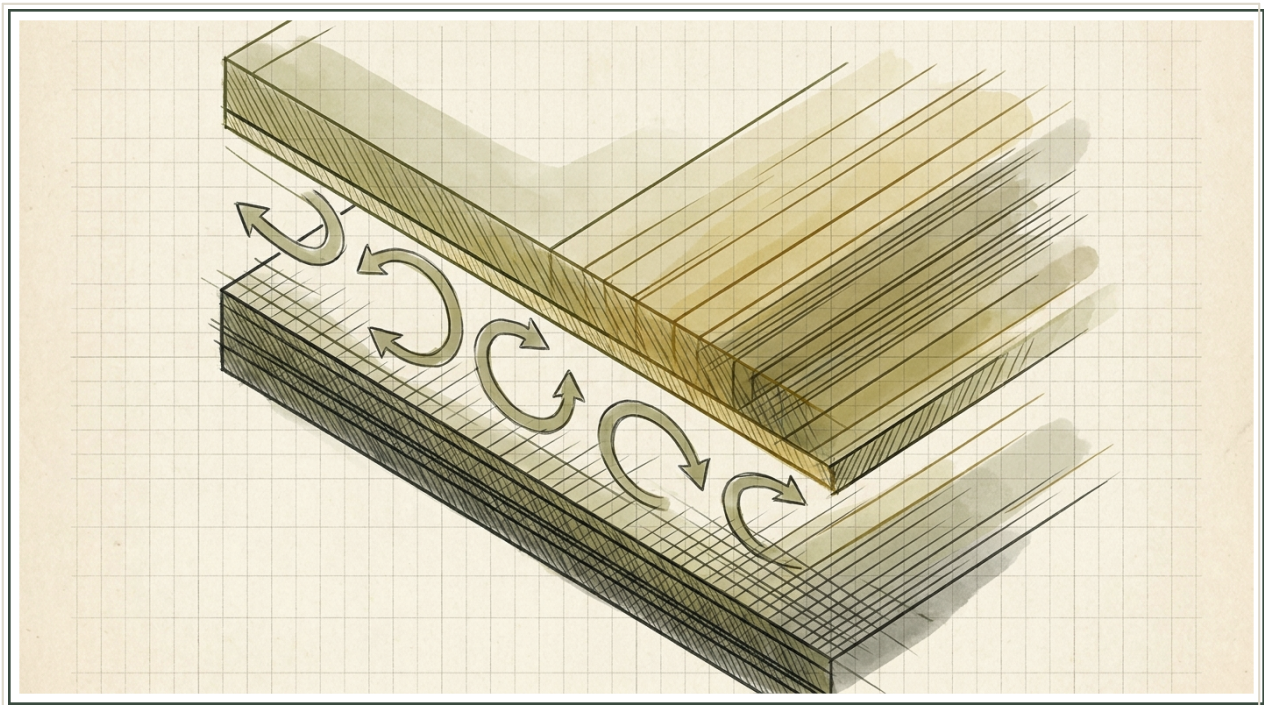


Число Грасгофа и свободная конвекция

теория теплообмена · формулы и вывод

Число Грасгофа и свободная конвекция: формула Gr, таблица коэффициентов расширения β , связь с числом Рэлея $Ra=Gr \cdot Pr$ и пример расчёта теплоотдачи от нагретой стенки.



Восходящий поток нагретого воздуха у вертикальной стенки — свободная конвекция

Когда жидкость движется не насосом, а сама — из-за разности плотностей нагретых и холодных слоёв, — говорят о свободной (естественной) конвекции. Роль числа Рейнольдса здесь играет число Грасгофа Gr: оно показывает, насколько подъёмные силы от нагрева сильнее вязкого трения. Gr нужно там, где нет принуждённого потока: радиаторы отопления, стенки баков, оребрённые поверхности, остывающие трубопроводы.

$$Gr = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot L^3 / \nu^2$$

g — ускорение свободного падения, 9,81 м/с²; β — коэффициент объёмного расширения, 1/К; Δt — напор стенка-среда, К; L — характерный размер, м; ν — кинематическая вязкость, м²/с

Коротко

Gr в свободной конвекции — аналог Re в вынужденной. Только движущая сила не насос, а разность плотностей: горячее всплывает, холодное опускается.

1. Коэффициент объёмного расширения β

β показывает, насколько среда расширяется при нагреве. Для идеального газа $\beta = 1/T$ (T в кельвинах), для жидкостей берут из таблиц:

Среда	Температура	$\beta, \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$
Воздух	20 °C	3,41
Вода	20 °C	0,21

Среда	Температура	$\beta, \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$
Вода	60 °C	0,52
Вода	90 °C	0,70
Трансформаторное масло	50 °C	0,70

У газов β на порядок больше, чем у воды, поэтому естественная конвекция в воздухе развита сильнее относительно вязкости — на этом работают радиаторы отопления.

2. Как Gr входит в теплоотдачу

Теплоотдачу свободной конвекции считают через произведение $Gr \cdot Pr$ (иногда его обозначают Ra — число Рэлея):

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m = C \cdot Ra^m$$

$Ra = Gr \cdot Pr$ — число Рэлея; C и m зависят от режима (ламинарный/турбулентный) и формы

Режим свободной конвекции	$Ra = Gr \cdot Pr$	C	m
Ламинарный	$10^3 - 10^9$	0,54	1/4
Турбулентный	$10^9 - 10^{13}$	0,15	1/3

3. Пример

Горячая вертикальная стенка 60 °C в воздухе 20 °C, высота $L=0,5$ м. Для воздуха при средней 40 °C: $\beta \approx 0,0032 \text{ 1/K}$, $\nu \approx 16,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\Delta t = 40 \text{ К}$:

$$Gr = 9,81 \cdot 0,0032 \cdot 40 \cdot 0,5^3 / (16,9 \cdot 10^{-6})^2 \approx 0,157 / 2,86 \cdot 10^{-10} \approx 5,5 \cdot 10^8$$

ламинарная свободная конвекция ($Gr \cdot Pr$ всё ещё $< 10^9$)

4. Где Gr в теплообмене

- Расчёт теплоотдачи от труб и стенок без принудительного потока (потери тепла).
- Радиаторы, регистры, оребрённые поверхности отопления.
- Оценка остывания баков-аккумуляторов и теплоизоляции.

5. Частые вопросы

Чем число Грасгофа отличается от числа Рейнольдса?

Re описывает вынужденное течение (от насоса), Gr — свободное, вызванное разностью плотностей при нагреве. Оба сравнивают движущую силу с вязким трением, но источник движения разный.

Что такое число Рэлея?

$Ra = Gr \cdot Pr$ — комбинированный критерий свободной конвекции. Именно от Ra зависит режим (ламинарный/турбулентный) и вид критериального уравнения Nu .

Где в теплообменнике важна свободная конвекция?

Там, где нет насоса: теплотери с корпуса и труб, работа радиаторов отопления, остывание баков. В самих пластинчатых аппаратах господствует вынужденная конвекция.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Число Грасгофа	$Gr = g\beta\Delta tL^3/\nu^2$ — отношение подъёмных сил к вязким при свободной конвекции.
Число Рэлея	$Ra = Gr \cdot Pr$ — определяющий критерий режима свободной конвекции.
Коэффициент объёмного расширения	β , 1/K — относительное расширение среды при нагреве на 1 К.

**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: число Грасгофа, свободная конвекция, Gr, число Рэлея, естественная конвекция, теплоотдача