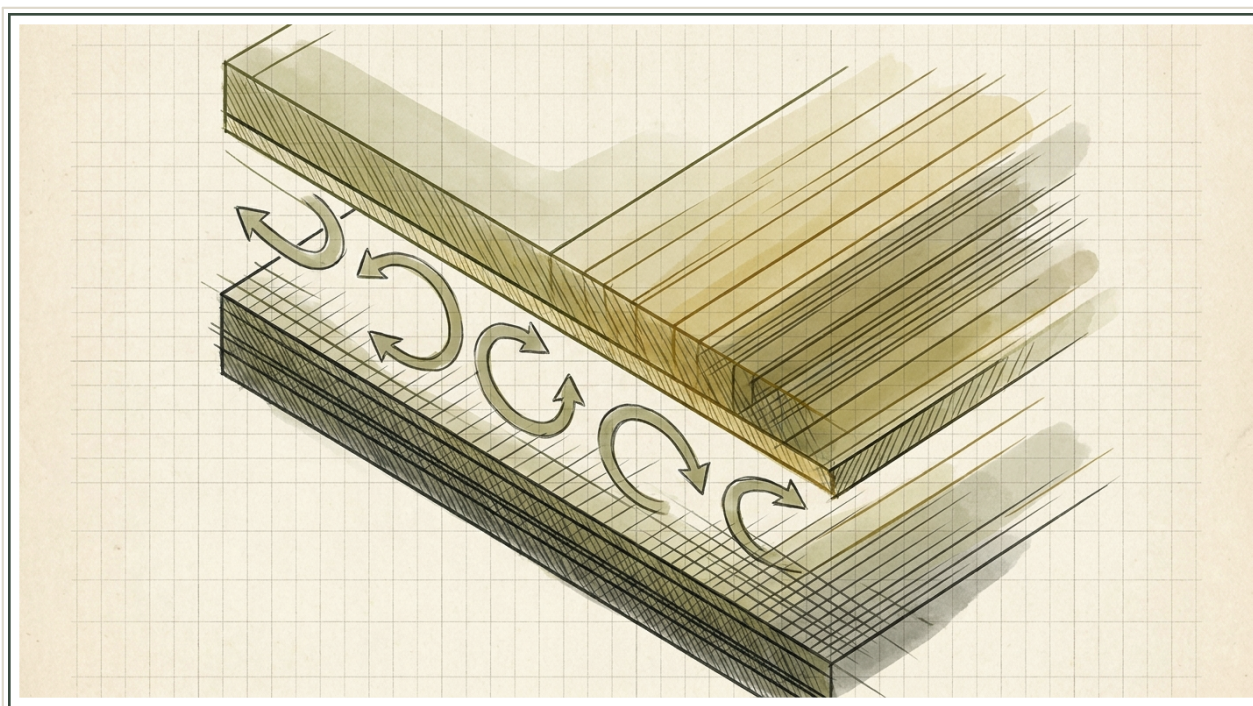


Число Прандтля для жидкостей и газов

теория теплообмена · формулы и вывод

Число Прандтля простыми словами: почему оно зависит только от среды, таблица Pr для воды, воздуха, масел и металлов, и как Pr входит в критериальные уравнения теплоотдачи.



Соотношение теплового и гидродинамического пограничных слоёв при разных числах Прандтля

Число Прандтля Pr стоит особняком среди критериев подобия: в нём нет ни скорости, ни размера канала — только свойства самой жидкости. По сути Pr отвечает на вопрос, что в среде «быстрее» распространяется — импульс (движение) или тепло. У воды и масел тепло отстаёт от движения, у жидких металлов — наоборот, тепло бежит вперёд. Эта разница определяет форму температурного профиля у стенки и попадает в каждое критериальное уравнение теплоотдачи.

Среда	Температура	Число Прандтля Pr
Жидкий натрий	100 °C	$\approx 0,011$
Ртуть	20 °C	$\approx 0,025$
Воздух	20 °C	$\approx 0,70$
Вода	20 °C	$\approx 7,0$
Вода	80 °C	$\approx 2,2$
Вода	100 °C	$\approx 1,75$
Трансформаторное масло	20 °C	≈ 150
Глицерин	20 °C	≈ 12000

Коротко

Pr сильно падает с ростом температуры у капельных жидкостей: у воды от 13 при 0 °C до 1,75 при 100 °C. Поэтому Pr всегда берут при средней температуре среды, а не «из воздуха».

1. Определение

Число Прандтля — отношение кинематической вязкости к температуропроводности:

$$Pr = \nu / a = (\mu \cdot c_p) / \lambda$$

ν — кинематическая вязкость, м²/с; $a = \lambda / (\rho \cdot c_p)$ — температуропроводность, м²/с; c_p — теплоёмкость, Дж/(кг·К); λ — теплопроводность, Вт/(м·К)

Числитель ν описывает, как быстро расходитс импульс (вязкий пограничный слой), знаменатель a — как быстро расходитс тепло (тепловой слой). Их отношение и есть Pr.

2. Физический смысл через пограничные слои

У стенки образуются два слоя: гидродинамический (где тормозится скорость) и тепловой (где меняется температура). Их толщины связаны через Pr:

$$\delta / \delta_T \approx Pr^{(1/3)}$$

δ — толщина гидродинамического слоя; δ_T — теплового

- $Pr < 1$ (газы, металлы): тепловой слой толще скоростного — тепло проникает дальше движения.
- $Pr \approx 1$ (газы): слои почти совпадают.
- $Pr > 1$ (вода, масла): тепловой слой тоньше — тепло «зажато» у стенки, теплоотдача чувствительна к скорости.

3. Где Pr в расчёте

Pr входит в критериальное уравнение как самостоятельный множитель. Показатель степени при Pr зависит от направления теплового потока:

$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$, $n = 0,4$ при нагреве, $n = 0,33$ при охлаждении жидкости
разные n учитывают, как перестраивается профиль у стенки при нагреве и охлаждении

4. Пример влияния

Сравним теплоотдачу воды ($Pr \approx 3,5$) и масла ($Pr \approx 150$) при одинаковом $Re = 5000$ по $Nu \sim Pr^{0,4}$. Отношение вкладов Pr:

$$(150/3,5)^{0,4} \approx 43^{0,4} \approx 4,5$$

при равном режиме течения масло из-за высокого Pr даёт большее Nu, но само α ниже — мешает вязкость и малое λ

Парадокс объясняется просто: у масла велико Pr, но мала теплопроводность λ и трудно получить высокий Re. На практике α масла всё равно в разы ниже, чем у воды.

5. Частые вопросы

От чего зависит число Прандтля?

Только от свойств среды и её температуры: вязкости, теплоёмкости и теплопроводности. От скорости потока и геометрии канала Pr не зависит — это чисто теплофизическая характеристика.

Почему у жидких металлов Pr такое маленькое?

У металлов огромная теплопроводность λ , поэтому температуропроводность a велика, а тепло распространяется гораздо быстрее импульса. Pr выходит около 0,01–0,03.

При какой температуре брать Pr в расчёте?

При средней температуре потока в аппарате. Для поправки на стенку дополнительно берут $Pr_{ст}$ при температуре поверхности.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Число Прандтля	$Pr = \nu/a$ — отношение скоростей переноса импульса и тепла в среде; зависит только от свойств жидкости.
Температуропроводность	$a = \lambda/(\rho \cdot c_p)$, m^2/c — как быстро выравнивается температура в среде.
Тепловой пограничный слой	Пристеночная зона, где температура меняется от стеночной к потоковой.



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 Прандтля, Pr , теплофизика, температуропроводность, пограничный слой, таблица Прандтля