**От автора**

Материал, представленный в этой книге, предназначен для слушателей ознакомительного курса по подготовке персонала для работы на судах-газовозах СПГ.

Общие вопросы перевозки сжиженных газов, а также работа некоторых судовых систем, которые прекрасно изложены в книге КДП С.П. Баскакова «Перевозка сжиженных газов морем», - здесь не рассматриваются.

Все операции и описания оборудования, которые изложены в этой книге, рассмотрены на примере концепции грузовой системы Газ Транспорт № 96 модифицированной, так как она, на мой взгляд, является наиболее сложной в технологическом отношении по с равнению с такими концепциями, как Техник Газ Марк III, MOSS и CS-1. А также на основании того, что все технологические операции с этими системами, являются только частью операций в системе, выбранной для этой книги.

Надеюсь, что краткий исторический экскурс, а также анализ экономических показателей, танкеров-газовозов СПГ с различными типами главных двигателей, будет также интересен для слушателей курса.

SVL.

**Перевозка сжиженного природного газа морем**

**Часть 1**

Содержание.

Развитие морского транспорта для перевозки СПГ.

1.Коды и Правила.

2.Свойства СПГ

2.1 Физические свойства и состав СПГ.

2.2 Характеристики СПГ 14

2.2.1 Воспламеняемость смеси метана, кислорода и азота.

2.2.2 Использование диаграммы.

2.3 Дополнительные характеристики

2.3.1 Разлив воду

2.3.2 Облако пара

2.3.3 Реактивность

2.3.4 Криогенные температуры

2.3.5 Поведение СПГ в грузовом танке

2.4 Свойства азота и инертного газа.

2.4.1 Азот

2.4.2 Физические свойства азота

2.4.3 Характеристики азота

2.4.4 Химические свойства

2.4.5 Опасности

2.4.6 Инертный газ

2.4.7 Характеристики инертного газа

2.5 Опасность низких температур для металла, меры безопасности.

2.6 Опасности для персонала.

2.6.1 Метан

2.6.2 Азот

3. Концепция конструкции грузовой системы.

3.0.1 Общие положения.

3.1 Принципы системы содержания груза.

3.1.1 Конструкция изоляции и барьеров.

3.2 Мембранная система

3.2.1 Оборудование грузового танка

3.3 Проблемы и неисправности.

3.4 Опасные районы и газоопасные зоны.

4. Грузовая система.

4.1 Система трубопроводов

4.1.1 Жидкостная линия

4.1.2 Паровая линия.

4.1.3 Система распыла.

4.1.4 Газовая линия.

4.1.5 Топливная газовая линия.

4.1.6 Линия вентиляции.

4.1.7 Линия инертизации и аэрации.

4.2 Грузовые насосы.

4.2.1 Главные грузовые насосы.

4.2.2 Насосы зачистки и распыла.

4.2.3 Аварийный грузовой насос.

4.3 Грузовые компрессоры.

4.3.1 Компрессоры высокой производительности.

4.3.2 Система газового затвора.

4.3.3 Система смазки

4.3.4 Система контроля гидравлического удара.

4.3.5 Входные управляемые лопасти.

4.3.6 Компрессоры низкой производительности

4.3.7 Система газового затвора

4.3.8 Система смазки

4.3.9 Система контроля гидравлического удара

4.3.10 Входные управляемые лопасти

4.3.11 Система масляного переборочного затвора.

4.4 Подогреватель выкипа.

4.5 Испаритель СПГ

4.6 Форсированный испаритель.

4.6.1 Демистер (Отделительтумана).

4.7 Вакуумные насосы.

4.8 Система передачи груза

4.8.1 Система Фоксборо

4.8.2 Замеры груза

4.8.3 Измерение уровня

4.8.4 Измерение температуры

4.8.5 Система сигнала очень высокого уровня.

4.8.6 Поплавковая система замера груза.

4.8.7 Индикатор крена – дифферента.

4.9 Система производства азота

4.10 Система производства инертного газа и сухого воздуха.

4.11 Система обнаружения газа

4.11.1 Инфракрасная система газового анализа.

4.11.2 Система газового анализа каталитического сжигания.

4.12 Система аварийной остановка и защиты грузовых танков.

4.12.1 Соединение САО судно – берег.

4.12.2 Система контроля нагрузки швартовных соединений.

4.13 Система предохранительных клапанов.

4.13.1 Система предохранительных клапанов на грузовых танках.

4.13.2 Система ПК в пространстве первичной и вторичной изоляции.

4.13.3 ПК на трубопроводах.

5.Вспомогательные системы.

5.1 Система контроля температуры.

5.2 Система подачи и контроля азота в первичную и вторичную систему изоляции

5.3 Система подогрева коффердамов.

5.3.1 Подогреватель гликоля и система подогрева коффердама.

5.3.2 Система подогрева коффердама

5.3.3 Вентиляция трюмов.

6. Грузовые операции.

6.1 Заполнение азотом первичного и вторичного пространств изоляции.

6.1.1 Инертизация пространств первичной и вторичной изоляции.

6.1.2 Проверка во время эксплуатации.

6.1.3 Метод проверки надежности барьера.

6.1.4 Процедура теста.

6.1.5 Общий тест во время эксплуатации

6.1.6 Проверка второй мембраны

6.1.7 Процедура проверки первой мембраны.

6.2 Операции при вводе в эксплуатацию

6.2.1 Первоначальная инертизация пространств изоляции.

6.2.2 Осушение танков

6.2.3 Процедура инертизации танков.

6.2.4 Заполнение грузовых танков природным газом.

6.2.5 Охлаждение грузовых танков.

6.3 Балластный переход.

6.3.1 Сохранение охлажденных танков во время балластного перехода

6.3.2 Плескание груза

6.3.3 Смена балласта.

6.4 Погрузка.

6.4.1 Подготовка к погрузке.

6.4.2 Охлаждение грузовых линий.

6.4.3 Алгоритмы операций охлаждения и погрузки.

6.4.4 Последовательность операций при погрузке.

6.5 Переход в грузу со сжиганием и сжижение пара.

6.5.1 Переход с нормальным сжиганием газа

6.5.2 Переход с форсированным сжиганием газа.

6.5.3 Переход со сжижением пара (УПСГ для метана).

6.6 Выгрузка с возвратом газа с берега.

6.6.1 Охлаждение жидкостной линии и стендера перед выгрузкой.

6.6.2 Выгрузка.

6.6.3 Алгоритм операции выгрузки.

6.7. Подготовка к докованию

6.7.1 Подогрев танков

6.7.2 Инертизация

6.7.3 Продувка воздухом.

7. Аварийные процедуры.

7.1 Утечка пара

7.1.1 Увеличение давления в первом меж барьерном пространстве.

7.1.2 Изменение температуры.

7.2 Утеска жидкости

7.3 Утечка воды в барьер

7.4 Пожар и аварийный отход от причала.

7.5 Установка аварийного грузового насоса.

7.6 Операции с одним танком.

7.7 Аварийный выброс груза в море.

8.0 Список литературы

Часть 2.

1.0 Таблицы, диаграммы и рисунки к главам 1 – 7 61 - 101

**Список литературы:**

1. С.П. Баскаков «Перевозка сжиженных газов морем», 2001
2. IGC Code, IMO,1993
3. Mc Guire & White «Liquefied Gas Handling Principles On Ships and In Terminals», 2000
4. «Tanker Safety Guide Liquefied Gas», ICS, 1995
5. Ian Harper «Future development options for LNG marine transportation», 2002
6. Exmar «Cargo operational manual», 2002
7. Manfred Kuver «Evaluation of propulsion options for LNG carriers», 2002
8. Poten & Porturr «LNG in world market», 2004

**Развитие морского транспорта для перевозки СПГ**

Транспортировка морем СПГ всегда была только небольшой частью всей индустрии природного газа, которая требует больших вложений в разработку газовых месторождений, заводов по сжижению, грузовых терминалов и хранилищ. Как только первые суда для перевозки СПГ были построены, и показали себя достаточно надежно, то изменения в их конструкции и возникающие отсюда риски были нежелательны, как для покупателей, так и для продавцов, которые были основными лицами консорциумов.

Судостроители и судовладельцы также не проявляли особой активности. Количество верфей, строящих суда для перевозки СПГ невелико, хотя недавно Испания и Китай заявили о своих намерениях начать строительство.

Однако ситуация на рынке СПГ изменилась и продолжает изменяться очень быстро. Появилось много желающих попробовать себя в этом бизнесе.

В начале 1950-х развитие техники сделало возможным морскую транспортировку СПГ на большие расстояния. Первое судно для перевозки СПГ был перестроенный сухогруз «Marlin Hitch» типа «либерти», постройки 1945 года, в котором свободно стояли алюминиевые танки с внешней теплоизоляцией из бальсы. Оно было переименовано в «Methane Pioneer» и в 1959 году совершило свой первый рейс с 5000 м3 груза из США в Великобританию. Несмотря на то, что вода, проникшая в трюм, намочила бальсу, судно работало довольно долго, пока не стало использоваться как плавучее хранилище.

В 1969 году, первое специально построенное судно для перевозки СПГ было построено в Великобритании для рейсов из Алжира на Англию, и называлось оно «Methane Princess». Оно имело алюминиевые танки, паровую турбину, в котлах которой можно было утилизировать выкипевший метан. Размеры судов с тех пор изменились незначительно. В первые 10 лет коммерческой деятельности, они увеличились с 27500 м3 до 125000 м3 и к сегодняшнему дню до 145000 м3. Дальнейший рост грузовместимости до 216000 м3 намечается в наши дни. Первоначально, сжигаемый газ обходился судовладельцам бесплатно, так как из-за отсутствия УПСГ его надо было выбрасывать в атмосферу, а покупатель был одной из сторон консорциума. Доставить как можно больше СПГ, не было основной целью, как сегодня. Современные контракты, включают стоимость сожженного газа, и это ложится на плечи покупателя. По этой причине, использование газа как топлива или его сжижение стали основными причинами новых идей в судостроении.

В некоторых контрактах, продавец выставляет цену СПГ как CIF (цена, страховка, фрахт), в других как FOB (свободно на борту), покупатель платит за фрахт и поэтому заинтересован в его снижении, а значит в снижении объема его сжигания. Это, а также увеличение трампового рынка, приводит к конкуренции судов, а следовательно, к их конструктивному улучшению.

**Конструкция грузовых танков**

Первые суда для СПГ имели грузовые танки типа Conch, но они не получили широкого распространения. Всего было построено 6 судов с этой системой танков. Система базировалась на призматических самоподдерживающих танках, сделанных из алюминия с изоляцией из бальсы, которая в дальнейшем была заменена полиуретановой пеной. При строительстве судов большого размера, до 165000 м3 грузовые танки хотели сделать из никелевой стали, но эти разработки так и не воплотились в жизнь, так как были предложены боле дешевые проекты.

Первые мембранные танки были построены на двух судах в 1969 году по технологии Газ Транспорт и Техник Газ. Одно из ИНВАР стали толщиной 0.5 мм, а другое из рифленой нержавеющей стали толщиной 1.2 мм. Они использовали перлит как изоляционный материал для ИНВАР стали, и ПВХ блоки для нержавеющей стали. Дальнейшее развитие изменило конструкцию TG. Изоляцию заменили на бальсу и фанерные панели. Отсутствовала и вторая мембрана из нержавеющей стали. Роль второго барьера играл триплекс из алюминиевой фольги, покрытой стеклом с обеих сторон для прочности.

В 1994 году GT и TG слились в одну компанию GTT и обе системы стали использоваться при постройке с одинаковым успехом. Это GT № 96 и TG Марк III. Идет работа и над новыми системами GT 2000 и CS-1 (комбинированная система).

Сферические танки системы MOSS были взяты с судов перевозящих нефтяные газы и очень быстро завоевали популярность.

Последние построенные суда с танками MOSS снабжены УПСГ, а также значительно улучшилось качество изоляции. При общем количестве судов СПГ около 170, половина из них имеет танки системы MOSS. В Японии построили два метановоза с танками своей собственной системой SPB.

Почему, несмотря на видимые недостатки,- большой вес и малый объем, танки типа MOSS пользуются популярностью?

Причины здесь две. Первая, - это то, что они самоподдерживающиеся с дешевой изоляцией, а вторая, - они могут быть построены отдельно от судна.

Мембранные танки GTT строятся только после спуска судна на воду, очень дорогие и время их постройки довольно большое, около 1.5 года.

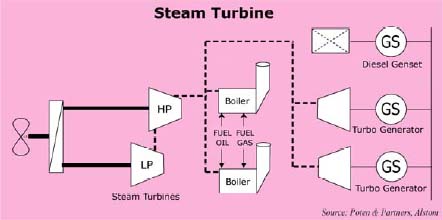
Недостаток сферического танка в том, что необходимо охлаждать большую массу алюминия, так как они на порядок тяжелее мембранных танков. MOSS предложил для избежания этого внутреннюю изоляцию из полиуретановой пены, но это так и осталось на бумаге. До конца 1990-х, конструкция MOSS была доминирующей в строительстве грузовых танков, но в последние годы, в связи с изменением цен, почти две трети танков заказанных судов, - это GTT конструкции, которые разделяются примерно поровну между GT и TG.

Основные задачи судостроения на сегодняшний день, - это увеличение грузовместимости при неизменных размерах корпуса, уменьшение стоимости изоляции, уменьшение времени постройки судов.

**Главные двигатели судов СПГ**

В основном суда, перевозящие СПГ, оборудованы паровыми турбинами. Однако анализ показывает, что есть весомые экономические и экологические причины в пользу отказа от паровой турбины. В течение последних 40 лет, самый легкий путь для обработки выкипевшего газа, было его сжигание в котлах паровой установки. Последние разработки показали, что его можно использовать как топливо непосредственно в дизелях, или сжижать и возвращать в танки, тем не менее, паровая турбина остается основным выбором.

**Рисунок В1**



Система обычно состоит из двух котлов, подающих пар на турбины высокого и низкого давления, которые вращают вал через редуктор.

Электричество производится двумя паровыми генераторами и одним дизельным генератором.

Ее достоинства, - это несложное обслуживание, практическое отсутствие расходов на смазку, и способность сжигать мазут и газ в любой пропорции.

Система подачи выкипа очень проста, она позволяет избавляться от избытков газа его сжиганием, а затем сбросом излишка пара на конденсатор. Основной недостаток, - это низкая эффективность, высокая стоимость топлива и высокая эмиссия СО2. Размеры МО очень большие. Последнее время ощущается недостаток квалифицированных кадров.

Сегодня большинство судов СПГ работают по фиксированным контрактам. И только в 2001 году трамповый рынок СПГ составил 5% и ожидается его дальнейшее увеличение.

Увеличение трампового рынка означает, что будущие конструкции судов для СПГ должны быть гибкими. Во Франции и Корее уже построены суда нового поколения. Их эксплуатация должна подтвердить надежность изменения концепции главного двигателя для судов перевозящих СПГ.

Существуют несколько вариантов такого изменения:

1. Низкооборотный дизель с УПСГ
2. Двух топливный дизель электрический движитель
3. Газовая турбина
4. Комбинированные системы движения.

Мы рассмотрим два первых варианта, как наиболее перспективные модели ГД.

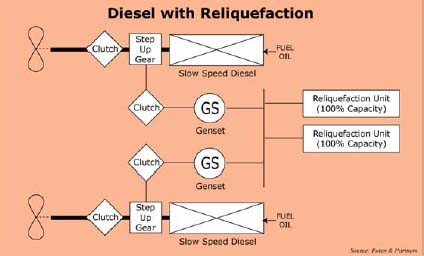
Большинство судов сегодня двигаются при помощи одного дизеля, - испытанная и одобренная система. Основное достоинство, - это высокая эффективность, на 60% больше, чем у турбины. Небольшое помещение МО и сравнительно низкая начальная стоимость.

Это также низкая стоимость излишков, по сравнению с паровой турбиной.

В случае неисправности дизеля, установленный на его валу электромотор, работающий от дизель-генератора, сможет вращать винт, что позволит судну двигаться с безопасной скоростью. Это уже сделано на некоторых судах химовозах.

Другое достоинство, - это количество доставленного СПГ в порт выгрузки. Оно значительно увеличивается, так как прекращается его сжигание. Один из потенциальных недостатков, - увеличение NOx и SOx эмиссии, так как ГД работает на мазуте, однако количество СО2 снижается**.**

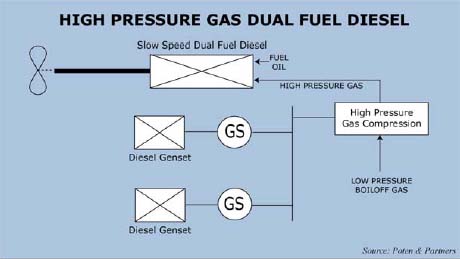
**Рисунок В2.**



Двух топливный дизель-электрический движитель, где дизеля могут использовать газ как топливо. Газ впрыскивается в воздушный приемник и к нему добавляется небольшое количество топлива в камере сгорания для воспламенения смеси газ/воздух. Здесь можно применить только MDO, полное переключение на которое, возможно в течение одного оборота дизеля. Система очень экологична. При использовании СПГ получается очень небольшое количество NOx и SOx и без твердых частиц продуктов сгорания.

Уменьшится и количество СО2, приблизительно на 100000 м3 в год по сравнению со стандартной паровой установкой.

**Рисунок В2.**

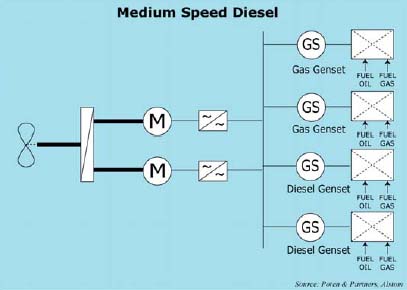


Четыре дизеля вращают генераторы, которые вырабатывают электроэнергию для главных электромоторов и других потребителей.

Это дает высокую гибкость при различных операций. Общая потребляемая мощность меньше, чем в других системах движителей из-за этой гибкости. Здесь отпадает необходимость системы ГД – Редуктор – Вал. Дизеля могут располагаться на более высокой палубе, что уменьшит размер МО.

Даже в случае неисправности 2-х дизелей, судно будет иметь возможность двигаться с 75% построечной скорости. На судне с грузовместимостью 145000м3, оно сможет взять на 5000м3 больше груза, чем с паровой турбиной. Недостаток этой системы, - более высокая начальная цена и потеря некоторой эффективности в процессе генерирования электроэнергии.

**Рисунок В3.**

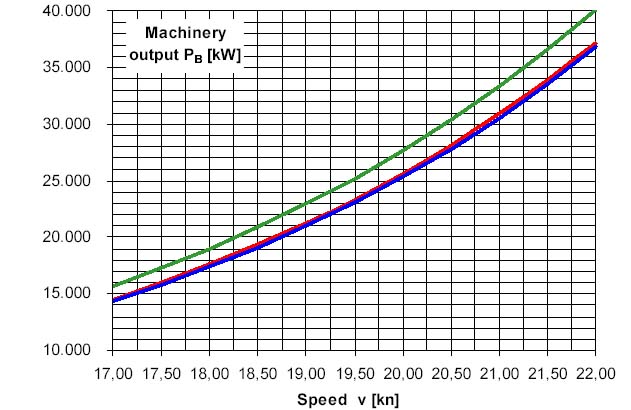


На примере судна с грузовместимостью 145000 м3 произведем сравнение характеристик при различных системах движителя.

**Рисунок В4** показывает разницу в грузовместимости, которая может быть достигнута при различных вариантах использования движителя. Скорость выкипа 0.15 % в сутки.

|  |  |
| --- | --- |
| Длина максимальная | 280.0 метров |
| Длина между перпендикулярами | 268.0 метров |
| Ширина максимальная | 43.2 метра |
| Высота борта | 26.1 метра |
| Груз (100% - паровая турбина) | 145500 м3 |
| Груз (100% - дизель) | 149000 м3 |
| Груз (100% - дизель- электрический) | 150500 м3 |
| GRT | 95500 тонн |
| Осадка (пар / дизель-электрический) | 11.95 метра |
| DWT | 72700 тонн |
| Осадка (дизель) | 12.1 метра |
| DWT | 74300 тонн |
| Скорость | 19.5 узла |

**График В5** и **таблицы В6 и В7** показывают количество необходимой энергии, начальной стоимости и эффективности различных систем.



Разница в потребляемой мощности не большая из-за различных потерь между винтом и машиной или турбиной. Так как дизель-электрический вариант производит электроэнергию, потеря эффективности больше, чем для механического вращения винта.

**Таблица В6. Сравнение эффективности движителей**

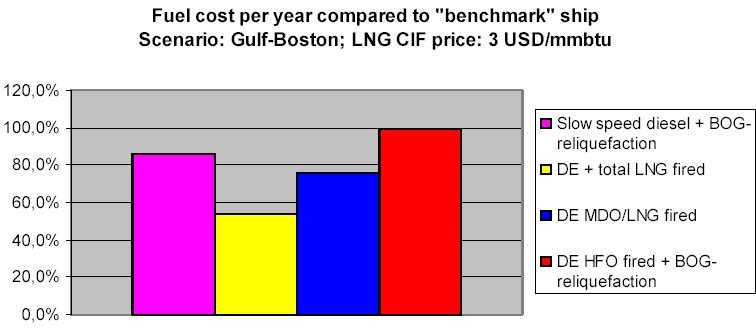
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Паровая турбина** |  | **Двух топливный ГД** |  | **2-х тактный ГД** |  |
| Топливо/газ | 1.00 | Топливо/Газ | 1.0 | Топливо | 1.0 |
| Котлы | 0.88 | Генераторы | 0.97 | 2-х тактный ГД | 0.49 |
| Турбина | 0.35 | Преобразователи | 0.98 |  |  |
| Редуктор | 0.98 | Электромоторы | 0.96 |  |  |
| Вал | 0.99 | Вал | 0.99 |  | 0.99 |
|  |  | Двух топливный ГД | 0.98/0.46 |  |  |
| **ВСЕГО** | **0.30** |  | **0.98/0.43** |  | **0.48** |

**Таблица В7.**

**Сравнение первоначальной стоимости в млн. дол. США. (2002 г.)**

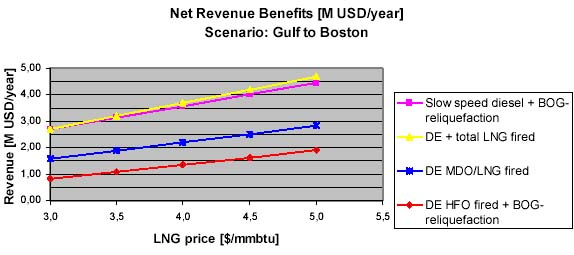
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Паровая турбина** |  | **Двух топливный ГД** |  | **2-х тактный ГД** |  |
| Турбина + Котлы | 13.5 | 4 двух топл. ГД | 11.50 | ГД | 7.20 |
| Редуктор | 3.0 | 2 электромотора | 5.50 | УПСГ | 6.00 |
| 2 турбо генератора | 1.6 | Редукторы 2-х топл | 2.20 | Котел для сжигания | 0.30 |
| 1 дизель генератор | 0.9 | Котел для сжигания | 0.30 | 3 дизель генератора | 2.70 |
| Винт + Вал | 0.65 | Термоокислитель | 0.50 | Винт + Вал | 0.65 |
| Рулевое устройство | 0.25 | Винт + Вал | 0.65 | Рулевое устройство | 0.25 |
|  |  | Рулевое устройство | 0.25 |  |  |
| **ВСЕГО** | **19.90** |  | **20.90** |  | **17.10** |

**Рисунок В8**, показывает стоимость расходуемого топлива в процентном соотношении со «стандартным» судом, расходы которого принимаются за 100%.

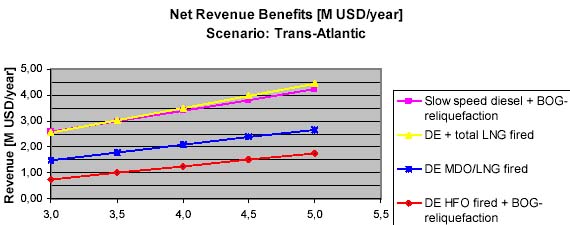


На рисунках В9, В10, и В11 показаны сравнения экономических показателей «стандартного» судна с судами на разных направления , на которых используются различные типы двигателей.

**Рисунок В9.**



**Рисунок В10.**



**Рисунок В11**.

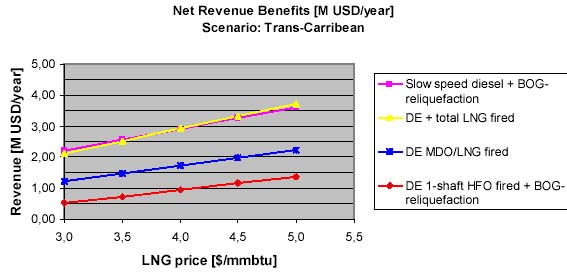
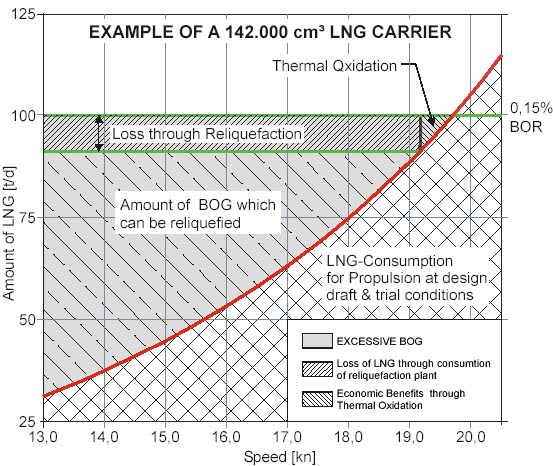


Рисунок В12, показывает пример возможностей УПСГ. Кривая показывает потребность в СПГ для дизель-электрического движителя при заданной скорости и скорости выкипа 0,15% в день, что составляет около 100 тонн в сутки для судна вместимостью 142000 м3.

Заштрихованная часть к верху от кривой, обозначает чрезмерное выпаривание. Если, для примера, судно работает со скоростью 18 узлов, тогда 25 тонн лишнего выкипа будет теряться каждый день, если на судне отсутствует УПСГ. Чем ниже скорость эксплуатации судна, тем выгоднее иметь на борту УПСГ. Это делает судно более гибким к выбору топлива в будущем, в случае резкого повышения цен на него.

**Рисунок В12.**



Анализ показывает, что есть веские причины для отказа от паровой турбины.

Дизель электрическое судно с УПСГ, возможно является наиболее обещающим решением для текущего и будущего судостроения судов для СПГ, особенно в уменьшении эмиссии NOx, SOx, CO2, гибкость в выборе топлива и развития перевозок СПГ

**1. Коды и Правила**

Существуют три различных кода для газовозов:

Код для существующих судов перевозящих сжиженный газ наливом (построенных до 31 декабря 1976)

Код для постройки и оборудования судов перевозящих сжиженный газ наливом (суда построенных после 31 декабря 1976, но до 1 июля 1986)

Международный код постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженный газ наливом (суда построенные после 1 июля 1986)

Оригинальный IGC MSC.5(48) был изменен MSC.30(61), который действует с 1 октября 1994, и MSC.32(63) + MSC.59(67), оба действуют для судов построенных после 1 июля 1998.

Certificate of Fitness (COF) – сертификат годности к перевозке сжиженных газов наливом, - его наличие на борту обязательно для газовозов, а проформа приведена в приложении к IGC Коду.

Сжиженный газ, - это жидкая форма вещества, которое при обычной температуре (окружающей среды) и атмосферном давлении находится в газообразном состоянии.

**IMO IGC Гл.3**

**Жидкость с давлением паров, превышающем 2,8 бар абс. (40 psi), при температуре 37.8 (100 F), называется сжиженным газом** (для транспортировки).

Точка кипения может быть настолько низка, что вещество трудно перевозить методом, отличным от перевозки сжиженных газов

Давление паров, опасность для человека и огнеопасность, - определяющие факторы

В IGC Гл.19, приведен список веществ, обозначенных как сжиженные газы при транспортировке морем.

Некоторые из них указываются как в IGC, так и в BCH и IBC кодах.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Сжиженный газ** | **Давление паров ( бар абсолютное) при**  **Т= 37.8 С** | **Точка кипения при атмосферном давлении (С)** |
| **Метан** | **Газ (-82.5/44.7)** | **- 161.5** |
| **Пропан** | **12.9** | **- 42.3** |
| **Бутан (Н)** | **3.6** | **- 0.5** |
| **Аммиак** | **14.7** | **- 33.4** |
| **Винилхлорид** | **5.7** | **- 13.8** |
| **Бутадиен** | **4.0** | **- 5.0** |
| **Этилен оксид** | **2.7** | **+ 10.7** |

USCG внес некоторые изменения в определение понятия сжиженный газ, изменив давление 2.8 бар на 1.76 бар. Это изменение не было одобрено ММО, хотя и не встретило особых возражений.

Некоторые правила вообще не внесены в МГК, так, например замещение воздуха в воздушном шлюзе (3.6.1), хотя оно и предполагается как 12 объемов в час.

Также предполагается, что межбарьерное пространство должно быть снабжено осушительной системой для откатки соответствующей жидкости в случае утечки или повреждения танка. Такое оборудование должно возвращать откатанный груз в танк.

Глава 4 МГК включает положение для оценки изоляции и противостояния стали корпуса, в целях расчета конструкции, подразумевая, что грузовой танк и вторичный барьер, если установлен, соответствуют расчетной температуре груза и расчетным температурам окружающего воздуха и воды???

В общем, для всего мира:

Воздух +5С (+41 Ф)

Вода 0С (+32 Ф)

Глава 4 также дает возможность администрации устанавливать более высокие или низкие температуры окружающей среды:

Для всего мира, исключая Аляску:

Воздух (5 узлов) - 18С (+/-0 Ф)

Вода (спокойная) 0С (+32Ф)

Для Аляски Воздух (5 узлов) - 29С (-20Ф)

Вода (спокойная) -2С (+28Ф)

Код требует, чтобы грузовая система судна перевозящего сжиженный газ, была способна выдерживать полное давление паров груза или иметь средства поддерживать давление в танках ниже безопасного установочного давления. Для судов метановозов эта система должна выполнять эту функцию не менее 21 дня. Есть несколько способов работы такой системы,- сжижение пара, сжигание в котле или каталитическом подогревателе, использование пара как топливо, комбинация этих методов. Использование испарившегося газа для метановозов ограничено. Использование нефтяных газов как топлива запрещено, так как они тяжелее воздуха.

**2. Свойства СПГ**

**2.1 Физические свойства и состав СПГ**

Природный газ, это смесь углеводородов, которая после сжижения образует чистую без цвета и запаха жидкость. Такой СПГ обычно транспортируется и хранится при температуре близкой к точке его кипения при атмосферном давлении, - приблизительно -160С.

В реальности состав СПГ различен и зависит от источника его происхождения и процесса сжижения, но основной компонент это конечно метан. Другими составляющими могут быть, - этан, пропан, бутан, пентан и возможно небольшой процент азота.

Типичный состав СПГ указан в таблице 2.1а, а физические свойства составляющих в таблице 2.1б. Для инженерных расчетов, конечно, берутся физические свойства метана, но для передачи, когда требуется точный подсчет тепловой ценности и плотности, - учитывается реальный композитный состав СПГ.

**Таблица 2.1а. Физические свойства СПГ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Метан  CH4 | Этан  C2H6 | Пропан  C3H8 | Бутан  C4H10 | Пентан  C5H12 | Азот  N2 |
| Мол.Вес |  | 16.042 | 30.068 | 44..094 | 58.120 | 72.150 | 28.016 |
| Тем.Кип.  1 атм.абс | С | -161.5 | -88.6 | -42.5 | -5 | 36.1 | -196 |
| Плотность  Тем.кип. | кг/м3 | 426.0 | 544.1 | 580.7 | 601.8 | 610.2 | 808.6 |
| Уд.Вес пара 15С и 1 атм.аб. | кг/м3 | 0.554 | 1.046 | 1.540 | 2.07 | 2.49 | 0.97 |
| Отношен.  Об.газа к  Об.жид. при ТК и 1 атм.абс. |  | 619 | 413 | 311 | 311 | 205 | 695 |
| Пределы восплам.в воздухе | % | 5.3 - 14 | 3 -12.5 | 2.1 – 9.5 | 2 -9.5 | 3 -12.4 | Не горит |
| Тем.само-восплам. | С | 595 | 510 | 510/583 | 510/583 |  |  |
| Макс.удел.  Энергия 15С н/из | кдж/кг | 55.559 | 51.916 | 50.367 | 49.530  49.404 | 49.069  48.944 |  |
| Теплота  Испар. При Тем.кипен. | кдж/кг | 510.4 | 489.9 | 426.2 | 385.2 | 357.6 | 199.3 |

**Таблица 2.1б. Составляющие СПГ.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Ras-Laffan | Das Islands | Standard |
| Метан | CH4 | 90.28% | 84.5% | 89.63% |
| Этан | C2H6 | 6.33% | 12.9% | 6.32 |
| Пропан | C3H8 | 2.49% | 1.5% | 2.16 |
| Бутан | C4H10 | 0.49% | 0.5% | 1.2 |
| Изо-бутан | C4H10 | 0.00% | 0.00% | 0.00 |
| Пентан | C5H12 | 0.02% | 0.00% | 0.00 |
| Изо-пентан | C5H12 | 0.00% | 0.00% | 0.00 |
| Азот | N2 | 0.41% | 0.6% | 0.69 |
| Сред.Мол.Вес |  | 17.88 | 18.56 | 18.12 |
| Тем.Кип.атм.дав. |  | -160.8С | -161.0С | -160.9С |
| Плотность кг/м3 |  | 461.8 | 456.8 | 459.4 |
| Макс.Удел.Энерг.  кдж/кг |  | 54.414 | 54.031 | 54.090 |

Во время морского перехода, тепло передается СПГ через изоляцию танка, вызывая испарение части груза, так называемое выкипание. Состав СПГ изменяется за счет выкипания, так как более легкие компоненты, имеющие низкую температуру кипения, испаряются первыми. Поэтому, выгружаемый СПГ имеет большую плотность, чем тот, который грузился, ниже процент содержания метана и азота, но выше процент содержания этана, пропана, бутана и пентана.

Предел воспламеняемости метана в воздухе (21% О2) приблизительно от 5.3 до 14% по объему. Для уменьшения этого предела, перед началом погрузки воздух удаляется из танков при помощи азота до содержания кислорода 2%. В теории, врыв не произойдет, если содержание кислорода в смеси ниже 13% по отношению к процентному содержанию метана. Для безопасности, на практике, инертизация продолжается пока содержание кислорода не будет ниже 2%. Причина этого будет объяснена позже.

Выкипевший пар СПГ легче, чем воздух при температуре -110С, или выше,- зависит от состава СПГ. В связи с этим, пар будет стремиться уйти вверх над мачтой и быстро рассеиваться. Когда холодный пар смешан с окружающим воздухом, смесь пар/воздух будет хорошо видна как белое облако из-за конденсации влаги в воздухе. Обычно принято считать, что предел воспламеняемости смеси пар/воздух не распространяется слишком далеко за пределы этого белого облака.

Температура самовоспламенения метана, то есть минимальная температура нагрева газа, при которой он самовоспламеняется без постороннего источника открытого огня, - 595С.

Критическая температура метана – 82.5С, а критическое давление 43 бар абс.

Температура кипения метана увеличивается при увеличении давления, и это изменение показано на диаграмме для чистого метана. Это давление конечно выше, чем при перевозке метана на судне. Присутствие тяжелых компонентов в СПГ увеличивает температуру кипения для заданного давления. Отношение между температурой кипения и давлением СПГ будет приблизительно следовать параллельно линии чистого метана.

Плотность паров метана значительно меняется в зависимости от температуры, и при температуре около -100С она равна плотности воздуха (при плотности воздуха 1.27 кг/м3 при 15С).

**2.2 Характеристики СПГ**

**2.2.1 Воспламеняемость смеси метана, кислорода и азота**

При любых операциях на судне, перевозящем СПГ, недопустимо смешивание метана и воздуха. Отношение между газом и воздухом в смеси и воспламеняемостью возможных комбинаций метана, воздуха и азота показано на диаграмме 2.2.2а.

Вертикальная ось A-B представляет смесь кислорода и азота без метана, в пределах от 0% кислорода (100% азота) в точке А, до 21% кислорода(79% азота) в точке В, которая представляет собой атмосферный воздух.

Горизонтальная ось А-С представляет собой смесь метана и азота без кислорода, в пределах от 0% метана(100% азота) в точке А и 100% метана в точке С (0% азота).

Каждая точка диаграммы в треугольнике АВС представляет собой смесь всех трех компонентов, - метана, азота и воздуха, каждые в своей пропорции к общему объему.

Эти пропорции могут быть сняты с диаграммы в любой точке. Для примера точка D:

***Метан: 6% по шкале А-С***

***Кислород: 12.2 % по шкале А-В***

***Азот: 81.8 как остаток***

Диаграмма состоит из трех главных секторов.

1. Зона воспламеняемости EDF, каждая точка внутри этой зоны представляет собой горючую смесь.

2. Зона HDFC. Любая смесь компонентов представленная точкой внутри этой зоны способна формировать горючую смесь с воздухом, но содержит слишком много метана, чтобы воспламениться без него.

3. Зона ABEDH. Любая смесь компонентов представленная точкой внутри этой зоны не способна формировать горючую смесь при смешивании с воздухом.

**2.2.2 Использование диаграммы**

Предположим, что точка Y на оси кислород-азот соединена с точкой Z на оси метан-азот прямой линией. Если смесь кислород-азот в точке Y смешать со смесью метан-азот в точке Z, смесь, полученная в результате, будет представлена точкой X, которая, двигаясь от Y к Z, будет добавлять количество смеси Z. В этом примере точка Х, представляющая изменение состава, проходит через зону воспламенения EDF, то есть когда содержание метана в смеси между 5.5% в точке М, и 9.0% в точке N.

Применяя это к процессу инертизации грузового танка перед охлаждением, предполагаем, что танк наполнен воздухом, точка В. Азот добавляется до тех пор, пока содержание кислорода не уменьшится до 13% , точка G. Добавление метана, изменит состав смеси вдоль линии GDC, которая не проходит через зону воспламенения, но почти касается ее в точке D. Если содержание кислорода еще уменьшить, перед добавлением метана, до любой точки между 0% и 13%, то изменение смеси добавлением метана никогда не пройдет через зону воспламенения. Поэтому теоретически необходимо добавлять азот в танк до уменьшения содержания кислорода в нем до 13%. Однако, на практике, содержание кислорода уменьшается до 2%, так как достичь полностью равномерной смеси в танке не возможно.

Когда танк наполненный метаном, начинают заполнять азотом, перед продувкой воздухом, необходимо выполнить похожую процедуру. Предположим, что азот добавляется в танк содержащий метан в точке С, до содержания метана 14% в точке Н. При добавлении воздуха, состав смеси будет двигаться по линии HDB, которая касается зоны воспламенения в точке D, но не проходит через нее. По тем же причинам, что были изложены выше, содержание метана в танке понижается до 5%, так как на практике, равномерная смесь метана и азота может не получиться.

Процедуры для избежания прохождения через зону воспламенения можно подытожить следующим образом:

1. Танки и трубы, содержащие воздух должны быть продуты азотом перед метаном до содержания кислорода в них не более 5% или ниже.
2. Танки и трубы, содержащие метан, должны быть продуты азотом перед воздухом до содержания метана в них не более 5% или ниже.

Для этих целей на судне должен быть OXIMETR & TANKSCOPE.

**2.3 Дополнительные характеристики**

**2.3.1 Разлив в воду**

* Кипение метана очень быстрое, из-за большой разницы в температурах воды и жидкого метана.
* СПГ быстро распространяется на большую площадь, что ведет к огромной скорости испарения, до тех пор, пока оно не закончится(Rapid Phase of Transition RPT).
* Сплошной слой льда не формируется.
* При некоторых условиях, при концентрации метана менее 40%, возможны беспламенные взрывы при соприкосновении с водой. Это является результатом пограничного феномена, когда СПГ местами сильно перегревается, до начала быстрого кипения. Однако, коммерческий СПГ содержит большее количество метана чем 40%, и потребуется некоторое время, до достижения такой концентрации.
* Взрывоопасное облако СПГ и воздуха может простираться на большие дистанции понизу, при отсутствии топографических препятствий, которые создают турбулентность, так как только при температуре – 100С метан легче воздуха.

**2.3.2 Облака пара**

1. Если не произошло мгновенного воспламенения разлива СПГ, формируется облако пара. Оно длинное, тонкое, сигарообразное и при некоторых метеоусловиях может пройти значительное расстояние, пока концентрация уменьшится до безопасных пределов. Это очень важно, так как при воспламенении огонь распространяется в направлении источника разлива. Холодный пар тяжелее воздуха, и поэтому вначале стелется по поверхности. Рассеивание облака напрямую зависит от погодных условий.
2. Особая опасность исходит от облака СПГ когда оно воспламеняется. Выделяется огромное количество теплоты. Вызванные этим ожоги летальны для людей оказавшихся внутри облака или вблизи его. Даже на некотором расстоянии от этого огненного шара люди страдают от тепловой радиации.

**2.3.3 Реактивность**

При больших концентрациях метан приводит к удушению. Метан это насыщенный, предельный углеводород, очень летучий, нерастворимый в воде и поэтому не является сильным загрязнителем воды и воздуха. Из ряда алканов. При высоких температурах и под воздействием ультрафиолетового излучения вступает в реакцию с галогенами, такими как хлор, бром и т.д. Хлорметан используется в холодильной промышленности. При определенной температуре и давлении могут образовываться гидраты, физическое соединение с водой.

**2.3.4 Криогенные температуры**

Контакт с СПГ или материалами, охлажденными до его температуры, около -160С, уничтожает все живое.

Большинство металлов теряют свою гибкость при таких температурах. СПГ может вызвать хрупкий разлом (BRITTLE FRACTURE)многих металлов. В случае разлива СПГ на палубу судна, высоко термальное напряжение, генерируемое ограниченной возможностью стального листа сжиматься, приводит к его разрушению.

**2.3.5 Поведение СПГ в грузовом танке**

1. При погрузке в грузовые танки, давление в паровой фазе поддерживается предельно постоянным, немного выше атмосферного давления.
2. Внешнее тепло, проходящее через изоляцию танка, генерирует восходящие потоки внутри жидкого груза, подогретый СПГ поднимается наверх и кипит.
3. Тепло, необходимое для испарения исходит из СПГ и пока происходит постоянный отток пара для поддержания давления, СПГ остается при температуре кипения.
4. Если давление пара уменьшить откачиванием большего количества, чем выкипает, - температура СПГ уменьшится. Для того, чтобы сделать давление эквивалентное его температуре, кипение СПГ усиливают, тем самым, увеличивая передачу тепла от СПГ пару.
5. СПГ это смесь нескольких компонентов с различными физическими свойствами, в частности способностью испарения,- более легкие фракции испаряются быстрее. Пар, производимый в процессе кипения, содержит большее количество легких составляющих, чем СПГ.
6. Характеристики СПГ, температура кипения, плотность, тепловая ценность имеют тенденцию к увеличению во время рейса.

**2.4 Свойства азота и инертного газа**

**2.4.1 Азот**

Азот используется для заполнения изоляционных пространств, для продувки грузовых труб, тушения пожара в вентиляционной мачте и для герметизации газовых компрессоров.

На судах, где имеется установка повторного сжижения метана, азот используется как охлаждающий агент.

Он производится либо испарением жидкого азота, доставляемого с берега, либо при помощи судовых генераторов азота, принцип действия которых основан на фильтрации азота и кислорода из воздуха при помощи мембран или фильтров.

**2.4.2 Физические свойства азота**

Азот наиболее распространенный газ в природе, так как его содержание в атмосфере около 79%.

При комнатной температуре, азот без цветный и без запаха газ. Его плотность близка к плотности воздуха, 1.25 кг/м3 при стандартных условиях.

Жидкий азот имеет температуру -196С при атмосферном давлении, плотность 810 кг/м3 и теплоту испарения 199 кдж/кг.

**2.4.3 Характеристики азота**

|  |  |
| --- | --- |
| Молекулярный вес | 28.016 |
| Температура кипения при 1 атм.абс. | -196С |
| Удельный вес жидкости при темп. Кипения кг/м3 | 1.81 |
| Удельный вес пара при 15С и 1 атм.абс.кг/м3 | 0.97 |
| Отношение объемов газа и жидкости -196С | 695 |
| Пределы воспламеняемости | Нет |
| Точка росы 100% чистого азота | Ниже -80С |

**2.4.4 Химические свойства**

Азот, - это инертный газ, не горит и без химической активности. Однако при высоких температурах может вступать в реакцию с другими газами и металлами.

**2.4.5 Опасности**

Обладает удушающим эффектом. В жидком состоянии при температуре -196С уничтожает все живое. Разлив на палубу или конструкции судна ведет к тем же эффектом, что и СПГ. Теряется гибкость.

**2.4.6 Инертный газ (IG)**

Инертный газ используется для уменьшения содержания кислорода в грузовой системе, танках, трубопроводах и компрессорах, для предотвращения образования смеси воздух/метан перед вентиляцией воздухом после подогрева и т.д.

Инертный газ производится на борту судна при помощи установки инертного газа, сжигая газойль с низким содержанием серы. Точка росы желательно – 45С.

**2.4.7 Характеристики инертного газа**

|  |  |
| --- | --- |
| Кислород | < 0.5 % от объема |
| Карбон диоксид | <14 % от объема |
| Карбон моноксид | <100 ppm в объеме |
| Окислы серы (SOx) | <2 ppm в объеме |
| Окислы азота (NOx) | <65 ppm в объеме |
| Азот | Остаток около 85 % |
| Точка росы | < -45C |
| Сажа | Полностью отсутствует |

Инертный газ немного тяжелее воздуха, - 1.35 кг/м3 при 0С

Обладает удушающим эффектом.

**2.5 Опасность низких температур для металла, меры безопасности**

Обычная сталь подвержена хрупкому излому при низких температурах. Такие повреждения могут быть катастрофическими, так как хрупкую сталь можно повредить без особых усилий. Обычная углеродистая сталь может потерять свою гибкость при температурах до -50С, поэтому их использование для температур -160С невозможно.

Поэтому, в конструкциях судов для перевозки СПГ применяются специальные материалы, которые не теряют своих прочностных характеристик при низких температурах. Это ИНВАР (36% никель-железо сплав), аустенитная нержавеющая сталь, 9% никелевая сталь, сплавы алюминия, такие как 5083 сплав.

Все эти материалы сохраняют свои прочностные характеристики при низких, -162С температурах, и противостоят даже перегрузкам, сохраняя свои непроницаемость.

Для избежания хрупкого излома обычных сталей, должны быть приняты соответствующие меры для предотвращения контакта СПГ или азота с ними.

Дополнительно, должно иметься специальное оборудование на случай утечки СПГ или азота. Районы манифолдов оборудованы поддоном, из специальной стали, который при разливе не дает распространиться низкотемпературной жидкости, и существует возможность дренировать эту жидкость за борт. Судно в районе манифолда оборудовано водяной завесой, работающей от пожарного насоса. Пожарный насос должен быть всегда под давлением и водяная завеса в действии при любых грузовых операциях.

Дополнительно, пожарные шланги должны быть проложены к каждому куполу, для обработки любой маленькой утечки из клапана или фланца. Постоянные поддоны должны быть установлены под оборудованием, которое наиболее вероятно может создать проблемы и переносные поддоны должны быть готовы для немедленного использования в случае возможных утечек.

Во время любых перемещений груза, и особенно во время погрузки/выгрузки, должен быть организован постоянный обход на палубе для своевременного обнаружения утечки.

В случае разлива или утечки, водяной спрей должен быть направлен в это место для рассеивания и испарения жидкости, а главное для защиты обычной стали. Утечка должна быть ликвидирована, при необходимости даже остановив грузовые операции.

В случае большого разлива или утечки, грузовые операции должны быть остановлены немедленно, объявлена тревога и включено палубное орошение.

**2.6 Опасности для персонала.**

**2.6.1 Метан**

* + 1. **Азот**

**3. Концепция конструкции грузовой системы**

**3.0.1 Общие положения**

Концепция конструкции грузовой системы, определяет количество грузовых танков, их расположение, форму и структуру их тепловой изоляции. Сюда относится расположение и конструкция балластных танков, коффердамов, трюмных пространств. Очень важным моментом является система крепления грузовых танков.

IMO Ch.2 разделяет суда, перевозящие сжиженные газы на 3 группы- 1G,2G,3G.

Критерии, - расположение танков и способность к выживанию при столкновении и посадке на мель

При посадке на мель размеры повреждения вверх В/15 или 2 метра, что меньше по всей длине судна

При столкновении размеры повреждения по длине 1/3 L 2/3 или 14,5 м, что меньше; по глубине В/5 или 11,5 м, что меньше; по высоте,- без ограничений.

Тип 1 G - судно намеревающееся перевозить груз указанный в Гл.19, который требует максимальных превентивных мер для предотвращения разлива этого груза

Тип 2 G - судно намеревающееся перевозить груз указанный в Гл.19, который требует значительных превентивных мер для предотвращения разлива этого груза

Тип 2 PG – судно длиной 150 м и менее, намеревающееся перевозить груз, указанный в Гл.19, который требует значительных превентивных мер для предотвращения разлива груза и где груз перевозится в независимых танках типа С, при MARVS не менее 7 бар манометрических и грузовой системой, способной выдерживать температуру – 55С и выше. Суда с такими характеристиками, но более 150 метров длиной, считаются судами типа 2 G.

Тип 3 G – судно намеривающееся перевозить груз указанный в Гл.19, который требует умеренных превентивных мер для предотвращения разлива

**3.1 Принципы системы содержания груза**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Т груза при P атм.** | **- 10С и выше** | **- 10 - - 55** | **Ниже**  **- 55** |
| **Тип танка** | **Без 2-го барьера** | **Корпус 2-й барьер** | **2-й барьер** |
| **Встроенный**  **Мембранный**  **Полумембран.**  **Независимый**  **ТипА**  **ТирВ**  **ТипС**  **Внутр.Изоляция**  **Тип 1**  **Тип 2** |  | **Обычно не разрешен**  **Полный 2-й барьер**  **Полный 2-й барьер**  **Полный 2-й барьер**  **Частичный 2-й барьер**  **Не требуется 2-й барьер**  **Полный 2-й барьер**  **2-й барьер предусмотрен** |  |

**Встроенные танки** – являются структурной частью корпуса судна и испытывают те же нагрузки, что и корпус судна.

**Независимые танки** – самоподдерживающие, не являющиеся частью корпуса.

Конструкция танков зависит от расчетного максимального давления и минимальной температуры.

**Мембранные танки** – не самоподдерживающие, состоят из тонкой мембраны (0.5-1.2 мм), которая поддерживается через изоляцию, приспособленной к внутреннему корпусу.

Термальные нагрузки компенсируются качеством металла мембраны (никель, сплавы алюминия).

**Полу - мембранные танки**,- это мембранные танки с более толстой мембраной (до 3-5 мм) и скругленными углами.

**Танки с внутренней изоляцией** – не самоподдерживающие танки, состоящие из термоизоляционного материала, который способствует сдерживанию груза и поддерживается структурой приспособленной с внутреннему корпусу или независимому танку. Внутренняя поверхность изоляции соприкасается с грузом.

**Независимые танки делятся на три категории:**

**Тип А** – построенные в соответствии со стандартами установленными властями. В случае гравитационных танков с плоскими поверхностями, расчетное давление не должно превышать 0.7 бар.

**Тип В** – построены в соответствии со специальными аналитическими расчетами для выдерживания напряжения, деформации и усталости металла.

**Тип С** – для груза при температуре окружающей среды (давление рассчитывается по специальной формуле)

Вторичный барьер – необходим при перевозке грузов с температурой ниже – 10 С.

**Вторичный барьер** – это газонепроницаемая конструкция вокруг танка, предназначенная для временного сдерживания груза при утечке через первичный барьер в течение 15 суток при статическом крене 30 градусов

В настоящее время для судов, перевозящих СПГ, применяются три основных вида грузовых танков, - это сферический тип танка MOSS, мембранный тип системы Газ Транспорт № 96, мембранный танк системы Технигаз Mark III. Разработана и внедряется система CS-1, которая является комбинацией вышеуказанных мембранных систем.

На диаграмме 3.1а приведены сравнительные характеристики различных типов танков.

Подробнее остановимся на системе Газ Транспорт № 96-2

Внутренний корпус интегрирован в систему поддержки и изоляции системы Газ Транспорт. Система состоит из тонкой, гибкой первичной мембраны, которая контактирует с грузом, слоем фанерных отсеков, наполненных перлитом,- первичная изоляция. Далее идет вторая гибкая мембрана, такая же, как и первая, называемая вторичным барьером, за которой расположен второй слой фанерных отсеков с перлитом, называемый вторичной изоляцией и который контактирует с внутренним корпусом.

Двойная мембрана соответствует требованиям по системе содержания груза и обеспечивает двойной барьер в случае утечки груза. Вся система в целом обеспечивает передачу гидростатического давления через мембраны и изоляцию на внутренний корпус.

Назначение мембраны предотвратить утечку, в то время как назначение изоляции поддерживает и передает нагрузку, одновременно минимизирует теплообмен между грузом и внутренним корпусом. Вторая мембрана служит не только вторичным барьером, но и уменьшает конвекционные потоки внутри изоляции.

Пространства первичной и вторичной изоляции находятся под контролируемой азотной атмосферой (давление, наличие метана). Давление в пространстве первичной изоляции не должно превышать давление в грузовом танке во избежание выдавливания мембраны внутрь танка. При нормальных условиях давление азота в пространствах первичной и вторичной изоляции поддерживается в пределах 0.2 – 0.4 kPa.

**3.1.1 Конструкция изоляции и барьеров**

Первичный и вторичный барьеры идентичны и сделаны из криогенной ИНВАР стали толщиной 0.7 мм. Композитный состав ИНВАР стали:

|  |  |
| --- | --- |
| Ni | 35 – 36.5 % |
| C | < 0.04 % |
| Si | < 0.25 % |
| Mn | <0.2 – 0.4 % |
| S | < 0.0015 % |
| P | <0.008 % |
| Fe | Остаток |

Коэффициент температурного расширения = (1.5 +/- 0.5) 10 мм/ гр.С между 0С и -180С, приблизительно в 10 раз меньше, чем нержавеющей стали AISI 304.

Тест на прокол при – 196С, > 120 J/cm2.

КТР достаточно низок и можно использовать плоскую сталь вместо рифленой.

Внутренняя поверхность мембраны, таким образом, контактирует с поддерживающей изоляцией, что нагрузка, которую она может выдерживать, ограничена только величиной несущей нагрузки изоляции.

Первичное и вторичное изоляционные пространства заполнены расширенным перлитом и устроены таким образом, что разрешают свободную циркуляцию азота и следовательно процессы инертизации и дегазации не вызывают трудности.

Перлит делается из вулканических пород, которые при температуре 800С трансформируются в маленькие шарики, диаметром от 0.5 до 0.05 мм. Пористая структура перлита делает его хорошим изоляционным материалом. Влага убирается при помощи силикона.

Изоляция расположена в двух особых зонах.

1. Усиленная зона, расположенная в верхней части танка и покрывающая около 30 % общей высоты танка, включая его верх. Эта зона снабжена усиленным типом ячеек.
2. Стандартная зона, занимающая приблизительно 70% высоты танка, включая его днище. Эта зона снабжена обычным типом ячеек.

Усиление верхней зоны танка предпринято для избежания его повреждения из-за всплескивания груза внутри танка.

Толщина вторичной изоляции 300 мм, а первичной изоляции 230 мм. Такая толщина рассчитана исходя из расчета выкипания 0.15 % от всего объема танка в день.

**3.2 Мембранная система**

Для компенсации деформации корпуса судна, каждая стяжка в изоляционных пространствах снабжена некоторым количеством пружинистых шайб. Это количество зависит от места расположения крепления. Так около балластных танков их больше, так как деформация корпуса в этих зонах, - наибольшая. Для компенсации температурных колебаний в стяжках ячеек, установлены фанерные прокладки. Для достижения гибкости, применяется эластичное соединение с пружинистыми шайбами (гроверы).

Из-за конструкции, первичный и вторичный барьер пересекаются в обоих направлениях, формирую квадратную трубу. Это сделано с расчетом облегчить процесс строительства, и крепится к двойному дну при помощи специального устройства. При такой системе крепления, мембраны напрямую соединены с внутренним корпусом, что позволяет принимать любое напряжение мембраны прямо и равномерно судовыми конструкциями.

**3.2.1Оборудование грузового танка**

Паровой купол расположен, как правило, вблизи геометрического центра грузового танка. Каждый купол имеет:

1. Систему подачи/отбора пара. Она необходима для подачи пара во время выгрузки, отбора пара из танка во время погрузки , а также для отбора пара во время перевозки груза.
2. Линию распыла для охлаждения грузового танка перед погрузкой.
3. Два клапана безопасности для избыточного давления и вакуумной защиты с установкой 24 кРа абс. И -1 кРа абс. вакуума. С вентиляцией на мачту.
4. Устройство для сенсоров давления.
5. Клапана безопасности для жидкостной линии.

В дополнение, каждый грузовой танк имеет жидкостной купол, расположенный возле ДП, в кормовой части танка. Жидкостной купол держит треножную мачту, сделанную из стали марки 304Л и опускающуюся в танк укрепленную на его дне при помощи скользящих несущих, позволяющих компенсировать ее термические изменения. Эта мачта состоит из основных выгрузных труб и колодца для аварийного насоса в виде треножника, к которому прикреплены трап и другие необходимые трубки, измерительные устройства и т.д.

В состав измерительных устройств входят температурные и уровневые датчики, независимые датчики сигнала высокого уровня и электрические кабеля для грузового насоса. Два главных грузовых насоса закреплены на площадке внизу треножника, в то время как зачистной/распылительный насос закреплен на башне поддержки насоса.

Колодец мерительного устройства и линия погрузки также расположены в жидкостном куполе.

Все танки соединены между собой жидкостными, паровыми, зачистными/распылочными распределителями, расположенными на транковой палубе. Производство азота для заполнения изоляционных пространств и другие вспомогательные системы, связанные с грузовой системой, также расположены на транковой палубе вместе с пожарной и спринклерной системой.

**3.3 Проблемы и неисправности**

Система изоляции построена, из расчета поддерживать необходимое количество выкипаемого груза на установленном уровне, а также защищать внутренний корпус от низкой температуры. Если эта способность изоляционной системы будет нарушена, каким либо образом, в результате может понизиться температура внутреннего корпуса и образоваться пятно замерзания и повысится скорость выкипания. Излишек газа может быть выпущен через вентиляционную мачту. Температуру внутреннего корпуса необходимо поддерживать в установленных пределах во избежание хрупкого разлома.

Термопары распределены по поверхности внутреннего корпуса, но если холодное пятно не появится немедленно возле датчика, то они могут лишь давать общую информацию о температуре стали. Сегодня существует только один реальный метод обнаружения холодного пятна, - как можно чаще осматривать балластные танки во время перехода в грузу.

Поэтому, внутренний корпус делается из различных сортов стали с учетом той минимальной температуры, которая может возникнуть в этом районе при повреждении первичной мембраны. При температуре воды и воздуха 0С и повреждении первичного барьера, температура внутреннего корпуса будет около -8С. Для таких условий Классификационные общества требуют следующее распределение сортов стали на внутреннем корпусе.

В дополнение к повреждению мембраны, может случиться повреждение изоляции. Это может привести к формированию льда на внутреннем корпусе, которое в свою очередь приведет к дальнейшему понижению температуры корпуса, так как лед хороший изолятор. Для ликвидации этого эффекта, все коффердамы снабжены системой подогрева, в которой используется гликоль. Она способна поддерживать температуру около 0С в наихудших условиях. При обнаружении холодного пятна либо температурной системой, либо визуально, - это должно быть обязательно документировано. Маленькие, локальные холодные пятна не очень опасны, если не происходит дальнейшего распространения, и требуется только постоянное наблюдение и документирование. Однако, если холодное пятно большое и стремительно распространяется, необходимо смывать его соленой забортной водой. Если эта мера окажется не эффективной и будет осознано, что дальнейшая задержка выгрузки до прибытия в порт опасна для экипажа, судна и остального груза, - принимается решение об аварийной выгрузке груза в море при помощи одного грузового насоса и насадки на манифолд.

**3.4 Опасные районы и газоопасные зоны**

Согласно МГК ММО, следующие районы считаются опасными:

Газоопасные пространства и зоны на открытой палубе в пределах 3 метров от любого выхода грузового танка, газового или парового выхода, фланца на грузовой трубе, клапана или отверстий, вентиляционных выходов в компрессорном отделении.

Они также включают открытую палубу над грузовой зоной и 3 метра в нос и в корму от грузовой зоны на открытой палубе и на высоту 2.4 метра от открытой палубы, и зоны в пределах 2.4 метра пространства от системы содержания груза, где такие пространства открыты погоде. Вся трубопроводная система и грузовые танки также считаются газоопасной зоной. В дополнение к этим зонам, Код определяет и другие газоопасные зоны.

Районы вокруг путей в машинное отделение, в которых расположена газовая топливная линия, - не считается газоопасной зоной.

Все электрическое оборудование, используемое в таких зонах, постоянное или переносное, - должно быть сертифицировано как «безопасного типа оборудование». Это включает в себя конструктивно безопасное оборудование, взрывобезопасное оборудование и закрытое, под давление оборудование. Исключение из этого применяется только для зон, которые сертифицированы как газобезопасные зоны.

**4. Грузовая система**

**4.1 Система трубопроводов**

Грузовая система иллюстрирована простым рисунком, показывающим только основные черты системы. Рисунок 4.1а.

СПГ грузится и выгружается через две линии в середине судна и доставляется в и из каждого танка через основную магистраль, которая расположена вдоль судна. Каждая из этих линий разделяется на два погрузочно-разгрузочных соединения, делая по четыре соединения на каждом борту. Паровая линия имеет такую же конфигурацию, но только одно соединение с каждого борта. При погрузке, основная магистраль и распределитель совместно с ВП компрессором используются для возврата пара на берег. При выгрузке паровая магистраль используется для возврата пара либо с распределителя, либо с испарителя в танк для замещения выгруженной жидкости. Зачистная/распылительная линия может быть соединена с жидкостной на распределителе и используется для осушки или охлаждения танков, а также для распыления жидкости в танке при выгрузке, если не хватает пара во время выгрузки.

Паровая линия и линия зачистки соединены с каждым танком на паровом куполе. Клапана безопасности, измеритель давления и три точки для взятия проб также расположены на паровом куполе. Система распыла состоит из двух приспособлений внутри верха танка, состоящих из нескольких форсунок для разбрызгивания жидкости и увеличения испарения, что в свою очередь помогает быстрее охлаждать грузовой танк.

Паровая, жидкостная и зачистная линии имеют ответвления в и из грузового отделения и соединяются с компрессорами, подогревателями и испарителями для различных вспомогательных функций. Система снабжена множеством заглушек, необходимость в которых возникает перед докованием или после него. Паровая линия соединена с вентиляционной мачтой № 1. Она также соединена с МО для подачи выкипевшего пара на сжигание через компрессор НП и подогреватели. Системы инертного газа и сухого воздуха, как правило, располагаются в МО и трубопроводы снабжены невозвратными клапанами для препятствия возврата ИГ в МО. Все грузовые трубы сварены для уменьшения риска протечек. Имеющиеся фланцы имеют бандажи для защиты от электростатики. Жидкостная и паровая системы были сконструированы таким образом, чтобы термальные нагрузки поглощались конфигурацией линий. Это достигнуто применением колец и расширителей для жидкостной и паровой линий соответственно.

Применены также фиксированные и скользящие поддержки трубопроводов. Все жидкостные линии, которые могут быть отсечены, имеют клапана безопасности со стравливанием давления в ближайший грузовой танк, хотя нормальная практика полагает полное выпаривание жидкости перед изоляцией отрезков трубопровода. Все основные клапана, таки, как клапана на манифолде, называемые АЗК, управляются при помощи ОАС из ПУГО. При активации АЗК клапана на манифолде закрываются, прекращая грузовые операции.

Невозвратный клапан расположен на каждом грузовом насосе. Отверстие 6мм просверлено в диске клапана, - позволяет осушить линию выгрузки вниз танка и затем дегазировать ее. Невозвратные клапана также имеются на нагнетании компрессоров. Система зачистки и линия аварийной выгрузки имеют невозвратные клапана сразу же после гидравлически управляемым грузовым клапаном.

Небольшая, диаметром 6мм форсунка также расположена на верху каждой линии грузового насоса внутри танка для охлаждения стойки насоса во время выгрузки.

**4.1.1 Жидкостная линия**

Жидкостная линия сделана из толстостенной сварной криогенной нержавеющей стали.

1. На некоторых танках есть устройство для наполнения жидкостной линии перед выгрузкой для избежания гидравлического удара.
2. В некоторых местах трубопровода имеются заглушенные фланцы для операций инертизации, вентилирования на случай ремонта.
3. Все секции жидкостной линии вне грузового танка изолированы полиуретановой пеной, покрытой мягким GRP покрытием, которое является газо-водонепроницаемым.

**4.1.2 Паровая линия**

Паровая система сделана из криогенной нержавеющей стала. Паровая линия позволяет использовать ее:

1. Откатывать из танка и посылать на берег при помощи ВПК в целях контроля давления в танках.
2. Во время балластного и в грузу перехода, выкипевший газ посылается при помощи НПК в МО для использования его как топливо для колов.
3. После ремонта газ испаряется и используется для продувки грузовых танков.
4. Линия к передней мачте используется как клапан безопасности для всех танков и используется для контроля давления в танках во время обычных операций
5. В некоторых местах паровой линии имеются заглушенные фланцы и точки взятия проб для инертизации и вентиляции системы во время ремонта.
6. Все секции паровой линии вне грузового танка изолированы полиуретановой пеной, покрытой мягким GRP покрытием, которое является газо-водонепроницаемым.

**4.1.3 Система распыла**

Система распыла сделана из криогенной нержавеющей стали в и выполняет следующие функции, доставляя СПГ к:

1. Распыляющим направляющим в каждом грузовом танке для охлаждения или производства пара.
2. Основной жидкостной магистрали для охлаждения перед грузовыми операциями.
3. Грузовым линиям танков для их охлаждения во избежание гидродинамического удара.
4. Испарителям для производства пара для компрессоров и подогревателей.
5. В некоторых местах линии распыла имеются заглушенные фланцы и точки взятия проб для инертизации и вентиляции системы во время ремонта.
6. Все секции паровой линии вне грузового танка изолированы полиуретановой пеной, покрытой мягким GRP покрытием, которое является газо-водонепроницаемым.

**4.1.4 Газовая линия (Операции с одним танком)**

Газовая линия сделана из криогенной нержавеющей стали, и может быть соединена с паровой линией и передней мачтой, если требуется проведение операции с одним грузовым танком.

1. Использование этой линии позволяет изолировать один танк для ремонта и не инертизировать и подогревать остальные все судно.
2. Для ее подсоединения необходимо использовать вставку.
3. Таким же образом возможно подсоединение системы инертного газа
4. В некоторых местах газовой линии имеются заглушенные фланцы и точки взятия проб для инертизации и вентиляции системы во время ремонта.

**4.1.5 Топливная газовая линия**

Во время транспортировки груза морем, несмотря на изоляцию, тепло проникает в грузовой танк и подогревает груз. Энергия поступает также от движения груза во время качки. В результате этого происходит испарение груза.

1. При нормальных условиях испарившийся пар используется как топливо для судовых котлов.
2. Пар из паровой линии поступает через отделитель тумана (влаги), затем поступает в НПК.
3. Затем он проходит через подогреватель, а потом только подается к судовым котлам как топливо.

**4.1.6 Линия вентиляции**

При нормальных условиях, давление в грузовых танках контролируется подачей пара на судовые котлы в качестве топлива, или подачей на вентиляционную мачту через паровую систему.

1. Каждый грузовой танка снабжен независимой системой вентиляции, состоящей из двух линий, которые соединены с танком через клапан безопасности на каждой из них. После них пар поступает на вентиляционную мачту, а затем в атмосферу.
2. Все вентиляционные мачты снабжены азотной системой тушения пламени.
3. В некоторых местах линии вентиляции имеются заглушенные фланцы и точки взятия проб для инертизации и вентиляции системы во время ремонта
4. Все секции линии вентиляции вне грузового танка изолированы полиуретановой пеной, покрытой мягким GRP покрытием, которое является газо-водонепроницаемым.

**4.1.7 Линия инертизации и аэрации**

Система состоит из линии с фланцами, через которые инертный газ или воздух поступает в грузовые танки и трубопроводы для инертизации и вентиляции сухим воздухом.

1. Инертный газ/воздух подается из установки расположенной в МО.
2. Линия соединяется с паровой линией и жидкостной линией с помощью вставок.
3. С помощью вставок и гибких шлангов можно производить инертизацию всех или одного танка.

**4.2 Грузовые насосы**

Грузовые насосы, это полнопогружные электрические центробежные насосы, одноступенчатые.

Они установлены на специальной подвешенной площадке внизу танка. Зачистные насосы двухступенчатые. Грузовые насосы включаются и останавливаются из ПУГО, обычно через ИАС, если такая система имеется. Они автоматически останавливаются в случаях проблем с грузом или с ними самими.

Каждый грузовой насос защищен от:

1. Перегрузки
2. Слабого протока или отсутствия груза
3. Нарушения баланса между фазами
4. Слишком длинного старта

Из-за большой нагрузки на щит грузовых насосов при их одновременной работе, возможно ограничение числа работающих насосов.

Каждый насос должен включаться индивидуально и в определенной последовательности с небольшим открытием нагнетательного клапана на насосе (приблизительно 5%).

Необходимо строго следовать процедуре запуска насосов

**4.2.1 Главные грузовые насосы**

Главные грузовые насосы при нормальных условиях работают в параллель. Нагнетательные клапана должны быть отрегулированы в соответствии с графиками, для достижения оптимальных условий выгрузки. Во время выгрузки уровни в танках и скорость протока будет меняться, и возникнет необходимость перенастройки нагнетательных клапанов. При нормальных условиях, полная скорость выгрузки сохраняется до уровней около 2 метров, после чего начинается кавитация в насосах и уменьшается всасывание, что немедленно сказывается на давлении выгрузки и нагрузке насоса. Нагнетательный клапан необходимо постоянно прижимать, и, если потребуется, остановить один из насосов на танке. Таким образом, можно достичь уровня выгрузки в танке около 0.3- 0.4 метра. Увеличением дифферента на корму, можно уменьшить количество оставшегося груза в танке, до того, как будут остановлены насосы. Снятие замеров остатков, лучше производить на ровном киле. Предусмотрена работа насосов через байпас на танк. Это необходимо в случае остановки выгрузки при небольших уровнях груза в танке, чтобы избежать проблем повторного запуска. Насос должен быть проверен перед прибытием в порт выгрузки при отсутствии качки и во время погрузки, когда уровень груза в танке около 4 – 5 метров, если получено разрешение терминала.

Насосы должны немедленно останавливаться в следующих случаях:

1. Давление в грузовом танке ниже или равно давлению в первичном изоляционном пространстве, плюс 0.5 кРа АО: Защита грузовых танков.
2. Давление в центральной грузовой линии ниже или равно атмосферному, плюс 0.3 кРа.
3. Уровень в грузовом танке 99 %
4. При активации аварийной остановки.(1 ступень)
5. При активации аварийной остановки с берега.
6. Исчезновение одной фазы на моторе.
7. Низкое напряжение на моторе.
8. Высокое напряжение на моторе.
9. Низкое давление нагнетания (выгрузки)
10. Ручная остановка из ПУГО
11. Активация аварийной остановки (2 ступень).
12. Низкий уровень жидкости в грузовом танке
    * Аварийна остановка, ведет к остановке всех грузовых систем.
    * Процедура проверки сопротивления изоляции всех грузовых насосов должна быть выполнена после отхода из порта погрузки, чтобы иметь достаточное время для установки аварийного насоса.
    * Насосы не должны включаться при закрытом клапане нагнетания, из-за возможного повреждения, которое может случиться при недостаточном охлаждении и смазке мотора и подшипников и чрезмерного уровня вибрации совместно с отсутствием протока груза.
    * Необходимо строго следовать процедуре перезапуска насосов. Перезапуск насосов может быть ограничен уровнем жидкости над погружным насосом. Они могут не запуститься при уровне жидкости менее 900 мм.

**4.2.2 Насосы зачистки и распыла**

Насосы зачистки и распыла установлены в каждом грузовом танке для охлаждения и принудительного испарения СПГ.

Насосы запускаются и останавливаются из ПУГО. При активации АО они также останавливаются.

Эти насосы используются в следующих целях:

1. Охлаждении грузовой линии перед выгрузкой.
2. Охлаждении грузового танка в балластном переходе
3. Подачи СПГ из танка на принудительный испаритель или СПГ испаритель.
4. Осушке грузового танка, насколько это возможно, при необходимости входа в танк.

При возможности эти насосы должны быть запущены пораньше, чтобы избежать стартовых проблем из-за низкого уровня жидкости (0.5 метра минимум).

Насосы зачистки остановятся автоматически в случае, если:

1. Давление в грузовом танке ниже или равно давлению в первичном изоляционном пространстве, плюс 0.5кРа АО: Защита грузовых танков.
2. Давление в центральной грузовой линии ниже или равно атмосферному, плюс 0.3кРа.
3. Уровень в грузовом танке 99 %.
4. При активации аварийной остановки.(1 ступень).
5. При активации аварийной остановки с берега.
6. Исчезновение одной фазы на моторе.
7. Низкое напряжение на моторе.
8. Высокое напряжение на моторе.
9. Низкое давление нагнетания (выгрузки)
10. Ручная остановка из ПУГ.
11. Активация аварийной остановки (2 ступень).
12. Очень низкий уровень жидкости в грузовом танке.
    * Процедура проверки сопротивления изоляции всех насосов зачистки, должна быть выполнена после отхода из порта погрузки, чтобы иметь достаточное время для установки аварийного насоса.
    * Необходимо строго следовать процедуре перезапуска насосов. Перезапуск насосов может быть ограничен уровнем жидкости над насосом зачистки. Они могут не запуститься при уровне жидкости менее 300 мм. Количество оставшегося груза после зачистки регламентируется в Руководстве по грузовым операциям.

**4.2.3 Аварийный грузовой насос**

Каждый грузовой танк оборудован колонной для аварийного насоса. Она оборудована нижним клапаном, который постоянно закрыт при помощи мощных пружин. При необходимости использования аварийного грузового насоса, он опускается в эту колонну, после ее очистки при помощи азота. Вес насоса достаточен для открытия нижнего клапана.

При установке аварийного насоса необходимо поддерживать небольшое давление азота в колонне.

Перед установкой аварийного насоса, необходимо уменьшить давление в грузовом танке до атмосферного давления и поддерживать его таковым во время всей процедуры установки аварийного насоса.

Электрическое подсоединение аварийного насоса находится на каждой колонне

Для запуска аварийного насоса необходимо использовать специальный стартер. Все системы безопасности автоматически подключаются к аварийному насосу при включении этого стартера. Меггер тест для аварийного насоса необходимо проводить регулярно и перед его использованием.

Необходимо строго следовать процедуре перезапуска насоса. Перезапуск насоса может быть ограничен уровнем жидкости над насосом. Он может не запуститься при уровне жидкости менее 800 мм.

**4.3 Грузовые компрессоры**

На судне установлены два типа грузовых компрессоров для различных нужд. Они разделяются на компрессоры высокой производительности и компрессоры низкой производительности.

**4.3.1 Компрессоры высокой производительности**

Два ВПК установлены в компрессорном отделении для работы с газообразными субстанциями. Это пар СПГ и различные смеси пара СПГ, инертного газа или воздуха.

Во время процедуры охлаждения, грузовых операций и обработки танков. Они приводятся в действие электрическими моторами, установленными в электромоторном отделении, отделенным от компрессорного при помощи газонепроницаемой переборки. Вал, проходящий через переборку, оборудован газонепроницаемым масляным затвором.

ВПК можно запускать с места или из ПУГО.

Остановка компрессора происходит при следующих условиях:

1. Разница в давлении грузового танка и пространством первичной изоляции = 0.5кРа.
2. Разница в давлении грузового танка и пространством первичной изоляции = 0.0кРа.
3. Разница в давлении паровой линии и атмосферы = 0.3кРа
4. Разница в давлении паровой линии и пространством первичной изоляции = 0.0кРа
5. Уровень жидкости в танке 99 %
6. Отсутствие питания или сигнал от САО
7. Отсутствие вентиляции в электромоторном отделении
8. Нарушение параметров безопасности, - температура и давление масла, температура нагнетания, вибрация, давление газового затвора.

**4.3.2 Система газового затвора**

Система газового затвора предусмотрена для предотвращения проникновения масляного тумана в пространство сжатого пара СПГ и для избежания проникновения холодного газа в редуктор и в систему смазки. В затворе используется азот, производимый азотным генератором на борту судна.

Азот вводится в углеродное кольцо набивки типа возвратного лабиринта, которое расположено между подшипником вала редуктора и маховиком (колесом компрессора).

Давление в системе поддерживается специальным клапаном, где давление азота всегда выше, чем давление всасывания (обычно это 30кРа).

Азот, проникший в редуктор из затвора вала, возвращается в маслосборник, отделяется от масла и вентилируется в атмосферу через отдельную мачту.

После 8 дней без операций, устройство должно быть продуто сухим и теплым азотом. Если система постоянно в работе, то она может находиться в готовности более продолжительный период времени.

**4.3.3 Система смазки**

Масло в системе хранится в маслосборнике. В нем имеется встроенный погружной паровой подогреватель с термостатным клапаном, встроенным в маслосборник, для поддержания постоянной, положительной температуры и предотвращения конденсации при стоящем компрессоре.

Подогреватель автоматически выключается при температуре масла +25С. Вспомогательный масляный насос не работает при температуре ниже +15С.

Температура масла поддерживается в пределах от +40С до +50С при нормальных операционных условиях.

Масло подается через отдельные фильтры одним из двух масляных насосов. От насосов масло проходит через контрольный клапан к общей линии снабжения для редуктора, подшипников и переборочного масляного затвора.

Масляные насосы работают от скоростного вала редуктора, а в случае его неисправности имеется аварийный электромотор, всегда находящийся в готовности и запускающий вспомогательный масляный насос. Этот мотор также используется при запуске компрессора. Масло охлаждается холодильником на пресной воде, и его температура регулируется 3-х температурным контрольным клапаном, поддерживающим входную температуру масла около +35С. Масло на подшипники подается через 25 микронный двойной фильтр. Этот двойной фильтр должен быть переключен, как только падение давления достигнет 2 бар. После чего, загрязненный блок фильтра должен быть снят и очищен. Клапан контроля давления регулирует проток масла к подшипникам. Избыток масло перепускается и сливается в маслосборник. В данном случае, клапан безопасности насоса работает на возврат и установлен на 800кРа.

**4.3.4** **Система контроля гидравлического удара**

Автоматическая система контроля гидравлического удара предназначена для того, чтобы скорость потока компрессора не была меньше определенного минимума при его старте и в процессе его работы. Ниже этой скорости потока, он становится не стабильным, и компрессор может получить гидравлический удар, который приводит к вибрации вала и повреждению компрессора.

Все ВПК оборудовании этой системой, состоящей из:

1. Указатель потока.
2. Указатели всасывания и нагнетания.
3. Указатель компрессорного числа.
4. Анти-ударного контроллера.
5. Контрольного клапана на газовом потоке.

На основании имеющегося отношения между протоком газа и разницы давлений компрессора, анти-ударный контроллер дает сигнал, который управляет контрольным клапаном компрессора на газовом потоке.

**4.3.5 Входные управляемые лопасти**

Для достижения требуемого протока газа, компрессор имеет входные управляемые лопасти, расположенные на всасывании.

Лопасти управляются пневматикой, которая получает сигнал от указателя потока.

Изменение позиции лопастей возможно при их движении от -30грусов до +80 градусов.

Эта позиция показывается как на месте, так и в ПУГО (от 0 до 100%).

Строго соблюдайте процедуры подготовки и запуска ВПК.

**4.3.6 Компрессоры** **низкой производительности**

Два компрессора низкой производительности, установлены в компрессорном отделении и предназначены для подачи пара СПГ, который образуется обычным путем и через принудительное испарение, как топлива для котлов.

Они приводятся в действие электрическими моторами, установленными в электромоторном отделении, отделенным от компрессорного отделения при помощи газонепроницаемой переборки. Вал, проходящий через переборку, оборудован газонепроницаемым масляным затвором.

ВПК можно запускать с места или из ПУГО.

Остановка компрессора происходит при следующих условиях:

1. Разница в давлении грузового танка и пространством первичной изоляции = 0.5кРа.
2. Разница в давлении грузового танка и пространством первичной изоляции = 0.0кРа.
3. Разница в давлении паровой линии и атмосферы = 0.3кРа
4. Разница в давлении паровой линии и пространством первичной изоляции = 0.0кРа
5. Отсутствие питания или сигнал от САО
6. Нарушение параметров безопасности в системе контроля котла.
7. Нарушение параметров безопасности, - температура и давление масла, температура нагнетания, вибрация, давление газового затвора.

**4.3.7 Система газового затвора**

Система газового затвора предусмотрена для предотвращения проникновения масляного тумана в пространство сжатого пара СПГ и для избежания проникновения холодного газа в редуктор и в систему смазки. В затворе используется азот, производимый азотным генератором на борту судна.

Азот вводится в углеродное кольцо набивки типа возвратного лабиринта, которое расположено между подшипником вала редуктора и маховиком (колесом компрессора).

Давление в системе поддерживается специальным клапаном, где давление азота всегда выше, чем давление всасывания (обычно это 30кРа).

Азот, проникший в редуктор из затвора вала, возвращается в маслосборник, отделяется от масла и вентилируется в атмосферу через отдельную мачту.

**4.3.8 Система смазки**

Масло в системе хранится в маслосборнике. В нем имеется встроенный погружной паровой подогреватель с термостатным клапаном, встроенным в маслосборник, для поддержания постоянной, положительной температуры и предотвращения конденсации при стоящем компрессоре.

Подогреватель автоматически выключается при температуре масла +25С. Вспомогательный масляный насос не работает при температуре ниже +15С.

Температура масла поддерживается в пределах от +40С до +50С при нормальных операционных условиях.

Масло подается через отдельные фильтры одним из двух масляных насосов. От насосов масло проходит через контрольный клапан к общей линии снабжения для редуктора, подшипников и переборочного масляного затвора.

Масляные насосы работают от скоростного вала редуктора, а в случае его неисправности имеется аварийный электромотор, всегда находящийся в готовности и запускающий вспомогательный масляный насос. Этот мотор также используется при запуске компрессора. Масло охлаждается холодильником на морской воде, и его температура регулируется 3-х температурным контрольным клапаном, поддерживающим входную температуру масла около +35С. Масло на подшипники подается через 25 микронный двойной фильтр. Этот двойной фильтр должен быть переключен, как только падение давления достигнет 2 бар. После чего, загрязненный блок фильтра должен быть снят и очищен. Клапан контроля давления регулирует проток масла к подшипникам.

Избыток масло перепускается и сливается в маслосборник. В данном случае, клапан безопасности насоса работает на возврат и установлен на 800кРа.

**4.3.9** **Система контроля гидравлического удара**

Автоматическая система контроля гидравлического удара предназначена для того, чтобы скорость потока компрессора не была меньше определенного минимума при его старте и в процессе его работы. Ниже этой скорости потока, он становится не стабильным, и компрессор может получить гидравлический удар, который приводит к вибрации вала и повреждению компрессора.

Все КНП оборудованы этой системой, состоящей из:

1. Указатель потока.
2. Указатели всасывания и нагнетания.
3. Указатель компрессорного числа.
4. Анти-ударного контроллера.
5. Контрольного клапана на газовом потоке.

На основании имеющегося отношения между протоком газа и разницы давлений компрессора, анти-ударный контроллер дает сигнал, который управляет контрольным клапаном компрессора на газовом потоке.

**4.3.10 Входные управляемые лопасти**

Для достижения требуемого протока газа, компрессор имеет входные управляемые лопасти, расположенные на всасывании.

Лопасти управляются пневматикой, которая получает сигнал от указателя потока.

Изменение позиции лопастей возможно при их движении от -30грусов до +80 градусов.

Эта позиция показывается как на месте, так и в ПУГО (от 0 до 100%).

Строго соблюдайте процедуры подготовки и запуска ВПК.

**4.3.11 Система переборочного масляного затвора**

Каждый вал компрессора оборудован принудительным масляным затвором, предотвращающим проникновение газа из компрессорного отделения в электромоторное отделение. Затворы гибкого типа. Они закреплены на переборке и свободно плавают на валах, ограниченные двумя шаровыми подшипниками.

Масляный затвор между ними обеспечивают газонепроницаемость. Масло поступает от основной масляной линии.

**4.4 Подогреватель выкипа**

Как правило, на борту имеется два подогревателя выкипа СПГ, которые расположены в компрессорном отделении. Подогрев осуществляется при помощи водяного пара. Подогреватели оболочного, трубочного типа. Они используются для следующих целей:

Подогрев пара СПГ, который доставляется ВП компрессорами и предназначен для подогрева грузовых танков перед дегазацией..

Подогрев инертного газа для операций по инертизации и подогрева танков при его помощи.

Подогрев выкипа СПГ для снабжения котлов или вентилирования в атмосферу через НП компрессоры(или свободное вентилирование).

При возврате подогретого пара в грузовой танк, его температура не должна превышать +85С, для избежания повреждения изоляции труб и клапанов безопасности.

Обычная температура для работы по подогреву парс СПГГ около +80С и около +50С для подогрева и инертизации танков. При вентилировании температура газа около +30С.

Сконденсированный водяной пар из подогревателя возвращается в дренажную систему через дренажный холодильник грузового пара и расширительный грузовой танк, который снабжен газоанализатором. Подогреватель также снабжен контролем выходного давления, максимальное 95кРа и минимальное 3кРа.

Необходимо строго соблюдать процедуры пуска и остановки подогревателя.

**4.5 Испаритель СПГ**

Испаритель СПГ применяется для испарения жидкого СПГ, для производства газа при продувке грузовых танков продуктным газом после инертизации, и поддержания давления в грузовых танках в процессе выгрузки, если невозможна его подача с берега.

Испаритель применяется и для первоначальной инертизации изоляционных пространств с помощью жидкого азота.

Он расположен в компрессорном отделении. Сигналы предусмотрены для температуры выходящего газа, высокого уровня и низкой температуры водного конденсата.

Испаритель СПГ используется в следующих случаях:

1. При выгрузке груза с установленной скоростью и отсутствии возврата пара с берега.
2. Если берег не в состоянии снабдить судно паром, СПГ подается на испаритель при помощи одного осушительного насоса или самотеком из жидкостной линии выгрузки. Пар выходящий из испарителя имеет температуру около -140С и поступает в грузовые танки по паровой линии. Давление пара в каждом грузовом танке обычно поддерживается на уровне 110кРа абс.(минимум 104кРа) во время вей выгрузки. Дополнительно пар генерируется путем распыления груза через верхние распылительные кольца.

Если противодавление в грузовой линии на берег не достаточное и не имеет минимум 300кРа на входе в испаритель, запускается осушительный насос.

1. Продувка грузовых танков паром после инертизации и перед охлаждением. СПГ подается с берега на испаритель через линию зачистки. Пар производится с температурой около +20С и затем поступает в грузовые танки.
2. Жидкий азот испаряется испарителем для инертизации грузовых танков и меж барьерного пространства.
3. СПГ испаритель может работать в ручном режиме (контроль потока), как форсированный испаритель при его неисправности.
4. Когда требуется значительный объем газа, а подогреватель выкипа не справляется.

Сконденсированный водяной пар из подогревателя возвращается в дренажную систему через дренажный холодильник грузового пара и расширительный грузовой танк, который снабжен газоанализатором.

Строго соблюдайте процедуры по работе с испарителем СПГ.

**4.6 Форсированный испаритель**

Форсированный испаритель (ФИ), используется для испарения СПГ и снабжения газом котлов, как топливом в дополнение к естественному выкипанию. Он расположен в компрессорном отделении.

ФИ используется для дополнения выкипевшего газа как топлива до 105% МСС.

СПГ подается насосом зачистки, а поток контролируется автоматически клапаном, который регулируется системой обеспечения работы котла.

Сигналы настроены на температуры выходящего газа, высокий уровень и низкую температуру водяного конденсата. ФИ снабжен системой контроля температуры для получения стабильной и постоянной температуры выходного газа в различных условиях работы. Этот процесс обеспечивается байпасной линией.

Повторное испарение используется для избежания попадания жидкости на выход из ФИ.

Это достигается при помощи:

1. Два вязанных сеточных фильтра в струе пара разбивают капли и создают необходимую турбулентность для рассеивания маленьких капель и превращения их в туман, а также смачивания проволочек сетки, действующих как испаряющая поверхность.
2. Два конических рассеивателя установлено в трубе. Они позволяю, случайно аккумулированной жидкости, быть направленной газовым потоком на дно трубы.

**4.6.1 Отделитель тумана (Demister)**

Сепаратор тумана используется в нижнем потоке ФИ для удаления влаги и предотвращения попадания жидкости в компрессор НП.

Обе трубы испарителя снабжены спиральными проволками для создания турбулентности, обеспечивая достаточную передачу теплоты и производство перегретого пара СПГ на выходе из труб.

Процесс контроля температуры на выходе осуществляется при помощи клапана контроля температуры и снабжен сигнализацией по температуре, - низкой и высокой.

Сконденсированный водяной пар из ФИ возвращается в дренажную систему через дренажный холодильник грузового пара и расширительный грузовой танк, который снабжен газоанализатором.

Строго соблюдайте процедуры при работе с форсированным испарителем.

**4.7 Вакуумные насосы**

Вакуумные насосы расположены в компрессорном отделении и используются для откачки атмосферы меж барьерных пространств в следующих с

1. Замена воздуха азотом для инертизации пространств.
2. Замена метана азотом для дегазирования перед докованием, если была утечка груза.
3. Проверка газонепроницаемости мембраны согласно графику ПТЭ и после ее ремонта.
4. При открытии танка

Вакуумные насосы приводятся в действие электромоторами, находящимися в электромоторном отделении через газонепроницаемую переборку. Два насоса используются в параллель для откачки из обоих пространств и уменьшения времени достижения давления в 20кРа.

Насосы охлаждаются пресной водой по вспомогательной системе пресной воды.

При неисправности или остановке вакуумных насосов, их перегревании или остановки охлаждения, - необходимо время для их охлаждения перед повторным стартом.

Необходим строгий контроль за разницей давлений в меж барьерных пространствах. Она не должна превышать 3кРа! В противном случае возможно повреждение мембраны.

Откачка атмосферы производится через вентиляционную мачту.

Вакуумный насос остановится, если уровень масла в танке или его проток ниже нормы, температура нагнетания высока или давление всасывания низкое.

**4.8 Система передачи груза**

**4.8.1 Система Фоксборо**

СПГ покупается и продается по его энергетической емкости, обычно выраженной в Btu’s чем по объему или весу. Однако, в настоящее время нет практических инструментов (методов) позволяющих определить чистую энергетическую емкость переданную во время погрузки и выгрузки. Таки образом, в настоящий момент, эта величина определяется частично измерениями, а частично анализами подсчета груза при помощи следующей формулы:

VTsPvHv

Всего передано энергии Q = VdHL - -------------

TvPs

Где:

V = объем груза погруженный или выгруженный при средней температуре TL (м3)

d = плотность груза при средней температуре TL (кг/м3)

HL= общая тепловая ценность груза (Btu/kg)

Ts=стандартная температура (15.6С)

Tv=средняя температура пара в танке (С)

TL=средняя температура жидкости в танке (С)

Pv=абсолютное давление пара в танке (М+А) кРа

Ps=стандартное давление (101.3кРа)

Hv=общая тепловая ценность пара при 15.6С и 101.3кРа (Btu/m3). Эта ценность подразумевается как константа 36,000 Btu/m3 на основании чистого метана (MLNG использует Btu/scf)

В установлении стоимости груза, погруженного на, и выгруженного с судна- обязанность судна лимитирована замерами и подсчетами следующих параметров, - V, Tv, Pv. Эти замеры и подсчеты делаются судовыми и береговыми представителями и заверяются независимым сюрвейером. Параметры HL и d определяются на берегу в портах погрузки и выгрузки и эти расчеты производятся продавцом и покупателем.

Количество доставленного груза выражается в MMBtu или тоннах.

**4.8.2 Замеры груза**

Система передачи груза Фоксборо СТ-IV дает высокую точность замеров и данные по регистрации уровней, температур и давлений, требуемых при подсчете общего количество погруженного и выгруженного СПГ.

Все необходимые замеры выведены на видео мониторы. Система автоматически сканирует и печатает выбранные параметры. В дополнение, параметры конвертируются в объемные и весовые данные, корректируемые автоматически или вручную дифферентом и креном судна. Система позволяет вводить вручную плотность груза из архива (более 10 вариантов).

Замеры производятся перед, и после погрузки и выгрузки. Во время замеров все грузовые системы должны быть остановлены, а береговое соединение отдано или изолировано. Ни каких балластных операций во время замеров. Если возможно, судно должно быть на ровном киле и без крена. Однако, возможно измерение при небольшом дифференте, данные о котором вводятся автоматически или вручную. Система автоматически корректирует расчеты с учетом этого дифферента, но можно подсчитать и по таблицам вручную.

Все данные выводятся на принтер.

**4.8.3 Измерение уровня**

Система замера уровня состоит из колонны разветвленных емкостных датчиков установленной в танке, и она распространена по всей глубине танка, где должны быть сделаны измерения.

Она может быть установлена вдоль колонны аварийного грузового насоса в каждом танке.

Верх площадки поддержки датчиков уровня расположен в 40 мм +/- 1.0 мм. От дна танка. Но минимальный измеряемый уровень 26 мм от дна танка из-за фланцевого эффекта.

Уровень жидкости определяется измерением электрической емкости сегмента датчика погруженного в жидкость.

Емкость этого сегмента сравнивается с емкостью соответствующего сегмента расположенного ниже уровня жидкости. Отношение этих двух измерений ведет к точному определению уровня жидкости и не зависит от свойств жидкости таких как, - диэлектрическая константа, температура и плотность. Система управляется сигналом постоянного тока с приемом сигналов с каждого сегмента через PTFE коаксиальные кабеля.

Эта система калибруется специальной подсистемой, называемой ON-LINE Validation системой. Погрешность системы +/- 7.5 мм на всю высоту танка. Минимальное деление на экране, - 1мм.

При отказе системы может быть использовано обычное поплавковое устройство, если получено одобрение берега. Разрешение у поплавкового устройства такое ж, как и у электронной системы. Оно должно быть поднято и заблокировано все время, за исключением снятия замера. Общее количество кубических метров груза в танках до и после погрузки\выгрузки определяется по среднему снятому уровню. Этот объем корректируется по крену, дифференту, объему, давлению пара и груза и температурой пара.

**4.8.4 Измерение температуры**

Измерение температуры производится платиновыми датчиками обеспечивающими точность измерения +/- 0.2С в пределах от -165С до -145С, +/- 0.3С до -120С и +/- 1.5С до +80С. Данные выведены на дисплее, с разрешением 0.01С. Установлены 6 активных и 6 запасных датчиков на каждый танк. Показания их записываются на дисплее и принтере.

Определение нахождения датчика в жидкости или паре проводится по показаниям уровня жидкости. Принято считать, что разница в 3С от температуры жидкости, указывает, что термометр находится в паре. Разница в температурах жидкости обычно варьирует в пределах десятых градуса, а пара значительно больше.

**4.8.5 Система сигнала очень высокого уровня груза**

Две независимых системы ОВУ расположены в каждом танке.

Первая система установлена на 98.5 % объема танка и при ее активации включается система защиты танка и закрывается клапан заполнения танка.

Вторая система установлена на 99 % заполнения танка и при ее активации включается САО, закрываются манифолды и т.д.

Система также позволяет тестировать эти уровни при помощи специального устройства.

Имеется возможность отключения этих сигналов во время морского перехода.

Сюрвейер также производит следующие замеры по танкам:

А – Расстояние от кормовой переборки каждого танка до мерительного устройства.

В – Расстояние до ДП судна (левый, правый борт).

С – Минимальный измеряемый уровень жидкости в танке.

При выходе из строя компьютера снять замеры можно с цифровых панелей датчиков температуры и уровня на танке или использовать поплавковое устройство. Расчет объема производится вручную.

**4.8.6 Поплавковая система замера уровня груза**

Обычная система, используемая на большинстве газовозов (HSH система).

**4.8.7 Индикатор крена – дифферента**

Индикатор устанавливают в помещении электрооборудования с индикаторами в ПУГО и на мостике. Принцип измерения основан на сдвиге массы расположенной в центре датчика в зависимости от крена и дифферента судна. Датчик расположен на палубе и закрыт деревянным покрытием.

Система не дает точных измерений на ходу, так как время измерения 0.5 секунды в спокойном положении. При стоянке в порту, замеры должны проверятся регулярно визуальным снятием осадки.

**4.9 Система производства азота**

Два генератора азота расположены в МО и производимый ими азот используется для заполнения меж барьерного пространства, газового затвора для компрессоров ВП и НП, тушения пожара в вентиляционной мачте и для продувки систему топливного газа и других частей трубопроводов.

Каждый генератор производит 120 м3/ч азота. Принцип действия генератора основан на разделении воздуха на азот и кислород после прохождения полых, волокнистых мембран. Кислород вентилируется в атмосферу, а азот закачивается в буферный танк емкостью 20 – 30 м3.

Генераторы азота состоят из винтового компрессора, охлаждаемого пресной водой, одно ступенчатым сепаратором воздух/вода, трех воздушных фильтров расположенных последовательно, небольшого электрического подогревателя, - все до входа воздуха в мембранный узел. После мембраны находится датчик кислорода, и если содержание кислорода превышает 1 % выходит сигнал, а при 3-4 %, поток сбрасывается в атмосферу автоматически, а клапан на буферный танк закрывается.

Мембранный узел снабжен контрольным клапаном противодавления, который расположен после измерителя протока, для поддержания постоянного давления в мембранном узле. Работа азотного генератора осуществляется автоматически и управляется на месте или из ПУГО через ОАС.

**4.10 Система производства инертного газа и сухого воздуха**

Система производства инертного газа и сухого воздуха расположена в МО и управляется с места. Принцип действия системы основан на сжигании низко сернистого газойля с последующим охлаждением топочного газа морской водой и одновременным вымыванием некоторых окислов серы и углерода. Далее газ осушается при помощи холодильники и на финальной стадии осушается при помощи селикогеля. Постоянный контроль содержания кислорода, величина которого не должна превышать 1%, и точкой росы – 45С, осуществляется автоматически, и данные выводятся на дисплей в ПУГО через ОАС. Состав инертного газа при отсутствии сажи:

|  |  |
| --- | --- |
| **Компонент** | **Содержание** |
| **Кислород** | **Не более 0.5 %** |
| **Угарный газ** | **Не более 100 ppm** |
| **Окислы серы** | **Не более 2 ppm** |
| **Окислы азота** | **Не более 65 ppm** |
| **Углекислый газ** | **Около 14 %** |
| **Азот** | **Около 85 %** |

Производство сухого воздуха осуществляется в том же объеме, только без сжигания топлива, замера кислорода. Сигнал по кислороду заблокирован.

**4.11 Система обнаружения газа**

На борту устанавливаются две системы обнаружения газа. Первая, - инфракрасная систем покрывает все грузовую зону, линии выкипа и линии инертного газа. Вторая, - система каталитического сжигания, - покрывает МО, надстройку и полубак.

**4.11.1 Инфракрасная система газового анализа**

Принцип первой системы основан на способности поглощения инфракрасного излучения метаном. Эта система берет пробы (смеси метана и азота) как в грузовой зоне, так и в меж барьерных пространствах. Для обеспечения уверенности взятия пробы, каждая линия пробы имеет двух сторонние соленоиды, которые последовательно управляются специальным контроллером. Одна из линий соединена с основным насосом №1, в то время как вторая линия соединена с постоянно работающим насосом №2 на обводном манифолде. Насос обводной линии направляет не анализируемые пробы в атмосферу, в то время как основной насос направляет пробы в анализатор, перед тем, как выпустить в атмосферу. При анализе пробы с каждой точки зажигается индикаторная лампочка. Каждая точка анализируется приблизительно через 60 секунд.

Метан имеет четкий диапазон поглощения инфракрасного излучения, поэтому при сравнении пробы газа с соответствующей пробой воздуха, разница в выходном сигнале из инфракрасного датчика будет пропорциональна концентрации газа. При достижении концентрации метана 30 % НПВ, за исключением первого меж барьерного пространства, где предел 30 % от объема, - звуковой и световой сигнал укажет соответствующую точку взятия пробы. Сигнал выйдет в ПУГО, на ОАС, мостике, пожарной станции и ЦПУ.

Туннель линии выкипа постоянно контролируется своим собственным анализатором. Сигнал выходит при 30 % НПВ, а при концентрации 60 % НПВ в двойной трубе подачи топлива на котел и в отделении выкипа, - главный клапан подачи газового топлива закрывается.

Ноль газового анализатора проверяется ежедневно, а проверка спан газом, - еженедельно.

**14.11.2 Система газового анализа каталитического сжигания**

Система постоянно контролирует атмосферу в точках, где расположены датчики и способна обнаруживать любой воспламеняющийся газ. Датчики расположены в местах наиболее вероятного скопления газа. Датчики обеспечивают выходной электрический сигнал пропорциональный концентрации обнаруженного газа. Звуковой и световой сигнал выходит в ПУГО, ЦПУ, Пожарной станции и на мостике. Все датчики активируют сигнал при концентрации газа 30 % НПВ, а при 60 % НПВ в отделении кондиционера, вентиляторы автоматически останавливаются.

**4.12 Система аварийной остановки и защиты грузовых танков**

В случае пожара или другой аварийной ситуации вся грузовая система, газовые компрессоры и главный клапан выкипа в МО могут быть закрыты одним нажатием кнопки или автоматически во время пожара или других неординарных условиях.

Система аварийного соединения с берегом требуется SIGTTO.

Имеется три соединения САО с берегом, - электрическое, оптическое и пневматическое.

В ПУГО имеется переключатели выбора соединения САО с берегом. Переключатель тестирования САО имеет три положения, - тест, выключен, блокирован. При тестировании САО главный клапан топливного газа и компрессор НП не выключаются.

Переключатель погрузка/выгрузка предназначен для избежания гидравлических ударов при соответствующих операциях.

В ПУГО также имеется кнопка восстановления (RESET) САО после ее активации.

Как правило, в ПУГО имеется световая индикация отключения системы защиты танков, по лампочке на один танк и одна лампочка индикации отключения САО.

Автоматическая остановка происходит при следующих условиях:

1. Давление пара в основной линии менее 0.3кРа абс.
2. Давление пара в основной линии равно давлению линии первого меж барьерного пространства.
3. Давление каждого танка упало в пределах 0.5кРа от давления первого меж барьерного пространства (система защиты танка).
4. Давление каждого танка равно давлению первого меж барьерного пространства (система защиты танка).
5. Низкое давление гидравлики для системы контроля грузовых клапанов.
6. Низкое давление контрольного воздуха для пульта управления САО.
7. Обесточивание судна.
8. Уровень жидкости в танке 99 %.
9. Пожар
10. Сигнал АО с берега.

**Перед блокированием сигнала определите его причину!**

**Перед блокированием сигнала закройте все клапана распределителя (кроссовера).**

**Используйте разблокирование только в случае абсолютной необходимости!**

**После ликвидации аварийных условий, немедленно восстановите работу АСО!**

**4.12.1 Соединения САО судно – берег**

Эти соединения минимизирует последствия инцидента или возникших чрезвычайных условий. Они позволяют остановить процесс с минимальным разливом СПГ. Это уменьшает риск повреждения причала, судна и образования огнеопасного пара.

Как только судно и берег соединены грузовой линией, их САО также должны быть соединены.

Это поможет избежать:

1. Повреждения от чрезмерного гидравлического давления на соединение грузового стендера при закрытии клапана
2. Переполнения судовых или береговых грузовых танков
3. Риска повреждения или разлива из-за движения судна по отношению к причалу.

В дополнение к этому соединению, должен быть установлен телефон.

Электрическое соединение используется на 30 % СПГ терминалах и соответствует требованиям терминалов Атлантического бассейна и Среднего востока.

Оно состоит из:

1. 4 телефонных каналов и одного судно-берег
2. Без вольтовых сигнальных контактов судно – берег САО
3. Дополнительных судно – берег сигналов САО, как требуется в некоторых портах США

Имеется 4 конечный соединитель заземления, но он противоречит требования OCIMF и SIGTTO, но иногда требуется терминалами.

Все оборудование должно быть взрывобезопасным и соответствовать требования IEC-945 для судового оборудования, и июльским 1987 года рекомендациям SIGTTO.

Оптическое соединение обеспечивает два телефонных канала, два канала САО и два запасных канала.

Телефон «горячая линия» обязательно должен быть установлен. Как правило, он имеет только две кнопки, - Вызов и Сигнал.

Пневматическая система состоит из двух быстро соединяющихся концов типа «папа – мама». Она закрывает грузовые клапана, стравливая давление воздуха.

**4.12.2 Система контроля нагрузки швартовых соединений**

Обычно она состоит из ноутбука или обычного компьютера (Пентиум 111-500 или лучше)

Который показывает статус и величину нагрузки всех береговых датчиков.

Соединение идет через модем или другое имеющееся на берегу соединение.

Эта система установлена в таких портах, как Пьонг Тек, Инчхон, Оман, Бинтулу, Арун, Катар, Бонтанг и на большинстве метановых терминалах в Японии.

**4.13 Система предохранительных клапанов**

Каждый грузовой танк оборудован двумя давление/вакуум предохранительными клапанами (ПК). Согласно МГК. Меж барьерные пространства также оборудованы двумя ПК каждое и на каждом грузовом танке.

Эти ПК сделаны специально для работы на судне перевозящем СПГ.

**4.13.1 Система предохранительных клапанов на грузовых танках**

Они расположены на паровом куполе каждого танка. Предохранительные клапана сделаны PORV- типа (pilot operated relief valve). Все работы и установки ПК должны выполнятся строгом соответствии с инструкцией изготовителя.

Очень важно регулярно проверять вентиляционную мачту на предмет наличия воды, так как проникновение воды в ПК может изменить их установочное давление. При наличии воды ее нужно дренировать.

**4.13.2 Система предохранительных клапанов в пространстве первичной и вторичной изоляции**

Все ПК меж барьерных пространств сделаны PORV типа. Линии обнаружения газа выходит из под низа ПК, - одна из первичного, другая из вторичного барьеров каждого танка, и направляется в блок газового анализатора, давая постоянную информацию о состоянии атмосферы. Выход из ПК первичного пространства ведет в отдельную вентиляционную линию, которая проходит вдоль соответствующей вентиляционной мачты. Это сделано для предотвращения любого противодавления или обратного потока из главной мачты при открытии ПК на танках или подачи азота.

Очень важно регулярно проверять вентиляционную линию на предмет наличия воды, так как проникновение воды в ПК может изменить их установочное давление. При наличии воды ее нужно дренировать.

Линия от ПК вторичного пространства выходит прямо на палубу через направленную вниз хвостовую трубу. Это сделано потому, что попадание пара туда маловероятно.

Все работы и установки ПК должны выполнятся строгом соответствии с инструкцией изготовителя.

**4.13.3 Система ПК на трубопроводах**

Каждая секция грузовых труб, за исключением паровой линии, которая должна быть изолирована двумя клапанами, имеет ПК. Линии ПК манифолда, грузового отделения и грузовых танков № 3 и № 4 ведут в мачты № 3,4. Линии ПК грузовых танков №1 и № 2 ведут в мачты № 1 и № 2.

**5. Вспомогательные системы**

* 1. **Система контроля температуры**

Оборудование по контролю температур вторичного барьера и внутреннего корпуса расположены в ПУГО и подается сигнал в случае нарушения изоляции или протечки первичного изоляционного барьера. Датчики установлены во вторичном пространстве и вдоль внутреннего корпуса в каждом грузовом танке, с пределами измерения от – 200С до + 100С. Некоторые датчики, установленные во вторичном пространстве парные, - один работает, а другой находится в состоянии готовности. При выходе из строя одного датчик, вручную включается второй. Кабельное подсоединение датчиков, также может быть двойным.

Сигнал тревоги выходит от датчиков вторичного пространства при температуре -120С.

Для внутреннего корпуса сигнал выходит при 0С.

**5.2 Система подачи и контроля азота в первичную и вторичную систему изоляции**

Азот, произведенный азотным генератором и хранящийся в буферном танке, подается через трубопровод в меж барьерные пространства. Избыток азота выпускается через ПК в азотную мачту №2. Оба пространства имеют ПК с установкой давления на 0.1кРа выше атмосферного. Также предусмотрен ручной обход при помощи шарового клапана для местной вентиляции и чистки пространства, если есть такая необходимость.

Система полностью автоматизирована, и следующие сигналы выходят на дисплей:

1. Давление азота в буферном танке
2. Содержание кислорода
3. Точка росы
4. Температура подогревателя

**5.3 Система подогрева коффердамов**

**5.3.1 Подогреватель гликоля и** **система подогрева коффердама**

Система подогревает гликоль, который прокачивается по системе внутри коффердама для поддержания температуры в грузу около +5С. Неисправности в системе подогрева коффердамов при нахождении судна в грузу, должно приниматься, как серьезное и ремонт должен быть сделан немедленно. Для контроля температуры в коффердамах имеется температурный датчик, который подает сигнал , если температура падает ниже +5С.

Конденсат из коффердама откачивается льяльным насосом. Дополнительная система проведена вокруг каждого жидкостного купола и входящих в коффердам трубопроводов.

Клапана этой системы (ДАБК) должны быть готовы к суровым условиям зимы и наличию СПГ в первичном пространстве.

В аварийном случае, когда СПГ находится в первичном пространстве, плавающий картридж с пружиной, должны быть удалены из динамического автоматического балансировочного клапана для увеличении протока гликоля до максимального.

Система состоит из:

1. 2-х центробежных насосов
2. 2-х пароподогревателей
3. 1-го электрического подогревателя, находящегося в готовности
4. Расширительного танка
5. Танка хранения гликоля
6. Танка для смешивания
7. Пневматического насоса для снятия избытка гликоля в расширительном танке

Необходимо строго соблюдать процедуры наполнения и запуска системы.

**5.3.2 Вентиляция трюмов**

Балластные танки, коффердамы и другие пространства должны регулярно инспектироваться, на предмет обнаружения холодных пятен, состояния трубопроводов, соединений, клапанов и покраски. В общем случае рекомендуется осмотр одного коффердама в месяц. Все пространства должны быть провентилированы перед входом.

Судно должно быт оборудовано системой вентиляции этих закрытых помещений. Все процедуры по входу в закрытое помещение должны быть выполнены и получено разрешение на вход в него.

**6. Грузовые операции.**

**6.1 Заполнение азотом первичного и вторичного пространств изоляции**

**6.1.1 Инертизация пространств первичной и вторичной изоляции**

Первое и второе изоляционное пространство заполняется сухим азотом и автоматически управляется при помощи предохранительного клапана и клапана наполнения, в зависимости от атмосферного давления и температуры, в пределах 0.2 – 0.4кРа выше атмосферного.

Сухой азот используется в следующих целях:

1. Предотвращение формирования огнеопасной смеси в случае утечки СПГ
2. Облегчить обнаружение утечки СПГ в барьерное пространство
3. Предотвратить коррозию.

Азотный генератор работает в автоматическом режиме и при остановке его, автоматически запускается второй генератор.

В случае, когда другие нужды уменьшат поступление азота в изоляционные пространства, давление может временно упасть ниже атмосферного. Это не опасно, так как разница в давлениях первого и второго пространства не превысит 3.0кРа.

**Когда понижение давления в первом пространстве по отношению ко второму достигнет 3.0кРа, оба пространства должны быть немедленно сообщены, и это делается вручную.**

При соединении пространств и одинаковом давлении, оба пространства могут выдержать значительное понижение давления без повреждений.

Даже при полностью погруженных танках, и давлении в первом пространстве, менее атмосферного давления , - не опасно для первичной мембраны, так как допустимый вакуум -80кРа манометрический, делается при общем тестировании во время строительства и при продувке пространств.

**6.1.2 Проверка во время эксплуатации**

Классификационные общества требуют, чтобы мембранные танки проверялись регулярно.

Следующие рекомендации и предосторожности необходимо выполнять при тестировании первичной и вторичной мембраны.

Все измерительные устройства, которые могут быть повреждены, должны быть изолированы перед тестом. Барьерное пространство должно быть постоянно защищено от превышения давления, которое может привести к повреждению мембраны.

**6.1.3 Метод проверки надежности барьеров**

Каждое меж барьерное пространство оборудовано системой обнаружения газа, которое проводится в интервале 30 минут. Любое повышение концентрации газа при постоянной скорости подачи азота, свидетельствует о повреждении первичной мембраны. Это говорит о том, что эффективность первичной мембраны находится под постоянным контролем, и нет необходимости проводить специальный тест. Тем не менее, каждая первая мембрана может быть проверена методом, который применяется для второй мембраны.

Для проверки эффективности второй мембраны, проводится общая проверка непроницаемости, которая повторяет эквивалентный тес, выполняемый при постройке судна.

**6.1.4 Процедура теста**

1. Уменьшите давление в меж барьерном пространстве позади мембраны, которая должна быть проверена, до 20кРа абс.
2. После стабилизационного периода, около 8 часов, замеряйте при помощи высокоточного устройства изменение вакуума в течении 24 часов.
3. Из полученных результатов, выберете 10 последовательных часов, в течении которых изменение температуры вокруг тестируемой мембраны минимальны.
4. Допустимый предел изменения вакуума в пространстве определяется по формуле

**(Р2-Р1) / е < 0.8**

**где е** = ширина пространства в метрах позади мембраны.

**6.1.5 Общий тест во время эксплуатации**

Общий тест делается либо во время профилактики, либо когда грузовые танки подогреты и свободны от газа.

Для избежания сомнительных результатов, возникающих из-за утечки из оборудования соединенного с меж барьерными пространствами, то есть клапана, предохранительные клапана и т.д., их воздействие должно быть тщательно проверено и при необходимости они должны быть отсоединены, а отверстия закрыты заглушками, чтобы защитить пространства от любого давления.

**6.1.6 Проверка второй мембраны**

1. Давление во втором пространстве уменьшаем до 20кРа, а в первом пространстве делаем небольшой вакуум -10кРа

При таких условиях вторая мембрана с одной стороны подвержена влиянию атмосферного давления в первом пространстве, с другой стороны пониженному давлению со стороны второго пространства.

1. Замеры изменения вакуума выполните по процедуре проверки второй мембраны 2,3,4.

Несмотря на предосторожности для предотвращения утечек из оборудования, очень важно проверить, а изменение вакуума второго пространства (ИДВП), соответствует уменьшению давления в первом пространстве (ИДПП)? Если нет, то возможна внешняя протечка, которая должна быть обнаружена и отремонтирована до следующего теста.

При сравнивании ИДВП и ИДПП необходимо принимать во внимание объемы этих пространств.

ИДПП = (ИДВП х Шв) / Шп

Где:

ИДПП = изменение давления в первом пространстве

ИДВП = изменение давления во втором пространстве

Шв = ширина второго пространства

Шп = ширина первого пространства

**6.1.7 Процедура проверки первой мембраны**

1. Давление первого и второго барьерного пространства уменьшить до 20кРа одновременно при их соединении, для избежания разрушения второй мембраны из-за более высокого давления , чем в первом пространстве.
2. Изолировать обо пространства и выполнить процедуру изменения вакуума только в первом пространстве. Использовать метод для проверки второй мембраны пункты 2,3,4.

При этих условиях, первая мембрана подпирается с одной стороны атмосферным давлением, существующим в грузовом танке, а с другой стороны уменьшенным давлением в первом пространстве.

Если обе стороны второй мембраны в одинаковом давлении, то не будет никакого потока через прокол в мембране, поэтому измеренное изменение вакуума покажет проницаемость только первой мембраны.

Изменение температуры или барометрического давления может привести превышению допустимой разницы 3.0кРа давлений в изоляционных пространствах, если они заглушены. При неисправностях грузовой системы и при инертизации, всегда поддерживайте давление в первом пространстве равным или ниже давления в танке и всегда поддерживайте давление во втором пространстве равным или меньше давления первого пространства. Серьезные повреждения мембран могут произойти, если разница в давлениях превысит 3.0кРа.

**6.2 Операции при вводе в эксплуатацию**

**6.2.1 Первоначальная инертизация пространств изоляции**

После постройки или докования, необходимо заменить влажный воздух окружающей среды в изоляционных пространствах сухим азотом. Это достигается при помощи вакуумных насосов, которые зачищают меж барьерные пространства. Затем они заполняются азотом, до тех пор, пока содержание кислорода не станет менее 2 %. Эта процедура занимает около 8 часов, и требуется приблизительно 3 цикла откачки – заполнения.

Для избежания повреждения второго барьера, никогда не зачищайте первое меж барьерное пространство, при наличии давления во втором пространстве, и никогда не заполняйте второе пространство азотом, если первое пространство под вакуумом.

Перед наполнением азотом, пространство откачивается до 20кРа абс. Эта процедура может также использоваться для проверки целостности барьеров во время периодического теста.

Для первоначального заполнения использование жидкого азота с берега. В этом случае, жидкий азот подается через жидкостной манифолд, а затем, по зачистной линии на испаритель СПГ, где он испаряется и, с температурой около +20С, поступает в меж барьерные пространства.

В этом случае судовые генераторы азота не используются, так как требуется большое количество азота.

**6.2.2 Осушение танков**

Перед вводом в эксплуатацию, после докования или инспекции, грузовые танки должны быть осушены. Это делается для того, чтобы избежать формирования льда при охлаждении, а также избежать образования агрессивных веществ, в случае если влага соединится с некоторыми компонентами инертного газа, такими как окислы серы и азота.

Осушка танков производится сухим воздухом, который производит установка инертного газа без процесса сжигания топлива. Сухой воздух подается по грузовой линии на низ танка. Воздух выходит через паровую линию на вентиляционную мачту.

Эта операция может занять около 20 – 24 часов для уменьшения точки росы до – 20С.

Эта температура поможет избежать формирования агрессивных агентов.

**6.2.3 Процедура инертизации танков**

Инертный газ, с содержание кислорода менее 1 % и точкой росы -45С производится установкой инертного газа. Колодцы аварийных насосов должны быть продуты азотом пред инертизацией грузовых танков. Обязательно нужно инертизировать все жидкостные и паровые линии. Если этого нельзя сделать при помощи ИГ, то они должны быть продуты азотом. В ожидании продувки метаном, грузовые танки могут находиться под инертным газом довольно продолжительное время. Необходимо поддерживать небольшое избыточное давление внутри танков около 2кРа выше атмосферного, а для избежания утечки держать все клапана закрытыми.

Необходимо помнить, что инертный газ и азот приводят к удушью. Безопасность персонала вовлеченного, в процедуры инертизации должна быть обеспечена тщательным образом.

**6.2.4 Заполнение грузовых танков природным газом**

Перед погрузкой, необходимо произвести замену инертного газа на метан, так как при охлаждении, углекислый газ, входящий в состав инертного газа замерзает при температуре -60С и образует белый порошок, который забивает форсунки, клапана и фильтры.

Во время продувки инертный газ замещается теплым газообразным метаном. Это делается для того, чтобы удалить все замерзающие газы и закончить процесс осушки танков.

СПГ подается с берега через жидкостной манифолд, где он поступает в зачистную линию. После чего он подается на испаритель СПГ и газообразный метан при температуре +20С

Поступает по паровой линии нВ верх грузовых танков.

В начале операции, трубопроводы и испаритель заперты паром, и пока жидкость достигнет испарителя, можно использовать распылительную линию и распылять пар в танк.

Пар СПГ легче инертного газа, который выходит через грузовую линию на вентиляционную мачту.

Когда 5% метана (процент зависит от конкретного порта) определится на входе в мачту, выходящий газ направляется через компрессоры ВП на берег или на котлы через линию сжигания газа.

Эта операция может быть проведена без компрессоров, - вопрос противодавления, или при помощи одного компрессора или двух в серии. Если возможно, лучше не использовать компрессоры, так как это создает турбулентность в грузовых танках.

Операция считается завершенной, когда содержание метана, замеренное на верху грузовой линии, превысит 80 % от объема.

Необходимые концентрации для азота и инертного газа СО2 равны или менее чем 1 %.по объему. Эти требования должны быть сравнены и согласованы с требованиями берега. Такая концентрация, как правило, достигается двумя обменами.

После заполнения метаном, грузовые танки необходимо охладить.

Возможны случаи, когда необходимо произвести заполнение одного или двух грузовых танков во время перехода. В этом случае, жидкость подается на испаритель СПГ при помощи насоса зачистки, который откатывает часть жидкости из другого грузового танка.

Местные правила могут запретить вентиляцию в атмосферу, и потребовать, чтобы весь газ поступал на береговые устройства.

**6.2.5 Охлаждение грузовых танков**

Операция охлаждения начинается сразу же после операции заполнения метаном. Для этого использует СПГ подаваемый с берега.

Скорость охлаждения ограничивается по следующим причинам:

Для избежания чрезмерных нагрузок на башни насосов

Образование пара не должно превышать способность компрессоров ВП поддерживать давление в танках 7кРа (108.5кРа абс.).

Соответствовать способности системы азота поддерживать необходимое давление в первом и втором меж барьерных пространствах.

Если не указано иначе, конструкция таких танков не является большим препятствием для скорости охлаждения по вертикальному термальному расширению.

Жидкость поступает через грузовой манифолд на линию распыла, и затем в грузовые танки. Как только охлаждение танков закончено, жидкость переключается на грузовую линию для ее охлаждения. Охлаждение танков считается законченным, когда средняя температура, за исключением двух верхних датчиков, каждого танка достигает – 130С или ниже.

При достижении этой температуры и наличии уровня жидкости в танке, начинается погрузка.

Пар, образующийся во время охлаждения возвращается на берег при помощи компрессоров ВП или самотеком через паровой манифолд.

Во время охлаждения, подача азота в меж барьерные пространства увеличивается. Необходимо поддерживать скорость охлаждения такой, чтобы азотная система справлялась с удержанием давления в изоляционных пространствах между 0.2 – 0.4кРа.

По окончанию охлаждения и в начале погрузки, температура мембраны будет равной температуре жидкости и потребуется несколько часов для установления градиентов скорости охлаждения меж барьерных пространств.

Охлаждение грузовых танков от +40С до -130С за период чуть больше 10 часов потребует испарения около 800 м3 СПГ. При средней скорости охлаждения танка 30С в час за первые 4 часа, это будет соответствовать средней скорости охлаждения 12С – 13С в час для второго барьера и даст приблизительно через 8 часов температуру – 80С.

Рекомендуемая скорость охлаждения около 20С в час первые пять часов и 10С – 15С ы последующие часы.

**6.3 Балластный переход**

Характеристики танков Газ Транспорт таковы, что при наличии небольшого количества жидкости внизу, температура вверху танка остается довольно долго около -50С. Однако, если балластный переход слишком долгий, легкие фракции испаряются , а на дне остаются только тяжелые фракции нефтяных газов с высокой температурой и большой плотностью, которая затрудняет откатку. Этот факт оператор должен принимать во внимание, оставляя жидкость на длинном переходе.

По характеристикам мембраны, погрузку можно начинать теоретически и без охлаждения. Однако для уменьшения парообразования термального стресса тяжелым конструкциям, таким как башня насоса, погрузка начинается только при охлажденных танках.

**6.3.1 Сохранение охлажденных танков во время балластного перехода**

Различные методы используются для сохранения холода

А) Для коротких рейсов достаточное количество СПГ оставляется в танках на коней выгрузки. Уровень не должен превышать 10 % от длины танка и количество может быть подсчитана, принимая во внимание выкипание со скоростью приблизительно 45 % выкипания во время перехода в грузу и прибытием в порт погрузки с минимальным уровнем жидкости во всем танке 10 см. на ровном киле.

**Требование СПГ терминала.**

**Требуемая температура прибытия (ТТП) = (Сумма 4 темп. за исключение 2 верхних)/4 < -130C.**

При более высокой температуре необходимо охлаждение у причала.

В) Три следующих метода возможны и их выбор будет зависеть от состояния судна.

1. Охлаждение танков производится при помощи СПГ, подаваемого с берега.
2. Охлаждение танков непосредственно перед приходом в порт. Так как после выгрузки остался груз в одном из танков, подразумевая, что он не превышает 10 % от длины судна (из-за плескания груза). Количество его согласно условиям пункта А.
3. Поддержание температуры танков периодическим разбрызгиванием остатка СПГ во время рейса так, чтобы средняя температура на приход была не более -130С. Как и в предыдущем случае, остаток СПГ держится в одном из танков, а его количество удовлетворяет условиям пункта А.

Очевидно, что эта система производит гораздо большее количество выкипа, чем первая.

Количество СПГ , оставляемого на борту для охлаждения должно быть тщательно подсчитано и с запасом, для избежания ситуации в середине рейса, когда остатки будут слишком тяжелыми для насосов.

Экономия бункера, является важным показателем в работе любого судна. Только в тесном сотрудничестве и взаимодействии всех членов команды управления можно достичь того, чтобы как можно больше выкипевшего СПГ было использовано в судовых котлах, тем самым, сэкономив топливо.

Если задержка в порту погрузки увеличивается, то остаток груза будет постепенно уменьшаться, и газа для котлов будет становиться все меньше и меньше.

Сжигание должно быть остановлено, так как давление в танке будет уменьшаться, а температура расти. Степень естественного выкипания зависит от временного фактора, рейса и погоды.

Из-за разности в энергоемкости мазута и газа, нагрузка машины при смене топлива, должна строго контролироваться для избежания перегруза котлов.

После ремонта, первый балластный переход будет происходить только на мазуте.

Обычно, для судов СПГ с танками мембранного типа, охлаждение грузовой линии не требуется. Но оператор должен всегда следовать указаниям, полученным от продавца и покупателя.

**6.3.2 Плескание груза**

Исходя из предыдущего опыта, модельных испытаний и компьютерного анализа, современные танки Газ Транспорт сконструированы с минимальным риском плескания груза. Судовые танки сконструированы так, чтобы ограничить силу удара жидкости. Они также обладают значительным запасом прочности. Тем не менее, экипаж должен всегда помнить о потенциальном риске плескания груза и возможных повреждений танка и оборудования в нем.

Для избежания плескания груза, необходимо поддерживать нижний уровень жидкости не более 10 % от длины танка, а верхний уровень не менее 70 % от высоты танка.

Следующая мера для ограничения плескания груза, это ограничить движение судна (качка) и те условия, которые генерируют плескание. Амплитуда плескания зависит от состояния моря, крена и скорости судна.

**6.3.3 Смена балласта**

Смена балласта должна проходить строго в соответствии с Планом управления балластом и в строго определенной последовательности. Все требования конвенции по балластным водам должны соблюдаться. Необходимо документировать все операции с балластом и эти записи должны быть равноценны как в машинном журнале, в журнале операций с балластом, так и в судовом журнале.

**6.4 Погрузка**

**6.4.1 Подготовка к погрузке**

Все операции по погрузке груза контролируются и осуществляются из ПУГО. Погрузка груза и одновременная отдача балласта осуществляются совместно при выполнении следующих условий:

1. Грузовые танки заполняются с одинаковой скоростью
2. Крен и дифферент контролируются балластными танками
3. Загрузка танков осуществляется до уровней указанных в грузовых таблицах
4. Во время окончания погрузки, судно должно иметь дифферент не более 1 метра на корму, но если возможно, - ровный киль.
5. Во время погрузки судно может быть отдифферентовано до максимально разрешенной терминалом осадки для облегчения отдачи балласта.
6. Продольная прочность и остойчивость судна, определяемые грузовым компьютером, должны все время находится в безопасных пределах.

Помощник, отвечающий за грузовые операции, должен находиться в ПУГО во время грузовых операций. Вахта на палубе требуется для обычных проверок и/или в случае аварийной ситуации, которая выполняется во время грузовых операций. Постоянная связь между терминалом и ПУГО должна быть установлена во время всей операции.

Все время, когда судно загружено СПГ и особенно во время грузовых операций требуется следующее:

1. Система поддержания давления в меж барьерных пространствах должна быть в работе с автоматическим контролем давлений
2. Вторая система измерения уровней должна находится в постоянной готовности.
3. Система регистрации и тревоги для грузовых барьеров и структуры двойного корпуса должны быть в работе
4. Система обнаружения газа должна быть в постоянной работе.
5. Обычно во время погрузки, пар возвращается на терминал через судовые или береговые компрессоры. Давление пара СПГ в судовой системе регулируется изменением потока при помощи компрессора.
6. Паровые клапана на грузовых танках во время погрузки должны быть полностью открыты.
7. Вентиляционная мачта должна быть всегда готова для использования.

**6.4.2 Охлаждение грузовых линий**

После сообщения на терминал о готовности погрузки СПГ и открытия быстрозапорного клапана на манифолде, в течение приблизительно 15 минут, терминал грузит судно с минимальной скоростью для охлаждения своего стендера и судового трубопровода.

Немного увеличьте скорость погрузки, до тех пор, пока жидкостная и распылочная линия не охладятся, - это займет около 15 – 20 минут.

Во избежание возможное переполнение трубопровода, жидкостная линия и распределитель должны быть охлаждены и заполнены как можно быстрее.

По завершению охлаждения грузового стендера можно выходить на полную скорость погрузки.

Держите открытой линию зачистки на каждом танке для избежания высокого давления из-за подогрева линии.

Поддерживайте давление в танке 5.0кРа манометрического.

Помните, что устройства аварийной остановки не являются средствами окончания погрузки.

Перед окончанием первого танка уменьшите скорость погрузки и продолжайте ее уменьшение по мере заполнения и закрытия танков. Обязательно оставьте некоторое пространство для дренирования берегового стендера и судовой линии в одном из танков.

После дренирования продувка линий осуществляется азотом.

Береговой стендер опресовывается азотом до давления 200 – 300кРа.

Операцию продувки осуществить до полного осушения манифолда. Продувка жидкостной линии осуществляется до 50 % НПВ на выходе вентиляции.

**6.4.3 Алгоритмы операций охлаждения и погрузки**

**6.4.4 Последовательность операций при погрузке**

**6.5 Переход в грузу со сжиганием и сжижение пара**

**6.5.1 Переход с нормальным сжиганием газа**

Во время морского перехода, выкипевший пар, сжигается в судовых котлах. Операция контролируется из ПУГО и ЦПУ. Если по каким либо причинам, пар не может быть использован, или его слишком много, то он подается на вентиляционную мачту.

Выкипевший пар через паровую линию подается при помощи компрессора НП на подогреватель выкипа. Подогретый газ подается на котлы с температурой +25С. Система регулируется потребностью в газе котлом и давлением в танке. Система сжигания построена с расчетом сжигания всего выкипа при полном грузе и поддержания установленного давления в танке.

Система контроля пара для турбины устроена таким образом, что в котлах сжигается весь выкипевший пар, даже когда судно стоит. Это достигается стравливанием излишка пара из котлов.

При нормальных условиях клапан регулировки подачи выкипевшего газа устанавливается в позицию 60 %, так как это дает 90 % полной паропроизводительности котлов. Регулятор давления в танке устанавливается в пределах 104 и 109кРа абс.

**6.5.2 Переход с форсированным сжиганием газа**

При использовании форсированного сжигании газа необходимо рассмотреть экономическую сторону вопроса, - что лучше использовать мазут или газ.

При переходе с грузом и необходимостью использовать больше газа, - можно использовать форсированное испарение СПГ. Такая операция, называемая форсированный выкип используется, когда возникает необходимость использовать как топливо только газ.

**6.5.3 Переход со сжижением пара (УПСГ для метана**)

Kvaerner Masa-Yards начала строительство Moss-type LNG газовозов, которые значительно улучшили экономические показатели, стали почти на 25 % экономичнее. Это новое поколение газовозов позволяет:

1.Увеличить грузовое пространство с помощью сферических расширенных танков.

2. Не сжигать испарившийся газ, а сжижать его при помощи компактной УПСГ.

3.Значительно экономить топливо, используя дизель-электрическую установку.

Принцип работы УПСГ состоит в следующем, - метан сжимается компрессором НП и посылается прямо в так называемый «холодный ящик», в котором газ охлаждается при помощи закрытой рефрижераторной петли (цикл Брайтона). Азот является рабочим охлаждающим агентом. Грузовой цикл состоит из компрессора НП, пластинчатого криогенного теплообменника, отделителя жидкости и насоса для возврата метана.

Испарившийся метан, удаляется из танка обыкновенным центробежным компрессором НП. Пар метана сжимается до 4,5 бара и охлаждается при этом давлении приблизительно до – 160С в криогенном теплообменнике.

Этот процесс конденсирует углеводороды в жидкое состояние. Фракция азота, присутствующая в паре не может быть сконденсирована при этих условиях и остается в виде газовых пузырьков в жидком метане. Следующая фаза сепарации происходит в отделителе жидкости, откуда жидкий метан сбрасывается в танк. В это время газообразный азот и частично пары углеводорода сбрасывается в атмосферу или сжигается.

Криогенная температура создается внутри «холодного ящика» методом циклического сжатия – расширения азота. Газообразный азот с давлением 13,5 бара сжимается до 57 бар в 3-х ступенчатом центробежном компрессоре и при этом охлаждается водой после каждой ступени.

После последнего охладителя, азот идет в «теплую» секцию криогенного теплообменника, где он охлаждается до -110С, и затем расширяется до давления 14,4 бар в 4-й ступени компрессора, - расширителе.

Газ покидает расширитель с температурой около -163С и затем поступает в «холодную» часть теплообменника, где он охлаждает и сжижает пар метана. Азот затем идет через «теплую» часть теплообменника, перед тем как поступить на всасывание в 3-х ступенчатый компрессор.

Азотный, компрессорно-расширительный блок, является 4-х ступенчатым интегрированным центробежным компрессором с одной расширительной ступенью и способствует компактности установки, уменьшению стоимости, улучшению контроля охлаждения и снижению потребления энергии.

Для удовлетворения условий IACS должны быть установлены либо термоокислитель или факельная система для сжигания максимально возможного объема испарившегося газа, либо две 100 % сжижающих установки с одним «холодным» ящиком.

**6.6 Выгрузка с возвратом газа с берега**

При нормальной выгрузке работают только главные грузовые насосы, а количество оставленного груза будет зависеть от продолжительности балластного перехода.

Если необходимо, по каким либо причинам, полностью осушить танки, то будут использованы насосы зачистки. При выгрузке СПГ, продуктный пар подается по паровой линии в грузовые танки для поддержания необходимого давления, обычно 109кРа абс.

При недостатке подаваемого с берега пара, используются распылители в грузовом танке или судовой испаритель СПГ. При превышении необходимого давления пара, оно выводится на вентиляционную мачту через подогреватель, который надо постоянно держать в готовности.

Надо помнить, что некоторые терминалы не разрешают вентилировать газ в атмосферу

После выгрузки, стендер, распределитель и трубопроводы осушаются и продуваются азотом. Паровая отсоединяется пред самым отходом, на случай если выйдет задержка.

**6.6.1 Охлаждение жидкостной линии и стендера перед выгрузкой**

Для охлаждения грузовой линии и стендера их надо в начале продуть азотом. Охлаждение производится при помощи насоса зачистки. Первоначально охлаждается береговая линия и стендер до -100С , а затем судовая грузовая линия. Когда температура манифолда и грузовой линии будут около -130С, охлаждение прекращается и судно/берег готовы к выгрузке.

**6.6.2 Выгрузка**

Перед стартом грузового насоса, необходимо заполнить СПГ все выгрузную колонну. Это достигается при помощи насоса зачистки. Цель этого заполнения, - избежание гидравлического удара. Последовательность запуска насосов и очередность выгрузки танков, можно найти в руководстве по грузовым операциям. Необходимо поддерживать достаточное давление в танках при выгрузке, чтобы избежать кавитации и иметь хорошее всасывание на грузовых насосах. Это достигается подачей пара с берега. При невозможности берега подавать пар на судно, необходимо запустить судовой испаритель СПГ. Остановка выгрузки производится на заранее рассчитанных уровнях с учетом остатка, необходимого для охлаждения танков до прихода в порт погрузки.

После остановки грузовых насосов необходимо осушить линю выгрузки и прекратить подачу пара с берега. Продувка берегового стендера осуществляется при помощи азота.

Перед отходом не забудьте продуть паровую линию азотом до содержания метана не более 1 % от объема, а только потом отсоединяйте ее.

**6.7. Подготовка к докованию**

На судне должно быть указание оператора о необходимых операциях перед постановкой судна в док, их последовательности и времени на их выполнение.

Во время последнего перехода в грузу перед доком, должен быть проведен полный осмотр внутреннего корпуса во всех балластных танках, коффердамах и составлен подробный рапорт. Это необходимо для подтверждения отсутствия холодных пятен. Представитель классификационного общества может быть на судне во время этого перехода и выполнить необходимые осмотры. В порту выгрузки, судно должно выгрузить максимальное количество груза. Это достигается использованием зачистных насосов до их остановки по срыву потока. Затем грузовые линии осушаются и продуваются азотом до содержания в них углеводородов менее 1 % по объему. После чего во время балластного перехода грузовые танки подогреваются, инертизируются и продуваются воздухом до прихода на судоремонтный завод.

**6.7.1 Подогрев танков**

Прогревание танков это часть общей операции, которая необходима перед постановкой судна в ремонт или инспекцией танков. Танки прогреваются циркуляцией подогретого природного газа. Пар подается при помощи двух компрессоров ВП и греются грузовыми подогревателями, на первой стадии до 0С и до +75С на второй стадии.

На первой стадии теплый пар подается через грузовую линию на дно танков для выпаривания оставшейся жидкости. На второй стадии, когда температура в танке стабилизируется, теплый пар начинает подаваться на верх танка. Избыток пара вытравливается через вентиляционную мачту в атмосферу, если судно находится в море, или сдается на берег, если судно в порту. Прогревание танков продолжается , пока самая холодное место второй мембраны не достигнет температуры +5С. Продолжительность прогрева танков зависит от начальной температуры и количества жидкого остатка. Но после выпаривания жидкости время, затраченное на прогрев танков, приблизительно занимает 48 часов.

Первоначально, рост температуры будет незначительным, а количество пара может достигать нескольких тысяч кубометров в час. После окончания выпаривания жидкости, температура начнет расти быстрее, а количество пара уменьшится.

Качка судна только усиливает выпаривание жидкости. Прогресс операции выпаривания лучше всего наблюдать по термометру расположенному в кормовой части грузового танка. Небольшой крен судна также помогает равномерному выпариванию грузовых танков. Полученный пар можно также использовать в судовых котлах.

**6.7.2 Инертизация**

После прогрева грузовых танков теплым природным газом, его удаляют при помощи инертного газа. Инертный газ подается через грузовую линию на низ танка. Избыток газа вентилируется через мачту или отдается на берег в порту. Инертизация необходима для предотвращения образования огнеопасной смеси метана и воздуха. Операция продолжается до уменьшения содержания углеводородов менее 1.5 %. Она занимает обычно около 24 часов. Кроме грузовых танков, все трубопроводы и оборудование должны быть продуты инертным газом или азотом.

Инертный газ необходимо подогревать перед подачей в танки, для их дальнейшего прогрева.

**6.7.3 Продувка воздухом**

Перед открытием грузовых танков и входом в них, инертный газ необходимо заменить воздухом. Для этого установку инертного газа надо запустить в режиме «сухой воздух».

Инертный газ и сухой воздух производятся с точкой росы -45С. Ухой воздух подается наверх танка по паровой линии, а инертный газ выходит через грузовую линию и вентилируется через мачту. Во время этой операции давление в танках надо поддерживать на минимальном уровне, чтобы максимизировать эффект поршня. Операция вентиляции считается завершенной, когда содержание кислорода в танке достигнет 21%, метана мене 0.2%, а точка росы ниже -40С. Перед входом в танк необходимо выполнить контрольные замеры на наличие углекислого газа,- менее 0.5% от объема, угарного газа,- менее 50 ppm.

Все меры безопасности, указанные в Руководстве по безопасности на танкере должны строго соблюдаться. Время, затраченное на аэрацию, обычно занимает около 24 часов.

**7. Аварийные процедуры**

Все испытания, проведенные на первой мембран, показали, что усталостное повреждение не распространяется по мембране. Оно, как правил, не большое и пропускает только пар или небольшое количество жидкости, которое сразу же испаряется. Однако, возможно и значительное повреждение мембраны, во время которого, значительное количество жидкости попадет вниз меж барьерного пространства.

**7.1 Утечка пара**

Маленькую утечку через первую мембрану трудно заметить, тем не мене, показатели могут быть следующие:

1. Неожиданный рост содержания метана в первом меж барьерном пространстве. Некоторая пористость сварки первой мембраны, может позволить проникновению небольшого количества метана в первое меж барьерное пространство. Это количество можно держать на минимуме продувкой азота.
2. Если повреждение окажется ниже уровня жидкости, концентрация паров метана будет увеличиваться медленно, но постоянно.
3. Если повреждение выше уровня жидкости концентрация будет увеличиваться спорадически.

Для обнаружения даже небольших повреждений первой мембраны, концентрация метана в первом меж барьерном пространстве регистрируется ежедневно.

**7.1.1 Увеличение давления в первом меж барьерном пространстве**

Повреждение выше уровня жидкости, даст прямой поток пара в первое меж барьерное пространство. Этот поток будет соответствовать давлению пара в грузовом танке.

Повреждение ниже уровня жидкости приводит к тому, что небольшое количество жидкости испаряется, проходя через повреждение, и повышают давление в первом меж барьерном пространстве. Это увеличение давления, зависит от высоты уровня жидкости над повреждением и давлением в танке.

**7.1.2 Изменение температуры**

Изменение температуры очень трудно заметить, если только повреждение не находится вблизи датчика внизу грузового танка.

Утечка пара метана в первое меж барьерное пространство не представляет немедленной угрозы танку или судну. Как можно больше информации о повреждении и утечке должно быть зарегистрировано.

Признаки увеличения повреждения следующие:

1. После обнаружения утечки и без изменения протока азота в первое меж барьерное пространство, регистрируйте концентрацию газа и температуры в первом меж барьерном пространстве в течении 8 часов.
2. Затем, если необходимо, установите проток азота для поддержания концентрации газа ниже 30% от объема и регистрируйте концентрацию газа и температуры первого меж барьерного пространства.
3. В дополнении к выше указанному, регистрируйте все изменения давления в грузовом танке и первом меж барьерном пространстве.

**7.2 Утечка жидкости**

Большое повреждение первой мембраны, позволяющее жидкости проникнуть в первое меж барьерное пространство, будет характеризоваться следующим:

1. Быстрое увеличение содержания метана в пространстве.
2. Увеличение давления на входе азота в пространство и соответственное увеличение вентиляции в атмосферу.
3. Сигнал низкой температуры в пространстве ниже повреждения
4. Общее понижение температуры внутреннего корпуса.

При большом повреждении первой мембраны, жидкость из танка будет поступать в пространство до выравнивания их уровней. После выгрузки грузового танка, если содержимое первого пространства не может быть откатано довольно быстро в грузовой танк, то это может привести к разрушению первой мембраны.

Перед выгрузкой танка со значительным повреждением в первой мембране, необходимо, чтобы первая мембрана была проткнута так, чтобы жидкость могла свободно поступать обратно в грузовой танк по мере выгрузки.

Устройство для прокола мембраны, это 30 кг. проводник, который опускается вниз по трубе поплавкового мерительного устройства и протыкает первую мембрану внизу танка.

Основание трубы мерительного устройства снабжено разбивающимся перфорированным основанием, чтобы позволить проводнику пробить мембрану. Мембрана в этом месте снабжена тонкой диафрагмой, а фанерные ящики изоляции тоньше, чем обычные, чтобы позволить проводнику полностью проникнуть в пространство.

**7.3 Утечка воды в барьер**

При повреждении внутреннего корпуса, вода попадает во второе меж барьерное пространство. Если утечка не обнаружена и вода собирается в пространстве и замерзает.

Образование льда может деформировать и повредить изоляцию, что в свою очередь вызовет появление очагов холода и льда на внутреннем корпусе. Изменение давления в меж барьерном пространстве, причиненное наличием воды в нем, может оказаться достаточным для деформации или даже разрушения мембраны.

Для уменьшения риска повреждения при большой утечке, каждое меж барьерное пространство снабжено датчиком обнаружения воды, системой льял соединенной с насосами для удаления воды.

**7.4 Пожар и аварийный отход от причала**

Каждый терминал имеет свои собственные правила, когда считать нахождение судна у причала опасным. Конечно, они совпадают по многим пунктам, так как базируются на международных правилах (ISGOTT и т.д.) Они изложены в специальном буклете, который вручается судну в портах погрузки и выгрузки.

В случае пожара или другой аварийной ситуации, как на борту, так и на терминале следующие основные процедуры должны быть выполнены:

1. Все грузовые операции должны быть остановлены и поданы аварийные сигналы согласно требованиям установленным терминалом (проверочный лист судно – берег)
2. Аварийные процедуры на судне и на берегу должны быть активированы
3. Аварийная система остановки будет активирована, что приведет к аварийной отдаче грузового стендера.
4. В случае пожара, активируются системы водяного орошения на судне и на берегу.
5. Аварийные команды должны начать действовать в соответствии с ситуацией.
6. Судно должно быть всегда готово к отходу от причала.
7. По согласованию с берегом организуется лоцман и буксиры и другая необходимая поддержка
8. Буксир, несущий аварийную готовность, помогает в тушении пожара и отходе от причала.
9. Судно должно быть готово отойти от причала самостоятельно, с помощью аварийного буксира или с помощью лоцмана и дополнительных буксиров, организованных берегом.
10. Владельцы, операторы и другие заинтересованные стороны должны быть извещены о ситуации немедленно.

**7.5 Установка аварийного грузового насоса**

Аварийный грузовой насос используется в ситуации, когда оба грузовых насоса в танке оказались неисправны. АГН опускается в специальную колонну, расположенную в каждом танке. АГН, опущенный в колонну, открывает своим весом нижний клапан и СПГ может быть выгружен на берег.

При работе около открытой колонны, все инструменты и оборудование должно быть привязано, для избежания его падения внутрь колонны. Все личные вещи должны быть убраны из карманов, а люк в колонну временно прикрыт заглушкой. Только бронзовые инструменты можно использовать для работы при установке АГН.

Следующие операции должны быть выполнены для установки АГН:

1. Колонна должна быть очищена от СПГ. Это делается продувкой ее азотом в танк.
2. После продувки делается контрольный замер атмосферы колонны и снимается заглушка
3. Необходимо соединить кабели питания с АГН в соответствии с маркировкой
4. Закрепите стропы крана должным образом, поднимите АГН и опустите его в колонну
5. После спуска АГН в колонну, закрепите его страховочным устройством. Соедините кабеля электрического питания.
6. Прикрепите АГН стропами к крышке, на которой установлено спускающее устройство и через которую проходят кабели питания.
7. Поднимите АГН на несколько сантиметров для уборки страховочного устройства.
8. Опустите АГН и закрепите крышку, особое внимание на прокладку под крышкой.
9. Начните охлаждение АГН. Это может занять 10-12 часов для равномерного охлаждения.
10. Увеличьте давление азота до открытия нижнего грузового клапана.
11. Уменьшите давление азота и дайте возможность жидкости медленно заполнить колонну со скорость 75- 125 мм в минуту, до полного погружения АГН, - около 2 метров.
12. Когда жидкость накроет насос, опустите его при помощи спускающего устройства на нижний грузовой клапан и зафиксируйте спускающее устройство.
13. Остановите подачу азота, когда уровни жидкости в колонне и танке сравняются, и стравите давление азота через верхний клапан.
14. АГН должен находится в таком положении около часа, перед началом выгрузки
15. При готовности АГН, откройте клапан нагнетания на 20 % и включите насос
16. Тщательно проверьте отсутствие утечек через крышку. Все меры предосторожности должны быть соблюдены.
17. Отрегулируйте поток выгрузки до необходимых пределов.

**7.6 Операции с одним танком**

При появлении необходимости ремонта в каком-то одном танке во время рейса, он может быть осушен, подогрет, инертизирован и провентилирован для входа в него и ремонта или смены грузовых насосов, мерительного устройства, и т.д. Здесь не рассматривается вопрос о ремонте мембраны в танке.

В порту выгрузки, танк выгружается по максимуму после процедуры передачи груза в другой танк, чтобы после ремонта на судне оказалось достаточное количество груза для подготовки танка к погрузке.

**7.7 Выгрузка груза в море**

Выгрузка груза в море является аварийной операцией и должна быть сделана только для избежания серьезного повреждения грузового танка и/или внутреннего корпуса, которое в свою очередь угрожает безопасности экипажа, судну и окружающей среде.

Повреждение мембраны и меж барьерного пространства в одном или более грузовых танках могут привести к необходимости выгрузки груза в море из этого грузового танка.

Эта операция выполняется при помощи одного грузового насоса, через съемную форсунку, прикрепленную к манифолду.

Выгрузка СПГ в море создает опасные условия:

1. Все стороны проблемы должны быть тщательно изучены и оценены, пред тем как принять решение о выгрузке СПГ в море
2. Все имеющееся оборудование по борьбе с пожаром должно быть развернуто и готово к немедленному использованию.
3. Все входы, отверстия и вентиляционные мачты должны быть задраены.
4. Курение на судне вообще запрещается.
5. Водяная завеса с борта выгрузки должна работать во время всей операции по выгрузке.

Погодные условия и направление движения судна по отношению к ветру, должны быть таковыми, чтобы выгружаемая жидкость и образующийся пар относило от судна. Необходимо предотвратить пересечение парового облака с выхлопными газами.

Скорость выгрузки должна быть ограничена скоростью одного насоса и, если потребуется, ее надо уменьшить до пределов, дающих хорошее рассеивание в преобладающих погодных условиях.