

ПУТИ ПОПАДАНИЯ ГАЗОВ В СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕАЭРАЦИИ

Федоров Сергей Анатольевич, директор ООО «Терма-СЕТ»

Поскольку вода является основным веществом, используемым в системах тепло- и водоснабжения, от ее качества практически полностью зависит состояние этих систем. Почти половина проблем, связанных с эксплуатацией систем, вызывается наличием газов в воде, в первую очередь кислорода, азота и углекислого газа. Концентрация кислорода и углекислого газа решающим образом влияет на скорость процессов коррозии. От концентрации азота во многом зависит появление воздушных пробок, эффективность работы радиаторов и регулирующих вентилей на верхних этажах, появление шумов, скорость эрозии металлических поверхностей, эффективность работы насосов. Для решения подобных проблем достаточно важно понимать пути и особенности попадания и удаления газов из системы.

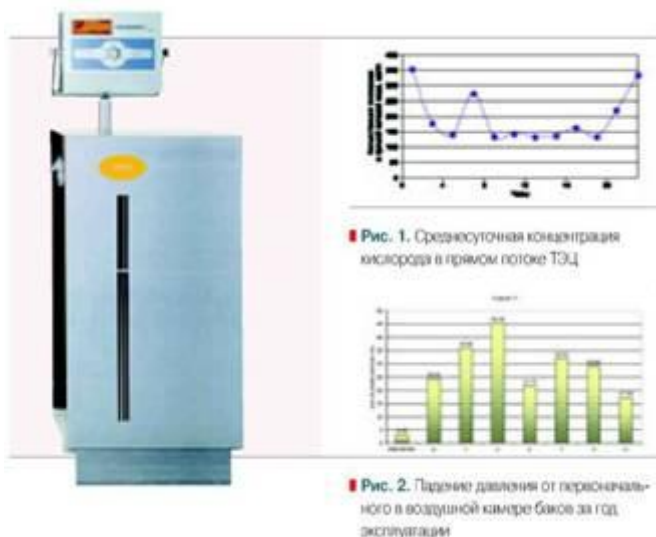
Концентрация разных компонентов газов в недеаэрированной водопроводной воде зависит от местных условий и варьирует в пределах 2-14 мг/л для кислорода O_2 , 0-35 мг/л для углекислого газа CO_2 и находится на уровне примерно 20 мг/л для азота N_2 .

При начальном заполнении системы водой атмосферный воздух вытесняется, а в оставшихся пробках воздух находится при повышенном давлении. При этом концентрация уже находящихся в воде подпитки газов (в основном азота и кислорода) повышается, поскольку часть воздуха из пробок растворяется в воде. Однако затем концентрация вступающих в реакцию кислорода и углекислоты достаточно быстро снижается, а концентрация нейтрального в этих условиях азота без специальных мероприятий практически не меняется [1]. Очевидно, что конечные концентрации газов в воде будут зависеть от трех параметров: скорости поступления газов в систему, эффективности устройств деаэрации и свойств самой системы, в частности скорости процессов коррозии, объема и геометрии системы и т.д.

Можно выделить следующие основные каналы, по которым газы попадают в систему:

- поступление с водой подпитки;
 - через расширительные и аккумуляторные баки;
 - через воздухоотводчики (при отрицательном давлении);
 - диффузия через пластиковые трубы;
 - через фитинги и штоки арматуры.
- Пороговым уровнем, определяющим наличие потенциальных проблем с коррозией, является концентрация кислорода выше 0,1 мг/л. В теплосетях с открытым водоразбором концентрация кислорода в основном определяется состоянием устройств деаэрации, обрабатывающих потоки подпитки. На рис. 1 представлено характерное среднесуточное содержание кислорода в подающем потоке одной из ТЭЦ в Санкт-Петербурге, работающей с неотрегулированной системой деаэрации. Среднегодовая концентрация кислорода в воде превышала 200 мкг/л. Пиковые увеличения на графике связаны с увеличением потребления ГВС из сети [2].

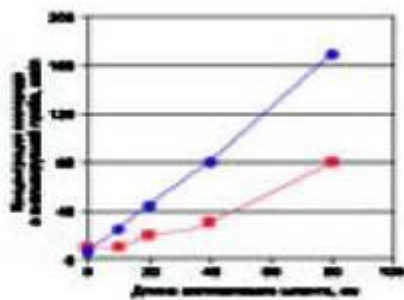
В закрытых системах основным каналом поступления газа может оказаться диффузия газов через эластичные мембраны баков.



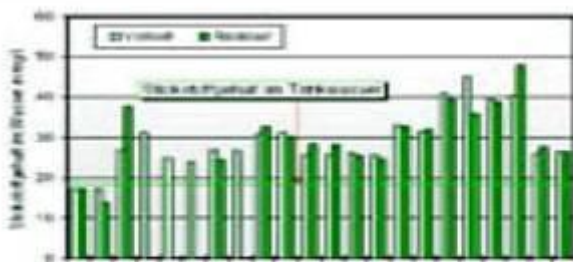
Дело в том, что диффузионные потоки газов в жидкость через мембрану или через пластиковую трубу определяются вовсе не абсолютными давлениями с каждой стороны или перепадом общих давлений. При контакте газов с жидкостью концентрация определенного газа в ней в равновесии определяется законом Генри:

$$C_{\text{равн}} = LP, \quad (1)$$

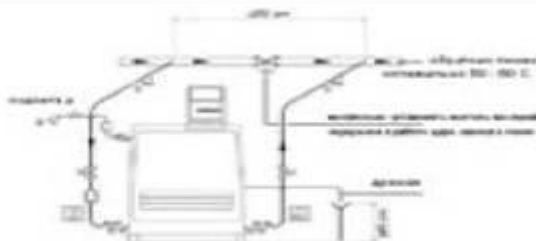
где L — константа Генри, P — парциальное давление данного газа в воздухе над жидкостью. Если концентрация газа в жидкости в данный момент меньше равновесной, газ будет поглощаться жидкостью до насыщения, т.е. до достижения величины $C_{\text{равн}}$. Если между газом и жидкостью появляется мембрана, соотношение (1) по-прежнему определяет соответствие парциальных давлений газов с одной стороны мембраны и их равновесных концентраций в жидкости. Но величины потоков и скорость установления равновесия теперь определяются скоростью диффузии газов через мембрану. Таким образом, величины потоков газов через мембрану зависят от того, насколько далеки концентрации газов в жидкости от равновесных, а также от проницаемости мембраны, но не зависят от давления жидкости, или от того насколько давление жидкости отличается от общего давления газа! Косвенным признаком такой диффузии является снижение давления газовой подушки в процессе работы баков. В некоторых напорных баках скорость диффузии газов через мембрану из воздушной подушки в воду настолько велика, что через полгода-год давление газа падает настолько, что бак перестает сглаживать давление. В этом случае при каждом цикле сжатие-расширение свежая вода закачивается через блок подпитки или вода системы стравливается через клапан максимального давления. В качестве материала мембран большинство производителей используют EPDM, обладающий хорошей эластичностью и температурным диапазоном, но имеющий высокую проницаемость для газов. Кроме него используется более дорогой *бутил*, обладающий существенно меньшей проницаемостью, чем EPDM. На рис. 2 представлены величины падения давления в воздушной камере баков разных европейских фирм за год эксплуатации на реальных объектах. На общем фоне заметно выделяются баки Pneumatex с камерной конструкцией бака и специальным материалом мембраны на основе *бутила* [3].



■ Рис. 3. Концентрация кислорода в воде от длины силиконового шланга



■ Рис. 4. Содержание азота в системах отопления разного типа



■ Рис. 5. Типичная схема подключения вакуумного деаэраатора

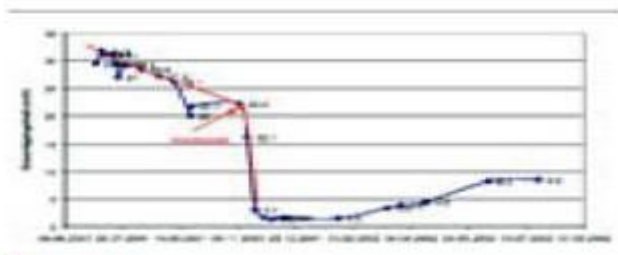


Рис. 6. Суммарная концентрация газов в воде от времени работы вакуумного деаэратора

Оценим вклад потока газа из напорного бака на примере системы отопления с внутренним объемом 20 м³ и максимальным давлением 6 бар. В системе используется расширительный бак объемом 1 м³ (5% от объема системы) и предварительным давлением 3 бар. Если предварительное давление бака падает на 30%, то при ежегодной подкачке бака воздухом в воздушную подушку добавляется примерно 240 г кислорода (1/5 часть порции).

Поток газа через мембрану в жидкость определяется, в т.ч. концентрацией газа в жидкости. Из-за высокой скорости коррозии концентрация кислорода в системах отопления, как правило, ниже 0,1 мг/л, т.е. гораздо ниже равновесной, определяемой по закону Генри. Это означает, что практически весь кислород из баков попадает в систему! Если считать, что скорость подпитки равна 0,3 % в день от объема системы, то за год объем подпиточной воды равен 22 м³. При концентрации кислорода в воде подпитки порядка 10 мг/л общее поступление кислорода с подпиткой составит 220 г, т.е. количество кислорода, поступающего через мембрану среднестатистического европейского напорного бака, вполне сопоставимо с количеством, поступающим в закрытую систему отопления с водой подпитки. Яркий пример натекания газа через пластиковые трубы представлен на рис. 3. Концентрация кислорода в потоке воды, проходящем по силиконовым шлангам разной длины, на выходе прямо пропорциональна его длине (синяя линия) [2]. Нужно заметить, что производители пластиковых труб предлагают варианты с разной степенью защиты от диффузионного натекания. В большой степени проблема диффузионного натекания относится к системам с теплыми полами. При этом не играет большой роли размещение труб в пористом растворе пола.

Инертный в условиях эксплуатации систем теплоснабжения азот содержится в теплоносителе в достаточно заметных количествах. На рис. 4 представлены измеренные значения для ряда закрытых и открытых систем отопления [4]. Интервал концентраций растворенного азота составляет 15-50 мг/л. Причем это значение зависит от вида установок, поддерживающих давление. Из-за химической инертности удаление азота возможно только устройствами с физическими механизмами, например, сепараторами и вакуумными деаэраторами.

Устройства дегазации являются обязательными в современных системах отопления. Только тщательное удаление воздуха при заполнении и эффективная дегазация в процессе работы могут обеспечить надежную и длительную работу системы. Это в особенности относится к сложным разветвленным системам, системам средней и большой мощности, высотным зданиям, системам с относительно большими потоками натекания газа, например, системы с повышенными объемами подпитки (системы ГВС)

и системы с большим количеством элементов из пластика (теплые полы). Очевидно, что скорость натекания газов и их концентрации в воде увеличиваются с увеличением количества оборудования и арматуры, увеличением давления и объема расширительных баков (увеличивается площадь и перепад давлений при диффузии газов через мембраны). С другой стороны, скорость дегазации падает при увеличении внутренней площади и протяженности системы и усложнении ее конфигурации.

Для химического связывания коррозионно-активных газов и ингибирования широко применяются химические добавки, вводимые через дозирующие насосы. Не касаясь необходимости постоянного контроля, сервисных вопросов и использования расходных материалов, а также ответственности за безопасность использования обработанной воды, необходимо отметить, что этот метод не влияет на концентрацию азота и не устраняет связанных с ним проблем (пробки, шумы, кавитация, эрозия и т.д.).

В этих условиях преимущество получают устройства с универсальными физическими механизмами работы, в частности сепараторы и вакуумные деаэраторы, не требующие расходных материалов и сервиса и неприхотливые к качеству воды.

Сепараторы обеспечивают удаление микропузырьков воздуха и шлама из потока воды и объединяют в себе функции воздухоотводчиков, фильтров и деаэраторов. Сепараторы не требуют расходных материалов, энергии и сервисного обслуживания, они работают несколько десятков лет, имеют простую и надежную конструкцию без движущихся частей. Особенности применения воздухоотводчиков и сепараторов изложены в статьях [5,6].

Новое поколение малогабаритных вакуумных деаэраторов (МВД), появившееся в середине 90-х гг. в ряде стран, обеспечивает надежное удаление всех газов внутри отопительных систем, котельных, систем охлаждения и водоснабжения с небольшими объемами подпитки.

Деаэраторы компактны (например, деаэраторы «Пневматекс» имеют высоту не более 1 м и вес до 50 кг), работают автономно в автоматическом режиме, не требуя сервисного обслуживания, расходных материалов и пара.

В деаэраторах используется механизм уменьшения растворимости газов при снижении давления.

Как правило, работа малогабаритных вакуумных деаэраторов включает следующие операции:

- порция воды закачивается в рабочую камеру деаэратора и изолируется на некоторое время;
- в рабочей камере с помощью встроенного в деаэратор насоса создается разрежение — давление минус 1 атм;
- для увеличения скорости дегазации внутри деаэратора организуется внутренний циркуляционный поток, расщепляемый на струи;
- растворенный воздух переходит в микропузырьки и скапливается наверху;
- воздушная подушка стравливается через воздухоотводчик из рабочей камеры деаэратора;
- деаэрированная порция воды поступает в систему.

Различают модели для дегазации теплоносителя в системе (отопления или охлаждения) и модели с встроенными блоками подпитки.

Деаэраторы первого типа рассчитаны только на деаэрацию воды в системе — деаэратор многократно обрабатывает воду в течение заданного интервала времени или до достижения в ней нужной концентрации.

Модели второго типа оснащены дополнительными блоками, в которых вода подпитки обрабатывается однократно и поступает в систему, остальное время деаэратор обрабатывает воду системы так же, как модели первого типа. В этом случае при необходимости добавления воды в систему, в деаэратор из водопровода закачивается порция воды, производится дегазация и подача в систему. Дегазация воды подпитки имеет приоритет. Электронный блок управления позволяет гибко регулировать режимы деаэрации и подпитки. В частности, можно задавать продолжительность и время начала работы, а также работать в режиме поддержки определенной концентрации. Предусматривается режим непрерывной работы для дегазации после заполнения водой системы и режим тренировки насоса при длительном бездействии.

Аппараты МВД как правило обеспечивают:

- автоматическую работу с самонастройкой;
- гибкое регулирование режимов работы;
- контроль концентрации газа в жидкости;
- контроль за работой внешней системы подпитки;
- функции самодиагностики и определения утечек.

Поскольку в режиме обработки воды системы подача деаэрированной порции в систему и поступление новой внутрь камеры деаэратора происходит одновременно, давление в системе остается постоянным и не влияет на работу блоков подпитки.

Производительность, предельные концентрации деаэраторов МВД

При многократной обработке воды системы традиционная классификация деаэраторов МВД по производительности — обработанный поток в единицу времени теряет смысл. В этом случае речь идет об усредненной по времени способности деаэратора поддерживать необходимую концентрацию газа в заданном объеме теплоносителя системы. Поэтому модели вакуумных деаэраторов различаются по максимальной величине объема системы, который они могут обслуживать, при условии, что систему можно считать закрытой (т.е. при потоках подпитки ориентировочно до 1 % объема системы в день).

Различные модели современных деаэраторов МВД рассчитаны в основном на обслуживание закрытых систем в интервале объемов 20-200 м³.

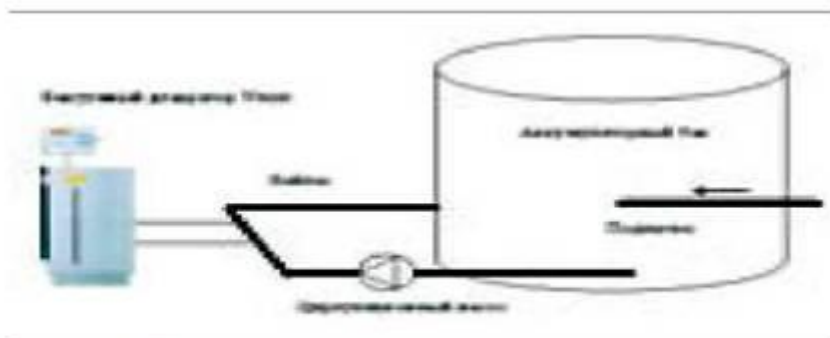


Рис. 7. Схема деаэрации воды в аккумуляторном баке.

Конечная концентрация газов в теплоносителе системы зависит как от характеристик вакуумного деаэратора и места установки, так и от скорости натекания газов, термодинамических параметров, потоков подпитки.

Малогабаритные вакуумные деаэраторы могут обеспечить удаление смеси газов из систем отопления и охлаждения в закрытых системах до общего уровня порядка миллилитр/литр, что в принципе сопоставимо с характеристиками термических деаэраторов.

Так как вода системы обрабатывается периодически, стационарная концентрация кислорода в системе зависит от системы, в частности скорости процессов коррозии в ней и в некоторых случаях достигается уровень 5-10мкг/л[7].

Поскольку вода подпитки перед попаданием в систему обрабатывается в течение только одного цикла, производительность этого процесса можно оценивать по скорости потока. Производительность обработки потоков подпитки для серийных моделей вакуумных деаэраторов лежит в интервале 0,3-0,5 м³/ч. При однократной обработке потока подпитки удаляется более 80% содержащихся в воде газов, однако степень деаэрации зависит от температуры воды подпитки.

Вакуумные деаэраторы МВД обеспечивают во время работы разрежение близкое к 100%. Такой тип дегазации может считаться универсальным и обеспечивает удаление всех растворенных газов, в т.ч. азота и углекислого газа. Максимальная температура воды для нормальной работы вакуумного деаэратора ограничена интенсивностью испарения в процессе деаэрации и имеет верхний предел 90°С. Оптимальная температура работы — 60°С. Существенное значение при выборе модели имеет рабочее давление в системе (максимально давление, как правило, не выше 10 бар). Вакуумные деаэраторы подключают параллельно основному циркуляционному кольцу (рис. 5).

При необходимости обслуживания систем большого объема или систем с большими потоками подпитки можно использовать несколько деаэраторов, включенных параллельно циркуляционному контуру в разных местах.

О сложности и длительности процессов дегазации можно судить по графику на рис. 6. Деаэрация многоконтурной системы с большим объемом производится с помощью малогабаритного вакуумного деаэратора Vento (Pneumatex).

Начальный участок продолжительностью примерно пять месяцев на рис. 6 соответствует периоду удаления существующих в системе пробок, после чего концентрация газов резко падает. Последний участок соответствует паузе в работе деаэратора.

Нужно подчеркнуть, что вакуумные деаэраторы МВД в первую очередь предназначены для деаэрации воды закрытых систем с небольшими потоками подпитки. Однако в случае, если потоки подпитки неравномерны, а традиционные термические или вакуумные деаэраторы работают неэффективно или их использование экономически нецелесообразно, деаэраторы МВД можно использовать для регулярной обработки специально организованного циркуляционного потока через аккумуляторный бак в системах с более высокими потоками подпитки.

Таким образом, можно утверждать, что на данный момент вакуумные деаэраторы являются лучшими устройствами для полной дегазации сложных габаритных систем (в т.ч. высотных зданий и водогрейных котельных) с небольшими объемами подпитки, а в ряде случаев единственно эффективными. Их применение в сочетании с сепараторами для удаления шлама позволяет полностью решить проблемы коррозии и завоздушивания.

Список литературы

1. Pneumatex Technical Guide, Air (problems, causes, technology), 2006, www.pneumatex.com.
2. Слепченко В.С. «Пути борьбы с кислородной внутренней коррозией», Новости Теплоснабжения, №4/2005.
3. Федоров С.А. Поддержание давления в системах отопления, АВОК, № 8/2006.
4. «Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen», Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, koordinierter Schlussbericht, AiF Forschungsthema Nr. 11103 B, November 1998.
5. Федоров С.А. Дегазация и удаление шлама — рецепт нормальной работы систем теплоснабжения, Новости Теплоснабжения, № 12/2006.
6. Федоров С.А. Дегазация и удаление шлама с помощью сепараторов, АВОК, №7/2006.
7. Интервью, которого не было. Журнал «С.О.К.», №2/2005.