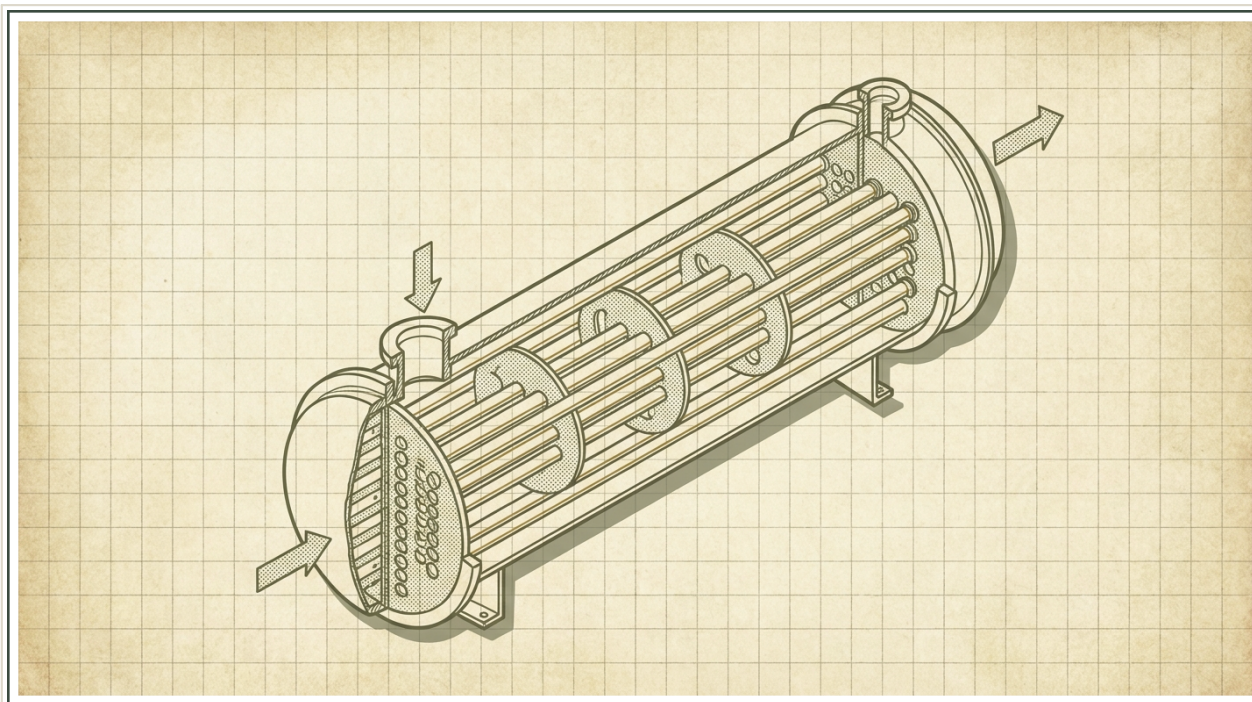


Температурные деформации и компенсация

теория теплообмена · формулы и вывод

Температурные деформации в теплообменниках: расчёт удлинения, разность нагрева труб и кожуха, компенсаторы, U-трубы и плавающая головка.



Компенсация температурного удлинения: линзовый компенсатор, U-трубы, плавающая головка

Металл, нагретый на сотни градусов, удлиняется — и если удлинению некуда деться, оно оборачивается силой, способной вырвать трубу из решётки или разгерметизировать аппарат. В теплообменниках это не абстракция, а расчётный фактор, особенно там, где есть пар и большие перепады температур. Разберём температурные деформации и как их компенсируют.

Коротко

При нагреве детали удлиняются на $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t$. Если трубы и кожух греются по-разному, разница их удлинений создаёт термические напряжения. Их снимают компенсаторами, U-образными трубами или плавающей головкой.

1. Откуда берётся деформация

Линейное удлинение детали пропорционально её длине, перепаду температур и коэффициенту линейного расширения материала. Для стали $\alpha \approx 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$: труба длиной 4 м при нагреве на 100 °C удлиняется почти на 5 мм. Само по себе это не беда — беда, когда труба и кожух удлиняются по-разному и упираются друг в друга.

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 4000 \cdot 100 \approx 4,8 \text{ мм}$$

α — коэффициент линейного расширения стали; L — длина; Δt — нагрев

2. Разность удлинений трубы и кожуха

В кожухотрубнике трубы и кожух работают при разных температурах: трубы омывает одна среда, кожух — другая. Их удлинения не совпадают. Если оба конца пучка жёстко закреплены в решётках, а решётки — в кожухе, разница удлинений создаёт растягивающие или сжимающие напряжения, которые могут вырвать трубы из развальцовки.

$$\sigma_{\text{терм}} \approx E \cdot \alpha \cdot (\Delta t_{\text{труб}} - \Delta t_{\text{кожух}})$$

термическое напряжение растёт с модулем упругости и разностью нагревов

3. Способы компенсации

Решение	Как работает	Где применяют
Линзовый компенсатор	Гофра на кожухе тянется/сжимается	Прямые трубы, малый Δt
U-образные трубы	Изгиб сам поглощает удлинение	Большой перепад температур
Плавающая головка	Одна решётка свободна, пучок скользит	Чистка + компенсация
Сальниковая головка	Подвижное уплотнённое соединение	Умеренные параметры

4. В пластинчатых и паяных

Разборный пластинчатый компенсирует расширение сам: пакет подпружинен затяжкой, пластины и уплотнения работают в упругой зоне. А вот паяный монолит термоциклов боится — повторяющийся нагрев/охлаждение накапливает усталость в паяных швах. Поэтому паяные не любят резких и частых термоударов: медленный пуск продлевает им жизнь.

Частая ошибка

Жёстко замуровать патрубки теплообменника в неподатливую обвязку без компенсации. Тепловое удлинение труб обвязки передаётся на штуцеры аппарата и рвёт их. Нужны компенсаторы или гибкие вставки на подводящих трубопроводах.

5. Частые вопросы

Почему трубы кожухотрубника вырывает из решётки?

Из-за разности температурных удлинений труб и кожуха. Если оба конца жёстко закреплены, разница удлинений создаёт напряжение, которое срывает развальцовку. Решают U-трубами, компенсатором или плавающей головкой.

Как компенсируют расширение в кожухотрубном?

Линзовым компенсатором на кожухе, U-образными трубами (самокомпенсация изгибом) или плавающей головкой, где одна решётка свободна и пучок скользит.

Боятся ли паяные теплообменники термоциклов?

Да. Монолит не компенсирует расширение упруго, и частые термоудары копят усталость в паяных швах. Плавные пуски и стабильный режим продлевают ресурс паяного аппарата.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Коэффициент линейного расширения (α)	Относительное удлинение материала на 1 К; для стали $\approx 12 \cdot 10^{-6}$ 1/К.

Термин	Определение
Термическое напряжение	Напряжение от стеснённого теплового удлинения деталей.
Компенсатор	Гибкий элемент, поглощающий тепловое удлинение без передачи напряжения на аппарат.

**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: температурные деформации теплообменник, компенсатор, U-образные трубы, плавающая головка, напряжения