

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.В. Кисс, А.А. Евдокимов

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АММИАЧНЫХ
ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Учебное пособие

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

УДК 621.565
ББК 31.392
К44

Кисс В.В., Евдокимов А.А. Обеспечение безопасности при проектировании аммиачных холодильных установок: Учеб. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 81 с.

Даны основные требования безопасности при проектировании аммиачных холодильных установок, а также характеристики альтернативных холодильных агентов, преимущества и недостатки аммиака. Рассмотрены варианты размещения аммиачного холодильного оборудования с учетом их взрыво- и пожароопасности, методы и средства автоматической защиты оборудования для предотвращения опасных ситуаций.

Предназначено для бакалавров очной и заочной форм обучения по направлениям 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения, 23.03.03. Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Рецензенты: кафедра холодильных установок СПб Университета ИТМО (зав. кафедрой доктор техн. наук, проф. А.В. Бараненко); кафедра безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого (зав. кафедрой кандидат техн. наук, доц. С.В. Ефремов)

Рекомендовано к печати советом факультета пищевых биотехнологий и инженерии, протокол № 2 от 28.10.2015 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2016

© Кисс В.В., Евдокимов А.А., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Осуществление различных технологических процессов при температурах ниже температуры окружающей среды связано с производством искусственного холода. Этих технологий становится все больше, и они находят все более широкое применение во многих отраслях народного хозяйства.

Остановимся на рассмотрении наиболее важных технологий по отраслям промышленности.

Холодильная технология пищевых продуктов охватывает:

- сельское хозяйство;
- перерабатывающую мясную и молочную промышленность;
- торговлю;
- транспорт (автомобильный, железнодорожный и водный);
- рыбодобывающую и рыбоперерабатывающую с рыбопромысловыми и перерабатывающими базами и судами.

В целях совершенствования холодильной технологии пищевых продуктов в РФ создана холодильная цепь, звенья которой предназначены для создания необходимых температурно-влажностных режимов для холодильной обработки, хранения, транспортирования и реализации пищевых продуктов.

Для обеспечения высокого качества и длительного сохранения скоропортящихся продуктов холодильные установки должны поддерживать необходимый температурный режим среды:

- для охлаждения: до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- замораживания: от -35 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- хранения продуктов в охлажденном виде $0... -2\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- хранения продуктов в замороженном состоянии от -20 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температурный режим транспортных рефрижераторов зависит от вида перевозимых продуктов и предварительного (для перевозки) процесса холодильной технологии – их охлаждения или замораживания.

Перерабатывающая промышленность и торговля являются крупными потребителями холода. С помощью холодильной технологии в этих отраслях обрабатывают не менее 50 млн т различных продуктов животного и растительного происхождения. Потребность в холоде непрерывно возрастает. Именно из-за недостаточного ис-

пользования искусственного холода в мире теряется в среднем 25–30 % произведенных пищевых продуктов.

Развивающейся отраслью промышленности является концентрирование соков, получение сухих порошков из концентрированных соков, а также продуктов с промежуточной влажностью с целью их хранения при обычных температурах, сублимационная сушка.

Холодильная цепь пищевой технологии используется в различных холодильных установках при одно- и двухступенчатом сжатии. Для осуществления технологии обработки холодом применяются как холодильники, так и различные морозильные аппараты.

В технологических процессах в нефтяной, газовой и химической промышленности используется искусственный холод в диапазоне умеренных температур (примерно до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В нефтяной промышленности искусственное охлаждение используют в технологических процессах, где применяют в основном системы непосредственного кипения холодильного агента в поверхностных аппаратах. Выбор холодильного агента определяется условиями работы предприятий. Чаще всего используют углеводороды, которые имеются в достаточном количестве на данном производстве. Они имеют высокую молекулярную массу, поэтому возможно их применение в холодильной установке центробежных компрессоров.

В газовой промышленности искусственный холод применяют при подготовке газа к транспортированию и при переработке нефтяных и природных газов газоконденсатных месторождений. При этом используют как внешние, так и внутренние холодильные циклы, в которых холод получают в процессе переработки газа (дресселирование жидкостей или расширение газа), а также комбинированные циклы. Температура транспортируемого газа от минус 5 до минус 25 $^{\circ}\text{C}$, давление 5,5 МПа. Потребность в холоде измеряется десятками тысяч киловатт и требует применения высокопроизводительного турбокомпрессорного оборудования с газовыми или паровыми приводами компрессоров. В холодильных установках используют аппараты воздушного охлаждения, а в качестве хладагента – углеводороды (этан, пропан), которые получают при переработке газов.

Одним из основных процессов, применяемых при переработке газа, является процесс низкомолекулярной конденсации, основанный на различии температур конденсации компонентов, входящих в состав газа. Низкотемпературная конденсация компонентов проходит

при разных температурах на одно-, двух- и трехступенчатых температурных уровнях, которые получают в соответствующих холодильных установках.

В химической промышленности (получение этилена, фармацевтических и биохимических препаратов, производство азота, синтетического каучука, хлора и др.) имеется множество систем холодообеспечения с различным типом холодильных машин, начиная с небольших поршневых компрессоров и кончая крупными центробежными агрегатами производительностью в несколько тысяч киловатт. Широко применяют абсорбционные установки, использующие теплоту технологических процессов, либо теплофикационные отборы ТЭЦ.

Азотное производство включает предприятия синтеза аммиака и некоторые производства азотной кислоты. Основная часть холода при производстве аммиака потребляется агрегатом синтеза для конденсации аммиака из азотисто-водородно-аммиачной смеси высокого давления при температурах кипения хладагента (от минус 10 до минус 12 °С), а также для конденсации аммиака при температурах кипения от –30 до –34 °С. Для производства аммиака применяют теплоиспользующие абсорбционные водоаммиачные машины и аммиачные центробежные компрессорные агрегаты. При производстве этилена используют искусственный холод температурных уровней от 6 до –100 °С. При этом применяют системы непосредственного кипения на холодильных агентах – этилене и пропилене (продуктах данного производства). Производство синтетического каучука основано на полимеризации непредельных углеводородов – мономеров, для чего требуется искусственный холод на температурном уровне от 7 до –40 °С. Вторая стадия технологии получения каучука проводится при –100 °С.

Хлор выделяется из газовой смеси в результате фракционной конденсации, где применяют абсорбционные водоаммиачные холодильные установки с температурой кипения –45 °С или фреоновые установки с температурным режимом 5, –20, –65 °С, оборудованные центробежными компрессорными машинами.

Крупным потребителем холода в химической промышленности является производство химических волокон, изготовленных из различных видов синтетических полимеров. В данной отрасли применяют только системы охлаждения с промежуточным хладоносителем.

лем с температурным уровнем от 20 до -10 °С. Потребность в холоде крупных комбинатов достигает 35–58 МВт.

Технологические процессы в производстве химико-фармацевтических препаратов, витаминов и антибиотиков сопровождаются потреблением искусственного холода на температурном уровне от минус 10 до минус 15 °С.

При получении белково-витаминных концентратов путем синтеза смеси жидких парафинов нефти и минеральных солей со специальной культурой дрожжей потребность в холоде весьма значительна: 1 т продуцента в производстве белково-витаминных концентратов выделяет 16 ГДж теплоты, производство лизина – до 54,5 ГДж. При современной мощности заводов потребность в холоде измеряется десятками тысяч киловатт.

Холод применяется при термической обработке сталей, стабилизации и восстановлении размеров деталей, запрессовке для создания неподвижных посадок, для охлаждения ванн анодирования, старения алюминиевых сплавов, осушке сжатого воздуха, гибки труб с замороженной в них водой, в установках кондиционирования воздуха.

Температурные режимы перечисленных холодильных технологий обработки металлов находятся в пределах от -30 до -120 °С. В верхнем интервале можно использовать серийно выпускаемые парокompрессионные машины двухступенчатого сжатия (до -60 °С) и каскадные машины (до -80 °С). Возможно снижение температурного уровня до -120 °С, если применить смеси холодильных агентов.

В строительной технологии применяют искусственный и естественный холод для замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений (шахт, туннелей, хранилищ сжиженного газа), для создания противofильтрационных завес в плотинах мерзлого типа и других гидротехнических сооружениях, а также для укрепления грунтов у основания зданий, нефте- и газопроводов, при охлаждении массивных бетонных сооружений (массивных плотин и т. п.).

1. ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГЕНТЫ

Холодильный агент (хладагент) – рабочее вещество холодильной машины, которое при кипении или в процессе расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде (воде, воздуху и т. п.). К хладагентам предъявляется ряд требований: они должны иметь низкую температуру кипения при давлениях выше атмосферного (во избежание подсоса воздуха), умеренные давление и температуру конденсации, низкую температуру затвердевания и высокую критическую температуру, большую теплоту парообразования при малых удельных объёмах паров, малую теплоёмкость и высокую теплопроводность. Кроме того, желательно, чтобы хладагенты были взрывобезопасными, нетоксичными, негорючими, нейтральными к конструкционным материалам, инертными к смазке и т. д. В зависимости от температуры кипения при атмосферном давлении холодильные агенты подразделяют на 3 группы: высокотемпературные (выше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), умеренные (ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) и низкотемпературные (ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Основными холодильными агентами являются аммиак, фреоны (хладоны) и некоторые углеводороды. Аммиак относится к группе умеренных холодильных агентов. Достоинствами аммиака являются его низкая стоимость и высокие теплофизические показатели. К недостаткам относятся токсичность, взрывоопасность. Аммиак также разрушительно воздействует на медь и её сплавы. Фреоны в большинстве случаев безвредны и негорючи; насчитывается свыше 50 различных фреонов и их смесей, применяемых во всех температурных группах. Наиболее распространены фреон-12, фреон-22 (относятся к умеренным хладагентам) и фреон-13 (низкотемпературный х. а.). Углеводороды (этан, пропан, этилен) имеют низкую температуру замерзания, но взрывоопасны. Они применяются в крупных и средних холодильных установках в нефтехимической и газовой промышленности. В парожетонных и работающих на водном растворе бромистого лития (бромисто-литиевых) абсорбционных холодильных машинах холодильным агентом служит вода. В холодильно-газовых машинах в качестве хладагентов в основном используются такие газы, как гелий, водород, азот, воздух.

1.1. Замена хладагентов в действующем оборудовании

Развитие холодильной техники в настоящее время находится под влиянием трех определяемых экологическими проблемами взаимосвязанных факторов:

1) требований Монреальского протокола о прекращении потребления веществ, разрушающих озоновый слой (в первую очередь широко распространенного хладагента R12) и о временном и количественном ограничении применения веществ переходной группы, имеющих малый потенциал разрушения озонового слоя (ODP);

2) требования Киотского протокола к «Рамочной конвенции ООН об изменении климата» о регулировании эмиссии парниковых газов (веществ, имеющих высокий потенциал глобального потепления – GWP), к которым относятся широко применяемый хладагент R134a и многие другие вещества, используемые в холодильной технике;

3) традиционного требования к повышению энергоэффективности всех видов холодильной техники, что обусловлено растущей конкуренцией на отечественном рынке и положениями определенных законов «Об энергоэффективности» и требованиями стандартов об обязательном определении и информировании потребителей о классе энергоэффективности холодильных установок.

Анализируя наиболее известные, разработанные в различное время в нашей стране и за рубежом хладагенты – заменители R12, R 22, R 502 и другие, – можно убедиться, что у каждого из них имеются уязвимые места с точки зрения выполнения перечисленных требований. Поэтому в перспективе все они могут оказаться объектами разного рода экологического регулирования, которое в конечном итоге сведется к запретам их производства и потребления.

Кроме того, для осознанного применения альтернативных веществ в производстве новой техники и сервисе эксплуатируемого парка холодильного оборудования необходимо иметь достаточно большой объем информации о термодинамических свойствах этих веществ, их взаимодействии с другими материалами и веществами в холодильной машине, а также данные о санитарно-гигиенических свойствах и т. д. Эти сведения не всегда имеются для предлагаемых на рынке веществ, в том числе и отечественных.

Немаловажными факторами успешного внедрения новых хладагентов являются также отечественное производство как самих веществ, так и предназначенных для работы на них компрессоров, и возможность экспорта холодильной техники, работающей на таких веществах.

Прежде чем рассматривать свойства хладагентов, остановимся на основных требованиях, предъявляемых к ним. Требования к хладагентам подразделяются на следующие группы:

- экологические: озонобезопасность (ODP), низкий потенциал глобального потепления (GWP), негорючесть и нетоксичность;

- термодинамические: большая объемная холодопроизводительность; низкая температура кипения при атмосферном давлении; невысокое давление конденсации; хорошая теплопроводность; малые плотность и вязкость хладагента, обеспечивающие сокращение гидравлических потерь на трение и местные сопротивления при его транспортировке; максимальная приближенность к заменяемым хладагентам (для альтернативных озонобезопасных хладагентов) по давлениям, температурам, удельной объемной холодопроизводительности и холодильному коэффициенту;

- эксплуатационные: термохимическая стабильность, химическая совместимость с материалами и холодильными маслами, достаточная взаимная растворимость с маслом для обеспечения его циркуляции, технологичность применения; негорючесть и невзрывоопасность; способность растворять в воде, незначительная текучесть; наличие запаха, цвет и т. д.;

- экономические: наличие товарного производства, доступные (низкие) цены.

Хладагенты, отвечающие перечисленным требованиям, найти практически невозможно, поэтому в каждом отдельном случае выбирают хладагент с учетом конкретных условий работы холодильной машины, и предпочтение следует отдавать таким, которые удовлетворяют принципиальным и определяющим требованиям.

Альтернативными веществами могут быть чистые (простые) вещества и смеси. Предпочтение отдается прежде всего чистым веществам.

Обозначения хладагентов

Стандартом допускается несколько обозначений хладагентов: условное (символическое), торговое (марка), химическое и химическая формула.

Условное обозначение хладагентов является предпочтительным и состоит из буквы "R" или слова Refrigerant (хладагент) и комбинации цифр. Например, хладон-12 имеет обозначение R12 (CF₂C12). Цифры расшифровывают в зависимости от химической формулы хладагента. Первая цифра (1) указывает на метановый ряд, следующая цифра (2) соответствует числу атомов фтора в соединении. В том случае, когда в производных метана водород вытеснен не полностью, к первой цифре добавляют количество оставшихся в соединении атомов водорода, например R22.

Для этанового ряда вначале записывают комбинацию цифр: индекс, равный 11, для пропанового – 21, для бутанового – 31. Для этих производных ко второй цифре добавляют число атомов водорода, если они есть, например трифтортрихлорэтан C₂F₂C13 – R113.

В случае, если в составе соединения имеется бром, в его обозначении появляется буква "B", за которой следует число атомов брома, например R13B1 – трифторбромметан, химическая формула CF₃Br.

Изомеры производных этана имеют одну и ту же комбинацию цифр (цифровой индекс), и то, что данный изомер является полностью симметричным, отражается его цифровым индексом без каких-либо уточнений. По мере возрастания значительной асимметрии к цифровому индексу соответствующего изомера добавляют букву "a", при большей асимметрии ее заменяют буквой "b", затем "c", например R134a, R142b и т. д.

Способ цифрового обозначения непредельных углеводородов и их галогенопроизводных аналогичен рассмотренному выше, но к цифрам, расположенным после буквы "R", слева добавляют 1 для обозначения тысяч (например, R1150).

Для хладагентов на основе циклических углеводородов и их производных после буквы "R" перед цифровым индексом вставляют букву "C" (например, RC270).

Хладагенты неорганического происхождения имеют номера, соответствующие их относительной молекулярной массе, плюс 700.

Например, аммиак, химическая формула которого NH_3 , обозначают как R717, воду (H_2O) – как R718.

Хладагентам органического происхождения присвоена серия 600, а номер каждого хладагента внутри этой серии назначают произвольно (например, метиламин имеет номер 30, следовательно, его обозначение запишется как R630).

Зеотропным или незеотропным смесям присвоена серия 400 с произвольным номером для каждого хладагента внутри этой серии, например R401A.

Хладагенты на основе предельных углеводородов, содержащих бром, имеют двойное обозначение. Это обозначение имеет в своем составе букву "B", например R13B1, или букву "H", за которой следуют цифры 1 и 3, но далее к ним добавляют еще две цифры, первая из которых указывает на число атомов хлора, вторая – на число атомов брома. Например, трифторбромметан (CF_3Br), у которого число атомов хлора равно 0, а атомов брома – 1, может обозначаться либо R13B1, либо H1301.

В настоящее время появилась тенденция при обозначении хладагентов предварять цифровой индекс не буквой "R" или "H", а аббревиатурой, указывающей непосредственно на группу, к которой относят хладагент, в зависимости от степени воздействия его на окружающую среду. Например, предлагаются обозначения:

CFC12 для хладагента R12, принадлежащего к группе CFC (ХФУ), в которую входят хладагенты, вредные для окружающей среды;

HCFC125 для хладагента R125, относящегося к группе HCFC (ГХФУ), состоящей из хладагентов, менее вредных для окружающей среды;

HFC134a для хладагента R134a, входящего в группу HFC (ГФУ), состоящую из хладагентов, безвредных для окружающей среды.

Каждая фирма – производитель хладагентов выпускает в продажу свою продукцию под собственным наименованием.

Большая политика и амбиции мировых монополистов во многом определяют судьбу таких, на первый взгляд, далеких от конечного потребителя продуктов, как хладагенты.

Казалось бы, свойства тех или иных холодильных агентов, или, как их называют по привычке, фреонов, должны интересовать только узкий круг специалистов, занимающихся холодильной техникой. С одной стороны, так и есть. Однако поистине гигантский рынок

холодильного оборудования, требующий ежегодного производства около 100 тыс. т хладонов, приковывает к этой отрасли алчные взгляды крупнейших химических концернов, способных лоббировать свои интересы на уровне национальных правительств даже самых развитых стран. Рядовой потребитель холодильной техники вряд ли будет интересоваться химическим составом начинки своей покупки. Однако если подобная халатность и простительна для частного покупателя бытового холодильника, то для владельца торгового предприятия оборудование с «неправильным» хладоном может оказаться домокловым мечом. Все соглашаются, что холодильные агенты должны обладать высокой надежностью и холодопроизводительностью, низкой ценой, малым энергопотреблением, а также быть безопасными и соответствовать санитарным нормам. Кажется, что оценка перечисленных свойств и должна быть определяющей при выборе хладона, но не тут-то было. С 1989 г. основным критерием, стоящим выше и медицинских норм, и цены, стало отношение хладона к такой на первый взгляд далекой от холодильной тематики проблемы, как озоновый слой над нашей планетой.

1.2. Монреальский протокол

Первым международным документом, ставящим проблему сохранения озонового слоя Земли, была Венская конвенция 1985 года. Этот документ по своей сути носил декларативный характер. Подписавшие его государства не брали на себя никаких обязательств; были лишь очерчены контуры общечеловеческой проблемы, которую следовало как можно быстрее решить. Однако прошло чуть более двух лет, и в 1987 г. международное сообщество приняло куда более жесткий документ, получивший название Монреальского протокола. Согласно его положениям, основными виновниками разрушения озонового слоя объявлялись атомы хлора или брома, которые отделились от молекул химических соединений, синтезированных человеком. Основная вина отводилась хлорфторуглеродам, используемым в качестве распылителей в аэрозолях, и хладагентам, в том числе неизвестному R12, которым в те времена было заправлено подавляющее большинство холодильных машин и кондиционеров. Несмотря на протесты немногочисленных групп авторитетных ученых, указывающих на недостаточную научную обоснованность положе-

ний предстоящего договора, Монреальский протокол был принят, а группа химиков, подготовившая научную базу под этот запрет, была удостоена Нобелевской премии. До сих пор некоторые исследователи выражают большие сомнения по поводу целесообразности принятия запрета хлорфторуглеродов. Самые жесткие критики объявляют протокол грандиозной аферой, инициированной группой химических концернов с целью монополизировать рынок и вытеснить национальных производителей, более умеренные говорят о спорности некоторых положений и призывают к корректировке протокола с учетом времени. Конечно, глупо было бы отрицать, что альянс Du Pont – ICI, обладающий фактической монополией на производство оборудования для синтеза хладона R-134a, который в период подписания Монреальского протокола позиционировался как единственная достойная альтернатива озоноразрушающим веществам, получил небывалую прибыль после введения законодательных ограничений на R12. Однако если даже это было бы и так, то Du Pont наступил на собственные грабли: развязанная экологическая охота за вредными веществами обернулась и против R-134a (сегодня мы можем наблюдать, как Европейское сообщество вводит все более жесткие дискриминационные законы против этого хладона). Одна из трагедий последних лет состоит в том, что политика все больше проникает в ранее не свойственные ей сферы, в том числе и технику. Так, подписание Монреальского протокола сопровождалось массовой и агрессивной PR-кампанией. Любые сомневающиеся голоса замалчивались. Проблемы глобальных изменений в связи с появлением озоновой дыры стали предметом политических спекуляций. Политики устанавливали сроки постепенного вывода из производства хлад-агентов, а озоновый слой над Антарктидой пришел тем временем опять в свое нормальное состояние. По сути, Монреальский протокол утратил предмет своего обсуждения. Заметим, что сегодня похожая ситуация складывается и с Киотским протоколом, посвященным вопросам глобального потепления на планете. Из стран-участниц этого договора пока только США официально объявили о выходе из него в связи с недостаточной научной обоснованностью отдельных положений. Монреальский же протокол за время своего существования обогатился целым рядом поправок (Лондонская, 1990 г., Копенгагенская, 1992 г., и др.), ужесточающих условия вывода из производства и потребления озоноразрушающих веществ.

По степени разрушающей активности озонового слоя Земли галоидопроизводные углеводороды разделены на 3 группы:

1. *Хлорфторуглероды ХФУ (CFC)*. Обладают высокой озоно-разрушающей активностью. Хладагенты этого типа включают: R11, R12, R13, R113, R114, R115, R500, R502, R503, R12B1, R13B1.

2. *Гидрохлорфторуглероды ГХФУ (HCFC)*. Это хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью. К ним относятся: R21, R22, R141b, R142b, R123, R124.

3. *Гидрофторуглероды ГФУ (HFC)*, фторуглероды ФУ (FC), углеводороды (HC). Не содержащие хлора хладагенты считаются полностью озонобезопасными. Таковыми являются хладагенты R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и др.

1.3. Преимущества и недостатки аммиака

Хладагент R717. Химическая формула NH_3 (аммиак). Относится к группе ГФУ (HFC). Из «натуральных» хладагентов R717 стоит на одном из первых мест в качестве альтернативы R22 и R502. Производство аммиака в мире достигает 150 млн т, и лишь малая его часть (до 5 %) используется в холодильной технике.

Впервые аммиак был использован в компрессионной установке Дэвидом Бойлем в 1872 г. в США. В 1876 г. Карл фон Линде построил компрессионную холодильную машину для пивоваренного завода в Триесте. Первоначально в качестве хладагента он предполагал использовать эфир, но тот взорвался прямо в лаборатории. Аммиак оказался более безопасным и с тех пор, благодаря уникальным термодинамическим свойствам, а также тому, что холодильные установки с его использованием оказались столь же эффективны, сколь и рентабельны, является доминирующим хладагентом в системах промышленного назначения.

Аммиак – единственный хладагент с характерным неприятным запахом, ассоциирующимся у людей с чувством страха. На первый взгляд, это достаточно веская причина, чтобы отказаться от его использования. Однако другого хладагента с такой энергетической эффективностью не существует. Вот почему изобретение технологии производства синтетического аммиака было признано одним из наиболее выдающихся достижений последнего столетия и отмечено Нобелевской премией.

А запах на самом деле – это скорее преимущество, поскольку даже самые малые утечки могут быть немедленно обнаружены и устранены.

1.4. Статистика аварий (несчастных случаев), связанных с использованием аммиака

Специальная литература по аммиачным холодильным системам существует уже более 100 лет. Однако есть немало оснований полагать, что многие факты все еще не нашли в ней отражения. Потребность в подробной документации по использованию аммиака в качестве хладагента очевидна.

Количество аварий, связанных с утечкой аммиака, по отношению к общему количеству систем невелико. Все происшествия такого рода, приведшие к смерти, учитываются (в США – последние 11 лет, в Великобритании – с 1986 г., в Швеции – с 1940 г.). Судя по этим данным, шанс в течение года умереть от аммиака есть лишь у двух человек из миллиарда. Для сравнения, по сведениям американских статистиков, вероятность погибнуть в течение года от удара молнии – 32 на миллиард. В результате травм на производстве в Швеции гибнет 5 человек из миллиона, из-за дорожных происшествий – 5 на 100 000.

Статистика по РФ представляет следующие данные:

Ночью с 7 на 8 июня 2004 г. в Алтайском крае, г. Бийск, на территории компании «Славгородская пивоварня» произошла утечка порядка 50 кг аммиака. Причина – разрыв трубопровода.

Пострадали: погиб один человек.

17 сентября 2008 г. на ОАО «Молочный комбинат "Балтийское молоко"», входящего в группу ВИММ БИЛЛЬ ДАНН, произошел разрыв трубопровода, подающего аммиак на производство, и выброс аммиака.

Пострадали: в результате аварии один человек погиб и 17 получили травмы.

12 июня 2008 г. в городе Днепропетровске на предприятии ОАО «Днепротит» произошла утечка аммиака из-за разгерметизации аммиакопровода. Произошел выброс 40 кг аммиака. Ликвидировать аварию удалось через 2 ч.

Пострадали: пострадавших и погибших нет.

21 июня 2008 г. в Саратовской области на мясокомбинате в городе Балаково произошел выброс 600 кг аммиака.

Пострадали: в результате аварии 2 человека погибли.

25 апреля 2008 г. в Полтавской области на железнодорожной станции Гребинка во время проведения сортировочных работ две цистерны с аммиачной водой сошли с рельсов и перевернулись. В результате аварии была повреждена одна из цистерн, из нее вылилось около двух кубометров аммиачной воды. Силами сотрудников МЧС и железной дороги пробоина цистерны была ликвидирована, была создана «водяная завеса» для локализации вытекшей аммиачной воды.

Пострадали: пострадавших нет.

29 января 2008 г. в городе Дзержинске Нижегородской области на предприятии «Дзержинскоргстекло» произошла утечка аммиака. Из-за разгерметизации соединения на трубопроводе, по которому перекачивался аммиак, произошла утечка около 150 л этого опасного вещества. Облако паров аммиака удалось остановить при помощи водяной завесы, за территорию предприятия оно не вышло.

Пострадали: пострадавших нет.

16 февраля 2009 г. на севере Москвы в компрессорном цехе мясокомбината произошла утечка аммиака.

Пострадали: в результате аварии пострадали 12 человек.

5 февраля 2009 г. в Кировской области на заводе минеральных удобрений Кирово-Чепецкого химкомбината произошел разрыв трубопровода, по которому на производство подавался аммиак. Авария привела к выбросу аммиака в атмосферу и загрязнению территории предприятия серной кислотой.

Пострадали: во время аварии погиб аппаратчик, еще один человек получил тяжелую травму.

При изучении несчастных случаев с аммиаком становится ясно, что вред здоровью получают лишь те, кто находился в непосредственной близости от источника утечки. Как правило, это обслуживающий персонал.

Неприятных последствий можно избежать, если использовать средства индивидуальной защиты, такие как комбинезоны, перчатки и полностью закрывающие лицо защитные маски.

Также следует отметить, что все несчастные случаи произошли в результате утечек аммиака, а не в результате пожаров и взрывов.

1.5. Взрыво- и пожароопасность аммиака

Термин «взрывоопасное» используется в отношении веществ, возгорание которых характеризуется детонацией и быстрым распространением пламени. Согласно ISO 817, при сгорании аммиака выделяется вдвое меньше энергии, чем при сгорании сжиженного нефтяного газа, а скорость распространения пламени составляет всего около 8 см/с.

Самовоспламенение аммиака возможно при температуре выше 651°C, и как хладагент он относится к группе В2 (низкая воспламеняемость). Аммиак способен гореть только в замкнутых пространствах, в силу чего классифицируется как неогнеопасный при использовании на открытом воздухе.

Для воспламенения аммиака требуется гораздо большая энергия, чем для возгорания других горючих веществ (14 МДж против 0,26 МДж для метана, этана и пропилена и 0,02 МДж – для газообразного водорода). Энергии разрядов в трехфазных электрических системах напряжением 440 В недостаточно для воспламенения аммиака, и это является причиной отсутствия каких-либо требований по взрывобезопасности электрооборудования холодильных аммиачных систем. Ниже представлены пожаро- и взрывоопасные характеристики аммиака.

Газ горючий

Температура его самовоспламенения в стальной бомбе, обладающей каталитическим действием, равна 650 °С, теплота сгорания равна 20790 кДж/кг (4450 ккал/кг), минимальная энергия зажигания равна 680 мДж.

Смесь аммиака с воздухом становится горючей при содержании в ней от 15 до 28 об. % аммиака (нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени). С увеличением температуры пределы распространения пламени расширяются и при 100 °С они лежат в интервале 14,5–29,5 об. % аммиака.

Жидкость прекращает горение после окончания кипения (тепла от сгорания паров недостаточно для поддержания горения), она трудногорючая. В связи с низкой нормальной скоростью горения аммиачно-воздушной смеси, составляющей всего 0,1 м/с, аммиак неспособен к диффузионному горению, т. е. гаснет при удалении источника поджигания.

При поджигании аммиака в неограниченном объеме ударная взрывная волна, способная причинить разрушения, не образуется. Однако аммиак является горючим газом, и при его сгорании (с воздухом или кислородом) внутри замкнутого объема (оборудования или помещения) давление может повыситься в 6 раз, вызвав разрушение оборудования или здания и ударную волну от расширения сжатых продуктов сгорания.

Поэтому для помещений, в которых обращается аммиак, категория взрыво- и пожароопасности определяется расчетом в соответствии с СП 12.13130–2009.

По ПУЭ взрывоопасные зоны с аммиаком внутри помещения имеют класс В-1б, на наружных установках – В-1г. Аммиачно-воздушная смесь по взрывоопасности относится к категории 11А и группе Т1.

Контакт аммиака с ртутью, хлором, йодом, бромом, кальцием, окисью серебра и некоторыми другими химическими веществами может привести к образованию взрывчатых соединений.

1.6. Соответствие международным стандартам пожаробезопасности

Согласно директиве АТЕХ (Atmosphere Explosive – *франц.* «взрывоопасная среда»), холодильные системы с использованием аммиака не относятся к пожароопасным. Возникновение аварийных ситуаций внутри систем невозможно. Но в случае нарушения правил эксплуатации при открытии системы или во время обслуживания может возникнуть угроза окружающей среде, поэтому к работе с огнеопасными веществами должен допускаться квалифицированный персонал, хорошо знающий свое дело.

В последней версии рекомендаций EN 378: 2007 указано, что при использовании хладагентов с характерным запахом, например аммиака концентрацией ниже максимально допустимого уровня на рабочем месте, применение детекторов для определения токсичности не требуется. Даны предельные ограничения концентрации в 500 ppm и 30 000 ppm, «в целях предупреждения об опасности и возможности возникновения пожара». При достижении верхнего предела все электрооборудование, которое могло бы привести к воспламенению газовой смеси в воздушной среде, должно быть отключено. При этом мо-

гут использоваться взрывобезопасные вентиляторы и датчики систем обнаружения. Эти требования включены в стандарт DIN 8975–11 .

Воспламеняемая концентрация аммиака составляет от 15 до 28 %. Это очень высокое значение, и в помещении могут находиться только люди, полностью экипированные средствами химической защиты. Согласно стандартам безопасности, использование в таких помещениях открытого огня недопустимо. Лампы накаливания необходимо оборудовать брызгонепроницаемыми крышками, например пластмассовыми плафонами. Люминесцентные лампы также должны быть закрыты, хотя они и не нагреваются при работе.

При пожаре в зданиях с аммиачными установками возгорание аммиака не представляет особой угрозы. Его тепловая энергия и скорость распространения пламени низкие, что дает возможность избежать серьезного ущерба в результате утечки.

Вытекающий аммиак в таких случаях поднимается вверх за горючими газами, а его воздействие на окружающее пространство, если оно вообще имеет место, сводится лишь к распространению неприятного запаха. Следует заметить, что продукты сгорания аммиака – азот и водяные пары – полностью безопасны для окружающей среды. В этом отношении он резко отличается от гидрофторуглеродов. При их сгорании образуется фтористо-водородная кислота, которая имеет высокую коррозионную активность и чрезвычайную токсичность.

Распространение огня носит кратковременный характер и зависит от объема помещения. Уже через несколько секунд после возгорания соотношение аммиака и атмосферного кислорода становится пожаробезопасным, и если пламя не успело перекинуться на другие горючие вещества, оно гаснет.

1.7. Нормы и правила техники безопасности в РФ и за рубежом

Благодаря опыту использования аммиака, накопленному на протяжении более 150 лет, современные аммиачные холодильные системы имеют высокий уровень безопасности; кроме того, характерный запах позволяет быстро обнаружить любую аварию.

Первые директивы по безопасности холодильных установок были выпущены в США уже в 1918 г. За ними последовал выпуск нормативов в Германии в 1933 г. и в 1942 г. – издание Шведского сборника норм и правил эксплуатации холодильной техники. Сегодня в большинстве стран имеются свои стандарты. В США действуют ASHRAE 15 и ANSI/IIAR 2, в Европе действует стандарт EN 378: 2000 и директивы по машинному оборудованию (MD), оборудованию, работающему под давлением (PED), и оборудованию, используемому во взрывоопасных средах (ATEX). В РФ действуют «Правила безопасности аммиачных холодильных установок». Следует отметить, что эти правила значительно жестче зарубежных.

2. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА В ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В прошлом холодильная промышленность отказывалась в полной мере использовать аммиак, считая его небезопасным. Все уверения в том, что этот хладагент легок в обращении и неопасен при соблюдении определенных правил и норм, оставались без внимания.

Наибольшие затраты в случае выбросов аммиака связаны с очисткой, восстановлением отношений с общественностью и продолжением производства. Скрыть запах аммиака в случае утечки невозможно, а средства массовой информации «раздувают» это событие, придавая ему намного большее значение, чем жители соседних домов. В случае серьезного выброса расстояние, на котором можно почувствовать запах при плохих погодных условиях, составляет 1500 м. А средства массовой информации в течение нескольких часов «разносят» этот запах по всему миру.

Аммиак не разрушает озоновый слой ($ODP = 0$) и не влияет на увеличение парникового эффекта ($GWP = 0$). Газ с резким, удушливым запахом, вредный для организма человека. Опасные свойства аммиака представлены ниже.

Аммиак относится к токсическим веществам, к IV классу опасности. Ниже приводятся показатели воздействия газообразного аммиака на человека:

Порог восприятия обонянием	35 мг/м ³
Воздействие без серьезных последствий	70 мг/м ³
Мгновенное раздражение горла	280 мг/м ³
Мгновенное раздражение глаз, обильное слезотечение и боль	490 мг/м ³
Ларингоспазм, сильные приступы кашля, головокружение, боль в желудке, рвота. После этого в течение нескольких часов могут наблюдаться непроизвольные глотательные движения, что может привести к затрудненности дыхания в течение длительного времени. Возможен отек легких	1200 мг/м ³
Получасовая экспозиция может вызвать летальный исход	1700 мг/м ³
Смерть в результате прекращения дыхания и сердечной недостаточности	3000–3500 мг/м ³

Жидкий аммиак вызывает ожоги, а его пар – эритему кожи. Предельно допустимые концентрации аммиака (ПДК):

В воздухе рабочей зоны производственного помещения	20 мг/м ³
В атмосферном воздухе территории промышленного предприятия и в атмосферном воздухе населенного пункта	0,2 мг/м ³
В воде рыбохозяйственных водоемов	0,05 мг/м ³
В воде водоемов санитарно-бытового назначения (по азоту)	2 мг/л

Пары аммиака легче воздуха, он хорошо растворяется в воде (один объем воды может растворить до 700 объемов аммиака, что исключает замерзание влаги в системе). Минеральные масла аммиак почти не растворяет. На черные металлы, алюминий и фосфористую бронзу аммиак не действует, однако в присутствии влаги разрушает цветные металлы (цинк, медь и ее сплавы). Массовая доля влаги в аммиаке не должна превышать 0,2 %.

По термодинамическим свойствам аммиак – один из лучших хладагентов: по объемной холодопроизводительности он значительно превышает R12, R11, R22 и R502, имеет более высокий коэффициент теплоотдачи, что позволяет применять его в теплообменных аппаратах труб меньшего диаметра при заданной холодопроизводительности.

Из-за резкого запаха аммиака появление течи в холодильной системе легко обнаруживается обслуживающим персоналом. Именно по этим причинам R717 нашел широкое применение в крупных холодильных установках. Хладагент R717 имеет низкую стоимость.

Один из недостатков аммиака – более высокое значение показателя адиабаты (1,31) по сравнению с R22 (1,18) и R12 (1,14), что приводит к значительному увеличению температуры нагнетания. В связи с этим предъявляют жесткие требования к термической стабильности холодильных масел, используемых в сочетании с аммиаком в течение длительного времени при эксплуатации установки. Конденсатор должен иметь развитую поверхность теплообмена, в результате чего возрастает его металлоемкость.

Химические, физические и тепловые свойства хладагента R717, относящегося к группе ГФУ, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплофизические и химические свойства аммиака

Наименование свойств	Значения
Молекулярная масса	17,2
Удельный объем жидкого аммиака при НУ	1,43 м ³ /кг
Плотность жидкого аммиака при НУ	686 кг/м ³
Плотность газа аммиака при температуре кипения	0,86 кг/м ³
Плотность газа аммиака при температуре 15 °С	0,73 кг/м ³
Удельный объем газа аммиака при температуре 21 °С	1,411 м ³ /кг
Давление насыщенных паров аммиака при температуре 25 °С	1,0 МПа
Отношение объемов равных количеств газа аммиака и жидкого аммиака при температуре 15 °С	947
Абсолютная вязкость газа аммиака при температуре 0 °С	0,01сПуаз
Удельная теплоемкость жидкого аммиака при температуре –23 °С	4,52 кДж/(кг · °С)
Удельная теплоемкость жидкого аммиака при температуре 27 °С	4,75 кДж/(кг · °С)
Удельная теплоемкость жидкого аммиака при температуре 127 °С	6,91 кДж/(кг · °С)
Показатель (коэффициент) адиабаты газа аммиака C_p/C_y при температуре 15 °С	1,31
Теплопроводность жидкого аммиака при температуре –23 °С	$592 \cdot 10^6$ кВт/(м · °С)
Теплопроводность жидкого аммиака при температуре 27 °С	$477 \cdot 10^6$ кВт/(м · °С)
Теплопроводность газа аммиака при температуре 0 °С	0,026 Вт/м · °С
Температура кипения аммиака	–33,3 °С
Удельная теплота парообразования аммиака при температуре кипения	1373 кДж/кг
Температура замерзания (таяния) аммиака	–77,7 °С
Удельная теплота плавления аммиака (таяния)	332,3 кДж/кг
Критическая температура аммиака – температура, при которой жидкая фаза существовать не может	132,5 °С
Критическое давление аммиака – давление насыщенных паров при критической температуре	11,4 (МН/м ² = МПа)
Критический удельный объем аммиака – объем вещества в его критическом состоянии, когда теряется различие в свойствах между жидкостью и ее паром	0,00424 м ³ /кг

Растворимость газа аммиака в воде при температуре 0 °С. Размерность: объем газа/объем воды	862
---	-----

Аммиак имеет чрезвычайно высокое значение теплоты парообразования, вследствие чего сравнительно мал массовый расход его циркулирующего хладагента (13–15 % по сравнению с R22). Это благоприятное качество для крупных холодильных установок, но затрудняет регулировку подачи аммиака в испаритель при малых мощностях.

Дополнительные сложности при создании холодильного оборудования вызывает высокая активность аммиака по отношению к меди и медным сплавам, поэтому трубопроводы, теплообменники и арматуру выполняют из стали. Из-за высокой токсичности и горючести аммиака сварные соединения тщательно контролируют. Вследствие высокой электропроводности R717 затруднено создание полугерметичных и герметичных компрессоров. Вместе с тем для промышленных холодильных установок мощностью более 20 кВт аммиак – лучшая альтернатива.

На аммиаке работают многие тепловые насосы. Ожидается применение аммиака в малых холодильных машинах для коммерческих установок.

Используемые в настоящее время масла не растворяются в аммиаке, поэтому в схему холодильной машины приходится включать маслоотделители, что увеличивает ее стоимость. В последние годы ведутся интенсивные исследования по разработке растворимого в аммиаке масла и созданию холодильного оборудования с «сухим» испарителем. Растворимость масла в аммиаке исключает образование пленки масла на теплообменных поверхностях, что повышает коэффициент теплоотдачи с 2700 до 9100 Вт/(м² · К).

Достигнутый в последние годы прогресс в разработке растворимых в аммиаке R717 холодильных масел может кардинально изменить тенденции в развитии холодильного машиностроения.

2.1. Сравнение аммиака с другими современными хладагентами

Технология применения аммиака отличается от использования других хладагентов из-за его высокой теплоты испарения. Низкая текучесть ограничивает использование аммиака для холодильных систем.

тем малой холодопроизводительности. Но в будущем аммиак может стать для них альтернативным хладагентом.

В табл. 2 представлены характеристики хладагентов в пересчете на 1 кВт холодопроизводительности при температуре $-15/+30$ °С.

Таблица 2

Характеристики хладагентов

Хладагент	Температура кипения, °С	Теплота испарения, кДж/кг	Расход жидкости, дм ³ /с	Расход газа, дм ³ /с	Холодильный коэффициент COP	Потенциал разрушения озона ODP	Потенциал глобального потепления GWP
R134	-26,2	217	0,0056	0,814	4,60	0	1300
R407	-43,8–36,7	248	0,0055	0,492	4,51	0	1526
R410	-51,6–51,5	271	0,0058	0,318	4,41	0	1725
R507	-47,0	196	0,0089	0,461	4,18	0	3800
R717 (аммиак)	-33,3	1369	0,0015	0,463	4,84	0	0
R290 (пропан)	-42,1	426	0,0074	0,551	4,74	0	3
R744 (углекислый газ)	-56,6	350	0,0123	0,065	2,96	1	1
R718 (вода)	100	2456				0	0

Теплота испарения диоксида углерода определяется в тройной точке $-56,6$ °С. R407 и R410 характеризуются «температурным скольжением».

3. КАТЕГОРИИ ЗДАНИЙ И ПОМЕЩЕНИЙ, В КОТОРЫХ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ РАЗМЕЩЕНИЕ АММИАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При проектировании аммиачных холодильных установок необходимо учитывать возможность их размещения на холодопотребляющих объектах.

Все здания и помещения, которые предполагается оснастить аммиачными холодильными установками, подразделяются на пять категорий, основные отличия которых приведены в табл. 3.

Таблица 3

Категории зданий и помещений, обслуживаемых холодильными установками

Категория	Определение	Здания и помещения (примеры)
А	Здания и помещения, в которых постоянно находятся лица с ограниченной возможностью самостоятельного передвижения	Больницы, госпитали, клиники, ясли, детские сады
В	Здания и помещения, в которых одновременно может находиться значительное количество людей: более одного человека на 1 м ² при площади помещения 50 м ² и более	Музеи, театры, лектории, крытые стадионы, крупные торговые центры, рестораны, крытые рынки
С	Здания и помещения, в которых люди регулярно находятся в состоянии покоя (сна)	Жилые дома, школы-интернаты, гостиницы, пансионаты, казармы
Д	Здания и помещения, в которых одновременно может находиться ограниченное количество людей, часть из которых компетентна в вопросах безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок	Торговые залы небольших магазинов и кафе, ателье, лаборатории, отдельные мастерские
Е	Здания и помещения, в которых одновременно может находиться определенное количество людей, компетентных в вопросах безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок или проинструктированных по технике безопасности на своих рабочих местах	Холодопотребляющие технологические установки и производства промышленных предприятий

Возможность размещения проектируемой аммиачной холодильной установки в здании или помещении зависит от выбранной схемы холодоснабжения.

Различают шесть принципиальных схем холодоснабжения.

1. Схема непосредственного охлаждения, в которой аммиачные испарительные аппараты (устройства) размещаются внутри охлаждаемых камер и помещений либо встраиваются в коммуникации охлаждаемого воздуха или в технологическое холодопотребляющее оборудование.

2. Схема промежуточного охлаждения, в которой тепло от охлаждаемых сред (объектов) переносится к испарителям с помощью хладоносителей.

Последняя, в свою очередь, подразделяется на:

2.1. Открытая промежуточная схема, оборудованная испарителем с закрытыми полостями хладоносителя, в которой тепло от охлаждаемой среды отводится в смесительном теплообменном аппарате.

2.2. Открытая промежуточная схема, оборудованная испарителем с открытым уровнем хладоносителя, в которой тепло от охлаждаемой среды отводится в смесительном теплообменном аппарате.

2.3. Закрытая промежуточная схема, оборудованная испарителем с закрытыми полостями хладоносителя, в которой тепло от охлаждаемой среды отводится в рекуперативном теплообменном аппарате.

2.4. Закрытая промежуточная схема, оборудованная испарителем с открытым уровнем хладоносителя, в которой отвод тепла от охлаждаемой среды осуществляется в рекуперативном теплообменном аппарате.

2.5. Открытая сдвоенная промежуточная схема, оборудованная испарителем с закрытыми полостями хладоносителя, в которой отвод тепла от охлаждаемой среды осуществляется в смесительном теплообменном аппарате, с последовательным переносом тепла двумя раздельными потоками хладоносителей.

Холодильное оборудование на холодопотребляющих объектах может быть размещено по одному из нижеследующих вариантов (при условии соблюдения действующих санитарных норм).

Вариант 1: машинное отделение отсутствует и все оборудование холодильной системы размещено в отдельном помещении.

Вариант 2: холодильная установка пристроена к зданию или холодильное оборудование размещено на открытой площадке.

Вариант 3: холодильная установка размещена в отдельно стоящем здании или холодильное оборудование находится на открытой площадке.

Массовые наполнения единичных холодильных систем аммиаком не должны превышать значений, приведенных в табл. 4.

Для систем кондиционирования воздуха помещений категории Е допускается применение аммиачных холодильных установок, работающих по схемам 2.3 (промежуточная закрытая) и 2.4 (промежуточная закрытая, с уровнем в испарителе), и при размещении холодильного оборудования по вариантам 2 и 3. В других категориях помещений применение аммиачных холодильных установок для систем кондиционирования не допускается.

Таблица 4

Допустимые массовые наполнения систем аммиаком

Категория здания, помещения	Размещение холодильного оборудования	Схемы холодоснабжения					
		1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
А	Вариант 1	Не допускается					
	Вариант 2	То же					
	Вариант 3	То же			Не более 250 кг		
В	Вариант 1	Не допускается					
	Вариант 2	То же					
	Вариант 3	То же			Не более 500 кг		
С	Вариант 1	Не допускается					
	Вариант 2	То же					
	Вариант 3	То же			Не более 500 кг		
D	Вариант 1	Не допускается					
	Вариант 2	Не более 25 кг			Не более 500 кг		
	Вариант 3	Не более 250 кг			Не более 500 кг		
Е	Вариант 1	Не более 50 кг					
	Вариант 2	Без ограничений					
	Вариант 3	То же					

4. ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ

Сосуды аммиачных холодильных установок относятся к группе 1, имеющей следующие параметры: расчетное давление МПа (кгс/см^2) – свыше 0,07 МПа, рабочая среда взрывоопасная или пожароопасная, или 1-го, 2-го классов опасности.

В холодильной установке должны быть предусмотрены аппараты, предотвращающие попадание капель жидкого аммиака во всасывающую полость компрессоров.

Блок испарителя в целях охлаждения хладоносителя должен включать в себя устройство для отделения капель жидкости из парожидкостной аммиачной смеси и возврата отделенной жидкости в испаритель.

Для отделения жидкой фазы из перемещаемой парожидкостной смеси в холодильных системах с непосредственным охлаждением на каждую температуру кипения предусматриваются циркуляционные (или защитные) ресиверы, совмещающие функции отделителя жидкости.

Допускается использование для этих целей специальных отделителей жидкости, соединенных трубопроводами с циркуляционными (защитными) ресиверами, не совмещающими функции отделителя жидкости.

Геометрический объем циркуляционных ресиверов со стояком, совмещающих функции отделителя жидкости, для каждой температуры кипения в насосных схемах с нижней и верхней подачей аммиака в охлаждающие устройства следует рассчитывать по следующим формулам, приведенным в табл. 5.

Таблица 5

Расчет геометрического объема циркуляционных ресиверов

Вид схемы	Тип циркуляционного ресивера	Формула расчета геометрического объема циркуляционного ресивера
С нижней подачей аммиака	Вертикальный со стояком, совмещающий функции отделителя жидкости	$2,0 [V_{н.т} + 0,2V_c^* + 0,3V_{в.т}]$
	Горизонтальный со стояком, совмещающий функции отделителя жидкости	$3,0 [V_{н.т}^{**} + 0,2V_c + 0,3V_{в.т}]$

Вид схемы	Тип циркуляционного ресивера	Формула расчета геометрического объема циркуляционного ресивера
С верхней подачей аммиака	Вертикальный со стояком, совмещающий функции отделителя жидкости	$2,0 [V_{н.т} + 0,5V_c + 0,4V_{в.т}^{***}]$
	Горизонтальный со стояком, совмещающий функции отделителя жидкости	$3,0 [V_{н.т} + 0,5V_c + 0,4V_{в.т}]$

* V_c – суммарный геометрический объем устройств охлаждения и технологических аппаратов (для одной температуры кипения), m^3 ;

** $V_{н.т}$ – геометрический объем нагнетательного трубопровода аммиачного насоса, m^3 ;

*** $V_{в.т}$ – геометрический объем трубопроводов совмещенного отсоса паров и слива жидкости, m^3 .

Геометрический объем защитных ресиверов $V_{з.р.}$, совмещающих функции отделителя жидкости, должен рассчитываться отдельно для каждой температуры кипения по формулам:

аппараты вертикального типа

$$V_{з.р} > V_c \cdot 0,5 \text{ м}^3;$$

аппараты горизонтального типа

$$V_{з.р} > V_c \cdot 0,6 \text{ м}^3.$$

Размер паровой зоны вертикального сосуда или аппарата, исполняющего функции отделителя жидкости, должен обеспечивать скорость паров аммиака в сечении паровой зоны не более 0,5 м/с.

Для горизонтальных циркуляционных (или защитных) ресиверов, совмещающих функции отделителя жидкости, с учетом соответствующей длины зоны сепарации (расстояние между патрубками входа парожидкостной смеси аммиака от потребителей холода и выхода паров к компрессорам) расчетную скорость паров аммиака в сечении паровой зоны допускается принимать до 1,0 м/с.

Для аварийного (ремонтного) освобождения от жидкого аммиака охлаждающих устройств, аппаратов, сосудов и блоков, а также для удаления конденсата при оттаивании охлаждающих устройств

горячими парами необходимо предусматривать дренажный ресивер, рассчитанный на прием аммиака из наиболее аммиакоемкого аппарата, сосуда или блока.

Геометрический объем дренажного ресивера следует принимать из условия заполнения его не более чем на 80 %.

Геометрический объем линейных ресиверов холодильных установок следует принимать не более 30 % суммарного геометрического объема охлаждающих устройств помещений, аммиачной части технологических аппаратов и испарителей.

Для холодильных машин с дозированной зарядкой аммиака линейный ресивер не предусматривается.

Допускается предусматривать дополнительные линейные ресиверы для хранения годового запаса аммиака. При этом ресиверы не должны заполняться более чем на 80 % их геометрического объема.

Для холодильной установки с количеством заправленного аммиака до 1000 кг допускается предусматривать один линейный ресивер, объем которого рассчитан на годовой запас аммиака.

Допускается предусматривать ресиверы для хранения аммиака с вместимостью, обоснованной проектом и позволяющей принять аммиак из одной транспортной единицы.

Не допускается использовать в холодильных установках линейные ресиверы (неунифицированные) в качестве защитных, дренажных или циркуляционных, а кожухотрубные испарители в качестве конденсаторов и наоборот.

При подаче паров аммиака со стороны высокого давления к сосудам (аппаратам) на стороне низкого давления для освобождения их от жидкого аммиака и очистки от масла давление в этих сосудах (аппаратах) не должно превышать давления испытания на плотность.

При наличии на общей нагнетательной магистрали теплообменного аппарата (для использования теплоты перегретых паров аммиака) требуется устройство обводной линии с запорным вентилем на ней.

Воздух и другие неконденсирующиеся газы должны выпускаться из системы в сосуд с водой через специально устанавливаемый аппарат-воздухоотделитель.

5. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование, работающее на аммиаке, может размещаться:

- в специальном помещении – машинном или аппаратном отделении;

- в помещении потребителей холода;

- на открытой площадке.

Вертикальные кожухотрубные, испарительные и воздушные конденсаторы, маслоотделители на магистральных нагнетательных трубопроводах следует устанавливать на открытых площадках. Допускается устанавливать конденсаторы над машинными отделениями, а линейные ресиверы – как внутри, так и снаружи помещений.

Водяные насосы оборотной системы водоснабжения рекомендуется размещать в специальном помещении – насосной станции, над зданием которой могут устанавливаться конденсаторы.

В помещении машинного (аппаратного) отделения следует устанавливать компрессорные агрегаты, блочные холодильные машины, циркуляционные (защитные) ресиверы, промежуточные сосуды, аммиачные насосы, маслосборники, горизонтальные кожухотрубные конденсаторы. Допускается размещать блоки испарителей, ресиверы для хранения масла, циркуляционные, защитные и дренажные ресиверы, насосы для перекачки аммиака и хладоносителя вне машинного (аппаратного) отделения на открытых площадках, если это позволяют климатическое исполнение этого оборудования и нормы охраны труда. Место размещения определяется проектной документацией.

Расстояние в свете от аппаратов (сосудов), расположенных снаружи машинного (аппаратного) отделения, следует принимать не менее 1,0 м от стены здания. Требование не распространяется на машинные отделения контейнерного типа.

Не допускается размещать холодильное оборудование:

- под эстакадами технологических трубопроводов с горючими, едкими и взрывоопасными продуктами;

- над площадками открытых насосных и компрессорных установок, кроме случаев применения герметичных (бессальниковых) насосов или при принятии специальных мер безопасности, исключающих попадание аммиака на нижеустановленное оборудование.

Для вновь строящихся и реконструируемых холодильных установок:

- ширина центрального прохода для обслуживания оборудования должна быть не менее 1,5 м;

- проход шириной не менее 1,0 м допускается предусматривать между выступающими частями аппаратов, сосудов, компрессорных агрегатов и блочных холодильных машин с электродвигателями мощностью не более 55 кВт;

- проход между выступающими частями отдельно стоящих компрессорных агрегатов и блочных холодильных машин с электродвигателями мощностью более 55 кВт должен быть не менее 1,5 м (при реконструкции допускается 1,0 м);

- при расположении машинного (аппаратного) отделения в помещении с внутренними колоннами допускается расстояние 0,7 м от колонн до выступающих частей оборудования при наличии других проходов нормальной величины.

Для постоянного обслуживания оборудования (арматуры) на уровне выше 1,8 м от пола должна быть устроена металлическая площадка с ограждением и лестницей. При длине площадки более 6 м лестницы должны быть с обеих сторон площадки.

Допускается предусматривать переносные или откидные лестницы с приспособлениями для крепления их к площадкам. Высота поручней должна быть 1,0 м, бортов на площадках – не менее 0,15 м.

Под циркуляционными и защитными ресиверами и аммиачными насосами следует предусматривать поддоны или приямки.

Расчетный уровень жидкого аммиака в случае аварийного вытекания хладагента из наиболее аммиакоемкого сосуда в поддон (приямок) должен быть ниже бортика поддона (края приямка).

Количество пролитого аммиака из циркуляционного ресивера определяется по рабочему заполнению сосуда, а из защитного ресивера – по максимально допустимому заполнению сосуда.

Глубина приямка должна быть не более 2,5 м. Приямки должны иметь не менее двух лестниц, а при глубине приямка более 2 м – выход непосредственно наружу.

Линейные и дренажные ресиверы следует размещать в специальном поддоне.

Расчетный уровень жидкого аммиака в случае аварийного вытекания его в поддон из наиболее емкого сосуда должен быть ниже

бортика поддона. Количество пролитого аммиака из линейного или дренажного ресивера определяется из расчета его максимально допустимого заполнения на 80 %.

Линейные ресиверы должны быть защищены навесом от солнечных лучей и осадков и ограждены забором высотой не менее 1,5 м с запирающимися на замок входами.

Для зарядки системы аммиаком необходимо предусматривать стыковочные узлы для подсоединения аммиачных цистерн или баллонов.

В машинном или аппаратном отделении может быть предусмотрена установка воздушного компрессора, предназначенного для пневматического испытания трубопроводов, аппаратов или сосудов.

С этой целью следует предусматривать систему стационарных трубопроводов сжатого воздуха для возможности проведения испытания каждого сосуда, аппарата или участка аммиачного трубопровода. Запорные вентили на трубопроводах от компрессора и сброса давления, контрольный манометр, а также кнопки управления компрессором должны быть вынесены за пределы помещения, в котором испытывается оборудование. На трубопроводе сжатого воздуха должен быть установлен предохранительный клапан.

Использование воздушного компрессора для других целей не допускается.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ТРУБОПРОВОДАМ И АРМАТУРЕ

Категорирование трубопроводов должно осуществляться по правилам устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов.

Трубопроводы должны иметь наименьшую протяженность. Расположение оборудования и трубопроводов должно обеспечивать нормальные условия для производства монтажных и ремонтных работ и возможность их наружного осмотра.

В машинных и аппаратных отделениях следует предусматривать верхнюю разводку (выше компрессоров) трубопроводов парового аммиака.

Нижнюю разводку (ниже компрессоров) этих трубопроводов допускается предусматривать в исключительных случаях (например, для горизонтальных поршневых компрессоров).

Прокладка аммиачных трубопроводов в проходных или непроходных каналах не допускается.

При верхней разводке трубопроводов в машинных (аппаратных) отделениях присоединение всасывающих и нагнетательных аммиачных трубопроводов к общим трубопроводам должно проектироваться сверху, во избежание скопления в трубопроводах неработающих компрессоров масла и жидкого аммиака. При этом всасывающие магистрали должны иметь уклон не менее 0,5 % в сторону циркуляционных или защитных ресиверов или отделителей жидкости, а нагнетательные – в сторону маслоотделителей или конденсаторов.

Прокладка аммиачных трубопроводов по территории предприятия должна быть только надземной.

Не допускается прокладка аммиачных трубопроводов через бытовые, подсобные, административно-хозяйственные, электромашинные, электрораспределительные, трансформаторные помещения, вентиляционные камеры, помещения контрольно-измерительных приборов, лестничные клетки, а также производственные помещения, отнесенные к категории А и Б согласно действующим нормам пожарной безопасности.

Аммиачные трубопроводы допускается прокладывать совместно с другими технологическими трубопроводами.

Совместная прокладка аммиачных трубопроводов, силовых, осветительных и других кабелей должна осуществляться при соблюдении требований действующих правил устройства электроустановок.

Для трубопроводов, проходящих через стены или перекрытия здания, необходимо предусматривать стальные гильзы из труб, внутренний диаметр которых на 10–20 мм больше наружного диаметра трубопроводов (с учетом тепловой изоляции). Зазор между трубопроводом и гильзой с обоих концов должен быть заполнен несгораемым материалом, допускающим перемещение трубопровода вдоль его продольной оси.

Трубопроводы в холодильных камерах и технологических помещениях следует располагать таким образом, чтобы была исключена возможность повреждения перемещаемыми грузами или транспортными средствами.

Прокладка аммиачных трубопроводов по наружным стенам производственной части здания с дверными и оконными проемами не допускается. Допускается прокладка этих трубопроводов по глухим стенам.

Не допускается прокладка аммиачных трубопроводов над зданием и сооружениями, за исключением тех частей зданий и сооружений, в которых размещено холодильное и технологическое оборудование с непосредственным охлаждением.

Прокладку трубопроводов от охлаждающих устройств к распределительным устройствам следует предусматривать внутри охлаждаемых камер, транспортных коридоров и грузовых вестибюлей.

Всасывающие и нагнетательные аммиачные трубопроводы на участках возможного скопления в них масла и конденсата должны оснащаться в нижней зоне дренажными вентилями с условным диаметром не менее 25 мм для отвода масла и конденсата в масло-сборник или дренажный ресивер.

Для компрессоров, не имеющих встроенных запорных органов, на всасывающих и нагнетательных трубопроводах должна предусматриваться запорная арматура.

Не допускается объединять между собой аммиачные трубопроводы блочных холодильных машин или машин с дозированной зарядкой. Данное требование не распространяется на вспомогательные трубопроводы (аварийного выброса аммиака из предохра-

нительных клапанов, соединителей с дренажным ресивером, соединений для заправки и слива масла). На вспомогательных трубопроводах (кроме аварийного выброса паров аммиака) следует устанавливать по два запорных вентиля.

На нагнетательных трубопроводах компрессоров и на напорных линиях насосов всех типов необходимо размещать обратные клапаны между компрессором (насосом) и запорной арматурой.

На жидкостном трубопроводе от линейных ресиверов должен предусматриваться запорный клапан, управляемый автоматически.

В схеме трубопроводов должна быть предусмотрена возможность отсасывания паров аммиака из любого аппарата, сосуда.

На трубопроводе для выпуска масла из маслосборника должны быть предусмотрены дополнительный манометр и запорный вентиль, размещаемые снаружи у бака для приема отработанного масла.

Запорная и регулирующая арматура, устанавливаемая на аммиачных трубопроводах, должна размещаться в доступных для управления и ремонта местах.

Арматура не должна размещаться над дверными проемами, окнами или над проходами для обслуживания оборудования.

Не допускается устанавливать аммиачную арматуру в холодильных камерах.

На всех аммиачных трубопроводах, выходящих за пределы машинного или аппаратного отделения к технологическим потребителям, должна предусматриваться запорная арматура для оперативного прекращения приема (подачи) хладагента.

При нижней подаче аммиака к охлаждающим устройствам необходимо предусматривать подъем подводящего трубопровода на высоту, равную максимальному уровню жидкости в охлаждающем устройстве, в целях предотвращения слива аммиака при остановке насоса и неисправности обратного клапана.

В случае невозможности прокладки трубопроводов на участках от потребителей холода до циркуляционных или защитных ресиверов без их нормированного уклона (т. е. с наличием «мешка») необходимо предусматривать дренаж из «мешка» в циркуляционные или защитные ресиверы (на случай ремонта для длительной остановки).

Не допускается применять гибкие шланги (резиновые, пластмассовые и т. д.) в качестве стационарных трубопроводов для отсоса паров или подачи жидкого аммиака.

Соединение шлангов с трубопроводами осуществляется с помощью стандартной арматуры.

Схема аммиачных трубопроводов должна обеспечивать возможность удаления жидкого аммиака из любого аппарата, сосуда или блока в случае их аварийной разгерметизации в дренажный ресивер.

Проектирование тепловой изоляции трубопроводов и арматуры должно осуществляться в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

На трубопроводах хладагента должны быть предусмотрены опознавательные цветные кольца.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ЗДАНИЯМ И ПОМЕЩЕНИЯМ УСТАНОВОК

Помещения, в которых размещено аммиачное оборудование, должны соответствовать требованиям действующих норм пожарной безопасности.

По взрыво- и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории АН, БН, ВН, ГН и ДН. Категории помещений и зданий определяются исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также на основе объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

Категории наружных установок определяются исходя из пожароопасных свойств находящихся в установках горючих веществ и материалов, их количества и особенностей технологических процессов.

Определение пожароопасных свойств веществ и материалов производится на основании результатов испытаний или расчетов по стандартным методикам с учетом параметров состояния (давления, температуры и т. д.).

Допускается использование официально опубликованных справочных данных по пожароопасным свойствам веществ и материалов. Для смесей веществ и материалов допускается использование показателей пожарной опасности по наиболее опасному их компоненту.

7.1. Категории помещений по взрыво- и пожарной опасности

Категории помещений по взрыво- и пожарной опасности устанавливаются в соответствии с табл. 6.

Категории помещений по взрыво- и пожарной опасности

Категории помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
<p>А – повышенная взрыво- и пожароопасность</p>	<p>Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа</p>
<p>Б – взрыво- и пожароопасность</p>	<p>Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа</p>
<p>В1–В4 – пожароопасность</p>	<p>Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б</p>
<p>Г – умеренная пожароопасность</p>	<p>Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива</p>
<p>Д – пониженная пожароопасность</p>	<p>Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии</p>

7.2. Методы определения категорий помещений А и Б

Выбор и обоснование расчетного варианта

При расчете критериев взрыво- и пожарной опасности в качестве основы следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант аварии или период нормальной работы аппаратов, при котором в образовании горючих газо-, паро-, пылевоздушных смесей участвует большое количество газов, паров, пылей, наиболее опасных в отношении последствий сгорания этих смесей.

Количество поступивших в помещение веществ, которые могут образовать горючие газозоодушные, парозоодушные, пылевоздушные смеси, определяется исходя из следующих предпосылок:

- а) происходит расчетная авария одного из аппаратов;
- б) все содержимое аппарата поступает в помещение;
- в) происходит одновременная утечка веществ из питающих аппарат трубопроводов по прямому и обратному потокам в течение времени, необходимого для отключения трубопроводов.

Расчетное время отключения трубопроводов определяют в каждом конкретном случае исходя из реальной обстановки. Оно должно быть минимальным, учитывая паспортные данные на запорные устройства, характер технологического процесса и вид расчетной аварии.

Расчетное время отключения трубопроводов должно быть равно:

– времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;

– 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

– 300 с при ручном отключении;

г) происходит испарение с поверхности разлившейся жидкости; площадь испарения при разливе на пол определяется (при отсутствии справочных данных) исходя из расчета, что 1 л смесей и растворов, содержащих 70 % и менее (по массе) растворителей, разливается на площади 0,5 м², а остальных жидкостей – на 1 м² пола помещения;

д) происходит испарение жидкости из емкостей, эксплуатируемых с открытым зеркалом жидкости, и со свежееокрашенных поверхностей;

е) длительность испарения жидкости условно равная времени ее полного испарения, но не более 3600 с.

Расчет избыточного давления для горючих газов, паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей

Избыточное давление ΔP для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, определяется по формуле

$$\Delta P = P_{\max} - P_0 \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{гп}}} \frac{100}{C_{\text{ст}}} \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где P_{\max} – максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовой или паровой смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным. При отсутствии данных условно принимаем P_{\max} равным 900 кПа; P_0 – начальное давление, кПа (допустимая его величина 101 кПа); m – масса горючего газа (ГГ) или паров легко воспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, вычисляемая для ГГ по формуле

$$m = V_{\text{а}} + V_{\text{т}} \rho_{\text{г}}, \quad (2)$$

здесь $V_{\text{а}}$ – объем газа, вышедшего из аппарата, м³; $V_{\text{т}}$ – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м³.

При этом

$$V_{\text{а}} = 0,01 P_1 V, \quad (3)$$

где P_1 – давление в аппарате, кПа; $V_{\text{а}}$ – объем аппарата, м³;

$$V_{\text{т}} = V_{1\text{т}} + V_{2\text{т}}, \quad (4)$$

здесь $V_{1\text{т}}$ – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м³; $V_{2\text{т}}$ – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м³;

$$V_{1\text{т}} = qT, \quad (5)$$

где q – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д., м³ · с⁻¹; T – расчетное время

отключения трубопроводов, определяемое в каждом конкретном случае исходя из реальной обстановки, оно должно быть минимальным с учетом паспортных данных на запорные устройства, характера технологического процесса и вида расчетной аварии, с.

Расчетное время отключения трубопроводов следует принимать равным:

– времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает 0,000001 в год или обеспечено резервирование ее элементов;

– 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

– 300 с при ручном отключении;

$$V_{2г} = 0,01\pi P_2 (r_1^2 L_1 + L_2 r_2^2 + L_n r_n^2), \quad (6)$$

где P_2 – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа; r – внутренний радиус трубопроводов, м; L – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м; Z – коэффициент участия горючих газов и паров в горении, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения.

Допустимая величина значений Z – по табл. 7.

Таблица 7

Значения коэффициента Z при участии горючих газов и паров в горении

Вид горючего вещества	Значения Z
Водород	1,0
Горючие газы (кроме водорода)	0,5
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые до температуры вспышки и выше	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при наличии возможности образования аэрозоля	0,3
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, нагретые ниже температуры вспышки, при отсутствии возможности образования аэрозоля	0

$V_{\text{св}}$ – свободный объем помещения, м^3 ; $\rho_{\text{гп}}$ – плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, вычисляемая по формуле

$$\rho_{\text{гп}} = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367t_p)}, \quad (7)$$

где M – молярная масса, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$; V_0 – мольный объем, равный $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$; t_p – расчетная температура, $^{\circ}\text{C}$.

В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры t_p по каким-либо причинам определить не удастся, допускается принимать ее равной 61°C ; $C_{\text{ст}}$ – стехиометрическая концентрация ГГ или паров ЛВЖ и ГЖ, % (объемных), вычисляемая по формуле

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (8)$$

здесь β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания, определяемый по формуле

$$\beta = n_c + \frac{n_{\text{н}} - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (9)$$

где n_c , $n_{\text{н}}$, n_o , n_x – число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего; $K_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения. Допускается принимать $K_{\text{н}}$ равным трем.

Расчет ΔP для индивидуальных веществ, кроме упомянутых ранее, а также для смесей может быть выполнен по формуле

$$\Delta P = \frac{m}{V_{\text{св}}} \frac{H_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} \frac{P_0}{C_p} \frac{Z}{T_0} \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (10)$$

где H_T – теплота сгорания, Дж · кг⁻¹; ρ_v – плотность воздуха при начальной температуре T_0 , кг · м⁻³; C_p – теплоемкость воздуха, Дж · кг⁻¹ · К⁻¹ (допускается принимать равной $1,01 \cdot 10^3$, Дж · кг⁻¹ · К⁻¹); T_0 – начальная температура воздуха, К.

В случае обращения в помещении горючих газов, легковоспламеняющихся или горючих жидкостей при определении массы m , входящей в формулы (1) и (10), допускается учитывать работу аварийной вентиляции, если она обеспечена резервными вентиляторами, автоматическим пуском при превышении предельно допустимой взрывобезопасной концентрации и электросрабжением по первой категории надежности по «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) при условии расположения устройств для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии.

Допускается учитывать постоянно работающую общеобменную вентиляцию, обеспечивающую концентрацию горючих газов и паров в помещении, не превышающую предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию, рассчитанную для аварийной вентиляции. Указанная общеобменная вентиляция должна быть оборудована резервными вентиляторами, включающимися автоматически при остановке основных. Электроснабжение указанной вентиляции должно осуществляться не ниже чем по первой категории надежности по ПУЭ.

При этом массу m горючих газов или паров легковоспламеняющихся или горючих жидкостей, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объем помещения, следует разделить на коэффициент K , определяемый по формуле

$$K = AT + 1, \quad (11)$$

где A – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с⁻¹; T – продолжительность (с) поступления горючих газов и паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в объем помещения (принимается по расчетному времени отключения трубопроводов).

Масса m , кг, поступившего в помещение при расчетной аварии газа определяется по формуле

$$m = (V_a + V_T) \rho_g, \quad (12)$$

где V_a – объем газа, вышедшего из аппарата, м^3 ; V_T – объем газа, вышедшего из трубопроводов, м^3 .

При этом

$$V_a = 0,01P_1V, \quad (13)$$

где P_1 – давление в аппарате, кПа; V – объем аппарата, м^3 ;

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (14)$$

здесь V_{1T} – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м^3 ; V_{2T} – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, м^3 ;

$$V_{1T} = qT, \quad (15)$$

где q – расход газа, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т. д. ($\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$); T – определяемое расчетное время отключения трубопроводов, с;

$$V_{2T} = 0,01\pi P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 \dots + r_n^2 L_n), \quad (16)$$

здесь P_2 – максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа; $r_{1, 2, \dots, n}$ – внутренний радиус трубопроводов, м; $L_{1, 2, \dots, n}$ – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

Масса паров жидкости m , поступивших в помещение при наличии нескольких источников испарения (поверхность разлитой жидкости, открытые емкости и т. п.), определяется из выражения

$$m = m_p + m_{\text{емк}}, \quad (17)$$

где m_p – масса жидкости, испарившейся с поверхности разлива, кг; $m_{\text{емк}}$ – масса жидкости, испарившейся с поверхностей открытых емкостей, кг.

При этом каждое из слагаемых в формуле (17) определяется из выражения

$$m = WF_{\text{и}}T, \quad (18)$$

здесь W – интенсивность испарения, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; $F_{\text{и}}$ – площадь испарения, м^2 , определяемая в соответствии с площадью поддонов под емкостными аппаратами и возможной площадью разлива (при отсутствии данных допустимый размер площади разлива – 1 м^2 пола помещения).

Интенсивность испарения W определяется по справочным и экспериментальным данным. Для ненагретых выше расчетной температуры (окружающей среды) ЛВЖ при отсутствии данных допускается рассчитывать W по формуле

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{M P_{\text{н}}}, \quad (19)$$

где η – коэффициент, принимаемый по табл. 8, в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения; $P_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара при расчетной температуре жидкости $t_{\text{р}}$, определяемое по справочным данным, кПа.

Таблица 8

Значение коэффициента η в зависимости от скорости и температуры воздушного потока

Скорость воздушного потока в помещении, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значение коэффициента η при температуре t , °С, воздуха в помещении				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

7.3. Категории зданий по взрыво- и пожарной опасности

Категории зданий по взрыво- и пожарной опасности определяются исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании. Здание относится к категории А, если в нем суммированная площадь помещений категории А превышает 5 % площади всех помещений, или 200 м^2 .

Здание не относится к категории А, если суммированная площадь помещений категории А в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Б, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А и суммированная площадь помещений категорий А и Б превышает 5 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений, или 200 м².

Здание не относится к категории Б, если суммированная площадь помещений категорий А и Б в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 1000 м²) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории В, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А или Б и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 превышает 5 % (10 %, если в здании отсутствуют помещения категорий А и Б) суммированной площади всех помещений.

Здание не относится к категории В, если суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2 и В3 в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 3500 м²) и эти помещения оснащаются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Г, если одновременно выполнены следующие условия: здание не относится к категории А, Б или В и суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г превышает 5 % суммированной площади всех помещений.

Здание не относится к категории Г, если суммированная площадь помещений категорий А, Б, В1, В2, В3 и Г в здании не превышает 25 % суммированной площади всех размещенных в нем помещений (но не более 5000 м²) и помещения категорий А, Б, В1, В2 и В3 оснащаются установками автоматического пожаротушения.

Здание относится к категории Д, если оно не относится к категории А, Б, В или Г.

Помещения, в которых при аварийной разгерметизации системы может быть достигнут нижний концентрационный предел взрываемости, относятся к категории А и должны иметь предохра-

няющие (легкосбрасываемые) конструкции. Площадь легкобрасываемых конструкций должна составлять не менее $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^3$ объема помещения. К легкобрасываемым конструкциям могут быть отнесены окна с одинарным остеклением из обычного стекла.

Помещения камер с непосредственным охлаждением могут быть отнесены к категории Д в соответствии с действующими нормами пожарной безопасности, если при принятых технологических и объемно-планировочных проектных решениях концентрация аммиака в воздухе камеры не превысит нижнего предела взрывоопасности при аварийном раскрытии устройства охлаждения или трубопровода. При этом обвязку приборов охлаждения следует расположить так, чтобы они были разделены на отдельные технологические блоки с минимальным количеством аммиака, а на жидкостном аммиачном трубопроводе, подающем аммиак в блок, следует разместить быстродействующую автоматическую запорную арматуру, срабатывающую при достижении концентрации аммиака в воздухе камеры $60 \text{ мг}/\text{м}^3$.

Помещения для установки распредустройств, размещаемые вблизи от потребителей холода, а также помещения производственных цехов-потребителей холода, в технологическом оборудовании которых обращается аммиак, могут быть отнесены к категории Д в соответствии с классификацией норм пожарной безопасности, если при принятых технологических и объемно-планировочных проектных решениях концентрация аммиака в воздухе камеры не превысит нижнего предела взрывоопасности при аварийном раскрытии технологического оборудования и трубопроводов. При этом на жидкостных аммиачных трубопроводах, подающих аммиак в аппараты или распредустройства, предусматривается быстродействующая запорная автоматическая арматура, срабатывающая при достижении концентрации аммиака в воздухе этих помещений в пределах $60 \text{ мг}/\text{м}^3$.

Расстояния от холодопотребляющих предприятий, на которых установлены и эксплуатируются аммиачные холодильные установки, до других объектов вне территории предприятия определяются в соответствии с санитарными правилами и нормами.

Расстояния между зданиями, в которых размещены машинные, аппаратные отделения, и другими сооружениями на площадке холодопотребляющего предприятия принимаются с учетом строительных норм и правил пожарной безопасности.

Размещение машинных или аппаратных отделений в зданиях должно соответствовать требованиям действующих строительных норм и правил.

Не допускается размещение машинного (аппаратного) отделения в подвальных и цокольных этажах.

Над машинным и аппаратным отделением не допускается располагать помещения с постоянными рабочими местами, а также бытовые и административные помещения.

В помещении как машинного, так и аппаратного отделения должно быть не менее двух эвакуационных выходов, максимально удаленных друг от друга, при этом один из выходов как минимум должен быть непосредственно наружу.

При необходимости размещения машинного и аппаратного отделений в смежных помещениях, разделенных перегородкой, в указанной перегородке следует располагать проем с дверями.

Устройство выхода из помещения машинного (аппаратного) отделения в помещения вспомогательного (например, бытовые, командный пункт автоматизации) или другого назначения (слесарная мастерская), а также в коридор, объединяющий все вышеназванные помещения, следует выполнять через тамбур-шлюз, с подпором воздуха, с противопожарными, без замков, дверями, samozакрывающимися и имеющими герметизирующие прокладки по периметру притвора.

Все двери машинного и аппаратного отделений должны открываться в сторону меньшей опасности.

Полы машинных и аппаратных отделений должны быть ровные, нескользкие и выполнены из несгораемого и неискрящего материала.

Непроходные каналы и люки должны быть закрыты заподлицо с полом съемными плитами или металлическими рифлеными листами с лакокрасочным покрытием.

Не допускается заглубление машинного или аппаратного отделения ниже планировочной территории.

Оборудование для регенерации, очистки и хранения масел должно размещаться в специальном помещении, имеющем выход непосредственно наружу.

7.4. Категории наружных установок по пожарной опасности

Категории наружных установок по пожарной опасности определяются в соответствии с табл. 9.

Таблица 9

Категории наружных установок по пожарной опасности

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории пожарной опасности
АН – повышенная взрыво- и пожароопасность	Установка относится к категории АН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
БН – взрыво- и пожароопасность	Установка относится к категории БН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие пыли и (или) волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании пыли и (или) паровоздушных смесей с образованием волн давления превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)
ВН – пожароопасность	Установка относится к категории ВН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) горючие и (или) трудногорючие жидкости, твердые горючие и (или) трудногорючие вещества и (или) материалы (в том числе пыли и (или) волокна), вещества и (или) материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом гореть, и если не реализуются критерии, позволяющие отнести установку к категории АН или БН (при условии, что величина пожарного риска при возможном сгорании указанных веществ и (или) материалов превышает одну миллионную в год на расстоянии 30 м от наружной установки)

Категория наружной установки	Критерии отнесения наружной установки к той или иной категории пожарной опасности
ГН – умеренная пожароопасность	Установка относится к категории ГН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) негорючие вещества и (или) материалы в горячем, раскаленном и (или) расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и (или) пламени, а также горючие газы, жидкости и (или) твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
ДН – пониженная пожароопасность	Установка относится к категории ДН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и (или) материалы в холодном состоянии и если по перечисленным выше критериям она не относится к категории АН, БН, ВН или ГН

Определение категорий наружных установок следует осуществлять путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в табл. 9, от наиболее опасной (АН) к наименее опасной (ДН).

Если из-за отсутствия данных невозможно оценить величину пожарного риска, допускается использование вместо нее нижеследующих критериев.

Для категорий АН и БН: горизонтальный размер зоны, ограничивающей газопаровоздушные смеси с концентрацией горючего выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) по ГОСТ 12.1.044, превышает 30 м (данный критерий применяется только для горючих газов и паров) и (или) расчетное избыточное давление при сгорании газо-, паро- или пылевоздушной смеси на расстоянии 30 м от наружной установки превышает 5 кПа.

Для категории ВН: интенсивность теплового излучения от очага пожара веществ и (или) материалов, указанных для категории ВН, на расстоянии 30 м от наружной установки превышает $4 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$.

8. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Системы отопления и вентиляции машинного и аппаратного отделений должны выполняться в соответствии с требованиями строительных норм.

Параметры воздуха в машинном и аппаратном отделениях должны соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны.

Машинные, аппаратные отделения, а также конденсаторные отделения и распределительные устройства, располагаемые в помещениях, должны быть оборудованы системами приточно-вытяжной и аварийной вытяжной механической вентиляции. Кратность воздухообмена определяется проектной организацией.

Удаляемый воздух может выбрасываться в атмосферу без очистки.

Трансформаторные подстанции, распределительные устройства электропитания, диспетчерские, операторские, пункты управления, помещения контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) должны соответствовать требованиям правил устройства электроустановок.

На объектах, имеющих два источника электроснабжения от независимых источников, светильники рабочего и аварийного освещения следует питать от разных источников электроснабжения.

Для объектов, имеющих один источник электроснабжения, аварийное освещение должно автоматически переключаться на питание от аккумуляторных батарей при отключении источника электроснабжения.

Машинные, аппаратные и конденсаторные отделения, помещения холодильных камер и других потребителей холода, распределительных устройств должны иметь аварийное освещение.

Холодильные камеры должны быть оборудованы ручной системой сигнализации «Человек в камере». Световой и звуковой сигналы «Человек в камере» должны поступать в помещение с постоянным дежурным персоналом (диспетчерская, операторская, проходная). Световое табло «Человек в камере» должно загораться снаружи над дверью камеры, в которой находится человек.

Устройства для подачи из камеры сигнала должны размещаться внутри справа у выхода из камеры на высоте не более 0,5 м от пола, обозначены светящимися указателями с надписью о недопустимости загромождения их грузами и защищены от повреждений.

Внутри охлаждаемых камер должны располагаться постоянно включенный светильник для освещения выходной двери и устройства (кнопки) сигнализации «Человек в камере». Светильник следует устанавливать внутри у выходной двери справа над кнопкой тревожной сигнализации.

У входа в охлаждаемые помещения (в коридоре, на эстакаде) должна быть вывешена инструкция по охране труда при проведении работ в камерах холодильника и защите охлаждающих батарей и аммиачных трубопроводов от повреждений.

Для ручного аварийного отключения электропитания всего оборудования холодильной установки (за исключением электродвигателей вентиляции) должны быть установлены снаружи на стене у всех входов в машинное и аппаратное отделения специальные устройства (кнопки).

Одновременно с отключением электропитания соответствующего оборудования эти устройства (кнопки) должны включать в работу аварийную и общеобменную вытяжную вентиляцию, а также светозвуковую сигнализацию.

Общеобменная и аварийная вентиляции должны иметь ручные пусковые устройства внутри вентилируемых помещений.

Машинные, аппаратные и конденсаторные отделения, относящиеся к помещениям с взрывоопасной зоной В-1б, должны иметь устройства молниезащиты зданий по II категории в соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий и сооружений, а также защиту от вторичных проявлений молнии и защиту от заноса высокого потенциала по наземным и подземным коммуникациям. Внутри зданий большой площади (шириной более 100 м) необходимо выполнить работы по выравниванию потенциала.

Помещения машинных и аппаратных отделений, ТП, РУ, электрощитовые, диспетчерские пункты, операторские (помещение КИПиА) должны быть оборудованы автоматической пожарной сигнализацией.

При поступлении сигнала о пожаре должны выключаться как приточные, так и вытяжные вентиляторы, работающие на эти помещения.

9. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАГАЗОВАННОСТИ И ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ АВАРИЙНЫХ УТЕЧКАХ АММИАКА

Система контроля уровня загазованности и оповещения об аварийных утечках аммиака (далее по тексту система контроля уровня загазованности) должна обеспечивать проверку уровня загазованности из-за возможных утечек аммиака в помещениях и на территории объекта.

Требования к системе контроля зависят от категории взрывоопасности используемых в холодильной установке технологических блоков.

9.1. Расчет категории взрывоопасности аммиачной холодильной установки

Для каждого технологического блока производится расчет энергетического потенциала, характеризуемого суммой энергий адиабатического расширения парогазовой фазы (ПГФ), полного сгорания имеющихся и образующихся из жидкости паров за счет внутренней и внешней (окружающей среды) энергии при аварийном раскрытии технологической системы:

$$E = E'_1 + E'_2 + E''_1 + E''_2 + E''_3 + E''_4, \text{ кДж}, \quad (20)$$

где E'_1 – сумма энергий адиабатического расширения и сгорания ПГФ, находящейся непосредственно в аварийном блоке:

$$E'_1 = A + G'q', \text{ кДж}, \quad (21)$$

здесь

$$A = \frac{1}{k-1} P_{\text{абс}} V' \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_{\text{абс}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \text{ кДж}, \quad (22)$$

или

$$A = \beta_1 P_{\text{абс}} V', \quad (23)$$

здесь показания β_1 принимаются по табл. 10.

Таблица 10

Показатели адиабаты	Давление в системе, МПа			
	0,07–0,5	0,5–1,0	1,0–5,0	5,0–10,0
1,1	1,6	1,95	2,95	3,38
1,2	1,4	1,53	2,13	2,68
1,3	1,21	1,42	1,97	2,18
1,4	1,08	1,24	1,68	1,83

$$G'_1 = V'_0 \rho', \text{ кг}, \quad (24)$$

$$V'_0 = \frac{P_{\text{абс}} V' T_0}{P_0 T}, \text{ м}^3, \quad (25)$$

где G'_1 – масса ПГФ, непосредственно имеющих в блоке при АРБ, кг; V' – геометрический объем ПГФ в системе, блоке, м^3 ; V'_0 – объемы ПГФ, приведенные к нормальным условиям, м^3 ; $P, P_{\text{абс}}, P_0$ – соответственно регламентированное, абсолютное и атмосферное (0,1 МПа) давление в блоке, МПа; T, T_0 – абсолютная регламентированная и нормальная температуры ПГФ блока ($T_0 = 293 \text{ К}$); E'_2 – энергия сгорания ПГФ, поступившей к разгерметизированному участку от смежных объектов (блоков):

$$E'_2 = \sum_{i=1}^n G'_i q', \text{ кДж}. \quad (26)$$

Для i -го потока

$$G'_i = w'_i S'_i \rho'_i \tau_i, \text{ кг}, \quad (27)$$

здесь w'_i – скорость истечения ПГФ в рассматриваемый блок из смежных блоков, м/с; S'_i – площадь сечения, через которую возможно истечение ПГФ при АРБ, м^2 ; ρ'_i – плотность ПГФ при нормальных условиях $\text{кг}/\text{м}^3$; τ_i – время с момента АРБ до полного срабатывания отключающей аварийной блок арматуры, с.

Для практического применения при определении скорости адиабатического истечения ПГФ можно использовать формулу

$$w'_i = \sqrt{2\beta_2 P_{\text{абс}i} v'_i}, \text{ м/с}, \quad (28)$$

где v'_i – удельный объем ПГФ (в реальных условиях), м³/кг.

Коэффициент β_2 принимается из табл. 11.

Таблица 11

Показатель адиабаты	Давление в системе, МПа		
	0,07–0,5	0,5–1,0	1,0–5,0
1,1	1,76	2,14	3,25
1,2	1,68	1,84	2,56
1,3	1,57	1,85	2,56
1,4	1,515	1,74	2,35

Количество ЖФ, поступившей от смежных блоков, определяется по формулам

$$G_i'' = w_i'' S_i'' \rho_i'' \tau_i'', \quad (29)$$

$$w_i'' = \beta_3 \sqrt{\frac{2P_i}{\rho_i''}}, \quad (30)$$

здесь w_i'' – скорость истечения ЖФ в рассматриваемый блок из смежных блоков, м/с; ρ_i'' – плотность ЖФ в среднем по блоку и по i -м поступающим в него при АРБ потокам, кг/м³; β_3 – в зависимости от реальных свойств ЖФ и гидродинамических условий истечения i -го потока принимается в пределах 0,1–0,9; E_1' – энергия сгорания ПГФ, образующаяся за счет энергии перегрева ЖФ рассматриваемого блока и поступившая от смежных объектов за время τ_i ,

$$E_1'' = G_1'' c'' \theta_k'' \frac{q}{r} + \sum_{i=1}^n G_{1i}'' c_i'' \theta_{ki}'' \frac{q_i}{r_i}, \text{ кДж}, \quad (31)$$

где c'' , c_i'' – удельная теплоемкость ЖФ, кДж/кг; $\theta''_к$, $\theta''_{ки}$ – разность температур ЖФ при регламентированном режиме и ее кипении при атмосферном давлении, °С; q' , q'_i – удельная теплота сгорания ПГФ, кДж/кг; E_2'' – энергия сгорания ПГФ, образующаяся из ЖФ за счет тепла экзотермических реакций, не прекращающихся при аварийной разгерметизации (при аварии аммиачного оборудования данные реакции отсутствуют); E_3'' – энергия сгорания ПГФ, образующаяся из ЖФ за счет теплопритока от внешних теплоносителей:

$$E_3'' = \frac{q'}{r} \sum_{i=1}^n P_{Ti} \tau_{Ti}, \text{ кДж}, \quad (32)$$

здесь P_{Ti} – скорость теплопритока к ЖФ от внешних теплоносителей, кДж/с; τ_{Ti} – время с момента АРБ до полного прекращения подачи теплоносителя к аварийному блоку (прекращение теплообменного процесса), с.

Значение P_T может определяться с учетом конкретного теплообменного оборудования и основных закономерностей процессов теплообмена ($P_{Ti} = K_i F_i \Delta t_i$, кДж/ч); E_4'' – энергия сгорания ПГФ, образующаяся из пролитой на твердую поверхность (пол, поддон, грунт и т. п.) ЖФ за счет теплоотдачи от окружающей среды (от воздуха по зеркалу и твердой поверхности к жидкости):

$$E_4'' = G_{\Sigma}'' q', \text{ кДж}, \quad (33)$$

где $G_{\Sigma}'' = G_4'' + G_5''$, кг;

$$G_4'' = 2 \frac{T_0 - T'_к}{r} \frac{e}{\sqrt{\pi}} \frac{F_n}{F_{ж}} F_n \sqrt{\frac{\tau_{и}}{60}}, \text{ кг}, \quad (34)$$

здесь T_0 – температура твердой поверхности (пола, поддона, грунта и т. п.), $\pi = 3,14$; e – коэффициент тепловой активности поверхности (поддона), ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{°С} \sqrt{\text{ч}}$),

$$e = \sqrt{\lambda c p}, \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С} \sqrt{\text{ч}}),$$

$$G_5'' = m_{и} F_{ж} \tau_{и}, \text{ кг};$$

$$m_{и} = 10^{-6} \eta \sqrt{M P_{н}}, \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Значение безразмерного коэффициента η , учитывающего влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью (зеркало испарения) жидкости, принимается по табл. 12.

Таблица 12

Значения коэффициента η

Скорость воздушного потока над зеркалом испарения, м/с	Значения коэффициента η при температуре воздуха в помещении t_{oc} , °C				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,5	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Ориентировочные значения $G_{\Sigma}'' = G_4'' + G_5''$ могут определяться по табл. 13 в зависимости от температуры кипения жидкости при атмосферном давлении t_k'' , °C для условий $F_{\Pi} = 50 \text{ м}^2$, $\tau_{и} = 180 \text{ с}$, $t_{o.c} = 50 \text{ °C}$.

Таблица 13

Ориентировочные значения парогазовой фазы

Значения температуры кипения жидкой фазы t_k'' , °C					
10/-5	-5/-20	-20/-35	-35/-55	-55/-80	<-80
Масса парогазовой фазы G_{Σ}'' , кг (при $F_{\Pi} = 50 \text{ м}^2$)					
135-185	185-235	235-285	285-350	350-425	> 425

Для конкретных условий, когда твердая поверхность разлива жидкости окажется больше или меньше 50 м^2 , производится пересчет количества паров, полученных из таблицы:

$$G_{\Sigma} = G_{\Sigma}'' \frac{F_{\Pi}}{50}, \text{ кг.} \quad (35)$$

По значениям общих энергетических потенциалов взрывоопасности E определяются величины других показателей, характеризующих уровень взрывоопасности технологических блоков (стадий).

Общая масса горючих паров (газов) взрывоопасного парогазового облака m , приведенная к единой удельной энергии сгорания, равной 46000 кДж/кг:

$$m = \frac{E}{46000}, \text{ кг.} \quad (36)$$

Относительный энергетический потенциал взрывоопасности Q_B технологического блока (стадии), который может находиться расчетным методом по формуле

$$Q_B = \frac{1}{16,534} E^{1/3}. \quad (37)$$

По значениям относительных энергетических потенциалов Q_B и приведенной массе парогазовой среды m осуществляется классификация (категорирование) технологических блоков (стадий). Классификация приведена в табл. 14.

Таблица 14

Классификация технологических блоков

Категории	Q_B	m , кг
I	> 37	> 5000
II	27–37	2000–5000
III	< 27	< 2000

При использовании технологических блоков I и II категорий взрывоопасности система контроля уровня загазованности должна обеспечивать в автоматическом режиме сбор и обработку информации о концентрации аммиака в воздухе в местах установки датчиков сигнализаторов концентрации паров аммиака.

Система контроля уровня загазованности при возникновении аварии, связанной с утечкой аммиака, в автоматическом режиме должна включать технические устройства, задействованные в системе локализации и ликвидации последствий аварии, средства оповещения об аварии и отключать оборудование холодильной установки, функционирование которого может привести к росту масштабов и последствий аварии.

Структура системы контроля уровня загазованности должна быть двухконтурной и двухуровневой.

Наружный контур должен обеспечивать контроль за уровнем загазованности на территории аммиачной холодильной установки с выдачей данных для прогнозирования распространения зоны химического заражения за территорию объекта и контроль за аварийными утечками аммиака из находящегося вне помещений оборудования холодильной установки.

Внутренний контур должен обеспечивать контроль за уровнем загазованности и аварийными утечками аммиака в помещениях.

Наружный и внутренний контуры системы контроля уровня загазованности должны иметь два уровня контроля концентрации аммиака в воздухе:

1-й уровень. Предельно допустимая концентрация ($\text{ПДК}_{\text{рз}}$) – концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны помещений и вне помещений у мест установки датчиков достигла величины, равной 20 мг/м^3 ($\text{ПДК}_{\text{рз}}$);

2-й уровень. Аварийная утечка аммиака – концентрация аммиака в местах установки датчиков достигла величины, равной $25 \text{ ПДК}_{\text{рз}}$, или 500 мг/м^3 .

Система должна быть оснащена автоматическими средствами, позволяющими контролировать уровень загазованности на промышленной площадке (1-й уровень наружного контура контроля) и прогнозировать распространение зоны химического заражения за территорию объекта. Такое оснащение должно быть обосновано оценкой возможных последствий аварии, подтвержденной соответствующими расчетами.

На площадке должно быть установлено устройство, измеряющее направление и скорость ветра, данные которого используются при расчетах возможных масштабов загазованности.

Для аммиачных холодильных установок, имеющих в своем составе технологические блоки III категории взрывоопасности, допускается установка сигнализаторов концентрации паров аммиака, срабатывающих при заданных значениях концентраций. Объем информации от установленных сигнализаторов должен быть достаточным для формирования соответствующих управляющих воздействий.

Система контроля уровня загазованности при превышении заданной величины концентрации аммиака должна обеспечивать автоматическое выполнение следующих действий:

- включение в помещении управления (помещение обслуживающего персонала) предупредительной световой и звуковой сигнализации и общеобменной вентиляции в машинном, аппаратном и конденсаторном отделениях при превышении предельно допустимой концентрации аммиака ($\text{ПДК}_{\text{рз}}$) в воздухе рабочей зоны этих помещений в пределах 20 мг/м^3 ;

- включение в помещении управления световой и звуковой сигнализации «Превышение уровня ПДК» и аварийной вентиляции при превышении концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны помещения (машинного, аппаратного и конденсаторного отделений) величины, равной трем $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (60 мг/м^3); возврат всех систем в исходное состояние при снижении текущего значения концентрации ниже уровня трех $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (60 мг/м^3) и $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (20 мг/м^3) без отключения общеобменной вентиляции;

- включение в помещении управления предупредительной световой и звуковой сигнализации при превышении предельно допустимой концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны у мест установки датчиков, расположенных вблизи технологических блоков на открытой площадке, величины, равной $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (20 мг/м^3);

- включение в помещении управления световой и звуковой сигнализации «Превышение уровня ПДК» и системы оповещения на объекте при превышении концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны в местах установки датчиков величины, равной трем $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (60 мг/м^3);

- возврат всех систем в исходное состояние при снижении текущего значения концентрации ниже уровня $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ (20 мг/м^3);

- включение в помещении управления предупредительной световой и звуковой сигнализации «Авария» при превышении концент-

рации аммиака в воздухе рабочей зоны помещений распредустройств величины, равной ПДК_{рз} (20 мг/м³), с одновременным включением аварийной вентиляции этих помещений;

– автоматическое отключение подачи жидкого аммиака в помещения распредустройств при превышении концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны величины, равной трем ПДК_{рз} (60 мг/м³);

– включение в помещении управления предупредительной световой и звуковой сигнализации «Авария» при превышении концентрации аммиака в воздухе рабочих зон холодильных камер и помещений других потребителей холода величины ПДК_{рз} (20 мг/м³);

– отключение подачи аммиака в контролируемые помещения при превышении в них величины концентрации аммиака, равной трем ПДК_{рз} (60 мг/м³). При этом в помещениях производственных цехов с технологическим оборудованием, содержащим аммиак, должна включаться вытяжная вентиляция;

– включение в помещении управления предупредительной световой и звуковой сигнализации «Авария» технических средств системы локализации аварии, системы оповещения на объекте, отключение аммиачного оборудования при превышении концентрации аммиака у мест установки датчиков в помещениях машинного, аппаратного и конденсаторных отделений величины, равной 500 мг/м³ (25 ПДК_{рз});

– включение в помещении управления световой и звуковой сигнализации «Авария» технических средств системы локализации аварии, системы оповещения на объекте, отключение аммиачного оборудования при превышении величины концентрации аммиака в местах установки датчиков вблизи технологических блоков и оборудования, расположенного на открытой площадке, равной 500 мг/м³ (25 ПДК_{рз}).

Система должна обеспечивать оперативное предупреждение в помещении управления о конкретном месте происшедшей аварии и включение необходимых технических средств для локализации последствий аварии.

Система контроля уровня загазованности по обеспечению надежности электроснабжения относится к электроприемникам I категории в соответствии с ПУЭ. При отсутствии на объекте второго независимого источника электроснабжения необходимо использовать

станции автоматического резервного питания, снабженные аккумуляторными батареями.

Технические характеристики, количество и месторасположение датчиков сигнализаторов концентрации паров аммиака определяются проектной документацией.

Состав и структура системы контроля уровня загазованности должны быть совместимы с техническими средствами локализации и ликвидации последствий аварии. Проектирование системы контроля уровня загазованности должно сопровождаться рассмотрением сценариев возможных аварий, оценкой их последствий, подтвержденными соответствующими расчетами.

Не допускается использование не аттестованных и не прошедших государственную проверку приборов, не имеющих разрешения Госгортехнадзора России на их применение. Исполнение датчиков должно соответствовать условиям эксплуатации. В конструкции датчиков должна быть предусмотрена защита от несанкционированного доступа атмосферных осадков и брызг при влажной уборке.

Допускается неавтоматическое (по месту или дистанционное) включение технических устройств, задействованных в системе локализации и ликвидации последствий аварии, обоснованное оценкой влияния этого технического решения на возможные последствия аварии в сравнении с автоматическим включением.

10. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Кожухотрубные аппараты, технологическое оборудование с непосредственным охлаждением (скороморозильные аппараты, фризеры и льдогенераторы), а также сосуды, работающие под давлением, с внутренним диаметром более 150 мм должны оснащаться предохранительными устройствами от превышения давления. Аппараты воздушного охлаждения, изготовленные из бесшовных труб с внутренним диаметром не более 70 мм, с коллекторами, изготовленными из бесшовных труб внутренним диаметром не более 150 мм, можно не оснащать предохранительными устройствами.

В качестве предохранительных устройств применяются пружинные предохранительные клапаны и мембранные предохранительные устройства в соответствии с действующими нормативными техническими документами.

Конечные и промежуточные ступени нагнетания компрессоров с теоретической объемной производительностью $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$ и более, нагнетательная полость поршневых, шестеренчатых и винтовых насосов жидкого аммиака должны быть защищены установкой на соответствующей полости до обратного клапана и запорной арматуры пружинного предохранительного клапана.

Сброс жидкого аммиака из ступеней нагнетательной полости насоса и газообразного аммиака из полости нагнетания компрессора должен производиться на сторону всасывания каждого из этих видов оборудования, а на винтовых компрессорных агрегатах допускается их сброс и в атмосферу.

При подборе предохранительных устройств пропускная способность самодействующих предохранительных устройств, устанавливаемых на полостях конечных и промежуточных ступеней сжатия паров аммиака, должна быть не менее 0,9 массовой производительности защищаемого компрессора или его ступени сжатия.

Пропускная способность предохранительных устройств для защиты от разрушений сосудов, аппаратов и технологического оборудования, содержащих жидкий аммиак (далее в этом разделе сосуды, аппараты), должна обеспечивать отвод испарившегося аммиака в условиях пожара.

Требуемая пропускная способность определяется по формуле

$$G = q \frac{F}{r}, \text{ кг/с,}$$

где q – плотность теплового потока через наружные стенки сосуда или аппарата, принимаемая во всех случаях 10 кВт/м^2 ; F – площадь наружной поверхности аппарата или сосуда, м^2 ; r – удельная теплота парообразования аммиака при давлении насыщения в 1,15 раза больше расчетного давления защищаемого сосуда (аппарата), кДж/кг .

Сосуды и аппараты холодильных систем должны оснащаться двумя предохранительными клапанами с переключающим устройством, исключающим одновременное перекрытие обоих клапанов. Каждый из клапанов должен быть рассчитан на полную пропускную способность:

$$G = \alpha F \sqrt{p_1 p_2} \varphi \left(\frac{p_1}{p_2} \right), \text{ кг/с,}$$

где α – коэффициент расхода; F – площадь сечения клапана, м^2 ; p_1, p_2 – давление после и до клапана соответственно, Па ; ρ_2 – плотность газа или пара до клапана, кг/м^3 ; φ – критерий расхода.

Допускается оснащать сосуды одним предохранительным клапаном, если геометрический объем сосуда не превышает $0,3 \text{ м}^3$.

Размер проходных сечений пружинных предохранительных устройств определяется в соответствии с требованиями стандартов.

Предохранительные устройства сосудов (аппаратов) должны быть отрегулированы на начало открытия при избыточном давлении не выше расчетного, указанного в паспортной документации завода-изготовителя сосудов (аппаратов).

При наличии на стороне всасывания (нагнетания) холодильной установки сосудов (аппаратов) с различной величиной разрешенных давлений их предохранительные клапаны должны быть отрегулированы на начало открытия при давлении, предусмотренном в соответствии с проектом, но не выше минимального из расчетных давлений, установленных для аппаратов и сосудов данной стороны.

Предохранительный клапан компрессора, соединяющий при своем открывании полости нагнетания и всасывания (или ступени

сжатия), должен быть отрегулирован на открывание при разности давлений в соответствии с инструкцией завода-изготовителя компрессора.

В системах непосредственного охлаждения с автоматическим закрыванием жидкостных и всасывающих вентилях у охлаждающих устройств необходимо устанавливать предохранительные устройства на всасывающих трубопроводах до запорного вентиля с выпуском паров во всасывающие магистрали за запорные вентили (по ходу аммиака) или в трубопровод аварийного выброса аммиака. Эти устройства должны быть отрегулированы на начало открывания при избыточном давлении, разрешенном для используемого оборудования стороны низкого давления холодильной установки.

Требуемая пропускная способность предохранительного устройства для воздухоохладителей, у которых оттаивание от снеговой шубы проводится с помощью электронагревателей, определяется по соотношению

$$G = \frac{N_{\text{эл}}}{r}, \text{ кг/с,}$$

где $N_{\text{эл}}$ – мощность электрических нагревателей, размещенных на змеевиках воздухоохладителя, кВт.

В системах с оттаиванием охлаждающих устройств горячими парами аммиака на линии отбора этих паров после запорного вентиля (по ходу паров от места отбора к охлаждающим устройствам) необходимо устанавливать предохранительный клапан, который должен быть отрегулирован на начало открытия при избыточном давлении, соответствующем наименьшему из расчетных давлений охлаждающих устройств.

Выпуск паров аммиака в атмосферу через предохранительные устройства должен быть выполнен с помощью трубы, выводимой на 3 м выше конька крыши наиболее высокого здания в радиусе 50 м, но во всех случаях не менее 6 м от уровня территории (земли) и не менее 3 м от площадок обслуживания, находящихся в радиусе 15 м.

Устье трубы для выпуска аммиака не допускается направлять вниз, при этом труба должна быть защищена от скопления атмосферных осадков.

Внутренний диаметр трубы, отводящей пары аммиака, по всей длине должен быть не меньше внутреннего диаметра выходного патрубка предохранительного устройства.

Допускается присоединение предохранительных устройств к общей отводящей трубе, поперечное сечение которой должно быть не менее 100 % суммы сечений для четырех отводящих труб и не менее 50 % суммы сечений отдельных отводящих труб в случае, если число отводящих труб более четырех.

Предохранительные устройства компрессорных агрегатов должны проверяться на давление срабатывания (открывание и закрывание) не реже одного раза в год, а предохранительные устройства на сосудах и аппаратах – не реже одного раза в шесть месяцев.

При снятии одного из двух предохранительных клапанов арматура должна быть переключена на задействованный клапан и опломбирована в этом положении.

После проверки и установки на место предохранительные клапаны должны быть опломбированы (с составлением акта проверки).

Снятие предохранительных клапанов на проверку, установка и пломбирование их должны производиться только по указанию лица, ответственного за исправное состояние и безопасную работу сосудов (аппаратов), и в его присутствии.

Предохранительный клапан компрессора, соединяющий полости нагнетания и всасывания, изготавливается и поставляется заводом-изготовителем компрессора. В случае выхода его из строя он заменяется на новый, приобретаемый на заводе-изготовителе компрессоров.

11. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ, СИГНАЛИЗАЦИИ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Системы контроля, автоматического и дистанционного управления, системы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), в том числе поставляемые комплектно с оборудованием, должны отвечать требованиям настоящих Правил действующей нормативной технической документации, проектам, регламентам и обеспечивать заданную точность поддержания технологических параметров, надежность и безопасность эксплуатации холодильных систем.

Степень защиты электроприборов и средств автоматического и дистанционного управления, располагаемых в помещениях с аммиачным оборудованием, должна быть не ниже IP44.

Аммиачные компрессоры должны быть оснащены средствами ПАЗ, срабатывающими по следующим параметрам:

- по предельно допустимому значению давления нагнетания;
- по предельно допустимой температуре нагнетания;
- по предельно допустимой низшей разности давлений в системе смазки;
- по верхнему предельно допустимому уровню жидкого аммиака в аппарате или сосуде, из которого отсасываются пары аммиака;
- по верхнему предельно допустимому уровню жидкого аммиака в промежуточном сосуде (между ступенями компрессора).

Значения предельно допустимых параметров определяются разработчиком проекта по данным научно-исследовательских организаций, характеристикам средств контроля, измерения и управления, документации заводов-изготовителей оборудования.

Для защиты от превышения давления должны использоваться штатные реле давления, воздействующие на остановку приводных электродвигателей или обеспечивающие операции, ограничивающие рост давления, но не исключающие необходимость монтажа предохранительных устройств на оборудовании (пружинные предохранительные клапаны, разрушающиеся в сторону выброса мембраны) в случаях, предусмотренных правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, и настоящих Правил.

В холодильных системах, оборудованных двумя и более компрессорами, обслуживающими несколько испарительных систем, следует размещать устройства, обеспечивающие остановку всех компрессоров при срабатывании защитных реле уровня жидкости в сосуде (аппарате) любой системы.

В системах охлаждения с хладоносителем (рассол, вода и др.) должны быть установлены приборы, отключающие компрессоры при прекращении движения этого хладоносителя через кожухотрубные испарители или при понижении в них температуры кипения аммиака до пределов, ведущих к замерзанию хладоносителя.

На каждом компрессоре или агрегате, имеющем водяное охлаждение, должны быть предусмотрены приборы, отключающие компрессоры при отсутствии протока воды или снижении давления воды ниже установленного предела. На трубопроводах подачи воды должны быть установлены электромагнитные клапаны, прекращающие подачу воды при остановке компрессора.

Не допускаются пуск и работа компрессоров с неисправными или выключенными приборами защитной автоматики.

При срабатывании приборов ПАЗ должна автоматически включаться светозвуковая сигнализация, выключение которой должно быть ручным.

Каждый из перечисленных ниже сосудов (аппаратов) холодильной системы должен иметь защиту по уровню жидкого аммиака:

а) блок испарителя (кожухотрубного или панельного): два сдублированных реле уровня, отключающих компрессоры при достижении верхнего предельно допустимого уровня аммиака (с предварительной сигнализацией);

б) циркуляционный ресивер (совмещающий функции отделителя жидкости), промежуточный сосуд: два сдублированных реле уровня, отключающих компрессоры при достижении верхнего предельно допустимого уровня аммиака, с предварительной сигнализацией; реле для предупредительной сигнализации об опасном повышении уровня аммиака;

в) отделитель жидкости: два сдублированных реле уровня, отключающих компрессоры в случае превышения в этом сосуде предельно допустимого уровня аммиака, с предаварийной сигнализацией. В установках с дозированной зарядкой аммиака допускается

не устанавливать на циркуляционном ресивере или отделителе жидкости реле уровня для предупредительной сигнализации;

г) защитный ресивер (совмещающий функции отделителя жидкости): два сдублированных реле уровня, отключающих компрессоры при достижении предельно допустимого уровня аммиака (с предупредительной сигнализацией); реле для сигнализации об опасном повышении уровня аммиака; реле для предупредительной сигнализации о минимальном уровне аммиака;

д) ресиверы линейный и дренажный: реле для предупредительной сигнализации о достижении максимального уровня аммиака; реле для предупредительной сигнализации о минимальном уровне аммиака.

При достижении перечисленных выше уровней жидкого аммиака в сосудах и аппаратах должна автоматически включаться световая сигнализация, которая должна быть обеспечена лампами следующих цветов: красный – сигнал о предельно допустимом уровне (предаварийная сигнализация); желтый – сигнал об опасном повышении верхнего уровня (предупредительная сигнализация).

Световые сигналы об уровнях жидкого аммиака должны одновременно сопровождаться звуковым сигналом, выключение которого должно быть ручным.

Питание аппаратов (сосудов) жидким аммиаком следует оценивать с помощью автоматических регуляторов уровня на стороне низкого давления, а в системах с дозированной зарядкой – на стороне высокого давления.

Каждый из аппаратов (сосудов), установок (машин), в которые подается жидкий аммиак со стороны высокого давления, должен оснащаться автоматическими запорными вентилями, прекращающими поступление в них жидкости при остановке компрессоров, работающих на отсасывание паров из аппаратов (сосудов).

Допускается установка одного автоматического запорного устройства на общем трубопроводе жидкого аммиака, питающем несколько испарительных систем, если отсос пара аммиака из этих систем осуществляется одним компрессором.

Не допускается одновременное использование одного и того же прибора для регулирования и защиты.

Не допускается применение многоточечных приборов с обтекающими устройствами в качестве средств противоаварийной защиты.

Электрические приборы автоматической защиты холодильных систем должны иметь замкнутую выходную цепь или замкнутые контакты при нормальном состоянии контролируемых параметров, которые должны размыкаться при аварии или выходе прибора из строя.

Электрические схемы должны исключать возможность автоматического пуска компрессора после срабатывания приборов защиты. Пуск его должен быть возможен только после ручной деблокировки защиты.

Промежуточные колонки, применяемые для установки реле уровня, должны присоединяться к аппаратам (сосудам) выше возможного уровня скопления в них масла способом, предотвращающим образование масляных пробок в колонках, и иметь подвод трубопроводных линий для проверки исправности реле уровня.

На нагнетательном и всасывающем трубопроводах каждого компрессора должны быть установлены гильзы для термометров (на расстоянии 200–300 мм от запорных вентилей) с оправками для защиты термометров от механических повреждений.

Не допускается использование ртутных термометров (и ртутных устройств) для измерения температуры в контрольных точках аммиачной холодильной системы.

Для аммиачных холодильных систем должны применяться специально предназначенные для эксплуатации в среде аммиака манометры и мановакуумметры.

Класс точности, размеры, установка приборов и сроки проверки должны соответствовать требованиям правил устройства безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Допускается использование других средств измерения и контроля параметров по документации завода-изготовителя или в соответствии с техническими условиями.

В холодильных установках и машинах манометры (мановакуумметры) должны быть установлены:

– на компрессоре для наблюдения за рабочими давлениями всасывания, нагнетания, в системе смазки (при принудительной подаче масла насосом) и в картере (поршневых компрессоров, не имеющих уравнивания между всасыванием и картером);

– на всех аппаратах, сосудах, аммиачных насосах, технологическом оборудовании с непосредственным охлаждением, а также на жидкостных и оттаивательных коллекторах распределительных

аммиачных устройств, соединенных трубопроводами с оборудованием холодильных камер. В агрегатированных холодильных машинах и установках контейнерного типа необходимость установки манометров (мановакуумметров) на трубопроводах и коллекторах определяется разработчиком оборудования.

В централизованной системе мановакуумметры должны быть установлены на каждой всасывающей магистрали испарительной системы холодильной установки до отделителя жидкости (по ходу паров), а на нагнетательном трубопроводе каждого компрессора, отключаемом запорной арматурой от общей нагнетательной магистрали, – отдельный манометр, устанавливаемый за обратным клапаном (по ходу паров аммиака).

При необходимости визуального контроля уровня жидкого аммиака в сосудах (аппаратах) на последних должны применяться смотровые стекла в соответствии с инструкцией завода-изготовителя сосуда (аппарата). Указатели уровня аммиака должны изготавливаться с плоскими рифлеными и термически закаленными стеклами на давление до 3,5 МПа и оборудоваться приспособлениями для их автоматического отключения от сосуда или аппарата при повреждении стекла. Площадь смотровой поверхности стекол (с одной стороны) не должна превышать 100 см².

Для предохранения обслуживающего персонала от травмирования при разрыве смотровых стекол должно быть предусмотрено защитное устройство.

Исправность автоматических приборов защиты аммиачных компрессоров, а также сигнализаторов концентрации паров аммиака в воздухе помещений и наружных площадок должна проверяться не реже одного раза в месяц, а исправность защитных реле уровня на аппаратах (сосудах) – один раз в 10 дней.

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ

Создаваемое оборудование должно отвечать требованиям Общих правил взрывобезопасности для взрыво- и пожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, соответствующих стандартам и другой нормативной документации.

Расчеты на прочность холодильного оборудования должны проводиться по величинам расчетных давлений P_p , принятых для соответствующей стороны холодильной установки (низкого или высокого давления).

Расчетное давление определяется как максимальное избыточное давление, которое может возникнуть в работающей или остановленной холодильной установке.

Расчетное давление для оборудования аммиачных холодильных установок должно соответствовать действующим государственным и отраслевым стандартам, ведомственным документам, но быть не ниже значений давлений испытаний на прочность и плотность, приведенных в табл. 15.

Таблица 15

Значения давлений испытаний

Область испытаний	Давление испытания (избыточное), МПа (кг/см ²)	
	пробное, на прочность	расчетное, на плотность
1. Сторона низкого давления установок и сторона промежуточного давления двухступенчатых установок	2,0 (20,0)	1,6 (16,0)
1а. То же для установок с температурой окружающего (атмосферного) воздуха не более 32 °С	1,5 (15,0)	1,2 (12,0)
2. Сторона высокого давления для установок с водоохлаждаемыми и испарительными конденсаторами	2,0 (20,0)	1,6 (16,0)
3. Сторона высокого давления для установок с конденсаторами воздушного охлаждения	2,9 (29,0)	2,3 (23,0)

Область испытаний	Давление испытания (избыточное), МПа (кг/см ²)	
	пробное, на прочность	расчетное, на плотность
За. То же для установок, эксплуатируемых в условиях умеренной и холодной зоны при обеспечении температуры конденсации не более 50 °С (за счет подбора оборудования)	2,5 (25,0)	2,0 (20,0)

Для оборудования стороны высокого давления, куда поступают пары аммиака непосредственно от компрессоров, расчетная температура стенок должна учитывать допустимые температуры нагнетания хладагента.

Значение пробных давлений для контроля прочности и настройка предохранительных устройств и приборов ограничения рабочих давлений устанавливаются в зависимости от величин расчетных давлений оборудования.

Холодильные агрегаты и машины, оснащаемые компрессорами объемного сжатия, должны иметь ручные запорные вентили, размещаемые в местах нагнетания и всасывания компрессоров и на выходе жидкого аммиака из ресиверов или конденсаторов, конструкции которых имеют ресиверные аммиакосборники.

На всасывающих линиях компрессоров и насосов должны предусматриваться съемные (временные) фильтрующие элементы, исключающие опасность попадания посторонних предметов, грязи и окалины в это оборудование.

Движущиеся части оборудования должны иметь защитные ограждения.

На сосудах и аппаратах, геометрический объем которых по полости аммиака более 0,3 м³, должны устанавливаться указатели уровня жидкого хладагента (для визуального контроля).

Фланцевые соединения на сосудах и аппаратах, арматуре, приборах и трубопроводах должны выполняться с уплотнительными поверхностями, обеспечивающими герметичность соединения («выступ-впадина», «шип-паз» и др.).

Неразъемные соединения должны производиться с помощью сварки.

Конструкция арматуры должна исключать полное вывертывание шпинделя. Арматура с сальниковым уплотнением шпинделя должна иметь приспособление, отделяющее сальниковую камеру в полностью открытом состоянии от канала протока аммиака.

Сосуды и аппараты аммиачных холодильных установок разрабатываются и изготавливаются в соответствии с требованиями нормативных технических документов к проектированию и изготовлению сосудов, работающих под давлением, и аппаратов стальных сварных.

Компрессорные и компрессорно-аппаратные агрегаты, а также аппараты, сосуды и комплектно поставляемые холодильные машины (установки, станции), должны быть оснащены приборами и устройствами в соответствии с требованиями разделов 9 и 10 ПБ 09-595–03.

Вентиляторы, насосы, компрессорные и компрессорно-аппаратные агрегаты и машины должны удовлетворять требованиям норм по шумовым и вибрационным характеристикам.

Электродвигатели, электрические приборы автоматики и щиты управления, входящие в комплекты холодильного оборудования, должны соответствовать требованиям правил устройства электроустановок.

Документация, поставляемая с сосудами и аппаратами потребителю, должна соответствовать требованиям нормативной технической документации.

Документация, поставляемая с холодильными компрессорами, насосами, компрессорно-аппаратными агрегатами, комплектными установками (станциями) и машинами потребителю, должна содержать:

а) паспорт (формуляр) с техническими характеристиками оборудования и примененных материалов для его изготовления, в том числе с данными по виброшумовым характеристикам и сроку службы оборудования, а также объему и результатам приемо-сдаточных испытаний;

б) инструкцию по эксплуатации, куда входит техническое описание оборудования;

– инструкцию по монтажу с необходимыми требованиями к фундаменту, узлам крепления к нему, требованиями к помещениям (где размещается оборудование), присоединениям внешних трубопроводов, электропитания, заземления;

г) правила пуска в работу и безопасного обслуживания;

д) указания по ремонту и предельные нормы износа основных быстроизнашивающихся деталей.

К инструкции по эксплуатации должны прилагаться чертежи общего вида оборудования, основных узлов и быстроизнашивающихся деталей с указанием материалов их изготовления, а также паспорта предохранительных клапанов и приборов (по формам, установленным государственными или отраслевыми стандартами).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПБ 09-595–03 Правила безопасности аммиачных холодильных установок. – М., 2004.

2. НПБ 105–95 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. – М., 1996.

3. СП 12.13130–2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М., 2009.

4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2003.

5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ХОЛОДИЛЬНЫЕ АГЕНТЫ.....	7
1.1. Замена хладагентов в действующем оборудовании	8
1.2. Монреальский протокол	12
1.3. Преимущества и недостатки аммиака	14
1.4. Статистика аварий (несчастных случаев), связанных с использованием аммиака	15
1.5. Взрыво- и пожароопасность аммиака.....	17
1.6. Соответствие международным стандартам пожаробезопасности.....	18
1.7. Нормы и правила техники безопасности в РФ и за рубежом ...	19
2. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА В ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	21
2.1. Сравнение аммиака с другими современными хладагентами	24
3. КАТЕГОРИИ ЗДАНИЙ И ПОМЕЩЕНИЙ, В КОТОРЫХ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ РАЗМЕЩЕНИЕ АММИАЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	26
4. ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ.....	29
5. ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ	32
6. ТРЕБОВАНИЯ К ТРУБОПРОВОДАМ И АРМАТУРЕ	35
7. ТРЕБОВАНИЯ К ЗДАНИЯМ И ПОМЕЩЕНИЯМ УСТАНОВОК	39
7.1. Категории помещений по взрыво- и пожарной опасности	39
7.2. Методы определения категорий помещений А и Б	41
7.3. Категории зданий по взрыво- и пожарной опасности	47
7.4. Категории наружных установок по пожарной опасности.....	51

8. ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	53
9. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАГАЗОВАННОСТИ И ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ АВАРИЙНЫХ УТЕЧКАХ АММИАКА	55
9.1. Расчет категории взрывоопасности аммиачной холодильной установки.....	55
10. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВАМ	65
11. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕНИЯ, СИГНАЛИЗАЦИИ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК.....	69
12. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ.....	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	78

Кисс Валерий Вячеславович
Евдокимов Александр Александрович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Учебное пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Редактор
Р.А. Сафарова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

Подписано в печать 30.08.2016. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 4,88. Печ. л. 5,25. Уч.-изд. л. 5,0
Тираж 50 экз. Заказ № С 27

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

