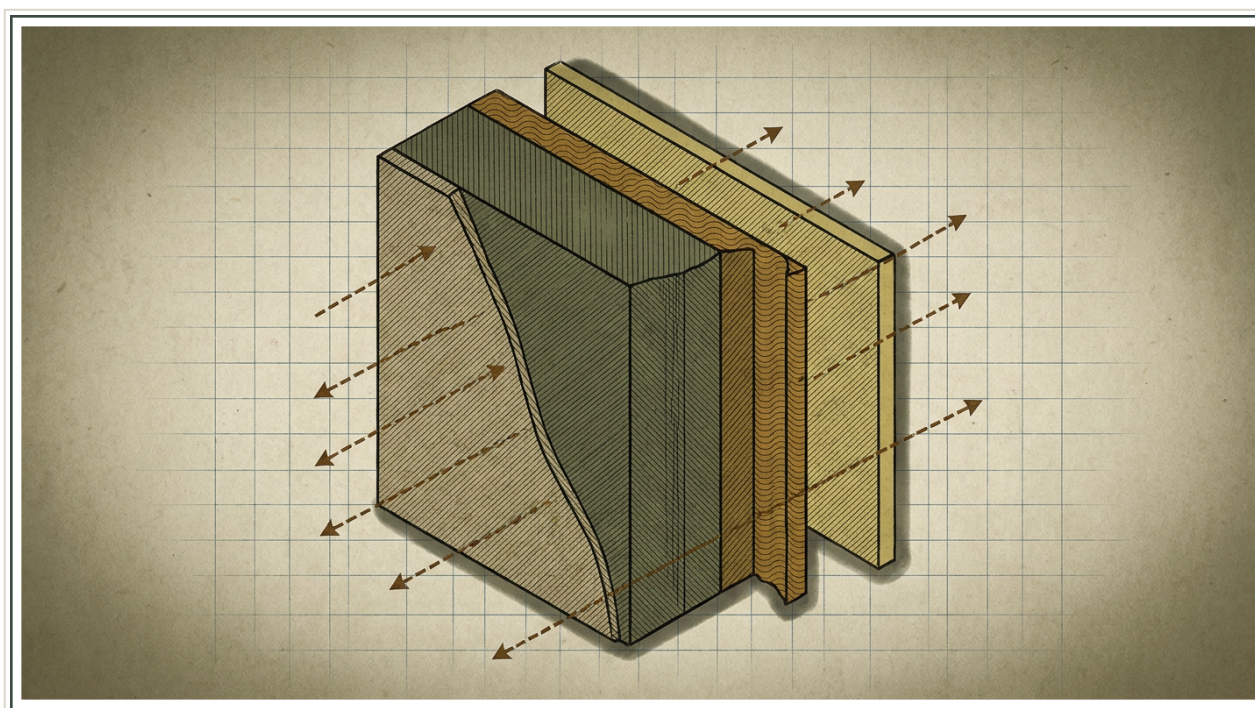


Термическое сопротивление стенки и загрязнений

теория теплообмена · формулы и вывод

Термическое сопротивление стенки, загрязнений и теплоотдачи: формулы, таблица по материалам и как из суммы сопротивлений получают коэффициент теплопередачи k .



Последовательные термические сопротивления на пути теплового потока через стенку

Термическое сопротивление — это «тормоз» на пути теплового потока. Чем оно больше, тем хуже тепло проходит сквозь стенку. Удобство концепции в том, что сопротивления разных слоёв складываются последовательно, точь-в-точь как резисторы в электрической цепи. Именно поэтому коэффициент теплопередачи k собирают не «одним куском», а как обратную сумму сопротивлений: теплоотдача с одной стороны, стенка, слой накипи, теплоотдача с другой.

Слой сопротивления	Формула	Ед.
Теплоотдача	$R = 1/\alpha$	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Плоская стенка	$R = \delta/\lambda$	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Загрязнение (накипь)	$R = \delta_z/\lambda_z$	$\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Цилиндрическая стенка	$R = \ln(d_2/d_1)/(2\pi\lambda)$	$\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Знаете ли вы

Слой накипи толщиной 1 мм ($\lambda \approx 1\text{--}2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) добавляет сопротивление порядка $0,0005\text{--}0,001 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ — этого хватает, чтобы уронить k пластинчатого аппарата в полтора-два раза. Вот почему водоподготовка окупается.

1. Сопротивление плоской стенки

Для стенки постоянной толщины сопротивление прямо пропорционально толщине и обратно — теплопроводности материала:

$$R_{\text{ст}} = \delta / \lambda$$

δ — толщина стенки, м; λ — теплопроводность материала, Вт/(м·К)

Материал	λ , Вт/(м·К)	R стенки 0,5 мм
Медь	390	0,0000013
Алюминий	220	0,0000023
Сталь углеродистая	50	0,00001
Нержавеющая сталь	17	0,0000294
Титан	22	0,0000227
Накипь (карбонат)	1,5	0,00033

2. Почему нержавейка «хуже» меди, но её берут

Сопротивление тонкой пластины из нержавейки (0,0000294) в 22 раза больше медной, но на фоне сопротивлений теплоотдачи ($1/\alpha \approx 0,0002$) это капля. Зато нержавейка держит агрессивные среды и давление. Стенка почти никогда не бывает узким местом — им обычно оказывается газовая сторона или загрязнение.

3. Полное сопротивление и k

$$R_{\Sigma} = 1/\alpha_1 + \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} + R_{\text{з}} + 1/\alpha_2, \quad k = 1/R_{\Sigma}$$

сумма всех последовательных сопротивлений даёт обратную величину k

4. Пример

Сложим сопротивления для воды-воды: $1/\alpha_1=0,00017$, стенка нерж 0,5 мм=0,0000294, накипь 0,3 мм=0,0002, $1/\alpha_2=0,0002$:

$$R_{\Sigma} = 0,00017 + 0,0000294 + 0,0002 + 0,0002 = 0,000599$$

$$k \approx 1670 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

загрязнение и обе теплоотдачи дают основной вклад, стенка почти незаметна

5. Частые вопросы

Почему сопротивления складываются, а не коэффициенты?

Тепловой поток проходит слои последовательно, как ток через резисторы. Складываются именно сопротивления ($1/\alpha$, δ/λ), а $k = 1/(\text{их сумма})$ получается меньше каждого α .

Насколько сильно накипь снижает теплопередачу?

Слой 1 мм накипи добавляет сопротивление, сравнимое с обеими теплоотдачами вместе. k может упасть в 1,5–2 раза — отсюда перерасход топлива и недогрев.

Влияет ли материал стенки на k заметно?

Для тонких металлических пластин почти нет: их сопротивление на порядок меньше сопротивлений теплоотдачи. Материал выбирают по коррозии и давлению, а не по теплопроводности.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Термическое сопротивление	Величина, обратная теплопроводности пути; сопротивления слоёв складываются.
Сопротивление стенки	$R = \delta/\lambda$ — сопротивление теплопроводности плоского слоя.
Фактор загрязнения	R_z — добавочное сопротивление отложений; растёт со временем эксплуатации.

**Не уверены в расчёте — спросите инженера**

Онлайн-подбор, методики и таблицы: msmteplo.ru

Инженер-консультант онлайн: [задать вопрос](#)

Телефон: 8 (800) 302-58-75 · E-mail: zakaz@msmteplo.ru

МСМ-ТЕПЛО — устройство, расчёт и подбор теплообменного оборудования.

Наведите камеру телефона на QR — откроется онлайн-консультант.

Темы документа: термическое сопротивление, стенка, загрязнение, накипь, теплопроводность материала, расчёт k