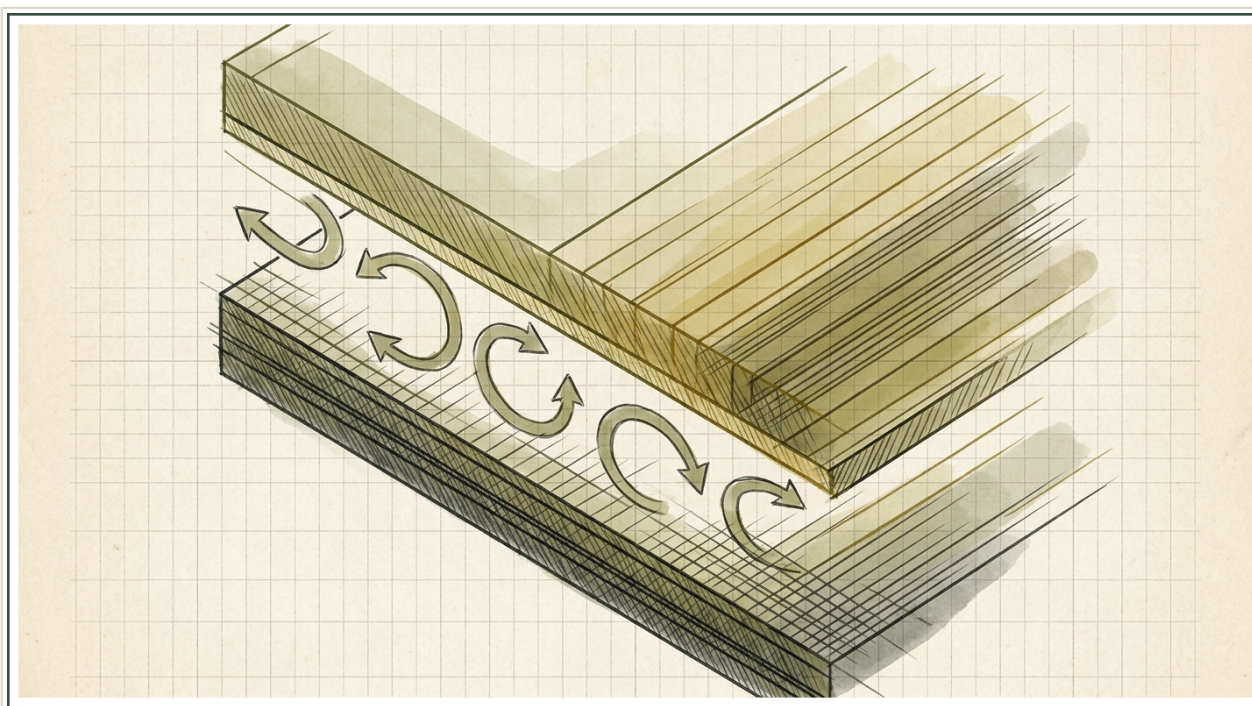


Лучистый теплообмен: основы и формулы

теория теплообмена · формулы и вывод

Лучистый теплообмен: закон Стефана-Больцмана $q = \varepsilon \sigma T^4$, обмен между телами, таблица степеней черноты и когда излучение важно, а когда им можно пренебречь.



Тепловое излучение поверхности растёт как четвёртая степень абсолютной температуры

Кроме теплопроводности и конвекции есть третий способ передачи тепла — излучением. Оно не требует среды и идёт даже в вакууме, а его мощность растёт как четвёртая степень абсолютной температуры. В обычных водяных теплообменниках при 50–90 °С излучение почти незаметно, но в высокотемпературной технике (печи, котлы, рекуператоры дымовых газов) оно становится главным механизмом. Разберём базовые законы и когда их учитывать.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

q — плотность потока излучения, Вт/м²; ε — степень черноты (0...1); $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) — постоянная Стефана-Больцмана; T — абсолютная температура, К

Важно

В законе излучения температура ТОЛЬКО в кельвинах и в ЧЕТВЁРТОЙ степени. Разница между 300 К и 600 К по излучению — не в 2 раза, а в 16 раз. Отсюда взрывной рост роли излучения с температурой.

1. Обмен излучением между телами

Для двух поверхностей с температурами T_1 и T_2 результирующий поток:

$$q = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

$\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведённая степень черноты системы двух тел

Именно разность четвёртых степеней делает излучение резко нелинейным по температуре.

2. Степень черноты материалов

Поверхность	Степень черноты ϵ
Абсолютно чёрное тело	1,00
Сажа, копоть	0,95
Окисленная сталь	0,80
Кирпич, бетон	0,90
Стекло	0,90
Полированный алюминий	0,05
Полированная медь	0,03

Знаете ли вы

Полированный металл почти не излучает ($\epsilon \approx 0,03-0,05$). На этом работают тепловые экраны и блестящая изоляция: зеркальная поверхность отражает излучение обратно и режет лучистые потери.

3. Когда излучение важно

- Топки котлов, печи, камеры сгорания — сотни и тысячи °C, излучение доминирует.
- Рекуператоры и утилизаторы дымовых газов.
- Тепловые потери горячих поверхностей и трубопроводов в цехе.
- В водяных ПТО при 50–90 °C — пренебрежимо мало по сравнению с конвекцией.

4. Пример

Окисленная стальная стенка 400 °C (673 K), $\epsilon=0,8$, излучает в холодное окружение 20 °C (293 K):

$$q = 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (673^4 - 293^4) \approx 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (2,05 \cdot 10^{11} - 7,4 \cdot 10^9)$$

подстановка четвертых степеней температур

$$q \approx 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1,98 \cdot 10^{11} \approx 8980 \text{ Вт/м}^2 \approx 9 \text{ кВт/м}^2$$

существенный лучистый поток — при таких температурах его нельзя игнорировать

5. Частые вопросы

Почему излучение так быстро растёт с температурой?

Мощность излучения пропорциональна T^4 (в кельвинах). Удвоение абсолютной температуры даёт рост потока в 16 раз. Поэтому при высоких температурах излучение обгоняет конвекцию.

Нужно ли учитывать излучение в водяных теплообменниках?

Практически нет. При 50–90 °C лучистый поток на порядки меньше конвективного. Излучение важно в печах, котлах, утилизаторах дымовых газов — там, где сотни и тысячи градусов.

Что такое степень черноты?

Коэффициент ϵ от 0 до 1, показывающий, насколько поверхность излучает по сравнению с идеальным чёрным телом. У сажи $\approx 0,95$, у полированного металла $\approx 0,03-0,05$.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Закон Стефана-Больцмана	$q = \epsilon \sigma T^4$ — мощность излучения пропорциональна четвёртой степени абсолютной температуры.
Степень черноты	ϵ (0...1) — способность поверхности излучать относительно чёрного тела.
Приведённая степень черноты	$\epsilon_{\text{пр}}$ — эффективная ϵ системы двух обменивающихся излучением тел.

**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: лучистый теплообмен, излучение, закон Стефана Больцмана, степень черноты, T^4 , тепловое излучение