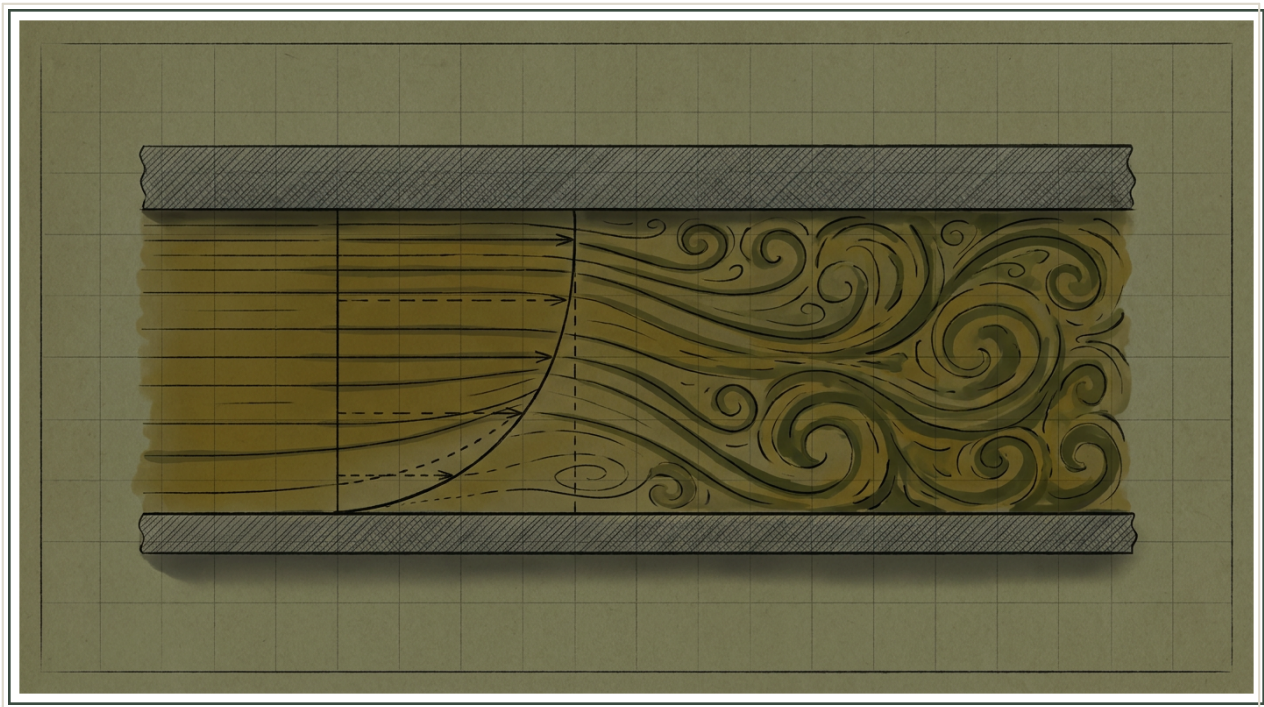


Ламинарный и турбулентный режимы в теплообмене

теория теплообмена · формулы и вывод

Ламинарный и турбулентный режимы течения в теплообмене: чем отличаются, где граница по Re , почему турбулентность резко поднимает теплоотдачу и во что это обходится по давлению.



Ламинарное и турбулентное течение в канале и толщина пристеночного теплового слоя

Ламинарный и турбулентный — два лица одного потока, и разница между ними для теплообмена принципиальна. В ламинарном режиме жидкость течёт спокойными слоями, тепло к стенке идёт только за счёт вялой теплопроводности поперёк потока. В турбулентном вихри перемешивают жидкость, свежие порции постоянно подходят к стенке, и теплоотдача взлетает. Задача расчётчика — знать, в каком режиме работает аппарат, потому что формулы для них разные.

Признак	Ламинарный	Турбулентный
Число Рейнольдса (труба)	$Re < 2300$	$Re > 10000$
Характер линий тока	параллельные слои	хаотичные вихри
Nu	постоянно (3,66–4,36)	растёт как $Re^{0,8}$
Профиль скорости	параболический	«полный», уплощённый
Теплоотдача	низкая	высокая
Потери давления	$\sim w$	$\sim w^{1,8}$

Важно

Между режимами лежит переходная зона ($Re \approx 2300\text{--}10000$), где теплоотдача неустойчива и плохо предсказуема. Аппараты стараются проектировать так, чтобы рабочая точка была уверенно в турбулентной области.

1. Граница режимов — критическое Re

Переход определяется числом Рейнольдса. Для гладкой трубы критическое значение ≈ 2300 , но для каналов с гофрой оно резко снижается:

$$Re = w \cdot d_{\text{э}} / \nu; Re_{\text{кр}}(\text{труба}) \approx 2300; Re_{\text{кр}}(\text{гофра ПТО}) \approx 100\text{--}400$$

гофрированный рельеф срывает поток в вихри намного раньше

Знаете ли вы

Именно раннее наступление турбулентности делает пластинчатые аппараты компактными: они работают в турбулентном режиме при скоростях, при которых гладкая труба ещё «спит» в ламинаре.

2. Почему турбулентность улучшает теплоотдачу

В ламинарном потоке у стенки стоит толстый неподвижный тепловой слой — главное сопротивление. Вихри турбулентности его размывают:

- Пристеночный тепловой слой становится тоньше — сопротивление падает.
- Перемешивание подводит к стенке жидкость с потоковой температурой.
- Nu (а с ним α) растёт почти линейно со скоростью ($Re^{0,8}$).

3. Расплата — потери давления

Турбулентность не бесплатна: гидравлическое сопротивление растёт быстрее теплоотдачи. Теплоотдача $\sim w^{0,8}$, а потери давления $\sim w^{1,8}$. Поэтому скорость выбирают как компромисс:

$$\alpha \sim w^{0,8}, \Delta p \sim w^{1,8}$$

удвоение скорости: +74 % к теплоотдаче, но +250 % к потерям давления

4. Пример

Вода 50 °C ($\nu=0,55 \cdot 10^{-6}$ м²/с) в канале $d_{\text{э}}=6$ мм. При $w=0,1$ м/с $Re=1090$ — для трубы ламинар, для гофры уже турбулент. При $w=0,4$ м/с $Re=4360$ — турбулент везде. Отсюда типовой рабочий диапазон скоростей в ПТО 0,3–0,6 м/с: он держит поток в турбулентной зоне без чрезмерных потерь.

5. Частые вопросы

Какой режим лучше для теплообменника?

Турбулентный: теплоотдача в разы выше, аппарат компактнее, меньше загрязняется. Ламинарный неизбежен только для очень вязких сред (масла, гликоли), где Re мал даже при высокой скорости.

Почему в пластинчатом аппарате турбулентность при малых скоростях?

Гофра пластин работает как турбулизатор: поток постоянно меняет направление и срывается в вихри уже при Re около 100–400 вместо 2300 для гладкой трубы.

Чем плоха переходная зона?

В диапазоне $Re \approx 2300\text{--}10000$ теплоотдача скачет и плохо предсказуема формулами. Рабочую точку выводят из неё либо вниз (заведомо ламинар), либо вверх (устойчивый турбулент).

6. Глоссарий

Термин	Определение
Ламинарный режим	Слоистое течение без перемешивания; теплоотдача низкая, Nu постоянно.
Турбулентный режим	Вихревое течение с интенсивным перемешиванием; высокая теплоотдача.
Критическое число Рейнольдса	Значение Re , при котором ламинарное течение переходит в турбулентное.

**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: турбулентный ламинарный режим, течение теплоносителя, критическое Рейнольдса, теплоотдача, потери давления