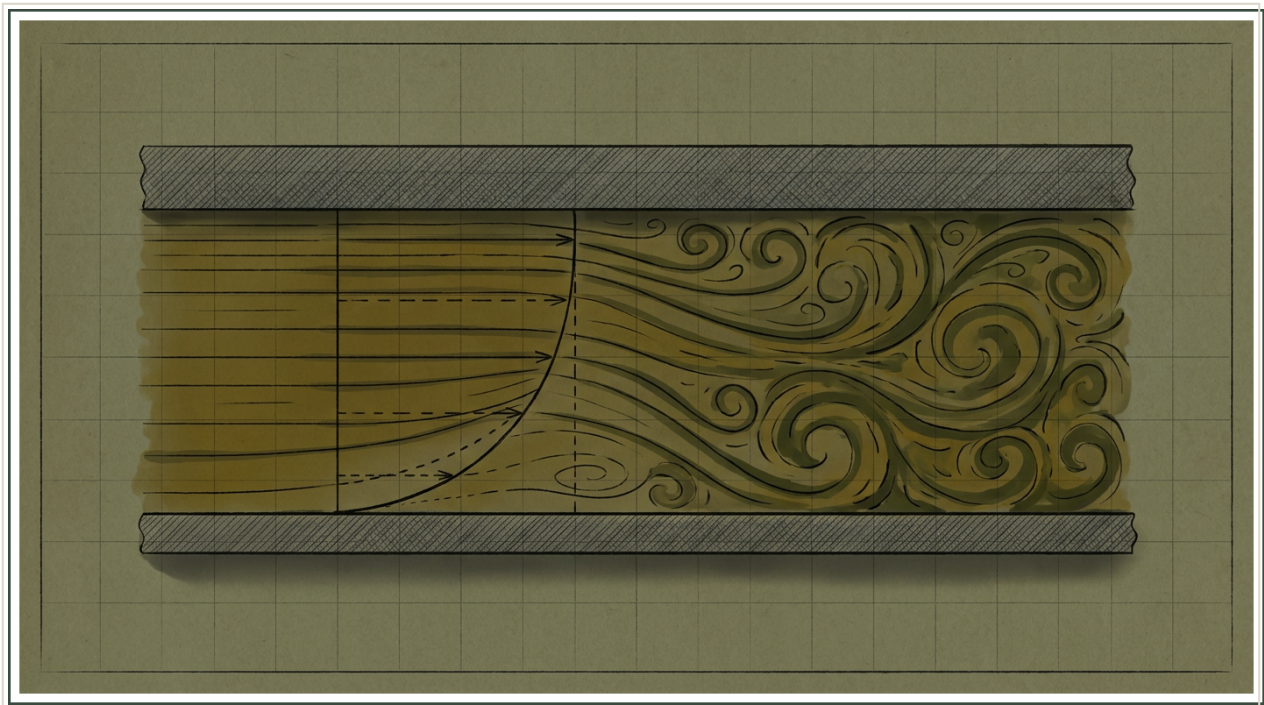


Пограничный слой и его роль в теплоотдаче

теория теплообмена · формулы и вывод

Пограничный слой и его роль в теплоотдаче: почему в нём главное сопротивление, связь теплового и скоростного слоёв через Pr , зависимость α от толщины слоя и роль гофры.



Профили скорости и температуры в пограничном слое у стенки

Главное сопротивление теплоотдаче спрятано в тонкой плёнке жидкости у самой стенки — пограничном слое. Здесь скорость тормозится от нуля на стенке до потоковой, а температура меняется от стеночной к потоковой. Почти весь перепад температуры «сидит» в этом слое, и вся борьба за теплоотдачу — это борьба за его толщину. Понимание пограничного слоя объясняет, почему турбулизация и гофра так эффективны.

Коротко

Тепло от потока к стенке идёт через пограничный слой в основном теплопроводностью. Чем тоньше слой — тем меньше сопротивление и выше α . Турбулентность утоньшает слой, гладкий ламинар — утолщает.

1. Два пограничных слоя

У стенки формируются два слоя, и их толщины связаны через число Прандтля:

Слой	Что меняется	Толщина
Гидродинамический δ	скорость $0 \rightarrow w$	растёт по длине
Тепловой δ_t	температура $t_{ст} \rightarrow t_{ж}$	связан с δ через Pr

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

при $Pr > 1$ (вода, масло) тепловой слой тоньше скоростного; при $Pr < 1$ — толще

2. Связь толщины слоя и теплоотдачи

В пределах теплового слоя тепло идёт теплопроводностью, поэтому коэффициент теплоотдачи обратно пропорционален его толщине:

$$\alpha \approx \lambda / \delta_{\text{т}}$$

λ — теплопроводность среды; $\delta_{\text{т}}$ — толщина теплового пограничного слоя

Отсюда вся стратегия повышения теплоотдачи — уменьшить $\delta_{\text{т}}$. Турбулентные вихри срывают и утоньшают слой, поэтому в турбулентном режиме α в разы выше, чем в ламинарном.

3. Развитие слоя по длине канала

На входе в канал слой тонкий, теплоотдача высокая; по мере нарастания слоя α падает и выходит на стабильное значение. Это учитывают поправкой на начальный участок:

$$\delta(x) \sim \sqrt{(v \cdot x / w)} \quad (\text{ламинарный слой})$$

толщина ламинарного слоя растёт как корень из расстояния от входа

Знаете ли вы

Гофра пластинчатого теплообменника не даёт пограничному слою нарасти: поток каждые несколько миллиметров меняет направление, слой постоянно срывается и обновляется. Поэтому α держится высоким по всей пластине, а не только на входе.

4. Где это в расчёте теплообменника

- Объясняет, почему α растёт с турбулентностью — тоньше слой, меньше сопротивление.
- Обосновывает поправку ε_L на начальный участок коротких каналов.
- Показывает смысл турбулизаторов и гофры: не «перемешать ради перемешивания», а сорвать слой.

5. Частые вопросы

Почему пограничный слой — главное сопротивление теплоотдаче?

В нём почти весь перепад температуры между стенкой и потоком, а тепло сквозь него идёт медленной теплопроводностью. Толщина слоя напрямую определяет α : $\alpha \approx \lambda / \delta_{\text{т}}$.

Как связаны тепловой и гидродинамический слои?

Через число Прандтля: $\delta / \delta_{\text{т}} \approx \text{Pr}^{(1/3)}$. У воды и масел ($\text{Pr} > 1$) тепловой слой тоньше скоростного, у газов — примерно равен, у металлов — толще.

Почему гофра повышает теплоотдачу?

Она не даёт пограничному слою нарасти: поток постоянно срывается, слой обновляется и остаётся тонким по всей пластине. Тонкий слой — высокий α .

6. Глоссарий

Термин	Определение
Пограничный слой	Тонкая пристеночная зона, где скорость и температура меняются от стеночных к потоковым.
Тепловой пограничный слой	Зона перепада температуры у стенки; его толщина определяет α .
Начальный участок	Область у входа, где слой ещё тонкий и теплоотдача повышена.

**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: пограничный слой, теплоотдача, гидродинамический тепловой слой, толщина слоя, гофра турбулизация