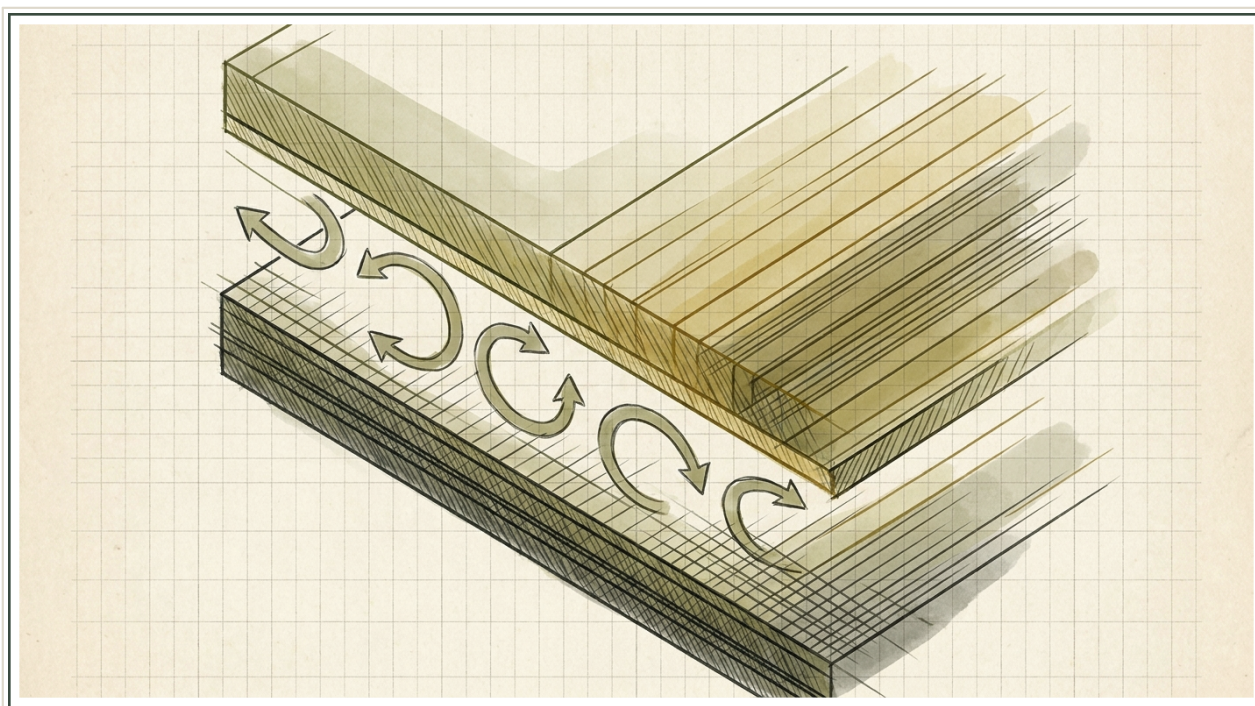


Интенсификация теплообмена: методы и эффект

теория теплообмена · формулы и вывод

Методы интенсификации теплообмена — турбулизация, оребрение, гофрирование, закрутка потока: как они повышают теплоотдачу, какой ценой по гидравлике и когда что выбирать.



Турбулизация потока в гофрированном канале — основной механизм интенсификации

Один и тот же тепловой поток можно снять маленьким аппаратом с развитой поверхностью или большим с гладкой. Интенсификация теплообмена — это набор приёмов, которые заставляют ту же поверхность отдавать больше тепла. Именно за счёт неё пластинчатый аппарат в разы компактнее кожухотрубного при равной мощности.

Коротко

Интенсифицировать теплообмен — значит поднять коэффициент теплоотдачи α и/или увеличить площадь на единицу объёма. Главный рычаг в жидкостях — турбулизация пристеночного слоя, где сидит основное термическое сопротивление.

1. Где прячется сопротивление

Основное сопротивление теплопередаче в жидкости — тонкий ламинарный подслой у стенки. Ядро потока перемешано и переносит тепло легко, а через этот подслой оно идёт медленной теплопроводностью. Разрушить или утоньшить подслой — вот суть большинства методов интенсификации.

$$1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda_{\text{ст}} + 1/\alpha_2$$

рост α снижает $1/k$ и повышает k — тот же поток снимается меньшей площадью

2. Методы интенсификации

Метод	Механизм	Эффект по α	Где применяют
Гофрирование (шеvron)	ранняя турбулизация	$\times 2-4$	пластинчатые ПТО
Оребрение	рост площади	$\times 1,5-3$ по F	газовые, воздушные
Турбулизаторы в трубах	срыв подслоя	$\times 1,3-2$	кожухотрубные
Закрутка потока	вторичные вихри	$\times 1,2-1,8$	трубчатые
Повышение скорости	рост Re	$\propto Re^{0,7}$	до предела по ΔP

Знаете ли вы

Гофра пластины не только турбулизует поток, но и увеличивает реальную площадь теплопередачи относительно габаритной проекции на 15-25 % — коэффициент развития поверхности ϕ . Два эффекта в одном рельефе.

3. Цена интенсификации

Бесплатного тепла не бывает: почти любой способ поднять α одновременно увеличивает гидравлическое сопротивление. Турбулизация растит и теплоотдачу, и перепад давления. Поэтому интенсификацию оценивают не по одному α , а по «тепло-гидравлической эффективности» — приросту теплоотдачи на единицу прироста перепада.

$$\eta_{\text{тг}} \sim (Nu/Nu_0) / (f/f_0)^{(1/3)}$$

Nu/Nu_0 — рост теплоотдачи; f/f_0 — рост трения; хороший метод даёт $\eta_{\text{тг}} > 1$

4. Практический выбор

Для воды-воды почти всегда достаточно гофрированной пластины — она даёт лучший баланс тепла и гидравлики. Для вязких сред и газов добавляют оребрение. Повышать скорость как метод интенсификации разумно лишь до предела по перепаду давления и по эрозии уплотнений — дальше выгода теряется в гидравлике.

5. Частые вопросы

Что даёт наибольший прирост теплоотдачи?

В жидкостях — турбулизация пристеночного слоя гофрой или турбулизаторами: коэффициент теплоотдачи растёт в 2-4 раза. В газах решает развитие поверхности (оребрение).

Почему интенсификация повышает и перепад давления?

Те же вихри, что срывают ламинарный подслой и повышают теплоотдачу, увеличивают гидравлическое трение. Поэтому оценивают тепло-гидравлическую эффективность в целом.

Можно ли интенсифицировать теплообмен просто скоростью?

До определённого предела — да, рост Re повышает α как $Re^{0,7}$. Но перепад растёт как w^2 , и быстро упирается в напор насоса и эрозию. Это самый «дорогой» способ.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Ламинарный подслей	Тонкий неперемешиваемый слой у стенки — главное сопротивление теплоотдаче в жидкости.

Термин	Определение
Коэффициент теплоотдачи α	Интенсивность отдачи тепла от жидкости к стенке, Вт/(м ² ·К).
Тепло-гидравлическая эффективность	Показатель выгодности метода: прирост теплоотдачи на единицу прироста сопротивления.
Коэффициент развития поверхности	Отношение реальной площади гофрированной пластины к её габаритной проекции.

**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: интенсификация теплообмена, турбулизация, оребрение, гофра, теплоотдача, коэффициент альфа