

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.04.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки)

Экобиотехнология

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Модернизация блока хранения жидкого аммиака
в ПАО «Тольяттиазот» для сокращения выбросов оксидов азота

Студент

К.Г. Ярославцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

С.В. Афанасьев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель
программы

к.х.н., д.т.н., доцент, С.В. Афанасьев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ___ » _____ 2019г.

Допустить к защите
Заведующий
кафедрой

к.п.н., доцент, М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ___ » _____ 2019г.

Тольятти 2019

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Анализ проблемы снижения надежности резервуаров для хранения жидкого аммиака на примере ПАО «Тольяттиазот»	8
1.1 Анализа изотермических резервуаров для хранения жидкого аммиака	8
1.2 Анализ методик оценки риска	28
Выводы по 1 главе	33
Глава 2. Модернизация блока хранения жидкого аммиака в ПАО «Тольяттиазот» для сокращения выбросов оксидов азота	35
2.1 Анализ режимов работы цеха подготовки аммиака на ПАО «Тольяттиазот»	35
2.1.1 Прием жидкого аммиака в изотермические резервуары и хранение его при атмосферном давлении	40
2.1.2 Прием жидкого аммиака в сферы	43
2.1.3 Материальные балансы для различных режимов работы цеха подготовки аммиака к транспортировке	44
2.2 Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации	47
2.3 Расчет выбросов оксида азота при аварийных ситуациях	47
2.4 Патентный поиск оборудования изотермических резервуаров хранения жидкого аммиака	51
2.4.1 Типы и конструктивные особенности изотермических резервуаров	51
2.4.2 Двустенные изотермические резервуары	53
2.4.3 Одностенные изотермические резервуары	53
2.5 Интегрированный технический осмотр резервуаров	54
2.6 Предложение технических решений по модернизации блока	67

хранения жидкого аммиака	
2.7 Обоснование возможности применения технического решения по защите изотермического резервуара превышения давления и вакуума	67
2.8 Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуального программно-аппаратного комплекса мониторинга и диагностики хранилищ жидкого аммиака ПАО «Тольяттиазот» на основе акустико-эмиссионных технологий	72
2.9 Промышленная продувка аммиака с использованием азота перед выбросом в окружающую среду	75
2.9.1 Описание системы и расчеты	77
Выводы по 2 главе	89
Заключение	90
Список используемых источников	92
Приложение А Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации	99
Приложение Б Способ очистки газообразных выбросов от оксидов азота	106
Приложение В Очистка отходящих газов при хранении аммиака	113

Введение

Актуальность темы исследования. «Аммиак относится к группе веществ, у которых критическая температура выше, а температура кипения ниже температуры окружающей среды. При разгерметизации емкостей с жидкостями данной категории процесс образования газовых облаков зависит от условий хранения АХОВ (аварийно химически опасное вещество). В силу физико-химических свойств аммиака при аварийной разгерметизации емкости, т.е. при падении давления до нормального, происходит чрезвычайно быстрое испарение определенной части жидкости. Основная опасность в большей степени обусловлена возможностью его быстрого распространения на большое расстояние, что приводит к поражению людей парами аммиака и нарушению системы жизнеобеспечения населения» [4].

«Аммиак хранится в изотермических резервуарах, вместимостью 10 т под избыточном давлением 2-8КПа при температуре -33°C » [4]. «Для поддержания заданного давления аммиак, испарившийся в результате притока тепла, отводят потребителям или конденсируют и возвращают в резервуар. При росте давления выше заданного газообразный аммиак сбрасывается на факельную установку и сжигается в смеси с более калорийным природным газом» [4].

«По результатам научных исследований наиболее вероятным является сценарий, соответствующий мгновенному выбросу аммиака с образованием первичного и вторичного облака с последующим токсическим поражением персонала. Самым опасным является сценарий, соответствующий мгновенному воспламенению аммиака после образования первичного и вторичного облака с последующим взрывом смеси, но вероятность его возникновения очень мала. Что подтверждает, что основная опасность при разгерметизации системы изотермического хранения жидкого аммиака обусловлена быстрым распространением его паров.

Ввиду того, что большинство заводов находятся в черте городов, и, соответственно, не имеют необходимой санитарно-защитной зоны вокруг своей территории, то при аварии на системе изотермического хранения аммиака может пострадать значительное количество людей: не только персонал, находящийся непосредственно в цеху химико-термической обработки и на территории завода, но и население, проживающее на прилегающей селитебной территории» [4].

«Таким образом, система изотермического хранения аммиака несет в себе большую опасность, как для окружающей среды, так и для жителей и персонала, вследствие чего необходимо обосновать комплекс мероприятий, повышающих безопасность предприятий, на которых в производстве используется аммиак» [4].

«Изотермические резервуары (ИР), используемые для хранения сжиженного аммиака, представляют собой объекты повышенной опасности, разрушение которых может привести к техногенной катастрофе» [2].

«Так, на ПО «Азот» в г. Ионаве (Литва) 20 марта 1989 г. произошла авария на изотермическом хранилище, в результате которой резервуар был оторван от днища и отброшен в сторону на 25 м. При этом оказались разрушенными железобетонный стакан и эстакада с трубопроводами, среди которых находился трубопровод с природным газом. После разрушения железобетонного ограждения сжиженный аммиак беспрепятственно разлился по территории завода, образовав озеро ядовитой жидкости с поверхностью испарения около 10000 м², а в результате возгорания склада с нитрофоской произошло выделение ядовитых газов (аммиака, окислов азота и хлора и т.д.)» [2].

«При анализе были определены две возможные основные причины этой аварии:

- превышение в хранилище избыточного давления;
- образование микротрещин в месте сварки цилиндра и днища резервуара.

На территории РФ имеется более 20 единиц изотермических хранилищ жидкого аммиака. Эксплуатационный срок многих ИР превышает 30 лет, следовательно, риск развития коррозии, свищей, пор, трещин основных элементов возрастает» [2].

Цель исследования: снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет сокращения выбросов оксидов азота в процессе хранения аммиака.

Объект исследования: блок хранения жидкого аммиака в ПАО «Тольяттиазот».

Предмет исследования: конструкционные особенности резервуаров для хранения жидкого аммиака.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ проблемы снижения надежности резервуаров для хранения жидкого аммиака на примере ПАО «Тольяттиазот».

2. Провести анализ уровня риска загрязнения окружающей среды при происхождении аварийных ситуаций.

3. Разработать технические мероприятия для блока хранения жидкого аммиака на ПАО «Тольяттиазот» для сокращения выбросов оксидов азота.

Научная новизна исследования заключается в предложении для снижения негативного воздействия на окружающую среду использование промышленной продувки аммиака с использованием азота перед выбросом.

Теоретическая значимость исследования состоит в представлении сравнительного анализа существующих методик риска для хранилищ жидкого аммиака, в представлении методологических основ для анализа и оценки риска и конструкции блоков хранения жидкого аммиака.

Практическая значимость исследования: заключается в предложении технических решений блоков хранения жидкого аммиака на примере ПАО «Тольяттиазот».

Защищаемые положения:

1. Технические решения по модернизации блока хранения жидкого аммиака в ПАО «Тольяттиазот» для сокращения выбросов оксидов азота.

Структура магистерской диссертации: обусловлена логикой и последовательностью изложения результатов поставленных задач исследования. Диссертация состоит из введения, двух глав, заключения, списка используемых источников, включающего 59 наименований, а также 3 приложения. Объем работы составляет 115 страниц машинописного текста, содержит 21 рисунок и 9 таблиц.

Глава 1. Анализ проблемы снижения надежности резервуаров для хранения жидкого аммиака на примере ПАО «Тольяттиазот»

1.1 Анализа изотермических резервуаров для хранения жидкого аммиака

Для эффективного сброса и хранения охлажденных химических веществ, таких как аммиак, необходимо разработать специальные процессы, провести оценку некоторых связанных параметров. В работах Дуарте Видириос «Система контроля аммиака на основе спектроскопии длин волн» представлена чувствительная система в ближней инфракрасной области, основанная на принципе спектроскопии с длиной волны. Это довольно чувствительный метод обнаружения атомных/молекулярных видов, который можно использовать в ближней инфракрасной области с применением оптической телекоммуникационной технологии.

В «настоящее время согласно Европейским нормам изотермические резервуары (ИР) для хранения сжиженных газов подразделяются на четыре типа» [12]:

– изотермические резервуары «одинарного сдерживания» («single containment»), «имеющие один силовой корпус, рассчитанный на гидростатическое давление жидкости и давление газа над жидкостью» [12];

– изотермические резервуары «двойного сдерживания» («double containment»), «имеющие один силовой корпус и открытую защитную ограждающую стенку (или закрытую навесом от попадания дождя и снега» [12]);

– изотермические резервуары «полного сдерживания» («full containment»), «имеющие два силовых корпуса, concentрически расположенных один в другом, каждый из которых предназначен для сдерживания гидростатического давления жидкости, причем наружный корпус герметичен и рассчитан на сдерживание давления газа» [12];

– мембранные изотермические резервуары – «железобетонный резервуар, покрытый изнутри тонкой металлической мембраной (практически не нашедший применения в России)» [12]).

Первые три типа классифицируются «не по конструктивному исполнению, а по надежности сдерживания возможного аварийного пролива содержимого» [12]. Например, к первому типу («single containment») относятся как одностенные, так и двустенные изотермические резервуары, у которых наружная стенка не рассчитана на сдерживание гидростатического давления хранимого продукта, а является ограждающей конструкцией для засыпной теплоизоляции. Практически все изотермические резервуары, построенные в России 20- 40 лет назад, относятся к этому типу.

Возможные варианты конструктивных решений вертикальных цилиндрических изотермических резервуаров для хранения сжиженных газов из металла и/или железобетона подробно рассмотрены в монографии Б.В.Поповского и А.З. Майлера [4]. Все они вписываются в рассмотренную европейскую классификацию.

В «в наиболее ответственных случаях (вблизи городской застройки, пожаро- и взрывоопасных объектов и т.п.) в отечественную практику входит применение двустенных ИР с двумя силовыми стальными корпусами, обеспечивающих «полное сдерживание» хранимого продукта при его аварийном проливе из внутреннего резервуара. В рамках такой конструкции проектируются две ее разновидности» [27]:

«1) герметичная стационарная купольная крыша и у наружного, и внутреннего резервуаров (рисунок 1(2))» [27];

«2) внутренний резервуар имеет подвесную паропроницаемую крышу, крепящуюся к крыше наружного резервуара (рисунок 1(3))» [27].

Считается, что самыми надежными изотермическими резервуарами являются ИР, которые представляют собой два силовых корпуса и две герметичные стационарные купольные крыши.

С целью снижения последствий вероятной аварии по периметру изотермического резервуара возводится защита в виде железобетонной стены, при этом высота стены должна обеспечить сохранность полного объема растекающегося продукта из хранилища.

В соответствии с требованием Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» изотермические резервуары данного класса относятся к сооружениям повышенного уровня ответственности, при прочностных расчетах которых должен применяться повышенный коэффициент надежности по ответственности сооружения $\gamma_n \geq 1,1$, что приводит к увеличению толщины элементов ИР. Как правило, принимается $\gamma_n = 1,2$.

Сравнение надежности и безопасности этих двух вариантов двустенных вертикальных стальных изотермических резервуаров «полного сдерживания» для хранения жидкого аммиака [7].

Рассмотрим влияние данных конструктивных особенностей ИР:

- 1) на снижение риска аварии ИР;
- 2) на уменьшение последствий аварии.

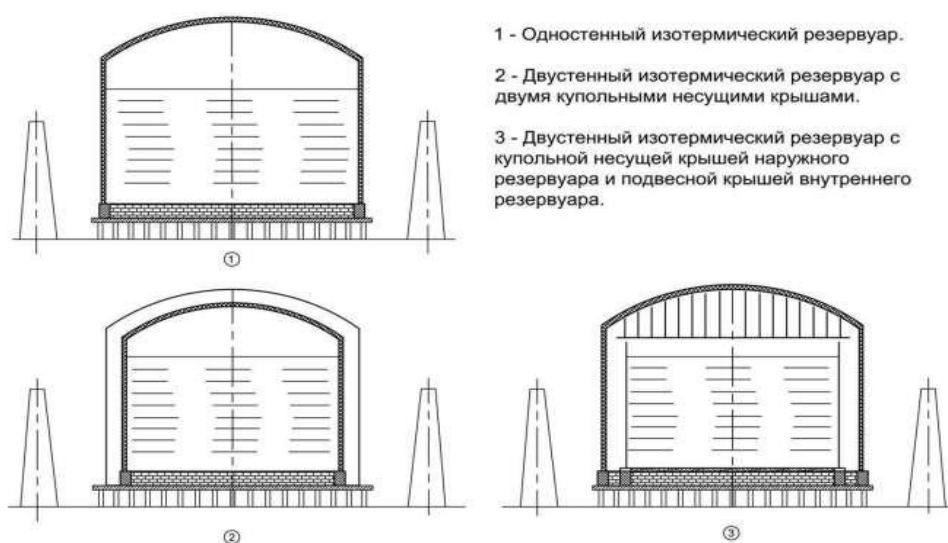


Рисунок 1 – Основные виды вертикальных изотермических резервуаров для хранения сжиженных газов

«Риск нежелательного события (аварии, инцидента) рассчитывается по формуле:

$$R=P \cdot V, \quad (1)$$

где

P – вероятность или показатель частоты нежелательного события,

V – ущерб от последствий аварии, инцидента» [27].

Соответственно, оценивается индивидуальный и коллективный риск человеческих потерь и риск финансовых потерь.

«Идентификация опасностей от аварии ИР и количественные оценки риска, в том числе оценки частоты возникновения различных видов повреждений и аварий изотермических резервуаров сжиженных газов, сделаны по имеющимся отечественным данным (10 случаев) повреждений ИР за период 35 лет – с 1979 по 2014 год, а также с учетом статистики аварий на ИР жидкого аммиака в США за период 1964 – 1984 г.» [27].

В таблице 1 «приведены сводные данные по авариям и инцидентам на изотермических резервуарах сжиженных газов в России (по данным экспертиз промышленной безопасности, проведенных ООО «НПК Изотермик»))» [27].

Таблица 1 – «Сводные данные по авариям и инцидентам на изотермических резервуарах сжиженных газов в России» [27]

№ п/п	Инцидент	Причины аварии, инцидента	% к итогу	Частота реализации сценария аварии, год ⁻¹
1	2	3	4	5
1	«Авария, полное разрушение изотермического резервуара»	«Отказ компрессора компримирования аммиака + «человеческий фактор»	10	$2,6 \cdot 10^{-4}$
2	«Инцидент»	«Утечка аммиака через микротрещины во внутреннем днище резервуара, повышение концентрации аммиака в межстенном пространстве»	10	$0,45 \div 0,5 \cdot 10^{-3}$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
3	«Инцидент»	«Трещина в «воротнике» трубопровода выхода жидкого аммиака. Ошибка проекта»	10	$0,45 \div 0,5 \cdot 10^{-3}$
4	«Инцидент»	«Недопустимая деформация анкерных полос, просадка ИР из-за гниения деревянного опорного кольца»	10	$0,45 \div 0,5 \cdot 10^{-3}$
5	«Инцидент, не связанный с эксплуатацией»	«Нарушение условий гидропневмоиспытаний, повлекшее недопустимые деформации резервуара – потерю устойчивости стенки*»	40	$6,6 \cdot 10^{-2}$
6	«Инцидент, не связанный с эксплуатацией»	«Нарушение правил безопасности при вводе ИР в эксплуатацию после технической диагностики»	20	$0,33 \cdot 10^{-2}$

«* Инцидент, не связанный с эксплуатацией, данный инцидент имел место, по крайней мере, в 4-х случаях.

** Далее в оценке риска аварии инциденты не используются» [27].

«Количество изотермических резервуаров для хранения различных сжиженных газов в России – около 60 единиц. Среднее время эксплуатации изотермического резервуара – 35 лет. Количество «резервуаров-лет», т.е. произведение количества изотермических резервуаров «на среднее время эксплуатации оцениваем величиной 2100.

Количество «резервуаро-лет» по аммиачным ИР в США за период 1964 – 1984 г.г., оцениваем величиной 5600. Все эти резервуары, как в России, так и в США имеют одну силовую стенку.

Таким образом, в России и США за $2100+5600 = 7700$ «резервуаро-лет» произошло 2 случая аварий, сопровождавшихся разрушением изотермического резервуара, причем по сходным причинам – в результате остановки компрессора компримирования газообразного аммиака и повышения давления в изотермическом резервуаре. Различий в конструкциях изотермических резервуаров в «России и США в рассматриваемый период практически не было, поэтому статистику аварий объединяем в общую» [27].

«Наиболее вероятный и наиболее опасный сценарий аварии изотермического резервуара: нарушение в работе агрегата компримирования аммиака, приводящее к его остановке, повышению температуры в резервуаре и росту внутреннего давления до значения, в 2 – 3 раза превышающего расчетное. Далее может произойти разрушение резервуара по двум сценариям: либо обрыв анкеров при недостаточной их прочности, недопустимая деформация корпуса и разрушение сварного соединения стенки с днищем, либо – при повышенной прочности анкеров – разрушение сварного соединения стенки с крышей. Именно такие сценарии аварии реализовались при двух документально зафиксированных случаях в истории эксплуатации изотермических резервуаров: в СССР в г. Ионава в 1989 г. и в США в г. Гейсмар, шт. Луизиана в 1984 г. Из этих двух сценариев аварии наиболее опасный – первый: отрыв стенки от днища с полным проливом жидкого аммиака во внешнюю среду (г.Ионава). Второй сценарий – отрыв крыши от стенки значительно менее опасный, так как в этом случае продукт остается во внутреннем резервуаре (г. Гейсмар)» [12].

«Коррозионное разрушение элементов изотермического резервуара как фактор возможного сценария аварии не рассматриваем. В условиях длительного (более 40 лет) воздействия аммиачной среды металл внутреннего корпуса изотермических хранилищ коррозионно-механическим повреждениям не подвергается. Его структура, прочностные и деформационные характеристики не изменяются. Многолетняя практика обследования металлоконструкций изотермических резервуаров аммиака это подтверждает» [27].

«Фактическую частоту аварий изотермического резервуара с одной силовой стенкой по причине роста внутреннего давления оцениваем величиной вероятности»: $P_1=2,6 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ » [27].

«В запас оценки риска принимаем в качестве максимальной оценки вероятности аварии ИР с одной силовой стенкой частоту аварий, фактически имевших место в истории эксплуатации ИР, а именно $2,6 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ » [27].

«Анализ показывает, что вероятность разрушения резервуара «однократного сдерживания» по причине роста внутреннего давления при увеличении толщины несущей стенки, вызванной применением повышенного коэффициента надежности по ответственности сооружения $\gamma_n = 1,2$, снижается также в 1,2 раза» [27]. Вероятность разрушения одностенного резервуара с увеличенной γ_n в 1,2 раз толщиной стенки и толщиной окрайки днища:

$$P_1 = 2,6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 2,17 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1} \text{» [27].}$$

«Принимаем для дальнейшего анализа худший сценарий аварии, т.е. считаем, что содержимое внутреннего резервуара полностью проливается в наружный резервуар. Считаем внутренний резервуар полностью заполненным продуктом» [27].

Схема возможного развития аварии при разрушении внутреннего резервуара («дерево событий») представлена» [27] на рисунке 2. «Условную вероятность разрушения внутреннего резервуара принимаем равной единице» [27]. Условная вероятность каждого возможного сценария дальнейшего развития событий указана на рисунок 5.

«Анализ показывает, что продолжение аварии с отрывом стенки наружного резервуара от днища и полным проливом аммиака во внешнюю среду невозможно при выполнении любого из двух условий:

- 1) при своевременном вводе компрессора и прекращении дальнейшего развития аварии и/или надежной работе предохранительных клапанов;
- 2) при повышенной прочности анкеров» [27].

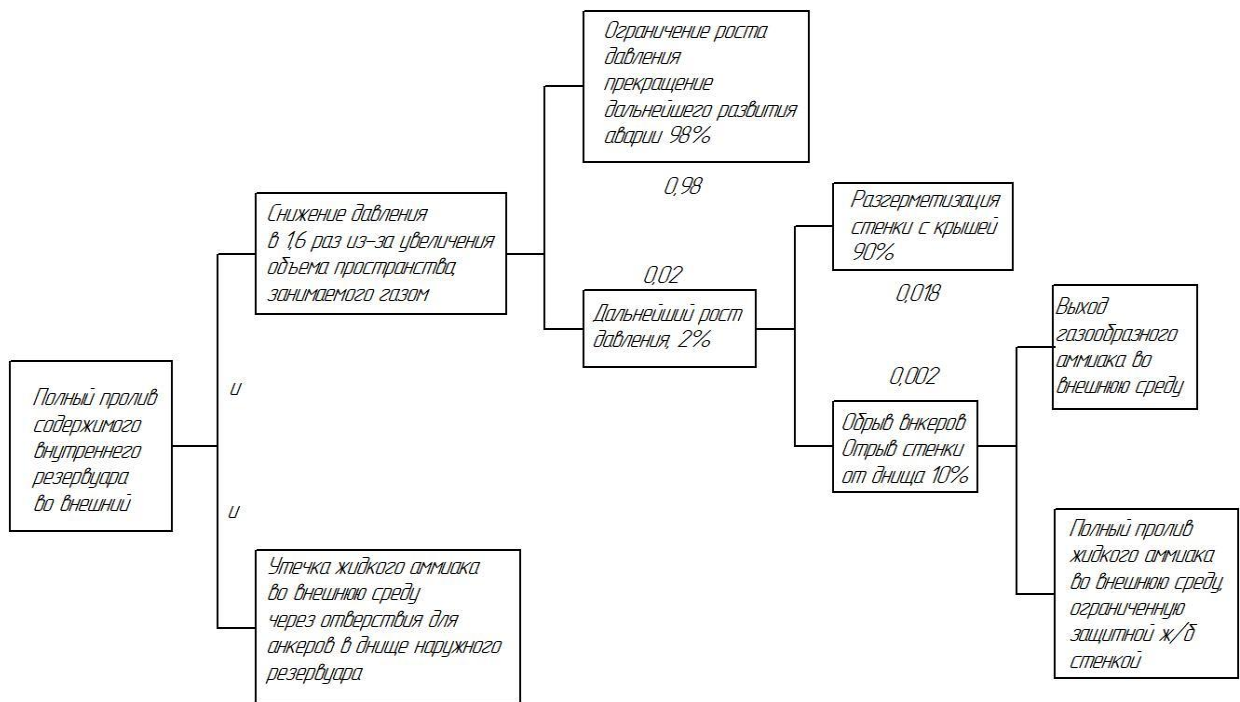


Рисунок 2 – «Сценарии развития аварии разгерметизации внутреннего резервуара с полным проливом жидкого аммиака в наружный резервуар» [27]

«Вероятность разрушения наружного резервуара и пролива жидкого аммиака во внешнюю среду, ограниченную ж/б защитной стеной, при условии разрушения внутреннего резервуара, путем логико-вероятностного анализа с использованием «дерева событий» оцениваем величиной $P_2 = 2 \cdot 10^{-3}$, т.е. величиной, на порядок большей, чем разрушение внутреннего резервуара.

Вероятность разрушения внутреннего, а затем и наружного резервуара с двумя силовыми корпусами и двумя купольными крышами оцениваем величиной $P = P_1 P_2 = 2,17 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ » [27]

«Таким образом, приходим к выводу, что риск аварии ИР с двойным силовым корпусом и двумя герметичными купольными крышами в основном зависит от надежности работы компрессорной установки и пропускной способности предохранительных клапанов и в незначительной степени определяется увеличением сечений конструктивных элементов из-за применения повышенного коэффициента надежности сооружения. При длительном выходе из строя компрессора и недостаточной пропускной способности предохранительных клапанов сначала внутренний, а затем и

наружный резервуар с большой вероятностью может быть разрушен, и здесь уже речь может идти не о предотвращении разрушения, а о контролируемом разрушении, т.е. о конструктивных мероприятиях, препятствующих отрыву стенки от днища. К таким конструктивным решениям относятся: проектирование легко сбрасываемой крыши и/или повышение прочности анкерных креплений» [27].

Частота хрупкого разрушения стенки резервуара для нефти и нефтепродуктов по оценке API-581 – 10^{-7} год⁻¹. Хрупкое разрушение стенки изотермического резервуара еще менее вероятное событие, так как для изготовления ИР применяются специальные холодостойкие стали с повышенной вязкостью и улучшенной свариваемостью [8], а также используется листовая сборка (вместо рулонной), что препятствует распространению трещин. По проведенной оценке, с использованием «дерева отказов» вероятность хрупкого разрушения стенки ИР не превышает $1,4 \cdot 10^{-9}$.

Для анализа механизма разрушения ИР при повышении внутреннего давления сверх проектного нами проведены прочностные расчеты внутреннего резервуара при полном его заполнении жидким аммиаком и различных значениях внутреннего избыточного давления газообразного аммиака.

ИР вместимостью 30000 т жидкого аммиака

Толщины элементов резервуара взяты по расчету на прочность с учетом повышающего коэффициента надежности по ответственности сооружения $\gamma_n = 1,2$. Расчеты проведены с учетом геометрической нелинейности. Работа материала резервуара считается упругой. «Значения максимального условного упругого меридионального напряжения в окрайке днища в зоне сварного соединения со стенкой резервуара приведено на рисунке 3» [12]. «Из расчетов следует, что при значениях давления газа до $0,13 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ окрайка днища прижимается к плоскому основанию давлением жидкости и не отрывается от основания независимо от наличия или

отсутствия анкеров. При больших давлениях газа анкера активно включаются в работу. До тех пор, пока резервуар удерживается анкерами, напряжение в окрайке днища в уторном узле практически постоянно, определяется гидростатическим давлением жидкости и незначительно зависит от давления газа. Видно, что в этом случае при всех значениях давления газа напряжение в узле стыка стенки с днищем меньше напряжения в узле стыка стенки с крышей (линии 1 и 2 на рисунке 3). Поэтому при наличии анкеров и их надежной работе, при любом давлении газа отрыв стенки от днища невозможен, так как отрыв крыши от стенки произойдет раньше.

При отсутствии анкеров окрайка днища сильно деформируется, и напряжения в узле стыка стенки с днищем при всех значениях давления газа, превышающих в данном случае $0,13 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, оказываются выше напряжений в узле стыка стенки с крышей (линии 2, 3 и 4 на рисунке 3). Поэтому при обрыве анкеров в первую очередь должен произойти отрыв стенки от днища, что и имело место в г.Ионаве» [12].

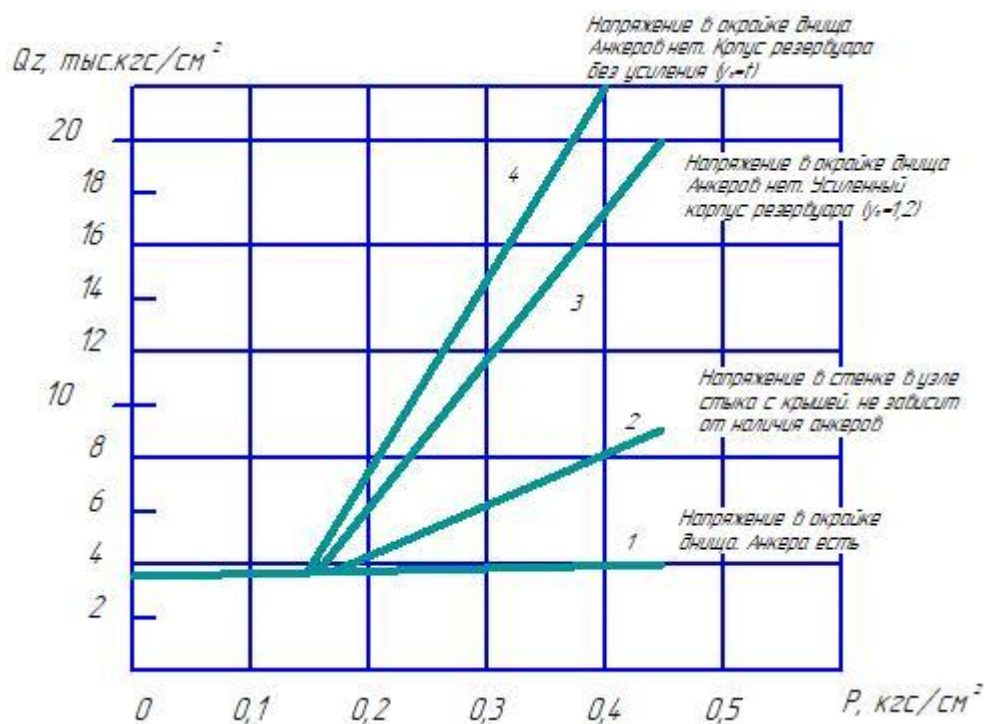


Рисунок 3 – «Меридиональное напряжение σ_z в узлах стыка стенки резервуара с днищем и крышей при действии гидростатической нагрузки и избыточного давления P » [12]

«При обрыве анкеров, вызванном ростом давления, изгибные меридиональные напряжения в окрайке днища в районе уторного узла оказываются значительно выше напряжений в стенке резервуара. Поэтому разрушение (раскрытие) стенки по вертикальным сварным соединениям, тем более, с учетом полистовой сборки, исключая образование протяженных вертикальных швов, практически невозможно, так как ранее него произойдет разрушение сварного соединения стенки с днищем» [12]. Например, при избыточном давлении $0,3 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ кольцевое напряжение в стенке $\sigma_{\phi}=1790 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, максимальное условное упругое меридиональное напряжение в окрайке днища в районе уторного узла $\sigma_z = 11980 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ (линия 3 на рисунок 3), т.е. в 6,7 раз выше.

«Проведенные нами расчеты показывают, что разрушение резервуара может произойти при следующих значениях нагрузок:

- внутреннее давление газообразного аммиака – не менее 30 кПа;
- вакуум – не менее 1,5 кПа» [27].

«Значение внутреннего давления, при котором произошло разрушение ИР в г. Ионава, оценивается величиной 40 кПа.

Избежать наихудшего сценария аварии – отрыва стенки внутреннего резервуара от днища можно двумя путями. Первый путь - проектирование и монтаж легкобрасываемой крыши. Второй путь значительно проще – увеличение прочности анкеров, т.е. их площади сечения, а также длины сварных швов крепления анкеров к стенке резервуара. Таким образом, мы приходим к концепции управляемого разрушения резервуара.

Рассмотрим вопрос о влиянии железобетонной защитной стенки на степень тяжести последствий аварии. Расчеты зон токсического поражения при аварии ИР и проливе жидкого аммиака проведены по методике расчета концентраций аммиака в воздухе и распространения газового облака при авариях на складах жидкого аммиака (ТОКСИ 2.2 [4]).

В соответствии с [4] рассматривались худшие климатические условия, а именно, авария происходит летом, ночью при слабом ветре 1 м/с в условиях инверсии.

Рассматриваются два «сценария аварии»:

1) ИР ничем не огорожен, полное разрушение ИР, 30000 т аммиака свободно разливаются по площади предприятия;

2) ИР огорожен защитной ж/б стеной высотой 17 м. Высота стены позволяет вместить весь объем жидкого аммиака при проливе.

При свободном проливе жидкого аммиака по территории предприятия зона смертельного поражения людей - область, вытянутая по направлению ветра на 8,72 км, шириной 600 м, площадью 4,1 км².

При испарении аммиака с высоты ограждающей стены $H_w=17$ м площадь зоны смертельного поражения людей сокращается по сравнению со свободным проливом в 250 раз - до 0,016 км²: это область, начинающаяся на расстоянии 700 м от ИР и заканчивающаяся на расстоянии 1400 м от ИР, шириной 36 м» [27].

«Таким образом, при аварии ИР с проливом жидкого аммиака внутри ограждающей ж/б стены зона распространения токсичного облака и поражения людей резко снижается за счет двух факторов:

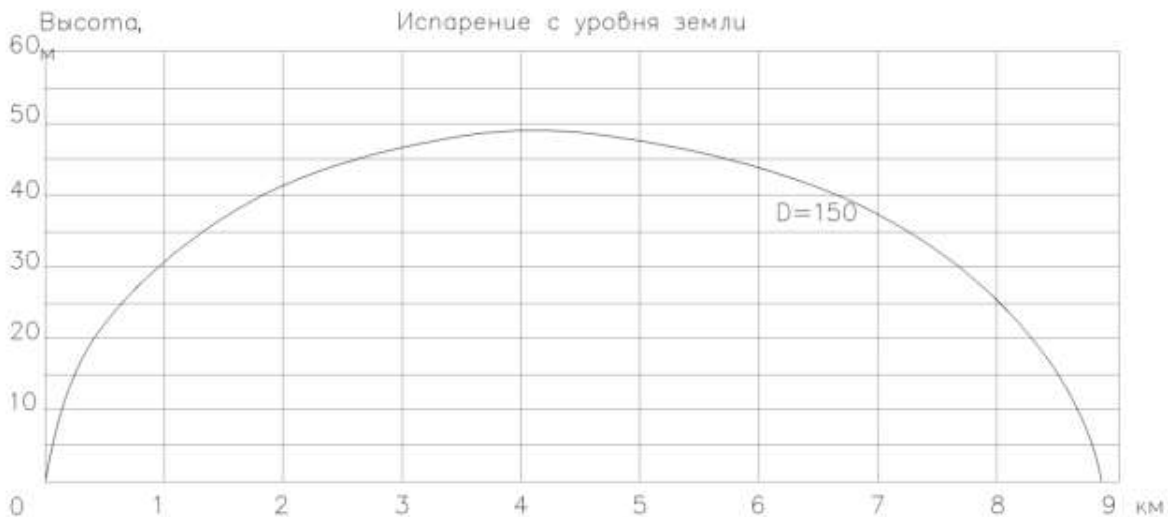
1) испарение аммиака происходит со значительно меньшей площади;
2) испарение аммиака происходит не с уровня земли, а с уровня ж/б стены.

Расчеты показывают, что второй фактор имеет решающее значение. В этом случае за счет того, что газ аммиак легче воздуха, до уровня земли смесь аммиака с воздухом опускается не сразу около места пролива, а на значительном удалении от него по направлению ветра и со значительно сниженной концентрацией NH₃. На рисунках 4, 5 «показан профиль облака с указанием линий токсодозы» [27]:

«1) при свободном проливе аммиака по территории предприятия;

2) для ИР, защищенного стеной высотой 17 м.

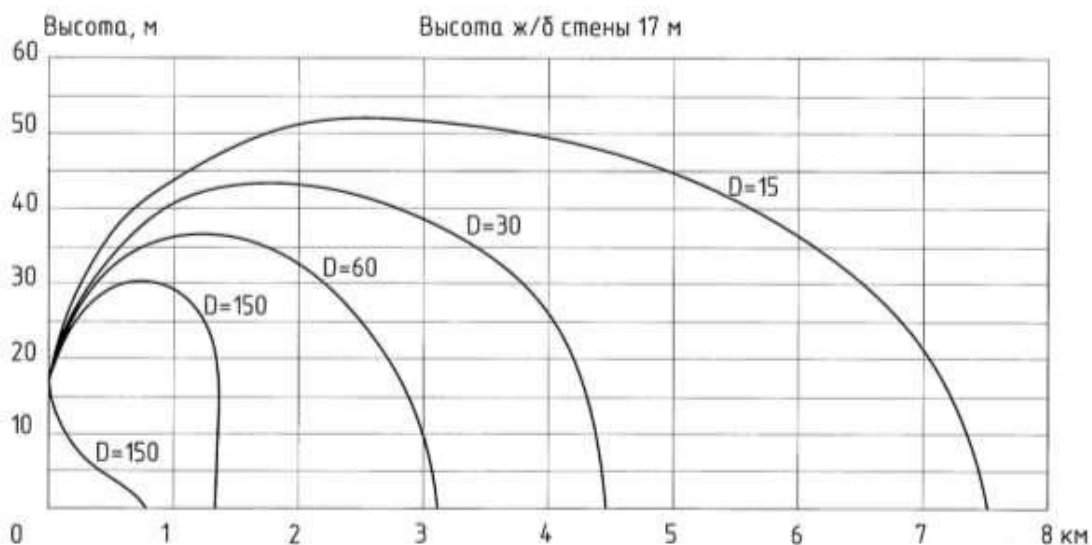
Критерий поражения – $LD_{50} = 150$ мг·мин/л (LD – Lethal Dose) – токсодоза, вызывающая смертельный исход у 50% пораженных людей, не защищенных средствами индивидуальной защиты; $PD_{50}=15$ мг·мин/л – (Primary Dose) – пороговая токсодоза, вызывающая первые признаки отравления у 50% пораженных» [27].



Изолиния смертельной токсодозы $LD_{50} = 150$ мг мин/л

Рисунок 4 – Профиль токсичного облака

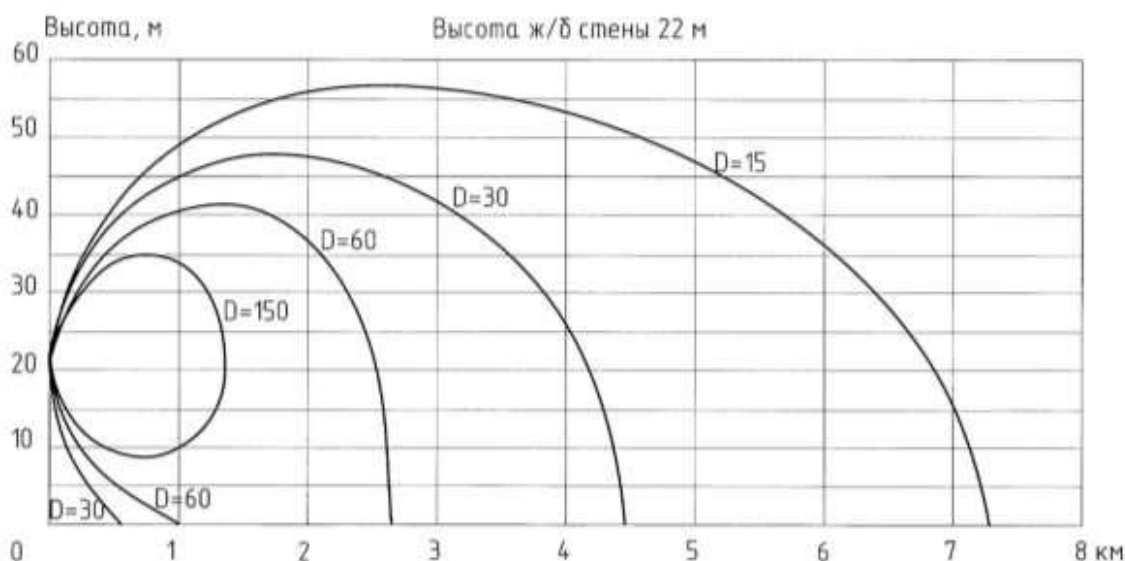
«Оценка коллективного риска показывает, что при ограждении данного ИР ж/б стеной высотой 17 м вероятное количество смертельно пораженных при аварии с полным проливом жидкого аммиака снижается с 142 чел. до 5 чел., т.е. в 28 раз» [27].



Изолинии токсодозы (мг х мин/л).

Рисунок 5 – Профиль токсичного облака

«При увеличении высоты ограждающей ж/б стены зона возможного смертельного поражения LD₅₀ поднимается над землей, так что люди оказываются вне этой зоны» [27].



Изолинии токсодозы D (мг x мин/л).

Рисунок 6 – Профиль токсичного облака

«Таким образом, за счет оптимального выбора высоты ограждающей стены можно значительно снизить риск токсического поражения людей» [27].

Рассмотрим далее другую конструкцию изотермического резервуара жидкого аммиака типа «full containment», имеющую также два силовых корпуса – внутренний и наружный, но с подвесной паропроницаемой внутренней крышей и свободным межстенным пространством без теплоизоляции. Теплоизоляция наружного резервуара - пеностекло.

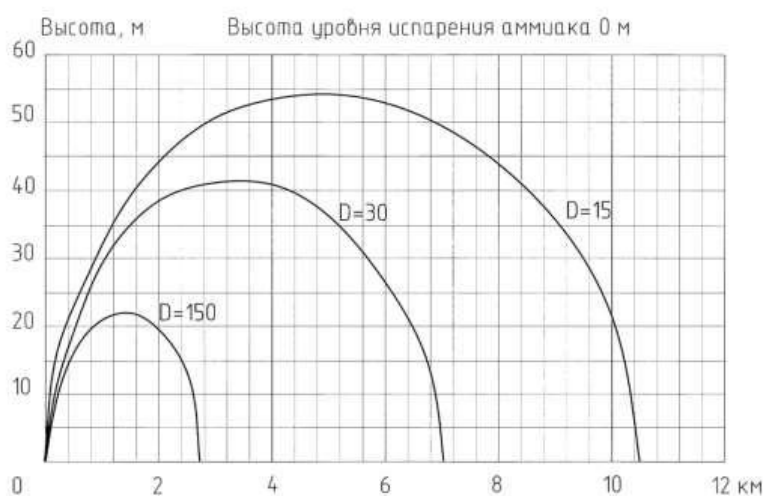
Конструкция внутреннего резервуара в виде стакана с паропроницаемой подвесной крышей «обеспечивает максимальную из возможных вариантов надежность конструкции и имеет ряд следующих преимуществ» [27].

«Рассматриваются два сценария аварии:

1) ИР ничем не огорожен, полное разрушение ИР, 10000 т аммиака свободно разливаются по площади предприятия;

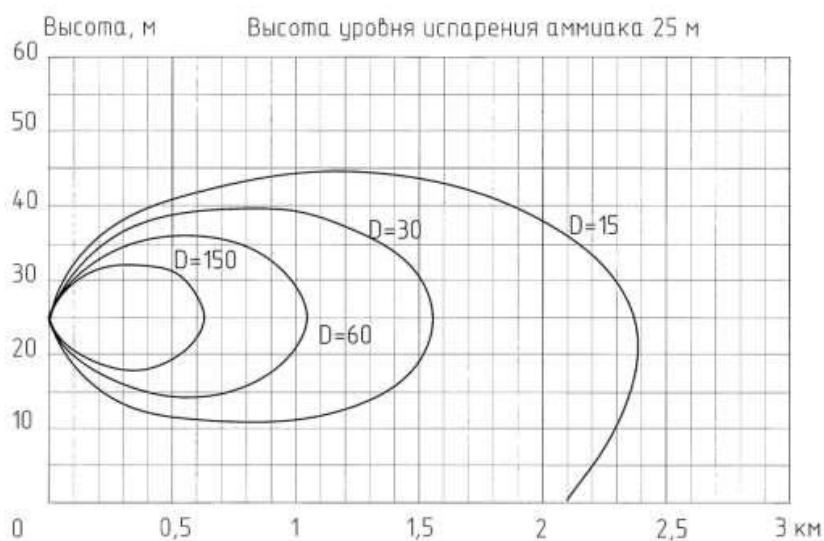
2) в результате повышения внутреннего давления произошла разгерметизация наружного резервуара – полный отрыв крыши от стенки, испарение аммиака происходит с уровня 25 м – высоты наружной стенки.

На рисунке 7 показан профиль токсичного облака – границы различных значений токсодозы для времени экспозиции 30 минут при испарении аммиака с уровня земли. На рисунке 8 то же, но при испарении с уровня 25 м. Из расчета следует, что при полном разрушении ИР и испарении аммиака с уровня земли зона смертельного поражения представляет собой овал длиной 2780 м шириной 180 м площадью 0,4 км²».



Изолинии токсодозы D (мг · мин/л)

Рисунок 7 – Профиль токсичного облака



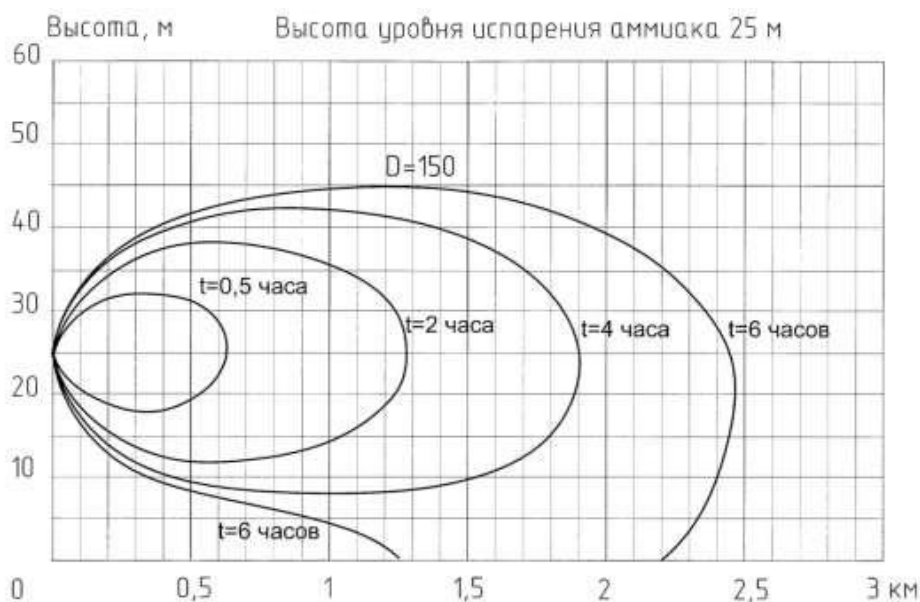
Изолинии токсодозы D (мг · мин/л)

Рисунок 8 – Профиль токсичного облака

«Условное время, в течение которого будут приняты меры по откачке жидкого аммиака или прекращению испарения – 24 часа. Данный параметр не влияет на предельную концентрацию аммиака в воздухе и границы токсодозы, так как через 2 – 2,5 часа после начала аварии при сохранении атмосферных условий устанавливается стационарный режим испарения аммиака и распространения его в воздухе.

Граница смертельной токсодозы $LD_{50}=150\text{мг}\cdot\text{мин}/\text{л}$ проходит на значительной высоте над землей (при времени экспозиции 30 мин – на высоте около 18 м). Люди, находящиеся на земле, оказываются вне опасной зоны и не только за 30 минут, но и за существенно большее время не могут получить смертельную токсодозу» [27].

На рисунке 9 «показаны границы смертельной токсодозы $LD_{50} = 150 \text{ мг}\cdot\text{мин}/\text{л}$ при времени нахождения людей в данной точке пространства в течение 0,5 часа, 2, 4 и 6 часов. Видно, что смертельную токсодозу можно получить не менее чем за 5–6 часов нахождения без средств индивидуальной защиты на территории предприятия на расстоянии от 1250 м до 2200 м от места аварии по направлению ветра» [27].



Изолинии токсодозы D ($\text{мг}\cdot\text{мин}/\text{л}$)

Рисунок 9 – Границы смертельного поражения при времени экспозиции 0,5 час, 2, 4, 6 часов

«Таким образом, наиболее безопасная конструкция изотермического резервуара (ИР) сжиженного аммиака – двойной силовой корпус с открытым внутренним «стаканом»» [27].

«Конструкция ИР может быть улучшена при применении теплоизоляции из пеностекла (Foamglas) и размещения ее на наружной поверхности наружного корпуса. Такой вариант теплоизоляции обеспечивает следующие преимущества перед засыпной перлитной или пенополиуретановой теплоизоляцией:

- обеспечивает пароводонепроницаемость;
- полностью снимает проблему коррозии наружной поверхности из-за плотного прилегания к металлу на клею и отсутствия влаги» [27];
- негорючая – «обеспечивает пожарную безопасность» [27];
- «обладает отличными теплоизоляционными свойствами» [27];
- «уменьшает нагрузку на фундамент» [27];
- «долговечность не менее 25 лет» [27].

«На снижение риска аварии такая теплоизоляция влияет следующим образом:

- уменьшается вероятность повышения температуры и, соответственно, давления из-за улучшения теплоизоляционных свойств;
- увеличивается объем свободного межстенного пространства, соответственно для создания опасного уровня внутреннего давления потребуется большее время» [27].

Предложения по организации системы постоянного акустико-эмиссионного мониторинга «ИР с двойным силовым корпусом и подвесной внутренней крышей на основе анализа риска аварии.

Поскольку наиболее опасный из всех возможных сценарий аварии – разрушение наружного резервуара от повышения внутреннего давления при отказе компрессоров, либо предохранительных клапанов - система акустико-эмиссионного мониторинга (САЭМ) должна быть ориентирована на предупреждение именно этого сценария аварии.

Установка системы акустико-эмиссионного мониторинга на внутреннем резервуаре, выполненном в виде открытого стакана без стационарной крыши, тем более с усиленным корпусом за счет применения повышенного коэффициента надежности по ответственности сооружения $\gamma_n = 1,2$ лишена смысла. При качественно выполненном монтаже резервуара и надежном контроле качества сварных соединений физических причин для роста усталостных трещин в корпусе внутреннего резервуара нет. Корпус внутреннего резервуара, выполненный без грубых дефектов, способен выдержать десятки тысяч циклов полного налива-слива жидкого аммиака.

Образование хрупкой трещины при захолаживании резервуара для жидкого аммиака, температура кипения которого находится в диапазоне климатических зимних температур, явление – близкое к невероятному. Установка системы акустико-эмиссионного мониторинга с целью предупреждения этой близкой к невероятной ситуации также лишена смысла, тем более что процесс хрупкого разрушения в этом случае произойдет мгновенно, и система не сможет обеспечить его предотвращение» [12].

На основе анализа риска и с учетом расчета напряженного состояния наружного резервуара при повышении давления считаем целесообразным установку датчиков системы акустико-эмиссионного мониторинга на внешней поверхности наружного резервуара.

Как в процессе эксплуатации ИР, так и при аварийном повышении давления большая часть поверхности наружной стенки, кроме узких зон высотой по 0,5 м от днища и крыши, находится в слабо напряженном состоянии. Из этого следует, что контролировать нужно только узкие зоны сопряжения стенки с днищем и крышей.

Для такого контроля состояния металла достаточно разместить небольшое количество датчиков - преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ) равномерно по периметру наружной стенки на высоте 0,5 – 1 м от днища и на таком же расстоянии от крыши [15].

Условия для проявления акустической эмиссии могут возникнуть в узле соединения стенки и крыши при повышении давления газообразного аммиака свыше $0,15 - 0,2 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. В этом случае САЭМ в дополнение к штатным приборам контроля давления будет указывать непосредственно на опасное состояние металла – растущие трещины или возникновение зон пластической деформации. С учетом того, что отрыв крыши от стенки возможен при внутреннем давлении не ниже $0,3 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, а повышение давление до этого уровня займет несколько часов, система акустико-эмиссионного мониторинга заблаговременно предупредит о приближении опасного состояния металла.

Природа опасного состояния для наружного резервуара – развитие пластических деформаций на линии стыка крыши (днища) и стенки при повышении давления. Поэтому для идентификации источника эмиссии в этом случае достаточно зонной локации, что вполне обеспечивается одним слоем ПАЭ по высоте. Установка ПАЭ на наружной крыше (также как и на днище в межстенном пространстве) с целью планарной локации источников эмиссии (определения координат источника эмиссии на поверхности» [12] оболочки) для этого не требуется» [12].

Вероятные финансовые потери при аварии ИР могут быть рассчитаны при учете генплана предприятия, взаимного расположения ИР и других ОПО. Однако априорную оценку вероятных финансовых потерь, например, для цели страхования можно сделать безотносительно к фактическому расположению опасного объекта.

При аварии ОПО первой категории опасности финансовые потери по оценке [7] могут превышать 100 раз от затрат стоимости объекта и стоимости хранимого продукта.

Конструктивно многие действующие резервуары представляют собой оболочковую конструкцию, сваренную из листов следующей толщины: цилиндрическая стенка – от 32 мм (нижний пояс) до 8,6 мм (14 пояс);

плоское днище – 5,2 мм, окрайка днища – 11,2 мм; сферическая крыша (настил) – 8 и 16 мм» [2].

«Материал: сталь E.355IFP AFNOR A.36201 (соответствует стали 16ГС по ГОСТ 5520) и сталь A131CS ASTM A.131.73 (соответствует стали ВСтЗсп по ГОСТ 380)» [2].

«Сложность конструкции, наличие большого количества швов, их труднодоступность для проведения обследования требует ответственного подхода к диагностическому мониторингу изотермических резервуаров.

«Причины возникающих дефектов могут быть классифицированы на несколько основных групп:

- пластическая деформация, включающая движение дислокаций;
- разрушение материала, зарождение и распространение трещин;
- фазовые превращения, под которыми подразумевают мартенситное превращение, затвердевание расплава;
- разновидности коррозии (точечная коррозия, водородное охрупчивание, коррозионная усталость, коррозионное растрескивание под напряжением);
- нарушение технологии сварки и сварочные дефекты (трещины, включения и пористость).

В результате многолетнего наблюдения за эксплуатацией резервуаров удалось выявить основные дефекты, развитие которых при условии непринятия мер может привести к отказу (аварии или разрушению)» [2], (таблица 2).

Таблица 2 – Основные дефекты, развитие которых при условии непринятия мер может привести к отказу (аварии или разрушению)

Причина	Число случаев / %
1	2
Дефекты, обнаруженные и ликвидированные при осмотре резервуаров	63/29
Необнаруженные (скрытые) дефекты, проявившиеся через некоторое время после планового осмотра ИР	61/28
Усталостные явления	52/24
Коррозия	30/14
Другие причины, включая ползучесть	10/5

1.2 Анализ методик оценки риска

«При выборе методов проведения анализа риска необходимо учитывать этапы функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, размещение и технологические характеристики анализируемого объекта, основные опасности (взрыв, пожар, токсичность), наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификацию исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы» [17].

«Практика показывает, что использование сложных количественных методов анализа риска зачастую дает значение показателей риска, точность которых для сложных технических систем невелика. В связи с этим проведение полной количественной оценки риска необходимо проводить более эффективно для сравнения источников опасностей или различных вариантов мер безопасности (например, при размещении объекта), чем для составления заключения о степени безопасности объекта. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы, оценки последствий крупных аварий, обоснования

безопасных расстояний или для представления результатов» [17].

«Обеспечение необходимой информацией является важным условием проведения оценки риска. Вследствие недостатка статистических данных на практике рекомендуется использовать экспертные оценки и методы ранжирования риска, основанные на упрощенных методах количественного анализа риска. В этих подходах рассматриваемые события или элементы обычно разбиваются по величине вероятности, тяжести последствий и риска на несколько групп (или категорий, рангов), например, с высоким, промежуточным, низким или незначительным уровнем риска. При таком подходе высокий уровень риска может считаться (в зависимости от специфики объекта) неприемлемым (или требующим особого рассмотрения), промежуточный уровень риска требует выполнения программы работ по уменьшению уровня риска, низкий уровень считается приемлемым, а незначительный вообще может не рассматриваться» [17].

«Краткая характеристика основных методов, рекомендуемых для проведения анализа риска.

1. Методы «Проверочного листа» и «Что будет, если...?» или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности» [17].

«Предварительный анализ опасностей является простым индуктивным методом анализа, цель которого состоит в идентификации основных опасностей (далее HAZID), опасных факторов и событий, которые могут нарушить работу или нанести вред данному виду деятельности или всей технологической системе объекта в целом. Общие требования к проведению идентификации опасностей технологических процессов на ОПО изложены в ФНиП «Общие правила взрывобезопасности...», общая методология HAZID для технологических систем - в ГОСТ Р 31010, ГОСТ Р 51901.2-2005, ГОСТ Р ИСО 17776 -2010» [17]. «Результаты исследования рекомендуется вносить в специальную рабочую таблицу (ведомость)» [17].

«На практике основными задачами данного метода являются:

– выявление рабочей группой специалистов источников опасностей и определение последствий их реализации посредством анализа инфраструктуры, площадки, установки, участка, включая особенности окружающей местности и расположение иных объектов;

– описание выявленных опасностей и рекомендаций для использования их в последующих работах по анализу риска;

– передача рекомендаций проектной организации в целях дальнейшего их использования при выполнении проектных работ, на последующих стадиях, позволяющих устранить или смягчить воздействие потенциально опасных факторов на персонал, население, окружающую среду и технологическое оборудование» [17].

2. «Анализ вида и последствий отказов» (АВПО) применяется для качественного анализа опасности рассматриваемой технологической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение отказа каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента), а также вид и причину отказа, последствия воздействия отказа на технологическую систему. Метод также изложен в ГОСТ Р 51901.12—2007 (МЭК 60812:2006). «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.

Анализ вида и последствий отказа можно расширить до количественного анализа вида, последствий и критичности отказа (АВПКО). В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа (или иного события). Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видом и причин возможных отказов, частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т.п.) и рекомендациями по уменьшению

опасности» [17].

«Систему классификации отказов по критериям вероятности - тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики» [17].

3. «В методе «Анализ опасности и работоспособности» (АОР) исследуется влияние отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов с точки зрения возможности возникновения опасности. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО. Общие требования к проведению АОР и идентификации опасностей изложены в ФНиП «Общие правила взрывобезопасности ...», методология АОР для технологических систем представлена в ГОСТ Р 51901.1-02, ГОСТР 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001)» [17].

4. «Для выявления причинно-следственных связей между событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев отказов» и «деревьев событий». Методология этих методов изложена в ГОСТ Р 51901.1-02 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.», ГОСТ Р 27.302—2009 (МЭК 60812:2006). Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей.

При анализе «деревьев отказов» (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к головному событию (аварийной ситуации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе дерева отказа (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения аварии (минимальное пропускное и отсечное сочетания)» [17].

«Анализ «дерева событий» (АДС) - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной

ситуации). Используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события (например, аварии с разгерметизацией оборудования с горючим веществом в зависимости от условий могут развиваться как с воспламенением, так и без воспламенения вещества)» [17].

5. «Методы количественного анализа риска, как правило, характеризуются расчетом нескольких показателей риска и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Проведение количественного анализа риска требует высокой квалификации исполнителей в области моделирования аварий и проведения компьютерных расчетов, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, проведения экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов» [17].

6. «Анализ «слоев защиты».

«Метод анализа «слоев защиты» LOPA (Layers of Protection Analysis) - полуколичественный метод оценки риска, направленный на анализ достаточности мер по снижению риска. Является одной из разновидностью методологии барьеров безопасности. Под «слоем защиты» понимают автоматизированную систему управления технологическими процессами, противоаварийную автоматическую защиту (ПАЗ), взрывозащиту (предохранительные клапаны, мембраны, легкобрасываемые панели), физические барьеры защиты (обвалование, огнезащитные покрытия, взрывоустойчивое исполнение здания и т.п.)» [17]. В таблице 3 представлены данные о преимуществах и недостатках метода LOPA.

Таблица 3 – Анализ метода LOPA

	Преимуществами метода	Недостатками метода
1	Требует для применения меньшего времени и ресурсов.	Позволяет рассматривать одну пару причина-последствие и один соответствующий сценарий.
2	Позволяет идентифицировать наиболее критичные уровни защиты и обеспечить их ресурсами.	Не применим к сложным сценариям в ситуациях с большим количеством причинно-следственных связей.
3	Способствует идентификации операции, системы и процессов с недостаточным уровнем защитных мер.	
4	Направлен на наиболее серьезные нежелательные последствия.	

Выводы по 1 главе

1. На основе анализа риска происхождения аварии (полного разрушения) изотермических резервуаров с двойным силовым корпусом и двумя купольными крышами получена вероятность его происхождения, которая составляет $4,34 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹. Основным показателем снижения риска является надежность работы компрессорной установки и пропускной способности предохранительных клапанов. ИР в процессе длительной эксплуатации и выходе из строя компрессора, а так же с недостаточной пропускной способности предохранительных клапанов резервуара может быть разрушен. Соответственно необходимы конструктивные мероприятия, обеспечивающие снижение вероятности отрыва внутренней стенки от днища.

2. Для снижения риска возникновения аварии на ИР необходимо повысить прочность анкерных креплений внутреннего и наружного

резервуаров, увеличив площади их сечений в 1,5 – 2 раза по сравнению с имеющимися конструкциями.

3. Уровень высокой надежности конструкции ИР обеспечивает конструкция с двумя силовыми корпусами и внутренним резервуаром типа «стакан» с подвесной крышей. «В этом случае разрушение внутреннего резервуара с полным проливом его содержимого во внешний резервуар делается практически невозможным. Наиболее вероятный и наиболее опасный сценарий аварии – частичное разрушение наружного резервуара - разгерметизация соединения его стенки и крыши. Риск такой аварии составляет не более $9 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹. Вероятность полного разрушения ИР с двумя силовыми корпусами и подвесной внутренней крышей не более $2,8 \cdot 10^{-12}$ год⁻¹» [27].

В результате определены две основные причины возникновения аварии: превышение в хранилище избыточного давления, образование микротрещин в месте сварки цилиндра и днища резервуара.

Глава 2. Модернизация блока хранения жидкого аммиака в ПАО «Тольяттиазот» для сокращения выбросов оксидов азота

2.1 Анализ режимов работы цеха подготовки аммиака на ПАО «Тольяттиазот»

Полное наименование рассматриваемого производства: «Цех подготовки аммиака к транспортировке с наливной эстакадой». Год ввода в эксплуатацию – 1978 г. Проектная емкость цеха составляет 60000 тонн. Производство цеха подготовки аммиака к транспортировке состоит из одного технологического потока. Цех подготовки аммиака к транспортировке запроектирован с применением прогрессивной технологии и оборудования. Метод производства предусматривает следующие технологические операции (рисунок 10):

- прием жидкого аммиака с агрегатов аммиака в количестве до 470т/час;
- подача жидкого аммиака с температурой не выше плюс 4°С в количестве не более 360 т/час на налив в железнодорожные цистерны или к насосной станции аммиакопровода с температурой до плюс 13°С;
- подогрев жидкого аммиака, поступающего на загрузку железнодорожных цистерн и в аммиакопровод;
- подогрев жидкого аммиака, выдаваемого в аммиакопровод от температуры 0 до 13°С с целью уменьшения разности температур между аммиаком и почвой летом. Подогрев осуществляется за счет тепла конденсации водяного пара в подогревателе поз. Н-101, а так же за счет использования тепла газообразного аммиака с нагнетания II-й ступени компрессора поз. К-01 в подогревателе поз. Т-6 (рисунок 10);
- прием в цех дренажей и сброс жидкого аммиака от перепускных предохранительных клапанов оборудования и трубопроводов головной насосной станции НС-1 аммиакопровода;

- обеспечение производства карбамида жидким аммиаком в количестве до 70 т/час;

- охлаждение жидкого аммиака, поступающего с агрегатов аммиака, путем его дросселирования в изотермическом хранилище поз. Т-02 до температуры минус 33°C – минус 32,5°C, и конденсации образующихся паров аммиака с помощью двух центробежных компрессоров цикла наполнения с межступенчатым оборудованием и аппаратами воздушного и водяного охлаждения;

- хранение жидкого аммиака в изотермических хранилищах при температуре минус 33°C – минус 32,5°C путем конденсации газообразного аммиака, выделяющегося из хранилищ за счет притока тепла из окружающей среды, с помощью поршневого компрессора цикла хранения и аппаратов воздушного и водяного охлаждения;

- сжигание аварийных выбросов газообразного аммиака и продувочных газов на факельной установке;

- получение сжатого воздуха для нужд контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации;

- автономное обеспечение электроэнергией в аварийной ситуации оборудования и приборов, не допускающих остановок компрессорного оборудования и т.д.;

- дозирование деминерализованной воды в жидкий аммиак, поступающий в аммиакопровод с целью обеспечения содержания влаги в аммиаке 0,2-0,4% вес.;

- слив жидкого аммиака из железнодорожных цистерн в сферические резервуары с последующей выдачей его в аммиакопровод;

- эвакуация аварийных проливов аммиака;

- налив метанола в железнодорожные цистерны.

В таблицах 4, 5, 6 представлены технические параметры изотермического хранилища, на рисунке 11 изображена схема хранилища жидкого аммиака

Таблица 4 – Краткая характеристика и назначение объекта

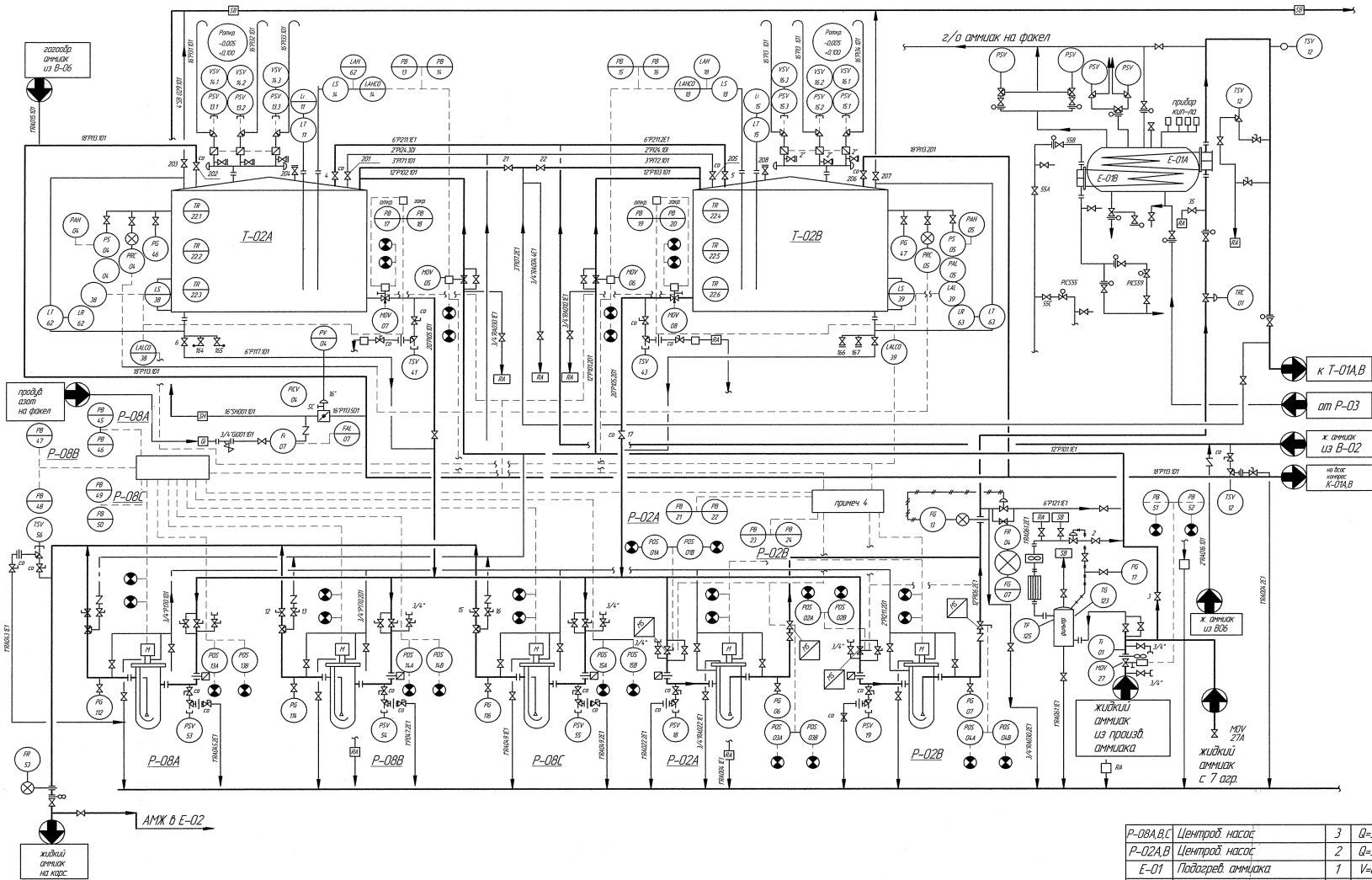
Назначение	Изотермическое хранилище аммиака хранение аммиака при постоянно низкой температуре
Заводской номер	8038ТІ
Технологический номер	Т-02В
Регистрационный номер	0143
Завод-изготовитель	«Конструксьон металлик де прованс», Франция
Дата изготовления	1975–1976 гг.
Место расположения	ПАО «Тольяттиазот», цех № 13СА
Пуск в эксплуатацию	1978 г
Рабочее давление	03-0,085 МПа
Расчетное давление	0,1 кгс/см ²
Рабочая температура:	- 33 + -24°С
Расчетная температура стенки	+30°С
Рабочая среда в корпусе (по паспорту)	газообразный и жидкий аммиак
Скорость коррозии	до 0,1 мм/год
Объем НК на заводе- изготовителе	100% УЗК
Антикоррозионная защита	отсутствует
Изоляция	теплоизолирован
Объем резервуара	44 000 м ³
Диаметр резервуара по нижнему поясу	
Емкость (максимальное количество жидкого аммиака)	25 000 тонн
Максимальная высота налива:	
жидкого аммиака	32 500 мм
разрешенный уровень взлива аммиака	22 700 мм

Таблица 5 – Размеры элементов резервуара и материальное исполнение

Элементы резервуара	Толщина, мм	Материальное исполнение, ГОСТ (ТУ)*
Крыша	16,0/8,0	16Г2С, ГОСТ 4543
Днище	11,2/5,2	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 1 пояс	32,0	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 2 пояс	29,8	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 3 пояс	27,6	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 4 пояс	25,4	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 5 пояс	23,7	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 6 пояс	21,0	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 7 пояс	18,8	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 8 пояс	16,7	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 9 пояс	13,3	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 10 пояс	12,3	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 11 пояс	10,1	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 12 пояс	9,1	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 13 пояс	8,8	16Г2С, ГОСТ 4543
Стенка 14 пояс	8,4	16Г2С, ГОСТ 4543
Компрессионное кольцо	27,5	16Г2С, ГОСТ 4543

Таблица 6 – Размеры элементов резервуара и материальное исполнение

№ п/п	Наименование элемента	Диаметр внутренний (наружный), мм	Толщина, мм	Сталь, ГОСТ
1	2	3	4	5
1.	Штуцер А	508,0	14,5	20/ГОСТ 1050
2.	Штуцер Б	60,3	8,7	20/ГОСТ 1050
3.	Штуцер Г	168,2	11,1	20/ГОСТ 1050
4.	Штуцер Д	108,0	4,5	20/ГОСТ 1050
5.	Штуцер Е	108,0	4,5	20/ГОСТ 1050
6.	Штуцер Ж	168,2	11,1	20/ГОСТ 1050
7.	Штуцер З	1018,0	9,0	20/ГОСТ 1050
8.	Штуцер И	168,2	11,1	20/ГОСТ 1050
9.	Штуцер К	219,07	13,1	20/ГОСТ 1050
10.	Штуцер Л	219,07	13,1	20/ГОСТ 1050
11.	Люк-лаз 1	508,0	14,5	20/ГОСТ 1050
12.	Люк-лаз 2	508,0	14,5	20/ГОСТ 1050



P-08A,B,C	Центроб. насос	3	Q=514 м ³ /ч
P-02A,B	Центроб. насос	2	Q=529 м ³ /ч
E-01	Поборев. аммиака	1	V=80,5 м ³
T-02A,B	Изотермический рез-ар	2	V=44000 м ³
Поз.	Наименование	К-во	Характерист.
Спецификация оборудования			

Рисунок 10 – Технологическая схема хранения жидкого аммиака в изотермическом хранилище

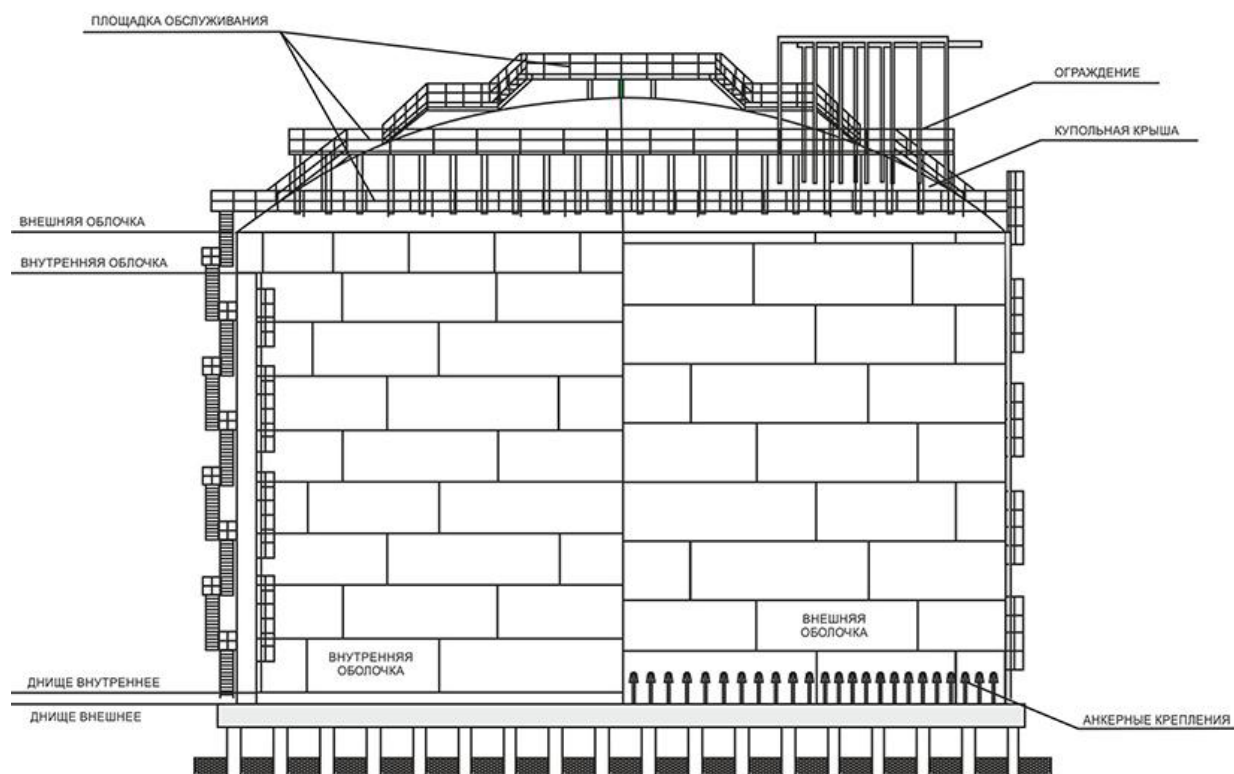


Рисунок 11 – Чертеж изотермического резервуара для СУГ

2.1.1 Прием жидкого аммиака в изотермические резервуары и хранение его при атмосферном давлении

Жидкий аммиак с агрегатов аммиака 01А – 06А с температурой от -33 до -28°C , давлением $8-18 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ через электрозадвижку MOV 6127 и фильтр поз. F-10 по общему коллектору дросселируется в изотермические хранилища поз. Т-02А, В, каждый емкостью 30000 тонн. Жидкий аммиак с агрегата аммиака 07А через электрозадвижку MOV 27А подается в общий коллектор после фильтра поз. F-10.

На трубопроводах подачи аммиака в резервуар установлены электрозадвижки MOV 6106 и MOV 6105 с дистанционным управлением, которые автоматически закрываются при достижении максимального уровня 27,1 м в резервуаре по ЛАНСО-6114, ЛАНСО-6118.

Температура жидкого аммиака на входе в верхнюю часть изотермических хранилищ поз. Т-02А, В регистрируется на ЦПУ.

Максимальная температура со значением минус 28°C сигнализируется в ЦПУ.

В изотермическом хранилище с помощью компрессоров поддерживается температура жидкого аммиака в пределах от -33 до -32,5°C и давление газообразного аммиака 3-7,5 кПа (0,03-0,075 кг·с/см²).

Каждый резервуар снабжен контролем уровня и давления, сигнализацией их предельных параметров и тремя предохранительными клапанами для защиты резервуаров от завышения давления и от образования вакуума. Тарированное давление предохранительного клапана от завышения давления – 1000 мм вод. ст. и от образования вакуума – 50 мм вод.ст.

Газообразный аммиак, выделяющийся в резервуарах при заполнении, а также за счет притока тепла из окружающей среды, направляется через общий коллектор для двух резервуаров на всас компрессоров поз. К-01А, В.

Предусмотрен автоматический сброс давления через регулирующий клапан PIS 6104 на факел, при достижении давления в коллекторе газообразного аммиака 8,0 кПа (0,08 кг·с/см²). При завышении давления до значения 10,0 кПа (0,1 кг·с/см²) срабатывают установленные на резервуарах предохранительные клапаны в атмосферу.

Жидкий аммиак из резервуаров поз. Т-02А, В через электроздвижки дистанционного управления MOV 6107, MOV 6108 поступает на всас насосов поз. Р-08А, В, С для выдачи жидкого аммиака на производство карбамида и насосов поз. Р-02А, В для подачи в сферы поз. Т-01А, В через подогреватель поз. Е-01. Насосы поз. Р-08А, В, С, обеспечивают подачу аммиака не более 70 т/час с давлением не более 2 МПа (20 кг·с/см²).

Каждый насос снабжен системой регулирования расхода, позволяющей обеспечить минимальный расход аммиака, за счет рециркуляции части аммиака в изотермический резервуар и избежать возможной кавитации насоса [18].

Насосы обеспечены защитной блокировкой, препятствующей их пуску при закрытии любой задвижки на линиях входа и выхода аммиака из изотермических резервуаров и блокировкой LALCO-6138, 6139, останавливающей насосы при достижении минимального уровня аммиака в изотермическом резервуаре.

При необходимости, перекачивающие насосы поз. Р-02А, В обеспечивают подачу жидкого аммиака с контролем расхода из изотермических резервуаров поз. Т-02А, В в сферы поз. Т-01А, В через подогреватель поз. Е-01 с производительностью 100-360 т/час.

В подогревателе поз. Е-01 аммиак нагревается от температуры - 33 – - 28°С до -10 – +4°С за счет конденсации промежуточного газообразного аммиака при температуре +30°С.

Промежуточный газообразный аммиак образуется при испарении в межтрубном пространстве подогревателя жидкого аммиака поз. Е-01А за счет тепла газообразного аммиака поступающего после 2-ой ступени компрессоров К-01А,В, К-02 с температурой не выше 140°С и давлением не более 1,5 МПа (15 кг·с/см²) в пучок поз. Е-01В.

Температура жидкого аммиака на выходе из подогревателя поз. Е-01 и давление газообразного аммиака в подогревателе поз. Е-01 поддерживается клапаном (PICV 6169) расхода жидкого аммиака на выходе из подогревателя поз. Е-01 и клапаном (FRCV 6101) расходом аммиака с температурой - 33°С на входе в поз. Е-01.

Подогретый аммиак направляется в сферические хранилища (сферы) поз. Т-01А, В. Часть нагретого аммиака после подогревателя поз. Е-01, в случае необходимости, может быть направлено в изотермические хранилища поз. Т-02А, В для повышения давления при интенсивной выдаче аммиака из них.

Для исключения возможности поступления теплого жидкого аммиака из сферических хранилищ или агрегатов аммиака при работе их по линии

теплого аммиака и при неработающих насосах выдачи жидкого аммиака из изотермических хранилищ обратным ходом через подогреватель поз. Е-01 после диафрагмы FRC-6101 установлен обратный клапан.

2.1.2 Прием жидкого аммиака в сферы

При нормальном режиме работы цеха подготовки аммиака к транспортировке жидкий аммиак с температурой от 0 до плюс 4°C, давлением 0,8-1,8 МПа (8-18 кг·с/см²) с агрегатов аммиака 01А – 06А через электрозадвижку MOV 6128 и фильтр поз. F-04 поступает в две сферы поз. Т-01А, В. Жидкий аммиак с агрегата аммиака 07А через электрозадвижку MOV-6128А поступает в общий коллектор после фильтра F- 04.

В сферах температура жидкого аммиака поддерживается в пределах 0-4°C, давление не более 0,4 мПа (4 кг·с/см²).

При необходимости опорожнения изотермических резервуаров поз. Т-02А, В жидкий аммиак направляется через подогреватель поз. Е-01 в сферы поз. Т-01А, В. Сферы служат буфером между производством аммиака и подачей аммиака в аммиакопровод, железнодорожные цистерны и автоцистерны. В момент подачи жидкого аммиака в сферы одновременно аммиак с температурой от -33 до -28°C с агрегатов аммиака подается в изотермические резервуары для последующей выдачи на производство карбамида и перекачки в поз. Т-01А,В.

На трубопроводах подачи аммиака в сферу установлены электрозадвижки с дистанционным управлением MOV 6101 и MOV 6102, которые автоматически закрываются при достижении максимального уровня 11 м в сфере. Газообразный аммиак, выделяющийся в сферах поз. Т-01А, В за счет притока тепла из окружающей среды и вытеснения газа жидкостью, отводится через регулятор давления поз. PIS-01 в коллектор газообразного аммиака от изотермических резервуаров поз. Т-02А, В через сепаратор поз. В-03, где (за счет впрыска жидкого аммиака из сборника поз. В-01 в линию

входа газообразного) охлаждается до температуры от -28 до -20°C и направляется на всас компрессора поз. К-02 или поз. К-01А.В.

Если при интенсивном заполнении сфер поз. Т-01А, В компрессор поз. К-02 не справляется с излишком газообразного аммиака, газовое пространство изотермических резервуаров является достаточным буфером для пуска компрессоров цикла заполнения поз. К-01А, В исключив сброс аммиака на факел [18].

Каждая сфера обеспечена контролем уровня и давления, сигнализацией их предельных параметров и двумя предохранительными клапанами для защиты сферы от завышения давления. Клапаны подсоединены через трехходовый переключающий вентиль и оттарированы на давление 0,5 МПа (5 кг·с/см²).

При завышении давления в сферах предусмотрено ручное стравливание газообразного аммиака на факел через задвижки 209 и 211.

2.1.3 Материальные балансы для различных режимов работы цеха подготовки аммиака к транспортировке

Режим №1. Заполнение изотермических хранилищ и сфер

На склад жидкий аммиак поступает с 7 агрегатов аммиака (3 агрегата аммиака АМ-76 производительностью до 73 т/час каждый и 4 агрегата аммиака Кемико до 62,5 т/час каждый).

Параметры, поступающего на склад жидкого аммиака:

- с температурой +4°C от четырех агрегатов аммиака (при этом аммиак направляется в сферы поз. Т-01А, Т-01В).

- с температурой -28°C от трех агрегатов аммиака (при этом аммиак направляется в изотермические хранилища поз. Т-02А, Т-02В).

Жидкий аммиак из изотермических хранилищ выдается на производство карбамида в количестве до 70 т/час и температурой -33°C.

Режим №2. Прием жидкого аммиака в сферы и выдача в аммиакопровод.

Жидкий аммиак поступает на склад с шести агрегатов аммиака с температурой $+4^{\circ}\text{C}$ в сферы поз. Т-01А, Т-01В и с одного агрегата с температурой -33°C в изотермическое хранилище поз. Т-02А или Т-02В.

Аммиак выдается в аммиакопровод в количестве до 360 т/час и на производство карбамида в количестве до 70 т/час.

Режим №3. Прием жидкого аммиака в изотермические хранилища и выдача в аммиакопровод.

Жидкий аммиак с температурой -28°C поступает от семи агрегатов аммиака. При этом жидкий аммиак накапливается в изотермических хранилищах и через сферы выдается в аммиакопровод в количестве до 360 т/час. Жидкий аммиак из изотермических хранилищ выдается на производство карбамида в количестве до 70 т/час.

Режим №4. Отгрузка жидкого аммиака в железнодорожные цистерны.

Жидкий аммиак поступает с температурой $+4^{\circ}\text{C}$ от шести агрегатов аммиака в сферы и с температурой -33°C с одного агрегата аммиака в изотермические хранилища.

Аммиак отгружается в железнодорожные цистерны в количестве до 360 т/час.

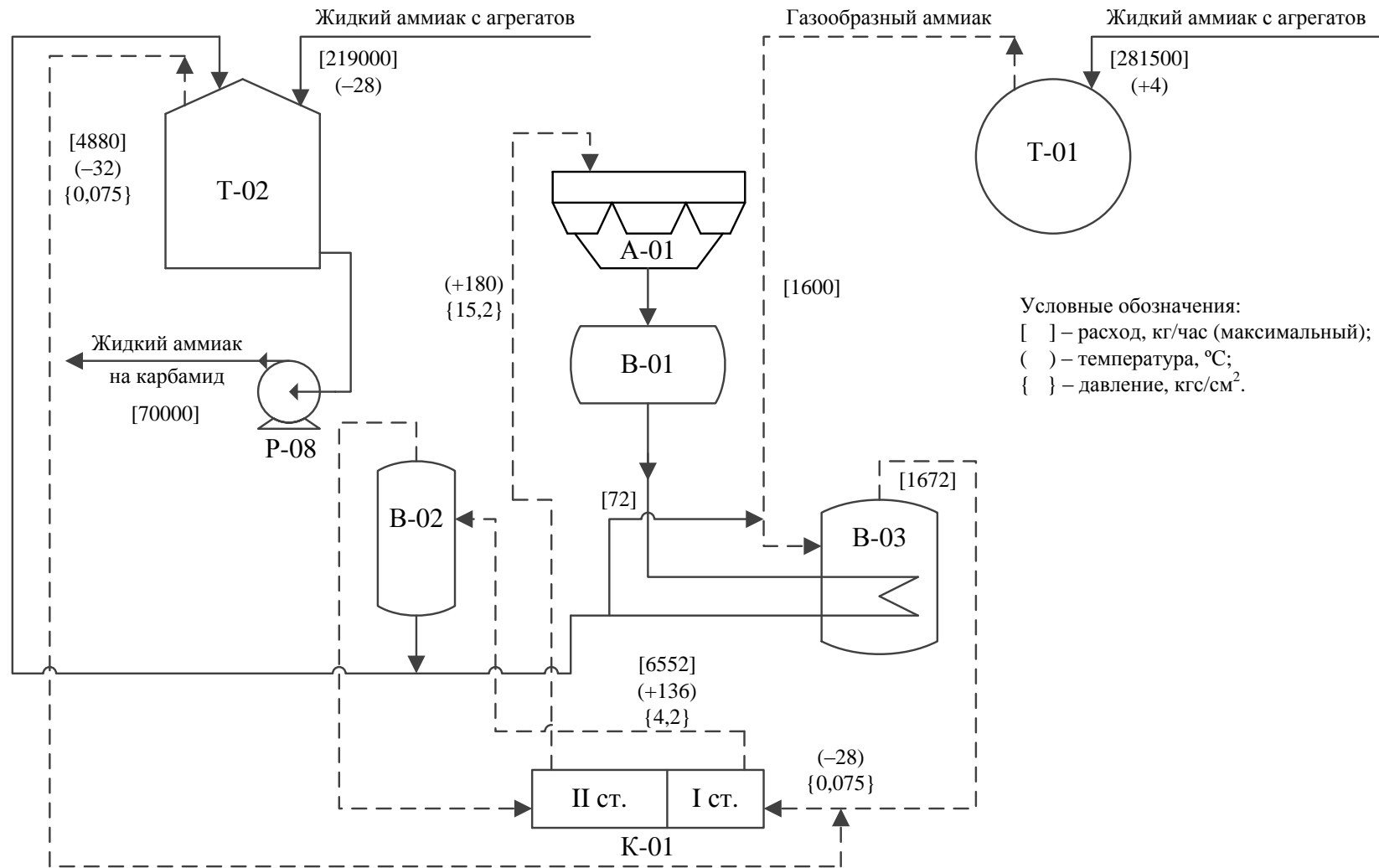


Рисунок 12 – Заполнение изотермических хранилищ и сфер

2.2 Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации

Сведения о возможных инцидентах и аварийных ситуациях, возникающих при несоблюдении требований ведения технологического процесса, выполнения производственных операций, в процессе эксплуатации оборудования и коммуникаций, которые могут стать причиной пожара, взрыва, травмирования или отравления работающих, загрязнения окружающей среды. Сведения представлены в таблице А.1 (Приложение А).

При объявлении аварийного положения обслуживающий персонал должен руководствоваться «Планом мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте площадка цеха подготовки аммиака к транспортировке ПАО «Тольяттиазот».

2.3 Расчет выбросов оксида азота при аварийных ситуациях

Характеристики свойств веществ, которые могут выделяться во время аварий на проектируемом объекте [17], представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристика свойств веществ

Наименование параметра	Параметр
1	2
Аммиак	
Химическая формула	NH ₃
Данные о токсической опасности:	
ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ Пороговая токсодоза	20 15
мг·мин/л	
Запах	Резкий раздражающий запах нашатырного спирта

Продолжение таблицы 7

1	2
Информация о воздействии на людей	Газообразный аммиак вызывает острое раздражение слизистых оболочек слезотечение, удушье. Жидкий аммиак или струя газа, попадая на кожу человека, вызывает сильные ожоги
Метан	
Химическая формула	CH ₄
Данные о токсической опасности: ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ Пороговая токсодоза, мг·мин/л	300 648 (расчет)
Запах	Без запаха
Информация о воздействии на людей	Вызывает удушье за счет снижения концентрации кислорода в воздухе
Водородосодержащий газ	
Химическая формула	
Данные о токсической опасности: ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ Пороговая токсодоза мг·мин/л	Не токсичен
Запах	Без запаха
Информация о воздействии на людей	При высоких концентрациях вызывает удушье, возможно отравление примесями

Для рассмотрения возможного токсикологического поражения был выбран наихудший сценарий возможной аварии (с наибольшим количеством выделяющихся загрязняющих веществ) – разрушение сепаратора аммиака. Первичный сепаратор 1146-D с выбросом всего содержащегося опасного вещества (9586 кг аммиака при $P = 176,7 \text{ кг/см}^2_{\text{(изб.)}}$ и $t = -18^\circ\text{C}$) на бетонную поверхность с последующим испарением жидкого аммиака, образованием и распространением токсичного облака [20].

Климатические условия: скорость ветра - 1 м/с, температура воздуха - 27°C , состояние атмосферы – изотермия. Шероховатость поверхности – 0,4м.

Расчет зон возможного токсического поражения был выполнен по программе расчёта последствий аварий на опасных производственных объектах «Токси+Risk» 5.0 (разработчик: ЗАО НТЦ «Промбезопасность», г. Москва). Результаты расчета приведены на рисунке 13.

Анализ выполненных расчетов показал, что при рассматриваемом сценарии аварии, области превышения смертельной и пороговой токсодозы (токсодозы, которая вызывает начальные симптомы поражения у 50% пораженных), в случае распространения облака в сторону наиболее вероятного направления ветра, не выходят за пределы промплощадки предприятия, а при ветре в остальных направлениях – не распространяются за пределы санитарно-защитной зоны предприятия.

Разрушение сепаратора аммиака (первичный сепаратор) поз. 1146-D с выбросом всего содержащегося опасного вещества 9586 кг аммиака.

Основной поражающий фактор – токсическое воздействие.

Величина зон действия основных поражающих факторов:

1 – область превышения пороговой токсодозы PCt_{50} : длина зоны по ветру/против ветра – 841/75 м, ширина 144 м на удалении 70 м;

2 – область превышения смертельной токсодозы LCt_{50} : глубина зоны по ветру/против ветра – 275/20 м, ширина 25 м на удалении 0 м.

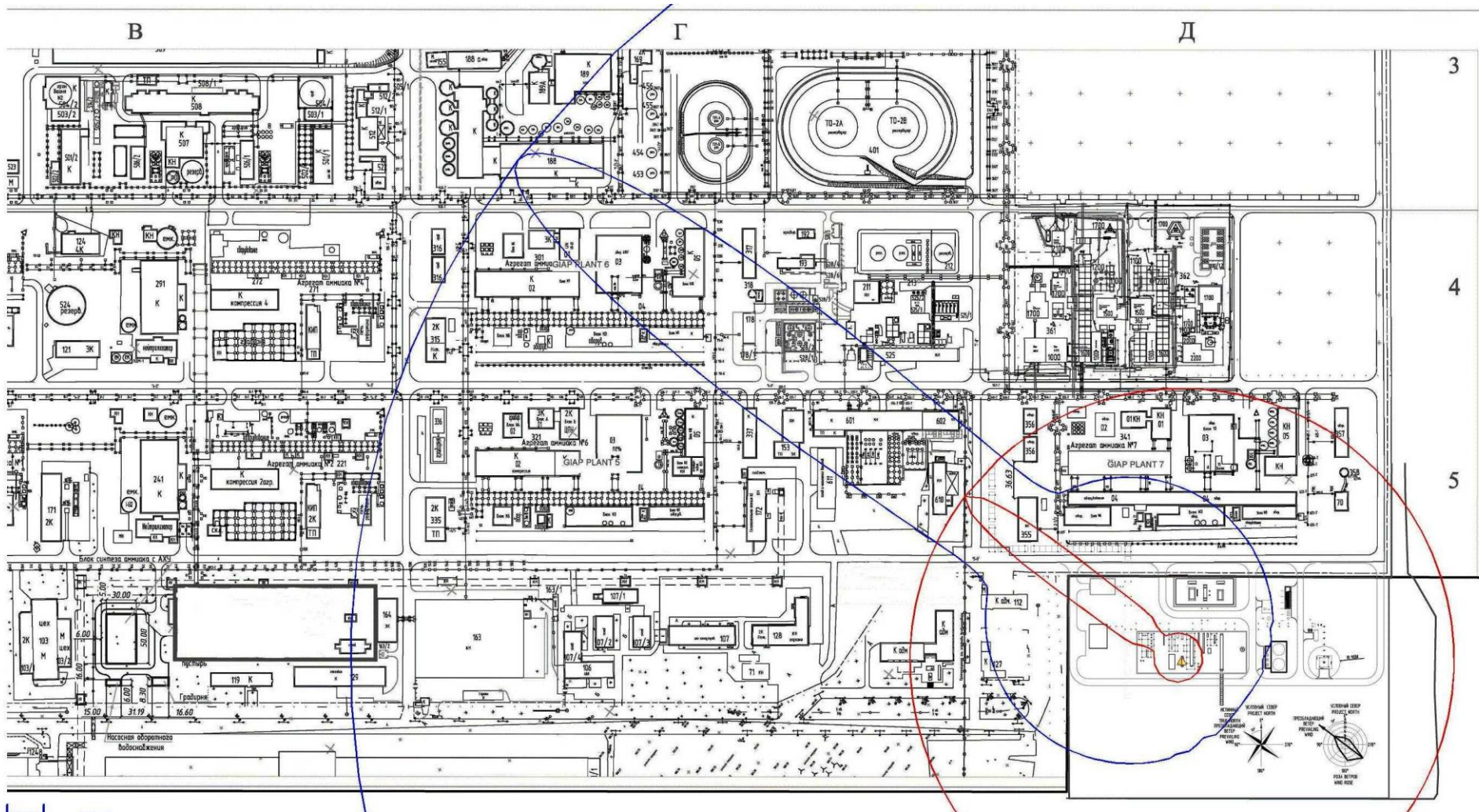


Рисунок 13 – Результаты расчёта зон возможного токсического поражения при разрушении сепаратора аммиака (первичный сепаратор) поз. 1146-D

2.4 Патентный поиск оборудования изотермических резервуаров хранения жидкого аммиака

2.4.1 Типы и конструктивные особенности изотермических резервуаров

Изотермические емкости для сжиженного газа представляют собой стальной цилиндрический корпус, который может быть размещен как на поверхности земли, так и под ней. При этом вне зависимости от типа размещения на резервуар будет оказываться давление, например, от теплоизоляции или других металлоконструкций (лестниц, площадок обслуживания и др.). Чтобы в течение всего срока эксплуатации была сохранена геометрия резервуара, на каркасе и крыше предусматриваются кольца и ребра жесткости [19].

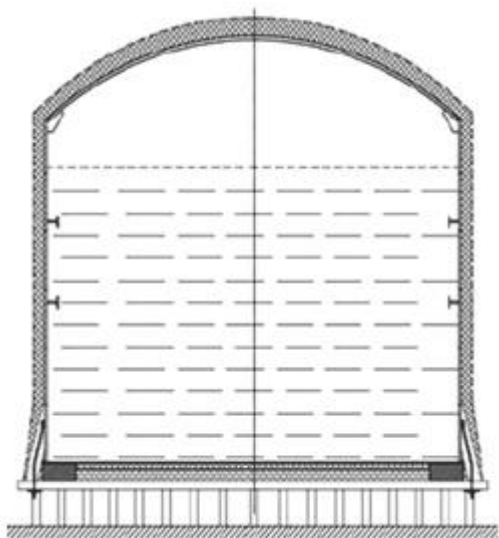
Материалом для изготовления изотермических резервуаров является низколегированная сталь марки 09Г2С или различные железоникелевые сплавы повышенной хладостойкости. В зависимости от условий эксплуатации материалами внешнего резервуара также могут служить бетон или строительный композиционный состав из бетона и стали [18].

Крыши изготавливаются сферической, купольной или конусообразной формы. Стенки имеют равномерную толщину, рассчитанную с учетом требований к устойчивости, рабочего давления, объема резервуара, свойств хранимого газа.

Конструктивно изотермические резервуары могут изготавливаться одностенными и двустенными (так называемые, резервуары «стакан в стакане»), а также вертикальными или горизонтальными.

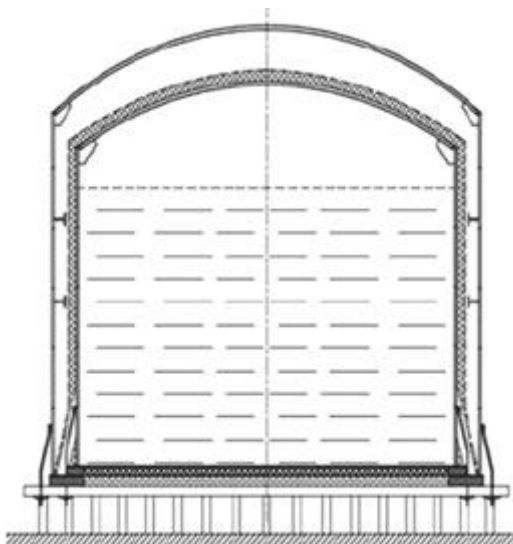
Вертикальные изотермические резервуары имеют несколько основных конструкций (рисунок 14).

Одностенный



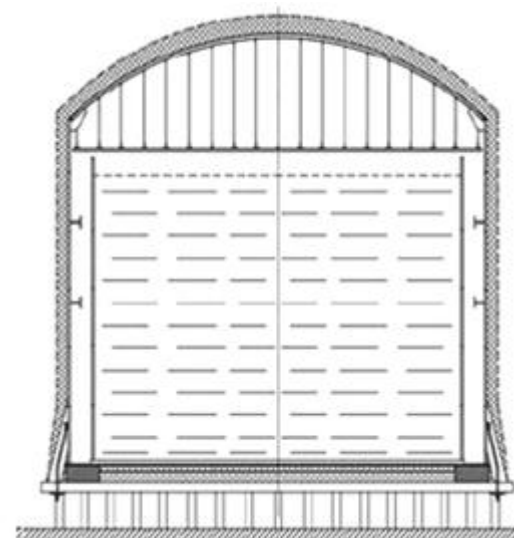
Теплоизоляция стен и крыши с внешней стороны. Второй внутренний резервуар отсутствует.

Двустенные с двумя самонесущими крышами



Избыточное давление принимается внутренним резервуаром. Требуется осушка теплоизоляции инертным газом в межстенном пространстве.

Двустенные с подвесной крышей внутреннего резервуара



Избыточное давление оказывается на внешний резервуар. Осушка теплоизоляции в межстенном пространстве выполняется парами продукта.

Рисунок 14 – Конструкции вертикальных изотермических резервуаров

2.4.2 Двустенные изотермические резервуары

Такая конструкция представляет собой два герметичных резервуара, расположенных один в другом.

Межстенное пространство двустенных изотермических резервуаров заполняется вспученным перлитовым песком или устанавливается теплоизоляция из стекловолокна, пеностекла и др. Затем осуществляется просушка теплоизоляции сухим азотом. Дополнительно возможно добавление компенсационного слоя из эластичного минерального войлока, который способен частично предупредить температурные деформации внутреннего резервуара.

В зависимости от конструкторских расчетов днища двустенного изотермического резервуара может быть как общим, так и быть отдельными (для внутреннего и внешнего резервуара) и разделяться армированными решетками для сохранения устойчивости.

2.4.3 Одностенные изотермические резервуары

Одностенная конструкция также обеспечивает поддержание рабочей температуры хранимого газа за счет устройства слоя теплоизоляции из минераловатных матов, обшитых оцинкованными листами стали.

Оборудование изотермических резервуаров

Изотермические резервуары для сжиженного газа перед доставкой до места эксплуатации могут быть снабжены дополнительным оборудованием, состав которого рассчитывается по желанию Заказчика. В ассортименте ТД САРРЗ присутствует техническое оснащение:

- предохранительные клапаны, которые предназначены сбросить избыточное давление;
- уровнемеры, показывающие уровень заполнения резервуара сжиженным газом;
- вибродатчики, с помощью которых измеряется вибрация на выходном и входном трубопроводах;

- датчики влажности, оценивающие состояние теплоизоляции;
- датчики, автоматические перекрывающие подачу газа при аварийной ситуации;
- вспомогательные металлические конструкции: лестницы, площадки, молниеприемники, заземление и т.д.

2.5 Интегрированный технический осмотр резервуаров

Основание для интегрированного техосмотра резервуаров - способы приготовления неразрушающего тестирования качества металлических и сварных швов [17]:

- визуально-оптическое тестирование поверхности резервуара, обнаружение и оценка шероховатости (изгиб, вмятины, расслаивания, и т.д.) на стене и дне внутри и снаружи резервуара, более точного определения области применения других методов тестирования;
- проверка сварных швов и металл стенки резервуара: сверхзвуковое тестирование, магнитное тестирование, проникающее тестирование, акустическая эмиссия;
- проверка сварных швов и металла днища резервуара;
- определение механических особенностей металла и сварок на образцах, сделанных из сокращения эталонных образцов из стены и дна;
- металлографический анализ сварных швов на образцах, сделанных из сокращения эталонных образцов из стены и дна;
- металлографический анализ металла стены и дна методом отпечатков;
- химический анализ металла, включая количественный анализ содержания водорода в металле.

Изотермическое хранение жидкого аммиака разработано как двойная стена вертикальный цилиндрический резервуар, определило местонахождение в бетонном каземате и приложило стеной охраны.

Внутренний резервуар, в котором на самом деле сохранен жидкий аммиак, концентрически расположен во внешней оболочке. Внешняя оболочка сохраняет отставание от проникновения повреждения и влаги. Толщина стенок внешней оболочки составляет 7 мм (1 – 6 рядов) и 6 мм (6 – 15 рядов).

Толщина внутренней стенки резервуара равна (рядами): 16-14-13-12-10-10-10-10-12-12-миллиметровые - 10 ряды в целом, каждый 2000 – 2050 mm высота.

Внутренняя стенка резервуара собрана от слоев крупных размеров (приблизительно 2.0 x 6.0 м). Все суставы сварены встык. Следующие стали используются в резервуаре: N-TVF33 (Япония) – стена и N-TVF30N (Япония) – дно и кровля. Межстенное пространство между внутренними и внешними оболочками заполнено отставанием от песка Circulite.

Газообразный песок непрерывно подается в межповерхность стены для высыхания отставания во время операции. Поток азота также используется в качестве перевозчика для записи возможного появления аммиака в межповерхности стены.

Лазы обеспечены в более низкой части стены и на крыше для проведения работ.

Хранение оснащено трубопроводами для входа и выхода сжижаемого и газообразного продукта, устройств для защиты от избыточного давления и вакуумного формирования, контроля и измерительных приборов и другого оборудования [13].

Технические характеристики внутреннего резервуара следующие: нижний диаметр – 30050 мм; высота стенки – 21000 мм; количество сохраненного продукта - 10000 тонн; температура сохраненного продукта – минус 33 С; давление в резервуаре – 3 - 7 кПа;

1) Визуальное тестирование. Визуальное тестирование структур металла резервуара проводилось для обнаружения и калибровки дефектов

или повреждения в основном компоненте сплава и сварных швах, сформированных в операции.

Целью визуального контроля, согласно DSTU 4046-2001 [6], является обнаружение следующих дефектов:

- в основном компоненте сплава: трещины, слезы, стенная коррозия, выпуклость, гофрирования, отдушины, щели, механическое поверхностное повреждение, расслаивания и другие поверхностные дефекты, сформированные или развивающийся в обслуживании;

- в сварках: сваривая дефекты, такие как трещины всех видов и направлений, отдушин и пористости наружной поверхности сварки, подрезов, роллов, ожогов - через, незаполненные кратеры, коррозия, несоответствие формы сварки и размеров к требованиям спецификации;

- видимая деформация структурных элементов (вздутие, провисание, отклонение от исходного положения).

Геометрические аспекты сварок проверены на соблюдение требований ГОСТ 5264-80 и ГОСТ 8713-79.

Перед выполнением тестирования поверхность сварки и 100 мм шириной HAZ на каждой стороне сварки очищены, используя мягкие колеса наждака откидной створки. Грубость поверхностей, очищенных для тестирования, должна быть не больше, чем Ra 12.5 (Rz80) к ГОСТу 2789-73.

Визуальный контроль выполнен согласно техническим требованиям, сформулированным в DSTU EN 13018-2006 и ISO 17637-2003 [11 - 12] DSTU.

Следующее вспомогательное оборудование используется в визуальном контроле: просмотр луп (усиление сгиба 2-3); измерение луп к ГОСТу 25706-83; измерение весов к ГОСТу 427-75; кронциркуль к ГОСТу 166-89; универсальные меры сварщика UShS-3; металл и щетки для волос для очистки; портативные огни; маркеры; бинокль (для экспертизы металлических структур стены и крыши) [8].

2) Сверхзвуковое тестирование. Сверхзвуковое тестирование

выполнено в соответствии с требованиями ГОСТа 14782-86 [13], DSTU EN 583-1-2001 [14] и «Технологические инструкции относительно сверхзвукового тестирования наложения и сварных швов филя изотермического днища резервуара», чтобы показать внутренний самолет и дефекты объема. Разрабатывая способ, много лет опыта Института Сварки Э.О.Пэтона Электрика в области сверхзвукового тестирования [15] использовались в дополнение к стандартам и кодексам.

Следующее подвергнуто 100%-му сверхзвуковому тестированию:

- вертикальные и горизонтальные сварные швы кончика сигары слоев первых, вторых и третьих кругов стены;
- наложение на сварные швы в центральной части дна;
- бодайте сварные швы слоев нижнего края и наложение на сварные швы слоев края и дна центральная часть;
- сварка филя перезвона.

Сверхзвуковое тестирование выполняется, используя дефектоскопы USN-52 (Krautkramer, Германия) UD2-70 (NPF “ультраобманное Обслуживание”, Украина), UD2-12 (NPO “Volna”, Молдова) и другие.

Тестирование выполняется, используя прямые и наклоненные преобразователи TR с рабочей частотой в плите 2.5 - 5.0 МГц и углу падения 45 degr. Наклоненные преобразователи были особенно произведены в Институте Сварки Э.О.Пэтона Электрика.

Основные параметры тестирования проверены на справочных блоках от набора KOU-2. Подготовка дефектоскопов и тестирование параметров выполнены на испытательных образцах с искусственными отражателями указанных размеров и местоположения [16].

Следующие методы тестирования с наклоненным преобразователем, главным образом, используются:

- прямым лучом – чтобы показать дефекты в корне сварки;
- некогда отраженным лучом – чтобы показать дефекты в сварке

средняя и верхняя часть. Акустическое сцепление преобразователя с металлической поверхностью было обеспечено, используя специальное смазывание студня Г-НА-Chemi, Германия.

Регулировка дефектоскопа включает:

- подготовка темпа просмотра и метра глубины;
- температура зоны, которой управляют;
- подготовка чувствительности.

Измерение толщины резервуара структурные элементы выполняется, используя много сверхзвуковых датчиков толщины. Самым удобным с этой целью является метр толщины UT-04 Европейское валютное соглашение Delta (NPF «S.N.P.», Украина) с бесконтактным electromagnetoacoustic преобразователем [23].

При необходимости мы применяем технологии акустически-эмиссионного тестирования, а также компьютеризировали сверхзвуковые дефектоскопы, позволив использование TOFD, SAFT и других технологий.

3) Магнитное тестирование. Магнитное тестирование частицы проводится в соответствии с требованиями ГОСТа 21105-87 [16], DSTU 2954-94 [17], DSTU EN 1290-2002 [18], и «Технологические инструкции относительно магнитного порошкового контроля сварных швов изотермического днища резервуара», чтобы показать, что трещинам поверхности и недр различного происхождения, линий волос, слез, сгибов, недостает из проникновения и другие дефекты сварных швов и HAZ.

Следующее подвергается магнитному контролю частицы:

- вертикальные сварные швы кончика сигары первых и вторых кругов стены;
- горизонтальный сварной шов кончика сигары первых и вторых кругов стены;
- наложение на сварные швы дна центральная часть;
- бодайте сварные швы слоев нижнего края и наложение на

сварные швы слоев края и дна центральная часть;

- сварка перезвона филе.

Магнитное тестирование частицы выполнено, используя гипнотизеров дефектоскопов Паркер, США и PMD-70, NPO «Volna», Молдова.

Метод тестирования проверяет в прикладной области. Метод намагничивания сварного шва продольный (полюс), используя приложенный электрический магнит. Магнитная интенсивность между полюсами составляет не меньше чем 80 А/см. Магнитный порошок был применен на поверхность, которой управляют, «сухим» методом.

Приостановка мела в форме аэрозоля, сделанной NPF «IFKH-ЦВЕТ», Киев, используется, чтобы создать белый фон в отличие от магнитного порошка.

Чтобы проверить удобство использования всей системы магнитного тестирования частицы, следующие справочные блоки используются каждый час: образец Бертольда и фабричный эталонный образец (от набора дефектоскопа PMD-70).

Тестирование использования «магнитных сканеров» выполнено, чтобы изучить условие коррозии листовых структур резервуаров [19].

Проверяя «магнитной памятью» техника проводится, чтобы показать сечения сварных швов с неоднородным врожденным магнитным полем для их дальнейшего более детального изучения.

Текущее тестирование вихря выполнено, чтобы показать поверхность и трещины недр различного происхождения и другие дефекты зоны сварки и сварных швов.

4) Проникающее тестирование. Проникающее тестирование проводится в соответствии с техническими требованиями ГОСТа 18442-80 [20] и DSTU EN 571-1-2004 [21], чтобы показать видимое или едва видимое для невооруженного глаза дефекты типа неоднородностей материалов, прибывая в поверхность (трещины, отдушины, недостает из проникновения,

и т.д.).

Следующее подвергается проникающему тестированию:

- сварные швы, сделанные для того, чтобы порезать на branchpipes или люки;
- наложение на сварные швы дна – выборочно;
- бодайте сварные швы стены – выборочно;
- поверхность кольца люка, на котором установлен штепсель.

Проникающее тестирование выполнено с материалами обнаружения недостатка Г-НА-Chemie, Германия в форме аэрозоля; проникающий Г-Н-68С; Г-Н 85 уборщиков; Г-Н 70 разработчиков.

Метод тестирования люминесцентный - цвет. KD-33L люминесцентная лампа (NPO «Volna», Молдова) используется. Существенная чувствительность проверена на справочном блоке, сделанном в соответствии с требованиями ГОСТа 23349-84 (Приложение 3, образец №2).

Проникающее тестирование включает следующие технологические операции [24]:

- очистка от сечения, которым управляют;
- применение Г-НА-68С, проникающего на сечение, которым управляют. Проникающее удерживание на сечение не меньше 20 минут; проникающее удаление из сечения, которым управляют, с тряпками впиталось Г-Н 85 уборщиков. Натуральное высыхание сечения в течение 10 - 20 минут;
- применение Г-НА 70 разработчиков на сечении, которым управляют. Наблюдение за сечением, которым управляют, во время разработчика, сушащего в течение первых 5 минут. Вторая экспертиза сечения, которым управляют, 20 минут после применения разработчика.

5) Тестирование утечки. Тестирование утечки сварных швов днищ резервуаров и стен выполнено методом вакуум-камера (тестирование пузыря) или капиллярным методом проникновения (жидкий проникающий

контроль). В редком случае мы используем газово-аналитические течеискатели.

6) Механическое тестирование. Цель механического тестирования - определение механических свойств основного компонента сплава и сварных швов при комнатной температуре и температуре процесса, без которой невозможно правильно оценить условие металла в операции. Основные виды механического тестирования растяжимы, влияют на крутизну, изгиб, тесты на твердость, и т.д.

Механические особенности металла измерены при лабораторных условиях на образцах, сделанных из слоев, порезанных из дна и стены [25].

Растяжимое тестирование металла, позволяя определение характеристик силы и податливости металлов при статической одноосной погрузке, выполнено на различных образцах к ГОСТу 6996-66, используя электромеханическую машину тестирования.

Тестирование крутизны воздействия металла выполнено на образцах с V-или U-образным надрезом к ГОСТу 6996-66 использованием молотка маятника.

Тестирование позволяет определение пункта результата, окончательной силы, относительного удлинения, крутизны воздействия и твердости металла.

7) Металлографический анализ. Металлографический анализ проводится, чтобы учиться макро - и микроструктура депонированной сварки и основного компонента сплава.

Металлографический анализ депонированной сварки металлический и основной компонент сплава дна проводится, как правило, при лабораторных условиях, на образцах, сделанных из сокращения блюв из днища резервуара. Образцы приготовлены, перемолов. Закончите обработка поверхности выполнена с алмазными пастами и последующей гравюрой сечений раствором для алкоголя азотной кислоты.

Макроанализ депонированного металла сварки показывает трещины, слезы и другие дефекты в сварных швах, расстоянии между блюдами сварного шва наложения и металлической восприимчивости к коррозии.

Изучая гистологические срезы сварных швов и основного компонента сплава, их микроструктуры, например, ферритового перлита, мелкозернистого; кристаллическая структура, например, колоночная, игольчатая; размер зерна к ГОСТу 6539-82 и полосчатость структурных компонентов к ГОСТу 6540-68 определены на образцах.

Металлографический анализ депонированной сварки и основной компонент сплава стенки резервуара проводятся, как правило, методом “впечатления” от поверхности, используя точные копии полистирола и портативный микроскоп (не режущий образцы из стены). Несколько зон (сечения) приготовлены к расследованиям в местах пересечения вертикальных сварок стены с горизонтальными сварками.

Обработка поверхностной отделки сечения выполнена с алмазными пастами. «Неофот 21» микроскоп используется, обеспечивая усиление $\times 100$ и $\times 250$.

Макроанализ сечений 200×200 мм размером также показывает неглубокие подрезы, расположенные на линии сплава сварки и основного компонента сплава, а также гроздей микропоры. Такие незначительные дефекты формируются во время изготовления резервуара. Во многих микрослезах металла случаев и цепях коррозии косточки найдены в сварном шве HAZ.

Микроанализ стенных сечений металла также определяет их структуру, прозрачную структуру, размер зерна и полосчатость структурных компонентов [27].

Металлографическая экспертиза позволяет устанавливать микроструктуру, размер зерна, условие межгранулированных границ депонированной сварки и основного компонента сплава дна и стены,

типичной для особых марок стали и их сварных швов или отличаться от нормы, со следами старения, и т.д.

8) Химический и спектральный анализ

Химический анализ сокращения образцов из днища резервуара показывает содержание углерода, легирующих элементов и загрязнений в металле, и подтверждает, что сталь принадлежит определенному классу и сорту. Методы химического анализа обычно основаны на передаче проанализированного элемента в определенное химическое соединение его роспуском, сплавом или сгоранием.

Химический анализ образцов нижнего металла также показывает водородное содержание и приводит к его численным значениям.

Методы спектрального анализа часто используются в практическом анализе металлов, и вместе с химическими методами и независимо. Спектральный анализ основан на учащейся металлической радиации паров. Передача проанализированного металла в парообразное государство достигнута при действии дуги или искровом разряде между металлическим и специальным электродом. Спектр взволнован, используя искру и генераторы дуги, включенные в единицы стилоскопа.

Неразрушающее тестирование сварных швов и основной компонент сплава резервуара приводят к раскрытию сечений с недопустимыми дефектами для их ремонта. Такие сечения затем восстановлены и повторно проверены [26].

Механическое тестирование и металлографический анализ образцов, химический и спектральный анализ металла показывает отклонения от требований до стали определенного типа.

2.6 Предложение технических решений по модернизации блока хранения жидкого аммиака

«Применение АЭ позволяет сократить время технических освидетельствований с одновременным повышением точности и качества прогноза возможности дальнейшей эксплуатации изотермического хранилища с определением остаточного ресурса.

Уровень развития современной компьютерной техники позволяет использовать высоконагруженные алгоритмы, обрабатывающие сигналы повышенной точности в кратчайшие сроки в режиме реального времени» [2].

Акустическая эмиссия (АЭ) – это звуковые волны, произведенные тогда, когда материал претерпевает внутреннее изменение в результате внешней силы.

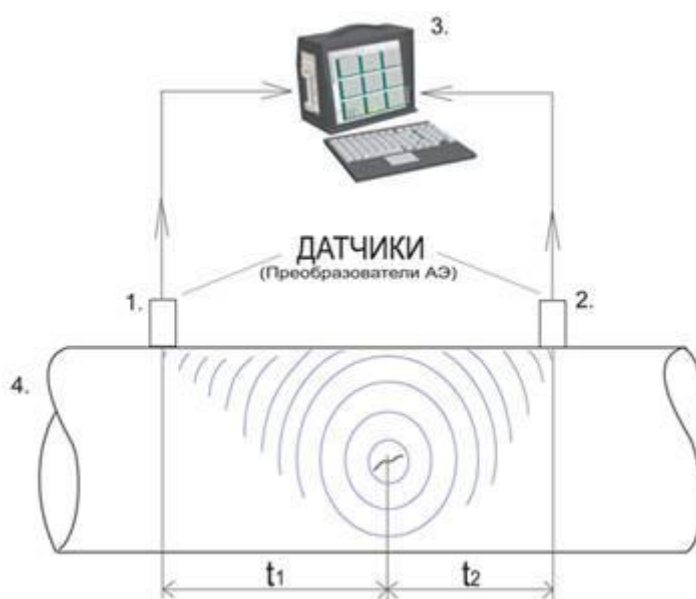


Рисунок 15 – Схема работы акустико-эмиссионной системы

1 – приемник; 2 – приемник; 3 – компьютер, собирающий и обращающийся с информацией от получателей; 4 – объект, который будет проверен; t_1 – время сигнала, идущего к первому приемнику; t_2 – время сигнала, идущего к второму приемнику

Зарегистрированное время $t_{я}$ сигнала на i в приемнике (датчике) системы, определенное различием времени прибытия T ($T = t_2 - t_1$) в расположенных приемниках. Тогда известная скорость звука в материале и

известных координатах программы приемников вычисляет координаты источника (дефект). Характеристики датчиков могут отличаться.

Волны размножаются с источника на датчик (датчики), где они преобразовываются в электрические сигналы. Одни устройства обнаруживают эти сигналы и показывают данные по экрану как формы волны, местоположения, цифровые линии, на основе которых оператор может оценить условие и структуру существующего оборудования под стрессом, чтобы обнаружить и определить местонахождение дефектов [26].

Необходимость контролирования опасного оборудования методом акустической эмиссии обуславливается:

- работой оборудования сверхнормативного срока эксплуатации;
- увеличение интенсивности отказов с каждым годом;
- высокий показатель роста эксплуатационных дефектов в оборудовании;
- катастрофические последствия деструкции объекта.

Использование традиционных дискретных методов экспертизы становится неэффективным из-за высокой сложности конструкций и применения таких методов.

Акустический контроль эмиссии: обнаруживает развитие, т.е. самые опасные дефекты.

Этот метод дистанционный, что не требует просмотра поверхности объекта для отыскания местных дефектов, но важно правильное размещение датчиков на поверхности объекта для определения местонахождения источника акустической эмиссии.

«На сегодняшний день имеющаяся законодательная и нормативная база вполне достаточна для внедрения системы мониторинга промышленной безопасности на всех изотермических хранилищах сжиженных газов» [2].

«Применение комплексов мониторинга существенно повышает промышленную безопасность, эффективность эксплуатации ИР, берегает их ресурс, увеличивает работоспособность опасных производств» [2].

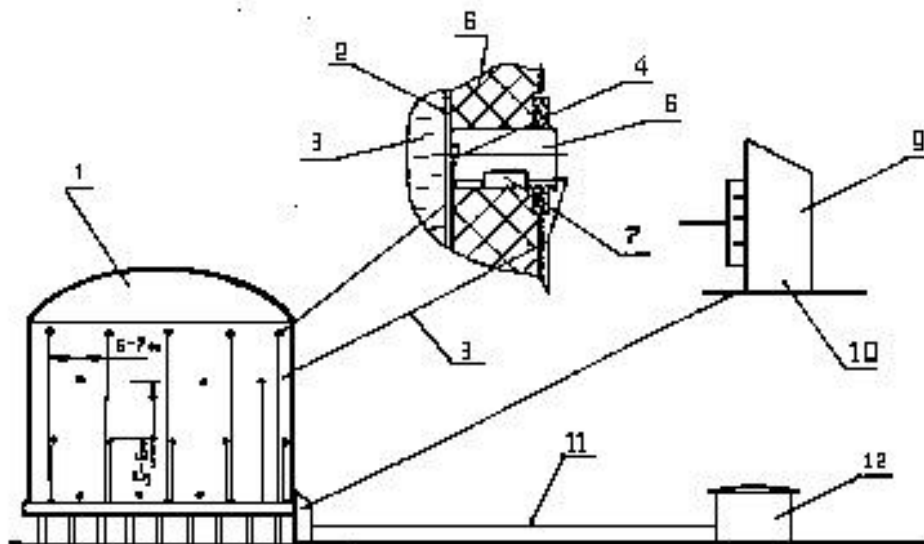


Рисунок 16 – Схема акустико-эмиссионного контроля хранилища жидкого аммиака

1 – хранилище; 2 – корпус хранилища; 3 – аммиак; 4 – пьезопреобразователь; 5 – теплоизоляция; 6 – шлюз; 7 – предусилитель; 8 – кабель; 9 – блок предварительной обработки акустико-эмиссионных сигналов; 10 – блок питания (50 Гц, 220В); 11 – линия связи с ЭВМ; 12 – пультовая с размещенным приемно-анализирующим оборудованием

Преимущества:

- Удаленное обнаружение дефектов и точное обнаружение на объекте исследования
- Проведите экспертизы сразу всего оборудования за один цикл
- Быстрая установка датчиков
- Высокая чувствительность
- Необходим местный доступ к оборудованию
- Идентифицирует развивающиеся дефекты
- Требуется относительно маленькой погрузки

Недостатки:

- оборудование должно быть загружено (резервуар наполнен)

- активность решительно зависит от существенного и акустического контакта трудно отличить ложные сигналы от полезных сигналов

- контроль дает ограниченную информацию о типе дефекта

Таблица 8 – Сравнительная оценка методов неразрушающего тестирования и метода акустической эмиссии

Неразрушающее тестирование	Акустический метод эмиссии
Много сложности предварительной работы и тестирования себя	Сложность предварительной работы и контроль десятков (сотни) меньших времен
Невозможность признает дефекты, развивающиеся при операции грузов	Обнаруживает самые опасные типы дефектов, развивающихся при операции грузов
Поскольку процедура контроля требуется, списывая объект	Контроль можно нести при условиях фактического использования или выделения эквивалентные контрольные нагрузки

2.7 Обоснование возможности применения технического решения по защите изотермического резервуара превышения давления и вакуума

Концепция функционирования интеллектуального программно – аппаратного комплекса мониторинга и диагностики хранилищ жидкого аммиака ПАО «Тольяттиазот» на основе акустоэмиссионных технологий заключается в «предупреждение аварий техногенного характера является приоритетной задачей для всех промышленно развитых стран. Особого внимания требуют объекты, разрушение которых может приводить к человеческим жертвам или нанести ущерб экологии целых регионов» [9].

«Как свидетельствует мировая статистика, около 50% аварий связаны с техническими причинами, обусловленными длительной эксплуатацией

промышленного оборудования. В России большинство промышленных объектов эксплуатируются более 30-40 лет, значительная их часть выработала свой номинальный ресурс и остро стоит вопрос о возможности его продления» [9].

«Исходя из целей обеспечения безопасности при минимизации расходов на поддержание нормального функционирования оборудования, в настоящее время получает развитие стратегия управления техногенным риском, основанная на использовании комплексного неразрушающего контроля технического состояния объектов с возможностью прогнозирования развития дефектов (повреждений) без вывода объектов из рабочего состояния. Тем самым на смену традиционному методу планово - профилактического обслуживания, приходит метод контроля фактического состояния оборудования в процессе эксплуатации» [9].

«Следует отметить, что ни один из методов неразрушающего контроля не может обеспечить выявление всех опасных дефектов. Соответственно, как правило, применяется комплексный подход, предусматривающий использование различных методов диагностирования» [9].

«Метод акустической эмиссии является «пассивным» - ведётся лишь «прослушивание» объекта, без его зондирования, и реагируют АЭ - системы только на развивающиеся под приложенной (рабочей) нагрузкой дефекты. Эти качества обуславливают высокую эффективность АЭ метода - минимальным числом датчиков можно проконтролировать объекты весьма сложной геометрии и выявить наиболее опасные, развивающиеся дефекты.

АЭ - технология является относительно дорогостоящей. Стоимость каждого (не обладающего интеллектуальными свойствами) АЭ - канала составляет порядка 3-4 тысячи USD. Недостаточное развитие вычислительной техники не давало возможности обеспечить требуемую обработку высокочастотных сигналов в режиме реального времени. Соответственно, несмотря на все свои привлекательные качества, АЭ-

технология практически не использовалась для систем непрерывного мониторинга. АЭ-системы использовались в большинстве случаев для периодической диагностики каких-либо объектов. Диагностируемый объект обвешивался датчиками, объект так или иначе нагружался, производилась запись сигналов, датчики снимались и далее специалистами с помощью диагностических программ производилась пост-обработка и анализ записанных сигналов с выдачей диагностического заключения» [9].

«В последнее время появились эффективные и разнообразные методы компьютерной обработки данных. За последние годы, а точнее буквально за последние 1-3 года, появились действительно быстродействующие компактные вычислительные средства с большим объемом памяти. Производительность доступных вычислителей достигла десятков терафлоп в секунду, что сделало возможным использование и быстрое развитие современных математических методов моделирования и обработки сигнала, сжатия информации, классификации сигналов и распознавания образов в реальном времени» [9]. Применение искусственного интеллекта в виде нейронных сетей, развитых обучаемых баз данных и систем принятия решения, позволяет перевести проблему идентификации шума, сигналов АЭ от различных источников - трещин, пластической деформации, протечек - на качественно новый уровень, а так же полностью вывести эксперта из производственного процесса производственного мониторинга, так как все решения могут приниматься системой автоматически и аргументированная информация о состоянии объекта мониторинга может передаваться в любом требуемом виде на пульт управления.

Системы такого рода с применением современных автоматических спектральных классификаторов и нейронных сетей уже успешно апробированы в университете г. Осака и в производственных компании ЛТЕКТ в Японии.

Отличительной особенностью процесса разрушения, является специфический характер разрушения различных материалов и объектов и, соответственно, специфический характер акустических сигналов в каждом конкретном случае. Соответственно при диагностировании обычно применяется «объектно-ориентированный» подход. Он предполагает проведение серий тестов по разрушению экспериментальных образцов материалов объектов, подлежащих в дальнейшем диагностическому мониторингу, с целью выявления надежной связи особенностей АЭ сигналов и характера разрушения. Проведение таких тестов наша лаборатория всегда включает в необходимый план работ и это не удорожает стоимость системы. При обнаружении предлагаемой системой сигнала АЭ, определяются координаты его источника, особые признаки сигнала, позволяющие, по разработанным в лаборатории оригинальным математическим алгоритмам определить, что это не случайный выброс (шум) а именно сигнал АЭ от развивающегося дефекта, определить его характер и масштаб, по характеру развития временного ряда определить степень активности и опасности, в рамках методов механики и физики разрушения определить ресурс с той или иной степенью вероятности. Обслуживающий производственный персонал получает точные, исчерпывающие инструкции по правилам поведения в той или иной ситуации развития дефектов. Дальнейший анализ дефекта и его устранение может быть проведено специализированными службами.

В процессе эксплуатации АЭ-системы будет создана и пополняться база данных – «медицинская карта» состояния объекта. После этого нагрузка на экспертов будет существенно снижена и система сможет функционировать в практически автономном режиме [28].

Таким образом, предлагаемый к установке на ПАО «Тольяттиазот» Интеллектуальный программно-аппаратный комплекс (ИПАК) состоит из следующих основных составляющих:

– широкополосные датчики акустической эмиссии, интегрированные с рассчитанными и оптимизированными по месту волноводами. Сигналы резонансных датчиков не позволяют применять для анализа математические методы, многие из которых основаны на спектральном анализе сигналов. Предлагаемые датчики оригинальной конструкции (серии MSAE) предназначены для долговременной безсервисной эксплуатации в жестких производственных условиях. При необходимости будут оформлены сертификаты на взрыво - пожаро - защищённость датчиков;

– проводные линии связи систем мониторинга;

– аналоговые усилители и фильтры. Обеспечивают фильтрацию низкочастотных промышленных шумов, усиливают и согласовывают сигнал с линией связи;

– платы сбора данных. Обеспечивают непрерывную оцифровку сигнала и ввод данных в компьютер. Частота оцифровки составляет от 2х до 10 МГц, разрядность - 16 бит. Соответственно поток данных по одному каналу составляет 20 МБ/с. Метод оцифровки предполагает беспороговую регистрацию потока, что исключает пропуски сигналов АЭ, и резко повышает достоверность оценок поврежденности объекта за счет уникальной возможности дискриминации и анализа сигналов малой амплитуды;

– кроме «быстрых», акусто-эмиссионных каналов, систему предполагается оснастить относительно небольшим количеством «медленных», вибрационных (обеспечивающих полосу пропускания до 10 кГц), а также параметрических каналов, по которым можно заводить данные по температуре, давлению, вибрации и т.д. контролируемого объекта синхронно с данными АЭ, обеспечивая комплексный контроль и возможность эффективной экспертизы с увязкой с текущими условиями эксплуатации или процедур освидетельствования;

- предполагается включение в систему модулей оценки фактической геометрической формы ИП;
- вычислительный модуль на базе многоядерных процессоров Intel в промышленном исполнении для работы и отображения в режиме реального времени;
- данные обработки протоколируются и архивируются для последующего анализа и оценки эффективности работы системы;
- данные в частично обработанном и сжатом виде по каналам Ethernet передаются в Лабораторию ТГУ для экспертной оценки. Эксперты регулярно, но не реже одного раза в месяц, информируют ответственные лица на ПАО «Тольяттиазот» о состоянии изотермиком. Эксперты создают и пополняют обучаемую базу данных;
- программное обеспечение обработки сигналов строится на оригинальных принципах интеллектуальных диагностических систем и математических библиотек, настроенных на объект. Программная оболочка обеспечивает удаление остаточных (после аналоговой фильтрации) шумов, не связанных с объектом мониторинга, проверку АЭ сигналов по различным критериям и сравнение выделенных сигналов с элементами пополняемой базы данных;

2.8 Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуального программно-аппаратного комплекса мониторинга и диагностики хранилищ жидкого аммиака ПАО «Тольяттиазот» на основе акустико-эмиссионных технологий

Изотермические хранилища ПАО «Тольяттиазот» в части технического диагностирования подчиняются руководящему документу РД 03-410-01 «Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров (ИР) сжиженных газов»

[25]. «Комплексное техническое освидетельствование ИР включает следующее:

- периодический наружный осмотр технического состояния ИР в режиме эксплуатации;
- полное техническое освидетельствование ИР в режиме выведения его из эксплуатации» [23].

Введение постоянного акусто-эмиссионного мониторинга ИР позволяет гарантировать постоянный контроль внутреннего резервуара в режиме эксплуатации и замену (снижению стоимости) части работ при полном техническом диагностировании в следующем объеме. Полное техническое освидетельствование проводится (подчеркнуто, то, что уже сегодня можно заменить АЭ обследованием):

- «анализ комплекта технической, эксплуатационной документации и предписаний органов Госгортехнадзора России;
- наружный осмотр ИР в эксплуатационном режиме;
- тепловизионное обследование ИР в эксплуатационном режиме;
- освидетельствование технологического оборудования ИР;
- остановка и подготовка ИР к внутреннему обследованию» [23];
- «визуально-измерительный контроль внутренней оболочки ИР;
- неразрушающие методы контроля целостности внутренней оболочки ИР (АЭ контроль, ультразвуковая дефектоскопия, цветная дефектоскопия, ультразвуковая толщинометрия, магнитопорошковый метод, радиографический метод, вакуумный (пузырьковый) метод, вихретоковый метод, метод керосиновой пробы, метод магнитной памяти металла)» [23]. (АЭ мониторингом их количество можно существенно сократить и снизить стоимость работ).
- «определение физико-механических характеристик и химического состава металлоконструкций внутренней оболочки ИР (дюрометрический метод оценки прочности, определение фактических

механических характеристик и химического состава, в том числе неразрушающим методом контроля на микропробах)» [23];

- «металлографические и электронно-фрактографические исследования структурного и коррозионного состояния основного металла и материала сварных швов внутренней оболочки ИР (при необходимости);
- определение фактической геометрической формы ИР;
- геодезические измерения неравномерности осадки фундамента и горизонтальности днища ИР;
- освидетельствование тепловой изоляции ИР
- освидетельствование грунтов основания и фундамента ИР
- освидетельствование анкерных креплений ИР (в местах приварки их креплений к внутреннему резервуару);
- испытания внутренней оболочки ИР на прочность и герметичность (официальная методика АЭ контроля - приведена в п. 5.8.2 РД 03-410-01);
- оценка технического состояния ИР;
- расчетная оценка статической, хрупкой и циклической прочности ИР» [23];
- «оценка остаточного ресурса безопасной эксплуатации ИР» [23].

При разработке соответствующих методик оценки технического состояния ИР, расчетной оценки статической, хрупкой и циклической прочности ИР и оценке остаточного ресурса безопасной эксплуатации ИР по аналогии со стандартом ассоциации по контролю хранилищ нефти и нефтепродуктов (см. СА 03-008-08) и согласования ее с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, уже в среднесрочной перспективе можно говорить о замене внутренних осмотров (очень дорогостоящих) и о продлении срока службы ИР только по результатам АЭ контроля.

2.9 Промышленная продувка аммиака с использованием азота перед выбросом в окружающую среду

Для хранения охлажденных газов, таких как аммиак, очень важно обслуживание систем, в которых эти газы используются. Поскольку аммиак представляет собой острую, криогенную и коррозионную охлажденную жидкость, в системах, в которых он используется, встречается несколько проблем. Например, аммиак имеет низкую температуру кипения ($-33\text{ }^{\circ}\text{C}$), поэтому технологические линии должны быть способны предотвращать изменения температуры. Поэтому для очистки аммиака от технологических линий необходимы специальные методы. Основываясь на этом требовании, Ши и др. [1] спроектировал продувочную башню и исследовал характеристики башни в системах хранения аммиака.

Кроме того, Оберски исследовал другой метод, где газ аммиака использовался в качестве восстановителя для продувки системы. Другой запатентованный подход к продувке аммиака во время процесса хранения был продемонстрирован Ишизака. Здесь в качестве инертного материала использовали тетрахлорид титана, но этот процесс не был реализован в промышленном масштабе.

Другое исследование по очистке охлажденных химикатов, таких как аммиак, от технологических линий, было выполнено Шаик и др. [4]. В этой работе воздух использовался для продувки аммиака из системы хранения. Однако воздух вводился в систему устройством, которое увеличивало эксплуатационные расходы. Кроме того, Сан и др. исследовали очистку охлажденных и криогенных материалов от технологических линий [5]. В этих исследованиях аммиак обрабатывали с использованием мочевины, которая вводилась системой дозирования.

Другое исследование системы хранения аммиака и его периодическое техническое обслуживание было выполнено Майером и др. [6], и эта работа полезна, поскольку она занимается очисткой в промышленном масштабе.

Существует несколько экспериментальных работ по применению систем хранения аммиака. Ли Лостес и др. [7] сообщают о перспективных экспериментальных результатах для системы Чиллера с абсорбцией аммиака и воды.

Разработан патент на хранение охлажденных материалов и очистку систем; однако стоимость операции высока. Другие методы также были разработаны на основе динамики вычислительной жидкости (ДВЖ) для безопасной продувки трубопроводов холодильных систем [9]. Маекава [10] применил другой метод очистки систем хранения аммиака, используя в качестве очищающего газа фторид. Другим применением газоочистки является система холодильного цикла, разработанная Динкером и Каноглу [11].

Аммиак, который является основным химическим веществом, рассматриваемым в настоящей работе, широко используется в нескольких отраслях. В процессах, связанных с аммиаком, необходимы надлежащие методы сброса для долгосрочного обслуживания технологического оборудования и производственных / компрессорных линий. Следовательно, очистка является обязательной, и для этой цели необходимо контролировать физическую форму аммиака. Аммиак обычно используют в безводной форме (99,9%) в промышленных процессах. Однако из-за его острого запаха аммиак, хранящийся при криогенных температурах, не должен выпускаться в окружающую среду в безводной форме.

В настоящей работе предлагается, чтобы во время хранения аммиака пустой резервуар сначала заполнялся газообразным аммиаком, а затем жидким аммиаком. Во время операции заполнения основная задача заключается в том, чтобы обеспечить резервуар для хранения жидкого аммиака. Во время работы резервуар для хранения жидкого безводного аммиака частично заполняется (т. е. заполняется только три четверти бака), а неиспользуемая часть используется для размещения газообразного аммиака.

Часть этого газообразного аммиака используется для кондиционирования другого пустого резервуара, а остальная часть отправляется в многоступенчатый компрессор для сжижения, чтобы поддерживать уровень жидкости в резервуаре для хранения жидкого аммиака. Во время операции газообразный аммиак, полученный из жидкого аммиака, сжимается и затем сжижается многоступенчатым компрессором. Этот подход помогает смягчить термодинамические потери, что подтверждается термодинамической оценкой предлагаемого процесса на основе анализа эксергии.

2.9.1 Описание системы и расчеты

Для увеличения концентрации газообразного аммиака в баке медленно открывается клапан всасывания компрессора в резервуаре В. Целью этого действия является продувка газообразного азота в баке В путем приема аммиачного газа из резервуара А, так что концентрация аммиачного газа в баке В увеличивается и газ азота выгружается. Аммиачный газ из резервуара А доходит до бака В через самый короткий путь в трубопроводе. При увеличении концентрации аммиака в резервуаре В давление на газообразную смесь азота увеличивается, и, следовательно, азот вытесняется из резервуара (рисунок 17).

Резервуар А заполняется жидким аммиаком, а бак В заполняется газообразным азотом. Целью этой компоновки является продувка газообразного азота в резервуаре В процессе подготовки к заполнению жидким аммиаком. Из-за температуры окружающей среды жидкий аммиак в резервуаре А (1 атм -33 С) может испаряться и достигать всасывания компрессора трубопроводом 1. Сжиженный аммиак повторно направляется в резервуар А из компрессора через трубопроводы 2-5. Работы по кондиционированию, включающие предварительный резервуар В с жидким аммиаком, с использованием трубопровода 1, осуществлялись испарением аммиака в резервуаре А.

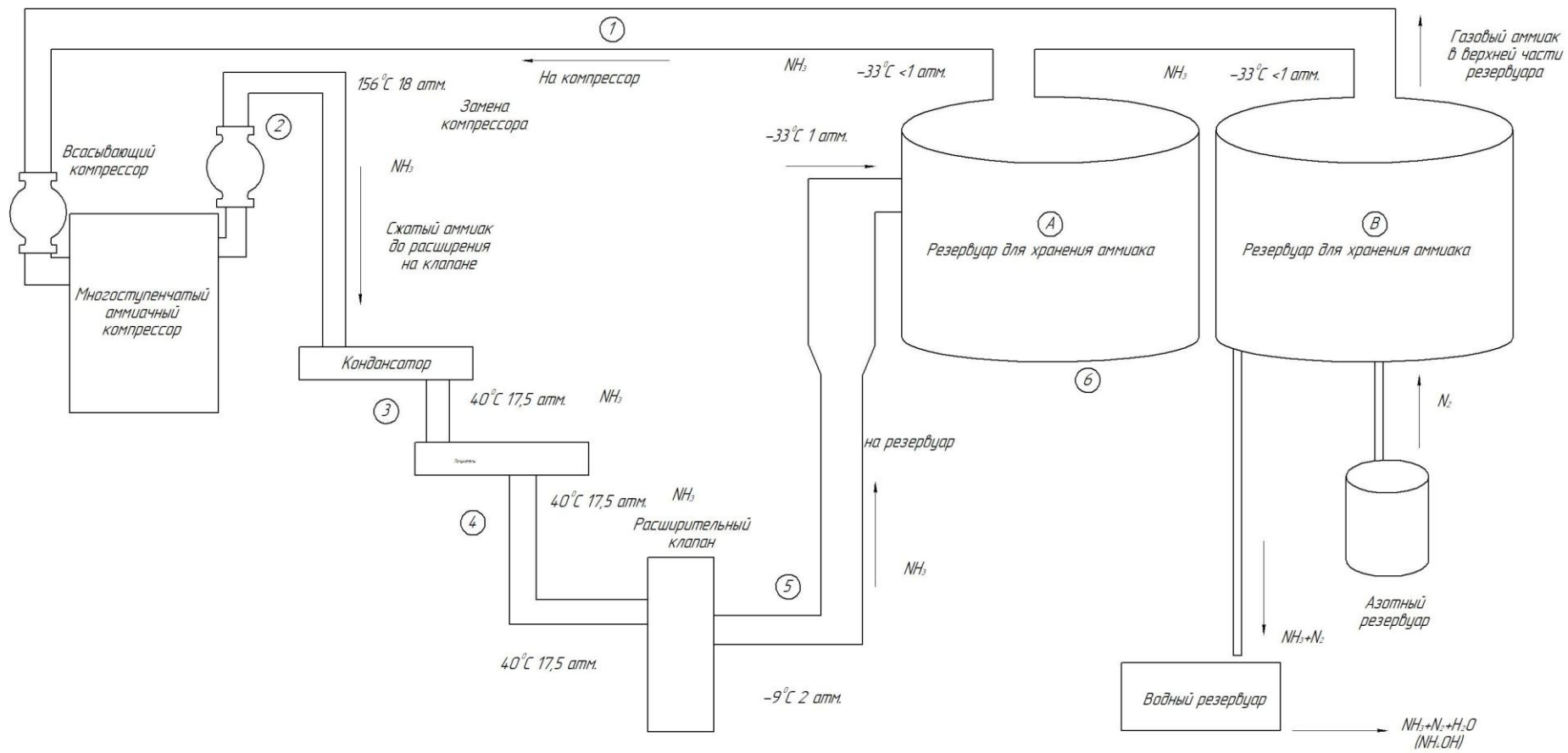


Рисунок 17 – Схематическое изображение продувки, полученной с использованием азота во время хранения аммиака

Изменения давления со временем во время продувки газообразного аммиака с использованием газообразного азота показаны на рисунке 17. Зеленая линия обозначает изменение давления в зависимости от концентрации газа аммиака в течение 8 часов; синяя линия показывает изменение давления газа азота за 8 ч. Буквы на зеленой линии обозначают изменения давления, производимого для продувки газообразного аммиака. Соответственно, если известна разность давлений между резервуарами А и В, можно рассчитать коэффициент продувки из точки выпуска в баке В. Если $(P_A - P_B) = DP = 0,014$ атм, согласно фиг.4, концентрация газообразного азота может составлять 13%, когда концентрация газообразного аммиака в баке составляет 87%. Затем скорость продувки азота составляет [12, 13].

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T; \quad (3)$$

$$P_A = 0,048 \text{ атм}; P_B = 0,034 \text{ атм},$$

$$(P_A - P_B) = P = 0,014 \text{ атм},$$

$$V = \text{Объем резервуара для хранения аммиака в процессе: } 23000 \text{ м}^3;$$

$$V = 23000 \text{ м}^3 \cdot (13 / 100) = 2990 \text{ м}^3 \cdot 1000 \text{ дм}^3 = 2990000 \text{ дм}^3;$$



Рисунок 18 – Эксплуатационные направления против времени и давления в баках

Ось Y показывает давление аммиака и азота; ось X выражает период времени 8 часов. Зеленая линия представляет собой изменение давления с

концентрацией газа аммиака в течение 8 часов, а синяя линия показывает изменение давления газообразного азота во время процесса очистки в течение 8 часов. Буквы на зеленой линии показывают изменения, сделанные для продувки газообразного аммиака.

Если P увеличивается ($P_A > P_B$), из-за разницы давлений концентрация аммиака в пустом резервуаре V может увеличиться.

Газ аммиака переносится из резервуара A в резервуар B линиями всасывания компрессора. Когда операция будет завершена, и когда концентрация аммиака будет равна 100%, разница давления между двумя резервуарами P будет самой низкой. Затем концентрация аммиака может быть изменена в зависимости от давления в соответствии с выражением ниже [14]:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T; P = (n / V) \cdot R \cdot T \quad (4)$$

Принимая во внимание зависимость между концентрацией переменных и давлением, можно получить следующее уравнение корреляции [14]:

$$dP = dC \cdot R \cdot T; P = C \cdot R \cdot T \quad (5)$$

Температура в пустом резервуаре считается эквивалентной температуре воздуха из-за условий атмосферного давления, поддерживаемых в резервуаре. Давление (P , атм) и концентрация (C , моль dm^{-3}) являются двумя переменными параметрами, которые необходимо учитывать в этом уравнении.

Если давления в баках A и B равны $P_A = 0,053$ атм и $P_B = 0,046$ атм соответственно для увеличения давления и концентрации аммиака в резервуаре B , клапан всасывания компрессора в этом резервуаре открывается. Однако компрессор не начинает работать. Испаренный аммиак из резервуара A поступает в резервуар B из-за разницы в концентрации, и, таким образом, давление газа аммиака в резервуаре B увеличивается. Когда давление газа аммиака в баке A увеличивается, компрессор начинает работать; следовательно, давление газа в баке A уменьшается. В течение

этого периода компрессор работает, а всасывание компрессора на стороне бака В закрывается, чтобы предотвратить поток аммиачного газа из бака В в линию всасывания компрессора. Когда давление в баке А уменьшается до 0,043 атм, компрессор останавливается, а всасывающий клапан всасывания на стороне бака В открывается, чтобы гарантировать, что газ аммиака поступает в резервуар В.

Следует отметить, что давление аммиачного газа в баке В увеличивается, когда аммиак поступает в резервуар после открытия всасывающего клапана компрессора на стороне бака В. Во время переноса аммиачного газа из резервуара А в резервуар В газообразный азот выгружается из точки выпуска аммиака на дне резервуара В. Этот газообразный азот является результатом продувки с использованием азота в резервуаре В. Таким образом, увеличение давления в резервуаре В предотвращается путем выпуска газообразного азота.

В настоящей работе должно быть рассчитано количество продутого газообразного азота. Этот продутый газообразный азот поглощается водой и минимизирует содержание аммиака в газообразной смеси азот / аммиак. Таким образом, осаждение аммиака в виде гидроксида аммония является экологически чистым подходом.

Другая цель операции состоит в том, чтобы обеспечить, чтобы все количество аммиака использовалось для давления на газообразный азот для продувки азота в резервуаре В. Все количество газообразного аммиака в доступной системе переносится из резервуара А в резервуар В. Испаренная часть жидкого аммиака в резервуаре А отправляется в многоступенчатый компрессор для сжижения, и этот сжиженный аммиак отправляется в резервуар А для хранения. Большая часть испаренного аммиака в резервуаре А поступает в резервуар В из-за градиента концентрации и разницы между В и С.

Таким образом, газообразный аммиак направляется в резервуар В, сжимается и поступает в атмосферу. Согласно значениям рабочих параметров, показанных на рисунке 18, из-за увеличения разницы давлений между резервуарами А и В, вызванных функционированием компрессора, испаренный газообразный аммиак поступает из резервуара А в резервуар В, который имеет более низкое давление газа аммиака. Из-за низкой концентрации аммиака газ поступает в резервуар В через всасывающий клапан компрессора, не попадая в компрессор (рисунок 17).

Аммиачный газ, поступающий в резервуар В, заставляет газообразный азот в этом резервуаре выбрасываться из точки выпуска. Аналогичным образом, когда разность давлений между резервуарами А и В уменьшается, клапан всасывания компрессора закрывается, и компрессору разрешается работать, позволяя газообразному азоту проходить между резервуарами и выгружать газообразный азот, создавая давление в баке. Таким образом, испаренный аммиак в баке А сжижается и хранится в резервуаре А. После того как давление аммиачного газа в баке увеличивается многоступенчатым компрессором, компрессор останавливается, и, таким образом, испаряется жидкий аммиак в баке А.

В зависимости от увеличения давления аммиачного газа в резервуаре А открывается всасывающий клапан компрессора бака В, и, следовательно, все количество аммиачного газа поступает в резервуар В из резервуара А. Когда клапан всасывания компрессора открыт, компрессор делает поскольку газ аммиака, который испаряется в резервуаре А и поступает в резервуар В, может уменьшить концентрацию газообразного аммиака в резервуаре В. Основным принципом является увеличение концентрации аммиака в резервуаре В.

Один из способов этого увеличения заключается в следующем: газ аммиака испаряется в резервуаре А, но в то же время давление аммиачного газа в баке А должно быть увеличено в течение короткого времени. Эта

операция будет продолжаться до тех пор, пока концентрация аммиака в баке В не станет 100%. Когда концентрация газообразного аммиака составляет 100%, жидкий аммиак может поступать в резервуар В. Кроме того, в временные рамки, показанные на рисунке 17, концентрация газообразного аммиака контролируется в резервуаре В, и, соответственно, рассчитывается количество продуваемого газообразного азота.

Данные на рисунке 17 показывают способность к газификации аммиака во времени и могут быть использованы для получения важной информации об эффективности компрессора. Когда концентрация аммиачного газа составляет 100%, открывается всасывающий клапан компрессора в резервуаре В и линией ввода жидкого аммиака компрессора в бак В.

Очистка охлажденных материалов, таких как аммиак, требует особых условий для хранения и требует использования некоторых специальных процессов. Остаточный аммиак в системе после продувки азотом высвобождается в окружающую среду. Наш процесс помогает смягчить экологические опасности, вызванные аммиаком. В этом исследовании смесь аммиака и азота, которая присутствует в пустой емкости, сделанной инертной с использованием азота, используется для обсуждения того, как пустой резервуар, продутый аммиаком, заполняется жидким аммиаком. Во время продувки азота из резервуара следует учитывать факторы окружающей среды, несмотря на низкую концентрацию аммиака (10%) в результате небольшого количества аммиака.

В вышеупомянутом процессе каждый резервуар для хранения имеет линию всасывания компрессора и клапан и точку входа жидкого аммиака для линии выпуска компрессора. В соответствии с условиями процесса эта система может иметь жидкие аммиачные насосы и линию возврата газа к резервуару (рисунок 19). Перед тем, как жидкий аммиак будет доставлен в пустой резервуар, в бак будет заполняться газообразный аммиак, поскольку аммиак представляет собой охлажденную жидкость, и, следовательно,

условия содержания жидкого аммиака должны поддерживаться в резервуаре (1 атм -33°C). С другой стороны, до того, как жидкий аммиак переносится в пустой резервуар для хранения, из-за условий процесса концентрация газообразного аммиака в баке не показывает линейного изменения. Изменение плотности газа аммиака с температурой более активно, чем изменение плотности газообразного азота с температурой. Наконец, с увеличением концентрации газообразного аммиака в резервуаре наблюдается резкое увеличение скорости разряда азота, что подтверждает корреляцию температурной плотности.

Во время продувки газообразного азота в резервуаре В следует учитывать факторы окружающей среды, и растворение в воде будет самым экономичным решением для минимизации загрязнения окружающей среды аммиаком. Поэтому экологически безопасным методом было бы осаждение аммиака в виде гидроксида аммония.

Перенос аммиака в резервуар В может осуществляться различными способами; однако наилучшим вариантом при использовании данной системы будет подача сжатого и сжиженного аммиака из многоступенчатого компрессора. В этом способе из-за газообразного аммиака в заполненном резервуаре концентрация аммиака в пустом резервуаре доводится до 100%, а затем часть испаренного аммиака в заполненном резервуаре сжимается компрессором; таким образом, сжиженный аммиак отправляется линией нагнетания компрессора в заполненный резервуар. Экстерьерный анализ, проведенный для этого метода, показывает, что потери при действии для настоящей системы являются результатом потерь в аммиачном резервуаре и аммиачных насосах.

Согласно рисунка 18 из-за разности давлений между резервуарами А и В газ аммиака в баке В заставляет газообразный азот в баке вытеснять. Поэтому газообразный азот может продувать атмосферу из точек сброса в резервуаре В. Еще одна деталь, приведенная на рис.4, представляет собой

отношение азота к каждому значению давления смеси азот-аммиак. Согласно рисунку 4, через 350 мин после продувки газообразного аммиака давление и концентрация газа в баке В измерялись как 600 мм Н₂О (* 0,058 атм) и 92,5% соответственно. Затем операцию продувки продолжали в течение еще 140 мин, за это время давление в этом резервуаре составляло 100 мм Н₂О (*0,0096 атм), а концентрация газообразного аммиака составляла 87%. Давление аммиака в баке В показало значительное изменение после второго измерения. В крупных промышленных системах хранения аммиака (23 000м³) несжатый газ аммиака из линии компрессора и утечки в других процессах могут вызывать небольшие различия в значениях давления, измеренных во время операции продувки. Мы ожидаем, что давление газа аммиака будет уменьшаться в этом процессе, поскольку мы пытаемся уменьшить концентрацию газообразного аммиака. Однако, если процесс не изолирован в промышленном масштабе, резкое увеличение давления газа аммиака может произойти при запуске компрессора или в случае какой-либо утечки. Как показано на рисунке 17, через 6-7 часов работы концентрация газа в аммиаке может увеличиться; это связано с тем, что когда всасывающий клапан компрессора сначала закрыт (С), а затем открыт (О), газообразный аммиак не может быть выгружен из системы, что приводит к увеличению давления газа аммиака. Однако, когда компрессор запущен, он прикладывает движущую силу для извлечения аммиачного газа из точек сброса, что вызывает снижение давления газа.

При таком соотношении и разности давлений между резервуарами А и В количество азота, продутого в резервуаре В (рисунок 17), может быть определено, и может быть проведен анализ эксергии. Связанные данные приведены в виде концентрации азота в газообразной смеси азот-аммиак в зависимости от давления и времени. Цель здесь - рассчитать скорость разряда продутого азота в смеси.

Данные измерений для емкости для хранения аммиака получены манометром аммиачного манометра с диапазоном измерения 0-6000 Н₂О (точность 1,0%, глицерин). Обсуждаемые здесь исследования, в частности для отраслей промышленности, в которых используются коррозионные и криогенные материалы, объясняют, как удалять коррозионные материалы, такие как аммиак, путем очистки линий во время периодических работ по техническому обслуживанию. Согласно этим исследованиям, продувка газа чаще всего используется в отраслях промышленности, которые применяют термодинамические циклы, такие как нефтеперерабатывающие заводы и объекты по производству энергии.

Целью этого исследования было очистить газообразный аммиак от системы хранения аммиака и оптимально продуть аммиак. Самый дешевый, обнаруженный метод - поглощение аммиака, продутого в воде. Поскольку образование гидроксида аммония в результате реакции между аммиаком и водой неизбежно, оно будет очищено оптимально. Это гарантирует, что нет никакого вреда для флюида, когда гидроксид аммония выгружается в пустые сельскохозяйственные месторождения.

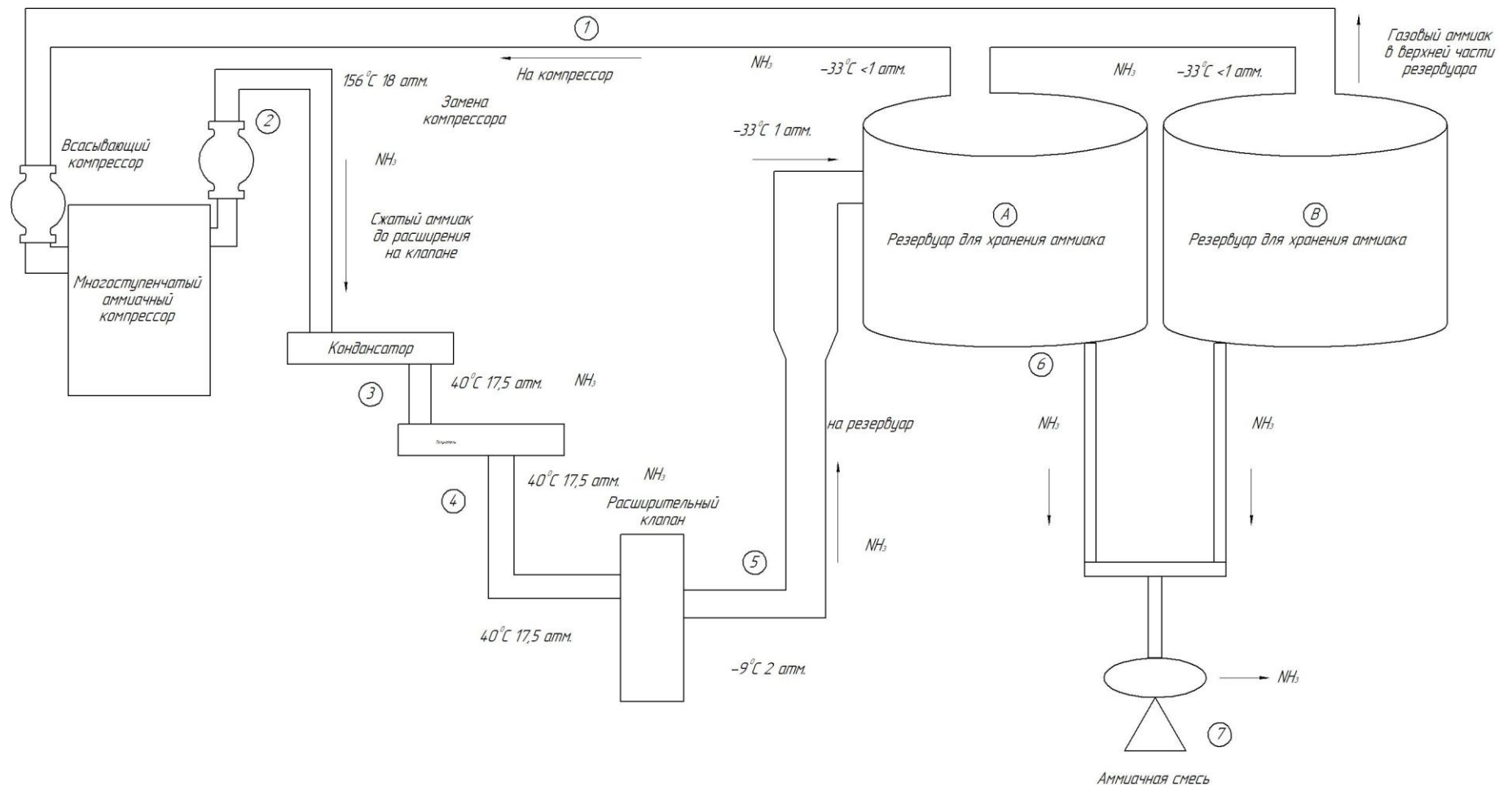


Рисунок 19 – Эксплуатация резервуара, заполненного жидким аммиаком (испаренный аммиак из резервуара А в бак Б поступает в компрессор и отправляется в резервуар для хранения при сжижении компрессором)

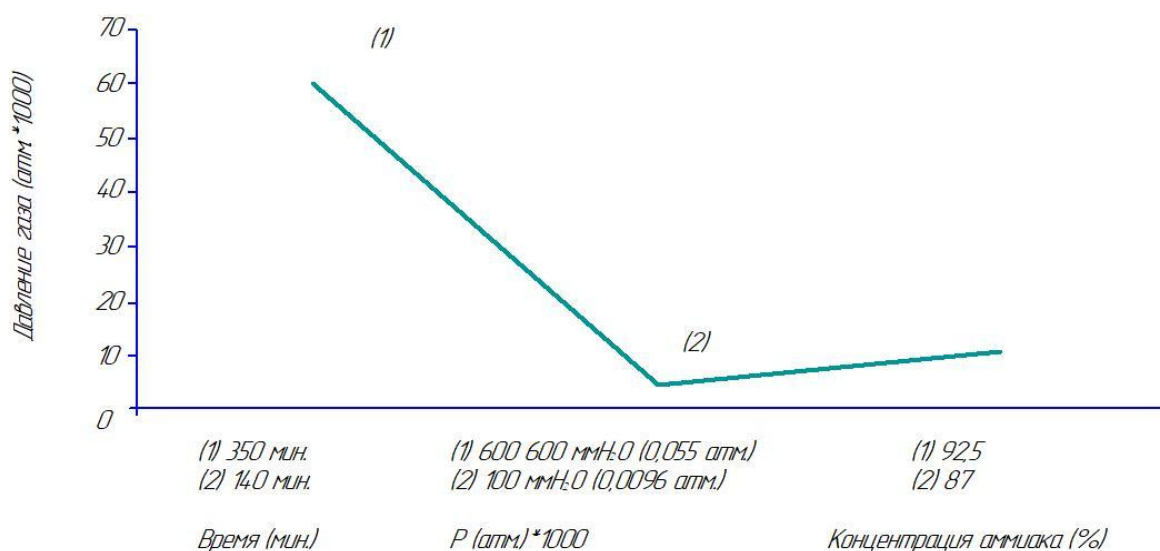


Рисунок 20 – Концентрация аммиака, очищенная из-за разницы давлений (для бака В)

В промышленных процессах возникают различные проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и коррозией оборудования при продувке агрессивными жидкостями, такими как аммиак. По этой причине важное значение имеет надлежащее обслуживание систем хранения. Возможным, недорогим решением этой проблемы является использование многоступенчатых компрессоров, поэтому система хранения обусловлена сжижением; то есть с использованием газообразного азота для продувки газообразного аммиака. Аммиак осаждается в виде гидроксида аммония в конце процесса и, следовательно, минимальная экологическая нагрузка.

В этом исследовании эксплуатационные параметры продувки аммиачных трубопроводов и резервуаров-хранилищ перед жидким аммиаком были перенесены в резервуар, были исследованы с использованием данных процесса в реальном времени. Кроме того, проводили экстергический анализ и рассчитывали скорость продувки сжатого газообразного азота. Предлагается, чтобы аммиак в газовой смеси аммиак-азот продували осаждением аммиака в виде гидроксида аммония, что является одним из наиболее важных результатов. Согласно данным, полученным для данной системы, количество продутого азота составляет $38\,995\text{ дм}^3\text{ ч}^{-1}$. Кроме того,

эксергический анализ данной системы проводили с использованием термодинамических параметров, а потери при эксергии определяли как 43,18%.

Настоящая система обрабатывает очень большой промышленный объем около 23 000 м³; следовательно, строгое управление каждым параметром системы непросто. Поэтому ожидаемые результаты не были получены даже после оптимизации условий процесса. Однако предлагаемая система является экономически эффективной и менее трудоемкой, и она выделяет относительно низкие количества загрязнителей окружающей среды; таким образом, нет никаких заметных опасений относительно практической реализации системы.

Выводы по 2 главе:

Для эффективного сброса и хранения охлажденных химических веществ, таких как аммиак, необходимо разработать специальные процессы, провести оценку некоторых связанных параметров. В исследовании были рассчитаны изменения давления в системах хранения аммиака, которые продуваются газообразным азотом, во время наполнения газообразным аммиаком, и представлена экологически чистая технология для выпуска аммиачного газа. Кроме того, был проведен эксергетический анализ системы, установлено, что общая потеря эксергии («максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система при обратимом переходе от данного состояния до равновесного с окружающей средой при отсутствии иных, кроме окружающей среды, источников теплоты» [11]) составила 43,18%, а скорость выделения азота была определена как 38,995 дм³ ч⁻¹ для предлагаемой системы.

Заключение

В работе проведен анализ проблемы снижения надежности резервуаров для хранения жидкого аммиака. Для этого изучены конструкционные особенности резервуаров для хранения аммиака, которые применяются на предприятиях.

На основе анализа риска происхождения аварии (полного разрушения) изотермических резервуаров с двойным силовым корпусом и двумя купольными крышами получена вероятность его происхождения, которая составляет $4,34 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹. Основным показателем снижения риска является надежность работы компрессорной установки и пропускной способности предохранительных клапанов. ИР в процессе длительной эксплуатации и выходе из строя компрессора, а так же с недостаточной пропускной способности предохранительных клапанов резервуара может быть разрушен. Соответственно необходимы конструктивные мероприятия, обеспечивающие снижение вероятности отрыва внутренней стенки от днища.

Для снижения риска возникновения аварии на ИР необходимо повысить прочность анкерных креплений внутреннего и наружного резервуаров, увеличив площади их сечений в 1,5 – 2 раза по сравнению с имеющимися конструкциями.

Уровень высокой надежности конструкции ИР обеспечивает конструкция с двумя силовыми корпусами и внутренним резервуаром типа «стакан» с подвесной крышей. «В этом случае разрушение внутреннего резервуара с полным проливом его содержимого во внешний резервуар делается практически невозможным.» [27].

В результате определены две основные причины возникновения аварии: превышение в хранилище избыточного давления, образование микротрещин в месте сварки цилиндра и днища резервуара.

Рассмотрены режимы работы цеха подготовки аммиака на ПАО «Тольяттиазот», технологические процессы приема жидкого аммиака в изотермические резервуары и хранение его при атмосферном давлении и в сферы.

Проанализированы возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации, а также проведен расчет выбросов оксида азота при аварийных ситуациях.

С целью модернизации блока хранения жидкого аммиака предложено применением интеллектуального программно-аппаратного комплекса мониторинга и диагностики хранилищ жидкого аммиака на ПАО «Тольяттиазот» на основе акустико-эмиссионных технологий.

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду предложена промышленная продувка аммиака с использованием азота перед выбросом в окружающую среду.

Список используемых источников

1 Азаров Н.И., Богатов Н.Д., Массарский Ю.З., Пучков С.М., Разуваев И.В. Опыт обеспечения промышленной безопасности изотермических хранилищ сжиженных газов при их эксплуатации по фактическому техническому состоянию // Безопасность труда в промышленности. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2011. – №5. – С. 7–10.

2 Афанасьев С.В., Шевченко Ю.Н., Кравцова М.В., Сергеев С.П., Ярославцев К.Г. Мониторинг изотермических хранилищ жидкого аммиака // Химическая техника. – 2016. – №12. [Электронный ресурс]. – URL: <http://chemtech.ru/monitoring-izotermicheskikh-hranilishh-zhidkogo-ammiaka/> (дата обращения 20.11.2018).

3 Афанасьев С.В. Пожарная безопасность технологических процессов: учеб. пособие. Самара: Сам. научн. центр РАН, 2015. 520 с.

4 Баско Е.М. О повышении ресурса эксплуатации шаровых резервуаров для хранения жидкого аммиака // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №6. [Электронный ресурс]. – URL: <https://academygps.ru/upload/iblock/0cb/0cbb7087684b3d77cbb86ca7f192bb66.pdf> (дата обращения 30.12.2018).

5 Баско Е.М. О ресурсе безопасной эксплуатации изотермических стальных резервуаров для хранения жидкого аммиака // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М.: ИМЕТ, 2006. – Т. 72. – № 3. – С. 51-55.

6 Баско Е.М., Смирнов В.А., Деветяриков К.Ю., Горев А.Н. Оценка ресурса и трещиностойкости шаровых резервуаров для хранения жидкого аммиака // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. М.: ИМЕТ, 2006. – Т. 72. – №7. – С. 36-41.

7 Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Промиздат 1991. – 432 с.

8 ГОСТ 12.2.085-82 Сосуды, находящиеся под давлением. Клапаны предохранительные. М.: Изд-во стандартов, 1982 – 85 с.

9 Елфимов В.А. Исследование путей дальнейшего повышения эксплуатационной надежности железнодорожного транспорта // ТехноСфера – 2011. [Электронный ресурс]. – URL: <http://tekhnosfera.com/issledovanie-putey-dalneyshego-povysheniya-ekspluatatsionnoy-nadezhnosti-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения 15.01.2019).

10 Жильцов А.Н. Аммиак как фактор повышенной опасности для жизнедеятельности человека // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Днб.: Техэксперт, 2017. – № 4 (126). – С. 77-80.

11 Закон Российской Федерации «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ от 21.07.1997 // Российская Газета. М.: Российская Газета, 1997. – 7. – С. 12-18.

12 Калайдов А.Н., Мартынова Е.В. Опасность систем изотермического хранения жидкого аммиака на предприятиях по производству авиационных двигателей // Материалы II международной научно-практической конференции, посвящённой Всемирному дню гражданской обороны – 2018. – С. 169-174. [Электронный ресурс]. – URL: <http://niin.ru/upload/medialibrary/820/820e59b5c1f6fb6630b6414843251e23.pdf#12> (дата обращения 20.11.2019).

13 Кесоян Г.А., Замышляев Б.В., Цыганков С.С., Доброскокина Н.Д., Годовников Л.Г. Хранилище жидкого аммиака / патент на изобретение RUS 2255191 02.12.2003

14 Максимовский Б.В. Безопасность и технический регламент таможенного союза // Компрессорная техника и пневматика, 2011. – № 5. – С. 46. [Электронный ресурс]. – URL:

http://vniizht.ru/files/bulletin/Bulleten_OUS_2013_4.pdf (дата обращения 20.11.2019).

15 МДС 11-16.2002. Методические рекомендации по составлению раздела «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций». М.: Изд-во стандартов, 2002 – 74 с.

16 Методика расчета концентраций аммиака в воздухе и распространения газового облака при авариях на складах жидкого аммиака. В сб. «Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах». М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. – №2.

17 Методические рекомендации по разработке планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, утвержденные Министерством РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М.: ТехПром, 2015. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gochs.info/download/MR-po-PD-2015-UGZ.pdf> (дата обращения 10.01.2019).

18 ПБ 03-108-96 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. М.: Изд-во стандартов, 1996 – 115 с.

19 ПБ 10-115-96 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М.: Изд-во стандартов, 1996 – 97 с.

20 ПБ-09-220-98 Правила устройства и безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок. М.: Изд-во стандартов, 1998 – 59 с.

21 Поповский Б.В., Майлер А.З. Строительство изотермических резервуаров. М.: Недра, 1988. – 215 с.

22 Прончаков А.Л., Панченко С.В., Платонов В.А., Тюрин Ю.Н., Трещева М.С., Дьяконов С.В. Обследование и продление срока службы шарового резервуара для хранения жидкого аммиака вместимостью 2000 м³ // Химическая техника. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. – №1. – С. 7.

23 РД-03-401-01. Инструкция по проведению комплексного технического освидетельствования изотермических резервуаров сжиженных газов [Электронный ресурс]. – URL: <http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/vgn-1-29-2017-249-258.pdf> (дата обращения 18.12.2018).

24 РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. М.: Изд-во стандартов, 2001 – 81 с.

25 Ханухов Х.М., Алипов А.В., Четвертухин Н.В., Коломыцев А.Р., Корсаков Е.С. Повышение промышленной безопасности хранилищ жидкого аммиака и увеличение сроков эксплуатации одностенных изотермических резервуаров за счет применения эффективных систем тепловой изоляции // Безопасность труда в промышленности. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. – №8. – С. 60-66. [Электронный ресурс]. – URL: <http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/vgn-1-29-2017-249-258.pdf> (дата обращения 12.02.2019)

26 Хрусталёв Е.Н., Хрусталёва Т.М., Хрусталёва И.Е. Способы сооружения основания и днища крупного резервуара и их устройства // патент на изобретение RUS 2393300 28.04.2008

27 Четвертухин Н.В. Ларионов М.В. Чернобров А.Р. Журавлев М.Д. Широнин Е.В. ООО «НПК Изотермик» Разработки инновационных конструкций изотермических резервуаров сжиженных газов на основе оценки риска // Теория и практика современной науки. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. – №3(9) [Электронный ресурс]. – URL: https://modern-j.ru/domains_data/files/sborniki_jurnal/Zhurnal%20_9.pdf#4 (дата обращения 12.02.2019)

28 Чахманин Артем Игоревич: дис. канд. техн. наук «Обеспечение безопасности резервуаров для хранения сжиженного природного газа с учетом негативных эксплуатационных факторов». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dslib.net/bezopasnost-chp/obespechenie-bezopasnosti->

rezervuarov-dlja-hranenija-szhizhennogo-prirodnogo-gaza-s.html (дата обращения 10.02.2019).

29 API RP 581. Risk-Based Inspection Technology, American Petroleum Institute, 2008.

30 BimSchV Störfallverordnung (BGBl. I, Nr. 54)

31 Cengel YA, Boles M (1989) Thermodynamics: an engineering approach, 5th edn. McGraw-Hill, New York/Council Directive 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances.

32 Die Kälte- und Klimatechnik 9/94 s. 696 ff Tagungsmaterialien der DKV-Tagung 2000: H. Sievers (S. 17); W. Ehrle, A. Erhard (S. 33); G. Holm (S. 35).

33 DIN 8975-11 Kälteanlagen und Wärmepumpen mit dem Kältemittel Ammoniak (zusätzliche) Anforderungen.

34 Dincer I, Kanoglu M (2011) Refrigeration systems and applications, 2nd edn. Wiley, New York.

35 EN 14620-1. Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and 165°C.

36 EN 378 1-4: Kälteanlagen und Wärmepumpen, DIN-Taschenbuch 156 „Kältetechnik“, Beuth-Verlag Berlin 2000.

37 Hogan JD (ed) (1996) Specialty gas analysis: a practical guidebook. Wiley.

38 Мониторинг изотермических хранилищ жидкого аммиака, 2016[Электронный ресурс]. URL: <http://chemtech.ru/monitoring-izotermicheskikh-hranilishh-zhidkogo-ammiaka/>(дата обращения 12.03.2018).

39 Information zur Anlagensicherheit bei NH₃-Kälteanlagen, Landesumweltamt Brandenburg (1995).

40 Ishizaka T, Gunji I, Kannan H, Sawada I, Kojima Y (2003) U.S. Patent Application No. 10/516,311.

41 Le Lostec B, Galanis N, Millette J (2012) Experimental study of an ammonia-water absorption chiller. *Int J Refrig* 35(8): 2275–2286.

42 Ma D, Zhang Z, Li Y (2015) Investigation of gas purging process in pipeline by numerical method. *Process Saf Environ Prot* 94:274–284.

43 Maalouf S, Boulawzksayer E, Clodic D (2012) Orc finned-tube evaporator design and system performance optimization. In: *International refrigeration and air conditioning conference*, Purdue, US.

44 Maekawa K (2010) U.S. Patent No. 7,691,208. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

45 Martin J PEACOCK .Improving the Noise Discrimination for an Ammonia Tank AE Test//30th European Conference on Acoustic Emission Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission University of Granada. 12–15 September, 2012.

46 Maßnahmen zur Erhöhung der Anlagensicherheit in Moskauer Betrieben (UBA 1998).

47 Mayer F, Hornung M, Bürgi L, Gerner P (2014) U.S. Patent No. 8,771,598. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

48 Oberski C, Cavataio G, Van Nieuwstadt MJ, Webb T, Ruona W (2010) U.S. Patent No. 7,770,384. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

49 Querol E, Borja G-R, Perez-Benedito JL (2013) *Exergy concept and determination, practical approach to exergy and thermoeconomic analyses of industrial processes*. Springer, London.

50 Shaikh F, Lawrence D, Cooper S, Castleberry L Jr (2014) U.S. Patent No. 8,621,848. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

51 Shi LL, Meng LC, Nandong X (2005) Researches on the factors affecting ammonia-purge efficiency of landfill leachate in purging tower. *Ind Saf Dust Control* 6:12.

52 Sun J, Mupparapu S, Tarabulski TJ, Park PW (2013) U.S. Patent No. 8,459,012. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

53 TAA-GS-12: Leitfaden Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak Kälteanlagen, Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit 17.04.1997.

54 TRAS 110: Technische Regel für Anlagensicherheit , Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak-Kälteanlagen, Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit 04/2000.

55 UN/ECE Convention on the transboundary effects of industrial accidents (1996).

56 VGB 20 Unfallverhütungsvorschrift: Kälteanlagen Wärmepumpen und Kühleinrichtungen Sonderprogramm des Landes Hessen zur Überwachung von Störfallanlagen, 1994.

57 Wall G (1998) Exergetics. Mölndal, Sweden. <http://exergy.se>.

58 Wright CJ (2015) U.S. Patent No. 9,150,139. U.S. Patent and Trademark Office, Washington, DC.

59 Wulf S., Vandr  R., R b ler R., D hler H., Eurich-Menden Costs Of Ammonia Emission Abatement In Manure Management // В сборнике: Международный агроэкологический форум Материалы в трех томах. 2013. С. 101-106.

Приложение А

Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации

Таблица А.1 – Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации

Возможные инциденты, аварийные ситуации	Предельно-допустимые значения параметров, превышение, (снижение) которых, может привести к аварии	Причины возникновения инцидентов, аварийных ситуаций	Действия персонала по предупреждению и устранению инцидентов и аварийных ситуаций
1	2	3	4
Возможные аварийные ситуации и способы их предупреждения и локализации			
<p>1. Разрушение изотермического хранилища поз. Т-02А,В.</p>	<p>1. Наличие аммиака 25000 т; 2. Температура жидкого аммиака (-33)...(-32,5)°С 3. Температура газообразного аммиака (- 32)...(-24)°С</p>	<p>1. Завышение температуры жидкого аммиака по линии холодного; 2. Завышение давления в хранилище выше расчетного 0,01 МПа, - отказ компрессорного оборудования цикла заполнения и продолжение приема аммиака; - прием аммиака повышенной температуры, когда компрессоры цикла заполнения не справляются с захолаживанием поступающего аммиака; - подача в нижнюю часть резервуара «теплого» аммиака, образование «линз» в массе хранимого аммиака и их «опрокидыванию»; - отказ предохранительных клапанов. 3. Завышение уровня жидкого аммиака</p>	<p>Аппаратчик ставит в известность мастера смены, тот в свою очередь предупреждает диспетчера завода, руководство цеха, после чего дает задание проверить работу средств КИПиА и усилить контроля за НТР. При дальнейшем росте давления прекращается прием аммиака по ЛХА по согласованию с диспетчером. Свои действия мастер смены согласовывает с руководством цеха и диспетчером завода. Аппаратчик закрывает задвижки MOV 6105, 6106. Вызывает ВГСВ цеха №35.</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
		<p>в резервуаре; 4. Образование вакуума в резервуаре, смятие корпуса.</p>	
<p>2. Разрушение сферического хранилища поз. Т-01А,В</p>	<p>1. Наличие аммиака 1000 т; 2. Давление до 0,4 МПа создает угрозу разгерметизации системы.</p>	<p>1. Завышение температуры жидкого аммиака по линии теплого аммиака; 2. Завышение уровня в сферических резервуарах; 3. Завышение давления в сферах (выше расчетного); 4. Коррозионный и механический износ оборудования, трубопроводов.</p>	<p>Аппаратчик ставит в известность мастера смены, мастер смены предупреждает диспетчера завода и руководство цеха, после чего дает задание по проверке работы средств КИПиА и усилению контроля за НТР. При дальнейшем росте давления прекращается прием аммиака. Свои действия мастер смены согласовывает с руководством цеха и диспетчером завода. Аппаратчик закрывает задвижки MOV 6101, 6102. Если рост давления продолжается, вызывается ВГСВ цеха №35.</p>
<p>3. Разрушения на сливо-наливной эстакаде аммиака.</p>	<p>1. Наличие аммиака 92 т (45 т, 30,7 т) в ж/д цистерне. 2. Избыточное давление создает угрозу разгерметизацию аппаратуры блока: - опрессовка цистерн перед заполнением н/б 1,4-1,6 МПа; - газообразного аммиака при наполнении жидким аммиаком цистерн н/б 1,4 МПа.</p>	<p>1. Завышение давления в коллекторе налива аммиака (выше расчетного); 2. Завышение уровня в ж/д цистерне; 3. Неисправность ж/д цистерны, отказы трубопроводов, шлангов, арматуры, разъемных соединений из-за дефектов сварки, механических повреждений, коррозии.</p>	<p>Аппаратчик ставит в известность мастера смены, мастер смены предупреждает диспетчера завода и руководство цеха, вызывает аварийные службы. Прекращают прием аммиака в ж/д цистерны, перекрывают на ЦПУ задвижки D-2. Перекрывают арматуру по месту на наливной точке и на аммиачной цистерне. Открывают ручной сброс газообразного аммиака на факел через дренажную емкость поз. В-06.</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
<p>4. Разрушение аммиачно-компрессорной установки.</p>	<p>1. Наличие аммиака. Хранение. 2. Температура газообразного аммиака на нагнетании I-ой ступени компрессора поз. К-02 не более 88°C, давление не более 0,41 МПа, на нагнетании II-ой ступени не более 93°C и не более 1,52 МПа; Охлаждение. 3. Температура газообразного аммиака на всасе I-ой ступени компрессоров поз. К-02, К-01А,В от минус 28 до минус 20°C, на нагнетании I-ой ступени компрессора поз. К-01А,В не более 136°C и давление не более 0,42 МПа, на всасе II-ой ступени компрессора поз. К-01А,В не более 4,5-7°C, на нагнетании II-ой ступени компрессора поз. К-01А,В не более 140°C и давление не более 1,58 МПа; 4. Температура подшипников компрессора поз. К-01А,В не более 100°C; температура подшипников</p>	<p>1. Завышение температуры газообразного аммиака на всас компрессоров поз. К-01А,В; 2. Завышение давления газообразного аммиака в коллекторе всаса I-ой ступени компрессоров поз. К01А,В; 3. Завышение температуры газообразного аммиака на нагнетании I-ой или II-ой ступени компрессоров поз. К-01А,В; 4. Завышение давления аммиака в сепараторе поз. В-02; 5. Завышение температуры газообразного аммиака на выходе из сепаратора поз. В-02; Завышение уровня жидкого аммиака в сепараторе поз. В-02; 7. Падение давления газообразного аммиака на всасе I-ой ступени компрессора поз. К-02; 8. Завышение температуры на нагнетании I-ой, II-ой ступеней компрессора поз. К-02; 9. Завышение давления в сепараторе поз. В-04; 10. Завышение температуры газообразного аммиака на выходе из сепаратора поз В-04; 11. Завышение давления газообразного аммиака на всасе II-ой ступени</p>	<p>Аппаратчик ставит в известность мастера смены, мастер смены предупреждает диспетчера завода и руководство цеха, вызывает аварийные службы Отсекают аварийный трубопровод запорной арматурой, производят сброс давления на факельную установку поз. W-01. При забросе жидкого аммиака в линии газообразного аммиака (факельная система, на всас компрессора) открывают ручной сброс в атмосферу с емкостей для исключения завывшения давления в них, освобождают факельные линии и всас компрессоров от жидкого аммиака. При необходимости производят остановку цеха согласно «Инструкции по аварийной остановке цеха №13СА».</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
	<p>электродвигателя компрессора поз. К-01А,В не более 60°C. 5. Давление на нагнетании II-ой ступени компрессора поз. К-02 1,52 МПа, температура – не более 93°C.</p>	<p>компрессора поз. К-02; 12. Завышение уровня жидкого аммиака в сепараторе поз. В-04; 13. Отказы компрессорного оборудования: - повышение температуры подшипников; - понижение давления масла в напорном маслопроводе; - понижение уровня масла в баке; - неисправность насосов смазочного масла; - вибрация или шум; - неисправности в системе уплотняющего масла. 14. Завышение давления в сборнике поз. В-01; 15. Отклонение уровня жидкого аммиака в сборнике поз. В-01; 16. Завышение давления в подогревателе поз. Т-6; 17. Завышение температуры жидкого аммиака в подогревателе поз. Т-6.</p>	
<p>5. Разрушения на наливной эстакаде метанола.</p>	<p>Наличие горючей жидкости (метанола) в железнодорожной цистерне 57 т</p>	<p>1. Завышение уровня в ж/д цистерне; 2. Завышение давления в коллекторе нагнетания загрузочных насосов; 3. Неисправность ж/д цистерны, отказы трубопроводов, шлангов, арматуры, разъемных соединений из-за дефектов сварки, механических повреждений,</p>	<p>Аппаратчик ставит в известность мастера смены, мастер смены предупреждает диспетчера завода и руководство цеха, вызывает аварийные службы. Старший оператор склада метанола отключает насос поз. Н-4/1-4. Оператор налива перекрывает арматуру на</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
		коррозии.	коллекторе налива метанола в ж/д цистерны. Проливы метанола из поддона самотеком уходят в дренажную емкость поз. Е-11, из которой насосом поз. Н-12 откачиваются в Е-6 склада метанола. Зачищают место розлива метанола.
6. Разрушение трубопроводов жидкого аммиака на сливо-наливной эстакаде.	Давление в трубопроводе выше расчетного 2,5 МПа.	Завышение давления в коллекторе налива аммиака в ж/д цистерны.	Оператор сливо-наливной эстакады закрывает подачу жидкого аммиака, открывает сброс газообразного аммиака на факел через дренажную емкость поз. В-06. Мастер смены вызывает службы ПЧ, ВГСВ цеха №35, организывает встречу.
7. Прекращение подачи электроэнергии.		<p>Прекращение подачи электроэнергии от всех имеющихся источников может вызвать недопустимое повышение давления в изотермических резервуарах и срабатывание предохранительных клапанов.</p> <p>При резком возобновлении подачи холодного аммиака, после длительного (более 4-х часов) отсутствия электроэнергии, может произойти конденсация паров аммиака в газовом пространстве резервуара, создание вакуума и смятие корпуса хранилища (поз. Т-02А,В).</p>	<p>При прекращении подачи электроэнергии останавливаются все компрессоры и насосы. Предусмотрено автоматическое включение дизельгенераторов поз. G-01 и G-02:</p> <ul style="list-style-type: none"> - поз. G-01 питает все оборудование, которое необходимо для нормальной работы в цикле хранения; - поз. G-02 обеспечивает нормальную работу компрессора цикла хранения. <p>Прием жидкого аммиака возможен в течение небольшого промежутка времени за счет отвода газообразного аммиака из резервуаров на факел.</p> <p>Отключить подогреватель и испаритель, если они находились в работе.</p> <p>Нажать на кнопки «стоп» находящегося в работе оборудования.</p>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
			Провести подготовку компрессоров и насосов к пуску согласно инструкций по рабочим местам.
8. Прекращение подачи воздуха КИП.		Прекращение подачи воздуха КИП от всех имеющихся пневмоклапанов, может вызвать отключение работы регулирующих приборов.	<p>При прекращении подачи воздуха КИП необходимо перейти на резервный компрессор воздуха КИП или на потребление воздуха КИП из сети завода. Если включение компрессора или подачу воздуха КИП из сети завода по каким-то причинам невозможно, то перейти на ведение процесса по манометрам и термометрам по месту, регулирование осуществлять запорной арматурой, параллельной пневмоклапанам, пневмоклапаны отключить запорной арматурой.</p> <p>Если подача воздуха прекратилась на длительное время, то необходимо остановить компрессоры и насосы, поскольку регулировка их работы невозможна.</p> <p>Предупредить цехи-потребители о прекращении выдачи аммиака.</p> <p>Провести подготовку компрессоров и насосов к пуску согласно инструкциям по рабочим местам.</p>
9. Отказ оборудования и оборудования и КИП.	- отказ конструкции, корпуса и фундамента хранилища (резервуара), дефект конструкции, неправильный выбор металла, отказ	Образование протяженных трещин и разрывов; Повреждение ледяными пробками в зимний период, механические повреждения от вибрации при	В случае разрыва трубопроводов, коммуникации с жидким и газообразным аммиаком необходимо отключить поврежденный участок трубопровода и оборудование, связанное по

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4
	<p>фундамента, разрушение бетонной опоры резервуара из-за вспучивания от мороза, расширения попавшего в щели между основанием и дном хранилища льда;</p> <ul style="list-style-type: none"> - отказ компрессорного оборудования; - отказы емкостного и теплообменного оборудования цикла хранения; - отказ факельной установки (погасание факела); - отказы технологических трубопроводов; - отказы приборов контроля и автоматики. 	<p>многочисленных срабатываниях ППК;</p> <p>При проведении гидродинамических процессов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - насосы: - разгерметизация уплотнений; - разрушение, заклинивание подшипников; - пропуски на корпусе насоса; - компрессоры: - разрушение сварных соединений из-за повышенной вибрации; - заклинивание всасывающего клапана; - неисправность в схеме управления и контроля; - неисправность вспомогательного оборудования (завышение уровня в сепараторах); - ж/д эстакада: - неисправности железнодорожного подвижного состава: - течь по сварному шву; - трещина котла; - неисправность предохранительного клапана; - вылив через неплотно закрытые люки; - пробой котла; - неисправности пути и других путевых объектов; - неисправности средств связи. 	<p>технологическому потоку с данным трубопроводом. При остановке аммиачных компрессоров сброс газообразного аммиака из изотермических резервуаров и сфер перевести на факел. Сбросить давление с отключенного участка и подготовить его к ремонту.</p> <p>При ликвидации небольших проливов жидкого аммиака к месту разлива необходимо подавать воду из пожарных стволов (в соотношении аммиак : вода не менее 1:10).</p> <p>Ликвидация больших проливов аммиака из прямков изотерм и сфер осуществляется с помощью установки эваконасосов. При образовании даже незначительных пропусков аммиака вследствие нарушения герметичности одного из резервуаров, последний должен быть отключен от источника аммиака и содержимое резервуара следует перекачать в другой резервуар, либо в кратчайшие сроки сработать в цехи-потребители, или отгрузить в железнодорожные цистерны.</p>

Приложение Б

Способ очистки газообразных выбросов от оксидов азота

Способ включает обработку выбросов низкотемпературной плазмой, образуемой электрическим разрядом, и последующую сорбционно-каталитическую обработку. Электрический разряд формируют в виде совместной наносекундной частотно-импульсной и постоянной короны. Величину энергии, вводимой в электрический разряд для снижения концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой до значения меньше или равного 1% от исходного значения концентрации оксида азота NO, поддерживают на уровне 55-100 эВ на одну молекулу оксида азота NO_x. Сорбционно-каталитическую обработку проводят на сорбенте, пропитанном органическим восстановителем. В качестве сорбента можно использовать гамма-окись алюминия, а в качестве органического восстановителя - углеводородный восстановитель, например дизельное топливо. Технический результат - снижение энергетических и материальных затрат, повышение эффективности очистки газовых выбросов от оксидов азота.

Известен способ очистки газообразных выбросов от оксидов азота, включающий прохождение потока выбросов через зону низкотемпературной плазмы, образуемой воздействием на поток выбросов электрическим барьерным разрядом, и дальнейшую очистку сорбентом-катализатором, при которой используют катализатор на основе металла, нанесенного на сорбент, - гамма-окись алюминия. В качестве металлов используют индий, галлий и олово при рабочих температурах катализаторов 350-550°C (см. патент США №7081231, кл. F01N 3/10, опубл. 25.07.2006).

Недостатки известного способа - высокие материальные затраты из-за необходимости использования дорогостоящих высокотемпературных катализаторов и сложных технологий для их производства, значительные энергозатраты.

Технический результат предложенного способа - снижение энергетических и материальных затрат на обработку выбросов плазмой и сорбционно-каталитическую очистку при повышении эффективности очистки газообразных выбросов от оксидов азота.

В способе очистки газообразных выбросов от оксидов азота, включающем обработку выбросов низкотемпературной плазмой, образуемой электрическим разрядом, и сорбционно-каталитическую обработку, согласно изобретению электрический разряд формируют в виде совместной наносекундной частотно-импульсной и постоянной короны, сорбционно-каталитическую обработку проводят на сорбенте, пропитанном органическим восстановителем, а величину энергии, вводимой в электрический разряд для снижения концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой до значения меньше или равного 1% от исходного значения концентрации оксида азота NO в газообразных выбросах, поддерживают на уровне 55-100эВ на одну молекулу оксида азота NO_x.

Импульсный коронный разряд характеризуется значительными плотностями и энергиями электронов, способных создать в разрядном промежутке высокие концентрации активных промежуточных частиц (атомарного кислорода, азота, ионов и радикалов). Использование при образовании низкотемпературной плазмы электрического разряда в виде совместной наносекундной частотно-импульсной и постоянной короны позволяет значительно увеличить плотность внедренной в газ энергии, интенсифицировать происходящие в выбросах плазмохимические реакции, а также перейти от наработки диоксида азота в барьерном разряде к очистке выбросов от оксидов азота. Обработка выбросов такой плазмой позволяет на первом этапе восстановить практически весь оксид азота NO до молекулярного азота и кислорода и нейтрализовать небольшую часть диоксида азота NO₂.

Сорбционно-каталитическая обработка, проводимая на сорбенте-катализаторе, полученном пропиткой сорбента органическим восстановителем, позволяет нейтрализовать большую часть оставшегося в выбросе диоксида азота NO_2 до безвредных веществ, значительно уменьшить расходы на катализаторы и исключить энергозатраты на поддержание оптимальных температур каталитических реакций по нейтрализации молекул диоксида азота NO_2 .

Снижение концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой до значения меньше или равного 1% от исходного значения концентрации оксида азота NO в газообразных выбросах является оптимальным как с точки зрения энергозатрат, так и эффективности очистки. При значении концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой больше 1%, несмотря на снижение энергозатрат на данной стадии очистки, эффективность очистки снижается, так как растет выходная концентрация оксида азота NO_x .

В качестве сорбента может быть использована гамма-окись алюминия. Данный сорбент является относительно дешевым, что позволяет дополнительно уменьшить расходы на катализаторы.

Для дополнительного снижения диоксида азота в газообразных выбросах, в качестве органического восстановителя может быть использован углеводородный восстановитель, например дизельное топливо.

На рисунке Б.1 схематично изображено устройство для реализации способа.

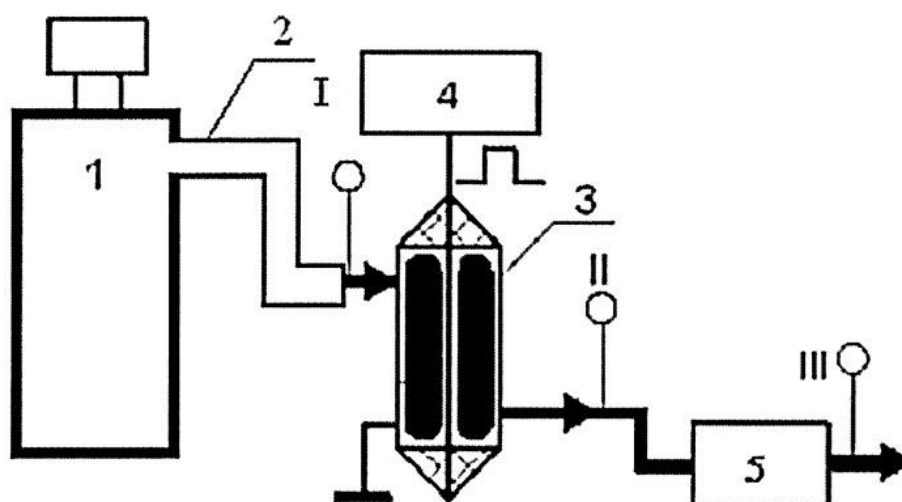


Рисунок Б.1 – Устройство для реализации предлагаемого способа

Устройство содержит источник 1 выбросов, труба 2 которого подсоединена к реакторной камере 3 с низкотемпературной неравновесной плазмой, формируемой электрическим разрядом при работе генератора 4 импульсного напряжения, и сорбционно-каталитический фильтр 5.

Электрический разряд формируют в виде совместной наносекундной частотно-импульсной и постоянной короны. Сорбционно-каталитическую обработку выбросов осуществляют в сорбционно-каталитическом фильтре 5, например, выполненном трубчатом и заполненном сорбентом $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и пропитанном органическим восстановителем, например, углеродным восстановителем - дизельным топливом.

Термин «низкотемпературная неравновесная плазма» является общеизвестным и широко используется в данной области техники.

Способ реализуется следующим образом.

При включении дизельного двигателя выбросы с оксидами азота NO_x по выхлопной трубе 2 поступают в реакторную камеру 3. Одновременно включают в работу генератор 4 импульсного напряжения. При работе генератора 4 в реакторной камере 3 формируется электрический разряд в виде совместной наносекундной частотно-импульсной и постоянной короны, позволяющий образовать плазменную среду из поступающих в реакторную камеру 4 выбросов. В результате оксиды азота разлагаются на азот и

кислород, т.е. в реакторной камере 3 происходит очистка выбросов от оксидов азота и частично от диоксидов азота.

Для очистки выбросов от остатков диоксида азота NO_2 выбросы пропускают через сорбционно-каталитический фильтр 5 при температуре 310-320 К, т.е. сорбционно-каталитическую операцию проводят без нагрева, при нормальных атмосферных условиях.

Величину энергии, вводимой в электрический разряд, постоянно поддерживают на определенном уровне - оптимальном для соотношения: качество очистки и величина энергозатрат. При выходе за оптимальный уровень появляются либо экономически неоправданные затраты энергии, либо низкое качество очистки. Оптимальный уровень - это снижение концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой до значения меньше или равного 1% от исходного значения концентрации оксида азота NO в газообразных выбросах. Так, если исходное значение концентрации оксида азота в выбросах находится в пределах 100-300 ppm, то перед сорбционно-каталитической очисткой концентрацию оксида азота снижают до величины, меньшей 3 ppm или равной 1 ppm, что соответствует стандартной погрешности стационарных автоматических газоанализаторов. При снижении концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой до значения меньше или равного 1% от исходного значения концентрации оксида азота NO в газообразных выбросах, величина энергии, вводимая в электрический разряд, находится на уровне 55-100 эВ на одну молекулу оксида азота NO_x . Поддержание величины энергии, вводимой в электрический разряд, на заданном уровне осуществляют подобранными частотой следования и/или амплитудой импульсов напряжения и, соответственно, импульсного тока.

Оптимальность указанного уровня снижения концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической обработкой подтверждается графиком фиг.2.

Начальная концентрация в выхлопе ДЦ GP5-DE оксидов азота NO₂ - 300-350 ppm, NO - 70-80 ppm, расход потока 40 м³/ч, частота следования импульсов 427 Гц. Увеличение введенной в электрический разряд энергии производилось увеличением амплитуды импульсов напряжения.

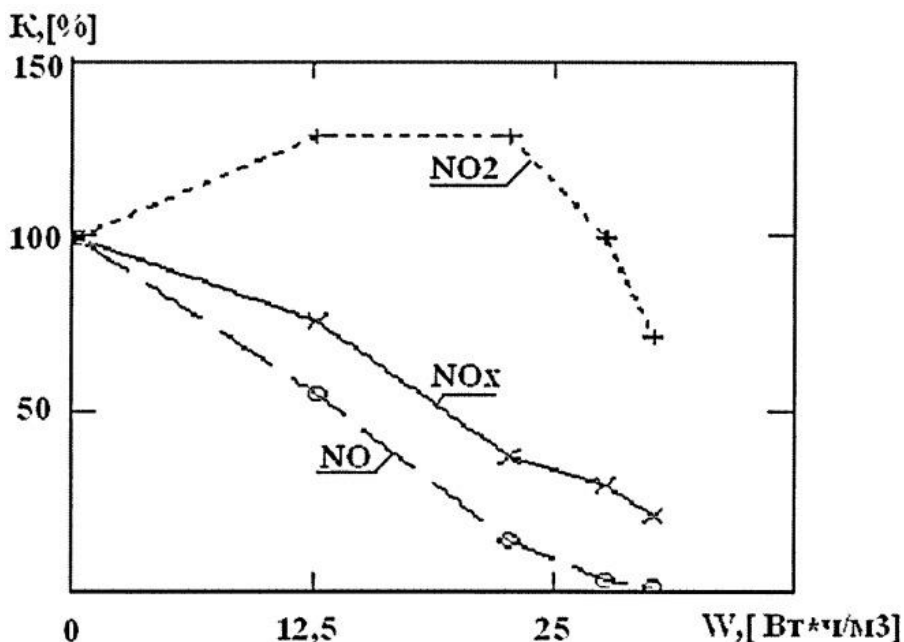


Рисунок Б.2 – Зависимость концентрации (K, %) NO, NO₂, NO_x от величины средней энергии, введенной в электрический разряд

Как это следует из диаграммы (рис.Б.2), при увеличении амплитуды импульсов напряжения на начальном участке наблюдается резкое снижение NO и возрастание NO₂. При величине средней энергии, введенной в электрический разряд, более 12,5 Вт·ч/м³ продолжается снижение концентрации NO при одновременной стабилизации концентрации NO₂, которая начинает уменьшаться при дальнейшем увеличении средней энергии свыше 25 Вт·ч/м³ при одновременном менее плавном снижении NO до значения, равного или менее 1% от начальной концентрации. При величине средней энергии около 30 Вт·ч/м³ и выше приведенных значениях начальной концентрации оксидов азота величина энергии, вводимая в электрический разряд на одну молекулу оксида азота NO_x, находилась на уровне 58-68 эВ. Таким образом, нецелесообразно повышать величину энергии, вводимой в электрический разряд, больше 100 эВ, так как, несмотря на снижение концентрации оксида азота NO перед сорбционно-каталитической

обработкой до значения меньше или равного 1% от начальной происходит рост энергетических затрат вследствие образования озона.

Измерение концентрации оксида азота в выбросах проводится в непрерывном режиме работы прибором Testo t 335 с разрешением 1 ppm с записью на персональный компьютер. В случае превышения заданной концентрации оксида азота в выбросах перед сорбционно-каталитической обработкой увеличивают амплитуду и/или частоту импульсов напряжения для увеличения величины энергии, введенной в электрический разряд.

Графически подтверждение эффективности предложенного способа для дизельного двигателя GP5-DE представлено на фиг.3.

Несмотря на то, что реализация способа рассмотрена на примере очистки выхлопных газов от оксидов азота дизельного двигателя, для очистки от оксидов азота выхлопных газов ГТУ, промышленных выбросов и отходов производства реализация способа аналогична.

Приложение В

Очистка отходящих газов при хранении аммиака

Изобретение относится к области очистки отходящих газов, а именно касается способа их очистки от оксидов азота, и может быть использовано для очистки любых газовых выбросов, в том числе промышленных.

Известны способы очистки отходящих газов от оксидов азота с использованием продуктов термического разложения карбамида.

Так, известен способ очистки отходящих газов от оксидов азота, основанный на обработке этих газов при температуре 850 - 1150^oC восстановителями: карбамидом, циануровой кислотой, аммиаком [US, С, 4325924]. При этом эффективность очистки газов от оксидов азота достигает 90%.

Известен также способ очистки отходящих газов от оксидов азота, основанный на обработке их при температуре 900 - 1100^oC аммиаком, подаваемым в зону очистки отходящих газов в виде водного раствора такого производного карбаминовой кислоты, как карбамид [RU, С1, 2056146]. В этом способе степень очистки отходящих газов, представляющих собой, например, дымовые газы теплоэнергетических установок, достигает 85%.

В основу настоящего изобретения положена задача разработать способ очистки отходящих газов от оксидов азота, позволяющий достичь повышенной степени очистки.

В заявляемом способе очистки отходящих газов от оксидов азота, включающем обработку отходящих газов при повышенной температуре водой и производным карбаминовой кислоты, согласно изобретению, в качестве производного карбаминовой кислоты используют карбамат аммония, обработку проводят при температуре 130 - 170^oC, а воду используют в виде водяного пара, вводимого в зону очистки отдельно от карбамата аммония.

Соотношение водяной пар: карбамат аммония целесообразно поддерживать равным от 1 : 4 до 1 : 5 мас.ч. соответственно.

Заявляемый способ позволяет повысить степень очистки отходящих газов от оксидов азота до 98,2%. При этом при осуществлении предлагаемого способа обеспечивается также очистка отходящих газов от диоксида серы до 99,7%. Кроме того, технология заявляемого способа проста, не требует специального оборудования.

Известных технических решений, характеризующихся предложенной совокупностью существенных признаков и позволяющих повысить степень очистки отходящих газов от оксидов азота и диоксида серы в заявляемом диапазоне температур, в научно-технической и патентной литературе не обнаружено.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом, используя любое стандартное оборудование.

Отходящие газы, содержащие оксиды азота и диоксид серы, обрабатывают (при температуре 130-170оС) карбаматом аммония и водяным паром, вводимым в зону очистки отдельно от карбамата аммония.

Соотношение водяной пар : карбамат аммония целесообразно поддерживать равным от 1 : 4 до 1 : 5 мас.ч. соответственно.

Предварительное смешивание водяного пара с карбаматом аммония приведет к частичному разложению последнего и снижению степени очистки отходящих газов.

Если же соотношение водяного пара и карбамата аммония будет больше или меньше целесообразных, то степень очистки отходящих газов также снизится.

При этом отходящие газы могут содержать широкий спектр концентраций вышеназванных оксидов азота и серы, которые взаимодействуют со стехиометрическим количеством карбамата аммония.

Понижение температуры ниже 130°С приведет к снижению эффективности степени очистки. А при температуре свыше 170°С

значительные количества карбамата аммония разлагаются, не успевают взаимодействовать с оксидами азота и диоксидом серы.

При взаимодействии оксидов азота с карбаматом аммония образуются элементарный азот и вода, выбрасываемые в атмосферу. При взаимодействии диоксида серы с карбаматом аммония образуется сульфат аммония, который затем улавливается, например, в фильтрах.

Таблица В.1 – Данные очистки отходящих газов от оксидов азота и диоксида серы карбамидом аммония

Водяной пар / карбамид аммония, мас. ч.	Температура отходящих газов, °С	Оксиды азота			Диоксиды серы		
		Концентрация, мг/м ³		Степень очистки, %	Концентрация, мг/м ³		Степень очистки, %
		до очистки	после очистки		до очистки	после очистки	
1/4	130	253	5,31	97,9	1370	5,48	99,6
1/4,5	140	157	2,83	98,2	1340	4,02	99,7
1/5,4	150	350	9,18	97,3	1420	11,36	99,2
1/5	160	256	8,96	96,5	1470	8,82	99,4
1/3,7	170	263	12,62	95,2	1325	13,25	99,30