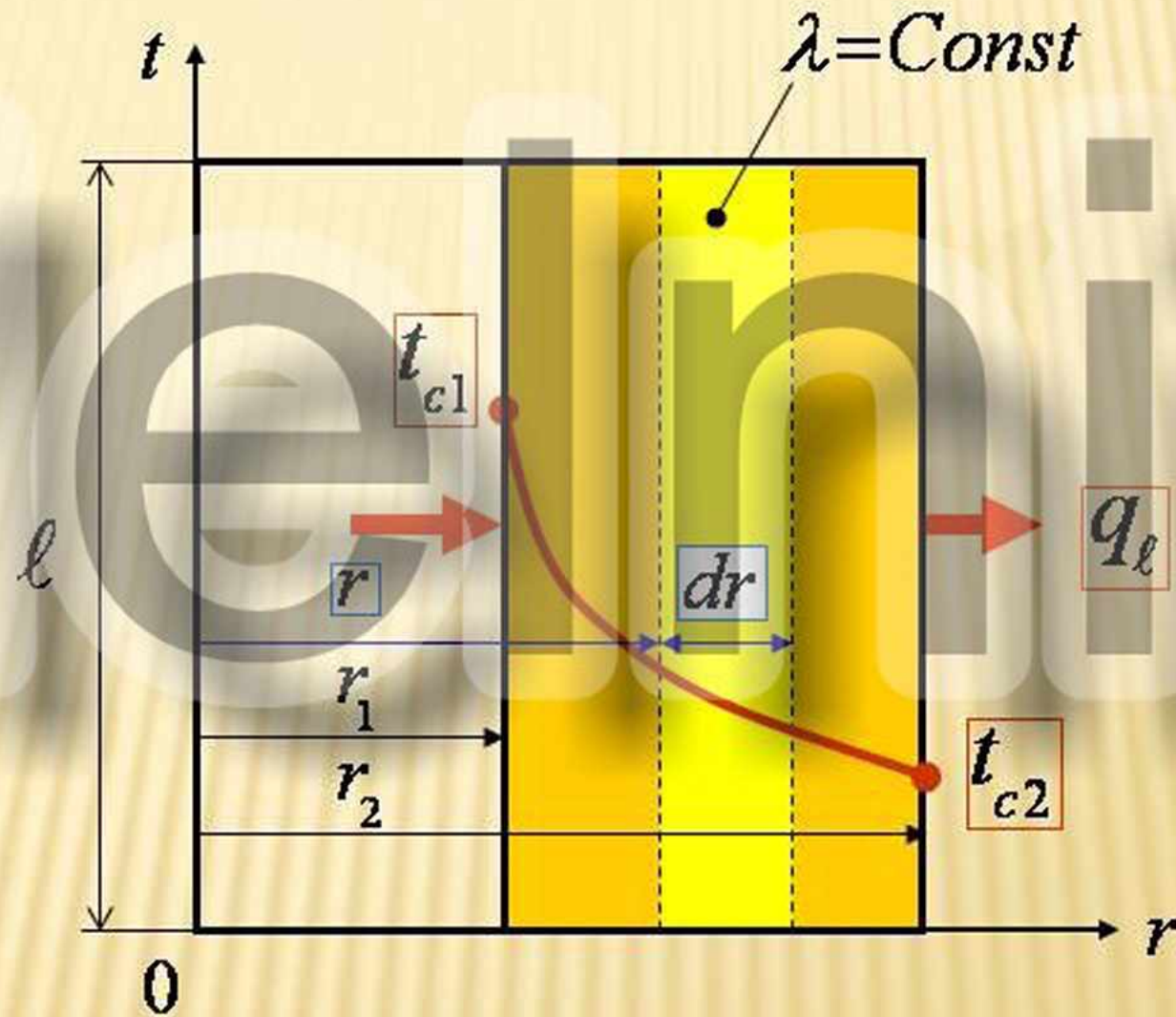
$$q = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)} = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^n (R_i)}$$



ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ЧЕРЕЗ ОДНОШАРОВУ ЦИЛІНДРИЧНУ СТІНКУ (ГР.УМОВИ 1 РОДУ)

$$q = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_1}{r_2}}$$

$$Q = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \frac{r_1}{r_2}}$$

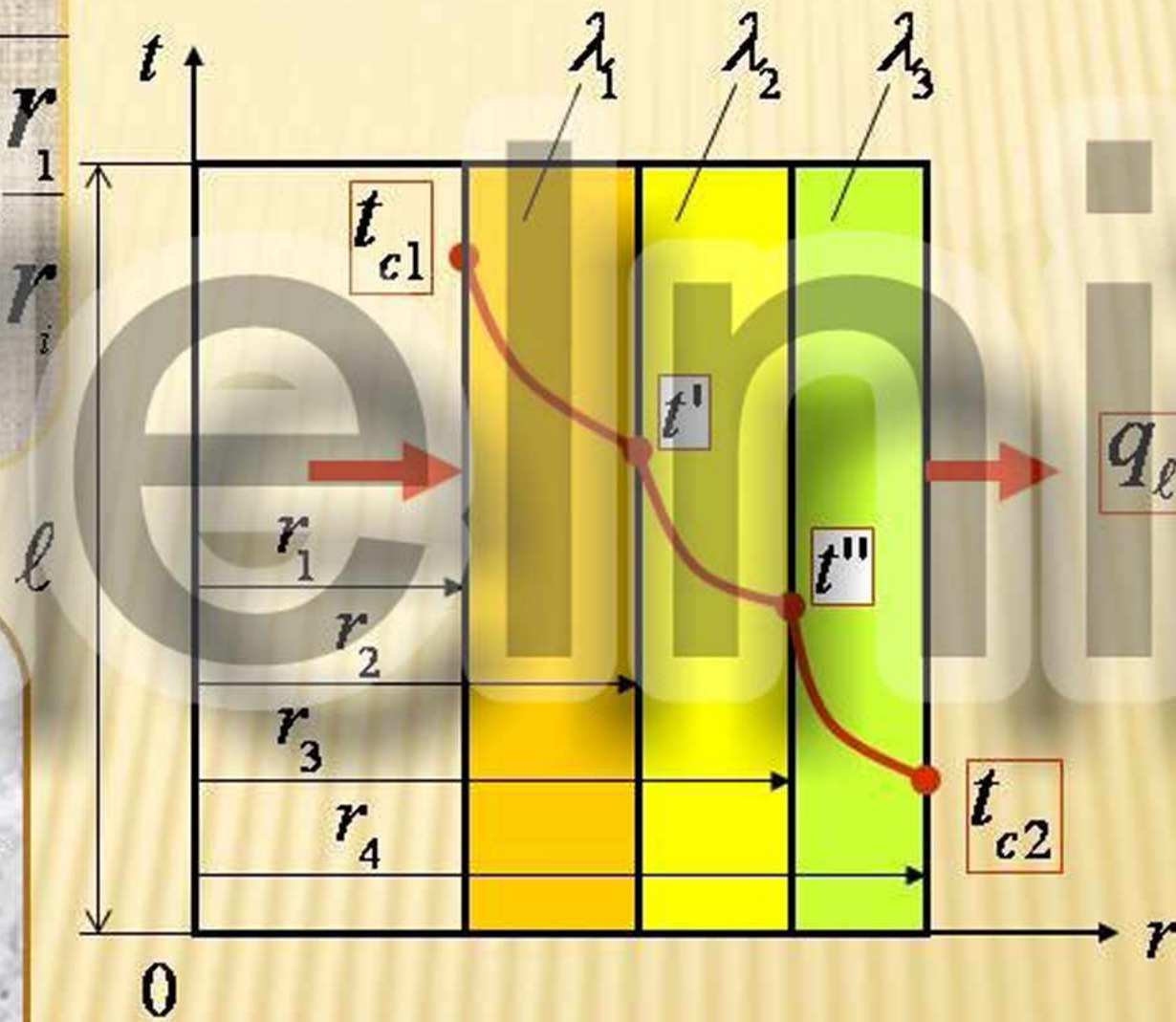


q_ℓ - лінійна густина теплового потоку [Вт/м]

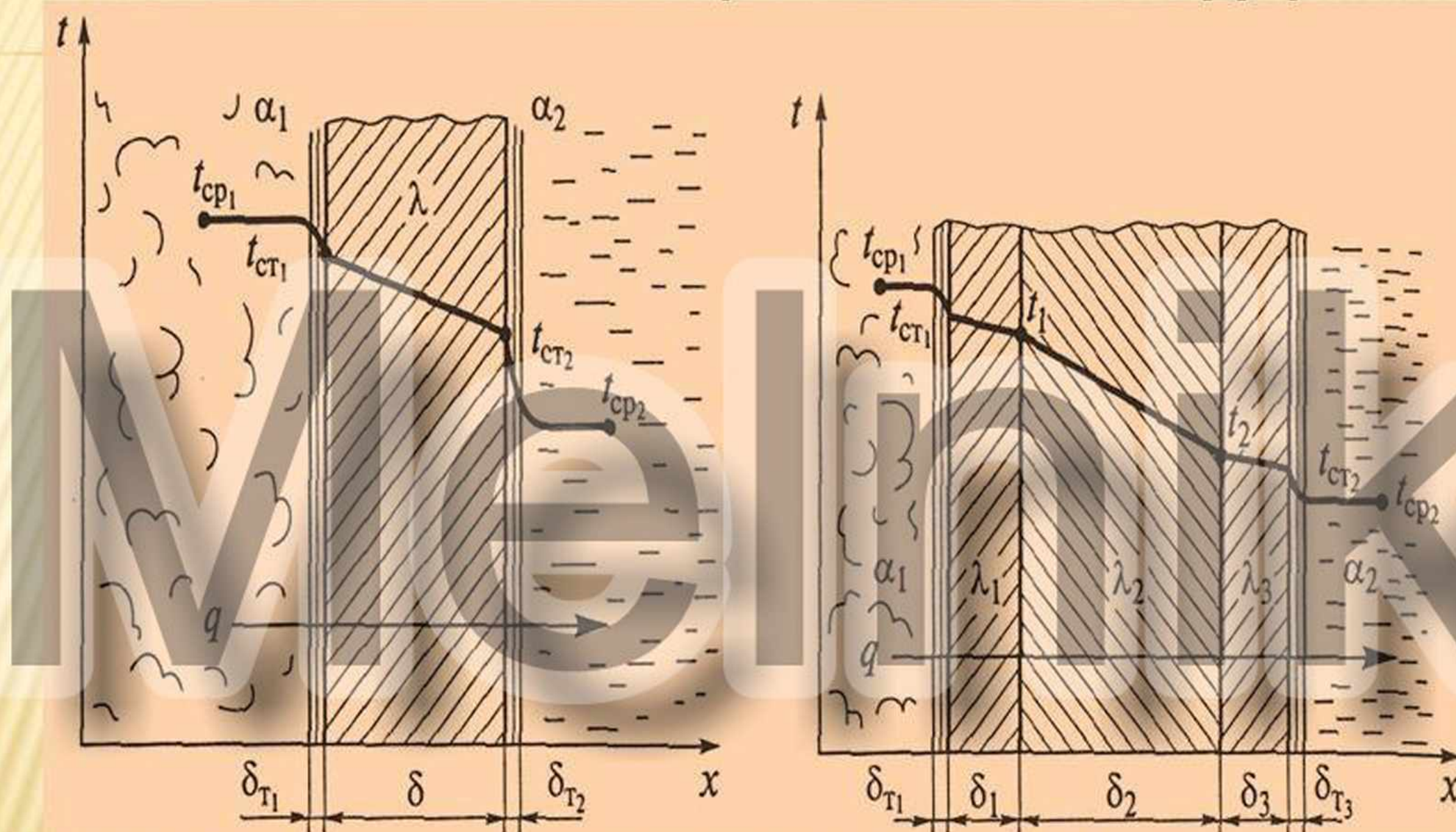
ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ЧЕРЕЗ БАГАТОШАРОВУ ЦИЛІНДРИЧНУ СТІНКУ (ГР. УМОВИ 1 РОДУ)

$$q_l = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_1}{r_i}}$$

$$Q_l = \frac{(t_{c1} - t_{c2})L}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_1}{r_i}}$$



ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ПЛОСКУ ОДНО-ТА БАГАТО-ШАРОВІ СТІНКИ (ГР.УМОВИ 3 РОДУ)

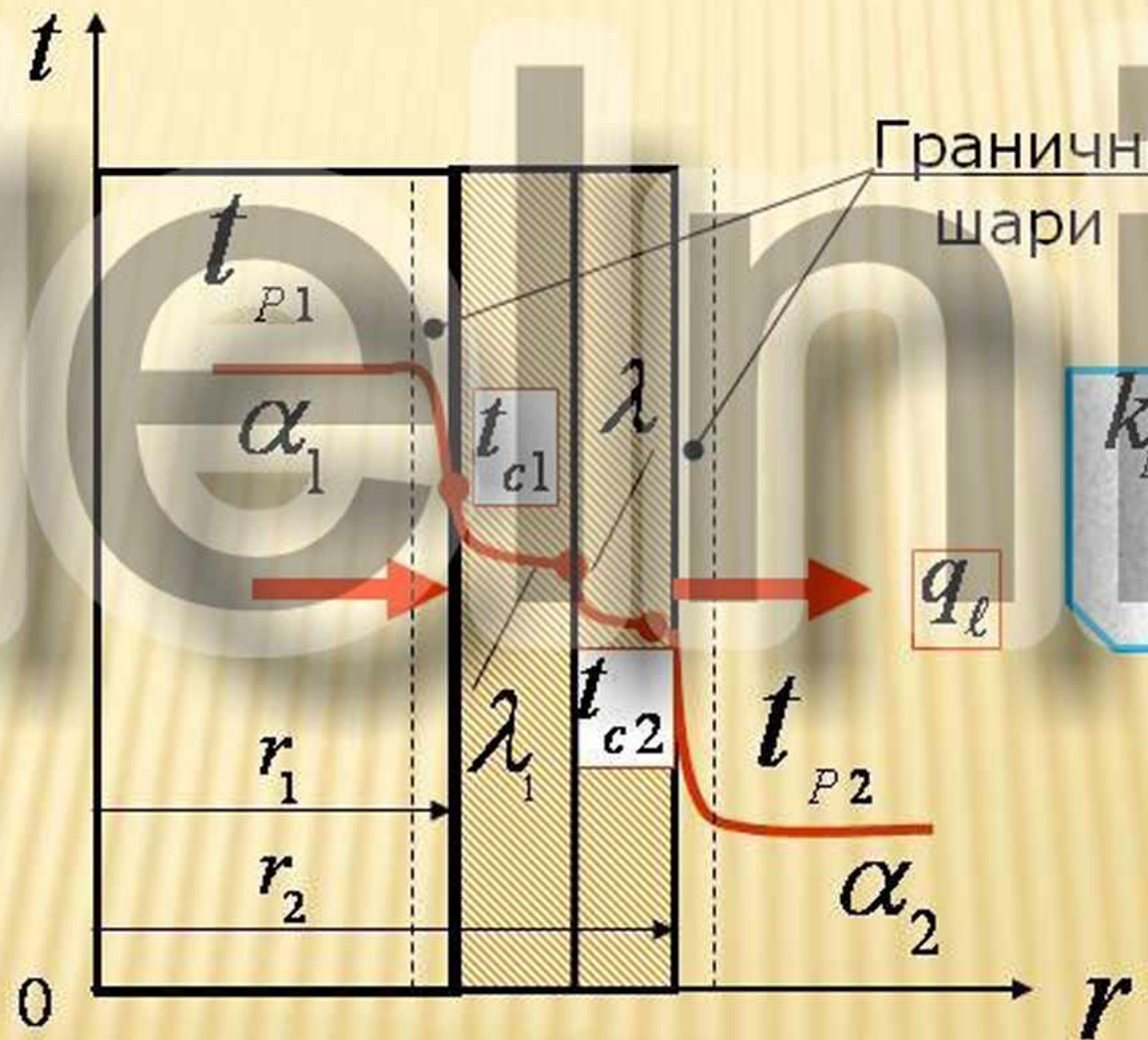


З кожної сторони добавляються ще додаткові термічні опори $1/\alpha$, тобто:

$$q = \frac{(t_{c1} - t_{c2})}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$q_l = \frac{(t_{P1} - t_{P2})}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{r_1}{r_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = k_L \Delta t$$

Якщо $\frac{r_{ex}}{r_{int}} \geq 0,5$,
то для розрахунку
теплопередачі
через циліндричну
стінку можна
використовувати
формулу для
плоскої стінки з
похибкою у
розрахунках не
більше 4%.



k_L — лінійний коефіцієнт теплопередачі

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ЦИЛІНДРИЧНІ ОДНО-ТА БАГАТО-ШАРОВІ СТІНКИ (ГР.УМОВИ 3 РОДУ)

ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

- ✗ Якщо товщина стінки невелика і вона виконана з матеріалу з високим коефіцієнтом теплопровідності λ , то $\delta/\lambda \rightarrow \infty$, і якщо при цьому $\alpha_1 \rightarrow \infty$, то k прямує до 0 і навпаки. Тому, для збільшення коефіцієнта теплопередачі потрібно збільшувати найменший з коефіцієнтів тепловіддачі. При $\alpha_1 \approx \alpha_2$ необхідно збільшувати кожен з них. Якщо ж на практиці не вдається збільшити найменший з коефіцієнтів тепловіддачі, то теплопередачу можна інтенсифікувати шляхом ребрення стінки зі сторони меншого з коефіцієнтів тепловіддачі (розглядають в спецкурсах).