Государственный комитет
Республики Узбекистан
по охране природы

Uzbekistan

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОПАНА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ГХФУ 22 В ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И В КОНДИЦИОНЕРАХ

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОПАНА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ГХФУ 22 В ХОЛОДИЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И В КОНДИЦИОНЕРАХ

Baktria press
Ташкент – 2017

УДК 621.564:547.213
ББК 31.392
М 90

Муминов А., Салманова М.

Руководство по применению пропана в качестве альтернативы ГХФУ 22 в холодильном оборудовании и в кондиционерах [Текст] / А. Муминов, М. Салманова. - Ташкент: Baktria press, 2017. - 80с.

Рецензент:

Азизов Д.Х. – Заведующий кафедрой «Холодильная и криогенная техника» Ташкентского государственного технического университета, кандидат технических наук.

Одобрено методическим советом факультета «Машиностроительные технологии» Ташкентского Государственного Технического Университета

В данном руководстве приведены результаты по сравнению основных показателей холодильного цикла на ГХФУ 22 и на пропане, а также требования и условия безопасного применения пропана, как воспламеняющегося хладагента, в стационарном малом торговом холодильном оборудовании и кондиционировании воздуха, в качестве основной альтернативы ГХФУ 22. Достоинством пропана является возможность использования его как в системах, разработанных для работы на пропане, так и в качестве замены в системах, предназначенных для работы на ГХФУ 22. Это обстоятельство выгодно отличает пропан в сравнении с другими альтернативными ГХФУ, позволяющим при определенных обстоятельствах, произвести замену хладагентов не только в новом, но и в действующем холодильном оборудовании.

Общие требования безопасности, которые следует учитывать при проектировании и строительстве всех объектов охлаждения и кондиционирования воздуха, независимо от горючести используемого хладагента, в данном руководстве не рассматриваются.

УДК 621.564:547.213
ББК 31.392

Данное издание разработано в рамках проекта Государственного комитета Республики Узбекистан по охране природы, Программы Развития ООН в Узбекистане и Глобального экологического фонда «Первоначальное выполнение ускоренного сокращения использования ГХФУ в регионе стран с переходной экономикой (СПЭ)- Узбекистан».

Изложенные в настоящей публикации взгляды и выводы выражают только точку зрения авторов и не являются официальной точкой зрения Правительства Республики Узбекистан или Программы Развития ООН в Узбекистане.

Пособие издано на русском и узбекском языках. Распространяется бесплатно.

ISBN 978-9943-4815-8-9

© Государственный комитет Республики Узбекистан по охране природы, 2017
© Программа Развития ООН в Узбекистане, 2017
© Ташкентский государственный технический университет, 2017
© Baktria press, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список используемых сокращений 6
Введение 7
1. Свойства пропана 10
1.1 Физические свойства пропана 11
1.2 Сопоставление пропана с основными хладагентами, используемыми в торговом холодильном оборудовании 12
1.3 Совместимость пропана со смазочными маслами 13
1.4 Нормальная температура кипения 14
1.5 Критическая точка 14
1.6 Давление насыщенного пара 15
1.7 Скрытая теплота парообразования 15
1.8 Плотность 16
2. Сравнение параметров цикла охлаждения и эксплуатационных характеристик пропана и R-22 18
2.1 Степень сжатия 18
2.2 Удельная объемная холодопроизводительность 19
2.3 Удельный расход энергии 20
2.4 Эффективность компрессора 21
2.5 Переохлаждение 21
2.6 Перегрев 22
2.7 Температура нагнетания 23
2.8 Падение давления 24
2.9 Холодильный коэффициент 25
2.10 Холодопроизводительность 25
3. Основные элементы холодильной машины 26
3.1 Испарители и конденсаторы 26
3.2 Компрессоры 27
3.3 Расширительное устройство 27
3.4 Фильтры-осушители 27
4. Меры безопасности при проектировании и изготовлении холодильных систем, работающих на R-290 28
4.1 Стандарты безопасности, связанные с воспламеняемостью R-290 28
4.2 Требования безопасности к холодильным системам с заправкой R-290 в количестве не более 150 грамм 31

4.2.1 Маркировка и инструкции 35
4.2.2 Отличительные особенности технологии изготовления и испытания холодильного оборудования, заправляемого ВХА R-290 36
4.3. Требования безопасности к холодильным системам с заправкой ВХА R-290 более 150 грамм 38
4.3.1 Использование систем охлаждения и холодильных агентов с учетом категории помещений и зданий 38
4.3.2 Классификация холодильных систем по ГОСТ 12.2.233-2012 39
4.3.3. Классификация холодильных агентов 40
4.3.4 Требования к размещению холодильных систем 40
5. Классификация холодильных систем по европейскому стандарту EN 378-1 43
5.1 Классификация хладагентов по токсичности и воспламеняемости. Группы опасности хладагентов 43
5.2 Помещения для размещения холодильных систем. Категории помещений 44
5.3 Классификация холодильных систем 46
5.4 Варианты размещения холодильных систем 46
5.5 Максимальная допустимая величина заправки холодильной системы R-290 48
5.6 Предельно допустимая заправка воспламеняемым хладагентом в системах кондиционирования воздуха и тепловых насосах, используемых в целях комфортного жизнеобеспечения людей 53
5.7 Частные требования для герметичных систем кондиционирования воздуха и тепловых насосов с ограниченной заправкой заводского изготовления 55
5.8 Требования для предельных количеств заправки хладагента в зонах с механической вентиляцией 56
5.9 Вентиляция машинных отделений 57
5.9.1 Требования для механической вентиляции в кожухе прибора 57
6. Требования для охлаждающих систем с использованием вторичных теплообменников 59
7. Дополнительные требования к оборудованию, обусловленные использованием ВХА R-290 61
7.1 Маркировка и инструкции 62

7.2 Меры безопасности при обслуживании холодильных установок и кондиционеров, заправленных R-290 63
7.2.1 Общие сведения 63
7.2.2 Сведения, приведенные в руководстве 63
7.2.3 Сведения по обслуживанию 65
7.2.4 Проверки холодильного оборудования 66
7.2.5 Проверки электротехнических устройств 67
7.2.6 Методы обнаружения утечек 68
7.2.7 Удаление хладагента и вакуумирование 69
7.2.8 Порядок заправки 70
7.2.9 Вывод из эксплуатации 71
Заключение 73
Приложение 75
Использованные источники и литература 79

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВХА	Воспламеняющийся хладагент
ГХФУ	Гидрохлорфторуглерод
ГФУ	Гидрофторуглерод
КП	Холодильный коэффициент (коэффициент производительности)
НКПВ	Нижний концентрационный предел взрываемости
ОРП	Озоноразрушающий потенциал
ПГП	Потенциал глобального потепления
ППЧ	Практический предел пребывания человека
ТРВ	Терморегулирующий вентиль
УВ	Углеводород

ВВЕДЕНИЕ

Последствиями негативного воздействия на окружающую среду, которое оказывают выбросы гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), являются истощение озонового слоя и сопутствующее глобальное потепление. В Республике Узбекистан годовое потребление озоноразрушающего ГХФУ 22 в секторе охлаждения на 2010 г. оценивается в количестве 236 метрических тонн. В соответствии с принятыми международными обязательствами предусматривается поэтапный вывод из обращения ГХФУ 22 на 99,5% к 2020 г., а окончательный вывод ожидается к 2030 г. В настоящее время разработаны и выпускаются альтернативные заменители ГХФУ 22, такие как озонобезопасные смеси на основе ГФУ, а именно R-407c, R-404a и R-410a и т.д. Поиск новых альтернативных хладагентов продолжается, поскольку указанные ГФУ имеют высокие значения потенциала глобального потепления (ПГП). Страны Европейского Союза отказываются от применения ГФУ и вводят новые, более жесткие регламенты по фторсодержащим газам. Новый документ, который вступил в силу с начала 2015 г., вводит запрет на использование ГФУ в ряде устройств, а к 2030 г. предусматривает сокращение оборота ГФУ на 79%, в эквиваленте CO_2, по сравнению с соответствующим средним уровнем, имевшем место в 2009-2012 гг. С 2015 г. был введен запрет на производство бытовых холодильников и морозильников, использующих хладагенты, потенциал глобального потепления (ПГП) которых выше 150. Начиная с 2020 г. будет запрещено использование веществ с ПГП равным 2500 и выше в герметичных холодильниках и морозильниках для коммерческого использования [1].

В последние годы возрос интерес к использованию углеводородных хладагентов, в частности пропана (R-290), в качестве альтернативы ГХФУ 22. Достоинством пропана является возможность его использования как в системах, разработанных для работы на пропане, так и в качестве альтернативы в системах, предназначенных для работы на ГХФУ и ГФУ. Это обстоятельство создает выгодные преимущества для использования пропана по сравнению с другими альтернативными ГХФУ хладагентами, что при определенных обстоятельствах позволяет произвести замену хладагентов не только в новом, но и в действующем торговом холодильном оборудовании, в соответствии с требованиями по прекращению исполь-

зования озоноразрушающих хладагентов, а также в перспективе ожидаемого ограничения использования хладагентов, вносящих вклад в глобальное потепление климата.

Основными обоснованиями для перехода торгового холодильного оборудования на использование пропана являются следующие:

- увеличение энергоэффективности холодильной системы, в результате чего обеспечивается экономия энергии и снижение выбросов CO_2;
- уменьшение ущерба для окружающей среды, связанного с использованием озоноразрушающих веществ;
- ограничение использования веществ с высоким потенциалом глобального потепления климата;
- меньшая стоимость пропана в сравнении с другими хладагентами;
- наличие сырьевой и производственной базы для местного производства пропана.

В промышленных холодильных установках, использующихся в нефтегазовой отрасли, пропан (R-290) используется уже в течение многих лет. Пропан рассматривается как перспективная, озонобезопасная и энергоэффективная альтернатива ГХФУ 22, которая может использоваться, в основном, в торговом холодильном оборудовании и в малых установках кондиционирования воздуха с ограниченной заправкой. Тем не менее, уже имеются примеры использования пропана и в более крупных системах охлаждения, таких как чиллеры.

Главным недостатком пропана является его пожароопасность, накладывающая определенные ограничения на применение пропана в качестве хладагента в холодильном оборудовании. При проектировании систем, работающих на пропане, следует следовать специальным требованиям безопасности, а также строго соблюдать технологию изготовления и монтажа, применять соответствующие методы обслуживания оборудования, чтобы исключить дополнительные риски для технического персонала. Важно также неукоснительно выполнять процедуры, установленные для извлечения пропана из системы, а также те касающиеся утилизации холодильного оборудования после завершения срока его эксплуатации.

Данное руководство призвано обобщить имеющийся материал, касающийся сравнения основных показателей холодильного цикла,

использующего R-22, и углеводородов, включая пропан [2,3], а также требований и условий для безопасного применения пропана, как воспламеняющегося хладагента, в качестве основной альтернативы ГХФУ 22 для использования в стационарном малом торговом холодильном оборудовании и оборудовании для кондиционирования воздуха [4,5,6,7].

В тоже время, в данном руководстве не рассматриваются общие требования безопасности, которые следует учитывать при проектировании и строительстве всех объектов охлаждения и кондиционирования воздуха, независимо от горючести используемого хладагента. Для получения такой информации следует обращаться к дополнительным источникам.

1. СВОЙСТВА ПРОПАНА

Для практического применения того или иного хладагента необходимо располагать достаточно большим объемом информации, касающейся его термодинамических, физико-химических, санитарно-гигиенических свойств и экологических показателей, которые должны удовлетворять определенным требованиям. В настоящее время на первый план выходят тесно взаимосвязанные экологические и энергетические показатели альтернативного хладагента.

Свойства пропана изучены достаточно хорошо и подробно освещены в технической и справочной литературе. Химическая формула пропана C_3H_8 (R-290). Он относится к группе углеводородных (НС) хладагентов (УВ). Озоноразрушающий потенциал (ОРП) пропана равен нулю, потенциал глобального потепления (ПГП) равен 3. Пропан характеризуется низкой стоимостью и малотоксичностью. Чистый пропан не обладает запахом. Как и все другие углеводородные хладагенты, пропан (R-290) относится к малотоксичным хладагентам группы А3, с низким пределом взрываемости. Степень чистоты пропана, используемого в качестве хладагента, должна быть высокой, поскольку от этого зависит стабильность характеристик хладагента, что важно для работы компрессора и увеличения срока службы системы. Сжиженный газ, используемый в качестве топлива, а также для технических целей, с классом чистоты 95% не подходит для заправки герметичных систем охлаждения, так как содержание воды, серы и других примесей в нем достаточно высокое, и это негативно сказывается на энергетической эффективности и надежности работы холодильной системы. Для заправки систем охлаждения должен использоваться пропан с классом чистоты 99,5%. Пропан с такой степенью чистоты химически неактивен, поэтому не возникает никаких специфических проблем с его использованием. При использовании данного хладагента не возникает проблем с выбором конструкционных материалов деталей компрессора, конденсатора и испарителя, используются те же самые электроизоляции, уплотняющие материалы и трубы того же диаметра. В отношении процессов сервисного обслуживания холодильная система должна конструктивно строиться с учетом свойства пропана воспламеняться. Температура нагнетания становится ниже, чем при работе на R-22 или R-502. Пропан можно сразу

заправить в систему, в которой до этого использовался озоноразрушающий хладагент R-22, при соблюдении особых требований указанных ниже. Как показали результаты исследований, в системе теряется до 10% холодопроизводительности, если ранее использовался R-22 и до 15%, если хладагентом ранее был R-502. Ряд специалистов считают, что и этого снижения можно было бы избежать, добавив к пропану пропилен.

1.1 Физические свойства пропана

Пропан образует с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации паров в пределах от 2,1 до 9,5%. Основные физические свойства пропана приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физические свойства

Параметр	Значение
Химическая формула	C_3H_8
Молярная масса, г/моль	44,1
Нормальная температура кипения (при p=101 кПа), ^{0}C	-42,09
Температура замерзания (плавления), ^{0}C	-187,6
Плотность при 45 ^{0}C, кг/м^3	585,3
Потенциал разрушения озона (ОРП)	0
Потенциал глобального потепления (ПГП)	3
Температура самовоспламенения в воздухе (при p=101 кПа), ^{0}C	466

1.2 Сопоставление пропана с основными хладагентами, используемыми в торговом холодильном оборудовании

Применение пропана, как хладагента в малом холодильном оборудовании и в небольших кондиционерах, находится еще только на начальном этапе. В связи с этим практический интерес представляют особенности и отличия его поведения при использовании в холодильной системе, работавшей ранее на R-22, которые необходимо учитывать при проектировании и обслуживании холодильных систем *(таблица 2).*

Таблица 2. Сопоставление характеристик пропана с характеристиками основных хладагентов, используемых в торговом холодильном оборудовании

Наименование	R-290	R-134a	R-404a	R-22	R-600a
Химическая формула	C_3H_8	CF_3-CH_2F	Смесь зеотропная	CHF_2Cl	$(CH_3)3CH$
Критическая температура, ^{0}C	96,7	101	72,5	96,1	135
Молекулярная масса, кг/моль	44,1	102	97,6	86,5	58,1
Нормальная температура кипения, ^{0}C	-42,1	-26,5	-45,8	-40,8	-11,6
Давление (при -25 ^{0}C), бар	2,03	1,07	2,50	2,01	0,58
Плотность жидкости, кг/л	0,56	1,37	1,24	1,36	0,60
Плотность пара при -25 ^{0}C/32 ^{0}C*, кг/м^3	3,6	4,4	10,0	7,0	1,3
Объемная холодопроизводительность при -25 ^{0}C/55/32**, кДж/м^3	1164	658	1334	1244	373
Теплота парообразования, кДж/кг	406	216	186	223	376
Давление при +20 ^{0}C, бар	8,4	5,7	11,0	9,1	3,0

Примечание:

– -25 ^{0}C – температура кипения, 32 ^{0}C – температура конденсации;*

*–** -25 ^{0}C – температура кипения, 55 ^{0}C – температура на выходе из компрессора, 32 ^{0}C – температура конденсации*

1.3 Совместимость пропана со смазочными маслами

Растворимость хладагента в смазочном масле является одним из его важных качеств. При хорошей растворимости обеспечивается эффективный возврат масла в компрессор и удается избежать ухудшения теплоотдачи в теплообменных аппаратах холодильной машины. Пропан обладает полной химической совместимостью почти со всеми типами смазочных масел, во всем диапазоне температур, используемых в холодильных машинах. Благодаря очень хорошей растворимости в минеральных маслах, возникает необходимость использовать масла с несколько повышенной вязкостью. Отмечается, что смазочные материалы, содержащие силикон или силикат, зачастую используемые в качестве антивспенивающей присадки, не совместимы с пропаном и не должны использоваться. При изменении типа масла рекомендуется проконсультироваться с заводом-изготовителем компрессора холодильной установки. Различные типы масел, используемых в холодильных машинах и их растворимость с пропаном приведены в таблице 3.

Таблица 3. Совместимость различных смазочных материалов с пропаном

Тип масла	Совместимость с пропаном
Минеральное *(M)*	Полностью растворим с пропаном и другими углеводородами. Чрезмерная растворимость при высокой температуре
Алкилбензольное *(AB)*	Полностью растворимое, типичные сорта, вязкость, применимая для всех приложений
Полу-синтетическое *(AB/M)*	Смесь AB и M масел используется для достижения желаемых свойств
Полиэфирное *(POE)*	Проявляет чрезмерную растворимость с пропаном и другими углеводородами. Может потребоваться масло с более высокой вязкостью
Полиалкиленгликольное *(PAG)*	Растворимое и частично растворимое в пропане и в других углеводородах, в зависимости от условий. Нормальные сорта, как правило, совместимость удовлетворительная

Тип масла	Совместимость с пропаном
Полиальфаолефиновое *(ПАО)*	Растворимое в пропане и в других углеводородах, как правило, используется при низких и умеренных температурах
Примечание: Рекомендуется провести консультацию с производителем компрессоров для правильного выбора смазки.	

Пропан хорошо совместим со всеми конструкционными материалами, используемыми в холодильном оборудовании. Он не образует кислоты при смешивании с влагой, присутствующей в системе охлаждения.

1.4 Нормальная температура кипения

Низкая нормальная температура кипения, т.е. температура кипения хладагента при атмосферном давлении, указывает на высокое значение давления при высоких температурах в конденсаторе. Если хладагент имеет высокую нормальную температуру кипения, то давление в испарителе окажется ниже атмосферного, что может вызвать нежелательную ситуацию с поступлением воздуха и влаги, содержащейся в воздухе, в систему. Это также может вызвать такие проблемы, как повышение давления конденсации, температуры нагнетания, образование ледяной пробки в расширительном устройстве и т.д. Нормальная температура кипения пропана близка к нормальной температуре кипения R-22, что является одним из основных факторов, позволяющих рассматривать пропан, как его единственный подходящий однокомпонентный заменитель.

1.5 Критическая точка

Параметры критической точки, т.е. температура и давление, определяют максимальную границу для работы холодильного цикла с конденсацией хладагента. Температура и давление выше критической точки требуют транскритического цикла. Как видно из таблицы 2, приведенной выше, пропан и R-22 имеют очень схожую критическую точку, что указывает на то, что их рабочие термодинамические циклы очень близки.

1.6 Давление насыщенного пара

На рисунке 1 показана зависимость давления насыщенного пара от температуры для пропана и R-22, а также некоторых других углеводородных хладагентов. Как видно из этого рисунка зависимости пропана и R-22 очень близки, за исключением диапазона высокого давления, где они слегка отклоняются. Давление пропана при высоких температурах несколько ниже давления R-22. Эта разница может быть существенной при высоких температурах конденсации, из чего следует, что для высоких температур больше подходит пропан, чем R-22. Более высокие давления конденсации создают необходимость повышенных механических требований и более высоких коэффициентов утечки.

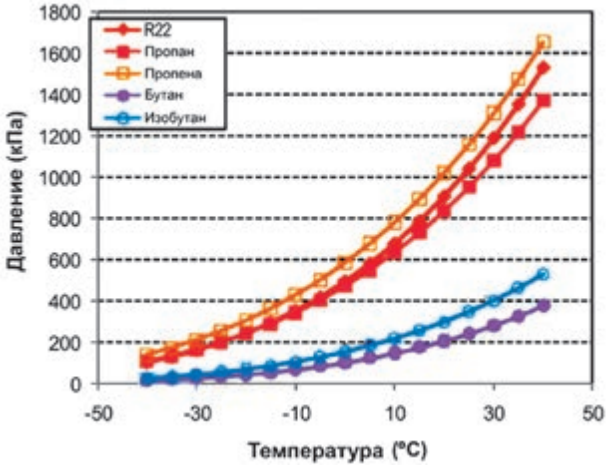


Рисунок 1. Зависимость давления от температуры насыщения R-22 и углеводородных хладагентов [2].

1.7 Скрытая теплота парообразования

Как известно, скрытая теплота парообразования представляет собой разницу энтальпий, при заданном давлении, между насыщенным паром и насыщенной жидкостью, и определяет теплоту кипения или конденсации 1 кг хладагента. Срытая теплота парообразования обычно используется для расчета удельного массового расхода хладагента, который необходим для обеспечения заданной мощно-

сти искусственного охлаждения (холодопроизводительности). Пропан имеет скрытую теплоту парообразования, примерно в два раза большую, чем R-22 *(рисунок 2).* Это указывает на то, что удельный массовый расход пропана, циркулирующего в холодильной системе, который необходим для обеспечения требуемой холодопроизводительности, будет составлять примерно половину удельного массового расхода холодильной системы, работающей на R-22.

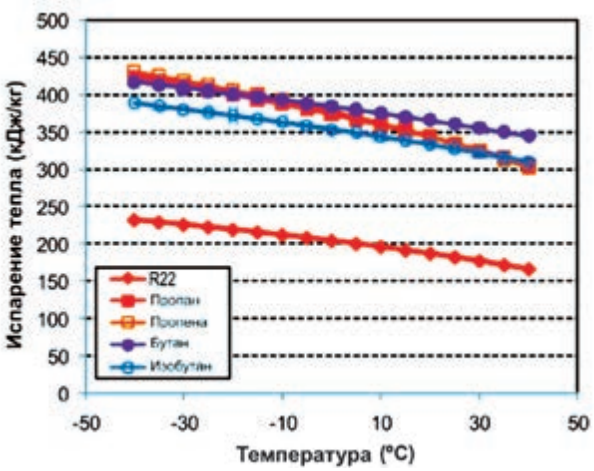


Рисунок 2. Зависимость скрытой теплоты испарения от температуры кипения при температуре конденсации 40 ^{0}C для R-22 и углеводородных хладагентов [2].

1.8 Плотность

Плотность жидкого пропана составляет меньше половины (примерно 42%) плотности R-22. Это означает, что объем необходимой заправки пропаном будет существенно меньше заправки R-22, поскольку основная часть заправки в холодильной системе находится в жидком состоянии. Удельный массовый расход хладагента, закачиваемого компрессором, зависит от объемной производительности *(Vc)*, коэффициента подачи *(λ)* и плотности пара на входе в компрессор (ρ):

$$M = Vc\,\lambda\,\rho \qquad (1)$$

Если допустить, что коэффициент подачи компрессора в незначи-

тельной степени зависит от типа хладагента, то удельный массовый расход хладагента, закачиваемого компрессором при переходе на использование пропана, становится пропорциональным коэффициенту плотности пара, т.е. он будет примерно в два раза меньше.

Тем не менее, поскольку холодопроизводительность компрессора равна произведению удельного массового расхода хладагента, закачиваемого компрессором, на разность энтальпии кипения в испарителе, которая примерно в два раза больше для пропана, то значения холодопроизводительности одного и того же компрессора, работающего на пропане и R-22, отличаются незначительно (всего лишь в пределах 10-15%). Чем ниже плотность хладагента, тем меньше падение давления в теплообменных аппаратах, трубопроводах, клапанах компрессора, что способствует снижению энергозатрат на работу холодильной системы *(рисунок 3).*

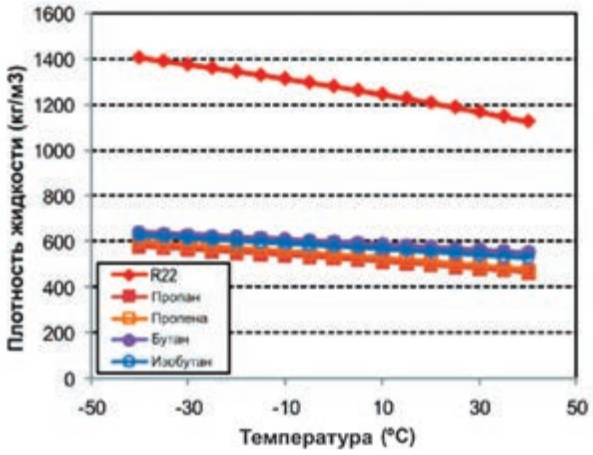


Рисунок 3. Зависимость плотности жидкости от температуры насыщения [2].

2. СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА ОХЛАЖДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОПАНА И R-22

2.1 Степень сжатия

Степень сжатия характеризуется отношением абсолютного давления конденсации ($P_к$) к абсолютному давлению кипения (P_0). Давление конденсации зависит от температуры конденсации, которая несколько выше температуры среды, охлаждающей конденсатор. Давление кипения зависит от температуры кипения, которая несколько ниже температуры охлаждаемой среды. При одинаковых параметрах температуры среды, охлаждающей конденсатор, и температуры охлаждаемой среды, степень сжатия различных хладагентов будет различной. Большинство рабочих коэффициентов компрессора и температурных характеристик зависит от степени сжатия. Чем ниже степень сжатия, тем выше эффективность работы компрессора. На рисунке 4 показана степень сжатия пропана по отношению к степени сжатия R-22, при различных температурах кипения и температуре конденсации в 40 ^{0}C. Как видно из рисунка, степень сжатия для пропана ниже, чем для R-22.

Кроме того, как было отмечено выше, рабочее давление для пропана ниже, чем для R-22. Это означает, что пропан обеспечит лучшую замену R-22 в случаях «дроп-ин», при высоких температурах конденсации, особенно в тепловых насосах, поскольку система будет работать при более низком давлении и более низкой степени сжатия. Систему, первоначально спроектированную для использования R-22, при ее заправке пропаном можно эксплуатировать при более высоких температурах конденсации, для которых работа с использованием R-22 не является эффективной. Это особенно важно для теплонасосных систем и систем охлаждения, работающих при высоких температурах окружающей среды.

---

[1] «Дроп-ин» - ретрофит без замены смазочного масла

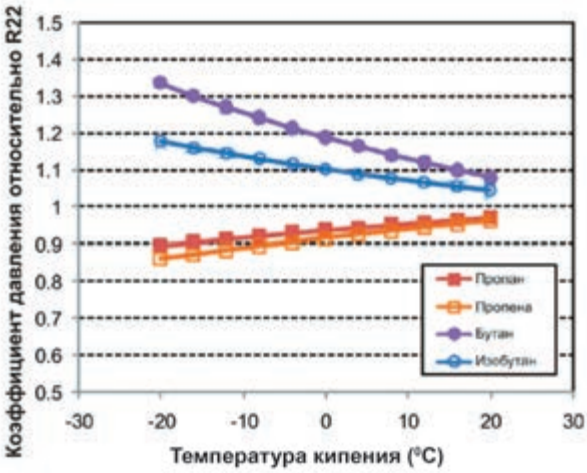


Рисунок 4. Зависимость степени сжатия (коэффициента давления) от температуры кипения при температуре конденсации 40 ^{0}C [2].

2.2 Удельная объемная холодопроизводительность

Важной характеристикой хладагента является величина удельной объемной холодопроизводительности, которая численно равна количеству тепла, поглощенного единицей объема хладагента, проходящего через компрессор, и определяется произведением плотности пара, при всасывании в компрессор, на разницу энтальпии в испарителе. От этого параметра зависят размеры (объемная производительность), удельно-массовые показатели и, в конечном счете, стоимость компрессора, сечение трубопроводов и гидравлические потери в них. На рисунке 5 показано изменение удельной объемной холодопроизводительности в зависимости от температуры кипения хладагента, при постоянной температуре конденсации и перегреве пара на всасывании в 5 ^{0}C. С понижением температуры кипения удельная объемная холодопроизводительность резко падает, в основном, благодаря понижению плотности пара. Из рисунка 5 легко понять, почему размер компрессора для низкотемпературного применения должен быть намного больше, чем для работы компрессора при высокой температуре кипения (т.е. при одинаковой холодопроизводительности). Как видно из рисунка, удельная объемная холодопроизводительность R-290 несколько ниже.

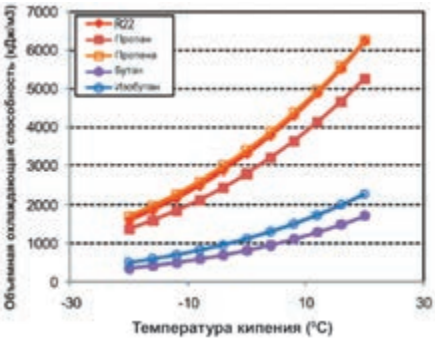


Рисунок 5. Зависимость удельной объемной холодопроизводительности от температуры кипения при постоянной температуре конденсации 40 ^{0}C [2].

2.3 Удельный расход энергии

При выборе хладагента и его сопоставлении с другими хладагентами, большой интерес представляет сравнение удельной адиабатической работы сжатия на единицу объемного расхода всасывания в компрессор. Объемный расход энергии определяется как произведение плотности пара при всасывании на разность энтальпий хладагента в конце и в начале сжатия в компрессоре. На рисунке 6 показано значение данного параметра для R-290, в сравнении с R-22. R-290 требует меньшего (на 10-20%) потребления энергии на единицу расхода хладагента, чем R-22.

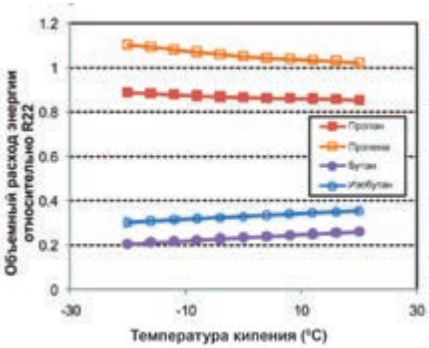


Рисунок 6. Зависимость объемного расхода энергии относительно R-22 для углеводородных хладагентов [2].

2.4 Эффективность компрессора

Эффективность компрессора, которая учитывает все необратимые потери в нем, немного выше, если компрессор работает на R-290, по сравнению с его работой на R-22, при одинаковой степени сжатия Рк/Ро. Это обусловлено более низкими значениями потерь давления при прохождении паров хладагента через клапаны. Кроме того, при работе на R-290, при одинаковых условиях, степень сжатия будет ниже, чем при использовании R-22, что также влияет на повышение эффективности, как было указано выше.

2.5 Переохлаждение

При прохождении жидкого хладагента через расширительное устройство часть жидкой фракции превращается в пар, то есть происходит парообразование, не сопровождающееся полезным поглощением тепла. Можно уменьшить это парообразование посредством переохлаждения жидкости перед расширительным устройством. Объемная холодопроизводительность несомненно возрастает при переохлаждении, так как энтальпия жидкости на входе в испаритель понизится, но объемный расход энергии не изменится. Таким образом, при увеличении переохлаждения холодильный коэффициент цикла возрастает. На рисунке 7 показано влияние переохлаждения на холодильный коэффициент цикла. Как видно из рисунка, кривая R-290 лежит выше, чем кривая R-22, означая, что переохлаждение R-290 создает больший эффект, чем переохлаждение R-22.

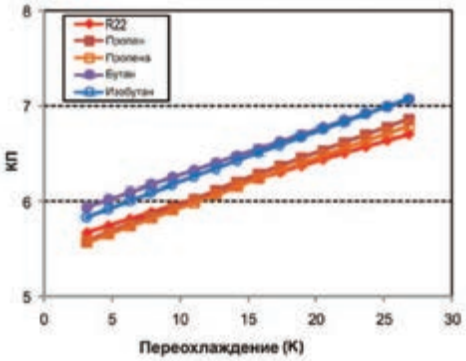


Рисунок 7. Влияние переохлаждения на холодильный коэффициент (КП) [2].

2.6 Перегрев

В реальном цикле пар на входе в компрессор должен быть слегка перегрет, т.е. должен иметь температуру несколько выше температуры кипения. Это необходимо, чтобы не допустить попадание жидкого хладагента в полость цилиндров компрессора, поскольку это может спровоцировать гидравлический удар, который может привести к поломке компрессора. Попадание в цилиндр капельной жидкости приведет к парообразованию и резко уменьшит производительность компрессора. Жидкий хладагент, попавший в картер компрессора, вызовет вспенивание масла, вследствие которого будет происходить интенсивный износ трущихся поверхностей деталей. С другой стороны, перегрев необходим для правильной работы термостатических и электронных расширительных устройств, необходимых для адекватной регулировки массового расхода хладагента в соответствии с тепловой нагрузкой. Перегрев может произойти в испарителе (внутренний) и участке от выхода из испарителя до входа в полость компрессора (внешний). На рисунке 8 показано влияние внутреннего перегрева на холодильный коэффициент теоретического цикла работы на R-290 и R-22. Как видно из рисунка 8 внутренний перегрев благоприятно влияет на цикл работы на R-290 в отличие от цикла работы на R-22. В действительности увеличение внутреннего перегрева требует понижения температуры кипения, так как часть поверхности испарителя будет работать на перегрев пара, уменьшая теплообменную поверхность кипения, вследствие чего, на практике, увеличение холодильного коэффициента не происходит. Тем не менее, можно сделать вывод, что перегрев оказывает меньшее отрицательное влияние на цикл работы на пропан, в сравнении с циклом работы на R-22. Внешний перегрев в цикле охлаждения всегда отрицательно влияет на объемную холодопроизводительность и на холодильный коэффициент.

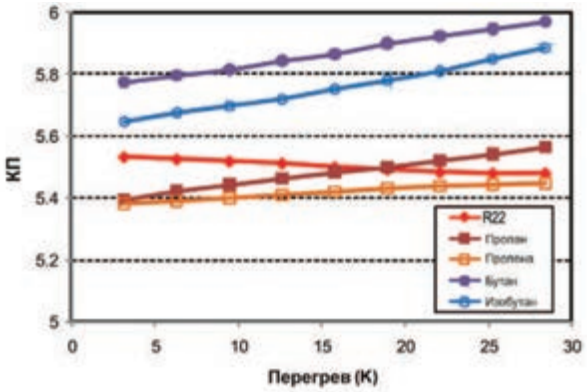


Рисунок 8. Влияние внутреннего перегрева на холодильный коэффициент при температуре конденсации 40 ^{0}C, температуре кипения 0 ^{0}C и температуре переохлаждении 0 ^{0}C [2].

Для снижения негативного влияния внутреннего перегрева рекомендуется использовать внутренний рекуперативный теплообменник, обеспечивающий теплообмен между холодным паром, поступающим из испарителя, и теплой жидкостью до расширительного устройства, что приводит как к увеличению холодопроизводительности, так и увеличению холодильного коэффициента цикла. Использование такого рекуперативного теплообменника оказывает на все типы хладагентов и некоторое побочное негативное воздействие, такое как падение давления на всасывании, которое на практике несколько снижает улучшение холодильного коэффициента в сравнении с увеличением затрат. Тем не менее, использование рекуперативного теплообменника, при работе с использованием R-290, является предпочтительным и обеспечивает положительный эффект.

2.7 Температура нагнетания

При исправно работающем компрессоре температура нагнетания зависит от степени сжатия Рк/Ро. Повышение давления конденсации, обусловленное повышением температуры конденсации, и понижение давления кипения, вызванное понижением температуры кипения, приводят к повышению температуры нагнетания. Температура нагнетания является фактором, который ограничивает допустимую величину степени сжатия в одноступенчатом цикле, которая равна

примерно 10. Слишком высокая температура нагнетания приводит к образованию нагара на клапанах, ухудшает стабильность хладагента и масла, повышает износ деталей компрессора, снижает ресурс работы, может привести к заклиниванию компрессора и его поломке.

Зависимость температуры нагнетания от температуры кипения показана на рисунке 9. Как видно из данного рисунка, температура нагнетания при работе на R-290 намного ниже температуры нагнетания при работе на R-22. Следовательно, в одноступенчатом цикле работы на R-290 можно работать при более высоких температурах конденсации или при более низких температурах кипения.

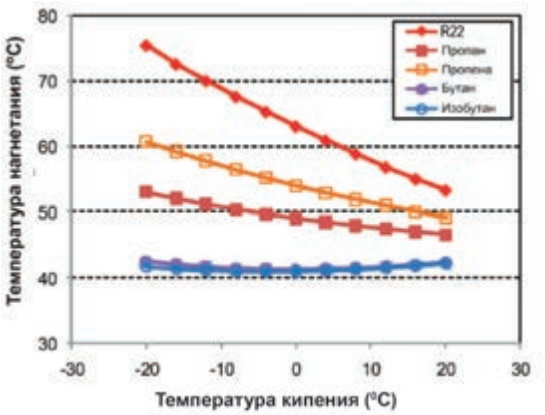


Рисунок 9. Зависимость температуры нагнетания от температуры кипения при температуре конденсации 40 ^{0}C, переохлаждении 0 ^{0}C и перегреве 5 ^{0}C [2].

2.8 Падение давления

Падение давления в испарителе и в конденсаторе холодильной машины, работающей на R-290, впрочем, как и у всех углеводородов, меньше по сравнению с R-22. Данный фактор более существен для испарителя, поскольку величина падения давления в большей степени сказывается при низких давлениях. Диаметры труб холодильной машины, работающей на R-22, подходят для использования при работе на R-290. В принципе, использование труб несколько меньшего диаметра не оказывает негативного влияния на работу холодильной машины.

2.9 Холодильный коэффициент

Холодильный коэффициент действительного цикла равен отношению холодопроизводительности к потребляемой мощности компрессора. Установлено, что при перезаправке «дроп-ин» холодильной машины, ранее работавшей на R-22, на R-290, холодильный коэффициент возрастает как минимум на 5%. При конструктивной оптимизации элементов холодильной машины можно добиться повышения холодильного коэффициента на 10% и более. Основными причинами такого улучшения является более высокая эффективность работы компрессора, вследствие низкой степени сжатия и более высоких значений коэффициента теплоотдачи в испарителе.

2.10 Холодопроизводительность

Удельный массовый расход R-290 в идентичном цикле примерно в два раза меньше удельного массового расхода R-22, тогда как теплота парообразования R-290 - в два раза больше. В связи с этим, холодопроизводительность одного и того же компрессора, работающего на R-22 и на R-290, при равных условиях работы, отличается незначительно. Холодопроизводительность компрессора при работе на R-290 примерно на 10% ниже.

3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Обычно системные компоненты холодильной машины, работающей на R-22 и на R-290, существенно не отличаются. Необходимо учитывать воспламеняющиеся свойства R-290 при выборе регуляторов давления, электромагнитных клапанов и других электрических приборов, а также устройств, чтобы они соответствовали условиям обеспечения взрывозащиты.

3.1 Испарители и конденсаторы

Испарители и конденсаторы холодильной машины, работающей на R-290, как правило, одного и того же дизайна и размера, что и испарители и конденсаторы холодильной машины, работающей на R-22, и они работают примерно при равных значениях давлений. Коэффициенты теплопередачи испарителя, как правило, на 5-10% выше, а коэффициенты теплопередачи конденсатора - примерно равны. Тем не менее, это не оказывает существенного влияния на размеры теплообменных аппаратов. Для использования в холодильной машине, работающей на R-290, подходят все распространенные типы теплообменников, в том числе с воздушным охлаждением, кожухотрубные (затопленные и с внутритрубным кипением), пластинчатые. Применение современных высокоэффективных микроканальных теплообменных аппаратов позволяет, помимо прочего, уменьшить заправку хладагента, что особенно важно при применении R-290. Алюминиевые микроканальные теплообменники находят все большее применение в качестве конденсаторов и испарителей в холодильных машинах и кондиционерах, работающих на R-290. На рисунке 10 показан фрагмент микроканального теплообменника. Достоинством такого теплообменника является прочность и компактность, при меньшем внутреннем объеме (до 77% меньшем, чем в классическом теплообменнике), а также высокая эффективность.

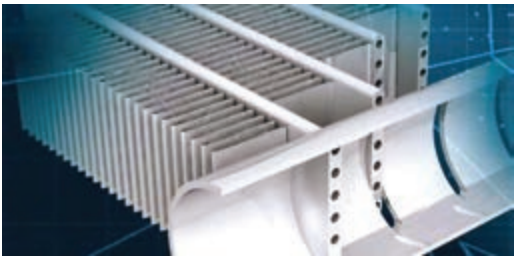


Рисунок 10. Фрагмент устройства микроканального теплообменника.

3.2 Компрессоры

Большинство типов компрессоров, предназначенных для работы на R-22, подходят и для использования R-290. Тем не менее, следует проконсультироваться с поставщиком или производителем компрессора о возможности применения и правильного выбора компрессора. Использование компрессора без согласования с поставщиком или изготовителем может привести к потере гарантии. Ведущие производители, такие как Bitzer, Danfos, Dorin, Coppeland, Embrago и прочие приступили к выпуску компрессоров, специально предназначенных для работы на R-290. Обязательным условием является наличие четкого указателя об использовании в системе воспламеняющегося хладагента, т.е. R-290. Как и в компрессорах, работающих на других хладагентах, допускается использование нагревателей картера во избежание чрезмерной растворимости R-290 в масле.

3.3 Расширительное устройство

В холодильных машинах, работающих на R-290, могут использоваться все виды устройств расширения, которые используются в обычных холодильных машинах. Для работы на R-290 выпускаются специальные терморегулирующие вентили (ТРВ), и в настоящее время они доступны на рынке. Возможно использование ТРВ для работы при использовании R-22, благодаря близости соотношения давления и температуры для R-22 и R-290. Могут также использоваться электронные расширительные клапаны, которые должны соответствовать требованиям, предъявляемым к электрическим компонентам, при использовании воспламеняющихся хладагентов. Длина капиллярной трубки специфична для каждого хладагента. В настоящее время имеются компьютерные программы и графики для определения диаметра и длины капиллярной трубки. Тем не менее, более предпочтительным является метод экспериментального подбора длины капиллярной трубки. Опыт работы с R-290 показывает, что расход R-290 через капиллярную трубку должен быть практически равен расходу R-404a, что должно быть отправной точкой для оптимизации системы.

3.4 Фильтры-осушители

Фильтры-осушители используются для поглощения остаточной влаги в холодильной системе. Используемые фильтры-осушители совместимы с R-290. Наиболее приемлемыми являются фильтры-осушители типа XH-5 и XH-6 или их эквивалент.

4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ НА R-290

4.1 Стандарты безопасности, связанные с воспламеняемостью R-290

Вопросы безопасности, которые должны учитываться при проектировании и изготовлении холодильного оборудования, работающего на воспламеняющихся хладагентах (ВХА), включая R-290, отражены в соответствующих разделах международных и межгосударственных стандартов. Ниже приводится перечень стандартов, в которых отражены эти вопросы и их статус в республике в настоящее время.

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-89-2013. Безопасность бытовых и аналогичных приборов. Часть 2-89. «Частные требования к торговому холодильному оборудованию со встроенным или дистанционным узлом конденсации хладагента или компрессором для предприятий общественного питания». Принят Межгосударственным советом по стандартизации и сертификации (Протокол №44-2013 от 14 ноября 2013 г.). Одобрен Агентством «Узстандарт», но в Республике Узбекистан пока не введен в действие.

Настоящий стандарт распространяется на следующие приборы: витрины-холодильники и холодильные шкафы, холодильные шкафы на колесах, прилавки обслуживания и прилавки самообслуживания, аппараты шоковой заморозки и скороморозильные аппараты с интенсивным движением воздуха, в том числе заправленные **воспламеняющимися хладагентами (ВХА)** в количестве **не более 150 грамм**.

2. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-24-2012. Безопасность бытовых и аналогичных приборов. Часть 2-34. «Частные требования к холодильным приборам-мороженицам и устройствам для производства льда». Принят Межгосударственным советом по стандартизации и сертификации (Протокол №44-2013 от 14 ноября 2013 г.) Одобрен Агентством «Узстандарт» и введен в действие в Республике Узбекистан с 1 декабря 2014 г.

Указанный стандарт устанавливает требования безопасности для работы с приборами номинальным напряжением не более 250 В для однофазных приборов, 480 В - для других приборов и 24 В постоян-

ного тока - для приборов, работающих от батарей:

• холодильными приборами для бытового и аналогичного использования;

• устройствами для производства льда со встроенным моторкомпрессором и устройствами для производства льда, предназначенных для размещения в отделениях для хранения замороженных продуктов;

• холодильными приборами и устройствами для производства льда, используемыми в кемпингах, жилых автоприцепах и катерах для проведения досуга.

Эти приборы могут работать как от сети или от отдельной батареи, так и от комбинации таких источников электропитания. Настоящий стандарт также устанавливает требования безопасности к мороженицам, предназначенным для бытового использования, номинальным напряжением не более 250 В для однофазных приборов и 480 В для других типов приборов. Стандарт также распространяется на приборы компрессионного типа для бытового или аналогичного использования, в которых применяются **воспламеняющиеся хладагенты** в количестве **не более 150 грамм**.

3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.2.233-2012 (идентичен ISO 5149-1993). «Система стандартов безопасности труда. Системы холодильные, холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности» принят Межгосударственным советом по стандартизации и сертификации (Протокол № 42-2012 от 15 ноября 2012 г.). Одобрен Агентством «Узстандарт» и с 4 августа 2016 г. введен в действие в Республике Узбекистан.

Этот стандарт модифицирован по отношению к международному стандарту ISO 5149-1993 и распространяется на холодильные системы (холодильные машины, агрегаты, компрессоры, теплообменные аппараты, тепловые насосы), холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт при стандартном режиме работы, и устанавливает требования к безопасности конструкции и к размещению холодильных систем.

4. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-40. Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 2-40. «Дополнительные требования к электрическим тепловым насосам, воздушным кондиционерам и осушителям». Принят Межгосударственным советом по стандартизации и сертификации (Протокол №37 от 10 июня 2010 г.). Одобрен Агентством «Узстандарт» и введен в действие в Республике Узбекистан с 1 января 2011 г.

Этот стандарт устанавливает требования безопасности для электрических тепловых насосов, в том числе тепловых насосов для горячей воды коммунального водоснабжения, воздушных кондиционеров и осушителей, оснащенных герметичными моторкомпрессорами, бытового и аналогичного применения, номинальным напряжением не более 250 В для однофазных приборов и 600 В для других приборов. Приборы, которые не предназначены для бытового применения, но могут стать источником опасности для людей, например, приборы, используемые не профессиональными работниками в магазинах, на объектах легкой промышленности и фермах, входят в сферу действия данного стандарта.

Область применения настоящего стандарта также охватывает электрические тепловые насосы, воздушные кондиционеры и осушители, содержащие **ВХА**, а также дополнительные нагреватели или средства для их отдельной установки, которые сконструированы, как часть комплекта прибора, а органы их управления - встроены в прибор.

5. На рассмотрении в Евразийском Совете по стандартизации и метрологии рассмотрен и одобрен Межгосударственный стандарт ГОСТ EN 378, который идентичен европейскому стандарту EN 378 Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements.

Межгосударственный стандарт EN 378 состоит из следующих частей под общим названием «Системы холодильные и тепловые насосы - Требования безопасности и охраны окружающей среды»:

• Часть 1 (ГОСТ ЕН 378-1-2014): Основные требования, определения, классификация и критерии выбора.

• Часть 2 (ГОСТ ЕН 378-2-2014): Проект, конструкция, изготовление, испытания, маркировка и документация.

• Часть 3 (ГОСТ ЕН 378-3-2014): Размещение оборудования и защита персонала.

• Часть 4 (ГОСТ ЕН 378-4-2014): Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление.

Стандарт определяет требования безопасности и охраны окружающей среды, которые должны учитываться на этапах проектирования, производства, строительства, монтажа, эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и утилизации холодильных систем и установок, касательно окружающей среды в помещениях и окружающей среды в целом.

Целью стандарта является снижение вероятности возникновения потенциальных аварий холодильных установок и **всех** хладагентов, в том числе **ВХА**, которые могут нанести ущерб для жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды.

Этот стандарт устанавливает требования к безопасности людей и имущества (кроме продукции, находящейся в охлаждаемом или обогреваемом объеме), к охране атмосферы в помещениях, а также окружающей среды в целом, для следующих систем и установок:

a) мобильных и стационарных холодильных систем всех типов и размеров, в том числе тепловых насосов;

b) систем охлаждения и/или обогрева с промежуточным контуром;

c) различных вариантов размещения холодильных систем.

Указанные стандарты включают как общие требования безопасности, которые следует учитывать при проектировании и строительстве всех объектов охлаждения и кондиционирования воздуха, независимо от горючести используемого хладагента, так и вопросы безопасности, связанные с воспламеняемостью хладагента.

Введение в Республике Узбекистан указанных стандартов оговорено в стандарте O‘zDSt 1.7 1998 «Порядок применения международных и межгосударственных региональных и национальных стандартов и нормативных документов других стран», который введен в действие 01.01.1999 г. постановлением УГС №12-90 от 31.12.1998 г.

4.2 Требования безопасности к холодильным системам с заправкой R-290 в количестве не более 150 грамм

В соответствии с ГОСТ IEC 60335-2-89-2013 и ГОСТ IEC 60335-2-24-2012 холодильные системы (бытовые холодильники, малое торговое холодильное оборудование и т.д.), с заправкой ВХА не более 150 грамм, могут быть размещены во всех помещениях, в которых также могут быть размещены и холодильные системы, заправленные не воспламеняющимся хладагентом, без дополнительных ограничений. Тем не менее, из-за воспламеняемости R-290 следует обеспечивать и соблюдать необходимые меры безопасности на самом холодильном оборудовании.

Возгорание R-290 может произойти при одновременном сочетании трех следующих условий, независимо от количества заправки:

• образование утечки горючего газа;

• образование взрывоопасной концентрации смеси воздуха и R-290;

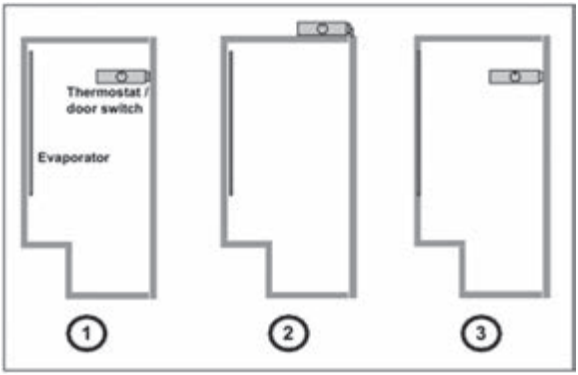
• наличие источника зажигания, искры и/или высокой температуры.

Для того, чтобы газ воспламенился должны одновременно совпасть все три вышеуказанных условий. В связи с этим основная задача безопасного обращения с горючими газами заключается в исключении любой возможности совпадения всех этих условий.

Компрессоры, предназначенные или переводимые для работы на R-290, должны оснащаться внутренним устройством защиты и пусковыми устройствами, или пусковыми реле, исключающими возникновение искр вблизи компрессора, а также должны иметь предупреждающую этикетку (символ) желтого цвета, извещающую о наличии горючего газ.

В соответствии со стандартом ГОСТ IEC 60335-2-24-2012, касающийся электрических испытаний:

Рисунок 11. Различные варианты конструкций холодильного шкафа



• все электрические приборы, которые требуют переключения в процессе эксплуатации, могут быть потенциальным источником воспламенения. В их число входят реле температуры, дверные выключатели освещения, двухпозиционные (вкл/выкл) или другие переключатели, реле высокого и низкого давления, кликсоны наружного расположения, таймеры оттаивания и т.д.;

• все элементы холодильной системы, такие как испаритель, конденсатор, дверные обогреватели, трубопроводы и компрессор,

содержащие газ, считаются источником горючего хладагента, ввиду возможного появления утечки R-290.

Безопасная концентрация R-290 составляет 8 г/м^3 (составляющей 25% от нижнего предела воспламеняемости).

Основной целью всех мероприятий по обеспечению безопасной работы с R-290 является изолирование пространства с элементами, содержащими горючий хладагент, от пространства с приборами, которые могут стать источником искры при их переключении, а также приборов, имеющих высокую температуру нагрева. На рисунке 11 показаны три возможных варианта конструкции холодильного шкафа, заправленного R-290:

• Вариант 1: испаритель и реле температуры, дверной выключатель установлены внутри холодильного шкафа. Такое расположение является критичным для установок с воспламеняемыми хладагентами (ВХА) и не рекомендуется к использованию;

• Вариант 2: испаритель установлен внутри шкафа, а реле температуры и дверной выключатель установлены снаружи. Такое расположение является более безопасным решением;

• Вариант 3: реле температуры и дверной выключатель установлены внутри шкафа, а испаритель встроен в стену за облицовкой. Такое решение называется защищенной системой охлаждения и используется довольно часто в торговых шкафах и в бытовых холодильниках.

Как показывают результаты анализа, многие холодильные и морозильные установки, работающие на ВХА, спроектированы с учетом раздельного размещения холодильных агрегатов и электрических приборов. Электрические переключающие устройства больших автономных охладителей напитков и морозильников устанавливаются на верхних панелях их приборов.

Потенциально опасная ситуация возникает, когда невозможно установить испаритель и реле температуры вне шкафа. В этом случае имеется возможность установки реле температуры и переключатели в герметичном исполнении, исключающем проникновение в них газа, или использование электронных реле температуры.

Вентиляторы, установленные внутри холодильной камеры, должны быть безопасными и не допускать возникновение искрения при их работе. Электрические разъемы и патроны для ламп должны удовлетворять техническим условиям. В странах Европейского Союза каждая серия холодильных установок с хладагентом R-290 должна

быть проверена и допущена к эксплуатации самим производителем или независимой организацией, учреждением или производителем в соответствии с требованиями европейских стандартов, даже если соблюдены все перечисленные выше условия TS/IEC/EN.

В руководстве по эксплуатации холодильной установки, работающей на ВХА, т.е. на R-290, должна содержаться необходимая информация и инструкции по обращению с установками, заправленными ВХА хладагентами. Например, запрет на очистку поверхностей морозильных камер с помощью ножа и указание объема помещения, в котором устанавливается холодильник (в соответствии с количеством заправки хладагента, исходя из 8 г/м^3).

Системы, использующие реле или другие электрические приборы вблизи компрессора, должны удовлетворять следующим требованиям: вентиляторы, установленные рядом с конденсатором или компрессором, не должны производить искр даже при блокировании и перегрузке. Они не должны оснащаться искрящими тепловыми переключателями, реле и т.д., и они должны соответствовать требованиям стандарта IEC 60079-15 или других стандартов обеспечивающих защиту для местах зоны 2.

Реле должны устанавливаться в местах, в которых утечки хладагента не способны образовать горючую смесь с воздухом. Например, компрессоры оснащаются пусковым устройством с длинным кабелем, который можно разместить в отдельно стоящих распределительных коробках.

Необходимым требованиям безопасной работы должны отвечать производственные участки, на которых производится заправка холодильного оборудования с ВХА. Эти требования во многом схожи с требованиями для газозаправочных станций, и, в частности, в отношении электрооборудования и принудительной вентиляции.

Производственные участки должны быть оснащены непрерывно работающими датчиками обнаружения газа, размещенными в местах возможной утечки хладагента. Например, вокруг заправочных станций, с аварийной сигнализацией и дублированием вентиляции при концентрации газа в 15-20% от минимального уровня воспламеняемости (НПВ) и отключением электрических приборов, не имеющих защиту по стандарту 60079 корпуса при концентрации газа в 30-35% от НПВ. Для заправки холодильного оборудования с ВХА должны использоваться заправочные станций, специально предназначенные для заправки горючих хладагентов, оснащенные системой

безопасности.

Обслуживание и ремонт холодильных установок с ВХА, т.е. R-290 должны проводить квалифицированные специалисты, поскольку эти работы требуют аккуратного обращения с установкой, заправленной R-290, который является потенциально опасным при проведении работ. При обслуживании установки необходима хорошая вентиляция, а выхлопной патрубок вакуумного насоса должен быть выведен в атмосферный воздух. Оборудование, используемое техником по обслуживанию холодильных установок, должно отвечать требованиям, предъявляемым к установкам с ВХА R-290, в части качества вакуумирования и точности заправки. Для обеспечения точности заправки рекомендуется использовать электронные весы. Заправочные станции должны быть сертифицированы для работы с горючим хладагентом, а их электрооборудование должно соответствовать требованиям действующих стандартов.

4.2.1 Маркировка и инструкции

При проведении работ по техническому обслуживанию, требующем доступа к деталям холодильной установки, на паспортной табличке прибора должен быть хорошо виден знак «Внимание! Опасность возгорания» *(рисунок 12).* Этот символ должен быть также размещен на заводской табличке холодильного оборудования, рядом со сведениями о типе хладагента и количестве хладагента, требуемом для зарядки системы.

В инструкции бытового холодильника, заправленного ВХА, должна быть указана следующая дополнительная информация, необходимая для пользователя (для других видов холодильных систем маркировка может быть другая):

Рисунок 12. Символ «Внимание! Опасность возгорания»

- «Запрещается хранить внутри настоящего прибора взрывоопасные вещества и предметы, такие как аэрозольные баллоны с воспламеняющимися смесями»;

- «Внимание! Не загораживайте вентиляционные отверстия, расположенные в корпусе прибора или во встраиваемой конструкции»;

- «Внимание! Не используйте механические устройства или другие средства для ускорения процесса оттаивания, кроме устройств, рекомендуемых изготовителем»;

- «Внимание! Не допускайте повреждения контура хладагента»;

- «Внимание! Не используйте электрические приборы внутри отделений приборов, предназначенных для хранения продуктов, если только они не относятся к типу, рекомендуемому изготовителем».

4.2.2 Отличительные особенности технологии изготовления и испытания холодильного оборудования, заправляемого ВХА R-290

Испытание приборов давлением (ГОСТ IEC 60335-2-34-2012)

Приборы, в которых используется ВХА, должны выдерживать:

• давление, в 3,5 раза превышающее давление насыщенных паров хладагента при температуре 70 ^{0}С, которые в процессе нормального режима работы подвергаются воздействию давления на стороне высокого давления; значение давления для проведения испытания округляют до 0,5 МПа (5 бар). Для приборов, работающих на ВХА R-290, это значение составляет $P_{проб}$ = 3,5 х 26 = 87 бар, с округлением 90 бар;

• давление, в 5 раз превышающее давление насыщенных паров хладагента при температуре 20 ^{0}С, либо равное 2,5 МПа (25 бар), в зависимости от того, какое из значений давления больше, для частей, которые в процессе нормального режима работы подвергаются воздействию давления только на стороне низкого давления; значение давления округляют до 0,2 МПа (2 бар). Для приборов, работающих на R-290, это значение составляет $P_{проб}$ = 5 х 8,4 = 42 бар.

Испытания с имитацией утечки хладагента для бытовых холодильников

Особенностью производства холодильного оборудования, за-

правленного ВХА, является необходимость проведения производственных испытаний по имитации утечки хладагента. Имитация утечки выполняется в наиболее критической точке охлаждающей системы. Критическими точками являются только соединения между частями контура хладагента. Метод имитации утечки заключается во впрыскивании паров хладагента через капиллярную трубку в критическую точку. Капиллярная трубка должна иметь диаметр 0,7+0,05 мм и длину от 2 до 3 м.

Впрыскиваемое количество отбирают из парового пространства баллона, содержащего такое количество жидкого хладагента, которое обеспечит его присутствие в баллоне до конца испытаний. Необходимо поддерживать следующую температуру баллона (ГОСТ IEC 60335-2-89-2013):

a) 32 ± 2 ^{0}C - при имитации утечки в контурах с давлением на стороне всасывания (на низкой стороне давления);

b) 70 ± 2 ^{0}C - при имитации утечки в контурах с давлением на стороне нагнетания (на высокой стороне давления).

Количество впрыскиваемого газа определяется взвешиванием баллона. Концентрацию вытекающего хладагента внутри отделений, предназначенных для хранения продуктов, а также внутри любого внутреннего или наружного отсека, измеряют как можно ближе к электрическим компонентам, которые в условиях нормального режима работы или аварийного режима работы могут создать искрение или электрическую дугу. Измерения выполняются, по крайней мере, каждые 30 секунд с начала испытания, и далее в течение одного часа после прекращения впрыскивания газа.

Испытание двигателей вентиляторов с заторможенным ротором

Эти испытания проводятся в целях проверки степени нагрева обмотки двигателя вентилятора конденсатора и воздухоохладителя в случае, если двигатель заблокируется или не запустится. Ротор двигателя блокируют и подают номинальное напряжение в течение 360 часов. Испытания считаются завершенными, если до истечения указанного времени защитное устройство (при наличии такового) разомкнет цепь или температура обмоток двигателя (в остановившемся состоянии) остается ниже 90 ^{0}C. Во время испытания температура обмоток не должна превышать 370 ^{0}C. Через 72 часа после начала испытания двигатель подвергается испытанию на диэлектрическую прочность. Для того чтобы в случае чрезмерного повышения тока

и его утечки на землю источник отключился, подключается устройство защитного отключения с номинальным остаточным током в 30 миллиампер. В конце испытания, при напряжении, превышающим номинальное в два раза, измеряется ток утечки между обмоткой и корпусом, который не должен превышать 2 миллиампер.

4.3. Требования безопасности к холодильным системам с заправкой ВХА R-290 более 150 грамм

Правила безопасности при применении ВХА, количество которого составляет более 150 грамм, указаны в Межгосударственном стандарте ГОСТ 12.2.233-2012 «Система стандартов безопасности труда. Системы холодильные с холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности».

4.3.1 Использование систем охлаждения и холодильных агентов с учетом категории помещений и зданий

При проектировании систем охлаждения выбор хладагента и типа холодильной системы должен осуществляться с особым вниманием к учету категории помещения. Для каждой категории помещений и зданий применение определенных систем охлаждения и определенных мест для размещения машин и трубопроводов запрещается, или на них накладываются ограничения, или допускаются без ограничений, в зависимости от применения тех или других хладагентов. Эти условия указаны в соответствующих разделах Межгосударственного стандарта ГОСТ 12.2.233-2012 «Система стандартов безопасности труда. Системы холодильные с холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности». Данный стандарт является одним из первых документов, введенных в действие в странах СНГ, который разрешает использование ВХА R-290, как хладагента, и в других сферах холодильной техники, а не исключительно в сфере специального промышленного производства.

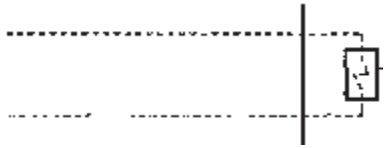
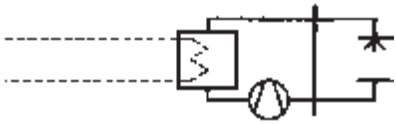
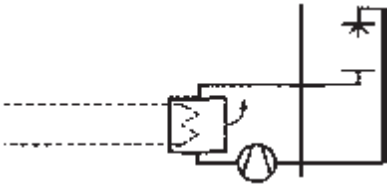
Ниже приведена принятая в **ГОСТ 12.2.233-2012** система классификации холодильных систем, хладагентов, категорий помещений и размещение холодильного оборудования.

4.3.2 Классификация холодильных систем по ГОСТ 12.2.233-2012

Холодильная система, в зависимости от способа отвода теплоты непосредственно от воздуха или от охлаждаемого вещества, подразделяется на следующие категории (таблица 4):

- непосредственную, когда испаритель холодильной машины омывается непосредственно воздухом или каким-либо веществом, которое охлаждается;
- промежуточную, когда испаритель холодильной машины, помещенный вне пространства, в котором тепло отбирается из воздуха или от технологической жидкости, охлаждает хладоноситель, циркулирующий для охлаждения воздуха или технологической жидкости.

Таблица 4. Классификация холодильных систем

Определение	Холодильная система	Воздух или охлаждаемая жидкость
Непосредственная система		
Промежуточная открытая система		
Промежуточная открытая система с уровнем в испарителе		

Определение	Холодильная система	Воздух или охлаждаемая жидкость
Промежуточная закрытая система		
Промежуточная закрытая система с уровнем в испарителе		
Промежуточная сдвоенная система		

4.3.3. Классификация холодильных агентов

В зависимости от степени опасности физиологического воздействия на людей воспламеняемости и взрывоопасности смесей с воздухом, холодильные агенты разделяются на три группы:

1. невоспламеняющиеся нетоксичные холодильные агенты (ХФУ, почти все ГХФУ, ГФУ);

2. токсичные и вызывающие коррозию холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (или нижняя граница взрыва) составляет более 3,5% по объему в смеси с воздухом (аммиак);

3. холодильные агенты, нижний предел воспламенения которых (нижняя граница взрыва) ниже 3,5% по объему в смеси с воздухом (пропан и другие углеводороды).

4.3.4 Требования к размещению холодильных систем

Условия размещения оборудования

При решении вопросов безопасности холодильных систем следует учитывать также расположение, число находящихся людей и категории помещений. Здания и помещения, которые обслуживаются холодильными установками, подразделяются на пять категорий, основные отличия которых приведены в таблице 5.

Таблица 5. Категории зданий и помещений

Категория здания	Общие характеристики	Примеры
A (некоторые ведомственные учреждения)	Учреждения, в которых люди имеют ограниченную возможность самостоятельного передвижения	Больницы, суды и тюрьмы с камерами
B (общественные учреждения)	Учреждения, в которых люди могут свободно собираться	Театры, танцевальные залы, торговые центры, вокзалы, школы, церкви, библиотеки, рестораны
C (жилища)	Помещения, в которых предусмотрен сон людей	Дома, гостиницы, жилые помещения, клубы, школьные интернаты
D (учреждения торговли)	Учреждения, в которых люди могут собираться в каком-либо количестве; часть людей обязательно компетентна в вопросах обеспечения безопасности учреждения	Учреждения, небольшие магазины и рестораны, лаборатории, заводы и фабрики широкого профиля, рынки со свободным доступом
E (промышленные предприятия)	Учреждения, в которые люди имеют доступ лишь по специальному допуску, и в которых производят, готовят и хранят материалы или продукты	Предприятия химической и пищевой промышленности, разные фабрики мороженого, пивные заводы, холодильные склады, молочные заводы, бойни

Согласно этому стандарту, как правило, недопустимо использование R-290 и других углеводородных хладагентов в помещениях категории A, B, C и D, где обычно присутствуют люди, не входящие в состав специально подготовленного персонала, обслуживающего холодильные установки. Эти хладагенты могут употребляться в лабораториях категории D, в установках полной заводской готовности с общим количеством хладагента не более 2,5 кг, а также в помещениях промышленных производств категории E (с общим количеством хладагента более 2,5 кг) в особых случаях и при условии, что

все электрические устройства в помещениях, где установлена какая-либо часть холодильной системы, должны соответствовать требованиям для опасных зон.

Для оборудования, работающего на R-290, исполнение электрооборудования по уровню его взрывозащиты должно соответствовать ГОСТ 12.2.020:

• зоне класса В-1а - для оборудования, размещаемого в машинных отделениях холодильных установок;

• зоне класса В-1г - для оборудования, размещаемого на наружных площадках.

5. КЛАССИФИКАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ЕВРОПЕЙСКОМУ СТАНДАРТУ EN 378-1

Все действующие версии международных и европейских стандартов включают метод достижения требуемого уровня безопасности посредством ограничения количества заправки хладагента в единичную холодильную систему. Ограничение объема заправки любого хладагента зависит от его токсичности и воспламеняемости.

5.1 Классификация хладагентов по токсичности и воспламеняемости. Группы опасности хладагентов

Классификация группы опасности хладагентов заключается в буквенно-цифровом обозначении. Первый знак - заглавная буква обозначает токсичность (А - низкая токсичность, В - высокая токсичность). Второй знак - арабская цифра указывает на воспламеняемость (горючесть).

Группа А (низкая токсичность): хладагенты, при средней концентрации которых, равной или более 400 мл/м^3 (400 частей на миллион по объему), в воздухе рабочей зоны отсутствует вредное влияние почти на всех работающих, которые могут подвергаться воздействию хладагента изо дня в день в течение 8-часового рабочего дня при 40-часовой рабочей неделе;

Группа В (высокая токсичность): хладагенты, при средней концентрации которых, ниже 400 мл/м^3 (400 частей на миллион по объему), в воздухе рабочей зоны отсутствует вредное влияние почти на всех работающих, которые могут подвергаться воздействию хладагента изо дня в день в течение 8-часового рабочего дня при 40-часовой рабочей неделе.

Классификация в зависимости от воспламеняемости

Класс 1 (негорючие хладагенты)

К первому классу относят вещества, используемые в качестве хладагентов, которые не способствуют распространению пламени в ходе испытаний на открытом воздухе при температуре вещества в 60 ^{0}С и давлении в 101,3 кПа.

Класс 2 (трудно горючие хладагенты)

Ко второму классу относят отдельные вещества, используемые в качестве хладагентов, при удовлетворении следующих трех условий:

• способность к распространению пламени в ходе испытаний на открытом воздухе при температуре вещества 60 ^{0}С и давлении 101,3 кПа;

• значение НКПВ, которое составляет не менее 3,5% по объему;

• теплота сгорания менее 19000 кДж/кг.

Класс 3 (горючие хладагенты)

К третьему классу относят вещества, используемые в качестве хладагентов, которые удовлетворяют следующие два условияя:

• способность к распространению пламени в ходе испытаний на открытом воздухе при температуре вещества 60 ^{0}С и давлении 101,3 кПа;

• значение НКПВ, которое составляет менее 3,5% по объему или теплота сгорания менее 19000 кДж/кг.

В соответствии с вышеуказанной классификацией все углеводородные хладагенты, такие как пропан (R-290), бутан (R-600), изобутан (R-600a), пропилен (R-1270), этан (R-170) а также их смеси, относятся к группе опасности А3, тогда как аммиак (R-717) относится к группе – В2, а углекислота (R-744) относится к группе - А1 и т.д.

5.2 Помещения для размещения холодильных систем. Категории помещений

Помещения, в которых размещают холодильные системы и/или их составные части, классифицируют в зависимости от степени их безопасности для людей, которые могут находиться в этих помещениях в тот момент, когда в работе холодильных систем возникают какие-либо аномалии. При рассмотрении вопросов обеспечения безопасности учитывают расположение холодильных систем, количество людей, которые могут находиться вблизи холодильных систем и/или их составных частей, а также категории помещений. Машинные отделения считают помещениями, в которых не должны находиться посторонние люди.

Общедоступные помещения – категория А

Помещение, в котором люди могут находиться в состоянии сна или в котором может находиться неконтролируемое количество людей, причем все они, как правило, не осведомлены о мерах индивидуальной безопасности. К таким помещениям относятся госпитали, места содержания лиц, взятых под стражу, больницы, театры, супермаркеты, вокзалы, гостиницы, учебные заведения,

жилые дома, рестораны, катки, салоны транспортных средств.

Охраняемые помещения – категория В

Помещения, здания или части зданий, в которых может находиться только ограниченное количество людей, часть которых обязательно осведомлена об общих мерах безопасности, например, производственные и офисные помещения общего назначения, проектные и конструкторские бюро, лаборатории.

Помещения с ограниченным доступом – категория С

Помещения, доступ в которые разрешен только ограниченному кругу уполномоченных лиц, осведомленных об общих мерах безопасности в данном учреждении (например, цеха и участки промышленного производства). К таким помещениям относятся, например, холодильные склады, нефтеперерабатывающие предприятия, бойни, служебные помещения супермаркетов, производственные помещения химической и пищевой промышленности, цеха по производству продуктов питания, мороженого, льда.

Если в здании имеются помещения нескольких категорий (таблица 6), то к холодильным системам, расположенным в этом здании, применяют наиболее строгие из всех возможных требований безопасности, которые предписаны для категории каждого соответствующего помещения. Если помещения разных категорий в здании отделены друг от друга, например, непроницаемыми капитальными стенами, полами и потолками, то к холодильным системам (элементам холодильных систем), расположенным в этих изолированных помещениях, применяют требования безопасности, определяемые категорией каждого помещения в отдельности.

Таблица 6. Категории помещений

Категории	Общие характеристики	Примеры [a)]
Общедоступные помещения А	Комнаты, части зданий и помещения, где: - люди могут спать; - могут находиться лица с ограниченной возможностью самостоятельного передвижения; - может находиться неконтролируемое количество людей, причем все они, как правило, не осведомлены о мерах индивидуальной безопасности.	Госпитали, тюрьмы и стадионы, театры, супермаркеты, школы, классы, вокзалы, гостиницы, жилые дома, рестораны.

Категории	Общие характеристики	Примеры [a)]
Охраняемые помещения B	Помещения, здания или части зданий, где может находиться только ограниченное количество людей, часть которых обязательно осведомлена об общих мерах безопасности предприятия.	Офисные и производственные помещения общего назначения, рабочие места на общепромышленных предприятиях, прочие рабочие места общего назначения
Помещения с ограниченным доступом C	Помещения, здания или части зданий, доступ в которые разрешен только ограниченному кругу лиц со специальной подготовкой, которые осведомлены об общих и специальных мерах безопасности на предприятии, где производят, перерабатывают, или хранят материалы или продукты.	Производственные помещения, например, химической промышленности, пищевой промышленности, производства напитков, льда, мороженого, нефтепереработки, холодильные склады, скотобойни и служебные помещения супермаркетов, недоступные для посторонних лиц.
[a)] Данный перечень примеров не является исчерпывающим		

5.3 Классификация холодильных систем

Холодильные системы классифицируются как непосредственные и промежуточные, в соответствии со способом отвода теплоты (охлаждения) или подвода теплоты (нагрева) в атмосферу или в охлаждаемую (нагреваемую) среду.

Непосредственные системы

Испаритель и конденсатор системы охлаждения находятся в непосредственном контакте с воздухом или охлаждаемой (нагреваемой) средой. Системы, в которых в непосредственном контакте с воздухом или охлаждаемыми (нагреваемыми) продуктами находится промежуточный теплоноситель (например, при переносе теплоты путем теплопроводности или орошения), также рассматривают как непосредственные системы.

Промежуточные системы

В испарителе охлаждают, а в конденсаторе нагревают промежуточный теплоноситель, который циркулирует по замкнутому контуру, содержащему теплообменники, находящиеся в непосредственном контакте с охлаждаемой (нагреваемой) средой.

5.4 Варианты размещения холодильных систем

Существуют три варианта размещения холодильных систем и оборудования. Тот или иной вариант размещения выбирается в соот-

ветствии с требованиями соответствующего стандарта, учитывающего возможные опасности (риски).

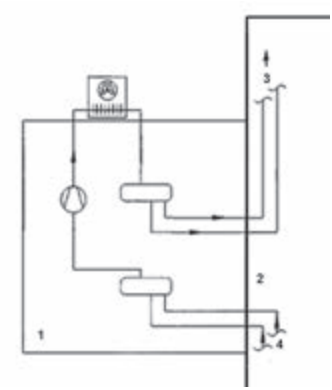


Рисунок 13. Вариант установки холодильной системы в том же помещении, что и холодопотребляющий объект.
1-холодопотребляющий обьект

В зависимости от взаимного расположения холодильного оборудования и помещения, в котором содержится холодопотребляющий объект, возможны следующие варианты его размещения:

a) холодильная система установлена в том же помещении, что и холодопотребляющий объект *(рисунок 13).*

b) холодильная система с компрессорами, жидкостными ресиверами и конденсаторами установлена в машинном отделении или на открытом воздухе, а ее отдельные элементы, внутри которых может циркулировать хладагент, находятся в том же помещении, что и холодопотребляющий объект *(рисунок 14).*

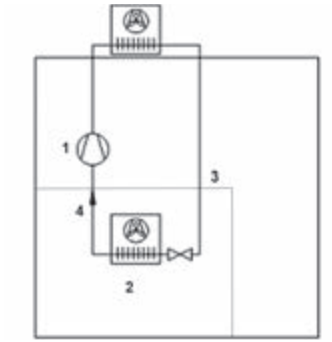


Рисунок 14. Вариант установки холодильной системы, когда часть ее элементов располагается в том же помещении, что и холодопотребляющий объект, а часть расположена в машинном отделении или на открытом воздухе.

1-машинное отделение, 2-холодопотребляющий обьект, 3-трубопровод подачи жидкого хладагента в испарители, 4-трубопровод отсоса пара хладагента из испарителей.

c) холодильная система со всеми ее элементами, содержащими хладагент, установлена в машинном отделении или на открытом воздухе;

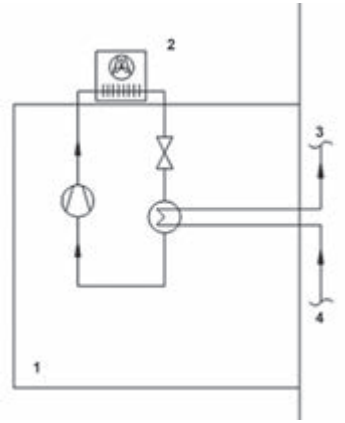


Рисунок 15. Вариант установки холодильной системы со всеми ее элементами, содержащими хладагент, в машинном отделении или на открытом воздухе

1-машинное отделение или открытый воздух, 2-холодопотребляющий объект, 3-линия подачи хладоносителя, 4-линия возврата хладоносителя.

5.5 Максимальная допустимая величина заправки холодильной системы R-290

В таблице 7, приведенной из источника [8], указаны допустимые комбинации размещения холодильных систем в зависимости от категории помещения для систем, работающих на R-290 (группа опасности А3). Для комбинаций, допускающих размещение холодильных систем с определенными ограничениями, приведены дополнительные требования и/или ограничения по величинам заправки системы хладагентом. Предельно допустимые значения количества хладагента в системе могут быть выражены в абсолютных величинах, либо рассчитаны, исходя из характеристик хладагента и объемов помещений, содержащих холодопотребляющий объект.

Таблица 7. Допустимые комбинации размещения холодильных систем в зависимости от категории помещения для систем, работающих на R-290 (группа опасности А3).

Группа опасности хладагента А3 - R-290		
Варианты размещения элементов холодильной системы	**Категория помещения**	
	Системы непосредственного охлаждения	***Промежуточные системы***
Общедоступные помещения – категория А		
В охлаждаемом помещении и машинном отделении могут находиться люди	1. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: только герметичные системы, максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1,5 кг	2. Рассматривать как систему непосредственного охлаждения: см. ячейку 1
Компрессор и жидкостный ресивер находятся в машинном отделении, где нет людей, или на открытом воздухе	3. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: только герметичные системы, максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1,5 кг	4. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см.5.6). Максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1,5 кг
Все элементы холодильной системы, содержащие хладагент, находятся в машинном отделении, где нет людей, или на отрытом воздухе	5. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 5 кг, если система установлена выше уровня пола.	6. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 5 кг, если система установлена выше уровня пола.

Группа опасности хладагента A3 - R-290		
Варианты размещения элементов холодильной системы	**Категория помещения**	
	Системы непосредственного охлаждения	***Промежуточные системы***
Охраняемые помещения – категория B		
В охлаждаемом помещении и машинном отделении могут находиться люди	7. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = 0,008 x объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 2,5 кг, если система установлена выше уровня пола.	8. Рассматривать, как систему непосредственного охлаждения: см. графу 7
Компрессор и жидкостный ресивер установлены в машинном отделении, где нет людей, или на открытом воздухе	9. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = 0,008 x объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 2,5 кг, если система установлена выше уровня пола.	10. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Максимальная заправка = 0,008 x объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 2,5 кг, если система установлена выше уровня пола.

Группа опасности хладагента A3 - R-290		
Варианты размещения элементов холодильной системы	**Категория помещения**	
	Системы непосредственного охлаждения	***Промежуточные системы***
Все элементы холодильной системы, содержащие хладагент, находятся в машинном отделении, где нет людей, или на отрытом воздухе	11. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = 0,008 х объем помещения, но не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 10 кг, если система установлена выше уровня пола.	12. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см.5.6). Максимальная заправка = не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола и не более 10 кг, если система установлена выше уровня пола.
Помещения с ограниченным доступом – категория С		
В охлаждаемом помещении и машинном отделении могут находиться люди	13. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола и не более 10 кг, если система установлена выше уровня пола	14. Рассматривать, как систему непосредственного охлаждения: см. графу 13.
Компрессор и жидкостный ресивер установлены в машинном отделении, где нет людей, или на открытом воздухе	15. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и не более 25 кг, если система установлена выше уровня пола	16. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Максимальная заправка = не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола и не более 25 кг, если система установлена выше уровня пола

Группа опасности хладагента А3 - R-290		
Варианты размещения элементов холодильной системы	**Категория помещения**	
	Системы непосредственного охлаждения	***Промежуточные системы***
Все элементы холодильной системы, содержащие хладагент, в машинном отделении, где нет людей, или на отрытом воздухе	17. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см.5.6). Для всех остальных систем: максимальная заправка = не более 1.0 кг, если система установлена ниже уровня пола и без ограничения, если система установлена выше уровня пола	18. Воздушные кондиционеры и тепловые насосы (см. 5.6). Максимальная заправка = не более 1 кг, если система установлена ниже уровня пола, и без ограничения, если система установлена выше уровня пола

Таким образом, чтобы определить предельно допустимую величину заправки R-290 или любого углеводородного хладагента (группа опасности хладагента - А3), систему необходимо классифицировать по следующим признакам:

• категория помещения, содержащего холодопотребляющий объект (А, В или С);

• вариант исполнения холодильной системы (с непосредственным охлаждением или промежуточная система);

• вариант размещения холодильной системы (в охлаждаемом помещении, часть системы вынесена в машинное отделение или на открытый воздух, все элементы холодильной системы вынесены за пределы охлаждаемого помещения).

Из таблицы 7 следует, что предельно допустимая величина заправки углеводородным хладагентом при установке холодильной системы ниже уровня пола во всех вариантах должна составлять **не более 1 кг**. Для общедоступных помещений максимально допустимая заправка единичной герметичной холодильной системы во всех вариантах должна составлять **не более 1,5 кг**.

Пример. Холодильная система, использующая хладагент R-290 установлена в магазине для охлаждения торговых витрин с продук-

тами питания. Все элементы системы, содержащие хладагент, за исключением конденсатора, находятся в магазине (площадь пола торгового зала 55 м^2, высота 3,5 м). Требуется определить допустимую величину заправки холодильной системы хладагентом R-290.

Группа опасности хладагента - А3. Категория помещения А - общедоступные помещения. Система охлаждения - непосредственная. Вариант размещения оборудования: оборудование размещено в помещении, содержащем холодопотребляющий объект и общедоступном для людей (категории А).

Максимальная заправка = ППЧ х объем помещения, но не более 1,5 кг.

Максимальная заправка = 0,008 кг/м^3 х (55 х 3,5) м^3 = 1,54 кг. Заправка должна быть не более 1,5 кг, при этом холодильная система должна быть герметичной.

5.6 Предельно допустимая заправка воспламеняемым хладагентом в системах кондиционирования воздуха и тепловых насосах, используемых в целях комфортного жизнеобеспечения людей

Герметичные системы заводского изготовления с заправкой хладагентами группы А3 (рисунок 16) устанавливают без каких-либо ограничений в помещениях, не являющихся машинными отделениями (специальными машинными отделениями). Максимальное допустимое количество хладагента, находящегося в невентилируемом помещении, определяют следующим образом.

Если объем заправки превышает 4 м^3 × НКПВ (для R-290 0,152 кг), то максимальное допустимое количество хладагента, находящегося в помещении, определяют по следующей формуле:

$$m_{max} = 2{,}5 \times (\text{НКПВ})^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2}, \text{ (кг)} \qquad (2)$$

для R-290

$$m_{max} = 2{,}5 \times (0{,}038)^{5/4} \times h_0 \times A^{1/2} = 0{,}042 \times h_0 \times A^{1/2}, \text{ (кг)} \qquad (3)$$

где:

минимальная площадь поверхности пола A_{min}, необходимая для того, чтобы в данном помещении можно было установить элементы оборудования с полной величиной заправки хладагентом m кг, должна соответствовать значению:

$$A_{min} = (m/(2.5 \times (\text{НКПВ})^{5/4} \times h_0))2, \text{ (м}^2\text{)} \qquad (4)$$

для R-290

A_{min} = (m/(2.5 × (0,038)$^{5/4}$ × h_0))2, (м^2)=(m/0,042 × h_0)2, (м^2) (5)

где:

m_{max} – максимальное допустимое количество хладагента, находящегося в помещении, кг;

m – количество хладагента, заправленного в систему;

A_{min} – минимальная площадь поверхности пола в помещении, необходимая для того, чтобы в данном помещении можно было установить элементы оборудования, м^2;

A – площадь поверхности пола в помещении, м^2;

НКПВ = 0,038, т.е. нижний концентрационный предел воспламенения R-290 в смеси с воздухом, кг/м^3

h_0 – высота монтажа оборудования, м:

- 0,6 м при размещении на полу;
- 1,8 м при монтаже на стене;
- 1,0 м при монтаже на окне;
- 2,2 м при монтаже на потолке.

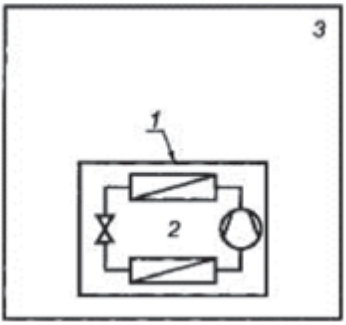


Рисунок 16. Невентилируемые помещения или зоны

1 - кожух; 2 - внутреннее пространство кожуха (зона испытания); 3 - помещение

Некоторые значения максимального количества заправки хладагентом и минимальной площади помещения, вычисленные по выше приведенным формулам, приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8. Максимальное количество заправки, (кг)

Категория	НКПВ, кг/м^3	h_0, м	Площадь помещения, м^2						
			4	7	10	15	20	30	**50**
R-290	0,038	0,6	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,14	0,18
		1,0	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,23	0,30
		1,8	0,15	0,20	0,24	0,29	0,34	0,41	0,53
		2,2	0,18	0,24	0,29	0,36	0,41	0,51	0,65

Таблица 9. Минимальная площадь помещения

Категория	НКПВ, кг/м^3	h_0, м	Количество заправки М (кг) для минимальной площади помещения, м^2						
			0,152	0,228	0,304	0,456	0,608	0,76	0,988
R-290	0,038	0,6		82	146	328	584	912	1541
		1,0		30	53	118	210	328	555
		1,8		9	16	36	65	101	171
		2,2		6	11	24	43	68	115

Пример 1. Система кондиционирования воздуха заправлена хладагентом R-290 в количестве 300 г, НКПВ R-290 = 0,038 кг/м^3. Заправка превышает (4 м^3 × НКПВ) = 152 г, следовательно, минимальный размер помещения, в котором можно будет установить эту систему, необходимо определить в зависимости от варианта размещения оборудования *(таблица 10).*

Таблица 10. Параметры размещения оборудования

Высота монтажа (м)	Вариант размещения оборудования	Минимальная площадь пола (м^2)	Минимальный объем помещения в м^3, при высоте 2,2 м
0,6	Монтаж на полу	142,1	312,6
1,0	Монтаж на окне	51,2	112,5
1,8	Монтаж на стене	15,8	34,7
2,2	Монтаж на потолке	10,6	23,3

Пример 2. Для помещения площадью 30 м^2 максимально допустимая величина заправки воздушного кондиционера, работающего на R-290, составляет 230 г при монтаже кондиционера на окне *(см. таблицу 8).*

5.7 Частные требования для герметичных систем кондиционирования воздуха и тепловых насосов с ограниченной заправкой заводского изготовления

Герметичные агрегаты, не объединенные на заводе в единый блок (т.е. каждая функциональная единица имеет свой корпус), могут иметь следующую заправку хладагентом:

$$(4\ м^3) \times НКПВ < m < (8\ м^3) \times НКПВ \qquad (6)$$

$$0{,}152 < m < 0{,}304\ кг\ R\text{-}290 \qquad (7)$$

Максимальная заправка при размещении агрегата в помещении должна соответствовать величине:

$$m_{max} = 0{,}25 \times A \times \text{НКПВ} \times 2{,}2 \quad (8)$$

$$m_{max} = A \times 0{,}0209 \text{ кг R-290} \quad (9),$$

откуда минимальную площадь поверхности пола в помещении, необходимую, чтобы в нем можно было бы установить агрегат, заправленный хладагентом в количестве m (кг), определяют при использовании следующего выражения:

$$A_{min} = m_{max} /(0{,}25 \times \text{НКПВ} \times 2{,}2) \quad (10)$$

$$A_{min} = m_{max} /0{,}0209 \text{ м}^2 \text{ для R-290} \quad (11),$$

где:

m_{max} – максимально допустимая величина заправки для помещения, кг;

m – количество хладагента в агрегате, кг;

A_{min} – минимальная площадь поверхности пола в помещении, необходимая для того, чтобы в данном помещении можно было установить агрегат, м^2;

A – площадь поверхности пола в помещении, м^2;

НКПВ – нижний концентрационный предел воспламенения хладагента в смеси с воздухом, кг/м^3; значения НКПВ для остальных углеводородов приведены в приложении EN 378-1–2012

5.8 Требования для предельных количеств заправки хладагента в зонах с механической вентиляцией

Механическую вентиляцию применяют только к стационарным приборам. Механическая вентиляция означает, что в кожухе прибора или в помещении имеется система вентиляции, которая в случае утечки хладагента, должна отвести его в зону, в которой нет источников возгорания и в которой газ может быстро рассеяться.

Максимальная величина заправки R-290 для таких систем в общедоступных помещениях (рисунок 17) не должна превышать

$$m_{max} \leq 4{,}94 \text{ кг } (m_{max} = 130 \times \text{НКПВ}) \quad (12)$$

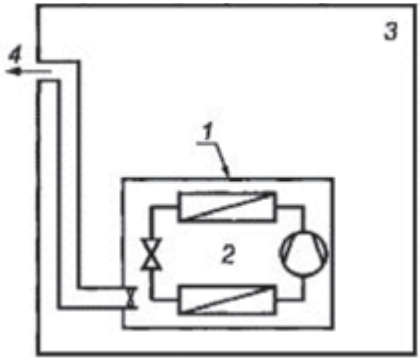


Рисунок 17. Помещение с механической вентиляцией

1-кожух; 2-зона испытания; 3-помещение; 4-воздушный поток в наружную среду

5.9 Вентиляция машинных отделений

Естественная вентиляция

Площадь свободного проема *F* (м^2), обеспечивающая вентиляцию машинного отделения, должна быть не менее

$$F = 0{,}14\ G\ ½ \qquad (13)$$

где

G - масса хладагента, заполняющего систему самых больших размеров, какая-то часть которой находится в машинном отделении, кг.

Искусственная вентиляция

Расход воздуха *Q* (м^3/с), создаваемый системой искусственной вентиляции машинного отделения, должен составлять не менее

$$Q = 13{,}88\ G\ 2/3 \qquad (14)$$

где

G - масса хладагента, заполняющего систему самых больших размеров, какая-то часть которой находится в машинном отделении, кг.

Тем не менее, не требуется система вентиляции, обеспечивающая воздухообмен более 15 раз в час.

5.9.1 Требования для механической вентиляции в кожухе прибора

Холодильный контур снабжен отдельным кожухом, не имеющим сообщения с помещением. Кожух прибора должен иметь систему вентиляции, которая создаст воздушный поток из внутреннего пространства кожуха наружу через вентиляционный ствол. Изготовитель должен указать ширину и высоту вентиляционного ствола, максимальную длину и количество изгибов. Конструкция прибора должна предусматривать создание воздушного потока между помещением и внутрен-

ним пространством кожуха прибора. Расход воздушного потока наружу должен быть не менее

$Q_{min} = S\ 15\ (m_c/\rho)$ (с минимальным значением 2 м^3/ч), (15)

где:

Q_{min} - минимальный требуемый объемный расход вентиляции, м^3/ч;

$S = 4$ - коэффициент безопасности;

m_c – масса заправки хладагента, кг

ρ – плотность хладагента при атмосферном давлении и температуре 25 ^{0}С, кг/м^3.

Примечание: Значение константы 15 (постоянной величины), приведенной выше в формуле 15, основывается на допущениях, используемых в формулах количества заправки хладагентом, т.е. на выпуске всего количества заправки хладагента в течение 4 мин.

Соответствие требованиям, предъявляемым к вентиляционной системе прибора, проверяют посредством проведения перечисленных ниже испытаний.

Прибор должен быть установлен в соответствии с указаниями завода-изготовителя. Максимальная длина и количество изгибов вентиляционного ствола не должны превышать значений, указанных заводом-изготовителем.

Объем помещения должен быть не менее 10-кратного объема прибора и должен быть обеспечен достаточный объем компенсационного воздуха для замены воздуха, выпущенного во время испытаний. Перепад давлений воздуха измеряется между внутренним пространством кожуха прибора и помещением. Расход воздушного потока измеряется на внешнем (выходном) конце вентиляционного ствола.

Вентиляция должна выводиться наружу или в помещение с минимальным объемом, соответствующим объему, установленному для варианта не вентилируемой зоны.

Должно обеспечиваться постоянное обнаружение или мониторинг воздушного потока. В случае снижения воздушного потока до величины ниже Q_{min}, в течение 10 секунд после этого события прибор или мотор-компрессор отключается.

Вентиляция включается датчиком газообразного хладагента до достижения 25% от НКПВ. Датчик должен быть надлежащим образом позиционирован с учетом плотности хладагента и должен проходить периодическую поверку в соответствии с указаниями завода-изготовителя.

6. ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Если используется ВХА и система включает вторичный теплообменник, то не допускается выпуск хладагента из теплообменника в зоны, обслуживаемые текущей средой вторичного теплообменника. В целях обеспечения соответствия данному требованию может быть предусмотрено использование автоматического разделителя воздуха и хладагента во вторичном контуре - на выпускной трубе испарителя или конденсатора. Такие устройства должны быть установлены на более высоком уровне по отношению к теплообменнику. Разделитель воздуха/хладагента должен выводить номинальное значение расхода, достаточного для вывода хладагента, который может быть выпущен через теплообменник. Разделитель воздуха должен выводить хладагент в машинное отделение, в кожух прибора, в специально предназначенное место, в наружную среду.

Для предотвращения разрыва вторичного теплообменника необходимо следующее:

1) использование устройства защиты от замерзания, в котором учтены:

- температура замерзания текучей среды;
- распределение через теплообменник;
- недопустимое понижение температуры испаряющегося хладагента.

Примечание: Должны быть представлены предупреждения относительно действий, которые могут привести к повреждениям в результате замерзания, например, добавление или удаление хладагента в жидкой фазе из теплообменника, содержащего непроточную воду.

2) указание требований к специфическим свойствам текущей среды вторичного теплообменника для предотвращения коррозии, включая воду; в руководстве по монтажу изготовитель должен указать качество воды, которое необходимо для данного теплообменника. В случае применения соляного раствора, в руководстве по монтажу изготовитель должен указать вид соляного раствора и допустимые пределы его концентрации, которые можно использовать для данного теплообменника.

Прибор, теплообменники которого могут быть повреждены в результате замерзания (тепловые насосы и чиллеры), испытывается

следующим образом:

• прибор работает в стабильных условиях, в этом случае следят за объемным расходом через испаритель;

• отключают циркуляционный насос;

• устройство защиты от замерзания должно отключить компрессор;

• через 1 минуту циркуляционный насос вновь включают в работу, компрессор также вновь включается в работу, эти действия повторяют 10 раз;

• после 10 повторов вышеуказанных действий объемный расход хладагента через испаритель должен быть не ниже, чем расход, измеренный вначале.

Прибор должен проходить испытания с минимальным расходом воды, при номинальном напряжении и частоте и при следующем температурном режиме:

• слив воды устанавливают чуть выше нижней отметки отключения устройств защиты против замерзания испарителя;

• значение на стороне конденсатора устанавливают таким образом, чтобы получить самую низкую температуру конденсации в пределах нормального рабочего диапазона;

• испытательное оборудование устанавливают таким образом, чтобы не было автоматической регулировки расхода воды на стороне испарителя;

• прибор должен непрерывно работать в течение 6-ти часов, в данный временной период не должно выполниться ни одно из следующих условий, указывающих на начало замерзания:

- расход воды на стороне испарителя не должен снизиться более чем на 5% по сравнению с первоначальным расходом;

- температура испарения не должна снизиться более чем на 2 ^{0}C;

- разность между температурой воды, входящей в испаритель и выходящей из испарителя, не должна снизиться более чем на 30%, по сравнению с первоначальной разностью температур.

• затем прибор испытывают с максимальным расходом воды при условиях, описанных выше.

7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВХА R-290

При использовании ВХА R-290, не допускается применение низкотемпературных припоев на основе свинца/олова.

Приборы с использованием ВХА R-290 должны иметь такую конструкцию, которая исключает возможность того, что просочившийся хладагент создаст опасность возгорания или взрыва, стекая в такие места прибора или застаиваясь в таких местах прибора, в которых установлены электротехнические детали, которые могут быть источником возгорания и которые должны функционировать при нормальных условиях эксплуатации, или в случае утечки хладагента. Считается, что утечка газа из отдельных компонентов с содержанием менее 0,5 г огнеопасного газа, таких как терморегуляторы, не создает опасных ситуаций.

Все электротехнические детали, которые могут служить источником возгорания и должны функционировать при нормальных условиях или в случае утечки хладагента, должны соответствовать одному из следующих условий:

• требованиям ГОСТ Р 52350.15 (разделы 9-15);

• не располагаться в месте скопления потенциально огнеопасной смеси или должны располагаться в корпусе. Корпус, в котором располагаются электротехнические детали, должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 523500.15, предъявляемым к корпусам, пригодным для использования при работе с газами группы IIA или с применяемым хладагентом.

Температура поверхности, на которое может произойти утечка R-290, не должна превышать 370 ^{0}С.

При использовании ВХА R-290 все приборы должны заправляться хладагентом на месте изготовления или на месте установки, как рекомендовано заводом-изготовителем. Часть прибора, заправляемая на месте установки, которая требует пайки или сварки при установке, не должна поставляться уже заправленной R-290. Выполняемые в процессе установки соединения частей охлаждающей системы, хотя бы одна часть которой заправлена, должны выполняться следующим образом:

• паяные, сварные или механические соединения должны быть выполнены до открытия клапанов, обеспечивающих перетекание хладагента между частями холодильной системы;

• не допускается использование внутри помещений механических соединений многоразового применения и конических соединений;

• трубопровод хладагента должен быть защищен или находиться в корпусе для предотвращения повреждений;

• гибкие соединительные элементы хладагента (линии между внутренним и внешним блоками), которые могут быть смещены при нормальной эксплуатации, должны быть защищены от механических повреждений.

7.1 Маркировка и инструкции

Символ пламени и символ прочтения руководства пользователя должны быть видны в случае применения ВХА (R-290) в следующих случаях:

• при доступе к частям, которые подвергаются обслуживанию и ремонту;

• при осмотре прибора при его продаже или после его установки;

• при осмотре упаковки прибора, если прибор заполнен хладагентом.

При использовании ВХА R-290 - символы необходимости ознакомления с руководством для пользователя, руководством по ремонту и руководством по монтажу должны быть нанесены на прибор в месте, хорошо видимом и заметном для лиц, которым необходимо знать эту информацию. Высота символа должна быть не менее 10 мм.

Дополнительный предупреждающий символ пламени должен быть нанесен на заводскую табличку прибора рядом с указанием типа хладагента и информации о зарядке. Высота символа должна быть не менее 10 мм. Символ не обязательно должен быть цветным.

При использовании ВХА R-290 на прибор должна быть также нанесена следующая предупредительная надпись:

Внимание!

Прибор следует устанавливать, эксплуатировать и хранить в помещении площадью более «X» м^2 (применяют только для приборов, за исключением закрепленных приборов).

Для приборов, не являющихся закрепленными приборами, минимальный размер помещения «X» должен быть указан на приборе. Значение «X» в маркировке должно определяться в квадратных ме-

трах для невентилируемых помещений. Если маркировка типа хладагента не видна при осуществлении доступа к сервисному входу, то сервисный вход должен иметь соответствующую маркировку - символ пламени, без соблюдения цвета.

При использовании ВХА R-290 на прибор наносят не удаляемую маркировку символа пламени и маркировку символа необходимости ознакомления с руководством для пользователя, включая его цвет и форму. Высота треугольника, содержащего символ пламени должна быть не менее 30 мм.

7.2 Меры безопасности при обслуживании холодильных установок и кондиционеров, заправленных R-290

7.2.1 Общие сведения

Для приборов с использованием ВХА R-290 должны быть представлены отдельные или комбинированные руководства по монтажу, обслуживанию и эксплуатации, включающие информацию:

• о символе пламени и о предупредительной маркировке, которые должны быть представлены следующим образом:

Внимание!

• не применяйте никаких методов ускорения процесса размораживания или чистки, кроме тех, которые рекомендованы изготовителем;

• не протыкать и не поджигать испаритель

Прибор должен храниться в помещении без постоянно работающих источников возгорания (например, таких как открытое пламя, работающий газовый прибор или работающий электрический нагреватель).

Необходимо помнить, что пропан не имеет запаха.

Прибор должен устанавливаться, эксплуатироваться и храниться в помещении площадью более «X» м^2 (должна быть указана конкретная цифра).

7.2.2 Сведения, приведенные в руководстве

Применительно к прибору в руководстве должна быть указана следующая информация:

• сведения, касающиеся мест, в которых допускается размещение трубопроводов, содержащих ВХА, включая следующие указания:

- о том, что трубопроводы должны монтироваться в минимальных количествах;

- о том, что трубопроводы должны быть защищены от физических повреждений и не должны устанавливаться в невентилируемом помещении, если размер помещения меньше указанной площади помещения для эксплуатации;

- о недопустимости размещения внутри помещений механических соединителей многоразового применения, а также о том, что все соединения должны быть доступны для техобслуживания;

- о том, что минимальная площадь помещения должна быть указана в виде таблицы или числа, без ссылки на формулу

• максимальный объем заправки хладагента (M);

• минимальный нормированный воздушный поток, если это требуется;

• сведения об обращении с прибором, о его установке, чистке, обслуживании и удалении хладагента;

• минимальная площадь помещения или особые требования к помещению, в котором допускается размещение прибора, за исключением случаев, когда количество заправленного R-290 меньше или равно 152 г, предупреждение о недопустимости наличия преград перед вентиляционными отверстиями;

• предупреждение о том, что обслуживание должно выполняться в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Руководство должно содержать указание о том, что невентилируемая зона, в которой установлен прибор с использованием ВХА, должна быть устроена таким образом, чтобы в случае утечки хладагента, он не застаивался, создавая опасность возгорания или взрыва. Данное указание должно включать следующее:

• предупреждение о том, что прибор должен храниться в хорошо вентилируемом месте, в котором площадь помещения соответствует площади помещения, указанной для эксплуатации;

• прибор должен храниться таким образом, чтобы предотвратить появление механических повреждений

Руководство должно содержать следующие конкретные сведения о полномочиях квалифицированного обслуживающего персонала:

• любое лицо, выполняющее работы с контуром хладагента или осуществляющее его вскрытие, должно иметь действительное удостоверение, выданное уполномоченным аттестационным органом,

которое подтверждает компетенцию такого лица по безопасной работе с ВХА, в соответствии с требованиями к аттестации, принятыми в промышленности;

• обслуживание должно выполняться только в соответствии с рекомендациями изготовителя. Техобслуживание и ремонт, которые требуют помощи со стороны другого квалифицированного персонала, должны выполняться под руководством лица, имеющего право на работу с огнеопасными хладагентами.

7.2.3 Сведения по обслуживанию

Руководство должно содержать конкретные сведения, касающиеся обязанностей обслуживающего персонала, включая указания о необходимости принятия соответствующих мер при обслуживании прибора, работающего с использованием огнеопасного хладагента.

Проверка места проведения работ

До начала проведения работ с системами, содержащими огнеопасные хладагенты, необходимо выполнить проверку безопасности, чтобы свести до минимума любые риски возгорания. Для ремонта холодильной системы, до начала работы с холодильной системой, должны быть приняты соответствующие меры предосторожности.

Порядок действий при работе

Работы должны выполняться в соответствии с контролируемым порядком действий, чтобы во время выполнения работ свести до минимума риск присутствия огнеопасных газов или паров.

Место проведения работ

Весь обслуживающий и прочий персонал, находящийся в месте проведения работ, должен быть проинструктирован о характере выполняемых работ. Необходимо избегать работы в ограниченных пространствах. Место проведения работ должно быть отделено. Необходимо обеспечить безопасные условия на месте проведения работ посредством контроля присутствия легковоспламеняющихся материалов.

Проверка присутствия хладагента

До начала работ и во время выполнения работ необходимо проверять с помощью соответствующего детектора хладагента место проведения работ. Требуется, чтобы специалист, выполняющий работы, был осведомлен о потенциально огнеопасной атмосфере, в случае присутствия хладагента. Необходимо обеспечить, чтобы обо-

рудование, используемое для обнаружения утечек, было пригодным для работы с огнеопасным хладагентом, т.е. оно должно быть безискровым, с достаточной степенью герметичности или конструктивно искробезопасным.

Наличие огнетушителя

В случае выполнения любых огневых работ на холодильном оборудовании или на сопряженных узлах, необходимо иметь под рукой соответствующие средства для тушения огня. Рядом с местом заправки хладагентом должен находиться порошковый или углекислотный огнетушитель.

Отсутствие источников возгорания

Лица, выполняющие работы, связанные с холодильной системой, касающиеся открытия любых частей этой системы, которые содержат или не содержат огнеопасный хладагент, не должны использовать никакие источники возгорания таким образом, который бы мог создать опасность пожара или взрыва. Все возможные источники возгорания, включая курение сигарет, должны находиться на достаточном отдалении от места проведения работ.

Вентилируемая зона

До вскрытия холодильной системы или перед выполнением огневых работ необходимо обеспечить, чтобы место работ было открытым или в достаточной степени провентилированным. Определенный уровень вентиляции должен поддерживаться в течение выполнения работ. Вентиляция должна безопасным образом рассеивать хладагент в случае его утечки. Желательно, чтобы хладагент выводился наружу в атмосферу.

7.2.4 Проверки холодильного оборудования

К холодильным установкам, работающим с использованием ВХА, применяются следующие виды проверок на:

- соответствие количества хладагента размеру помещения, в котором установлены части, содержащие хладагент;
- правильность функционирования вентиляционного оборудования и вентиляционных отверстий, а также отсутствие перекрывающих их препятствий;
- наличие хладагента во вторичном контуре при использовании контура с промежуточным хладоносителем;
- видимость и читаемость маркировки оборудования, нечитае-

мые надписи и знаки должны быть исправлены;

• качество монтажа и укладки холодильных трубопроводов;

• исключение попадания на холодильное оборудование веществ, вызывающих коррозию или должную защиту их от коррозии.

7.2.5 Проверки электротехнических устройств

Заменяемые электротехнические детали должны соответствовать своему предназначению и надлежащим техническим условиям. Следование указаниям завода-изготовителя, касающимся технического обеспечения и обслуживания, всегда является обязательным. Если имеются какие-либо сомнения, то следует обратиться за помощью в технический отдел завода-изготовителя.

Ремонт и техобслуживание электротехнических компонентов должны включать первоначальные проверки безопасности и процедуры осмотра компонентов. В случае наличия неисправности, которая может негативно повлиять на безопасность, не допускается подключение устройства к цепи электропитания до устранения этой неисправности. О любой неисправности необходимо уведомлять собственника оборудования, чтобы все стороны были надлежащим образом осведомлены.

Первоначальные проверки включают следующее:

• проверку разряда конденсаторов, разряд должен выполняться безопасным способом, исключающим возможность искрообразования;

• проверку отсутствия открытых электротехнических деталей и проводки, находящейся под напряжением, во время проведения любых работ с оборудованием;

• проверку целостности контура заземления.

Ремонт герметизированных компонентов

При ремонте герметизированных компонентов, до снятия любых крышек с ремонтируемого оборудования, должны быть отключены все источники электропитания. В случае абсолютной необходимости подачи электропитания на оборудование во время техобслуживания в наиболее опасном месте необходимо установить постоянно функционирующее средство обнаружения утечек, чтобы обеспечить своевременное оповещение о потенциально опасной ситуации. Необходимо обеспечить правильную установку прибора.

Особое внимание необходимо обращать на факторы, которые

могут повлиять на уровень защиты, такие как повреждение кабелей, чрезмерное количество соединений и качество их выполнения, повреждения уплотнений, неправильную установку сальников и т.д.

Необходимо убедиться в том, что состояние уплотнений или изоляционных материалов не ухудшилось до такой степени, при которой они уже не могут предотвратить проникновение огнеопасной атмосферы. Заменяемые детали должны соответствовать спецификации изготовителя.

Ремонт конструктивно искробезопасных компонентов

Прежде, чем подать в цепь какие-либо постоянные индуктивные или емкостные нагрузки, необходимо обеспечить, чтобы они не привели к превышению допустимых значений напряжения и силы тока, предписанных для используемого оборудования.

Конструктивно искробезопасные компоненты являются единственным видом оборудования, с которым можно работать под напряжением в присутствии огнеопасной атмосферы. Испытательная аппаратура должна быть соответствующего класса.

Замену компонентов проводят только на детали, указанные изготовителем. Использование других деталей может привести к возгоранию хладагента в атмосфере в случае его утечки.

Кабельная разводка

Необходимо проверить, чтобы кабельная разводка не подвергалась износу, коррозии, чрезмерному давлению, воздействию острых углов или другим вредным воздействиям в месте установки. При выполнении этой проверки необходимо также принимать во внимание эффекты старения материала и постоянной вибрации от таких источников, как компрессоры и вентиляторы.

7.2.6 Методы обнаружения утечек

При поиске или выявлении утечек хладагента не допускается применение потенциальных источников возгорания. Запрещается использование галоидных течеискателей и любых других средств обнаружения с использованием открытого пламени.

Для обнаружения огнеопасных хладагентов используют электронные детекторы утечки *(рисунок 18).* Поверку детекторов необходимо выполнять в свободном от хладагента месте. Необходимо убедится, что детектор не является потенциальным источником возгорания и пригоден для использования с данным хладагентом.

Детектор утечки устанавливают на некоторое процентное отношение нижнего предела воспламеняемости хладагента и эталонируют для используемого хладагента с подтверждением соответствующего процента газа (максимум 25%).

А Б

Рисунок 18. Методы определения утечки хладагента

А - с помощью электронного течеискателя,

Б - с использованием мыльной пены.

Для использования подходят специальные жидкости для обнаружения утечек хладагента, но при этом следует избегать использования хлористых моющих средств, поскольку хлор может вступать в реакцию с хладагентом и вызывать коррозию медных труб.

В случае подозрения на утечку хладагента необходимо удалить или погасить все источники открытого пламени. В случае обнаружения утечки, для устранения которой требуется пайка, весь хладагент должен быть извлечён из системы, либо он должен быть изолирован в отдаленной от места утечки части системы. Затем проводят продувку холодильной системы азотом без примеси кислорода до начала и вовремя процесса пайки.

7.2.7 Удаление хладагента и вакуумирование

При вскрытии контура хладагента для выполнения ремонтных работ или для других целей следует применять общепринятые методы. Необходимо соблюдать следующую последовательность действий:

- удалить хладагент,
- выполнить продувку контура инертным газом;
- выполнить откачку;

• провести повторную продувку инертным газом;

• вскрыть контур резкой или пайкой.

Хладагент собирают в специальные баллоны. Систему продувают азотом без примеси кислорода. Может потребоваться повторение этого процесса в течении нескольких раз, чтобы обезопасить установку. Для выполнения этой задачи запрещается использовать сжатый воздух или кислород.

Для выполнения продувки вакуум в системе срывают азотом и продолжают заполнение системы до достижения рабочего давления, затем проводят выпуск азота в атмосферу и снижают давление до вакуума. Этот процесс повторяют до полного удаления хладагента из системы. При выполнении последней продувки азотом давление в системе снижают до атмосферного давления. Эта операция является абсолютно необходимой для выполнения работ по пайке трубопровода.

Необходимо обеспечить, чтобы вблизи выхода вакуумного насоса не имелось источников возгорания, а также обеспечить наличие вентиляции, или осуществлять выпуск газов из вакуумного насоса в наружную атмосферу.

7.2.8 Порядок заправки

В сочетании с общепринятыми методами заправки необходимо соблюдать следующие требования:

• обеспечить, чтобы при использовании заправочного оборудования не происходило загрязнение различных хладагентов. Шланги или линии должны быть как можно короче, чтобы свести до минимума количество содержащегося в них хладагента;

• баллоны должны использоваться только в вертикальном положении;

• до заправки холодильной системы хладагентом необходимо обеспечить ее заземление;

• после завершения заправки хладагентом необходимо прикрепить к системе ярлык (если это еще не было сделано);

• необходимо проявлять чрезвычайную осторожность, чтобы не переполнить холодильную систему хладагентом.

Перед заправкой системы необходимо выполнить ее опрессовку азотом. После завершения заправки хладагентом до запуска системы в эксплуатацию, ее испытывают на отсутствие утечки хладагента.

Еще одно дополнительное испытание на отсутствие утечки выполняют перед уходом с объекта.

7.2.9 Вывод из эксплуатации

Необходимо ознакомиться с оборудованием и всеми его частями. Рекомендуемой нормой является безопасный сбор всех хладагентов. До начала выполнения этой задачи необходимо взять пробу масла и хладагента на тот случай, если потребуется проведение анализа перед повторным использованием регенерированного хладагента. Необходимо обеспечить наличие электропитания до выполнения задачи. Необходимо ознакомиться с оборудованием и его работой. Необходимо также выполнить отключение электроцепей.

Перед началом выполнения процедуры вывода из эксплуатации необходимо обеспечить:

- наличие индивидуальных средств защиты и их правильное использование;
- постоянный надзор за процессом компетентным лицом;
- соответствие оборудования для сбора хладагента и баллонов применимым стандартам.

Далее, по возможности необходимо выполнить откачку хладагента из системы. Если создание вакуума во всей системе невозможно, то используют баллон (цилиндр) для удаления хладагента из различных частей системы.

Баллон устанавливают на весы до начала процесса сбора хладагента. Запускают опорожняющий агрегат и далее действуют в соответствии с указаниями изготовителя.

Не рекомендуется переполнять баллоны (не более 80% объема жидкости).

Нельзя превышать максимальное рабочее давление баллона, даже на кратковременный срок.

После завершения процесса откачки, необходимо обеспечить удаление баллонов с объекта и закрытие всех отсечных клапанов (вентилей) на оборудовании.

Собранный хладагент не должен заправляться в другую холодильную систему без очистки и проверки.

Прикрепление ярлыков

К оборудованию необходимо прикрепить ярлык с записью о том, что оно снято с эксплуатации и из него удален хладагент. На ярлыке

должны быть дата и подпись. Необходимо, чтобы на оборудовании имелись ярлыки с записью о том, что оборудование работало с использованием ВХА.

Сбор хладагента

При удалении хладагента из системы, при техобслуживании или его выводе из эксплуатации рекомендуется применение безопасных методов удаления всех хладагентов.

При заправке хладагента в сливные баллоны необходимо обеспечить использование только пригодных для этой цели баллонов. Необходимо обеспечить наличие нужного количества баллонов для вмещения всего заправочного объема системы. Необходимо использовать специальные баллоны для сбора хладагента. Использование одноразовых баллонов запрещается. В пустых сливных баллонах создают разрежение и, по возможности, их охлаждают перед началом процесса сбора хладагента.

Оборудование для сбора хладагента должно быть в хорошем состоянии и пригодным для сбора огнеопасного хладагента. Необходимо обеспечить наличие комплекта поверенных весов в хорошем состоянии. Шланги должны быть оснащены герметичными разъемными соединениями и должны быть в хорошем состоянии. Перед использованием опорожняющего агрегата необходимо убедиться в том, что он пригоден для работы, прошел необходимое техническое обслуживание, все сопутствующие электротехнические детали герметически закрыты для предотвращения возгорания в случае утечки хладагента. В сомнительных случаях необходимо проконсультироваться с изготовителем.

Не следует смешивать хладагенты в сливных установках, особенно в баллонах.

В случае удаления компрессоров или компрессорного масла необходимо обеспечить создания в них достаточного уровня разрежения, чтобы гарантировать, что в смазочном масле не останется огнеопасного хладагента. Перед возвратом компрессора поставщикам необходимо выполнить его вакуумирование. Для ускорения процесса вакуумирования можно применять только электрический нагрев корпуса компрессора. При сливе масла из системы необходимо соблюдать меры безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с существующими международными и европейскими стандартами должно обеспечиваться выполнение следующих требований:

1. Холодильное оборудование (бытовые холодильники, торговое холодильное оборудование и т. д.), с заправкой ВХА R-290 не более 150 г, может размещаться без дополнительных ограничений во всех помещениях, в которых могут устанавливаться и холодильные системы, заправленные не воспламеняющимся хладагентом.

2. Для всех помещений, за исключением помещений с ограниченным доступом (категории С), а также за исключением промежуточной системы охлаждения с размещением всех элементов холодильной системы в специальном машинном отделении или на открытом воздухе в охраняемых помещениях (категории В), максимальная заправка R-290 единичной холодильной системы определяется по формуле:

$$\mathbf{m_{max} = ППЧ \times V_{пом} = 0{,}008 \times V_{пом}, (кг)}$$

где, $V_{пом}$ - это объем помещения, ($м^3$)

3. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы, при ее установке ниже уровня пола, для всех категорий помещений и вариантов размещения элементов холодильной системы должна составлять **не более 1 кг**, при этом холодильная система должна быть только герметичной.

4. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы, устанавливаемой в общедоступных помещениях категории А должна составлять **не более 1,5 кг**, при этом холодильная система должна быть только герметичной.

5. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы с промежуточной системой охлаждения, с размещением всех элементов холодильной системы в специальном машинном отделении или на открытом воздухе в общедоступных помещениях категории А, должна составлять **не более 5 кг**.

6. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы, устанавливаемой в охраняемых помещениях категории В, должна составлять **не более 2,5 кг**.

7. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы с промежуточной системой охлаждения, с размещением всех элементов холодильной системы в специальном ма-

шинном отделении или на открытом воздухе в охраняемых помещениях категории В, должна составлять **не более 10 кг**.

8. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы, устанавливаемой в помещениях с ограниченным доступом категории С, должна составлять **не более 10 кг**.

9. Предельно допустимая величина заправки R-290 единичной холодильной системы, устанавливаемой в помещениях с ограниченным доступом категории С и вынесенным компрессором и жидкостным ресивером в машинное отделение или на открытый воздух, должна составлять **не более 25 кг**.

10. Величина заправки R-290 единичной холодильной системы промежуточной системы охлаждения с размещением всех элементов холодильной системы в специальном машинном отделении или на открытом воздухе в помещениях с ограниченным доступом категории С, **не ограничивается**.

11. Предельно допустимая величина заправки R-290 в герметичных системах кондиционирования воздуха и тепловых насосах заводского изготовления, используемых в целях комфортного жизнеобеспечения людей и устанавливаемых в невентилируемых помещениях, должна определяться по формуле:

$\boldsymbol{m_{max} = 0{,}042 \times h_0 \times A^{1/2}}$**, (кг)** если m больше 0,152 кг

где,

h_0 – высота монтажа оборудования (м, соответствующая высота и количество заправки указываются в инструкции производителя), в частности 0,6 м при размещении на полу; 1,0 м при монтаже на окне; 1,8 м при монтаже на стене; 2,2 м при монтаже на потолке.

А - площадь пола помещения.

12. Предельно допустимая величина заправки R-290 в герметичных системах кондиционирования воздуха и тепловых насосах в заводских упаковках, определяется с формулой $\boldsymbol{m_{max}}$ = 0,25 х НКПВ х Vпом, то максимальная заправка ограничена до 0,3 кг и не должна превышать 0,304 кг. Если размер запраки определяется по формуле, приведенной в (2) или (11) выше, то она не должна превышать значений, указанных (3) до (10).

13. Максимальная величина заправки R-290 холодильных систем, систем кондиционирования воздуха и тепловых насосов, устанавливаемых в общедоступных помещениях в зонах с механической вентиляцией, не должна превышать $\boldsymbol{m_{max} \leq 4{,}94}$ **кг** (m_{max} = 130 × НКПВ).

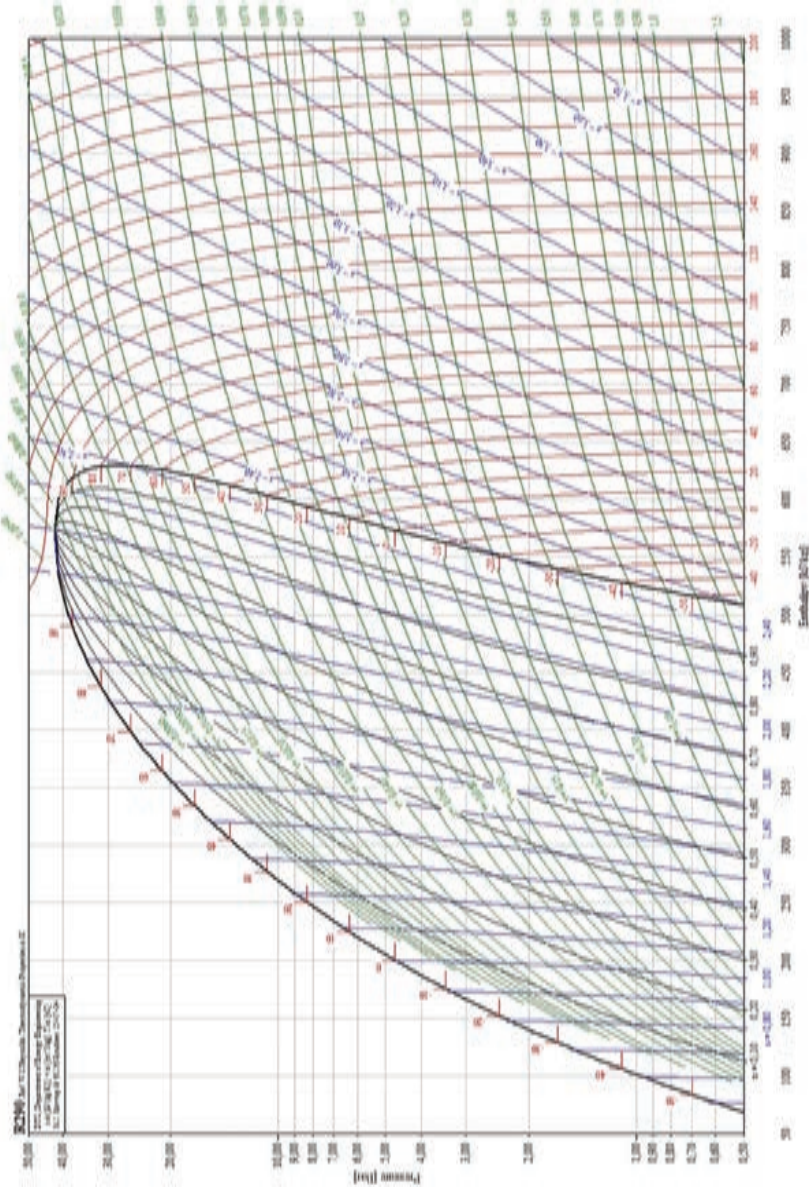


Рисунок 19. Диаграмма энтальпия-давление пропана (R-290)

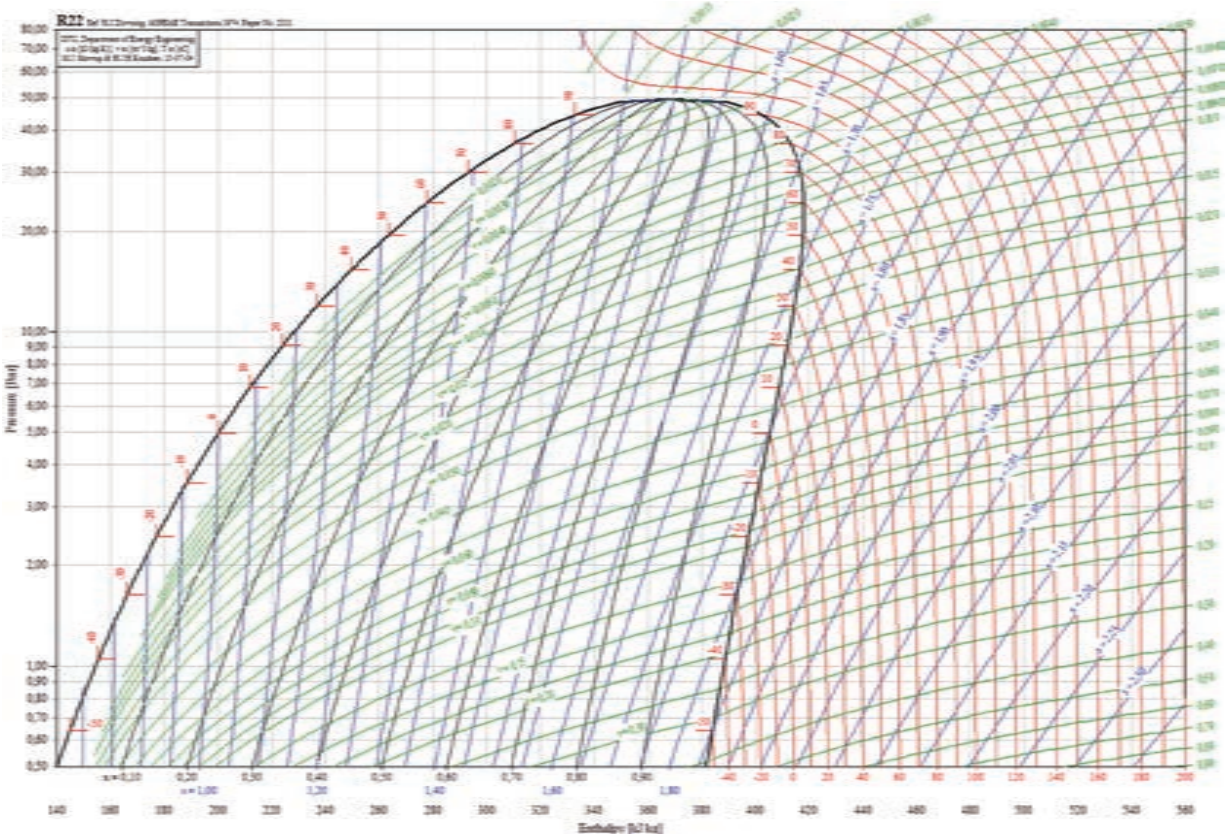


Рисунок 20. Диаграмма энтальпия-давление R-22

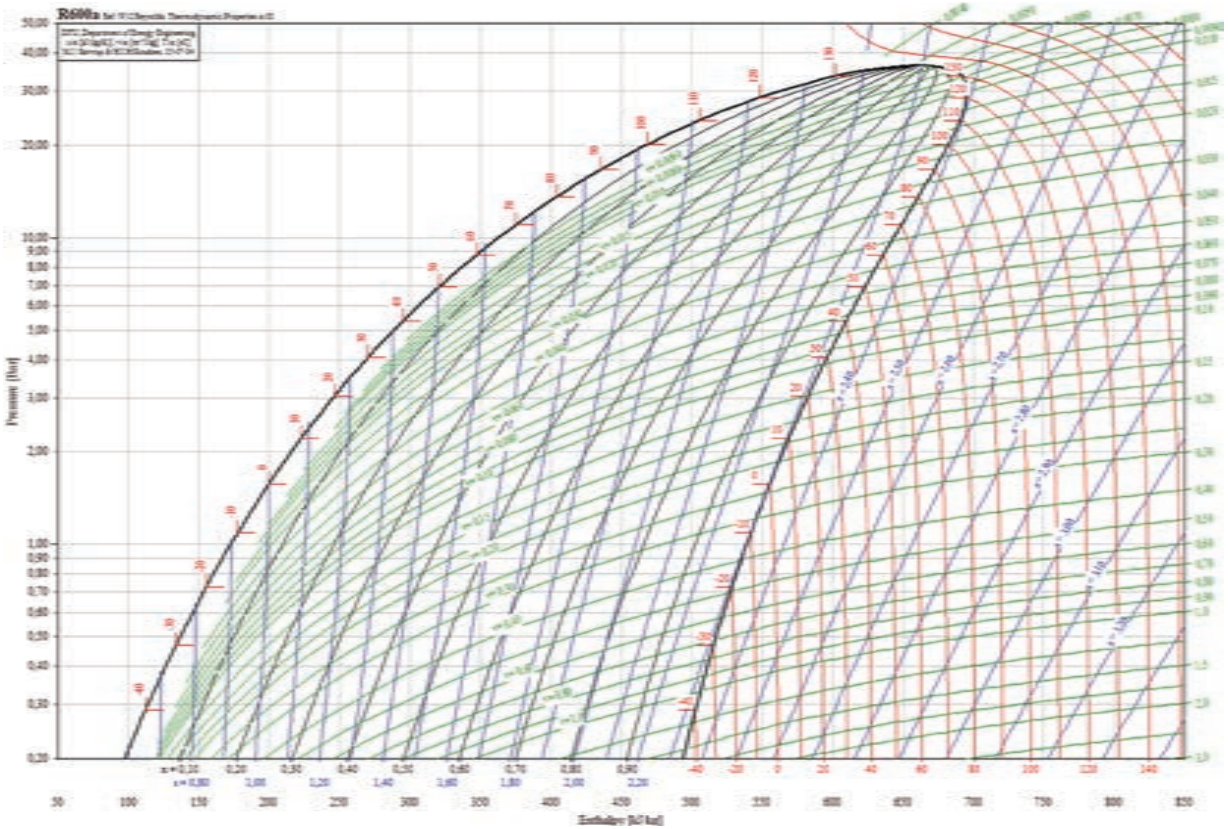


Рисунок 21. Диаграмма энтальпия-давление изобутана R-600a.

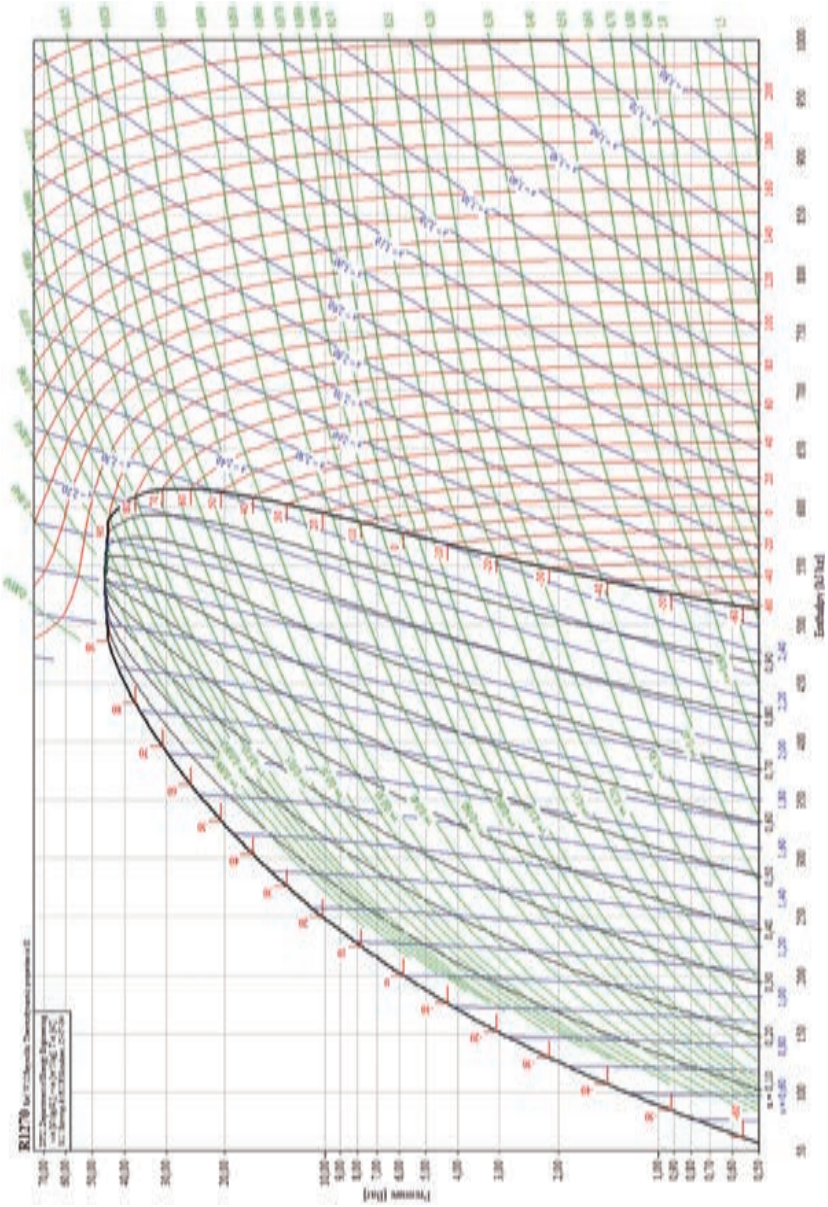


Рисунок 22. Диаграмма энтальпия-давление пропилена R-1270.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

1. Европейский опыт регулирования фторсодержащих газов. www.ozoneproram.ru

2. Natural Refrigerants.PROKLIMA international. Jose M.Corberain. Use of hydrocarbons of working fluids in heat pumps and refrigeration equipment. www.gts.de/proklima

3. Guidelines for the use of hydrocarbon refrigerants in static refrigeration and air-conditioning systems. (from ACRIB) . www. airned.ni

4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.2.233-2012 (идентичен ISO 5149-1993) Система стандартов безопасности труда «Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности»

5. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-24-2012. Безопасность бытовых и аналогичных приборов. Часть 2-34. «Частные требования к холодильным приборам мороженицам и устройствам для производства льда»

6. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-89-2013.Безопасность бытовых и аналогичных приборов. Часть 2-89. «Частные требования к торговому холодильному оборудованию со встроенным или дистанционным узлом конденсации хладагента или компрессором для предприятий общественного питания».

7. Межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60335-2-40 Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 2-40. «Дополнительные требования к электрическим тепловым насосам, воздушным кондиционерам и осушителям».

8. EN 378 «Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements».

9. O‘zDSt 1.7 1998 «Порядок применения международных и межгосударственных региональных и национальных стандартов и нормативных документов других стран».

Руководство по применению пропана
в качестве альтернативы ГХФУ 22
в холодильном оборудовании и в кондиционерах

Редактор: Д. Таирова

Лицензия AI №263 31.12.2014. Подписано в печать 10.04.2017.
Формат: 60x90 1/16. Гарнитура «Calibri». Печать офсетная.
Усл.п.л. ___. Уч.изд.л. ____.
Тираж 500 экз.

Издательство “Baktria press”
г. Ташкент, 100000, Буюк Ипак Йули мавзеси 15-25.
Тел/факс.: +998 (71) 233-23-84

Отпечатано в типографии MEGA BASIM

ISBN 978-9943-4815-8-9