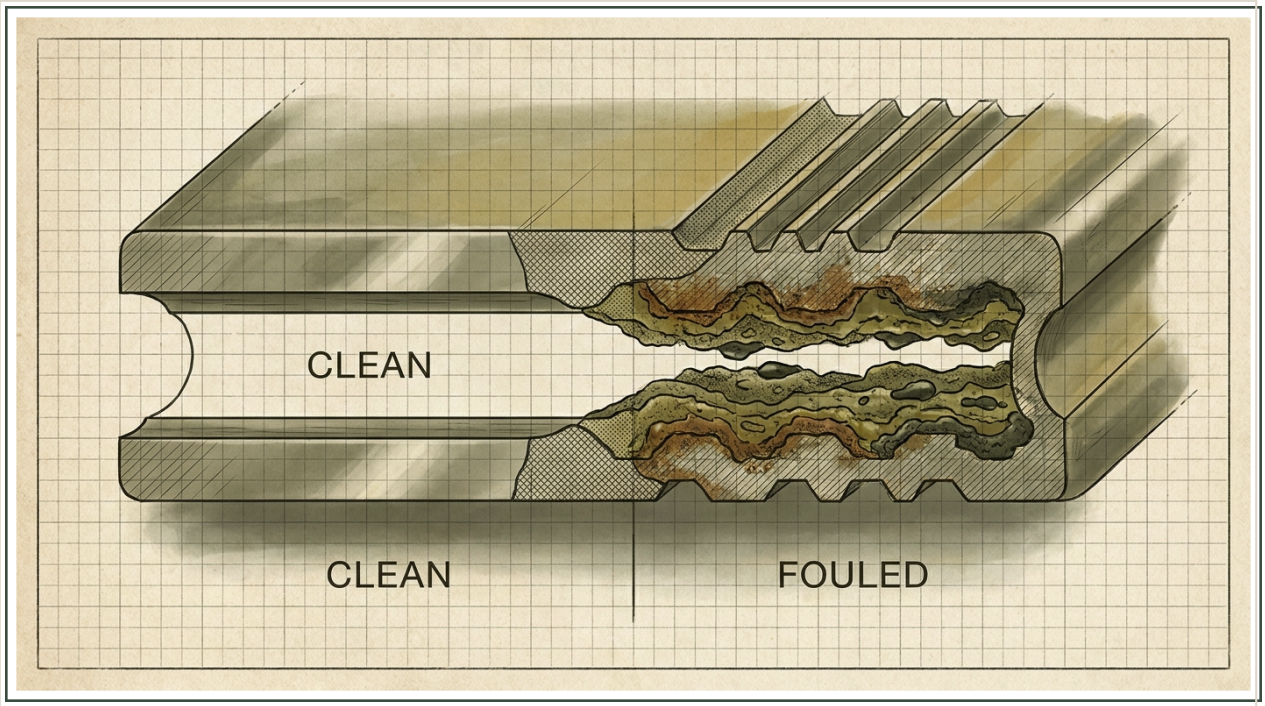
Реагенты для промывки: химия и выбор

теория теплообмена · формулы и вывод

Реагент выбирают по химии отложения: карбонатную накипь снимают кислотой 5–10 %, и на каждые 100 г накипи $CaCO_3$ уходит около 73 г соляной кислоты — всегда с ингибитором коррозии, иначе кислота съест и металл пластин.



Растворение карбонатной накипи кислотой под защитой ингибитора коррозии

Химическая промывка — это управляемая коррозия: реагент растворяет отложения, но не должен съесть металл пластин и уплотнения. Вся теория выбора реагента крутится вокруг двух вопросов: что за отложение растворяем и чем защищаем металл, пока идёт реакция. Ниже — химия процесса без ухода в услугу, только механизмы и выбор.

> **Коротко**
>
> Тип реагента диктует тип отложений: карбонатную накипь снимают кислотами, органику и биоплёнку — щелочами, комбинированные загрязнения — последовательно. Обязательный спутник кислоты — ингибитор коррозии, иначе растворится и металл.

1. Химия карбонатной накипи

Основа большинства отложений в водяных контурах — карбонат кальция $CaCO_3$. Кислоты переводят его в растворимую соль с выделением углекислого газа:

$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$

соляная кислота; $CaCl_2$ растворим и вымывается с промывочным раствором

$2CaCO_3 + 2(HOOC\text{-}COOH) \rightarrow 2Ca(\text{оксалат}) + \ldots$ (органические кислоты мягче)

лимонная, сульфаминовая, щавелевая — слабее, но безопаснее для металла

2. Выбор реагента по отложению

Отложение	Класс реагента	Пример	Осторожно
Карбонатная накипь	минеральная кислота	соляная, сульфаминовая	коррозия без ингибитора
Карбонат (мягко)	органическая кислота	лимонная, адипиновая	медленнее, но щадит металл
Ржавчина, оксиды Fe	кислота + комплексон	ЭДТА-содержащие	подбор pH
Биоплёнка, органика	щёлочь / ПАВ	каустик, щелочные составы	не для алюминия
Кремнистые отложения	щёлочь + фторид	спец. составы	высокая агрессивность

3. Роль ингибитора

Кислота не разбирает, где накипь, а где нержавейка — она атакует и то, и другое. Ингибитор коррозии образует на металле защитную плёнку, замедляя растворение основы в десятки раз, но почти не мешая реакции с накипью. Без ингибитора кислотная промывка снимает не только отложения, но и слой металла — особенно опасно для паяных аппаратов с медью и тонких пластин.

```
Скорость_реакции(накипь) >> Скорость_реакции(металл + ингибитор)
```

селективность — ключ безопасной кислотной промывки

> **Частая ошибка**
>
> Берут концентрированную кислоту «чтобы наверняка». Высокая концентрация ускоряет и коррозию основы, и разрушение уплотнений. Правильнее — умеренная концентрация, контроль pH и температуры, достаточное время циркуляции.

4. Совместимость с материалами

Реагент выбирают не только под отложение, но и под материалы аппарата. Нержавейка терпит большинство кислот с ингибитором; медь и латунь паяных аппаратов чувствительны к сильным кислотам и аммиаку; уплотнения из EPDM/NBR деградируют от несовместимых растворителей. Совместимость проверяют по паспорту аппарата до промывки, а не после.

Материал	Совместимость	Ограничение
Нержавеющая сталь	кислоты с ингибитором	избегать высоких хлоридов + t
Медь / латунь (пайка)	мягкие органические	нет аммиака, нет крепких кислот
Титан	широкая	стоек к большинству сред
EPDM / NBR (уплотнения)	водные растворы	несовместимы с рядом растворителей

5. Пример: сколько кислоты нужно

Стехиометрия реакции $CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$ задаёт расход кислоты. Молярные массы: $CaCO_3 \approx 100$ г/моль, $HCl \approx 36{,}5$ г/моль, на 1 моль накипи 2 моля HCl:

```
m(HCl) = m(CaCO₃)·(2·36,5/100) = m(CaCO₃)·0,73
```

на 100 г карбонатной накипи требуется ~73 г чистого HCl

Осело ~1 кг накипи → чистого HCl нужно ~0,73 кг. В виде 7 % раствора с запасом 1,5–2× на неполноту реакции и кинетику:

```
V_раствора ≈ 2·m(HCl)/(0,07·ρ) = 2·0,73/(0,07·1050) ≈ 0,020 м³ ≈ 20 л
```

объём 7 % раствора; ρ_раствора ≈ 1050 кг/м³

Признак завершения — газовыделение CO_2 прекратилось и pH перестал расти: накипь растворена, раствор пора менять или завершать промывку и нейтрализовать.

6. Частые вопросы

Какой реагент растворяет накипь в теплообменнике?
Карбонатную накипь снимают кислотами: сильными минеральными (соляная, сульфаминовая) или более щадящими органическими (лимонная, адипиновая). Обязательно с ингибитором коррозии.

Зачем в промывочный раствор добавляют ингибитор?
Кислота растворяет и накипь, и металл. Ингибитор образует защитную плёнку на основе, резко замедляя коррозию металла, но почти не мешая реакции с отложениями.

Чем промывать органику и биоплёнку?
Щелочными составами и ПАВ — кислоты против органики малоэффективны. При смешанных отложениях промывку ведут последовательно: сначала одно, потом другое, с промежуточной промывкой водой.

7. Глоссарий

Термин	Определение
Ингибитор коррозии	Добавка, замедляющая растворение металла кислотой без помех реакции с накипью.
Комплексон	Реагент (например ЭДТА), связывающий ионы металлов в растворимые комплексы.
Селективность	Свойство реагента растворять отложение существенно быстрее, чем основной металл.
Совместимость	Соответствие реагента материалам аппарата: металлам, пайке, уплотнениям.

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: реагент для промывки теплообменника, кислота, ингибитор коррозии, накипь, выбор реагента