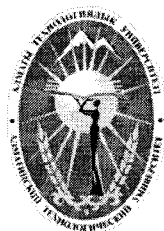


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



V ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2015»
V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2015»
V INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2015»

Конференция баяндамаларының жинағы

19 ақпан, 2015 ж.

Сборник докладов конференции

19 февраля 2015 г.

Proceedings of the Conference

February 19, 2015

Алматы, 2015

УДК 621.56/59 (063)
ББК 31.397
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора химических наук,
академика **Кулажанова К.С.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Кизатова М.Ж., Бараненко А.В.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2015: Сборник докладов международной научно-технической конференции (19 февраля 2015 г.) – Алматы: АТУ, 2015. – 152 с.

ISBN 978-601-263-312-2

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Японии и Украины по направлениям: теплоснабжения, кондиционирования и экологии.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.397

ISBN 978-601-263-312-2

©АТУ, 2015

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ

*И.Н. Ищенко, Одесская национальная академия пищевых технологий,
Министерство образования и науки Украины
E-mail: ishenko_s_i@mail.ru*

Современные требования к холодильным агентам в части озонобезопасности и минимизации вклада в «парниковый» эффект [1] открывают широкие возможности для холодильных приборов абсорбционного типа (АХП), в состав которых входит абсорбционный холодильный агрегат (АХА), работающих с традиционным водоаммиачным раствором (ВАР) в качестве рабочего тела. АХП бесшумны и надежны в эксплуатации, имеют минимальную стоимость, работают с альтернативными источниками энергии [2,3,4].

Основной недостаток, сдерживающий их широкое распространение – низкая энергетическая эффективность, обусловленная физическими особенностями холодильного цикла. Этот фактор не только предопределяет повышенные, по сравнению с компрессионными аналогами, стоимостные затраты, но и соответствующий вклад в «парниковый» эффект [5].

Анализ основных направлений энергосбережения показал, что наибольший успех при минимуме затрат может быть достигнут за счет использования оптимальных систем управления АХП [6].

Как показал анализ [7], основным недостатком современных позиционных способов управления АХП является повышенное энергопотребление при эксплуатации в условиях низких температур наружного воздуха – от плюс 10 до плюс 18°C. Такое положение определяется следующими моментами.

Во-первых, выход на рабочий режим связан с нагревом транспортных магистралей АХА в процессе вытеснения из них инертного газа потоком аммиачного пара. Динамический напор парового потока зависит от расхода генерируемого пара, т. е. от подводимой тепловой мощности в генератор и температурных условий транспортировки пара. Поэтому, чем больше тепловая мощность в генераторе АХА, тем больше генерируется пара, а чем ниже температура транспортных паровых магистралей, тем большее количество пара будет конденсироваться и возвращаться (стекать) обратно в генератор.

Во-вторых, длительность выхода на рабочий режим АХА будет также зависеть от температуры наружного воздуха. Причем, чем ниже температура наружного воздуха, тем больше необходимо затратить времени и, соответственно, тепловой энергии для нагрева элементов генератора и транспортных магистралей АХА.

В-третьих, при низкой температуре наружного воздуха процесс очистки паровой смеси заканчивается на начальном участке дефлегматора, а дальше по дефлегматору движется поток чистого аммиака с температурой порядка 50°C. Высокая разность температур между потоком пара аммиака и наружным воздухом способствует и частичной конденсации пара. Конденсат стекает обратно в генератор, что снижает холодопроизводительность испарителя и энергетическую эффективность АХА.

В-четвертых, в условиях работы холодильника при низких температурах наружного воздуха снижаются теплопритоки в холодильную камеру (ХК) и для поддержания необходимой температуры в камерах требуется и меньшая величина холодопроизводительности испарителя АХА. Соответственно, АХА работает меньшее время, а длительность нерабочего периода возрастает. При увеличении нерабочего периода транспортные магистрали АХА охлаждаются до температуры наружного воздуха и для их нагрева потребуются еще большие затраты энергии в генераторе.

На рис.1. приведен общий вид АХП, в котором реализуется энергоэффективный способ управления. Холодильник состоит из ХК, выполненной, например, в виде теплоизолированного

шкафа 1 с передней дверью 2 и АХА 3, установленного на задней стенке шкафа 1. На рис.2. приведен общий вид АХА для реализации предлагаемого способа. На рис.3. приведен пример системы управления для реализации предлагаемого способа.

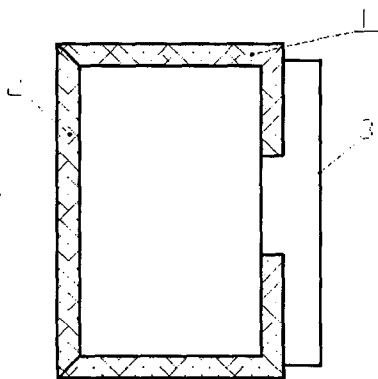


Рисунок 1 – Общий вид абсорбционного холодильного прибора, в котором реализуется энергосберегающий способ управления: 1 – теплоизолированный шкаф; 2 - передняя дверь; 3 – АХА

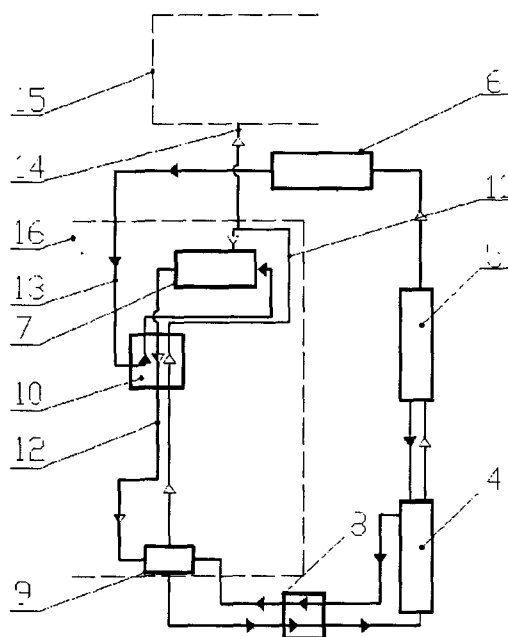


Рисунок 2 – Общий вид АХА для реализации предлагаемого способа: 4 – генератор; 5 – дефлегматор; 6 – конденсатор; 7 – испаритель; 8 – регенеративный жидкостный теплообменник (РЖТО); 9 – абсорбер; 10 – регенеративныйтрехточечный теплообменник (РТПТО); 11, 12 – подъемный и опускной каналы парогазовой смеси; 13 – канал жидкого аммиака; 14 – канал регулирования давления; 15 - систему регулирования давления (СРД)

АХА 3 содержит: генератор 4; дефлегматор 5; конденсатор 6; испаритель 7; РТР 8; абсорбер 9; РТПГС 10; каналы парогазовой смеси (ПГС) – подъемный 11 и опускной 12; канал жидкого аммиака 13; канал регулирования давления 14; систему регулирования давления (СРД) 15. Испаритель 7 с абсорбером 9, РТПГС 10, подъемным 11 и опускным 12 каналами образуют контур естественной циркуляции (КЕЦ) 16, причем в КЕЦ 16 элементы расположены поярусно – сверху испаритель 7, в середине РТПГС 10, а внизу – абсорбер 9.

СРД 15 содержит компрессор газа 17; обратный клапан 18; запорный вентиль 19; ресивер газа 20; датчик давления 21; датчик температуры 22; управляющий блок СРД 23; блок питания 24; источник электрической энергии 25, например термоэлектрический генератор (ТЭГ) с «холодным» 26 и «горячим» 27 спаями. Электрические элементы СРД 15 связаны между собой силовыми магистралями 28-31.

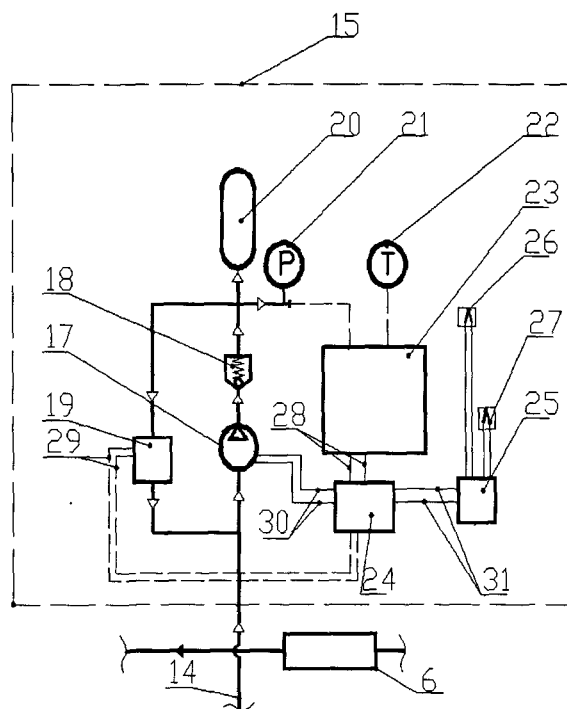


Рисунок 3 – Пример системы управления для реализации предлагаемого способа: 14 – канал регулирования давления; 15 – СРД; 17 – содержит компрессор газа; 18 – обратный клапан; 19 – запорный вентиль; 20 – ресивер газа; 21 – датчик давления; 22 – датчик температуры; 23 – управляющий блок СРД; 24 – блок питания; 25 – источник электрической энергии, 26, 27 – холодный и горячий спай; 28 -31 силовые магистрали

Генератор 4 (рис. 2) своей верхней частью связан с дефлегматором 5, а своей нижней часть через РТР 8 – с абсорбером 9. Выход дефлегматора 5 связан со входом конденсатора 6. В свою очередь конденсатор 6 связан через РТПГС 10 с испарителем 7 при помощи канала жидкого аммиака 13. Подъемный канал 11 связан с СРД 15 каналом 14. В свою очередь канал 14 связан со всасывающей стороной компрессора 17 (рис.3) и запорным вентилем 19. Нагнетательная сторона компрессора 17 через обратный клапан 18 связана с ресивером газа 20. Ресивер газа 20 связан с каналом 14 через запорный вентиль 19. На магистрали, связывающей ресивер газа 20 и обратный клапан 19, установлен датчик давления 21, который, в свою очередь, связан с управляющим блоком СРД 23. Управляющий блок СРД 23 связан и с датчиком температуры 22, который контролирует температуру наружного воздуха. Блок питания 24 связан при помощи силовой магистрали 31 с источником электрической энергии 25, например, термоэлектрический генератор (ТЭГ), который имеет «холодный» 26 и «горячий» 27 спай. «Холодный» спай 26 связан в тепловом отношении, например, с наружным воздухом, а «горячий» спай 27 – с генератором 4. Подача электрической энергии, необходимой для работы блока 23, запорного вентиля 19 и компрессора 17, осуществляется от блока питания 24 по магистралям 28, 29 и 31, соответственно.

АХА 3 заполнен трехкомпонентным рабочим телом – жидким ВАР и водородом. Жидкий ВАР занимает нижнюю часть АХА 3 – полностью РТР 8 и частично генератор 1. Водород в нерабочем состоянии полностью занимает дефлегматор 5, конденсатор 6, испаритель 7, абсорбер 9, РТПГС 10.

В рабочем состоянии АХА 3 за счет динамического напора потока генерируемого пара, водород полностью вытесняется из объема генератора 4 и дефлегматора 5. В дефлегматоре 5 происходит преимущественная конденсация высококипящего компонента рабочего тела – пара воды. В рабочем режиме в конденсаторе 6 расположена граница раздела парового потока аммиака и водорода. Граница раздела перемещается вдоль конденсатора 6 при изменении температурных условий эксплуатации холодильника. Так, например, при высокой температуре наружного воздуха ухудшаются условия отвода тепла от дефлегматора 5 и конденсатора 6. При неизменной подводимой тепловой мощности генератора 4 динамический напор пара аммиака будет возрастать, и граница раздела будет смещаться к выходному участку конденсатора 6. При низкой температуре наружного воздуха условия отвода тепла улучшатся и граница раздела передвинется в входному участку конденсатора 6.

Работа АХА 3 проходит следующим образом. В генераторе 4 при подводе тепла происходит выпаривание ВАР. Образующие в каналах малого сечения (капиллярах) пузырьки пара проталкивают в верхнюю часть генератора 4 частицы обедненной по аммиаку жидкости (слабый ВАР). В верхней части генератора 4 происходит разделение пара и жидкости. Жидкость поступает через РЖТО 8 в верхнюю часть абсорбера 9, а пар направляется в дефлегматор 5. За счет разности нормальных температур кипения аммиака и воды в дефлегматоре 5 преимущественно конденсируется водяной пар и на выходе дефлегматора 5 поток пара состоит практически из чистого аммиака. В конденсаторе 6 пар аммиака сжижается и конденсат стекает по каналу 30 через РТПГС 10 в испаритель 7. В испарителе 7 жидкий аммиак попадает в среду водорода и за счет низкого парциального давления происходит его испарение при низких температурах (от минус 30 до минус 10 °С). В процессе низкотемпературного испарения происходит отвод тепла из объема холодильного шкафа 1.

Образующаяся в результате испарения холодная насыщенная аммиаком ПГС имеет большую плотность, чем водород, находящийся в абсорбере 9. За счет разности плотностей, в соответствии с законом Архимеда, холодная смесь из испарителя 7 по каналу 12 через РТПГС 10 опускается в нижнюю часть абсорбера 9. В свою очередь, в верхнюю часть абсорбера 9 из РЖТО 8 поступает слабый ВАР. При своем движении в РЖТО 8 поток слабого ВАР отдает тепло встречному потоку крепкого ВАР, поступающего из абсорбера 9 на вход генератора 4.

После РЖТО 8 поток слабого ВАР охлаждается дополнительно при тепловом взаимодействии с наружным воздухом. Охлажденный слабый ВАР становится неравновесным по аммиаку и при контактном взаимодействии ПГС, поступающей из испарителя 7 через РТПГС 10, происходит активное поглощение аммиака слабым ВАР. Раствор при этом насыщается аммиаком до состояния равновесия (до крепкого раствора), а ПГС очищается – освобождается от пара аммиака. Крепкий ВАР из абсорбера 9 через РЖТО 8 поступает в генератор 4, а очищенный водород выталкивается холодной ПГС по каналу 11 обратно в испаритель 7. Затем цикл работы АХА 3 повторяется.

РЖТО 8 и РТПГС 10 в схеме АХА 3 служат для повышения энергетической эффективности абсорбционного холодильного цикла. В первом случае происходит предварительный нагрев крепкого ВАР перед генератором 4, а во втором – охлаждение потоков жидкого аммиака и водорода, поступающих на вход испарителя 7, за счет низкотемпературного потенциала холодной ПГС.

При работе холодильного прибора в «жестких климатических условиях» (в умеренном климате температура наружного воздуха плюс 32°С) давление в АХА 3 и газовых магистралях СРД 15 одинаково, при этом компрессор 17 не работает, а запорный клапан 19 открыт.

Понижение температуры наружного воздуха фиксируется датчиком температуры 22 и передается на управляющий блок 23, который вырабатывает соответствующий управляющий сигнал для блока питания 24. Блок питания 24 включает компрессор 17 и закрывает обратный клапан 19. При работе компрессора 17 открывается обратный клапан 18 и очищенная ПГС, движущаяся по подъемному каналу 11 АХА 3, через канал регулирования давления 14 нагнетается в ресивер газа 20. За счет откачки некоторого количества очищенной ПГС из элементов КЕЦ 16 давление в АХА 3 снижается, а в ресивере газа 20 – увеличивается.

Следует отметить, что давление рабочего тела в АХА 3 изменяется не только при изменении температуры наружного воздуха – оно имеет минимальное значение в нерабочий период и максимальное значение в рабочий период. Это связано с вытеснением инертного газа из дефлегматора 5 и конденсатора 6 и соответствующим подъемом общего давления в системе.

С учетом того, что изменение температуры наружного воздуха может произойти в любой момент работы АХА 3 (как в рабочем, так и в нерабочем периоде) и, соответственно, включится в работу СРД 15, то контроль давления во внутреннем объеме АХА 3 целесообразно проводить косвенным образом, например, по давлению в ресивере газа 20 при помощи датчика давления 21. При этом необходимо учитывать следующие моменты.

Ресивер газа 20 не является теплонагруженным элементом и связан в тепловом отношении с наружным воздухом. Изменение температуры наружного воздуха будет влиять и на уровень давления в ресивере газа 20. В изохорном процессе (при постоянном объеме ресивера 20) абсолютное давление прямо пропорционально абсолютной температуре. В рабочем диапазоне температур наружного воздуха плюс 10...плюс 32°С (абсолютные температуры 283...305 К) изменение абсолютного давления в ресивере газа 20 составит 0,14 МПа (при рабочем давлении 2,00 МПа) [8].

Влияние температуры наружного воздуха на давление в ресивере газа 20 может быть учтено датчиком температуры 22 и соответствующим образом сформирован управляющий сигнал на управляющем блоке 23 СРД 15.

Соответствующие значения давления в ресивере газа 20 и температуры наружного воздуха, косвенно определяющие давление в АХА, можно получить в результате проведения тарировочных стендовых испытаний абсорбционного холодильного прибора определенного типа. Результаты испытаний должны быть включены в управляющую программу блока 23.

При достижении требуемого уровня давления в ресивере газа 20, соответствующего некоторой температуре наружного воздуха, управляющий блок 23 подает сигнал на блок питания 24, который закрывает запорный вентиль 19 и отключает компрессор 17. В системе возникают два уровня давления – меньшее во внутреннем объеме АХА 3 и большее – в ресивере газа 20. При дальнейшем снижении температуры наружного воздуха последовательность операций в СРД 15 повторяется. При повышении температуры наружного воздуха необходимо вернуть часть ПГС из ресивера газа 20 обратно во внутренний объем АХА 3.

Для этого подается соответствующий сигнал с датчика температуры 22 на управляющий блок 23. Блок 23 подает управляющий сигнал по линии 28 блоку питания 24, который по линии 29 открывает запорный вентиль 19. За счет разности давлений во внутреннем объеме АХА 3 и ресивере газа 20 происходит перетекание ПГС через канал 14 во внутренний объем АХА 3.

Длительность перетекания можно контролировать по датчику давления 21. При достижении расчетного уровня давления в ресивере газа 20, управляющий блок 23 подает сигнал на закрытие запорного вентиля 19.

Для полной автономности работы АХА 3 СРД 15 предлагается оснастить ТЭГ 25, работающим на разности температур между наружным воздухом и генератора 4.

Проведем оценку параметров процесса удаления инертного газа из объема КЕЦ АХА и его сжатия в ресивере. Рассмотрим уровни давления в системе: 20,0; 17,5, 15,0 и 10,0 бар. Возьмем для примера модель АХА типа АШ-160 производства ВЗХ с внутренним объемом примерно 2 дм³ [3]. Примем объем ресивера газа 20 равным 1 дм³.

Известно [9], что использование ТЭГ производства компании "Криотерм" позволяет обеспечивать с одного модуля при разности температур 100°С генерацию электрической энергии мощностью до 10 Вт при напряжении постоянного тока до 6 В. Будем считать КПД микрокомпрессора для откачки ПГС из АХА и сжатия ее в ресивере газа 20 равным 0,5. Расчеты показывают, что при таких исходных данных переход с одного уровня давления на другой будет осуществляться за следующее время: с 20,0 бар на 17,5 бар в течении 66 с; с 17,5 бар на 15 бар – 132 с; с 15 бар до 10 бар – за 704 с. Этого времени вполне достаточно для реагирования на изменение температуры воздуха окружающей среды.

Выводы:

1. Предложенный способ управления путем изменения давления в АХА при соответствующем изменении температуры наружного воздуха позволяет поддерживать практически на одинаковом уровне тепловой коэффициент АХА во всем диапазоне рабочих температур (от 10 до 32 °С).

2. Для автономной работы АХП можно использовать ТЭГ, горячий спай которого можно закрепить в зоне источника подвода тепла к генератору, а холодный спай – на неэнергонагруженных элементах шкафа или АХА.

3. Для повышения надежности и полной автономности АХП по предложенному способу управления можно использовать и ручное регулирование состава рабочего тела АХА, например, выполнив ресивер газа 20 в виде цилиндра с поршнем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бараненко, А. В. Состояние и перспективы развития холодильной отрасли в России // Холодильная техника. – 2009. – №3. – С.20-24.
2. Титлов А.С. Современный уровень разработок и производства бытовых абсорбционных холодильных приборов // Холодильный бизнес. – 2007. – № 8. – С. 12-17; № 9. – С. 28-30; № 10. – С. 47-49 ; № 11. – С. 46-47.
3. Бабакин, Б.С., Выгодин В.А. Бытовые холодильники и морозильники. – Рязань, Узоречье, 2005. – 860 с.
4. Титлов А.С. Альтернативная бытовая и торговая холодильная техника на базе водоаммиачных абсорбционно-диффузионных холодильных машин // Холодильная техника. – 2003. – № 4. – С. 9-12.
5. Титлов А.С. Сравнение характеристик абсорбционной и компрессионной бытовой холодильной техники // Холодильная техника и технология. – 1997. – № 57. – С. 39-41.
6. Титлов А.С. Разработка энергосберегающих способов управления бытовыми и торговыми абсорбционными холодильными аппаратами / Сб. науч. тр. 2-ой Междунар. науч.-техн. конф. «Современные проблемы холодильной техники и технологии» (приложение к журналу «Холодильная техника и технология»). – 2002. – С. 97-101.
7. Ищенко, И. Н. Моделирование циклов насосных и безнасосных абсорбционных холодильных агрегатов // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2010. – № 38. – Т.2. – С. 393-405.

8. Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Купрянова А.В. Справочник свойства веществ. //Холодильная техника. СПб., СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
9. Генераторные модули [Электронной ресурс] / [http://режим доступа:www.kryotherm.ru/ru/index.phtml?tid=47](http://режим%20доступу:www.kryotherm.ru/ru/index.phtml?tid=47).
УДК 621.57:66.081.2:628.116