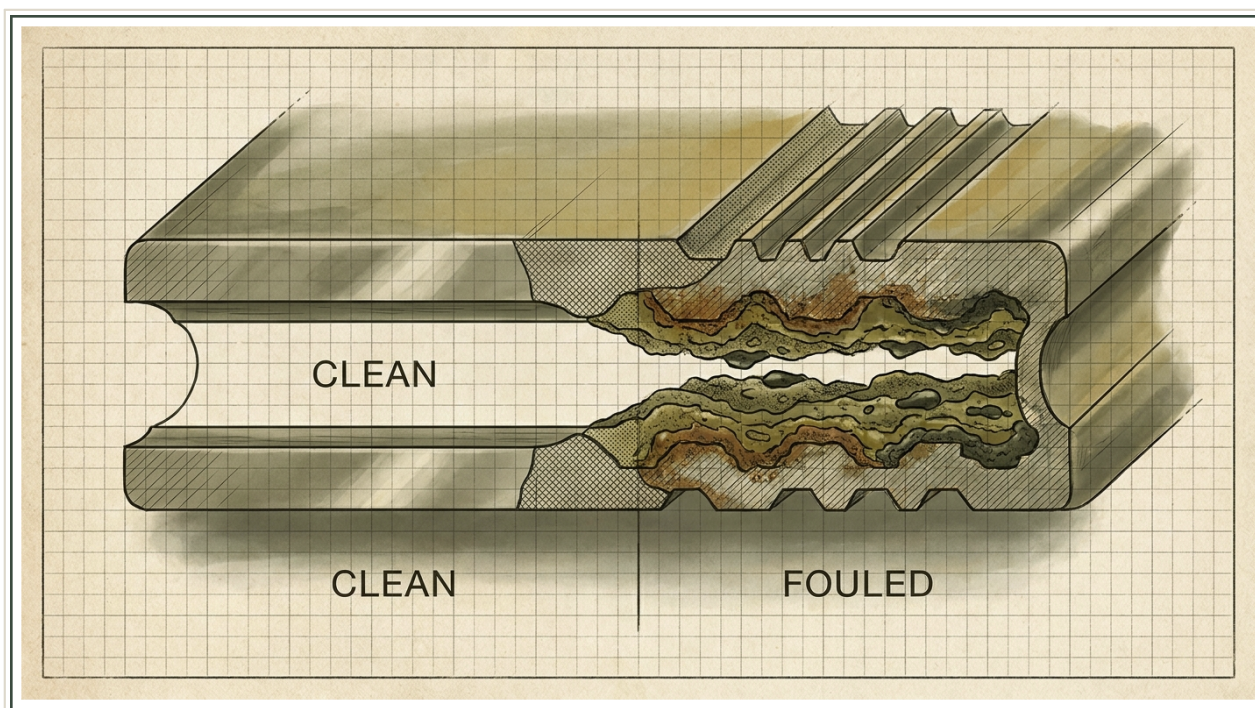


Накипь и коррозия: механизм и защита

теория теплообмена · формулы и вывод

Слой накипи всего 0,5 мм с теплопроводностью ~ 2 Вт/(м·К) добавляет 0,00025 м²·К/Вт сопротивления и роняет коэффициент теплопередачи более чем вдвое, а хлориды пробивают нержавеющую пластину насквозь точечной коррозией.



Накипь душит теплопередачу снаружи, коррозия разрушает металл изнутри

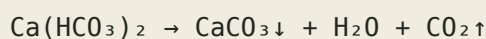
Накипь — это отложение солей жёсткости (в основном карбоната кальция CaCO_3) на горячей теплопередающей поверхности; коррозия — электрохимическое разрушение металла стенки под действием кислорода и хлоридов. Два главных врага теплообменника работают по-разному: накипь садится снаружи металла и душит теплопередачу изоляцией, коррозия ест металл изнутри и грозит сквозным свищем. Понимание механизмов подсказывает защиту — а она почти всегда дешевле ремонта.

Коротко

Накипь — выпадение солей жёсткости (в основном CaCO_3) на горячей поверхности; растёт с температурой и жёсткостью. Коррозия — электрохимическое разрушение металла; ускоряется кислородом, хлоридами и блуждающими токами. Обе снижают ресурс, но лечатся разной профилактикой.

1. Механизм образования накипи

Растворимость карбоната кальция падает с ростом температуры — редкий случай «обратной» растворимости. У горячей стенки вода перенасыщается, и соль выпадает именно там, где идёт теплопередача:



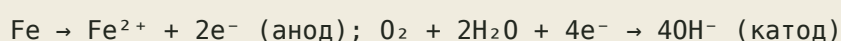
разложение бикарбоната при нагреве; CaCO_3 осаждается на горячей поверхности

Отсюда правило: чем выше температура стенки и жёсткость воды, тем быстрее накипь. Пластинчатые аппараты чувствительны — узкие каналы зарастают заметнее трубных.

Фактор накипи	Влияние	Мера защиты
Жёсткость воды	главный	умягчение, обратный осмос
Температура стенки	прямое	ограничение t греющей среды
Скорость потока	обратное	держат $w \geq 0,3$ м/с (самоочистка)
pH воды	высокий pH → осаднение	стабилизация pH

2. Механизм коррозии

Коррозия металла в воде — электрохимический процесс: на анодных участках металл переходит в раствор, на катодных восстанавливается кислород. Упрощённо для железа:



растворённый кислород — главный окислитель; без него скорость коррозии резко падает

Особая опасность для нержавеющей стали — хлориды: они разрушают пассивную плёнку и вызывают точечную (питтинговую) коррозию, которая пробивает тонкую пластину насквозь при внешне целой поверхности.

Фактор коррозии	Механизм	Мера защиты
Растворённый O_2	катодная реакция	деаэрация, поглотители кислорода
Хлориды Cl^-	питтинг нержавеющей стали	контроль хлоридов, выбор стали/титана
Блуждающие токи	электрохимия	заземление, изоляция
Низкий pH	растворение оксидов	стабилизация pH 8,3–9,5

Знаете ли вы

Накипь и коррозия иногда «дружат»: под слоем отложений создаётся застойная зона с иным pH и концентрацией кислорода — там развивается подшламовая коррозия. Поэтому запущенная накипь опасна вдвойне: она ещё и провоцирует свищи.

3. Ингибиторы и водоподготовка

Стратегическая защита — не бороться с последствиями, а не пускать процесс. Против накипи работает умягчение воды и стабилизаторы жёсткости; против коррозии — деаэрация (удаление кислорода), поддержание слабощелочного pH и плёнообразующие ингибиторы, создающие защитный слой на металле. Для агрессивных сред выбирают более стойкий материал — от нержавеющей стали к титану.

Стратегия: водоподготовка (профилактика) >> промывка (лечение)
предотвратить отложение дешевле и безопаснее, чем растворять его кислотой

4. Пример: во сколько накипь режет мощность

Чистый аппарат: $k = 4500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, то есть $1/k = 0,000222 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Накипь CaCO_3 толщиной 0,5 мм с теплопроводностью $\lambda = 2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ добавляет сопротивление:

$$R_{\text{накипь}} = \delta/\lambda = 0,0005/2 = 0,00025 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

тонкий слой, но сопоставим с сопротивлением всей остальной цепочки $1/k$

$$1/k' = 0,000222 + 0,00025 = 0,000472 \rightarrow k' \approx 2120 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

коэффициент теплопередачи упал в 2,1 раза — во столько же просела мощность $Q = k \cdot F \cdot \Delta t$

Полмиллиметра накипи по эффекту равны примерно 3,7 мм нержавеющей стали ($\lambda \approx 15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$): $0,00025 \cdot 15 \approx 0,0037 \text{ м}$. Вот почему даже тонкий налёт критичен, а профилактика дешевле промывки.

5. Частые вопросы

Почему накипь образуется на горячей стороне?

Растворимость карбоната кальция падает с ростом температуры. У горячей стенки вода перенасыщается солями жёсткости, и они выпадают именно на теплопередающей поверхности.

Чем опасны хлориды для нержавеющей теплообменника?

Хлориды разрушают пассивную оксидную плёнку нержавеющей и вызывают питтинговую коррозию — точечные язвы, пробивающие тонкую пластину насквозь при внешне целой поверхности.

Что эффективнее — промывка или водоподготовка?

Водоподготовка. Умягчение и деаэрация предотвращают и накипь, и коррозию, тогда как промывка лишь устраняет уже накопленные отложения и сама нагружает металл кислотой.

6. Глоссарий

Термин	Определение
Накипь	Отложение солей жёсткости (в основном CaCO_3) на горячей теплопередающей поверхности.
Питтинг	Точечная коррозия нержавеющей под действием хлоридов; пробивает металл насквозь.
Деаэрация	Удаление растворённого кислорода из воды для подавления коррозии.
Ингибитор коррозии	Вещество, образующее защитную плёнку и замедляющее разрушение металла.



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: накипь коррозия теплообменник, механизм, питтинг, ингибитор, водоподготовка, хлориды