

## 6. Загрязнение и коррозия

### 1. Загрязнение со стороны хладагента

#### 1.1. Источники загрязнения

**А. Введение.** В холодильном контуре обычно не происходит существенного загрязнения со стороны хладагента, кроме загрязнения маслом. Однако если это случается, последствия бывают тяжелыми, особенно для регулирующего вентиля и компрессора.

**Б. Масло.** Масло переносится хладагентом в различные части холодильной установки либо в растворенном виде, либо в виде эмульсии. Хотя его количество в хладагенте можно понизить, полностью предотвратить загрязнение невозможно. Влияние загрязнения маслом зависит от его растворимости в хладагенте.

Помимо того, что масло является загрязнителем, оно влияет на коэффициент теплопередачи в конденсаторах и испарителях и в силу других эффектов. См. главы, посвященные испарению и конденсации.

**В. Растворимое масло.** Масло растворяется в хладагенте и поэтому не образует масляной пленки на поверхности. Это не относится к испарителям непосредственного расширения, где хладагент полностью испаряется и масло присутствует в паре в виде капель. Они оседают на стенках, образуя изолирующую пленку.

По счастью, коэффициент теплоотдачи в этой части испарителя мал и влияние масляной пленки невелико. Главная задача при этом – поддерживать достаточно высокую скорость пара, чтобы капли масла не скапливались в испарителе и не снижали эффективность теплопередачи.

**Г. Нерастворимое масло.** Масло не растворяется в аммиаке (при любых температурах) и R22 (если  $t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Оно по-разному влияет на работу конденсаторов и испарителей.

♦ **Конденсатор.** Поскольку R22 растворяет масло при обычных температурах конденсации, здесь никаких проблем не возникает. В аммиачных системах нерастворимое масло сказывается на работе конденсатора меньше, чем на работе испарителя. Температура здесь выше, поэтому вязкость масла меньше, а сила тяжести и усилие сдвига под действием потока аммиака направлены в одну сторону. Следовательно, в конденсаторе нет опасности накопления масла.

♦ **Испаритель.** Масло, диспергированное в хладагенте, образует пленку на нагреваемой поверхности и в смоченной, и в сухой части аппарата. Если скорость пара достаточно велика, капли масла, в конечном счете, уносятся потоком.

**Д. Продукты разложения масла.** Масло может нагреваться в компрессоре выше температуры разложения. В результате образуется целый ряд продуктов разложения масла: от углерода до смолоподобных веществ. В конечном счете, эти продукты оказываются в теплообменниках.

Испаритель это самый холодный компонент системы, в нем жидкости обладают наибольшей вязкостью, поэтому он больше подвержен загрязнению.

Особенно опасны в этом отношении новые синтетические масла. Зачастую они являются полярными соединениями, в которых неорганические вещества – образующиеся при пайке окислы, мельчайшие частицы металла из компрессора и т.д., – растворяются лучше, чем в минеральных маслах. Кроме того, некоторые масла – на основе простых эфиров в большей степени, чем полиэфирные, гидролизуются в присутствии воды с образованием загрязняющих и коррозионных продуктов.

Для хладагентов, не растворяющих масло, эта проблема стоит острее. Если хладагент растворяет масло, он смывает и его, и, как правило, продукты разложения.

**Е. Износ.** Твердые частицы, образующиеся при износе компрессора, могут попадать в теплообменники. В испарителях их влияние не является целиком отрицательным, так как они становятся центрами парообразования и увеличивают коэффициент пузырькового кипения.

**Ж.осушители.** Силикагель это наиболее широко употребляющийся осушитель хладагента. Он поставляется в виде кристаллов, упакованных в патрон фильтра. Если упаковка недостаточно плотная, а фильтр установлен неправильно, то кристаллы силикагеля будут двигаться и истираться, образуя мелкие частицы, выходящие из фильтра.

**З. Вода.** Теоретически, концентрация воды в хладагенте не должна превышать миллионных долей. На практике это может быть не так. Поршневые компрессоры очень чувствительны к присутствию даже малого количества воды в хладагенте. Винтовые и турбокомпрессоры могут работать при большом содержании воды.

Вода, масло и продукты разложения могут образовать отложения на поверхностях теплообмена, особенно в испарителях, как наиболее холодных компонентах системы. Они также могут вызывать вспенивание хладагента, что ухудшает теплообмен. Вода может попадать в систему с гигроскопичным синтетическим маслом, поглощающим влагу из воздуха.

#### 1.2. Очистка и предотвращение загрязнения

**А. Очистка.** Обычная практика не предусматривает чистку теплообменников со стороны хладагента, если не требуется полный капитальный ремонт. Наиболее вероятные загрязнения здесь это масло и продукты его разложения, которые можно отмыть подходящими промышленными моющими средствами.

**Б. Маслоотделители.** Масло, особенно в низкотемпературных установках, следует улавливать, отделять от хладагента и возвращать в компрессор.

**В. Фильтры и осушители.** Фильтр и осушитель обычно представляют собой единое устройство, которое устанавливается на участке, где поток хладагента направлен вертикально вниз, обычно между конденсатором и ТРВ. Это минимизирует опасность движения и износа кристаллов силикагеля. Имеются также специальные модели фильтров-осушителей для двунаправленного потока. Фильтр-осушитель улавливает продукты разложения, металлические частицы, воду и т.д.

**Г. Проектирование.** Для обеспечения эффективного уноса масла из испарителя необходимо по возможности увеличить скорость пара или, точнее говоря, усилие сдвига. Усилие сдвига пропорционально перепаду давления на каждый метр пути потока. Учтите, что перепад давлений может ограничиваться по другим соображениям, например, из-за разности температур. Обычный перепад давления составляет около 5 кПа/м.

## 2. Загрязнение в замкнутых системах

Обычно сторона охлаждаемой среды в испарителе является частью замкнутого контура, где циркулирует вода или водный раствор антифриза. Поскольку это замкнутая система, где жидкость остается чистой, загрязнения не составляют проблемы. Обычно это масло или другая смазка. Раствор гликоля в высокой концентрации растворяет или, по крайней мере, диспергирует масло. Соответственно, он обеспечивает самоочистку системы.

Если возникает потребность в чистке, лучше всего использовать промышленные моющие средства, желательнее, с применением системы безразборной мойки. Эти системы могут быть и очень простыми – один бак для моющего раствора, насос и шланги, и весьма сложными – с баками для различных моющих растворов, нагревателями, клапанами, соединительными трубами и шлангами, смонтированными на передвижной платформе.

Трудно дать советы общего характера относительно загрязнения на стороне охлаждаемой жидкости, если она представляет собой какой-то рабочий раствор. Обычно пользователь холодильной установки знает свойства этой жидкости и возможные проблемы в связи с загрязнением.

О загрязнении в системе с необработанной водой см. ниже. Вода одинакового состава чаще создает проблемы в конденсаторе, чем в испарителе. В холодильных установках обычно не образуются ни накипь, ни биологические обрастания.

Обратите внимание, что некоторые растворы соли или гликоля вызывают коррозию низкоуглеродистой стали или цинка, если они не ингибированы надлежащим образом. Продукты коррозии могут загрязнять теплообменник.

Некоторую сложность представляет охлаждение в испарителе растворов хлористого кальция. При слишком низком pH эти растворы вызывают коррозию, при слишком высоком образуют отложения.

## 3. Загрязнения в необработанной воде

### 3.1. Типы воды

Воду можно классифицировать по следующим типам.

**А. Водопроводная вода.** Обычно это вода отличного качества, но высокая цена позволяет применять ее только для охлаждения очень маленьких конденсаторов. Такую воду используют в качестве подпиточной в градирнях.

**Б. Артезианская вода.** Уровень биологического загрязнения обычно низок, но концентрация накипеобразующих и коррозионных солей (сульфатов и карбонатов кальция и магния) иногда очень высока. В ней также могут содержаться в большом количестве твердые частицы. В зависимости от качества воды может понадобиться ее подготовка – от простого фильтрации до сложных методов обработки.

Поскольку артезианская вода обычно довольно холодная и доступна в ограниченных количествах, ее нагревают сильнее чем оборотную воду, на 10–15 °С, что позволяет соответственно понизить расход.

**В. Обратная вода из градирен.** Эта вода циркулирует в открытом контуре между конденсатором и градирней. Обычно она на 15–20 °С теплее, чем артезианская вода в том же регионе. Содержание солей в ней может быть на порядок выше, чем в подпиточной воде – обычно водопроводной (очень чистой) или артезианской. В сильно загрязненных зонах в оборотной воде накапливаются пыль и коррозионные газы (см. ниже в разделе «Коррозия»).

В результате может образоваться довольно грязная и коррозионная жижа, которую необходимо обработать, прежде чем подавать в чувствительные к загрязнению компоненты системы. К счастью, в циркуляционном контуре это несложно сделать.

Градирни обычно рассчитаны на охлаждение воды приблизительно на 5 °С, что определяет возможное повышение температуры в конденсаторе.

**Г. Поверхностная вода рек и озер.** Концентрация накипеобразующих солей обычно весьма низкая. Однако эта вода может содержать большое количество твердых частиц, от песка и

глины до листьев и рыб. Микробиологическая активность (водоросли, бактерии и грибки) может быть очень высокой, особенно в воде из сельскохозяйственных зон, где используются удобрения. Такая вода обычно требует подготовки, особенно для подавления биологической активности. По температуре она, как правило, занимает среднее положение между артезианской и оборотной. Повышение ее температуры более чем на 10 °С обычно не допускается по экологическим соображениям.

**Д. Муниципальные сточные воды.** В некоторых районах для крупных потребителей охлаждающей воды, таких как металлургические, нефтеперерабатывающие или химические заводы, доступны только городские сточные воды, обычно обработанные. Такие воды могут быть весьма сильно загрязнены. Они содержат большое количество натуральных удобрений, особенно свободного аммиака. В некоторых случаях такую воду аэрируют для удаления аммиака.

Применимость такой воды для охлаждения ППТО-конденсаторов сомнительна в связи с опасностью загрязнения и коррозии.

**Е. Солончатая и морская вода** не пригодна для применяющихся в настоящее время ППТО-конденсаторов (из нержавеющей стали и меди) из-за коррозионного действия ионов хлора.

Внимание! Паяные никелем ППТО с пластинами из нержавеющей стали Avesta 254 SMO можно использовать с солончатой водой.

Полусварные теплообменники с титановыми пластинами устойчивы к любой морской воде, даже весьма загрязненной.

### 3.2. Типы загрязнения

Выделяют два основных типа загрязнений: приводящих к падению давления и к загрязнению поверхности. Третий тип, отложение твердых частиц, таких как пыль и песок, может одновременно влиять и на гидравлическое сопротивление, и на теплопередачу. Ниже приводится описание основных типов загрязнения и способов очистки теплообменников, а также даются рекомендации, как учесть фактор загрязнения при проектировании ППТО-конденсаторов.

#### 3.2.1. Загрязнение, вызывающее падение давления

Присутствующие в воде частицы, волокна, а также листья и щепки, попадающие в градирню, застревают на входе в ПТО. Со временем падение давления увеличивается, но теплопроизводительность теплообменника не меняется, пока рост гидравлического сопротивления не отражается на расходе воды.

Обычные частицы, такие как песок, имеющие диаметр меньше 1 мм, проходят через каналы ППТО. Однако волокна задерживаются внутри каналов независимо от их размеров, поэтому их присутствие в охлаждающей воде недопустимо.

#### 3.2.2. Предотвращение загрязнения и очистка

Есть два основных способа защиты от загрязнения, вызывающего падение давления.

**Обратная промывка** – реверсирование потока охлаждающей воды. Если несколько конденсаторов соединены параллельно, то при промывке одного из них остальные желательнее отключить, чтобы увеличить скорость противотока в промываемом теплообменнике. Сильный обратный поток воды смывает сор с входа в аппарат. Этот метод применяется, если вода не содержит большого количества мелких частиц, которые могут откладываться внутри ППТО.

**Сетчатый фильтр.** Сетчатые фильтры с размером ячейки от 0,5 мм до 1,5 мм устанавливаются в контуре охлаждающей воды, предпочтительно перед насосами, которые тоже необходимо защищать от загрязнений. Размер ячейки зависит от качества воды и необходимой степени защиты.

Сетка с очень мелкими ячейками не обязательно является наи-

лучшим решением. Она лучше защищает теплообменник, но проблема очистки просто переносится на фильтр, который необходимо часто открывать и очищать. С другой стороны, слишком крупная ячейка сдвигает проблему чистки на теплообменник. Соответственно, если фильтр легко доступен для очистки, а конденсаторы обязательно нужно поддерживать в рабочем состоянии 24 часа в сутки, ставьте мелкую сетку. Если конденсатор можно надолго переводить в резерв, а очищать фильтр трудно, используйте крупную сетку.

ППТО, которые невозможно разобрать, следует оборудовать фильтрами с мелкими ячейками, а обычные ПТО нужно защищать более грубыми фильтрами.

### 3.2.3. Загрязнение поверхности, накипь

Это случается, когда поверхность теплообмена покрывается загрязняющим слоем. Производительность теплообменника ухудшается, но гидравлическое сопротивление не изменяется, по крайней мере, в начальный период. Можно выделить следующие классы загрязнений, встречающихся при охлаждении конденсаторов обычной водой.

**Липкие продукты.** Масло и другая смазка может попадать в контур охлаждающей воды и налипать на внутренние поверхности.

**Накипь.** Некоторые неорганические соли, особенно сульфат кальция ( $\text{CaSO}_4$ ), имеют обратную зависимость растворимости от температуры, т.е. их растворимость понижается с повышением температуры. Поэтому при контакте холодной воды с теплой поверхностью в конденсаторе эти соли отлагаются на поверхности теплообмена. Чистый сульфат кальция очень плохо растворяется, и очистить от него поверхность трудно или невозможно. К счастью, другой компонент накипи, карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), легко растворяется разбавленными кислотами.

Скорость отложения накипи зависит от состава и концентрации этих солей, pH и температуры. Накипь редко образуется, если температура стенки ниже  $45^\circ\text{C}$ , т.е. этот процесс имеет значение только для определенных установок и аппаратов (тепловые насосы, пароперегреватели и т.д.). См. рис. 1.

**Водоросли.** В определенное время года, особенно летом, вода типов Г и Д может содержать большое количество водорослей. Крупные водоросли задерживаются сетчатым фильтром, а мелкие могут проходить через конденсатор, не нарушая его работу. Однако мелкие водоросли нередко вызывают осложнения: помимо ухудшения теплообмена, колонии водорослей на стенках могут стать центрами точечной коррозии. Если оборотная вода не обрабатывается пестицидами, градирия создает исключительно благоприятные условия для размножения водорослей. В закрытых системах водоснабжения водоросли отсутствуют, так как для роста им нужен свет.

Водоросли попадают в конденсатор только снаружи, поэтому такое загрязнение, по крайней мере, теоретически, всегда можно предотвратить фильтрованием и обработкой воды.

**Бактерии,** в отличие от водорослей, могут расти везде и не задерживаются сетчатыми фильтрами. Поэтому рост бактерий в благоприятных для них условиях предотвратить невозможно.

Некоторые бактерии получают энергию, превращая имеющуюся в воде сульфаты в серную кислоту, которая вызывает коррозию. Другие усваивают железо из растворенных солей или из окислов и образуют вязкую массу, покрывающую стенки. Есть виды, питающиеся соединениями азота или фосфора, они создают пленку слизи на поверхностях теплообменника. Так как конденсатор это наиболее теплый участок в системе, он очень благоприятен для размножения бактерий. Вода может выглядеть совершенно чистой, но содержать бактерии, что делает этот тип загрязнения особенно коварным и трудным для выявления.

**Грибки.** Действуют подобно бактериям, но обычно их труднее устранить. Главная проблема, которую создают грибки, это не ухудшение теплообмена или повреждение технологического оборудования, а разрушение деревянных частей градирии.

**Отложения песка и т.п.** Песок, пылевые частицы и т.д. могут задерживаться на входе ППТО, но только при очень низкой скорости потока.

**Колонии баянусов, мидий и т.п.** обычно могут стать проблемой только в солоноватой или морской воде.

### 3.2.4. Предотвращение загрязнения и очистка

Обработка воды требует специальных знаний, особенно обработка для борьбы с биологическими обрастаниями. Некоторые вещества, используемые для этой цели, токсичны для людей и морских обитателей, применение других ограничивается государственными правилами, поэтому при таких процедурах необходимо проконсультироваться со специалистами по обработке воды. Чистящие жидкости могут быть коррозионными агентами или представлять опасность в иных отношениях. По этим причинам целесообразно использовать специальные промышленные препараты, а не те или иные вещества, упомянутые ниже или где-либо еще. Альфа Лаваль производит ряд детергентов и препаратов для удаления накипи.

Промышленные препараты обычно содержат ингибиторы для предотвращения или замедления коррозии и представляют собой смеси различных компонентов, которые действуют на широкий спектр микроорганизмов. Кроме того, они снабжены надлежащими предостережениями, к ним прилагаются инструкции по применению, правила безопасности, иногда, на них даются гарантии.

**А. Обычные промышленные моющие средства** могут быть использованы для очистки ППТО-конденсаторов. Они эффективно удаляют масло и другую смазку, бактериальную слизь, колонии водорослей и т.д. Как и для испарителей, возможно применение систем безразборной мойки. В экстренных случаях можно применять бытовые моющие средства. Подходящим препаратом является P3 T6560 фирмы Хенкель.

Чистка с помощью моющих средств больше подходит для замкнутых систем, так как в открытых образование пены может создавать проблемы.

**Предостережение 1!** Некоторые моющие средства содержат аммиак. Их нельзя использовать для обработки медных ППТО.

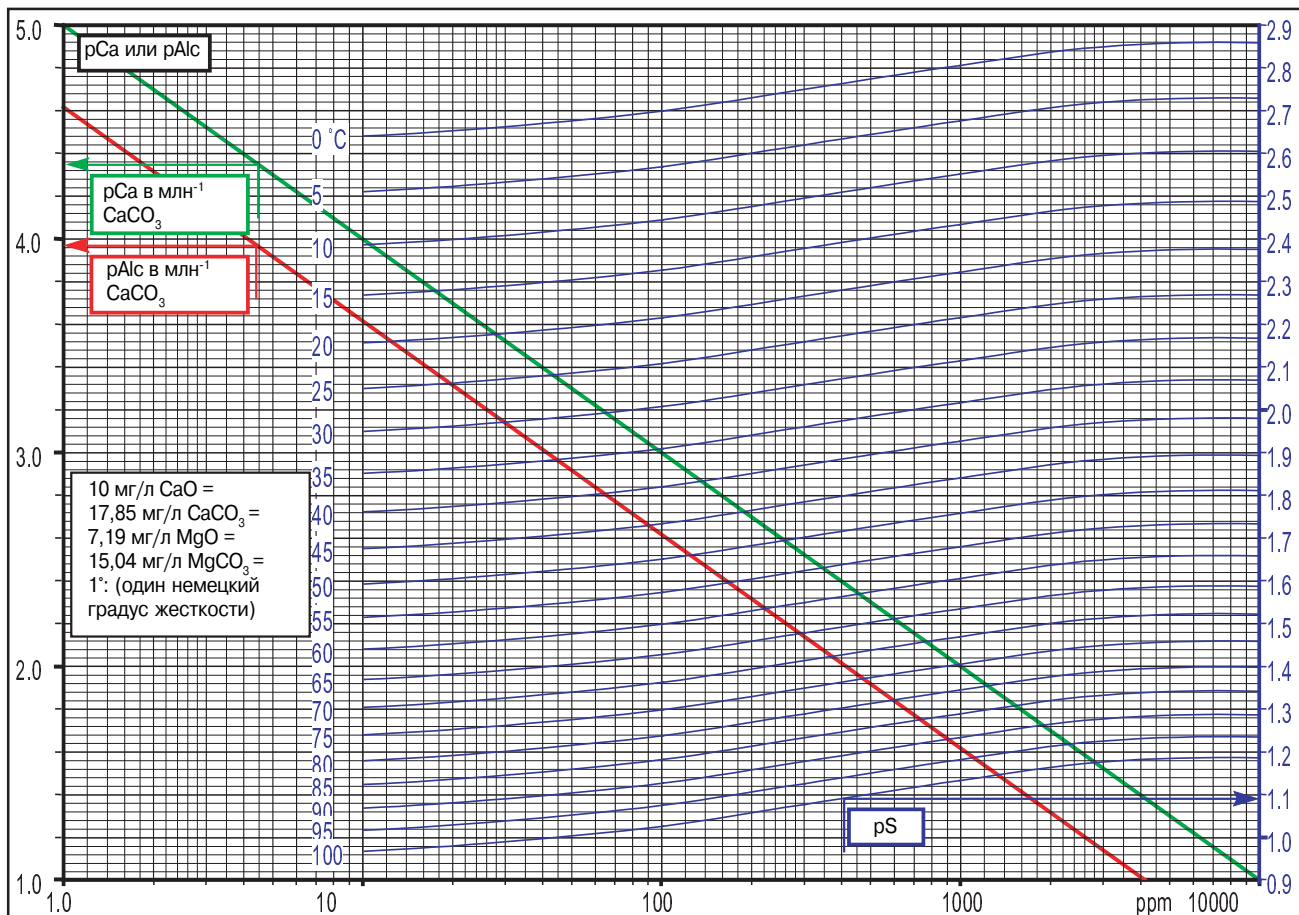
**Б. Стойкие органические отложения,** например, жировые или белковые, можно очищать теплым 10% раствором едкого натра. Систему промывают едким натром также после обработки кислотой.

**Предостережение 2!** Едкий натр растворяет белки. Это относится не только к бактериальным обрастаниям в теплообменнике, но и к вашей коже и, особенно, глазам.

**Предостережение 3!** Едкий натр вызывает быструю коррозию алюминия. При этой реакции не только разрушается алюминий, но и образуется водород, т.е. возникает опасность взрыва.

**В. Накипь** лучше всего очищать промышленными препаратами, которые обычно содержат добавки, усиливающие основное действие и (или) предотвращающие коррозию. Например, можно использовать препарат P3 T288 фирмы Хенкель.

В экстренных случаях можно использовать слабые кислоты, такие как муравьиная, лимонная, уксусная, щавелевая или ортофосфорная. Обычно достаточно 5 % водного раствора. После обработки не забудьте тщательно промыть теплообменник чистой водой. Обработка 1 – 2 % раствором едкого натра ( $\text{NaOH}$ ) или соды ( $\text{NaHCO}_3$ ) перед последней промывкой водой гарантирует нейтрализацию всей кислоты.



**Является ли данная вода стабильной или агрессивной?**

**Индекс Ланжелье:**

$pH - pS - pAlc - pCa$	< 0	Коррозионная активность
	= 0	Стабильная система
	> 0	Отложение накипи

**Образование накипи или коррозионная активность?** Эти два индекса показывают, будет ли карбонат кальция выпадать в осадок в данной воде (образование накипи) или растворяться (коррозионная активность). Такая вода может вызывать коррозию углеродистой стали и, в меньшей степени, меди, но не нержавеющей стали 316. Для нержавеющей стали коррозионным агентом является ион хлора в высокой концентрации. См. §5.2.

**pH** Измерение pH это простая процедура, которая проводится регулярно. Единственная проблема в том, что pH может меняться в зависимости от сезона и климатических условий, поэтому могут понадобиться дополнительные измерения.

**Общее содержание сухих веществ, pS.** Соотношение содержания различных солей в природной воде довольно постоянно. Поэтому ионная сила раствора пропорциональна общему содержанию сухих веществ, выраженному в млн<sup>-1</sup>.

Обработанная вода, например, оборотная вода из градирни, технологическая вода, сточная вода и т.д., может обладать совершенно иными свойствами, так что общее содержание сухих веществ нельзя напрямую использовать для оценки ионной силы. Кроме того, для оценки ионной силы нужно исключить из общего содержания сухих веществ недиссоциированные растворенные вещества, такие как сахар.

На данной диаграмме величина pS представлена как функция содержания сухих веществ в млн<sup>-1</sup>.

**Ориентировочная оценка, без гарантии!**

**Индекс стабильности Райзнера:**

$4 - 5$	Высокая вероятность отложений
$2 * (pS + pAlc + pCa) - pH = 6 - 7$	Стабильная система
$= 8 - 9$	Высокая коррозионная активность

**Щелочность, pAlc.** Бикарбонатная щелочность определяется титрованием воды кислотой с метилоранжем в качестве индикатора. Результат выражается различными способами. Здесь мы используем эквивалентное содержание карбоната кальция, CaCO<sub>3</sub>. Значения pAlc можно определить по диаграмме.

**Содержание кальция, pCa.** Обычно выражается либо как концентрация карбоната кальция, CaCO<sub>3</sub>, либо как концентрация ионов кальция, Ca<sup>++</sup>. Соотношение между этими двумя показателями:

$100 \text{ г CaCO}_3 \Leftrightarrow 40 \text{ г Ca}^{++}$

Пример. Анализ показал, что содержание кальция составляет 92 млн<sup>-1</sup> Ca<sup>++</sup>, что соответствует 230 млн<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. По этому значению определяем pCa с помощью приведенной выше диаграммы.

**Пример.** Вода: pH = 10, содержание сухих веществ = 2300 млн<sup>-1</sup>, щелочность = 100 млн<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, содержание кальция = 500 млн<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. Будет ли образовываться накипь при контакте с поверхностью, имеющей температуру 55 °C?

pH = 10, pS = 1,72, pAlc = 2,6, pCa = 2,3  
 И. Л. = 10 - 1,72 - 2,6 - 2,3 = 3,38  
 И. С. Р. = 2 \* (1,72 - 2,6 - 2,3) - 10 = 3,24

Оба индекса показывают, что образование накипи должно быть интенсивным.

**Рис. 01. Оценка опасности образования накипи и коррозии углеродистой стали**

**Предостережение 4!** Концентрированные кислоты очень агрессивны и требуют осторожного обращения. Уксусная кислота, хотя и безвредна в виде уксуса на обеденном столе, вызывает ожог кожи. Автор однажды снял кожу со своей левой руки, как перчатку, после нескольких минут контакта с концентрированной уксусной кислотой.

**Предостережение 5!** Ни при каких обстоятельствах не используйте сильные неорганические кислоты, такие как соляная, азотная или серная. При определенных условиях соляная кислота может разрушить нержавеющую сталь всего за несколько минут, азотная кислота вызывает коррозию меди и алюминия, но особенно опасна концентрированная серная кислота.

**Предостережение 6!** При разбавлении кислоты, щелочи, детергента или любого другого концентрированного раствора всегда нужно лить разбавляемый раствор в воду, а не наоборот. Небольшое количество воды, добавленное в большой объем серной кислоты, вскипает и разбрызгивает кислоту. Небольшое количество кислоты, добавленное в воду, опустится на дно и охладится.

**Г. Биологическое загрязнение** предотвращается подходящей обработкой охлаждающей воды. Это проще осуществить в контуре оборотной воды, например, от градирни, чем в системах с проточной охлаждающей водой, но иногда обработка проводится и в этих случаях. Очистка воды от биологической активности всегда должна проводиться в сотрудничестве со специалистами. Ниже приводятся несколько примеров химических реактивов, применяемых для борьбы с биологическими обрастаниями.

- ♦ **Хлорфенолы.** Эффективны против широкого спектра микроорганизмов, хотя некоторые виды могут оказаться устойчивыми.
- ♦ **Перманганат калия.** Это сильный окислитель, который разрушает все органические вещества, включая микроорганизмы.
- ♦ **Бихромат или хромат натрия.** Применяются главным образом как ингибиторы коррозии, кроме того, являясь окислителями, разрушают микроорганизмы.
- ♦ **Сульфат меди.** Его нельзя использовать, если раствор будет контактировать с оборудованием из низкоуглеродистой стали, так как электролитическое осаждение меди может вызвать сильную коррозию. См. рис. 04.
- ♦ **Четвертичные аммиачные соединения.** Это органические соединения, в которых один или несколько атомов водорода в молекуле аммиака заменены органической группой. Эти соединения аммиака, как и сам аммиак, могут вызвать коррозию меди. Используйте только патентованные препараты, безопасное применение которых для очистки содержащего медь оборудования гарантируется изготовителем.
- ♦ **Хлор.** Хлор исключительно эффективен против всех видов микроорганизмов, причем устойчивость к хлору не вырабатывается. Он разрушает все органические и некоторые неорганические соединения. Это высокотоксичное вещество, применение которого требует большой осторожности (проконсультируйтесь со специалистом).

При нормальных давлении и температуре хлор является газом (точка кипения  $-34,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Обычно он поставляется жидким в баллонах под давлением. Хлор тяжелее воздуха, поэтому может скапливаться у пола в непроветриваемых местах, например, в компрессорных залах, подвалах и т.д. Он обладает сильным раздражающим действием, поэтому его присутствие обнаруживается задолго до достижения токсической концентрации.

Первыми признаками отравления хлором являются боль в груди и затрудненное дыхание. Полезно знать, что вдыхание небольшого количества аммиака (например, из бутылки с нашатырным спиртом) облегчит боль и дыхание.

В силу токсичности использование жидкого хлора ограничено крупными химическими заводами. Более мелкие предприятия используют гипохлорит кальция или натрия. При растворении этих веществ в воде образуется то же активное соединение хлора, что и при растворении свободного хлора.

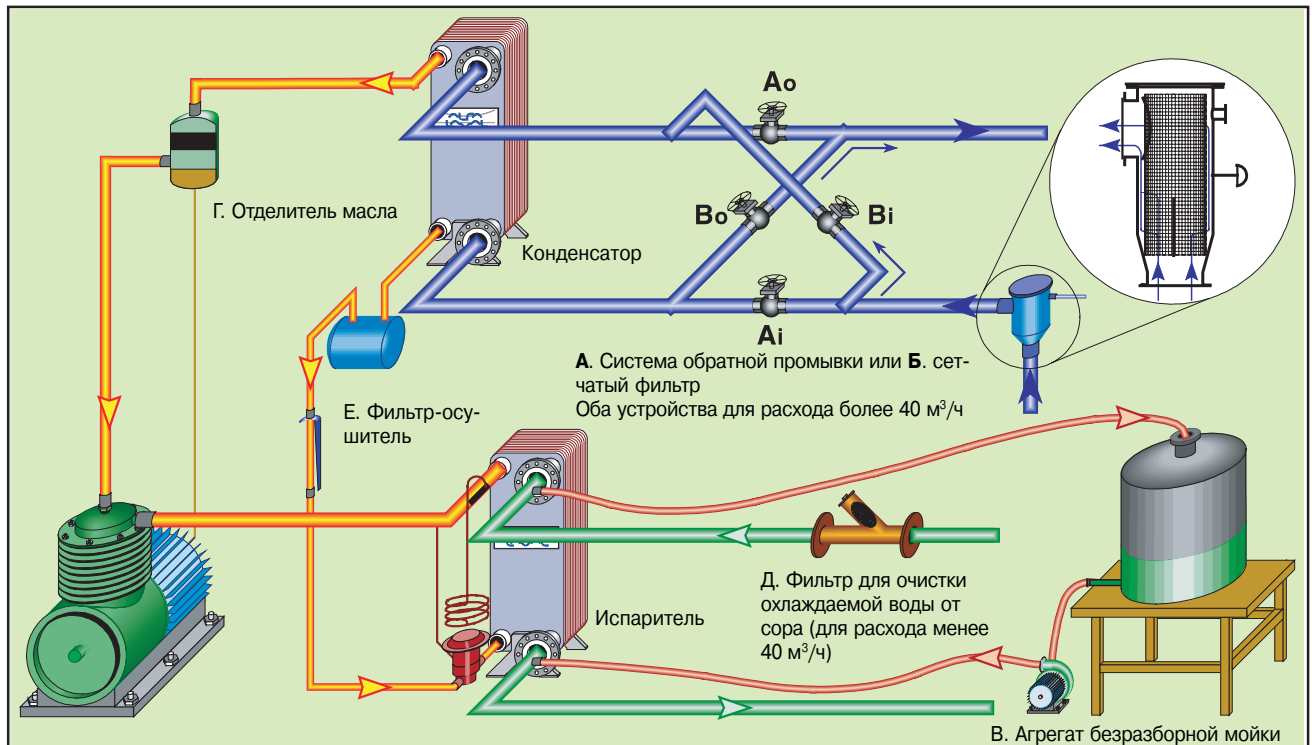
Наиболее элегантным методом является получение хлора из морской воды, особенно на морских судах. В результате электролиза обычной поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) на одном электроде образуется хлор, а на другом – водород и гидроксид натрия.

Хлор применяется для обработки не только охлаждающей, но и питьевой воды, и воды плавательных бассейнов. В системах обработки охлаждающей воды хлор (или соли хлора) используется для постоянного или периодического хлорирования.

- ♦ **Постоянное хлорирование.** Достаточная концентрация хлора –  $0,2...0,3\text{ млн}^{-1}$ . Хлор в такой концентрации не вызывает коррозии нержавеющей стали и меди в медных паяных ПТО.
- ♦ **Периодическое хлорирование.** Периодичность и продолжительность хлорирования определяется из опыта, так как свойства охлаждающей воды сильно зависят от сезона года и от местных условий. Для начала можно принять режим, при котором обработка длится около получаса и повторяется 4...6 раз в день, а концентрация хлора на выходе из теплообменника составляет  $1...2\text{ млн}^{-1}$ . Хлор вводится в трубы после теплообменника. Общий расход хлора при периодической обработке меньше, чем при непрерывной, что существенно для защиты окружающей среды. Недостаток периодической обработки состоит в том, что некоторые виды морских животных, например, баянусы, научаются заранее закрывать раковины, делая обработку хлором неэффективной. В таких случаях обработка должна проводиться через неравномерные интервалы времени.
- ♦ **Предостережение 7!** Свободный хлор в комбинации с ионом хлора чрезвычайно агрессивен в отношении всех марок нержавеющей стали и некоторых других высоколегированных сплавов, например, хастеллоя (*Hastelloy C*). Рекомендации по использованию хлора в системах с теплообменниками из нержавеющей стали приведены далее в этой главе в разделе «Коррозия».
- ♦ **Озон** –  $\text{O}_3$  – это газ, токсичный в высоких концентрациях, в более низких концентрациях обладающий раздражающим действием. Он обладает запахом, который можно почувствовать вблизи больших электродвигателей или после грозы. Подобно хлору, он активно реагирует с органическими веществами и потому уничтожает все типы микроорганизмов. Устойчивость к озону не вырабатывается.

Преимущество такой обработки перед хлорированием состоит в том, что продукты распада менее токсичны, чем хлорсодержащие органические соединения, образующиеся при обработке хлором. Однако озон дороже в производстве и труднее транспортируется.

Эффективность обработки пресной и морской воды, по-видимому, возрастает с понижением ее температуры.



**Рис. 02. Примеры чистящих устройств**

А. Система обратной промывки.

Нормальный режим:	Клапаны Авх и Авых открыты	Клапаны Ввх и Ввых закрыты
Обратная промывка:	Клапаны Ввх и Ввых открыты	Клапаны Авх и Авых закрыты

Штриховые стрелки показывают направление потока при обратной промывке.

Б. Сетчатый фильтр Альфа Лаваль. Небольшой боковой по-

ток это сбросная вода, которой периодически промывается фильтр.

В. Агрегат безразборной мойки. Шланги от агрегата безразборной мойки присоединяются к дополнительным патрубкам аппарата. Направление потока моющей жидкости должно быть противоположным направлению потока в нормальном режиме.

Г. Масляный фильтр.

Д. Фильтр для очистки охлаждаемой воды от сора.

Е. Фильтр-осушитель хладагента.

## 4. Рекомендации по проектированию

Пластинчатые теплообменники хорошо противостоят **поверхностному загрязнению** по следующим причинам.

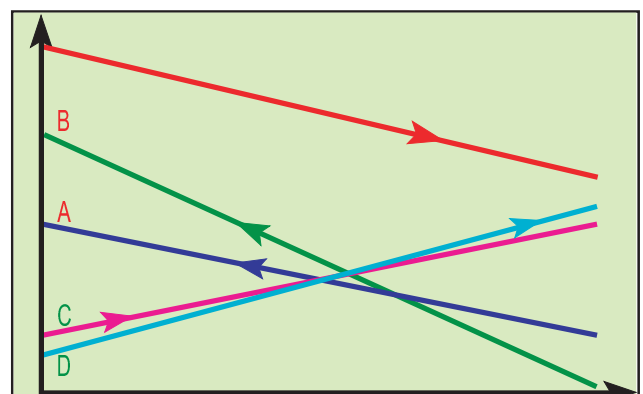
- ♦ Гофры пластин приводят к очень высокой турбулентности потока даже при низком расходе. Турбулентный поток, в отличие от ламинарного, не позволяет взвешенным частицам осесть на поверхности.

Пример. Усилие сдвига пропорционально перепаду давления, приходящемуся на метр пути потока. В коаксиальном теплообменнике и ППТО перепад давления составляет 0,5 бар при равном расходе воды. Однако в коаксиальном теплообменнике общая длина трубы составляет 6 м, а в ППТО – 0,6 м. Следовательно, усилие сдвига в ППТО в 10 раз больше, чем в коаксиальном теплообменнике.

- ♦ В ППТО нет мертвых зон, где откладываются загрязнения.
- ♦ Высокое качество обработки поверхности пластин предотвращает отложение частиц.
- ♦ Медь в паяных теплообменниках создает неблагоприятную среду для микроорганизмов.

Однако пластинчатые теплообменники могут загрязняться липкими взвесями, такими как определенные типы глины, слизь, ил, а также волокнистыми частицами.

ПТО подвержены загрязнению, увеличивающему гидравлическое сопротивление. Но с ним легко бороться двумя упомянутыми выше методами: обратной промывкой или установкой сетчатого фильтра.



**Рис. 03. Проектирование для минимизации накипи**

А. При противотоке самая теплая часть воды встречается с самой теплой частью хладагента, что приводит к высокой температуре стенки и к опасности отложения накипи.

Б. Эта опасность возрастает при дросселировании потока воды с низкой входной температурой.

В. Прямоток, условия противоположны случаю А.

Г. Самая высокая температура воды ниже, чем выходная температура теплового хладагента.

ПТО, которые будут работать с потенциально загрязняющей жидкостью, следует проектировать с запасом производительности, чтобы компенсировать ее снижение в результате загрязнения. К сожалению, трудно сказать, каков должен быть этот запас, так как загрязнение очень часто происходит по принципу «все или ничего».

Если жидкость загрязнена крупным мусором, его следует отфильтровать до ПТО. Тогда ПТО сможет работать бесконечно, в противном случае он засорится в течение нескольких дней.

Невозможно дать общие рекомендации по увеличению поверхности для компенсации загрязнения.

С загрязнением в результате образования накипи или роста микроорганизмов можно бороться упомянутыми выше способами. Общие рекомендации по увеличению поверхности для компенсации такого рода загрязнения также дать нельзя. Кроме того, прочтите § 4 в главе 2, «Оптимизация», где описано влияние запаса по площади на свойства системы при различных условиях.

**Рекомендация 1.** Обеспечьте как можно больший перепад давления (т.е. усилие сдвига) на стороне воды.

**Внимание!** Если главным источником загрязнения является крупный мусор, сомнительно, стоит ли увеличивать усилие сдвига, повышая расход воды. Чем больше воды пройдет через теплообменник, тем больше в него попадет сора, который может застрять в аппарате. Однако если загрязнение связано с образованием накипи или слизи, увеличение силы сдвига всегда полезно.

**Рекомендация 2.** В теплообменниках с очень высокой температурой (более 70 °С) охлаждаемой среды и (или) очень высокой жесткостью охлаждающей воды (т.е. высокой опасностью образования накипи) создавайте как можно больший перепад давления на стороне охлаждающей воды и снижайте его на стороне охлаждаемой среды. Это снизит температуру стенки со стороны охлаждающей воды и увеличит усилие сдвига, затрудняя отложение накипи.

**Рекомендация 3.** Обдумайте использование прямого течения вместо противотока. В этом случае на участке с максимальной температурой охлаждаемой среды, т.е. на входе, эта среда будет контактировать с наиболее холодной охлаждающей средой. Обычно это обеспечивает более низкую максимальную температуру стенки со стороны охлаждающей воды и автоматически ограничивает ее выходную температуру, см. рис. 03.

**Рекомендация 4.** Обычно охлаждающая вода подается через нижний патрубок. Именно такую схему следует, по возможности, применять, поскольку в противном случае крупные частицы засоряют каналы.

**Рекомендация 5.** Иногда целесообразно установить конденсатор горизонтально или почти горизонтально (пластины должны располагаться вертикально). При этом производительность конденсатора не снижается или снижается мало. Однако при таком монтаже песок или другие частицы легче осаждаются в аппарате. Для предотвращения такого загрязнения установите теплообменник в нормальное вертикальное положение или увеличьте перепад давления.

## 5. Коррозия

Коррозию можно назвать мстью природы инженерам, которые превращают металлы из химически стабильной окисленной формы, т.е. руды, в простые вещества, которые обычно менее стабильны, если находятся в контакте с воздухом или водой.

В теплообменниках холодильных установок приходится учитывать, в основном, опасность коррозии на стороне воды, главным образом в конденсаторах, где выше температура и хуже качество воды. Однако возможна также коррозия в испарителях и коррозия на стороне хладагента.

### 5.1. Коррозия на стороне хладагента

#### 5.1.1. Хладагенты

Никакие хладагенты, ни углеводороды (в том числе галогенированные), ни аммиак не вызывают коррозию нержавеющей стали или меди (об аммиаке см. ниже). Исключение составляет **производство** галогенированных углеводородов, так как продукты реакции могут содержать небольшие количества кислоты.

Медь и медные сплавы корродируют под действием аммиака, если концентрация воды в нем превышает несколько млн<sup>-1</sup>. См. также раздел 5.3.6, «Вода, содержащая гидразин».

#### 5.1.2. Разложение хладагентов и масел

В нормальных обстоятельствах хладагенты и масла не вызывают коррозию оборудования. Однако при определенных условиях фреоны могут разлагаться, и содержащиеся в большинстве из них хлор и фтор образуют с водородом в высшей степени агрессивные соляную и плавиковую кислоты.

Гидрофторхлоруглероды (HCFC), вероятно, наиболее опасны в этом отношении. Эти фреоны представляют меньшую экологическую угрозу по сравнению со «старыми» фреонами (CFC), так как легче распадаются в атмосфере. Причина в том, что в их состав входят не только углерод, фтор и хлор, но и водород, необходимый для образования вышеупомянутых кислот, т.е. в молекулах HCFC содержатся атомы водорода, а в молекулах CFC - нет. Соответственно, HCFC легче разлагаются не только в атмосфере, но и внутри холодильных установок. Их распад происходит более активно в присутствии кислорода.

Вторым условием для возникновения коррозии является присутствие воды. В отсутствие воды хлористый водород и фторводород не очень агрессивны, но в водном растворе это сильнейшие кислоты – соляная и плавиковая.

Третьим условием является высокая температура. В диапазоне температур, характерном для большинства холодильных установок (менее 100 °С), опасность невелика, но в присутствии катализаторов разложение ускоряется. Окислы никеля, хрома, молибдена, ванадия и др. могут действовать как катализаторы. Образование этих окислов возможно при сварке или пайке нержавеющей стали.

При сварке или пайке труб на стороне хладагента необходимо принимать меры по предотвращению окисления.

**Второй источник коррозионных агентов – образование органических кислот** при разложении масел. Этот процесс также усиливается в присутствии воды. Минеральные масла обычно очень стабильны и не создают проблем в этом отношении. Некоторые новые синтетические масла содержат молекулы с двойными связями. При определенных условиях эти двойные связи могут быть очень реакционно-способны и образовывать с водой (и кислородом), среди прочих соединений, органические кислоты. Особенно легко разлагаются синтетические масла на основе сложных эфиров многоатомных спиртов. Новые синтетические масла на основе простых эфиров, кажется, более стабильны. Кроме того, продукты разложения масла ухудшают его смазочные свойства.

**Третий источник коррозионных агентов – флюс для пайки**, случайный попавший в холодильный контур и своевременно не удаленный. Назначение флюсов – очищать поверхность металлов от окислов, поэтому они являются сильными коррозионными агентами.

**Аммиак** – особый случай. Синтетические масла на основе сложных эфиров многоатомных спиртов энергично реагируют с аммиаком, а более стабильные минеральные масла и полиалкиленовые гликоли – нет. В силу термодинамических свойств аммиака его температура на выходе компрессора довольно высока, что вызывает опасность разложения масла. Это может создать трудности со смазкой или загрязнением теплообменников, но не с коррозией. Кислоты, образующиеся при разложении масла, эффективно нейтрализуются аммиаком.

### 5.1.3. Предотвращение разложения

- ◆ Регулярно проверяйте осушитель.
- ◆ Ограничивайте температуру на выходе компрессора.
- ◆ Проверяйте фильтры. Необычно сильное загрязнение может указывать на разложение масла.
- ◆ При сварке или пайке труб холодильного контура используйте азот для защиты от окисления. Самый простой способ - продувать азотом свариваемые трубы и оборудование.
- ◆ При пайке мягким припоем не допускайте попадания флюса в трубы холодильного контура. Очищайте трубы от флюса в случае необходимости.

## 5.2. Коррозия в водных растворах

В случае медных паяных теплообменников из нержавеющей стали имеется три аспекта коррозии:

- ◆ коррозия нержавеющей стали марки 316 (2,5 % Mo),
- ◆ коррозия меди,
- ◆ взаимодействие меди с материалом присоединенного оборудования.

### 5.2.1. Коррозия нержавеющей стали

**Пассивация.** Коррозионная стойкость нержавеющей стали определяется наличием тонкой оксидной пленки на поверхности. Эта пленка, в основном – окись хрома, очень легко образуется в окислительной среде, например, в воздухе, и защищает нижележащий металл от коррозии. Металл, защищенный таким образом, называют пассивированным.

Очень важно, чтобы оксидная пленка сохраняла свою целостность, не имела пор, трещин и т.п., в противном случае на незащищенных участках будет идти коррозия. Поверхность должна быть свободна от окислы, остатков шлака и т.д. Если пленка повреждена и условия не благоприятствуют ее образованию, поверхность металла остается незащищенной и может корродировать.

Восстановители – сернистая кислота и сероводород – повреждают и разрушают пассивирующую пленку, в то время как растворенные кислород, азотная кислота, ионы  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  способствуют ее образованию. Эта оксидная пленка обеспечивает очень хорошую защиту от окисляющих кислот, таких как азотная, хромовая, разбавленная серная и т.д. С другой стороны, ее стойкость к неокисляющим кислотам, таким как соляная, очень низкая.

**Сплошная коррозия.** Это коррозия, равномерно охватывающая всю поверхность. Она обычно происходит в кислотах и щелочах. Скорость такой коррозии предсказуема. Если некое оборудование корродирует за год на глубину 0,5 мм, то за два года оно корродирует, скорее всего, на 1 мм. С такой коррозией легко справиться. В холодильных установках не должно быть коррозии этого типа.

**Электрохимическая коррозия.** Такая коррозия происходит при контакте двух металлов с различными электрохимическими потенциалами в электропроводящем растворе. Примером может послужить находящаяся в морской воде алюминиевая лодка, отремонтированная с помощью медной пластины (это случилось в первое время эксплуатации алюминиевых лодок).

Пара металлов образует гальванический элемент («батарею»), где металл с меньшим потенциалом служит анодом, а другой – катодом. Анод растворяется, т.е. корродирует. В принципе этот вид коррозии возможен при контакте меди с нержавеющей сталью, но на практике это редко случается в водных растворах. В случае плохого качества воды точечная или щелевая коррозия, вероятно, будет происходить быстрее. Воздухоохладители и воздушные конденсаторы часто изготавливаются из медных трубок с алюминиевыми ребрами, и в морской атмосфере могут корродировать. В этих условиях лучше применять теплообменники с медным оребрением.

**Точечная и щелевая коррозия** это разновидности электрохимической коррозии. Этим процессам благоприятствуют следующие условия.

- ◆ Окислительная среда, например, присутствие кислорода, азотной кислоты, ионов  $\text{Cu}^{2+}$  или  $\text{Fe}^{3+}$ .
- ◆ Ионы хлора, даже в низкой концентрации.
- ◆ Нарушения пассивной поверхностной пленки, через которые могут проникать ионы хлора. Это может быть щель между прокладкой и утянутой поверхностью фланца, плохо выполненный сварной шов или соединение внахлестку. Точечная коррозия происходит на поверхности под отложениями шлака, накипи или под воздушным пузырьком.
- ◆ Зоны нарушения пленки должны быть погружены в окисляющую среду.
- ◆ Низкое значение pH. При pH > 12 опасность локальной коррозии пренебрежимо мала (зато высока опасность образования накипи).
- ◆ Застойная жидкость. Это очень важное условие. Например, можно было бы использовать нержавеющую сталь для работы с морской водой, если бы поверхность контактировала исключительно с проточной водой. Но обычно в аппаратах всегда имеются застойные зоны, а при отключении теплообменника вся поверхность подвергается опасности точечной коррозии.
- ◆ Высокая температура. Однако в открытых системах (при атмосферном давлении) и при условии, что кислород является единственным окислителем, высокая температура (более 80 °C) понижает концентрацию кислорода, т.е. снижает риск коррозии.

В таких условиях образуются локальные гальванические элементы, в которых зона повреждения пленки является анодом, а окружающая пассивированная – катодом. Поскольку у анода площадь намного меньше, чем у катода, плотность тока на нем велика и скорость коррозии может составлять несколько мм в день.

Развитие щелевой коррозии непредсказуемо, так как зависит от многих факторов. Она весьма опасна, поскольку в щелях, в отличие от поверхности металла, с высокой вероятностью складываются условия для развития коррозии.

**Коррозия под напряжением** сходна с точечной и щелевой коррозией. Поверхность металла в зоне действия растягивающих нагрузок в растворах хлоридов становится анодом гальванического элемента. Для развития коррозии под напряжением требуется более высокая температура, чем обычная для холодильных установок или тепловых насосов.

### 5.2.2. Защита нержавеющей стали от коррозии

- Коррозия под напряжением и щелевая коррозия редко встречаются в ППТО. Нагрев при пайке эффективно снимает все внутренние напряжения в материале, а расплавленная медь заполняет все трещины.
- В работающих теплообменниках точечная коррозия в норме не развивается. В случае длительного отключения конденсаторов, работавших на некачественной воде, их необходимо промыть чистой водой и либо оставить заполненными, либо слить из них воду и высушить. Если в аппаратах останется немного воды и она будет испаряться, то концентрация хлоридов может увеличиться настолько, что возникнут условия для точечной коррозии.
- Будьте осторожны при использовании воды низкого качества. Присутствие сероводорода или двуокиси серы усиливает влияние хлоридов.
- Значения pH должны лежать в диапазоне от 7 до 9. Слишком большое значение pH повышает опасность образования накипи.
- Тщательно промывайте теплообменники после чистки химикатами.
- Поддерживайте чистоту поверхностей теплообменников. Загрязнения и накипь могут содержать коррозионные агенты, а также способствовать появлению трещин или других разрушений поверхности, где может развиваться коррозия.

### 5.2.3. Коррозия меди

Медь является инертным металлом и не корродирует в контакте с обычными для теплообменников средами. Тем не менее, большинство видов коррозии возможны и для меди.

**Сплошная коррозия I** развивается, главным образом, в кислотах, например, в азотной кислоте, которая просто растворяет медь. Этот вид коррозии в холодильных контурах не встречается, так как там не должно быть кислоты.

**Сплошная коррозия II** развивается в воде, содержащей кислород, т.е. в большинстве типов природной воды. Медь окисляется и через пару месяцев покрывается черным слоем оксида меди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), который защищает металл от дальнейшей коррозии. В зависимости от качества воды, оксид меди в дальнейшем покрывается либо обычным зеленым слоем карбоната меди (он держится крепко, поэтому предпочтителен), либо сульфата меди (рыхлый слой).

**Точечная коррозия в теплой воде** развивается в мягкой воде с низким pH при температуре выше  $60^\circ\text{C}$ . Точки коррозии обычно покрыты аморфным сульфатом меди, но здесь возможны различные варианты вплоть до отсутствия слоя солей. Этот вид коррозии встречается редко.

**Точечная коррозия в холодной воде** развивается главным образом в богатой кислородом воде с температурой ниже  $30^\circ\text{C}$ . Точки коррозии покрыты  $\text{Cu}_2\text{O}$ , под которым лежит белый слой  $\text{CuCl}$ . Зона коррозии обычно покрыта объемистым слоем зеленого карбоната меди.

**Эрозионная коррозия.** При большой скорости потока воды защитный слой  $\text{Cu}_2\text{O}$  эродирует и обнажившаяся поверхность меди корродирует.

### 5.2.4. Защита меди от коррозии

- ◆ Низкая концентрация кислорода. При содержании  $\text{O}_2$  менее  $0,1 \text{ млн}^{-1}$  точечная коррозия не развивается.
- ◆ Высокая концентрация ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$  **снижает** опасность коррозии.
- ◆ Высокая концентрация ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$  **увеличивает** опасность коррозии.
- ◆  $6,5 < \text{pH} < 9,5$
- ◆  $\text{CO}_2 < 44 \text{ млн}^{-1}$  ( $1 \text{ моль/м}^3$ )
- ◆ Применение поверхностной воды вместо артезианской. Органические вещества в поверхностной воде действуют как ингибиторы коррозии.
- ◆ Органические вещества, содержащие аммиак или серу, **увеличивают** опасность коррозии.
- ◆ Частицы магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) **увеличивают** опасность коррозии.
- ◆ Отсутствие трещин или неровностей поверхности, отсутствие застойной воды.
- ◆ Слой углерода на поверхности (например, из-за разложения масла после пайки) **увеличивает** опасность коррозии.

### 5.2.5. Взаимодействие меди с металлом присоединенного оборудования

**Электрохимическая коррозия.** Медь является инертным металлом и в случае контакта может вызвать коррозию металлов с более высоким сродством к кислороду, таких как нелегированная или оцинкованная сталь.

**Электрохимическая микрокоррозия.** В нормальных условиях эксплуатации ППТО медь почти не корродирует. Скорость коррозии настолько мала, что никак не сказывается за время службы теплообменника. Однако растворенная медь затем осаждается на нелегированной или оцинкованной стали. Это явление той же природы, что и широко известное отложение меди из солевого раствора на поверхности стального гвоздя.

Медь, отложившаяся на стали или цинке, образует описанный выше гальванический элемент. Осевшая медь покрывает большие площади и может вызывать быструю коррозию стали или, что еще важнее, разрушить защитное цинковое покрытие. Это возможно даже в том случае, если оборудование, содержащее медь, удалено от стальных деталей.

### 5.2.6. Защита низкоуглеродистой стали и цинка от коррозии под действием меди

Электрохимическую коррозию можно предотвратить электрической изоляцией ППТО от остального оборудования и (или) такой компоновкой установки, при которой **ниже по потоку от ППТО нет оборудования из низкоуглеродистой или оцинкованной стали.**

Электрохимическую микрокоррозию невозможно предотвратить электрической изоляцией ППТО. Чтобы исключить электроосаждение меди, концентрация коррозионных агентов должна быть ограничена уровнями, указанными табл. 2. Однако электрохимическая микрокоррозия не происходит в оборудовании, установленном перед ППТО.

**Предостережение 8!** В замкнутом контуре понятия **ниже и выше по потоку** лишены смысла, так что электрохимическая коррозия может происходить в оборудовании, установленном непосредственно перед ППТО. Однако для электрохимической коррозии необходим электрический контакт.

## 5.3. Типы воды

### 5.3.1. Хлорированная вода (вода плавательных бассейнов)

Особую проблему представляет нагрев хлорированной воды, например, воды плавательных бассейнов, в конденсаторах тепловых насосов. В первую очередь это относится к нержавеющей стали, медь гораздо меньше подвержена коррозии под действием хлора.

Хлор добавляется в воду и превращается в ионы хлорида, концентрация которых постепенно возрастает. Через некоторое время она может подняться до такого уровня, при котором ионы хлорида совместно со свободным хлором вызывают точечную коррозию, см. рис. 05.

Большие общественные бассейны обслуживаются подготовленными инженерами, а вот в малых частных бассейнах качество воды не всегда контролируется надлежащим образом. Чем больше бассейн, тем стабильнее условия в нем и тем труднее случайно передозировать гранулы для обеззараживания воды.

Заметьте, что системы косвенного охлаждения, в которых вода бассейна нагревается циркулирующей горячей водой, а не непосредственно хладагентом, в этом отношении гораздо безопаснее, особенно для малых бассейнов.

Однако имеются установки, в которых ПТО, обслуживающие общественные бассейны, ни разу не вскрывались более 10 лет.

**Предостережение 9!** Высококачественная нержавеющая сталь лишь ненамного более устойчива к сочетанию  $\text{Cl}_2/\text{Cl}^-$ .

### 5.3.2. Растворы хлорида кальция и бромида лития

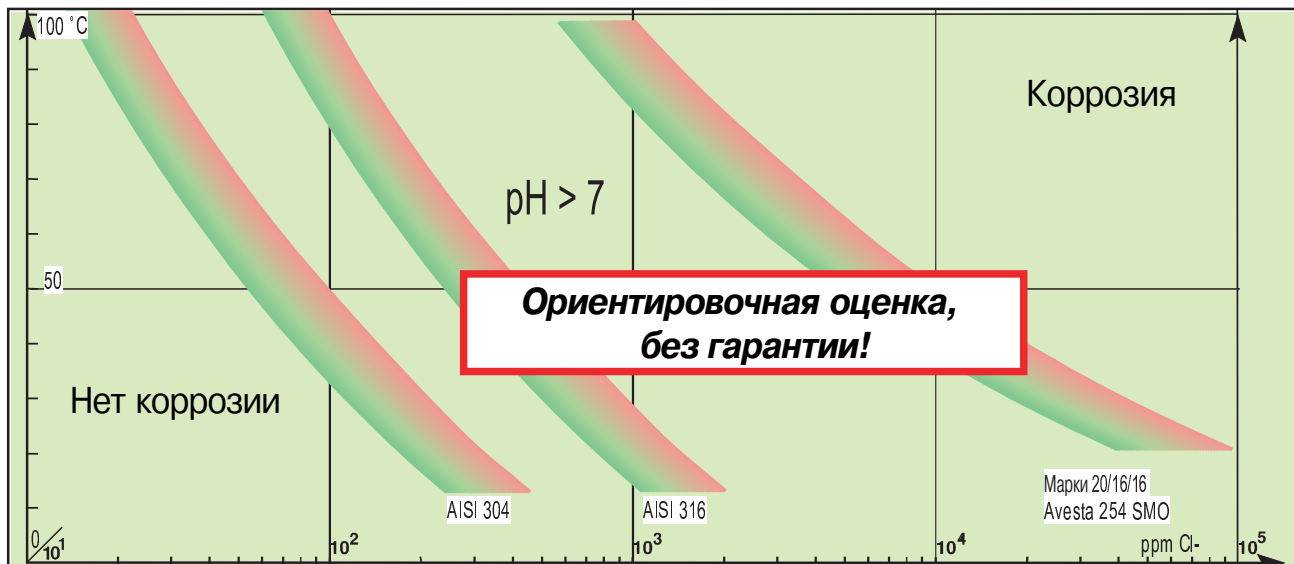
Концентрированные растворы хлорида кальция при высоких pH и низкой температуре (менее  $0^\circ\text{C}$ ) не вызывают коррозии нержавеющей стали. Если в растворе содержится ингибитор, например, бихромат или молибденат, это же относится и к меди. Точечная коррозия может происходить, когда холодильная установка отключена, температура повышена и, особенно, если значения pH опустились ниже допустимого, например, вследствие неправильной промывки водой. Бромид лития обладает сходными свойствами, но менее агрессивен. Точечная коррозия развивается очень быстро, и последствия такой коррозии в испарителе могут быть чрезвычайно разрушительными.

**Предостережение 10!** Будьте очень осторожны, используя растворы хлористого кальция или бромида лития, применяйте только ингибированные фирменные препараты, относительно которых изготовитель сообщает, что они совместимы с медью и нержавеющей сталью.

Поддерживайте pH в пределах от 8,5 до 11,5, но не выше, так как в противном случае в растворе хлорида кальция образуется накипь.

Обдумайте целесообразность добавки бихромата или молибдената калия в качестве ингибитора.

Используйте эти растворы только в замкнутых контурах в отсутствие воздуха.



**Рис.04. Влияние концентрации ионов хлора и температуры на развитие точечной и щелевой коррозии нержавеющей стали**

**Другие факторы, влияющие на развитие этих типов коррозии:**

- ◆ pH;
- ◆ скорость воды;
- ◆ загрязнение – накипь и биологические загрязнения;
- ◆ присутствие CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, соединений железа и т.д.;
- ◆ состояние поверхности;
- ◆ окислительно-восстановительный потенциал раствора, который зависит от наличия окислителей, таких как кислород, гипохлориты, бихромат натрия и т.д.

- ◆ Ни в коем случае не производите хлорирование воды на входе в теплообменник, место ввода хлора должно быть максимально удалено.

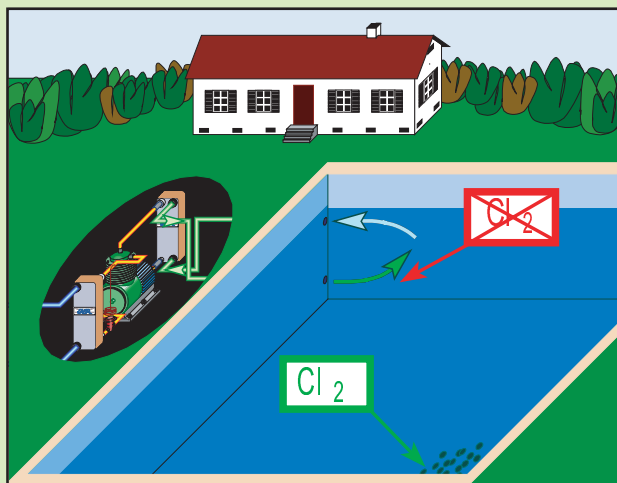
**Таблица 1. Предельные концентрации, не допускающие коррозии меди**

- ◆ Соотношение HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > 1, в противном случае существует опасность точечной коррозии.
- ◆ 7,5 < pH < 9,0
- ◆ Концентрация кислорода как можно более низкая, < 0,1 млн<sup>-1</sup>.
- ◆ Аммиак < 0,5 млн<sup>-1</sup> в присутствии кислорода
- ◆ Аммиак < 30 млн<sup>-1</sup> в отсутствие кислорода
- ◆ Такие компоненты как сероводород вызывают коррозию меди и ухудшают коррозионную стойкость нержавеющей стали.

См. также таблицу 2, где указаны предельные концентрации для электрохимической микрокоррозии. Обратите внимание, что электрохимическую микрокоррозию нельзя предотвратить электроизоляцией различных компонентов контура.

**Таблица 2. Предельные концентрации, не допускающие электрохимической микрокоррозии в присоединенных трубах из нелегированной или оцинкованной стали**

pH	7,5 - 9,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 100 млн <sup>-1</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	> 1,0
Общая жесткость	4,0 - 8,5 dH
Cl <sup>-</sup>	< 50 млн <sup>-1</sup>
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	< 2,0 млн <sup>-1</sup>
NH <sub>3</sub>	< 0,5 млн <sup>-1</sup>
Свободный хлор	< 0,5 млн <sup>-1</sup>
Fe <sup>3+</sup>	< 0,5 млн <sup>-1</sup>
Mn <sup>2+</sup>	< 0,05 млн <sup>-1</sup>
CO <sub>2</sub>	< 10 млн <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> S	< 50 млрд <sup>-1</sup> <b>Внимание!</b>
Температура	< 65 °C
Концентрация кислорода	< 0,1 млн <sup>-1</sup>



- ◆ Вход воды должен находиться рядом с поверхностью, а выход – у дна. Это улучшает перемешивание нагретой воды и, главное, предотвращает попадания гранул для хлорирования воды или концентрированного раствора в теплообменник.
- ◆ **Предостережение 11!** К сожалению, на практике гранулы иногда вносят в воду непосредственно перед входом в теплообменник. Это улучшает хлорирование, но может привести к разрушению теплообменника.
- ◆ Коррозия нержавеющей стали может происходить при гораздо более низких концентрациях хлоридов, чем указанные на рис. 04.
- ◆ Поддерживайте pH как можно более высоким, не ниже 7,5.
- ◆ Cl<sub>2</sub> < 0,5 млн<sup>-1</sup> (непрерывное хлорирование) на входе в ППТО < 2 млн<sup>-1</sup> (периодическое хлорирование)
- ◆ Cl<sup>-</sup> < 150 млн<sup>-1</sup> при температуре 50-60 °C < 100 млн<sup>-1</sup> при температуре 70-80 °C

**Рис. 05. Хлорирование воды в плавательных бассейнах**

### 5.3.3. Деминерализованная или дистиллированная вода

«Можно ли использовать дистиллированную воду?» – такой вопрос часто возникает в связи с ППТО. Медь в микроскопических количествах всегда растворяется в воде, какой бы чистой она ни была. Это не сокращает срок эксплуатации и не нарушает функции ППТО, однако в некоторых случаях может помешать работе установки. Здесь важно знать, почему используется деминерализованная вода.

- ♦ Иногда в замкнутом контуре используют деминерализованную воду, чтобы избежать образования отложений и коррозии оборудования. В этом случае использование оборудования, содержащего медь, не составляет проблем.
- ♦ В некоторых установках, например, для охлаждения лазеров, даже микроскопическое количество меди может нарушить нормальное функционирование лазера.
- ♦ Возможны и другие применения, например, в фармацевтической или электрохимической отрасли, для которых присутствие ионов меди может оказаться критичным.

**Коррозионные свойства деионизированной воды.** Вода с низким содержанием минеральных веществ имеет очень низкую буферную емкость, т.е. ее pH легко изменяется.

Капля концентрированной соляной кислоты, добавленная в литр деминерализованной воды, имеющей pH 7, уменьшает pH до 3-4, т.е. вода становится кислой и коррозионной.

Та же капля, добавленная в концентрированный раствор хлорида кальция, также имеющего pH 7, никак не влияет на кислотность воды.

**Предостережение 12!** После споласкивания оборудования водой, особенно, следующего за промывкой кислотой, следует проверить pH воды. Это правило относится ко всем случаям, но имеет тем большее значение, чем меньше растворенных солей содержится в воде.

### 5.3.4. Умягченная вода

Жесткую воду, содержащую много ионов кальция и магния, необходимо умягчать во избежание отложения накипи.

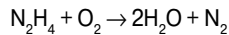
Умягчение воды это своего рода «частичная деминерализация», при которой удаляются только ионы кальция или магния. Это стандартный метод обработки водопроводной воды, подпиточной воды для градирен и охлаждающей воды. Такая вода может применяться для всех типов ПТО.

### 5.3.5. Поверхностная, артезианская или оборотная вода

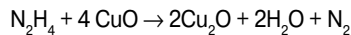
- ♦ Опыт использования медных паяных теплообменников показал, что водопроводная и почти все типы поверхностной воды не вызывают их коррозии.
- ♦ Большинство случаев коррозии происходит в артезианской и, конечно, в солоноватой воде. Если неизвестно, каковы коррозионные свойства воды из данного источника, то перед ее применением обязательно проведите тщательное исследование, и возможно, коррозионные испытания.
- ♦ Обратная вода из градирни с плохой подпиточной водой может быть коррозионной. Подпиточная вода концентрируется в градирне приблизительно в пять раз. Артезианская вода, содержащая некоторое количество хлоридов и не проявляющая коррозионной активности, может стать агрессивной после возрастания концентрации хлоридов в пять раз.
- ♦ **Предостережение 13!** Рассматривая результаты анализа воды, нужно понимать, относится ли этот анализ к подпиточной или циркулирующей воде.

### 5.3.6. Вода, содержащая гидразин

Гидразин –  $N_2H_4$  – иногда добавляется в циркуляционную воду (в установках центрального отопления, кондиционирования воздуха, на электростанциях) как ингибитор коррозии стали. Основное действие гидразина заключается в уменьшении концентрации растворенного кислорода. Реакция с кислородом протекает по следующему уравнению:

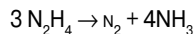


Это не единственное действие гидразина. Он восстанавливает растворимую окись двухвалентной меди ( $CuO$ ) до нерастворимой окиси одновалентной меди ( $Cu_2O$ ), которая формирует на поверхности очень стойкую пассивирующую пленку.

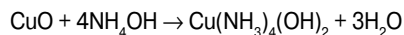


**Заключение 1.** Благодаря этим реакциям скорость коррозии меди в воде, содержащей гидразин, очень мала, почти равна нулю. Если в воду введено достаточно гидразина для восстановления всего кислорода и всей окиси двухвалентной меди, то медь практически не переходит в раствор.

Возможный негативный эффект добавки гидразина в воду заключается в опасности образования аммиака ( $NH_3$ ) и последующей коррозии оборудования, содержащего медь. Гидразин разлагается при температурах выше 200 - 250 °C, т.е. не встречающихся в нормально работающих холодильных контурах.



К счастью, раствор аммиака растворяет (образуя комплекс) только окись двухвалентной меди ( $CuO$ ), но не металлическую медь или окись одновалентной меди ( $Cu_2O$ ).



Окись двухвалентной меди ( $CuO$ ) образуется при окислении меди или окиси одновалентной меди ( $Cu_2O$ ) кислородом.



Поскольку окись двухвалентной меди ( $CuO$ ) восстанавливается гидразином до окиси одновалентной меди ( $Cu_2O$ ), то коррозия не происходит даже при концентрации аммиака 20...30 млн<sup>-1</sup>, если в воде нет растворенного кислорода. Если же в воде присутствует кислород (нет избытка гидразина), содержание аммиака не должно превышать 0,5 млн<sup>-1</sup>. Аммиак вызывает коррозию меди только в присутствии кислорода и воды.

### 5.3.7. Растворы, содержащие ингибиторы

Препараты для приготовления теплоносителей – гликоли, хлорид кальция, ацетаты, формиаты и т.д., содержат ингибиторы коррозии. Важно использовать эти препараты в надлежащей концентрации, поскольку слишком сильное разбавление приведет к тому, что концентрация ингибиторов опустится ниже эффективного диапазона и начнется коррозия. **Следуйте инструкциям изготовителя.** См. также §3.10 в главе 8, «Масла и хладагенты».

### 5.3.8. Анализы воды

Анализ, который позволит определить, пригодна ли данная вода для работы с оборудованием, содержащим определенные материалы или их комбинации, предполагает, как минимум, следующие показатели.

♦ pH	Кислотность
♦ Cl <sup>-</sup>	Хлориды
♦ S <sup>2-</sup>	Сульфиды
♦ NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Соединения аммиака
♦ SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сульфаты и сульфиты
♦ Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Fe	Соединения железа
♦ O <sub>2</sub>	Кислород и другие окислители
♦ CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Карбонаты
♦ HCO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	Бикарбонаты
♦ Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	Кальций и магний
♦ Твердые частицы	Содержание, размер, вид (волокна, крупинки, липкие частицы, слизь, и т.д.)

К сожалению, вода это очень изменчивая субстанция, содержание в ней коррозионных веществ может изменяться в зависимости от сезона, погоды (дождь, засуха), паводка и т.д.

Необходимо выполнить несколько анализов воды, взяв пробы в разные периоды года и при разных погодных условиях.

Ценность анализа воды, проведенного после утечки предположительно коррозионного происхождения, довольно сомнительна, особенно если аппарат уже много лет эксплуатировался. Однократная чистка коррозионной жидкостью может вызвать частичную коррозию аппарата. Спустя несколько лет новая чистка, которая привела к временному уменьшению pH, повышению содержания кислорода или подобным изменениям, может вновь запустить процесс коррозии, которая на этот раз окажется сквозной.

Разумеется, превышение допустимой концентрации невозможно обнаружить при анализе воды, выполненном спустя несколько лет.

## 6. Протечки в ППТО

### 6.1. Причины протечек

- ◆ **Коррозия.** Коррозия возможна в любом месте поверхности ППТО, но чаще случается в нижней части аппарата, вблизи соединительных отверстий. Дело в том, что в соединительных отверстиях выключенного аппарата может остаться немного жидкости. По мере испарения воды концентрация коррозионно-активных веществ возрастает. Если в ППТО происходит коррозия, то это обычно точечная или щелевая коррозия нержавеющей стали.
- ◆ **Замерзание.** Замерзание происходит на стороне воды в точках, где температура стенки ниже температуры замерзания. В испарителях непосредственного расширения зоны наименьшей температуры находятся на некотором расстоянии от входа хладагента, но замерзание чаще происходит вблизи входного патрубка хладагента, так как здесь легко образуются застойные зоны.
- ◆ **Действие на патрубки чрезмерного вращающего момента или усилия.** Патрубки развальцованы в плите и припаяны к ней, но приложение слишком большой силы может привести к образованию трещин.
- ◆ **Вибрация вследствие работы присоединенного оборудования** может вызвать усталость материала и, как следствие, образование трещин в пластинах или в паяных соединениях. Такие повреждения чаще возникают при комбинированном действии вибрации и, например, чрезмерной нагрузки на патрубки.
- ◆ **Гидравлические удары и другие скачки давления.** Вода, движущаяся в контуре, обладает значительной кинетической энергией. Если это движение внезапно прекращается, например, вследствие быстрого срабатывания запорной арматуры, кинетическая энергия воды должна как-то преобразоваться внутри контура. Это может привести к деформации или разрыву поверхностей, образующих замкнутое пространство.
- ◆ Наиболее вероятное повреждение ППТО - это деформация, а после повторных скачков давления и отрыв концевой пластины, противоположной входному патрубку воды. Итак, клапан на водяной трубе после теплообменника не должен закрываться быстро. На стороне хладагента это явление менее опасно, так как паровая фаза сжимаема и может компенсировать скачки давления.
- ◆ **Термоудары.** Если холодная вода внезапно поступает в очень горячий ППТО или наоборот, термические напряжения между первой канальной пластиной и концевой пластиной могут вызвать разрыв более тонкой и потому быстрее сжимающейся и расширяющейся канальной пластины.
- ◆ **Дефекты материалов.** Большинство дефектов выявляет-

ся при гидравлических испытаниях или гелиевом тестировании, но некоторые дефекты, например, шлаковые включения, могут проявиться позднее.

- ◆ **Дефекты изготовления.** Как и дефекты материалов, дефекты изготовления обнаруживаются при испытаниях ППТО. Иногда образовавшаяся при штамповке трещина в пластине заливается медью во время пайки, а затем этот дефект может проявиться в случае коррозии меди. Дефект пайки пакета пластин, вероятнее всего, в сочетании с каким-либо другим фактором, также может стать причиной протечки.
- ◆ **Превышение испытательного давления и (или) расчетной температуры.** Это редкая причина протечек, так как ППТО выдерживает давление, как минимум в пять раз превышающее расчетное, а температура плавления меди равна 1083 °C.

## 6.2. Поиск протечек

### 6.2.1. Введение

Большинство протечек в ППТО происходит в результате воздействия одного из описанных выше факторов. Это означает, что в большинстве случаев протечки бывают внутренними, т.е. одна из рабочих сред подмешивается к другой. Не говоря о возможных вследствие этого повреждениях, точное место внутренней протечки трудно определить. Однако для установления причины протечки важно найти ее местонахождение.

Чтобы успешно решить данную задачу, необходимо хорошо знать условия эксплуатации и тщательно исследовать ППТО.

### 6.2.2. Изучение системы

- ◆ Проверьте процедуру откачки и температуру в испарителе. Регулируется ли давление в конденсаторе? Понижение давления в конденсаторе, возможное в зимний период, способно вызвать понижение температуры испарения. Имеется ли отдельный регулятор давления в жидкостном ресивере?
- ◆ Проверьте процедуру останова и пуска системы и происходящие при этом изменения температуры, если предполагаете возможность термоударов. Происходит ли резкая подача холодной среды в горячий ППТО или наоборот? Какая среда раньше начинает или прекращает поступать в аппарат - холодная или горячая или обе одновременно? Становится ли температура ППТО равной входной температуре одной из сред при останове системы?
- ◆ Проверьте, передается ли на ППТО вибрация от другого оборудования? Как присоединены трубы к патрубкам теплообменника? Имеются ли на трубах изгибы или сильфоны, способные компенсировать температурное расширение или вибрации?
- ◆ В системе с параллельно соединенными компрессорами или ППТО внезапные скачки давления и температуры могут происходить при пуске или останове одной из параллельных машин. Все ли ППТО имеют собственные регуляторы давления?
- ◆ Имеются ли на водяной стороне электромагнитные клапаны или клапаны с приводом? Не устанавливайте электромагнитные клапаны за теплообменником. Это может привести к гидравлическим ударам.
- ◆ Есть ли в системе клапаны, которые управляют расходом среды посредством изменения времени открытия? Такой клапан может открыться на одну секунду, закрыться на пять, открыться на пять и закрыться на одну секунду и т.д. Это приводит к неустойчивому режиму по давлению и температуре.
- ◆ Не повышено ли содержание в воде хлоридов или других коррозионных агентов? Помните, что вода пищевого назначения часто хлорируется.
- ◆ По мере расходования хлора он добавляется в воду, в результате содержание хлоридов возрастает. Это может привести к точечной коррозии.

### 6.2.3. Внешний осмотр

Снимите тепловую изоляцию и осмотрите ППТО снаружи.

- ◆ Имеются ли выпячивания на плите, противоположной входному патрубку воды? Это может указывать на гидравлические удары.
- ◆ Имеются ли какие-либо признаки деформации по бокам?
- ◆ Прочно ли крепятся патрубки?
- ◆ Проверьте, имеются ли признаки коррозии или загрязнений на обеих сторонах.
- ◆ Проверьте, не был ли ППТО поврежден при транспортировке или монтаже.

### 6.2.4. Определение места протечки

Самый простой метод состоит в том, чтобы заполнить одну сторону ППТО водой, а на другую подать воздух под давлением. Пузырьки воздуха, появляющиеся из одного или двух патрубков, указывают на внутреннюю протечку. Для обнаружения внешней протечки опустите ППТО в воду или нанесите мыльный раствор на предполагаемое место протечки.

Легко обнаруживаются протечки вблизи патрубка (позиция 1 на рис. 06Б). Точное расположение других протечек (рис. 06В, позиция 2) определить сложнее.

На рис 06 показан возможный способ определения. Он, однако, предполагает, что размер отверстия довольно велик, т.е. падение давления в нем минимальное. В более сложном случае для выявления протечек можно применить гелий или другой трассер.

### 6.2.5. Резка ППТО

Когда место протечки определено, ППТО нужно разрезать на части для выявления характера разрушения. Прежде чем это сделать, нужно точно установить местонахождения отверстия.

После того как из ППТО вырезан фрагмент, может оказаться трудно или невозможно определить, была ли протечка вообще, не говоря об ее местонахождении. Особенно это относится к тем случаям, когда для появления пузырей воздух нужно подать под избыточным давлением. Такое возможно, если для выхода воздуха через трещину ее края должны сначала раздвинуться под действием избыточного давления.

Произведите разрезы, как показано на рис. 06 Б, в порядке А, В (и С, если утечка происходит рядом с патрубком). Режьте теплообменник пилой, постоянно охлаждая и смазывая его. Не рекомендуется использовать пилы с возвратно-поступательным движением, так как они могут деформировать пластины.

В идеальном случае удастся вырезать фрагмент с явными признаками повреждения. Это типично для утечек в результате замерзания, при котором помимо образования трещины деформируется несколько каналов.

Иногда место утечки обнаруживается труднее, но обычно удается вырезать фрагмент, где образовалось отверстие. Если место утечки явно видно, переходите к § 6.3, в противном случае припой нужно растворить в азотной кислоте, см. ниже.

### 6.2.6. Растворение медного припоя в азотной кислоте

Вырезанный фрагмент ППТО погружается в азотную кислоту для растворения медного припоя. Азотная кислота хорошо растворяет медь (и серебро), но оставляет нетронутой нержавеющую сталь. Ниже приводятся советы по выполнению этих работ.

- ◆ Вырезанный фрагмент должен быть как можно меньшего размера. Это не всегда легко сделать, но ППТО должен быть разрезан, по крайней мере, продольно вдоль линии А-А', показанной на рис. 06Б. Причина в том, что медный припой

вокруг соединительных отверстий в пластинах исключительно трудно или даже невозможно растворить.

Если ППТО не был разрезан, то в кислоте растворится весь припой, кроме окружающего соединительные отверстия. Поскольку каждая пластина соединяется с предыдущей у отверстия на одной стороне и со следующей пластиной у отверстия на другой стороне, т.е. весь пакет пластин останется соединенным. Если же ППТО был разрезан по линии А-А', то этот полупакет распадается на пары пластин, соединенных припоем у левого или правого соединительного отверстия, но каждая пластина в этой паре доступна для дальнейшего обследования.

Трудность растворения припоя возле соединительных отверстий делает практически невозможными внутренние протечки в результате коррозии меди. Единственный участок, где медь разделяет среды в ППТО, это периметр соединительных отверстий в пластинах, но сквозная коррозия по краям пластин и в точках контакта гофров произойдет гораздо раньше, чем у соединительных отверстий.

- ◆ Медный припой в точках контактов гофров растворяется за несколько часов, по краям пластин – за пару дней.
- ◆ Перемешивайте кислоту время от времени, чтобы непрореагировавшая кислота поступала к местам, где идет растворение.

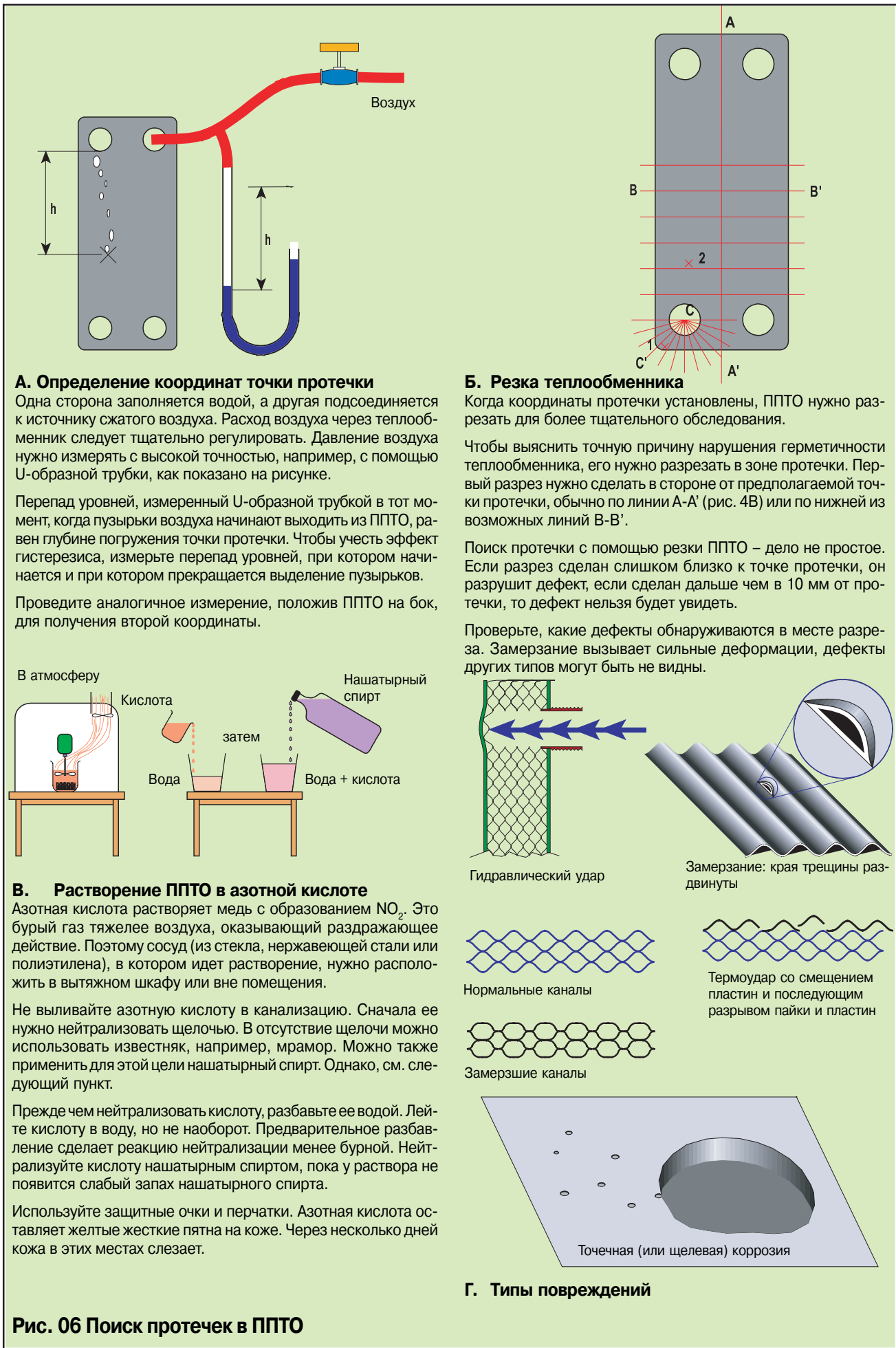
**Соблюдайте местные правила, регламентирующие порядок работы с азотной кислотой и ее утилизации. Если таких правил нет, следуйте рекомендациям, приведенным на рис. 06 В.**

## 6.3. Анализ характера повреждений

На рис. 06Г показаны типичные повреждения.

- ◆ При коррозионных повреждениях пластины, как правило, не деформируются.
- ◆ При замораживании воды пластины разрываются, образуя хорошо заметные трещины.
- ◆ Выпяченные наружу каналы обычно свидетельствуют о замерзании в них жидкости.
- ◆ Термоудары обычно разрывают пластины в точках контакта гофров.

Труднее всего определить совместное воздействие различных факторов. Например, соединения пластин, ослабленные в результате коррозии меди, не выдерживают повышенного давления.

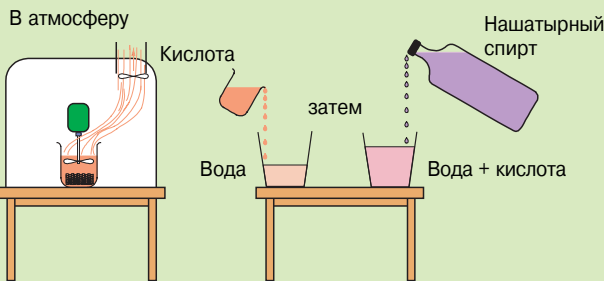


**А. Определение координат точки протечки**

Одна сторона заполняется водой, а другая подсоединяется к источнику сжатого воздуха. Расход воздуха через теплообменник следует тщательно регулировать. Давление воздуха нужно измерять с высокой точностью, например, с помощью U-образной трубки, как показано на рисунке.

Перепад уровней, измеренный U-образной трубкой в тот момент, когда пузырьки воздуха начинают выходить из ППТО, равен глубине погружения точки протечки. Чтобы учесть эффект гистерезиса, измерьте перепад уровней, при котором начинается и при котором прекращается выделение пузырьков.

Проведите аналогичное измерение, положив ППТО на бок, для получения второй координаты.



**В. Растворение ППТО в азотной кислоте**

Азотная кислота растворяет медь с образованием NO<sub>2</sub>. Это бурый газ тяжелее воздуха, оказывающий раздражающее действие. Поэтому сосуд (из стекла, нержавеющей стали или полиэтилена), в котором идет растворение, нужно расположить в вытяжном шкафу или вне помещения.

Не выливайте азотную кислоту в канализацию. Сначала ее нужно нейтрализовать щелочью. В отсутствие щелочи можно использовать известняк, например, мрамор. Можно также применить для этой цели нашатырный спирт. Однако, см. следующий пункт.

Прежде чем нейтрализовать кислоту, разбавьте ее водой. Лейте кислоту в воду, но не наоборот. Предварительное разбавление делает реакцию нейтрализации менее бурной. Нейтрализуйте кислоту нашатырным спиртом, пока у раствора не появится слабый запах нашатырного спирта.

Используйте защитные очки и перчатки. Азотная кислота оставляет желтые жесткие пятна на коже. Через несколько дней кожа в этих местах слезает.

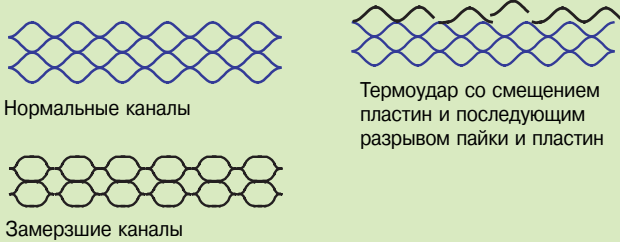
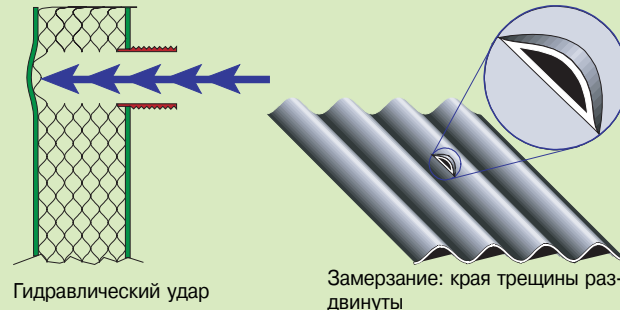
**Б. Резка теплообменника**

Когда координаты протечки установлены, ППТО нужно разрезать для более тщательного обследования.

Чтобы выяснить точную причину нарушения герметичности теплообменника, его нужно разрезать в зоне протечки. Первый разрез нужно сделать в стороне от предполагаемой точки протечки, обычно по линии А-А' (рис. 4В) или по нижней из возможных линий В-В'.

Поиск протечки с помощью резки ППТО – дело не простое. Если разрез сделан слишком близко к точке протечки, он разрушит дефект, если сделан дальше чем в 10 мм от протечки, то дефект нельзя будет увидеть.

Проверьте, какие дефекты обнаруживаются в месте разреза. Замерзание вызывает сильные деформации, дефекты других типов могут быть не видны.



**Г. Типы повреждений**

Рис. 06 Поиск протечек в ППТО