

Компания «Данфосс» не только является поставщиком компонентов для промышленных холодильных установок, но и предлагает своим заказчикам готовые решения в области проектирования и эксплуатации аммиачных систем охлаждения. Зачастую проблемы, возникающие при эксплуатации этих систем, не связаны с работой агрегатов и конструкцией холодильных установок, а вызваны совершенно другими обстоятельствами.

«Порочный влажный круг»

Одно из таких обстоятельств – присутствие воды в аммиаке холодильных установок. Вода практически неограниченно растворяется в аммиаке, и это приводит ко многим нежелательным последствиям:

- Происходят химические реакции, продукты которых разрушают клапаны и регуляторы
- Понижается качество масла и появляются отложения, влияющие на работу компрессора
- Увеличиваются эксплуатационные затраты и расходы на техническое обслуживание
- Снижается холодопроизводительность
- Увеличивается расход электроэнергии
- Появляются проблемы при эксплуатации и техническом обслуживании
- Происходит износ клапанных узлов

Надо сказать, чаще всего отсутствует ясное понимание связи между причиной – попаданием воды в аммиачную систему охлаждения – и ее последствиями, начинается «лечение» симптомов болезни, а не устранение причин. Мы называем это явление «порочным влажным кругом».

Эксперимент с колбой

Чтобы оценить, сколько воды может попасть в аммиачную установку, необходимо осознать, насколько вода и аммиак структурно близки. Самый простой способ для этого – провести так называемый «эксперимент с колбой».

Если колбу, заполненную парами аммиака, перевернуть горлышком вниз и опустить в воду, вода начнет подниматься вверх и заполнит почти всю колбу. Причина – почти полное растворение паров аммиака в воде.

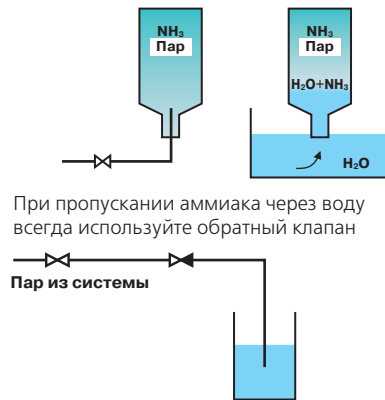


Рис. 1. Эксперимент с колбой, демонстрирующий структурную близость аммиака и воды

Вследствие этого давление паров аммиака в колбе падает, и вода заполняет ее.

Эксперимент с колбой наглядно показывает, как вода проникает в аммиачную холодильную установку при вакуумировании системы охлаждения, например, при проведении работ по техническому обслуживанию установки, когда хладагент откачивается из системы через емкость, заполненную водой. Вот почему при откачке аммиака через емкость с водой необходимо в линии отвода аммиака устанавливать обратный клапан. Он исключает возможность проникновения воды в холодильную установку (рис. 1).

Каким образом вода попадает в установку

Вода может попасть в установку разными путями. Она может оказаться в системе после испытаний под давлением сосудов, испарителей, конденсаторов и т.д., а также при конденсации паров воды при изменении температуры перед заправкой системы хладагентом. Эту воду удаляют из системы перед ее заправкой аммиаком посредством осушения и вакуумирования. Вода может попасть в установку при проведении работ по техническому обслуживанию, при повреждении системы (например, коррозии охладителей) или при всасывании влажного воздуха через сальники и прокладки уплотнения на стороне низкого давления системы. Такое проникновение влаги внутрь установки является обычным делом, если давление всасывания ниже атмосферного. Воздух, который поступает при этом в установку и затем удаляется из нее со стороны высокого давления (вручную

или автоматически через воздухо-выпускные клапаны), оказывается совершенно сухим, поскольку отдает всю влагу, содержащуюся в нем, аммиаку. Так вода накапливается в установке.

Итак, подчеркнем еще раз, хотя воздуховыпускные клапаны и решают задачу удаления воздуха из системы, они не снимают проблему накопления в ней воды.

Между тем масштаб проблемы виден из несложного арифметического подсчета. Если предположить, что в установку засасывается и удаляется из нее через автоматический воздуховыпускной клапан 5 л воздуха в минуту при температуре 20 °С и влажности 80 %, то через 10 лет количество воды, растворенной в аммиаке, составит 363,5 л.

Где накапливается вода

Из-за большой разницы между давлениями паров аммиака и воды аммиачную систему охлаждения можно рассматривать как большую перегонную установку, в которой вместе с аммиаком испаряется небольшое количество воды. Таким образом вода накапливается на стороне низкого давления установки, т.е. в сепараторах жидкости, промежуточных охладителях и т.д., в то время как на стороне высокого давления вода практически не собирается.

Забор хладагента для измерения содержания в нем воды необходимо производить на стороне низкого давления, хотя основное количество аммиака сосредоточено на стороне высокого давления. Такие измерения покажут наибольшее процентное содержание воды в аммиаке.

Сколько воды может находиться в холодильной установке

При участии датского технологического института было проверено на содержание воды 175 промышленных аммиачных холодильных установок в Дании, Норвегии и Швеции. Содержание воды в 25 установках составляло более 3 %, в 37 – более 2 % и в 77 – более 1 %. На нескольких установках содержание воды составляло 26, 24 и 18,5 %.

На 65 установках были установлены ректификаторы для выделения воды из аммиака и измерялось количество воды, растворенной в аммиаке. На двух установках было выделено 250 л воды, а на одной – 199 л.

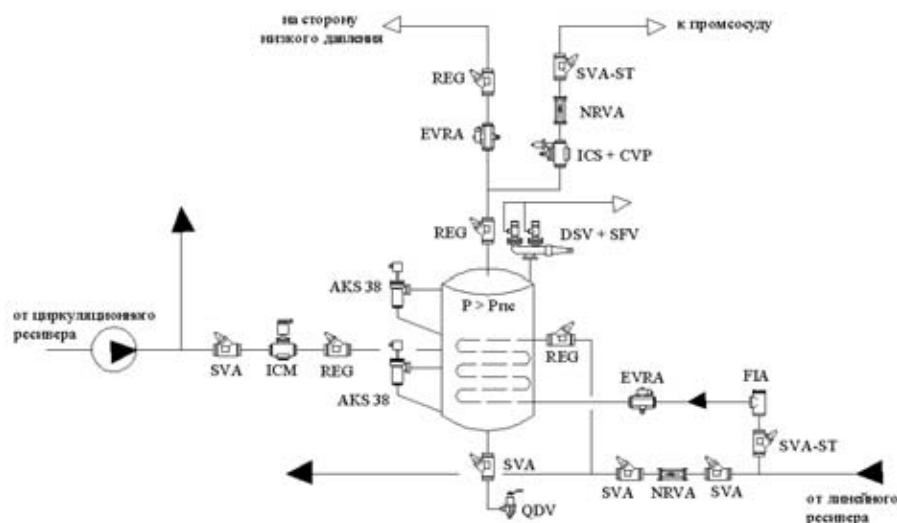


Рис. 2. Схема ректификатора для удаления воды из аммиачной системы

Еще на 10 установках количество выделенной воды достигало 100 – 150 л. Кстати, ни на одной из установок обслуживающий персонал не представлял, что вода может являться причиной плохой работы установки. Необходимо учесть, что рекомендованная норма содержания воды в аммиачной холодильной установке составляет не более 0,3%.

Как удалить воду из холодильной установки

В промышленных аммиачных холодильных установках вода удаляется с помощью ректификаторов, в которых испаряется аммиак, оставляя воду на дне сосуда. При многократном повторении данного процесса отстой, оставшийся после выпаривания аммиака, удаляется из ректификатора. Обычно отстой представляет собой воду с содержанием аммиака около 30–40 %, в зависимости от давления и температуры выпаривания. Схема ректификатора по удалению воды из аммиачной установки представлена на рис. 2. Жидкий аммиак после заполнения резервуара, в котором поддерживается давление чуть выше, чем в промсосуде, и закрытия моторного клапана ICM в парообразном состоянии отсасывается на сторону низкого давления. После достижения установленного давления чуть выше, чем в промсосуде, происходит открытие сервоприводного клапана ICS с одновременным закрытием солевого клапана EVRA на линии низкого давления. Открывается подача жидкого аммиака в змеевик со стороны высокого давления солевым клапаном EVRA на линии от линейного ресивера, а после выпаривания аммиачной составляющей из резервуара на сторону промсосуда вода с примерным содержанием аммиака около 30–40 % сливается через клапан QDV.

В компании «Данфосс» исследовалась возможность использования фильтров-осушителей для аммиачных холодильных установок. Был сделан вывод, что, хотя производство таких фильтров вполне осуществимо, они будут очень дорогими, а количество поглощенной ими воды – очень небольшим по сравнению с содержащимся в холодильной установке.

Из-за структурной близости воды и аммиака молекулы NH_3 (в отличие от HFC-хладагентов) выбивают молекулы H_2O из ячеек молекулярного сита, которое используется в качестве влагопоглощающей вставки фильтров-осушителей.

Что происходит с давлением и температурой хладагента, когда вода попадает в установку

Термодинамические свойства смеси воды с аммиаком отличаются от свойств чистого аммиака за счет изменения зависимости давления насыщенных паров – температура насыщения. При одном и том же давлении температура кипения смеси аммиака и воды будет выше температуры кипения чистого аммиака. Холодильная установка, в которой используется смесь аммиака с водой, должна работать при более низком давлении в испарителе, чтобы поддерживать ту же температуру кипения, что и установка с чистым аммиаком. То есть наличие воды

в аммиаке снижает производительность установки и повышает эксплуатационные расходы.

Приблизительный подсчет показывает, что при низких температурах кипения при понижении давления на стороне всасывания потребление электроэнергии возрастает примерно на 5 % на каждый градус. Производительность установки при этом значительно уменьшается.

Пример

При абсолютном давлении 3 бара температура кипения хладагента будет составлять (табл. 1):

- 9,23 °C для чистого аммиака;
- 6,69 °C для смеси с 10%-ным содержанием воды в аммиаке;
- 3,16 °C для смеси с 20%-ным содержанием воды в аммиаке.

Изменение температуры кипения хладагента, вызываемое присутствием воды в аммиаке может оказывать значительное влияние на производительность и энергопотребление холодильной установки. При работе системы охлаждения в режиме сухого испарения изменение давления и температуры хладагента будет восприниматься терморегулирующим клапаном как изменение перегрева пара на выходе из испарителя из-за изменения тепловой нагрузки, хотя на самом деле тепловая нагрузка останется неизменной. В случае слишком высокого «ложного перегрева» клапан будет не в состоянии контролировать подачу хладагента в испаритель.

Какие химические изменения происходят в установке

Чистый («сухой») аммиак – не слишком активное химическое вещество. Если в аммиаке не содержится вода, в аммиачной системе могут с успехом использоваться медь и медные сплавы, такие как латунь.

Таблица. 1. Термодинамические свойства смеси аммиака с водой

Давление насыщения, бар	Температура насыщения, °C				Температура насыщения, °C	Давление насыщения, бар			
	NH_3 70% H_2O 30%	80% 20%	90% 10%	100%		NH_3 70% H_2O 30%	80% 20%	90% 10%	100%
0,05	Нет	Нет	Нет	Нет	-50	0,254	0,326	0,373	0,408
0,1	Нет	Нет	Нет	Нет	-48	0,285	0,366	0,420	0,449
0,2	Нет	Нет	Нет	Нет	-46	0,321	0,411	0,471	0,515
0,3	-47,15	Нет	Нет	Нет	-44	0,360	0,460	0,527	0,576
0,4	-42,10	-46,48	-48,82	Нет	-42	0,402	0,514	0,588	0,644
0,5	-38,00	-42,51	-44,93	-46,52	-40	0,449	0,573	0,655	0,717
1,0	-24,07	-28,96	-31,71	-33,59	-38	0,500	0,637	0,797	0,797
2,0	-7,71	-13,62	-16,70	-18,85	-36	0,556	0,708	0,808	0,885
3,0	-2,51	-3,16	-6,69	-9,23	-34	0,617	0,784	0,895	0,980
4,0	10,32	4,45	-0,79	-1,88	-32	0,679	0,986	0,986	1,08



Напротив, влажный аммиак является химически активным веществом, очень агрессивным по отношению к меди, медным сплавам, цинку и т.д. Он вызывает электрохимическую коррозию в вентилях, в результате чего могут возникать проблемы в регулировании работы холодильной установки. Коррозионная среда вместе с вибрацией и/или пульсациями давления может стать причиной так называемой фреттинг-коррозии (коррозионного истирания), которая, в свою очередь, усиливает поверхностную усталость металла, износ и химическую коррозию. В этих условиях вследствие возросшего трения увеличивается возможность заклинивания вентиля и механических регуляторов и, соответственно, выхода их из строя (рис. 3).

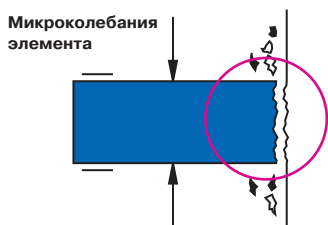


Рис. 3. Проблемы в работе вентиля и механических регуляторов, связанные с проникновением воды в систему

Как вода влияет на качество масла

Аммиак, содержащий воду и кислород, взаимодействует с маслом в компрессоре с образованием органических кислот, которые вступают в реакцию с аммиаком, образуя сложные азотные соединения (например, углеродистые отложения, соли и мыльные продукты), негативно сказывающихся на работе установки. Азотные соединения характеризуются тем, что они:

- частично растворяются в аммиаке (он становится окрашенным)
- не растворяются в масле
- способны проходить через маслоотделитель вместе с аммиаком

Литература:

1. Per Skarbak Nielsen. *Water contamination in ammonia refrigeration plant. The Danfoss Journal*, 3. 2000.
2. Finn Broesby-Olsen. *Technological Development meeting Environment Preservation. Paper from Danfoss Seminar International Symposium on HCFC Alternative Refrigerants' 98. Nov. 26-27, 1998, Kobe, Japan.*

- откладываются на стенках компрессора и элементах системы (вентиллях, регуляторах, испарителях)
- действуют как катализаторы, ускоряющие процесс образования химически более агрессивных азотных соединений.

Износ клапанного узла в аммиачных установках

Хорошо известно, что клапанные узлы могут изнашиваться вследствие эрозии поверхности и кавитации жидкости при дросселировании хладагента. Эрозия возникает при движении хладагента, скорость которого в некоторых местах может достигать скорости звука. Кавитация возникает при разрушении пузырьков пара в жидкости.

Износ клапанных узлов в таких элементах, как поплавковые и терморегулирующие вентили, становится интенсивнее, когда в аммиаке содержится вода, поскольку к эрозии и кавитации добавляется еще и коррозия. К тому же присутствие воды в аммиаке может интенсифицировать процесс кавитации, разрушающей клапанный узел (хотя это научно не доказано). Износ клапанного узла, вызванный эрозией металла, также усиливается вследствие большого количества твердых частиц оксидов металлов и грязи, циркулирующих в системе.

Выводы

Необходимо отметить, что аммиачные холодильные установки часто содержат больше воды, чем рекомендуется (максимально 0,3%). Это происходит потому, что автоматические воздуховыпускные клапаны «скрывают» наличие течи и позволяют воде накапливаться в системе. Другой причиной появления воды является то, что обслуживающий персонал не всегда хорошо осведомлен о том, что многие проблемы связаны с проникновением воды в систему. Проникновение воды в систему может также происходить даже и тогда, когда давление кипения превышает атмосферное за счет разности парциального давления.

Осушением системы достигается следующее:

- Правильная эксплуатация и техническое обслуживание системы
- Минимизация числа химических реакций
- Исключение части проблем с маслом и отложениями
- Увеличение межремонтного интервала
- Снижение производственных расходов и затрат на техническое обслуживание
- Поддержание номинальной производительности и энергопотребления
- Повышение надежности вентиля и регуляторов
- Снижение до минимума вероятности коррозии.

Таким образом, целесообразно в обязательном порядке проводить анализ содержания воды в системе в процессе эксплуатации и при техническом обслуживании установки.

Эксплуатация холодильной системы с минимальным содержанием воды уменьшает производственные и эксплуатационные расходы, позволяет обеспечивать на заданном уровне производительность и энергопотребление, а установка ректификатора может быть выгодным вложением в сокращение расходов предприятия.

Специалисты компании «Дanfoss» всегда готовы предложить своим клиентам современные решения по автоматизации холодильных установок. По всем возникающим вопросам можно обращаться в центральный офис компании либо в региональные представительства отдела холодильной техники и кондиционирования компании «Дanfoss».

И. В. Новиков, инженер отдела холодильной техники и кондиционирования

ЗАО «Дanfoss»
127018, Москва,
ул. Полковая, 13
Тел.: (095) 792-5757
Факс: (095) 792-5760
E-mail: info@danfoss.ru
Internet: www.danfoss.ru

Филиал
194100, Санкт-Петербург,
Пироговская наб., д. 17, к. 1
Тел.: (812) 320-2099
Факс: (812) 327-8782
E-mail: Pavlov_V@danfoss.ru

Филиал
344006, Ростов-на-Дону,
проспект Соколова, 29,
офис 7
Тел.: (8632) 92-32-95
E-mail: Komarov@danfoss.ru

Филиал
620014, Екатеринбург,
ул. Антона Валека, 15,
офис 509
Тел.: (343) 365-8396
Факс: (343) 365-8385
E-mail: Holodov@danfoss.ru

Филиал
630099, Новосибирск,
ул. Советская, 37,
офис 405
Тел./факс: (3832) 22-58-60
E-mail: Efimov@danfoss.ru

Филиал
690087, Приморский край,
Владивосток,
ул. Котельникова, 2
Тел./факс: (4232) 20-45-10
E-mail: Yufarov@danfoss.ru