

**О.П. Кайдуков  
А.С. Трусов  
Е.В. Кузнецов**

**СИСТЕМЫ  
ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ  
НА ТАНКЕРАХ  
И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**Учебное пособие**

**Новороссийск  
2000**

**НОВОРОССИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ**

**О.П. Хайдуков, А.С. Трусов, Е.В. Кузнецов**

**СИСТЕМЫ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ  
НА ТАНКЕРАХ И ИХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Учебное пособие**

*Рекомендована УМО по  
образованию в области ВТ в  
качестве учебного пособия*

**Новороссийск  
2000**

**Хайдуков О.П., Трусов А.С., Кузнецов Е.В.** Системы инертных газов на танкерах и их эксплуатация: Учебное пособие,- Новороссийск: НГМА, 2000.-116 с.

Учебное пособие предназначено для подготовки морских специалистов в системе дополнительного профессионального образования командного и рядового состав морских нефтетанкероа, а также для обучения студентов вузов водного транспорта по специальностям 240500 "Эксплуатация судовых энергетических установок" и 240200 "Судовождение".

Материал пособия соответствует обязательным минимальным требованиям для подготовки и квалификации капитанов, командного и рядового состав танкеров (раздел А V!!) Международной Конвенции ПДМНВ-78, измененной Конференцией 1995 года, а также типовым курсам ИМО 1.01 "Работа на нефтяных танкерах" и 1.02 "Повышенная программа подготовки по операциям на нефтяных танкерах".

Рецензенты:

кандидат технических наук

**С.В. Скороходов,**

директор ООО "Юником-Новороссийск ЛТД." **П.Ф. Нечитайленко.**

© Хайдуков О.П.,  
Трусов А.С.,  
Кузнецов Е.В., 2000 ©  
НГМА, 2000

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1 История развития танкерного флота .....</b>	<b>6</b>
1.1. Первые танкеры в России .....	7
1.2. Развитие танкерного флота в 30-60 гг .....	8
1.3. Развитие переработки нефти и интенсивность ее добычи .....	9
1.4. Суэцкий кризис и супертанкеры .....	11
1.5. Международный контроль за предотвращением загрязнения и сбросом нефтеостатков с судов .....	15
<b>Глава 2 Нефть и ее основные свойства</b>	
2.1. Классификация нефти, основные физические свойства .....	20
2.2. Физические свойства нефти .....	23
<b>2.2.1. Плотность .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2. Вязкость нефти.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3. Температура кипения отдельных фракций .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4. Теплота сгорания топлива .....</b>	<b>25</b>
2.2.5. Диэлектрические свойства .....	27
2.2.6. <b>Растворимость нефти в воде .....</b>	<b>27</b>
2.3. <b>Граничные значения параметров, определяющих вероятность взрыва в танке танкера .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.1. Пределы воспламенения смеси углеводородного газа с кислородом .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2 Основы теории горения топлива .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3. Условия возникновения взрывов и пожаров на танкерах ..</b>	<b>35</b>
<b>Глава 3 Статическое электричество</b>	
3.1. Физическое представление о возникновении статического электричества.....	36
3.2. Нефтепродукты — аккумуляторы статического электричества.....	39
3.3. «Электростатический» взрыв и пожар .....	41
3.4. Защита грузовых систем танкеров от электростатической опасности .....	42
<b>Глава 4 Системы инертных газов</b>	
4.1. Общие понятия и требования к системе инертных газов.....	47
4.2. Использование инертных газов для предотвращения пожаров.....	49
4.2.1. Влияние инертного газа на воспламенение.....	50

4.3. Описание системы инертных газов. Общие требования .....	52
<b>4.3.1. Принципиальные схемы систем инертных газов, назначение отдельных узлов .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3.2. Установка для получения инертного газа с газоочистителем барботажного типа .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3.3. Автономная газогенераторная установка .....</b>	<b>5В</b>
<b>4.3.4. Газогенераторные установки с дожигающим устройством. 60</b>	<b>60</b>
4.4. Конструкция, назначение основных элементов системы инертных газов .....	65
4.5. Нагнетатели инертного газа.....	68
<b>4.5.1. Состав инертных газов и их параметры .....</b>	<b>70</b>
4.6. Палубный гидрозатвор и невозвратный клапан.....	71
<b>4.6.1. Неосушаемый гидрозатвор .....</b>	<b>72</b>
<b>4.6.2. Частично осушаемый гидрозатвор .....</b>	<b>72</b>
<b>4.6.3. Осушаемый гидрозатвор .....</b>	<b>73</b>
<b>4.6.4. Палубный разобзающий клапан .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6.5. Прерыватель давления/вакуума.....</b>	<b>75</b>
4.7. Система распределения инертного газа .....	77
<b>4.7.1. Устройство первого типа.....</b>	<b>78</b>
<b>4.7.2. Устройство второго типа.....</b>	<b>79</b>
<b>4.7.3. Устройство третьего типа .....</b>	<b>79</b>
4.8. Методы замены газа в танках .....	80
4.9. Устройства для выпуска газов из танков .....	82

## **Глава 5 Контроль и управление системой инертных газов**

5.1. Назначение и общее устройство системы управления СИГ .....	85
5.2. Функции АСУ СИГ .....	89
5.3. Регулирование давления газа и устройства рециркуляции.....	91
5.4. Щит управления СИГ .....	96
5.5. Контроль газовой среды СИГ .....	102

## **Глава 6 Эксплуатация установки для выработки инертного газа**

6.1. Ввод установки.....	105
6.2. Контроль в период эксплуатации .....	106
6.3. Возможные причины отказов.....	106
6.4. Вывод из эксплуатации .....	107
6.5. Контроль установки СИГ в период бездействия.....	108
6.6. Техническое обслуживание и проверка СИГ .....	108
6.7. Примерная программа профилактических осмотров СИГ .....	112
6.8. Эксплуатация грузовых танков после выхода из строя установок для выработки инертного газа .....	114

# Введение

В соответствии с требованиями МК ПДМНВ -78, измененной Конференцией 1995г., все лица командного и рядового состава танкеров, которым поручено выполнение обязанностей, относящихся к грузу или грузовому оборудованию на танкерах, должны пройти одобренный ознакомительный курс подготовки для работы на танкерах. Капитаны, старшие механики, старшие помощники, вторые механики и иные лица должны завершить еще и одобренную программу специализированной подготовки, охватывающую вопросы, изложенные в разделе А-V/1 Кодекса ПДМНВ. Одними из важнейших вопросов этих программ являются:

- системы инертизации и дегазации грузовых танков;
- операции с системами инертизации;
- » эксплуатация и техническое обслуживание системы инертного газа;
- обеспечение безопасности при применении инертного газа;
- нормативные положения, касающиеся применения инертного газа и технических требований к системам.

# Глава 1

## История развития танкерного флота

Транспортировка нефти водными путями своими истоками уходит в средние века. В 1725 году Петр I издает указ о правилах перевозки нефти по Волге.

Из исторических источников известно, что в это время перевозка нефти осуществлялась также по реке Иравада в Бирме.

По морю нефтепродукты перевозились в бочках объемом 159 л, в настоящее время этот объем принят как стандартная мера, которая получила название «баррель». Впервые 900 баррелей керосина было перевезено через Атлантику в 1861 году на бриге «Элизабет Уотт». В 1863 году были построены парусные танкеры «Размай» и «Атлантик» грузоподъемностью по 1400 т для перевозки нефтепродуктов.

В 1886 вступил в строй танкер «Глюкауф» с кормовым расположением машинного отделения. Танки были разделены на 8 пар поперечными и продольными переборками. Паровые котлы обеспечивали паром паровую машину, приводящую во вращение винт на ходу и поршневые грузовые насосы при выгрузке груза.

Большинство танкеров последнего десятилетия 19 века проектировали по этому принципу.

В 1908 году впервые в мире построен танкер «Поль Пэ», танки которого были разделены продольными переборками; бимсы, шпангоуты и флоры образовывали рамки переборок танков. Такая конструкция позволила существенно снизить вес корпуса, упростить постройку судна, увеличить объем грузовых помещений при обеспечении необходимой прочности корпуса. Машинное отделение находилось в средней части судна.

К середине двадцатых годов нашего столетия в обычную практику проектирования и строительства танкеров вошло размещение машинного отделения в кормовой части судна и деление танков двумя продольными переборками.

На рис. 1.1 представлены силуэты наиболее известных танкеров в соответствующем масштабе.

1880е. „Глюкауф“.



2800t

1908г. „Поль Пэ“.



1930г. „Эссндуйтти“

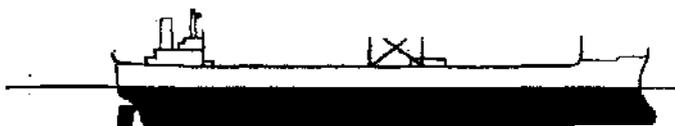


12335 t

1942 г. Танкер „Т 2“



16800 t



1968 г. „Юниверс Айэлэнд“

312 тыс. т

*Рис. 1.1. Некоторые наиболее известные конструкции танкеров (в соответствующем масштабе, размер танкера «Юниверс Айэлэнд» пропорционально увеличен).*

## 1.1. Первые танкеры в России

Развитие танкерного флота в России тесно связано с приобретением патента на строительство двигателей внутреннего сгорания у Р. Дизеля.

В 1897 году Р.Дизелю удалось запустить двигатель внутреннего сгорания мощностью 20 л.с. на керосине; КПД двигателя составил порядка 30%.

В 1898 Петербургский механический завод, в настоящее время завод «Русский дизель», купил лицензию на производство дизелей.

В январе 1899 году заводом был выпущен первый дизель такой же мощности с частотой вращения  $n = 200$  об/мин.

Одним из приоритетных направлений использования продукции этого завода явилось оснащение дизелями, как транспортных судов, так и подводных и надводных кораблей.

В 1903 году вступил в строй первый в России и в мире дизельный танкер, получивший название «Вандал». Грузоподъемность этого танкера составляла 820 т. Три нереверсивных двигателя мощностью по 120 л.с. каждый эксплуатировались на нефти, что было намного дешевле керосина, на котором работал двигатель Р.Дизеля. Прошло всего пять лет, и судостроители России построили новый танкер, получивший название «Дело». Грузоподъемность этого танкера составляла 6000 т, мощность двух главных дизелей равнялась 1000 л. с.

Вплоть до начала первой мировой войны Россия занимала ведущее место в строительстве теплоходов. Так до 1913 года в мире было построено 16 теплоходов, из них 14 - в нашей стране.

В период между первой и второй мировыми войнами танкеры перевозили в основном продукты нефтепереработки, и их грузоподъемность редко превышала 20 000 т.

Так из 16 600 000 т суммарного дедвейта танкеров, находившихся в эксплуатации в 1938 году, типичная грузоподъемность одного танкера составляла 12 000 т. Построенные для нашей страны во Франции танкеры «Советская нефть» и «Нефтесиндикат СССР» были типичными по грузоподъемности танкерами того времени. Грузоподъемность каждого составляла 11 600 т. Средний тоннаж танкеров СССР в этот период не превышал 3-8 тыс. тонн.

## **1.2. Развитие танкерного флота в 30-60 гг.**

В период второй мировой войны в США начали строить большую серию танкеров типа Т-2 грузоподъемностью 16 000 т. В послевоенный период эти танкеры стали основой для послевоенного танкерного флота США. Часть этих судов была подвергнута модернизации в период капитального ремонта. За счет сварки цилиндрической части корпуса их грузоподъемность была увеличена почти в два раза.

Послевоенная программа развития танкерного флота в нашей стране предусматривала строительство большой серии танкеров типа «Казбек», предназначенных для перевозки продуктов нефтепереработки. Таких танкеров было построено порядка 60.

Относительно небольшой дефицит танкеров этого периода можно объяснить следующими причинами:

- химическая промышленность по переработке нефти только начала развиваться;
- нефтеперерабатывающие заводы вырабатывали относительно небольшой ассортимент нефтепродуктов;
- достаточно большой процент нефтеостатков утилизировался на месте переработки, поэтому экономически оправданным было транспортировать нефтепродукты;
- относительно небольшая потребность в нефтепродуктах в этот период.

### **1.3. Развитие переработки нефти и интенсивность ее добычи**

В 1900 году в мире было добыто  $20 \cdot 10^6$  т нефти. К началу второй мировой войны (1938 год) добыча возросла до 278-10 т, а после ее окончания среднегодовая добыча достигла  $870 \cdot 10^6$  т.

Темпы добычи нефти, исключая страны с централизованной экономикой, начиная с 1973 года, показаны на рис. 1.2.

Анализ данных, представленных на этом рисунке, показал, что основными районами добычи нефти являются Ближний Восток, страны западного полушария, США, Африка. Добыча нефти в странах с централизованной экономикой (СССР, Румыния и т.д.) в этот период была соизмерима с темпами добычи в странах западного полушария.

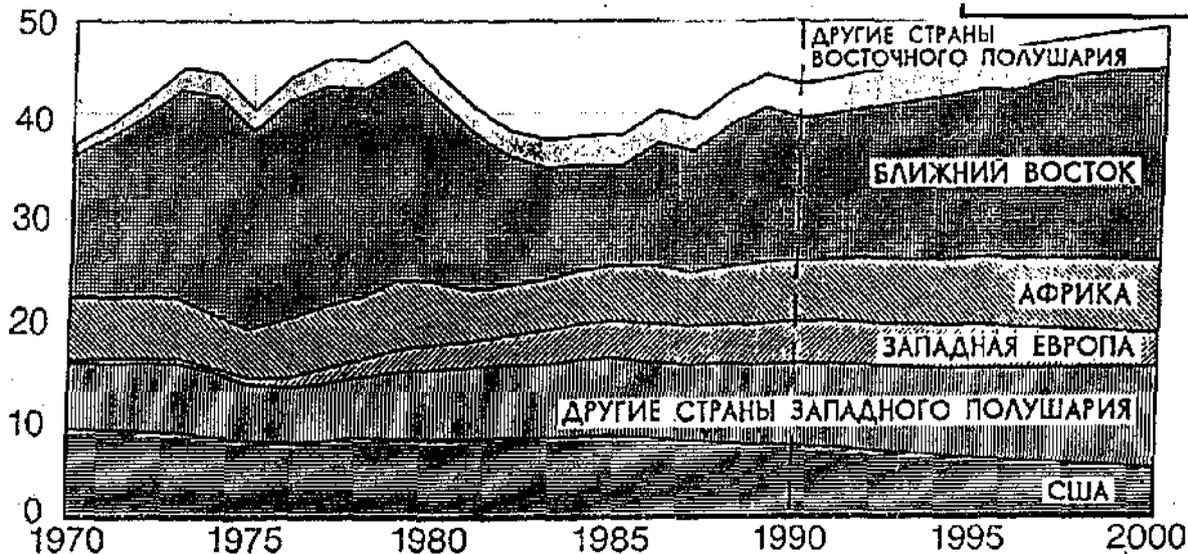
В целом, ежегодная добыча нефти, начиная с 1968 года, превысила  $2 \cdot 10^9$  т. Этот уровень сохранился до настоящего времени, имея тенденцию к увеличению. Причины столь быстрого увеличения добычи нефти, начиная с периода Второй мировой войны, связаны с большими энергетическими затратами на восполнение военной техники и ее использование, возросшими мощностями транспорта, развитием теплоэнергетики.

# ДОБЫЧА НЕФТИ

Страны мира, исключая СЦЭ,\*

Ближний Восток  
обеспечит растущий  
мировой спрос

Миллионы баррелей в день



Страны с централизованной экономикой

Рис.1.2.

тывающих комплексов на территории развитых государств.

Технико-экономические расчеты показали, что транспортировка нефти из Персидского залива в страны Западной Европы и США при плавании вокруг Африки экономически более выгодна танкерами грузоподъемностью 150-300 и более тысяч тонн по сравнению с судами, осадка которых позволяла пройти Суэцким каналом.

Строительство танкеров такого водоизмещения не представляло каких-либо технических трудностей уже в тот период. Крупные судостроительные заводы были готовы к этому.

В период Второй мировой войны Германия, делая ставку на подводный флот и неся большие потери в подводных лодках, впервые в мире перешла на их модульное строительство. Отдельные блоки подводной лодки массой 500 - 600 т создавались за пределами стапеля и с готовностью 97 - 98 % подавались к месту сборки. Это позволило существенно увеличить скорость их строительства.

Американские судостроители, используя опыт немцев, разработали аналогичную технологию строительства военных кораблей и транспортных судов. Масса отдельных модулей, в отличие от немецких, достигала 5 000 и более тонн.

В качестве примера, рассматривая достоинства модульной технологии строительства судов, можно привести темпы строительства американцами в период Второй мировой войны транспортных судов типа «Либерти», которых было построено более 1500 единиц. Суда типа «Либерти» грузоподъемностью порядка 10 000 т с паровой поршневой машиной мощностью 2400 л.с. сдавались заказчику через 20-25 дней после их закладки на стапеле. Рекордом Америки в скорости строительства такого транспорта стал «Жан - Жорес», время строительства которого от закладки до сдачи на ходовых испытаниях составило 12 суток.

К 1967 году Япония оказалась наиболее подготовленной страной для приема заказов на строительство танкеров большой грузоподъемности. Разработанная полуавтоматическая программа предусматривала подачу модулей на стапель массой 500 - 600 т с готовностью 98% через каждые 52 минуты. Мо-

Вторая мировая война - война моторов, дала мощный толчок к бурному развитию промышленности, к созданию новых технологий строительства судов, подводных лодок, самолетов всех типов и т.д. Не отстала в этом плане и нефтеперерабатывающая промышленность.

На базе фундаментальных исследований, выполненных Менделеевым, Курбатовым, Морковниковым, Коноваловым, Губиным, Зелинским, Петровым и многими другими в нашей стране, а за рубежом - Вошборном, Россини, Мэйром, Уотерманом, Флюггером, Ван Нессом, Ван Вестеном и т.д., в послевоенный период были созданы крупные безотходные нефтеперерабатывающие комплексы. Их продукция возросла в цене в десятки, сотни раз по отношению к стоимости сырья. Такие промышленные комплексы по политическим и экономическим соображениям оправдано было строить на территории высокоразвитых стран, не всегда обладающих необходимыми запасами нефти.

Открытие в 1952 году громадных запасов нефти на Ближнем Востоке в районе Персидского залива обеспечило быстрое освоение этой нефтяной провинции и дальнейшее развитие нефтеперерабатывающих комплексов во Франции, Англии, Германии, Японии, США и т.д.

Это коренным образом изменило отношение потребителей к нефти и на смену танкерам, перевозившим нефтепродукты, пришли нефтеналивные суда, предназначенные для транспортировки сырой нефти. К 1957 году мировой тоннаж танкерного флота составил порядка  $50-10^6$  т, при этом четверть его приходилась на танкеры дедвейтом 25 000т.

#### **1.4. Суэцкий кризис и супертанкеры**

Закрытие Суэцкого канала в 1967 году в результате арабско-израильского конфликта создало дефицит сырья для крупных нефтеперерабатывающих комплексов, расположенных в Европе и США. Это было связано с существенным повышением затрат на перевозку нефти из Персидского залива в эти регионы вокруг Африки танкерами небольшой грузоподъемности. Война также подтвердила целесообразность размещения крупных безотходных нефтеперераба-

дуль мог быть доставлен на стапель раньше положенного времени на одну минуту, но не позже. Это позволило японским судостроителям в те годы получить порядка 70% мирового заказа на строительство крупных танкеров. Причинами получения такого заказа явились большая скорость строительства (танкер грузоподъемностью в 220 000 т строился 2,5-3 месяца) и невысокая их стоимость по сравнению со стоимостью строительства таких танкеров на европейских и американских судостроительных заводах. Разместив заказы на нескольких своих заводах, японцы в кратчайший срок пополнили мировой танкерный флот супертанкерами грузоподъемностью 150 - 350 тыс. тонн. Было построено и несколько танкеров грузоподъемностью 870 тыс. тонн («Токио - Мару», «Нью-Йорк - Мару» и т.д.).

В шестидесятые годы отечественный танкерный флот начал пополняться танкерами типа «Пекин» (построено 6 танкеров грузоподъемностью порядка 26 тыс. тонн) и типа «София» (построено 27 танкеров грузоподъемностью 45 тыс. тонн).

В период Суэцкого кризиса отечественная судостроительная промышленность приступила к строительству шести танкеров типа «Крым» грузоподъемностью 150 000 тонн каждый. Одновременно было начато проектирование танкеров дедвейтом 250 000 т. После открытия Суэцкого канала строительство танкеров этой серии было признано нецелесообразным. Насыщение мирового танкерного флота супертанкерами изменило направление грузопотока нефти.

На рис. 1.3 показаны основные трассы транспортировки нефти в Западную Европу до 1967 и в конце 1967 г.

Если грузопоток в Западную Европу в тот период составлял порядка 230-10<sup>6</sup> тонн нефти в год, то в США он превысил европейский более чем в два раза.

Последующее расширение и углубление Суэцкого канала увеличило пропускную способность канала по дедвейту судов. Это вновь увеличило грузопоток нефти через канал.

Взрывообразный рост грузоподъемности танкеров привел к неожиданным авариям. Так в 1967 году, по не понятным в то время причинам, фирма «Бритиш Петролиум» в течение месяца

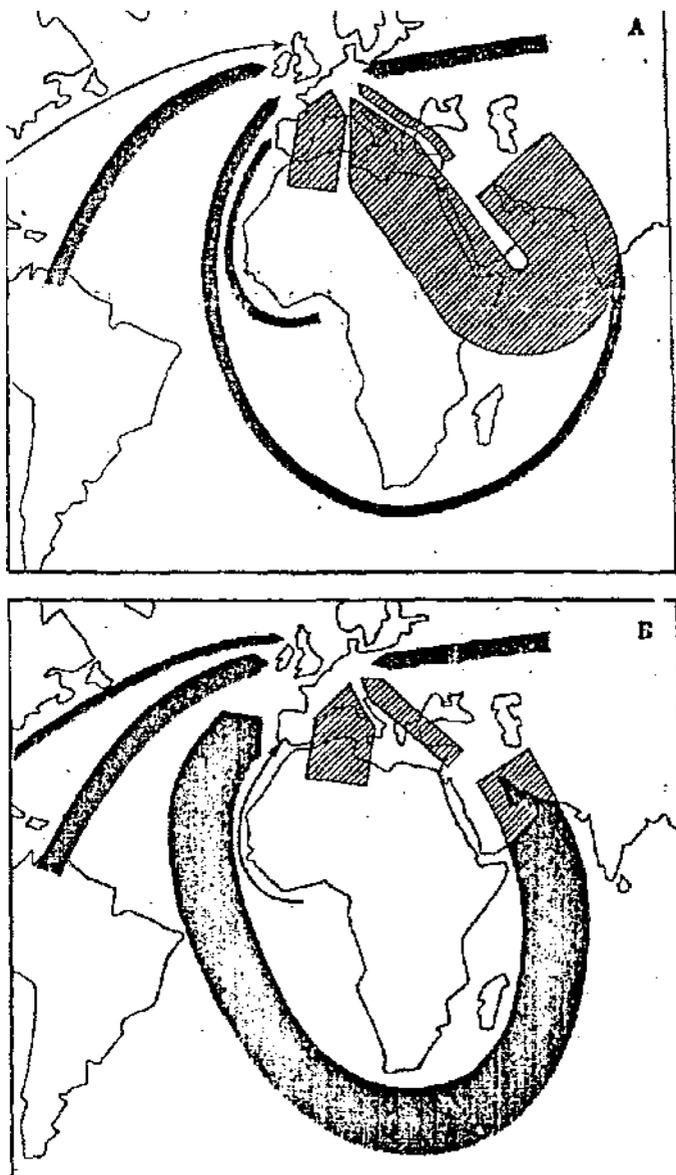


Рис. 1.3. Основные трассы транспортировки нефти в Западную Европу  
 А-с 1963 по 1967г.; Б-конец 1967г.

(Ширина стрелок пропорциональна тоннажу перевозок. Суммарные потоки нефти из Среднего Востока в Западную Европу в 1967 г. составили 230 млн.т.)

понесла большие финансовые потери, связанные со взрывами на ее трех крупных танкерах. Проведенные исследования определили, что причиной этих взрывов было статическое электричество.

### **1.5. Международный контроль за предотвращением загрязнения и сбросом нефтеостатков с судов**

Транспортировка груза морем осуществляется разнотипными судами, направления движений которых определяются технико-экономическими показателями, метеоусловиями, глубинами, течениями и другими факторами. Поэтому интенсивность судоходства в разных районах мирового океана существенно отличается.

Наиболее интенсивное судоходство наблюдается в Северном, Норвежском морях, в Северной Атлантике, вдоль восточного побережья Америки и т.д.

Это подтверждается данными ряс. 1.3 и 1.4, на которых представлены мировые трассы судоходства перед закрытием Суэцкого канала в 1967 году. Анализ интенсивности судоходства показал, что наибольшая плотность движения судов имеет место в районе Дувра.

На рис. 1.5 показано одновременное нахождение судов в этом районе, их курсы. На этом же рисунке указаны места дислокации плавучих маяков и места гибели судов, имевших место с 1955 по 1965 годы.

На основании данных этих рисунков можно сделать вывод, что пролив Ла-Манш и прилегающие к нему районы при прочих равных условиях подвергаются наиболее сильному загрязнению с судов. Это связано с:

- чрезвычайно большой интенсивностью судоходства;
- господствующими в этом районе ветрами западного и северо-западного направлений;
- наличием мощного течения Гольфстрим, поверхностные воды которого с достаточно большой скоростью движутся в северо-восточном направлении, омывая берега северо-западной Европы.

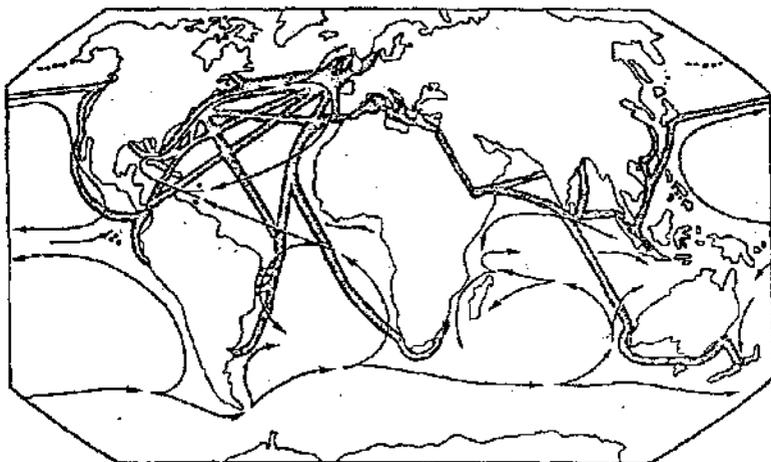


Рис. 1.4. Мировые судоходные морские трассы перед закрытием Суэцкого канала (даны толстыми линиями) и основные циркуляционные системы течений (показаны стрелками)

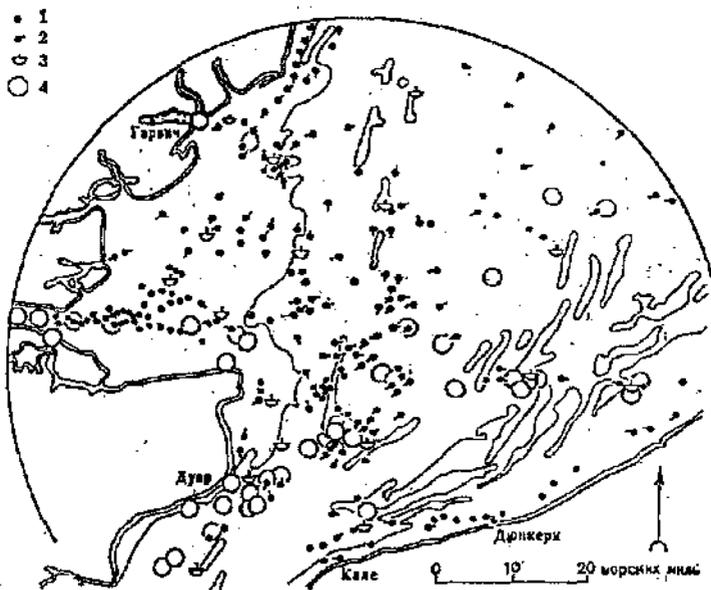


Рис. 1.5. Плотность судоходных трасс в южной части Северного моря и в районе Дувра на 23 мая 1956 г.

1-обнаруженные суда; 2- направление их движения; 3-места столкновений в этом районе с 1955 по 1960г.; 4-плавучие маяки и основные банки.

Наличие этих факторов заставило уже в 1922 году британское правительство принять первый закон, связанный с предотвращением загрязнения водных пространств в районах судоходства. По этому закону запрещалось сбрасывать загрязненные нефтью воды в пределах трехмильной зоны вдоль британских берегов.

Аналогичный закон был принят в США в 1924 году. Международная конференция по судоходству, состоявшаяся в 1926 году в Вашингтоне с участием 13 государств, рекомендовала установить запретные зоны в пределах 50, а в рыбопромысловых районах до 150 миль.

Представители этих государств подписали заключительный акт конференции, но проект Конвенции не был принят ни одним государством. Таким образом, вопросы, касающиеся нефтяного загрязнения прибрежных зон, не получили дальнейшего развития.

В 1934 году Британское правительство поставило перед Лигой наций проблему о загрязнении моря нефтью.

Созванная конференция в 1936 году для утверждения ранее принятых ограничений по загрязнению нефтепродуктами моря желаемого результата не дала из-за выхода из Лиги наций Германии, Италии и Японии.

Решение этой проблемы было отложено до окончания второй мировой войны, и только в 1949 году она была рассмотрена в ООН. В результате было принято решение о создании экспертной группы, задачей которой являлось рассмотрение вопросов, связанных с осуществлением контроля в международных водах, и предоставление информации в Межправительственную морскую консультативную организацию (ИМКО).

В 1953 году консультативный комитет созвал неофициальную конференцию в Лондоне, на которой присутствовали представители 28 стран.

На основе материалов доклада Фолкнера, опубликованного министерством транспорта, было рекомендовано запретить сброс нефти в море и установить в качестве промежуточной меры запретные зоны, предложенные в 1926 году.

Морские танкеры должны быть оборудованы отстойными танками, в которые загрязненная нефтью вода должна поступать

из грузовых танков для отстоя. Эта система получила название LOT (*Load-on-top* - погрузка сверх остатка). Если принять во внимание, что количество нефти, оставшейся после выгрузки, составляет порядка 0,4%, то использование системы LOT для танкера грузоподъемностью 100 000 тонн позволит снизить сброс нефтеостатков за борт до 400 тонн. Эту нефть вместе с водой необходимо было сдать в порту погрузки или отсепарировать на борту танкера.

В настоящее время из 10 000 танкеров, бороздящих просторы морей и океанов, подавляющее большинство оборудовано системой LOT.

Несмотря на то, что система LOT утилизирует 80% нефтеостатков, порядка 500 тыс. тонн нефти ежегодно оказывается на поверхности морей и океанов.

В 1954 году в Лондоне была принята международная конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью, которая в 1958 году вступила в силу. Влияние этой конвенции на интенсивность загрязнения оказалась несущественной. Причины состояли в следующем:

- танкерный флот был не готов к выполнению требований этой конвенции;
- многие причальные линии и их сооружения для перегрузки нефти не отвечали необходимым техническим требованиям;
- контроль загрязнения в международных водах осложнялся существующим принципом «свободного судоходства», согласно которому танкер подчинялся только властям той страны, под флагом которой он ходил. В случае если страна не имела твердого законодательства в этой части, танкер мог нарушать положение запретных зон, сбрасывая за борт нефтеостатки, и при этом избегать наказания.

Гибель танкера «Горри - Каньон» в 1967 году, сброс в море порядка 120 000 тонн нефти, которая загрязнила поверхность моря не только у берегов Англии, но и Франции, существенно ужесточила требования к защите окружающей среды.

Появился план TOVALOR (добровольное соглашение владельцев танкеров об ответственности загрязнения моря), по ко-

тому большая часть расходов по очистке от загрязнений должна оплачиваться судовладельцем через систему взаимного страхования.

Международная юридическая конференция, созванная ИМКО в Брюсселе в 1969 году, приняла две конвенции:

- предоставление права прибрежным государствам обеспечить защиту своих берегов от загрязнения в открытом море после аварии;
- определение ответственности судовладельца за ущерб от аварии судна, перевозящего нефть.

В случае если судовладелец не представил доказательства исключительности случая, ему грозил штраф от \$128 за тонну и более, но общая сумма последнего не должна быть выше \$14·10<sup>6</sup>.

После гибели танкера «Торри-Каньон» руководство контролем взяла на себя ИМКО, переименованная в 1982 году в Международную морскую организацию ИМО.

В 1972 году в Стокгольме по инициативе ООН прошла конференция по защите окружающей среды. В 1973 году на основе ее материалов была принята Международная Конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов, а в 1978 году она была дополнена протоколом. В международных документах она известна как МАРПОЛ 73/78.

В результате появились жесткие требования как к проектированию и строительству танкеров, так и к их эксплуатации, которые обеспечили внедрение на танкерах:

- отстойных балластных танков;
- систем инертных газов и мойки танков сырой нефтью;
- инспектирования.

Повысились требования к проектированию и строительству танкеров, к конструкции грузовых и зачистных систем и их грузовым средствам, а также к судовой энергетической установке.

В портах потребовалось создание устройств для приема и переработки нефтеостатков, развитие эффективных средств пожарной безопасности, радиотелефонной связи и т.д.

Эти меры, предпринятые ИМО, включая обсуждение проблем загрязнения моря нефтью более чем на 40 конференциях, а

также повышение ответственности, возложенной на государства флага и государства порта, позволили снизить интенсивность загрязнения судов более чем на 60% по сравнению с послевоенным периодом.

## Глава 2

### Нефть и ее основные свойства

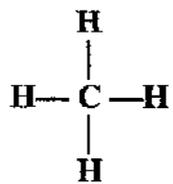
#### 2 Л. Классификация нефти, основные физические свойства

*Нефть* — маслянистая жидкость, как правило, темно-бурого цвета, представляющая собой сложную смесь углеводородов. Количество фракций на молекулярном уровне превышает 450 наименований. Общее содержание углеводородов достигает 98%, их фракции слабо связаны между собой и при длительном хранении способны к расслоению под воздействием гравитации. Более легкие фракции концентрируются в верхних слоях, а тяжелые - в нижних. Это создает определенные трудности при ее транспортировке.

Углеводороды, входящие в состав нефти, подразделяются на четыре класса: 1) алканы; 2) цикланы; 3) ароматические; 4) алкены.

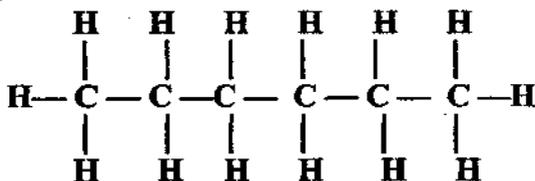
**Алканы** (парафиновые углеводороды) - насыщенные углеводороды. Общая формула —  $C_nH_{2n+2}$ .

Наиболее легкий углеводород этого класса - метан  $CH_4$ . Алканы с большим молекулярным весом входят в состав различных марок жидкого топлива. Структурные формулы алканов включают одинарные связи между атомами углерода и водорода. Например, структурная формула метана  $CH_4$  имеет вид



20

гексана  $C_6H_{14}$



Из структурной формулы гексана видно, что в ней существует пять одинарных связей  $C - C$  и аналогичных 14 связей  $C - H$ .

Основные физические параметры алканов приведены в таблице 2.1. Данные таблицы показывают, что температура плавления, кипения, плотность и другие физические параметры алканов увеличиваются по мере роста молярного веса.

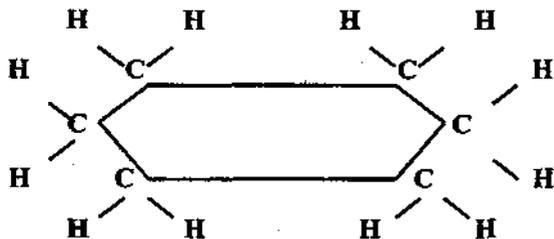
Агрегатное состояние их по мере увеличения молярного веса изменяется от газообразного до твердого состояния (таблица 2.1).

**Таблица 2.1**

**Основные физические параметры алканов**

Наименование фракций	Молярный вес	Формула	Температура плавления	Температура кипения	Плотность, при t=20	Отношение C:H	Агрегатное состояние
Метан	16	CH <sub>4</sub>	-182.5	-161.5	0.416	3	газ
Этан	30	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-183.27	-88.63	0.546	4	газ
Пропан	44	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-187.69	-42.07	0.501	4.5	газ
Бутан	58	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-138.35	-0.5	0.5788	4.8	газ
Гексан	86	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-95.35	68.74	0.6594	5.14	жидк.
Гептан	100	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-90.61	98.43	0.6838	5.25	жидк.
Декан	144	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-29.66	174.1	0.7301		жидк.
Гексадекан	192	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	18.17	288.8	0.7734	5.65	жидк.
Триаконтон	422	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	65.8	446.4	0.8097	5.81	тверд.
Тетрактон	562	C <sub>40</sub> H <sub>82</sub>	81.5	520	0.8205	5.85	тверд.
Гектан	1402	C <sub>100</sub> H <sub>202</sub>	11.6				тверд.

**Циклоны** — насыщенные углеводороды циклического строения. Общий вид формулы цикланов  $C_nH_{2n}$ . Цикланы содержатся в жидком топливе. Структурные формулы цикланов отличаются по виду от алканов. Так, формула нормального циклогексана  $C_6H_{12}$  представляет собой



В этой формуле шесть одинарных связей между атомами углерода С-С и 12 связей между атомами углерода и водорода.

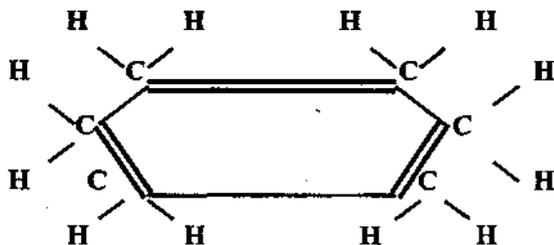
Основные физические параметры отдельных цикланов приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2

Основные физические параметры отдельных насыщенных углеводородов

Цикланы (Нафтены)	Формула	Температура кипения	Плотность	Низшая теплота сгорания, тыс. кДж/кг
Циклоцетан	$C_5H_{10}$			44360
Метилциклопентан	$C_6H_{12}$	71.8	0.749	42194
Этилциклопентан	$C_7H_{14}$	103.5	0.763	44162
Процилциклопентан	$C_8H_{16}$			44133
Процилциклогексан	$C_9H_{18}$			43576

*Ароматические* насыщенные циклические *соединения*.  
 Общий вид формулы  $C_nH_{2n-6}$ . Связь между С - Н всегда одинарная, между атомами углерода может быть одинарной и двойной. В качестве примера можно привести структурную формулу бензола



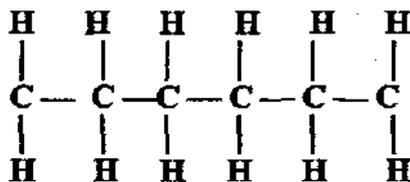
Структурная формула бензола включает шесть связей С-Н, три одинарные связи С-С и три двойные связи С=С. В таблице 2.3 приведены основные физические параметры бензола, толуола, этилбензола и другие.

Таблица 2.3

**Основные физические параметры некоторых ароматических фракций**

Наименование	Кол-во атомов углерода	Формула	Температура кипения, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Бензол	6	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	80.1	0.879
Толуол	7	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	110.6	0.866
Этилбензол	8	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	136.2	0.867
Кумол	9	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	152.4	0.864
Нафталин	10	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	217.9	1.145
Антрацен	14	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub>	354	1.25

*Алкены* — непредельные моноолефиновые углеводороды. Общая формула C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. Наиболее легкий углеводород этого класса - *этилен*. Он содержится в коксовом газе. Структурная формула нормального гексана имеет вид



и включает двенадцать одинарных связей С-Н и двойную связь между двумя атомами углерода.

## 2.2. Физические свойства нефти

Нефть, добываемая не только из разных месторождений, но даже из разных скважин одной нефтяной провинции, отличается по физическим и химическим свойствам, процентному соотношению фракций отдельных классов, содержанием таких примесей как сера, никель и т.д.

Наличие тех или иных физических и химических свойств

нефти в целом и определяет ее ценность как сырья. Основными физическими характеристиками нефти и ее фракций являются:  $S$  плотность; \*/ вязкость;  $S$  температура кипения отдельных фракций; • $S$  теплота сгорания топлива (теплотворная способность топлива);  $S$  электропроводимость; \*/ температура застывания;  $S$  растворимость в воде и т. д.

### 2.2.1. Плотность нефти

Плотность нефти  $\rho_n$  зависит от молекулярного соотношения легких и тяжелых фракций и лежит в пределах от 0.73 до 1.042 г/см<sup>3</sup>. Однако, типичная плотность добываемой нефти находится в значительно узком диапазоне (0.82 - 0.92) г/см<sup>3</sup>.

Нефть, плотность которой не превышает 0.9 г/см<sup>3</sup>, относится к легким сортам, выше 0.9 - к тяжелым. При транспортировке тяжелых сортов нефти требуется ее подогрев. Такая нефть непригодна для мойки танков.

В таблице 1А приведены значения основных параметров нефти, добываемой из отдельных месторождений.

Таблица 2.4

#### Основные характеристики нефти отдельных месторождений

Страна, место добычи	Плотность при $t=16^{\circ}\text{C}$	Кинематическая вязкость, $\text{cSt}$	Содержание, %			Температура текучести, $^{\circ}\text{C}$	Остаток после перегонки, % (370/300, $^{\circ}\text{C}$ )
			Парафинов	Серы	Асфальтов		
Пенсильвания	0.811			0.08			27
Алжир	0.818	3.34	5.3	0.09	0.08		34.1
Ливия (Брега)	0.829	4.13	11.4	0.21	0.13	7.1	37.5
Ирак (Киркук)	0.845	4.75	6.5	1.88	1.3	-34	
Иран (Агаджари)	0.854	5.6	7	1.33	0.7	-20	42.7
Кувейт	0.869	9.6	6.7	1.58	1.9	-12	47.8
Венесуэла (Тиа-Хуана)	0.867	5.16	8.5	0.19	0.05	-15	35.8

### 2.2.2. Вязкость нефти

Вязкость нефти обычно определяется при температуре 50 °С и колеблется в широких пределах от 1.2 до 55 сСт. Как и плотность, она зависит от соотношения легких и тяжелых фракций.

При транспортировке вязкой нефти требуется ее подогрев, так как при выгрузке возникают проблемы, связанные с существенным снижением производительности грузовых насосов. При сдаче такой нефти в портах при низких температурах окружающей среды нецелесообразно прерывать грузовые операции даже на небольшой период. Это может привести к большим трудностям при возобновлении грузовых операций.

### 2.23. Температура кипения отдельных фракций

Нефть по своему фракционному составу относится к сложному полезному ископаемому. Как указывалось выше, в ее состав входит порядка 450 фракций. Каждая из этих фракций имеет вполне определенную температуру кипения.

В таблице 2.1 приведены температуры кипения отдельных фракций предельных углеводородов (алканов). Данные этой таблицы позволяют сделать вывод о широком диапазоне температур кипения фракций нефти даже в пределах одного класса, который составляет от минус 182.48°С у метана до плюс 520°С угектана.

Существенно отличается температура кипения отдельных фракций и в пределах других классов. Одним из параметров нефти, определяющих диапазон легких фракций, является температура начала кипения  $t_{нк}$ . Температура начала кипения нефти многих месторождений составляет порядка 20°С, хотя встречаются месторождения нефти, у которых  $t_{нк} > 100^{\circ}\text{C}$ . Характерным для такой нефти является содержание большого количества асфальтовых и смолообразных компонентов.

### 2.2.4. Теплота сгорания топлива

Теплота сгорания или теплотворная способность топлива  $Q_H$  – это количество тепла, выделяющегося при полном сгорании 1 кг топлива (кДж/кг). Теплотворная способность подразделя-

ется на высшую ( $Q_V$ ) и низшую ( $Q_H$ ). Под *высшей* теплотворной способностью  $Q_V$  понимается количество тепла, которое выделяется при полном сгорании топлива с образованием  $CO_2$  и  $H_2O$  в жидком состоянии. Значение  $Q_V$  можно получить в калориметрической бомбе при сжигании топлива в кислороде. При этом следует учесть потери в окружающую среду. В калориметрической бомбе сера окисляется до  $SO_2$ .

**Низшая** теплотворная способность топлива  $Q_H$  - количество тепла, выделяющегося при полном сгорании 1 кг топлива с образованием  $CO_2$ ,  $H_2O$  и  $SO_2$ , которые находятся в газообразном состоянии. При определении не учитывается расход тепла на испарение влаги топлива.

Фракции нефти обладают большой теплотворной способностью. Теплотворная способность *метана* равна 50 087 кДж/кг, *гексана* ~ 45 168, *эйкозана* - 44 280 и т.п. Среднее значение  $Q_H$  *мазута* равно 41 900 кДж/кг.

В настоящее время существует достаточно много формул для подсчета высшей и низшей теплоты сгорания топлива. Наиболее простой и достаточно точной является формула Д.И. Менделеева для определения  $Q_H$  топлива:

$$Q_H = 33913C + 102995H - 10886(O - S) - 2512W, \text{ кДж/кг.}$$

Значение отношения  $Q_V/Q_H$  зависит от содержания в топливе водорода. Это отношение для *природного газа* составляет 1.11, для *сжиженного газа* - 1.09, для *бензола* - 1.08, для *керосина* - 1.07, для *мазута* - 1.06 и т.д.

Высшая теплота сгорания атомарного водорода составляет порядка 358 245 кДж/кг атом, высшая же теплота молекулярного газообразного водорода равна только 142 460 кДж/кг. Разность в 215 785 кДж/кг обусловлена расходом энергии на разрыв внутримолекулярных связей.

В табл. 2.5 представлены полученные отдельными авторами значения тепловой энергии, необходимой для разрыва внутри молекулярных связей.

## Теплота разрыва связей кДж/кг

Связь	по данным Я.К. Сыркина	по данным Л. Паулинга
C-H	358 496	365 787
C-C	263 006	245534
C=C	423 860	419 000
C≡C	536 948	513 370

Приведенные данные показывают, что при сжигании топлива вообще и нефтепродуктов в частности значения  $Q_H$  и  $Q_B$  представляют собой незначительную долю энергии, которая содержится в углеродном топливе. Большая доля этой энергии используется для подготовки топлива к горению.

### 2.2.5. Диэлектрические свойства

Нефть и ее фракции являются хорошими диэлектриками. В частности, удельное сопротивление твердого парафина составляет  $10^{18}$ - $10^{21}$  Ом/м, для нефти –  $10^{11}$ - $10^{15}$  Ом/м.

Поэтому отдельные фракции нефти нашли широкое применение в электротехнической промышленности. В то же время при транспортировке нефти крупными танкерами (грузовместимостью более 20 000 т) под воздействием внешних сил в танках формируются значительные потенциалы статического электричества, разряды которых могут привести к воспламенению и взрывам. Поэтому танкеры грузовой вместимостью более 20 000 т, начиная с 1973 года, согласно требованиям Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78, оборудуются системами инертных газов. Для обеспечения безопасности мореплавания их танки должны быть инерттированы как при транспортировке груза, так и при балластных переходах.

### 2.2.6. Растворимость нефти в воде

Под растворимостью нефти в воде следует понимать растворимость ее отдельных фракций с учетом воздействия солнечной энергии, ветра, волнения моря и других факторов. Значения растворимости отдельных фракций представлены в таблице 2.6.

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод о слабой растворимости в целом отдельных фракций нефти в воде. Однако легкие фракции растворяются в воде в большей мере по сравнению с тяжелыми.

Таблица 2.6

**Растворимость отдельных фракций нефти в воде**

Соединение	Количество атомов углерода	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Растворимость в воде
<b>Парафины</b>			
Метан	1	0.424	90 мл/л
Пропан	3	0.542	65 мл/л
Пентан	5	0.626	360 млн <sup>-1</sup>
Гептан	7	0.684	138 млн <sup>-1</sup>
Нонан	9	0.718	~10 млн <sup>-1</sup>
Ундекан	11	0.741	нр
Гептадекан	17	0.748	нр
<b>Нафтенны</b>			
Циклопропан	3		растворимость незначительная
Триметилциклогексан	9	0.777	
<b>Ароматические</b>			
Бензол	6	0.879	820 млн <sup>-1</sup>
Этилбензол	8	0.867	140 млн <sup>-1</sup>
м-ксилол	8	0.864	80 млн <sup>-1</sup>
Нафталин	10	1.145	20 млн <sup>-1</sup>
2-Метилнафталин	11	1.029	нр
Антрацен	14	1.25	нр

По данным Паркера, растворимость углеводородов снижается на порядок на каждые два дополнительных атома углерода от 100 млн<sup>-1</sup> для C<sub>6</sub> до 0.001 млн<sup>-1</sup> для C<sub>16</sub>. В тоже время при разливе нефти компоненты последней могут находиться как в растворимом, так и в диспергированном состоянии, особенно при воздействии на нефть энергии ветра и волны.

По данным (Dodd, 1971г.), при разливе 100 тонн нефти на площади 8 кв.км в пятиметровом слое морской воды через сутки было обнаружено порядка 5 тонн нефти. При этом средняя толщина слоя нефти составила 0.02 мм. Освещение такого нефтяно-

го пятна солнечными лучами привело к среднему окислению порядка  $2 \text{ т/км}^2$  ежедневно.

Продукты процесса окисления растворимы в воде, что повышает токсичность последней. К тому же результату приводит и формирование эмульсий. Эмульсия легко образуется при механическом перемешивании двух взаимно нерастворимых жидкостей. По данным исследований, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом, средний диаметр капель составляет около  $0.5 \text{ мкм}$  с объемом, равным  $6 \cdot 10^{14} \text{ мл}^3$  и размером поверхности  $8 \cdot 10^9 \text{ см}^2$ .

Таким образом,  $1 \text{ мл}$  нефти может дать  $15 \cdot 10^{12}$  капель с общей поверхностью  $12 \text{ м}^2$ . Образующаяся в естественных условиях эмульсия «вода в нефти» чрезвычайно устойчива. При этом эмульсии, содержащие  $30 - 50\%$  воды, легколетучие, с содержанием  $50 - 80\%$  - вязкие. В обоих случаях токсичность загрязненной нефтью воды сохраняется длительное время.

Так, по данным Смита, после аварии танкера «Горри-Каньон» эмульгированный слой морской воды существовал более месяца, загрязняя побережье Англии и Франции. Для визуальной оценки толщины пленки нефти на поверхности воды в таблице 2.7 приведены цветовые характеристики пленки нефти от ее толщины.

Таблица 2.7

#### Характеристики нефтяных пленок на воде

	Толщина, мкм	Количество нефти, л/км <sup>2</sup>
Едва заметная	0.038	44
Серебристый отблеск	0.076	88
Следы окраски	0.152	176
Яркоокрашенные разводы	0.305	352
Тусклоокрашенная	1.016	1170
Темноокрашенная	2.032	2340

На основании изложенного можно сделать заключение: •  
легкие сорта нефти растекаются на поверхности воды, занимая большие площади. Минимальная толщина пленки в пределе может достичь молекулярного уровня -

•тяжелые сорта нефти формируют *слики*, масса которых, в зависимости от метеоусловий, может достичь многих сотен тонн.

## 2.3. Граничные значения параметров, определяющих вероятность взрыва в тайке танкера

Для возникновения взрыва внутри танка необходимо наличие трех компонентов:

- источника воспламенения;
- углеводородного газа в атомарном состоянии в пределах от 1 до 10%;
- кислорода в пропорции, превышающей 11% по объему в смеси с углеводородами.

Типичными источниками воспламенения смеси углеводородов с кислородом в танке танкера могут быть:

- разряд статического электричества соответствующей мощности;
- самовоспламенение углеводородных газов, абсорбированных в твердых остатках;
- нарушение пожаробезопасности при выполнении ремонтных работ в танках и т.д.

При плавании танкера в грузу в подпалубном пространстве танков формируется газовая смесь углеводородов, концентрация которых превышает допустимые пределы, при которых возможны их воспламенения.

При балластных переходах в грузовых танках при обычных условиях находятся смеси углеводородных газов с воздухом. Концентрация углеводородного газа в такой смеси зависит от многих факторов: фракционного состава нефти, температуры окружающей среды, количества твердых остатков и т.д. Такую концентрацию невозможно рассчитать, и поэтому она определяется путем измерений. Для этих целей на танкерах имеются приборы для замера концентрации углеводородов и кислорода. Используя их, достаточно просто можно оценить концентрацию смеси газов в танках.

### 2.3.1. Пределы **воспламенения смеси** углеводородного газа с кислородом

Смесь углеводородов с кислородом воздуха воспламеняется при вполне определенных соотношениях. Если содержание уг-

леводородов в воздухе излишне мало или чрезмерно высокое, то такая смесь не воспламенится.

Таким образом, воспламеняемость паров нефтепродуктов находится между нижним (НПВ) и верхним (ВПВ) пределами воспламеняемости. У каждой фракции нефти эти пределы отличаются и зависят от ряда факторов, в том числе и от энергии внутримолекулярных связей.

В таблице 2.8 приведены нижний и верхний пределы воспламеняемости отдельных фракций и нефтепродуктов.

**Таблица 2.8**

**Пределы взрываемости нефтепродуктов и паров нефти  
(объемные %)**

	<b>НПВ</b>	<b>ВПВ</b>
1. Бензин	1.1	5.4
2. Керосин	1.4	7.5
3. Нефть сырая	1.0 – 2.0	
4. Метан $CH_4$	5	15
5. Этилен $C_2H_4$	3.0	28.6
6. Этан $C_2H_6$	3.2	12.5
7. Пропилен $C_3H_6$	2.0	11.1
8. Пропан $C_3H_8$	2.4	9.5
9. Бутан $C_4H_{10}$	1.9	8.4

В среднем для нефти принимается нижний предел воспламеняемости, равный 1% (бедная смесь), верхний - 10- 11% по объему (богатая смесь).

В принципе безопасность танкера в условиях его эксплуатации можно обеспечить, если при плавании в грузу в газовой среде компенсационного объема танка поддерживать концентрацию углеводородов выше 11%, при плавании в балласте - менее 1% по объему.

Богатая смесь обеспечивается путем испарения легких фракций уже в период погрузки груза и сохраняется в период всего рейса, если температура окружающей среды будет постоянной или монотонно увеличиваться. Если последняя будет колебаться в достаточно широком диапазоне, то это может привести к насыщению углеводородных газов кислородом воздуха в

результате срабатывания дыхательного клапана.

При балластных переходах содержание углеводородов ниже НПВ можно обеспечить интенсивной вентиляцией танков. Однако и в этой ситуации не всегда возможно обеспечить концентрацию углеводородного газа ниже НПВ в объеме танка, особенно при наличии твердых остатков и повышении температуры окружающей среды.

Поэтому в настоящее время все крупные танкеры оборудуются системами инертных газов, которыми замещается кислород в танках до значений, при которых воспламенение углеводородов оказывается невозможным.

### 2.3.2. Основы теории горения топлива

*Горение* - экзотермическая реакция, протекающая при определенных соотношениях окислителя и окисляемого вещества.

В качестве окислителя может быть использован кислород, хлор и т.д.

К окисляемым веществам относятся как органические, так и многие неорганические вещества. Общим при этом является самоускорение реакции окисления по мере повышения температуры очага до верхнего предельного значения, которое получило название жаропроизводительности горючей массы.

Под жаропроизводительностью понимается предельно высокая температура горения, которая достигается при коэффициенте избытка воздуха, равном 1, и отсутствии теплообмена с окружающей средой.

В зависимости от скорости окисления, этот процесс подразделяется на взрыв и горение.

При взрыве процесс взаимодействия окислителя с окисляемым веществом происходит за период  $10^{-5}$  секунд и менее. При этом окислитель и окисляемое вещество скомпонованы в едином объеме в соответствующем соотношении, и поэтому кислород из воздуха не требуется.

Горение протекает при значительно меньших скоростях и лежит в пределах от  $10^{-3}$  до  $10$  м/с.

В паровых котлах, в камерах сгорания газовых турбин, ре-

активных двигателях и т.д. за счет интенсификации смешивания окислителя и окисляемого вещества, использования катализаторов, скорость горения достигает 40 и более м/с.

Взрыв и горение сопровождаются световым излучением. Горению предшествуют физико-химические процессы, связанные с подготовкой горючей массы. К ним следует отнести:

- переход горючей массы из твердого или жидкого агрегатного состояния в газообразное (в технической литературе бытует понятие - испарение, разрыв межмолекулярных связей и т.п.);
- разрыв внутримолекулярных связей до уровня радикалов и отдельных атомов;
- смешивание окислителя и окисляемого вещества.

В таблице 5 приведены значения энергий разрывов одинарных, двойных и тройных связей углеводородных фракций до атомарного уровня углерода и водорода.

Анализ этих данных показал, что энергия разрыва связи по отношению к теплотворной способности топлива оказывается весьма существенной.

Так, при сгорании моля молекулярного водорода выделяется  $Q_{\text{гв}}=484364$  кДж. Для разрыва внутримолекулярных связей с образованием атомарного водорода требуется  $Q_{\text{рп}}=504700$  кДж/моль.

Таким образом, отношение энергии, необходимой для подготовки к горению одного моля молекулярного водорода к количеству энергии  $\delta Q = Q_{\text{рп}}/Q_{\text{гв}}$ , выделяемой при его сгорании, составляет  $\delta Q \approx 0.89$ . Скорость горения СО может быть представлена зависимостью

$$\omega = k_0 \cdot A \cdot B \cdot e^{-\frac{E}{RT}},$$

где  $A$  и  $B$  соответственно парциальные давления окислителя и окисляемых элементов;

$E$  - энергия активации (внутримолекулярных связей);  $R$  - газовая постоянная;  $T$  - температура смеси;  $k_0$  - предэкспоненциальный множитель;  $RT$  - внешняя энергия.

Поэтому показатель степени — следует рассматривать как вероятность разрушения отдельно взятых фракций до атомарного уровня под воздействием подведенной внешней энергии  $RT$ .

Естественно, чем выше температура  $T$ , тем большая вероятность разрушения молекул данной фракции. Этим же и объясняется протекание реакции горения с прогрессивным самоускорением до тех пор, пока парциальные давления компонентов  $A$  и  $B$  будут находиться в соотношении, позволяющем развитие горения.

Граничным условием повышения температуры факела является жаропроизводительность топлива, классическое определение которого было приведено выше. На атомарном уровне определение жаропроизводительности может быть пояснено несколько иначе.

При контакте атомов водорода и углерода с кислородом в пространство выбрасываются элементарные частицы - фотоны. Их температура (температура жаропроизводительности данного элемента) определяется из условия

$$T_{ж} = \frac{\epsilon}{\lambda}, \text{ К,}$$

где

$\epsilon$  - постоянная величина;

$\lambda$  - длина волны излучения.

В этом случае  $T_{ж}$  для водорода равно 2508, а углерода - 2513 К.

Таким образом, несмотря на существенные различия в теплотворных способностях углерода и водорода, их жаропроизводительности близки.

Значения жаропроизводительности являются предельными значениями температуры горения того или иного элемента при наличии конкретного окислителя. На основании изложенного, можно пояснить относительно небольшую скорость фронта горения.

Рассмотрим элементарный объем смеси, расположенный на границе фронта горения.

В состав смеси входит окислитель с парциальным давлением  $A$  и окисляемое вещество с парциальным давлением  $B$ , инертные компоненты: азот, углекислый газ и т.д.

В случае облучения этого объема фотонным потоком каждый из них, двигаясь прямолинейно со скоростью близкой к скорости света, с определенной вероятностью столкнется с одной или несколькими элементарными частицами органического или неорганического веществ. В случае если такое столкновение произойдет с органическим веществом и энергия фотона  $E_{\text{ф}}$  окажется большей по сравнению с энергией внутримолекулярных связей  $E$ , то произойдет частичное или полное разрушение молекулы такого углеводорода.

Столкновение фотона с неорганическими элементарными частицами или с органическими, но при малых углах атаки приводит к рассеиванию его энергии. Если учесть, что горючая масса и кислород составляют 15 - 18 % , а остальной объем занят неорганическими компонентами, то этим можно объяснить относительно небольшую скорость распространения фронта горения.

### **233. Условия возникновения взрывов и пожаров на танкерах**

Анализ статистических данных о взрывах и пожарах в танках танкеров позволяет сделать следующие выводы. Наиболее часто взрывы и последующие за ними пожары происходят при балластных переходах в случаях, если содержание кислорода в танках превышает 11% по объему, а концентрация углеводородов лежит в пределах от 1 до 10%, и оба компонента находятся в газообразном равномерно распределенном состоянии. Пожары и последующие взрывы, как правило, имеют место на танкерах в грузу при столкновении. В обоих случаях под воздействием внешней энергии  $E_{\text{вн}}$  происходит разрушение внутримолекулярных связей отдельных фракций углеводородов.

Внешним источником энергии может быть достаточно мощный разряд статического электричества, самовоспламенение легких фракций нефти в твердых остатках, нарушение правил пожаробезопасности при выполнении огневых работ в танках и т.д.

В случае взрыва газовой смеси тепловыделение может достигнуть значительных значений. Это связано с высокой теплотворной способностью углеводородов, которая составляет у метана 39 788, этана - 69 722, пропана - 94 219, бутана - 128 382 кДж/м<sup>3</sup>.

Поэтому взрыв в танке сопровождается ударной звуковой волной, энергия которой существенно возрастает за счет выделяемого тепла. Высокая температура газов при взрыве часто приводит к возникновению пожара на танкере. По данным литературы, скорость такой волны может достичь 1 000 и более м/с. Этим объясняется скоротечность развития аварий на танкере и гибели частично или полностью экипажа.

При столкновении танкера в грузу сначала происходит разрушение его корпуса. Преобразование кинетической энергии большой мощности в тепловую приводит, в первую очередь, к возникновению пожара. Накопление газовой смеси в отдельных локальных объемах при последующем нагреве приводит к ее взрыву.

На основании выше изложенного можно сделать следующие выводы:

при пожаре температура факела не может превысить температуру жаропроизводительности углеводородов;

теплотворная способность углеводородного топлива значительно меньше энергии, выделяемой при горении, т.к. значительная ее часть расходуется на подготовку его к горению.

По мере увеличения молярной массы фракций, энергия на подготовку топлива к горению увеличивается. Поэтому фракции с температурой вспышки выше 60°C безопасны при транспортировке танкерами.

## **Глава 3**

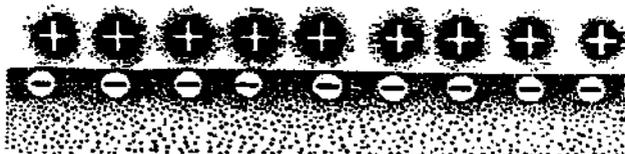
### **Статическое электричество**

#### **3.1. Физическое представление о возникновении статического электричества**

Электростатическое заряджение тел может происходить следующим образом:

- незаряженные тела взаимно заряжаются при отсутствии внешних электрических полей;
- незаряженные тела получают заряды от заряженных тел;
- незаряженные тела заряжаются при наличии внешнего поля.

Когда в контакт входят два тела из разнородных металлов, на поверхности, разделяющей эти тела, имеет место разделение зарядов. При этом заряд одного знака, например, положительно, перемещается от одного тела к другому так, что тела становятся отрицательно и положительно заряженными. Пока эти тела контактируют и неподвижны относительно друг друга, заряды находятся близко друг к другу (рис. 3.1.). Незначительная разность потенциалов между зарядами разного знака не представляет никакой угрозы. Такое явление может наблюдаться на поверхности раздела металл-вакуум, металл-газ, металл-металл, металл-полупроводник, металл-диэлектрик, диэлектрик-диэлектрик, жидкость-твердое тело, жидкость-жидкость, жидкость-газ.



*Рис.3.1. Простейшая модель двойного электрического слоя.*

Когда же тела разделяются, разделяются и заряды, между ними возникает значительная разность потенциалов.

Интенсивное разделение зарядов может происходить на судах в результате следующих действий:

- всплытие воздушных пузырьков в нефтепродуктах (рис. 3.2а);
- прохождение потока жидкости (нефтепродукта или смеси нефтепродукта с водой) через трубы и фильтры (рис. 3.2б);
- завихрение потока жидкости у изгиба трубопровода (рис. 3.2в);
- разбрызгивание жидкости в начальный момент погрузки (рис. 3.2г);
- перемещение жидкости в танке при качке (рис. 3.2д);
- волны на поверхности жидкого груза (рис. 3.2е);
- осаждение частиц твердого тела (ржавчины) или несмешивающейся жидкости (воды) через другую жидкость (нефтепродукты) (рис. 3.2ж);
- стекание нефтепродукта с подволока танка (рис. 3.2з);
- выброс мелких частиц или капель из сопла, например, при обработке паром (рис. 3.2и);
- выплескивание жидкости при ее соприкосновении с твердой поверхностью (при мойке водой);
- трение друг о друга синтетических полимеров и др.

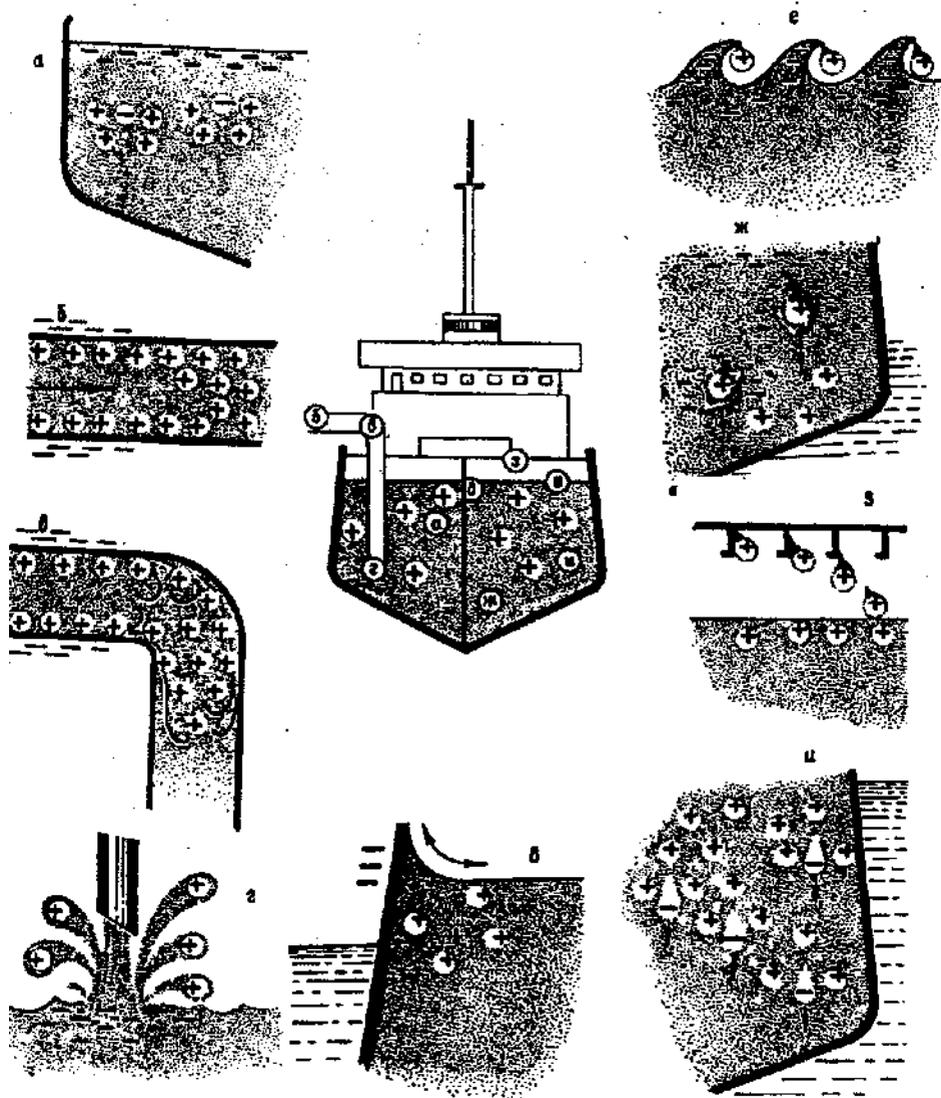


Рис.3,2. Источники электростатического электричества на танкере

Разделение зарядов вызывает распределение разности потенциалов во всем пространстве, т.е. образуется электростатическое поле. Например, заряд заряженного жидкого нефтепродукта в танке образует электростатическое поле во всем танке. Аналогично, заряд водного тумана во время мойки танка также вызывает поле во всем его пространстве.

Незаряженный проводник, находящийся в электростатическом поле, имеет приблизительно тот же потенциал, как и пространство, в котором он находится. Поле приводит в движение заряд внутри проводника; заряд одного знака притягивается полем к концу проводника, на другом его конце остается равный по величине заряд противоположного знака. Полученные таким образом заряды называются индуцированными, т.е. вызванными внешним полем.

Разделенные заряды с течением времени стремятся соединиться и нейтрализовать друг друга. Если материалы, несущие заряды, имеют очень низкую электропроводность, то повторное соединение зарядов затруднено и данный материал сохраняет (аккумулирует) заряд. Период сохранения заряда характеризуется временем релаксации этого материала.

Если проводимость материала высока, то заряды соединяются быстро, в результате чего статическое электричество практически не аккумулируется, т.е. не сохраняется. Такой материал может сохранять заряд, если он изолирован диэлектриком.

### **3.2. Нефтепродукты - аккумуляторы статического электричества**

Статическое электричество на танкерах может представлять большую опасность, так как многие из нефтепродуктов обладают способностью аккумулировать достаточно опасные заряды статического электричества.

Используемыми на нефтеналивных танкерах электростатически активными средствами являются органические жидкости и твердые диэлектрические материалы с удельной объемной электрической проводимостью меньшей  $10^{-8}$  1/Ом·м (табл. 3.1).

**Удельная объемная электрическая проводимость  
различных жидкостей**

<b>Вещество</b>	<b>Удельная объемная проводимость 1/Ом м</b>
Вода: Морская	1...4
Водопроводная	$10^{-2}$
Дистиллированная	$10^{-4}$
Спирт этиловый	$10^{-5}$
Ацетон	$10^{-7}$
Мазут	$3 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-10}$
Дизельное топливо	$10^{-8} \dots 3 \cdot 10^{-12}$
Авиационный бензин	$3 \cdot 10^{-10} \dots 8 \cdot 10^{-10}$
Тяжелые фракции бензина	$8 \cdot 10^{-11} \dots 3,5 \cdot 10^{-12}$
Керосин	$10^{-9} \dots 10^{-13}$
Топливо JP-4	$10^{-10} \dots 10^{-12}$
Бензол	$10^{-16}$
Целлулоид	$10^{-8}$
Резина	$10^{-9}$
Стекло	$10^{-9} \dots 10^{-12}$
Слюда	$10^{-11} \dots 10^{-15}$
Винипласт	$10^{-12}$
Полиэтилен	$10^{-13} \dots 10^{-15}$
Полистирол	$10^{-15}$
Фторопласт	$10^{-17}$

Продукты перегонки нефти из-за своей низкой электрической проводимости являются, как правило, аккумуляторами статического электричества. К ним, прежде всего, можно отнести:

- природные газолиты;  
керосины;  
уайт-спириты;
- авиационные и моторные бензины;
- карбюраторное топливо;
- тяжелые газовые масла;  
смазочные масла;
- отопительные нефти;
- нафтаны;  
очищенное дизельное топливо и др.

В то же время, темные нефти имеют достаточную проводимость и аккумуляторами статического электричества не являются. Поэтому продукты темных нефтей, содержащие большое количество примесей, сырые нефти, темное дизельное топливо, мазуты, асфальты (битум) не квалифицируются как грузы, аккумулирующие статическое электричество в опасных размерах.

Если же темные нефтепродукты в своей массе имеют во взвешенном состоянии капельки воды, то в них могут содержаться значительные заряды статического электричества.

Вместе с тем, скорость образования и величина зарядов в значительной степени зависит от вязкости нефтепродуктов. Чем больше вязкость, тем меньше насыщенность электричеством.

### **3.3. «Электростатический» взрыв и пожар**

Статическое электричество, образовавшееся в нефтепродуктах, может привести к воспламенению, взрыву и пожару, если потенциал поля зарядов, достигает определенной величины, при которой возникает искровой разряд, а энергия этого разряда достаточна для воспламенения имеющейся концентрации взрывоопасной смеси паров нефтепродуктов с воздухом.

«Электростатический» пожар или взрыв являются результатом последовательного протекания следующих процессов (рис. 3.3):

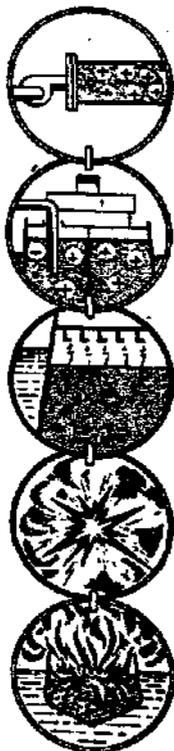
- генерирование зарядов статического электричества;
- накопление зарядов на борту судна;
- искровые разряды статического электричества в среде горючих смесей соответствующей концентрации и температуры;
- воспламенение этих смесей искрой достаточно большой энергии;
- возгорание или взрыв горючей смеси.

Все эти процессы являются неразрывными звеньями одной цепи, и отсутствие хотя бы одного из них разрушает эту цепь и устраняет возможность возникновения пожара или взрыва, вызванного статическим электричеством.

Основными мероприятиями по ограничению действия статического электричества на процессы в танках судов являются:

- предотвращение появления электростатических зарядов в нефтепродуктах, материалах и оборудовании;

- снижение электрических зарядов до безопасной величины;
- предотвращение накопления зарядов в нефтепродуктах и в твердых телах из диэлектриков;
- нейтрализация зарядов;
- предотвращение образования взрывоопасных концентраций газов в местах возможного появления статического электричества.



*Рис. 3.3. Звенья цепи возникновения электростатического взрыва.*

### **3.4. Защита грузовых систем танкеров от электростатической опасности**

Организация защиты грузовых систем танкеров от электростатической опасности связана с эксплуатационными и технологическими мероприятиями, а также с конструктивными средствами электростатической защиты.

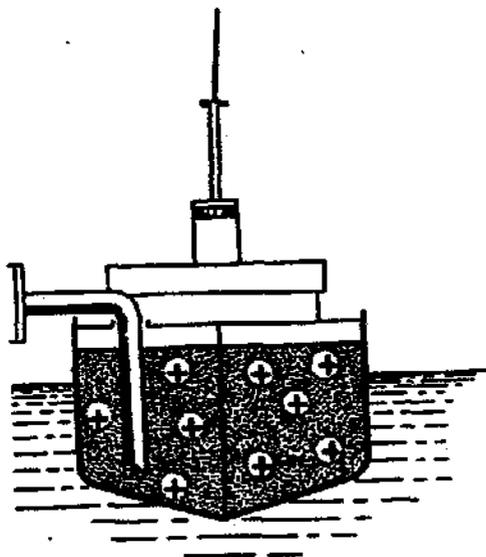
К эксплуатационным мероприятиям относится, прежде всего, выбор режима заполнения танка грузом, который определяется производительностью грузовой системы и ее параметрами - диаметром трубопровода и объемом танка, а также наличием электростатической защиты.

К технологическим мероприятиям относится, прежде всего, введение в нефтепродукты специальных химических соединений - антистатических присадок, повышающих объемную проводимость нефтепродуктов на 3-4 порядка.

Конструктивные средства электростатической защиты обеспечивают безопасность грузовых операций за счет снижения плотности объемного заряда в выносимом потоке жидкости и средств, изменяющих распространение заряда в танке.

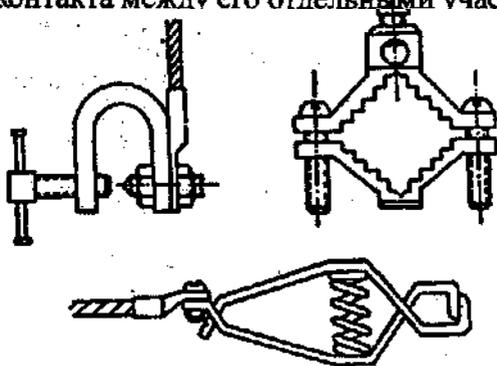
К основным мероприятиям и средствам электростатической защиты относятся:

- рациональное конструирование магистралей, грузовых танков и топливных цистерн;
- расположение среза приемного патрубка ближе к днищу танка (рис. 3.4);



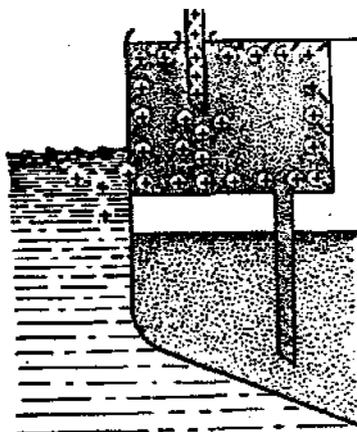
*Рис. 3.4. Расположение приемного патрубка в танке*

- повышение поверхностной и объемной проводимости твердых тел;
- повышение объемной проводимости жидкостей (нефтепродуктов);
- заземление всех металлических или хорошо проводящих деталей и предметов, находящихся вблизи мест концентрации зарядов;
- заземление трубопроводов и шлангов и обеспечение электрического контакта между его отдельными участками (рис. 3.5);



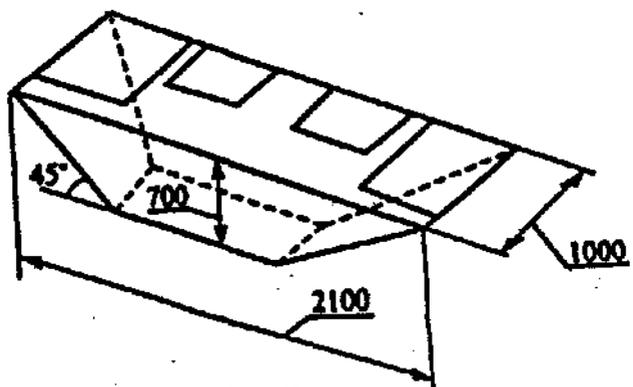
*Рис. 3.5. Приспособления для заземления шлангов*

- использование так называемых релаксационных резервуаров в танках для стекания зарядов (рис. 3.6);



*Рис.3.6. Принцип использования релаксационного резервуара.*

- устранение из конструкций деталей с остроконечными выступами и увеличение зазоров между металлическими деталями и предметами;
- тщательное заземление металлических поверхностей грузовых танков и топливных цистерн;
- использование неконтактных электрических и электромеханических индикаторов уровня;
- устранение случайных причин искрообразования, связанных с плаванием проводящих предметов на поверхности наэлектризованных жидких грузов;
- своевременное проведение различных измерений в процессе грузовых операций;
- недопущение падения незакрепленных металлических предметов во время мойки;
- разработка и установка автоматических систем нейтрализации электростатических полей в объеме танка;
- применение антистатических колодцев в днищах танков (рис. 3.7);



*Рис.3.7.Конструкция грузового колодца*

- установка гидродинамических различных насадок на концевую часть -трубопроводов: конических, коробчатого типа, фасонных, а также оригинальных конструкций типа «рыбий хвост», типа «нога слона», рожкового типа, с переменной площадью проточной части, с удлиненным раструбом и др. (рис. 3.8);
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

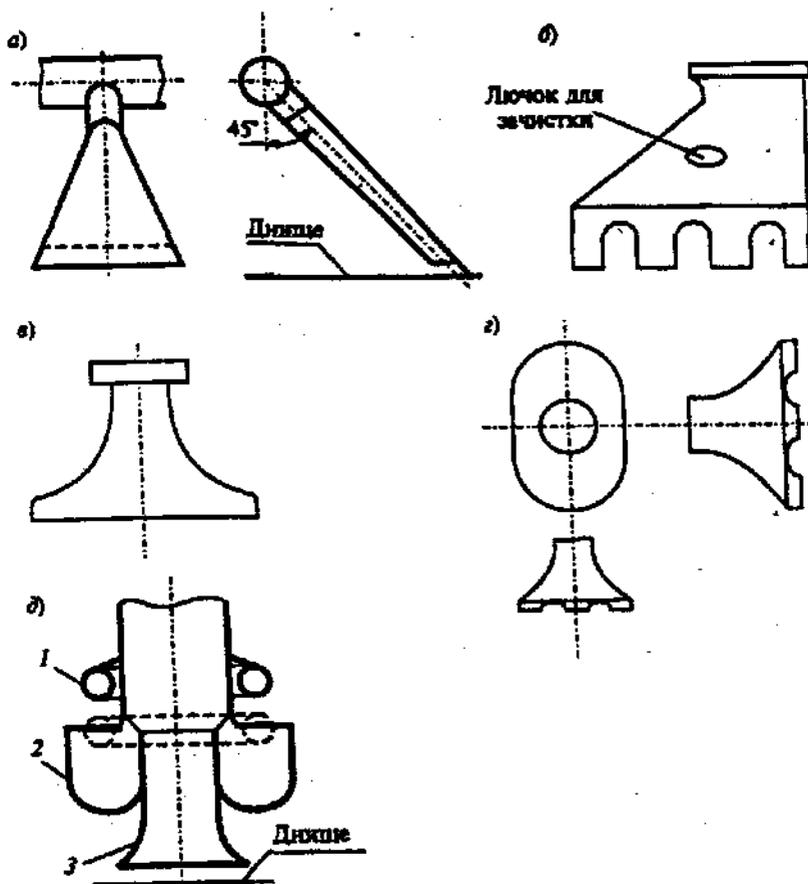


Рис. 3.8. Приемные патрубки, применяемые на судах зарубежной постройки:

*а* — типа «рыбий хвост»; *б* - типа «нога слона»; *в* - рожкового типа; *г* - с удлиненным раструбом;

*д* - с переменной площадью проточной части.

1-поплавковый клапан; 2-грузовой патрубок; 3-зачистной патрубок

# Глава 4

## Системы инертных газов

### 4.1 Общие понятия в требования к системе инертных газов

Закрытие Суэцкого канала в 1967 году в результате Арабо-Израильского конфликта привело к необходимости транспортировки нефти из Персидского залива в порты Европы и Америки вокруг Африки, что было экономически оправданным только при использовании крупнотоннажных танкеров. Первый опыт эксплуатации таких танкеров показал их низкую надежность, связанную с взрывами в танках при балластных переходах.

Последующие исследования показали, что причиной взрывов было статическое электричество, потенциал которого увеличивается пропорционально размерам танков. Дополнительным фактором, способствующим увеличению потенциала саморазряда статического электричества в танках, является большое объемное удельное сопротивление паров углеводородов, достигающее  $10^{12} - 10^{14}$ , ом/м<sup>3</sup>.

Для повышения безопасности судоходства, начиная с 70-х годов, начинается внедрение инертных газов на ранее построенных танкерах с грузоместимостью более 40 000 тонн. Для танкеров, находящихся на стапелях или в стадии проектирования, система инертных газов (СИГ) внедрялась, начиная с грузоместимости 20 000 и выше. При этом использование системы инертных газов не требовалось, если температура вспышки перевозимого груза была выше 60°C в закрытом тигле.

Следует заметить, что впервые инертные газы на танкерах нашли применение в 1925 году. В те годы их использование было связано только со снижением скорости коррозионных процессов в танках.

20 ноября 1973 года Ассамблея Межправительственной морской консультативной организации на своей восьмой сессии приняла Резолюцию А.271 в отношении основных правил применения СИГ.

Эта резолюция была включена в Международную конвенцию по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС) в виде правила 62 главы 2.

В соответствии с этими документами использование инертного газа расширилось по сравнению с довоенным периодом и основным его назначением стало предотвращение взрывов на крупнотоннажных танкерах и снижение скорости коррозионных процессов. В этих документах появились отдельные однозначные определения и формулировки, которыми следует пользоваться в обиходе и при подготовке технических документов.

Ниже приводится перечень основных определений.

- *Система инертных газов предназначена* для подачи инертного газа или смесей инертных газов в танки танкеров.
- *Под системой инертного газа подразумевается* установка для выработки инертного газа и система распространения инертного газа вместе со средствами предотвращения противотока газов из танков, а также стационарные и переносные измерительные устройства и приборы контроля.
- *Инертный газ означает газ или смесь газов*, например, топочные газы, содержащие кислород в количестве, недостаточном для поддержания горения углеводородов.
- *Инертное состояние означает состояние*, при котором содержание кислорода в атмосфере только после добавления инертного газа не превышает 8% по объему.
- *Установка для выработки инертного газа означает все оборудование*, специально смонтированное для получения охлаждения, очистки, нагнетания, контроля и регулирования подачи инертного газа в систему грузовых танков.
- *Система распределения инертного газа* включает все трубопроводы и связанную с ними арматуру, используемую для подачи инертного газа из вырабатывающей его установки в грузовые танки, для выброса газов в атмосферу, а также для защиты от чрезмерного давления или вакуума.
- *Инертизация означает* подачу инертного газа в целях создания в танках инертной атмосферы. • *Дегазация* означает введение в танк свежего воздуха в целях

удаления токсичных, воспламеняющихся и инертных газов, а также увеличение кислорода до 21 % по объему.

" *Продувка означает* подачу инертного газа в танк, в котором уже создана инертная атмосфера в целях дальнейшего уменьшения содержания кислорода или углеводородного газа до уровней, ниже которых поддержание процесса горения становится невозможным даже в случае последующего пуска воздуха в танк.

" *Дополнительная подача инертного газа означает* пуск в инертную атмосферу танка дополнительного количества инертных газов в целях повышения давления в танке и предотвращения поступления воздуха в танк.

## **4.2. Использование инертных газов для предотвращения пожаров. Общие положения**

При использовании СИГ защита танка от взрыва обеспечивается путем введения инертного газа в данный танк для поддержания в нем атмосферы с низким содержанием кислорода, а также для снижения концентрации углеводородного газа до безопасных пределов.

Для предотвращения взрыва внутри танка необходимо устранить, по крайней мере, один из следующих трех компонентов:

- источник воспламенения;
- углеводородные газы;
- кислород (в той пропорции, при которой поддерживается горение).

После завершения выгрузки груза и в процессе балластного рейса в грузовых танках находится смесь углеводородных газов с воздухом. Концентрация углеводородов зависит от многих факторов. К ним относится летучесть груза, температура окружающей среды, количество твердых остатков и т. д. Такую концентрацию смеси невозможно рассчитать, и поэтому ее надлежит определять путем измерений.

Обычно на практике принято держать источники воспламенения вдали от грузовых танков. Защиту танка от взрыва можно

также обеспечить путем введения инертного газа в танк, при этом содержание кислорода уменьшается, а содержание компонентов инертного газа в атмосфере сводится к безопасным пропорциям.

#### **4.2.1 Влияние инертного газа на воспламенение**

Если инертный газ, обычно топочный газ, добавляется в смесь углеводородного газа с воздухом, то в результате изменения концентрации углеводорода увеличивается нижний и снижается верхний пределы воспламенения. Эти явления проиллюстрированы на рис. 4.1, который служит только для разъяснения соответствующих положений.

Любая смесь углеводородного газа, воздуха и инертного газа представлена на диаграмме точкой, координаты которой соответствуют содержанию углеводородного газа и кислорода.

Смеси углеводородного газа с воздухом, не содержащие инертный газ, представлены линией XD, наклон которой показывает снижение содержания кислорода по мере увеличения содержания углеводорода. Смеси, содержание кислорода в которых в дальнейшем снижается путем добавления инертного газа, представлены множеством точек на площади слева от линии XD.

Из рис. 4.1 видно, что по мере того, как инертный газ добавляется к смесям углеводородного газа с воздухом, диапазон воспламенения постепенно уменьшается до тех пор, пока содержание кислорода не достигнет уровня, обычно принимаемого равным приблизительно 11% по объему, при котором ни одна из смесей гореть не может. В Наставлениях, в целях обеспечения безопасности от воспламенения газов в танках, допускается не более 8%-го содержания кислорода по объему.

Нижний и верхний пределы воспламенения смесей углеводородного газа с воздухом представлены точками L и D. По мере увеличения содержания инертного газа предел воспламенения смесей меняется. Это подтверждается линиями KL и KD, которые в итоге сходятся в точке K. Только те смеси, которые представлены точками в заштрихованной зоне LKD, способны к воспламенению.

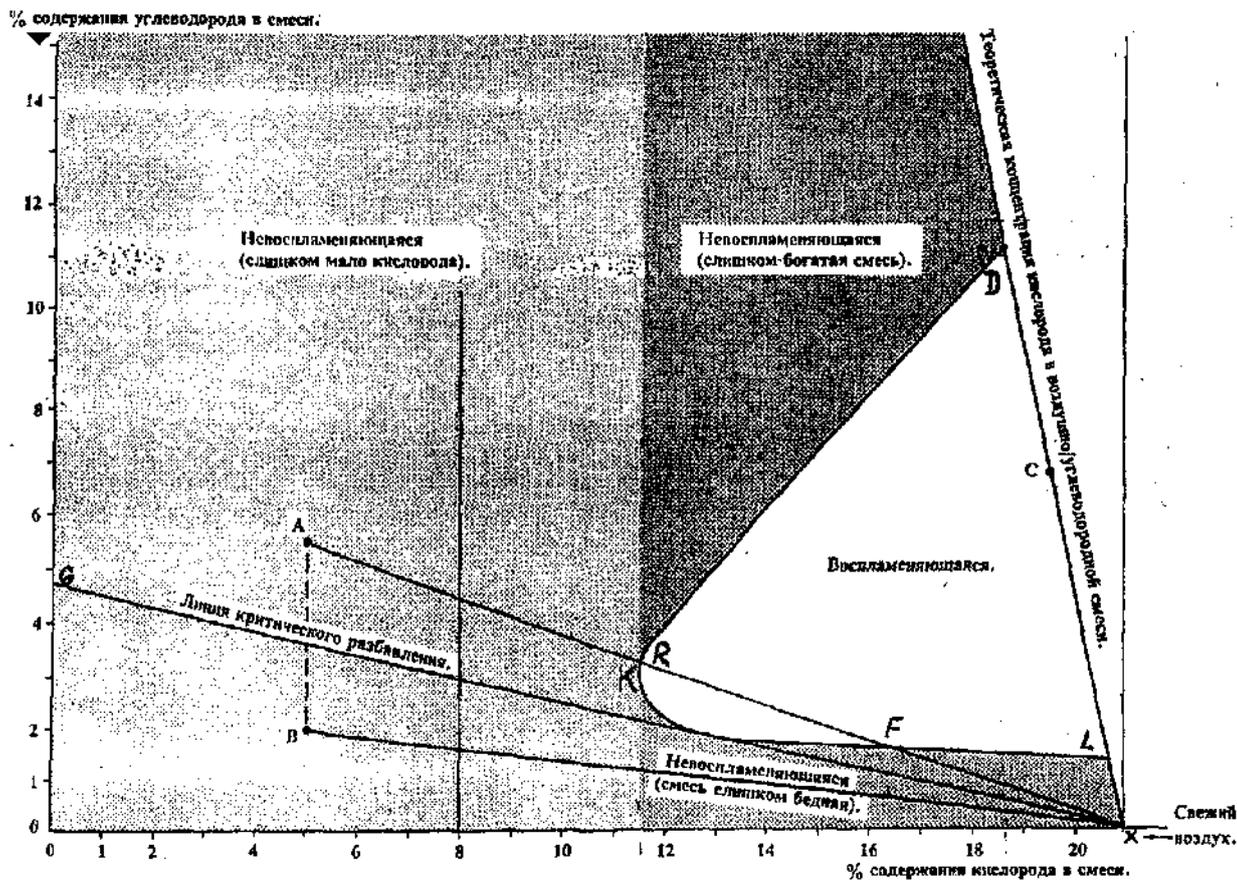


Рис 4.1. Диаграмма воспламеняемости

Изменения газового состава при дегазации танка в результате добавления воздуха (линия AX) приведет к получению взрывоопасной смеси газов на участке RF. Обеспечить безопасность при дегазации такого танка можно, если его продуть инертными газами (линия AB). Поэтому, если при эксплуатации танкера возникла необходимость в дегазации танка и замеры показали значения кислорода и углеводорода соответствующие, например, точке A, то, прежде чем подать в танк воздух, его следует продуть инертными газами. При этом содержание углеводородов в танке уменьшится и будет соответствовать, допустим, точке B, которая находится ниже линии GX - линии критического разбавления. Процесс замещения углеводородов инертными газами получил название продувки танков.

Таким образом, прежде чем начать дегазацию танка необходимо замерить концентрацию углеводородных газов и кислорода и в случае, если точка их пересечения окажется ниже линии критического разбавления, то безопасность при дегазации будет обеспечена, в противном случае необходимо продуть танк инертными газами.

### **4.3. Описание системы инертных газов. Общие требования**

Место забора топочного газа из дымовой трубы находится после последней поверхности теплообмена котла. Это связано с необходимостью подачи газа в газоочиститель с минимально возможной его температурой. Место забора не должно быть расположено слишком близко к выпускному срезу газоотводящей трубы, иначе в систему инертного газа может попасть воздух. По этой же причине не рекомендуется отбирать более 30% по объему уходящих газов из дымохода котла. Если котлы оснащены роторными нагревателями воздуха, то место забора топочного газа должно быть расположено перед ними.

При выборе материалов для изготовления клапанов отсечения топочного газа следует принимать во внимание температуру газа у отводного газопровода. При температуре газа ниже 220°C

применяется чугун. Если температура газа превышает 220°C, то клапаны должны быть изготовлены из материала, способного выдерживать не только воздействие высокой температуры, но и обладать коррозионной устойчивостью по отношению к воздействию кислот, которые в избытке содержатся в газах при сжигании сернистых топлив.

Клапаны отсечения топочного газа должны быть оснащены устройствами, обеспечивающими чистоту седел от сажи, если только конструкция газозабора не предусматривает наличие устройства для их очистки. Если требуется установка устройства, компенсирующего тепловое расширение труб (сильфонов), то оно должно иметь гладкую внутреннюю поверхность. Сильфоны предпочтительно устанавливать в вертикальном положении и изготавливать из материала, устойчивого к воздействию кислот. Система трубопроводов на участке между клапаном отсечения топочного газа и газоочистителем должна быть изготовлена из коррозионностойкой стали и скомпонована таким образом, чтобы трубы не имели лишних изгибов и ответвлений, которые могут служить местом скопления сажи, содержащей кислоты.

Система впускных трубопроводов, идущих к газоочистителю, должна быть скомпонована таким образом, чтобы обеспечить полное отсечение топочного газа до начала дегазации, для безопасного входа обслуживающего персонала в газоочиститель и производства там текущих работ. Это условие можно выполнить путем снятия секции трубы определенной длины и установки заглушек, а также путем установки фланцев в виде очков или водяного затвора, который должен предотвращать любую утечку газа из судового котла в случае, когда клапан отсечения топочного газа и газоочиститель открыты для осмотра и выполнения технического обслуживания. Если из водяного затвора необходимо слить воду для его осмотра, то отсечение топочного газа можно осуществить путем снятия и блокировки секции труб соответствующей длины, а также путем использования фланцев в виде очков.

Система выпускных трубопроводов, идущих от газоочистителя к нагнетателям и трубопроводу для рециркуляции газа,

должна быть сконструирована из стальных труб с соответствующим внутренним покрытием.

Клапан регулировки давления инертного газа в системе должен быть оборудован устройствами, фиксирующими его положение (открыт или закрыт). Когда клапан используется для регулировки потока инертного газа, он должен управляться в зависимости от показаний датчиков давления, установленных на участке между палубным разобщающим клапаном и грузовыми танками.

Палубные трубопроводы должны изготавливаться из стали, компоноваться с учетом обеспечения возможности самоосушения и надежно крепиться к корпусу судна с помощью соответствующих приспособлений, предотвращающих подвижку трубопроводов, обусловленную погодными условиями, тепловым расширением и изгибом судна.

При выборе диаметра магистрального трубопровода инертного газа, клапанов и отводных труб следует учитывать потери напора инертного газа. В целях предотвращения чрезмерной потери давления скорость потока инертного газа на любом участке системы распределения не должна превышать 40 м/с в период эксплуатации СИГ на максимальную производительность.

На всех отверстиях, предназначенных для сброса давления и вакуума, должны быть установлены пламезащитные сетки, к которым необходимо обеспечить беспрепятственный доступ для их очистки и замены. Такие пламезащитные сетки должны быть установлены у впускных и выпускных отверстий любого устройства для сброса давления и вакуума и иметь жесткую конструкцию, способную противостоять давлению газа, которое возникает в момент его подачи с максимальной интенсивностью.

#### **4.3.1 Принципиальные схемы систем инертных газов, назначение отдельных узлов**

В настоящее время на танкерах можно встретить системы инертных газов, отдельные элементы которых существенно отличаются по конструктивным признакам друг от друга, но обеспечивают в большей или меньшей мере поддержание в допустимых пределах основных параметров инертных газов. При этом

их функциональные свойства мало отличаются, несмотря на существенное конструктивное отличие.

Все существующие системы инертного газа можно разделить на три группы.

**К первой группе** следует отнести СИГ, в которой для получения инертных газов используются дымовые газы паровых котлов. На этих танкерах грузовые насосы приводятся от вспомогательных паровых турбин, а силовая установка может быть как паровой, так и дизельной.

**Ко второй группе** относятся системы инертных газов, для которых источником газов является газогенератор. Силовая установка у таких танкеров - дизельная. Особенностью такой силовой установки является излишне большая мощность дизель-генераторов, намного превышающая максимально возможную нагрузку электростанции на режимах, не связанных с грузовыми операциями. Приводами грузовых насосов таких систем могут быть электродвигатели с тиристорной схемой управления частотой вращения и гидропоршневые приводы переменной производительности.

**Третья группа** - комбинация первых двух. В качестве исходных в таких установках могут использоваться уходящие газы дизель-генераторов, вспомогательных котлов, содержание кислорода в которых превышает допустимые нормы (более 8%). Особенностью такой установки является наличие топочного устройства, в котором избыток кислорода уходящих газов дожигается путем подвода дополнительного топлива,

В первом случае грузовые насосы находятся в помповом отделении. Их паровые турбины или электродвигатели устанавливаются в машинном отделении. Во втором и третьем случаях насосы с приводами расположены непосредственно в каждом танке. Производительность их относительно мала, что позволяет отказаться от зачистной системы. Последнее является существенным достоинством такой грузовой системы.

Система инертных газов может быть разделена на две части. К первой относятся элементы, связанные с подготовкой и получением инертного газа с заданными параметрами. Элементы

второй части системы обеспечивают подачу инертного газа в танки» поддержание заданного давления и контроль его.

Представляется целесообразным элементы первой и второй групп рассмотреть отдельно с учетом их функциональных и конструктивных особенностей.

#### **4.3.2. Установка для получения инертного газа с газоочистителем барботажного типа**

На рис. 4.2 представлена типовая схема системы инертного газа. Элементы, обеспечивающие получение инертного газа, включают: секущий клапан 1, устанавливаемый у дымохода парового котла на газопроводе, соединяющем выхлопную трубу котла с газоочистителем 2, посредством которой горячие неочищенные газы поступают в газоочиститель. В нем газ охлаждается и очищается прежде, чем он поступит по трубам к двум нагнетателям (№1 и №2). Газонагнетатели, блок автоматики, палубный гидрозатвор, невозвратный клапан, прерыватель давления/вакуум и т.д. формируют вторую часть системы.

Перед газонагнетателями установлены приемные секущие клапаны (4), между ними и газонагнетателями находится труба с управляющим клапаном **Ку1**. Этот клапан расположен на линии всасывания нагнетателей и обеспечивает подачу свежего воздуха в танки при их дегазации. После газонагнетателей установлены секущие клапаны (6).

Клапан регулирования давления инертного газа в системе **Ку2**, газовыпускной клапан **Ку3** и клапан возврата инертного газа в газоочиститель **Ку4** по назначению являются управляющими и вместе с другими элементами автоматики формируют блок управления и защиты системы инертных газов.

Клапан **Ку2** обеспечивает поддержание давления в системе инертных газов в пределах, которые соответствуют от 100 до 800 мм вода. ст. для танкеров, предельно допустимое давление инертных газов при этом соответствует 1200 мм воды. ст. В случае повышения содержания кислорода или давления инертных газов выше расчетного значения открывается клапан **Ку2**, через который удаляется газ в атмосферу.

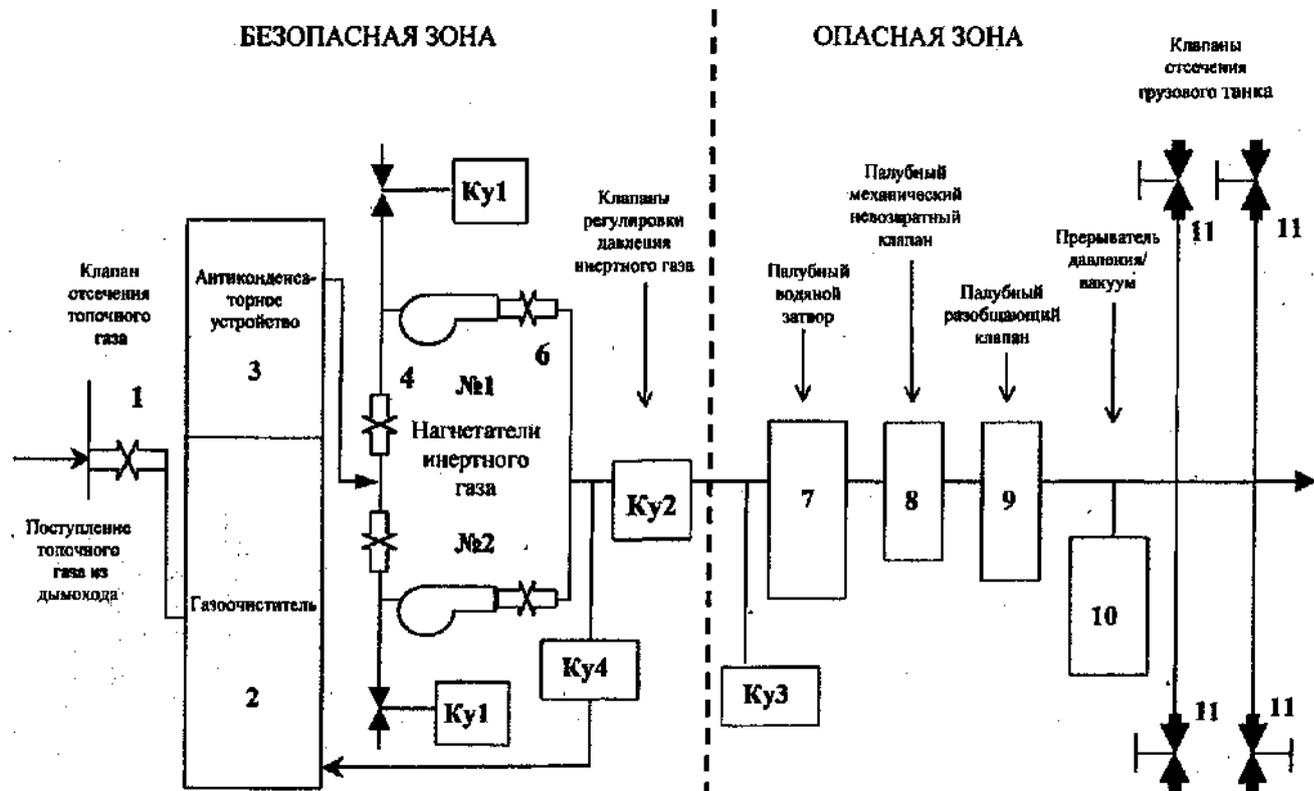


Рис.4.2. Система инертного газа с газоочистителем барботажного типа

При повышении температуры инертного газа выше допустимого предела (65-70° С), клапан Ку4 открывается, и инертный газ возвращается в газоочиститель. При этом одновременно увеличивается расход охлаждающей воды, что приводит к снижению его температуры.

Встречаются аналогичные установки, в которых при повышении давления инертного газа в системе его избыток возвращается в газоочиститель на рециркуляцию. В этом случае отбор уходящих газов из котла снижается, что обеспечивает меньшее загрязнение газоочистителя и снижает скорость коррозионных процессов.

После блока автоматики установлены палубный гидрозатвор 7, невозвратный клапан 8, секущий клапан 9, прерыватель давления/вакуума 10 и трубопроводы подвода инертного газа к танкам с секущими клапанами 11.

Назначение этих узлов и принцип работы будут рассмотрены ниже после анализа других принципиальных схем инертного газа, нашедших применение на танкерах.

Основным недостатком газоочистителя такого типа является его достаточно большое гидравлическое сопротивление, которое существенно влияет на технико-экономические показатели газодувок. Поэтому на современных танкерах достаточно часто можно встретить другие конструкции газоочистителей.

### **4.3.3. Автономная газогенераторная установка**

Более совершенной с точки зрения условий эксплуатации газодувок является схема, представленная на рис.4.3. На этой схеме газодувки заменены вентиляторами (В), что существенно повышает их технико-экономические показатели благодаря значительному снижению гидравлического сопротивления на всасывании и надежность из-за подачи воздуха, а не инертного газа. На этой схеме воздух из атмосферы подается одним из вентиляторов в топочное устройство ТУ и в газогенератор ГО.

Топливо насосом ТН подается по общей трубе к трем управляющим клапанам Ку2, Ку3 и Ку4. Управляющий клапан Ку1 обеспечивает продувку газогенератора и газоочистителя перед их пуском и подачу воздуха в газогенератор при розжиге.

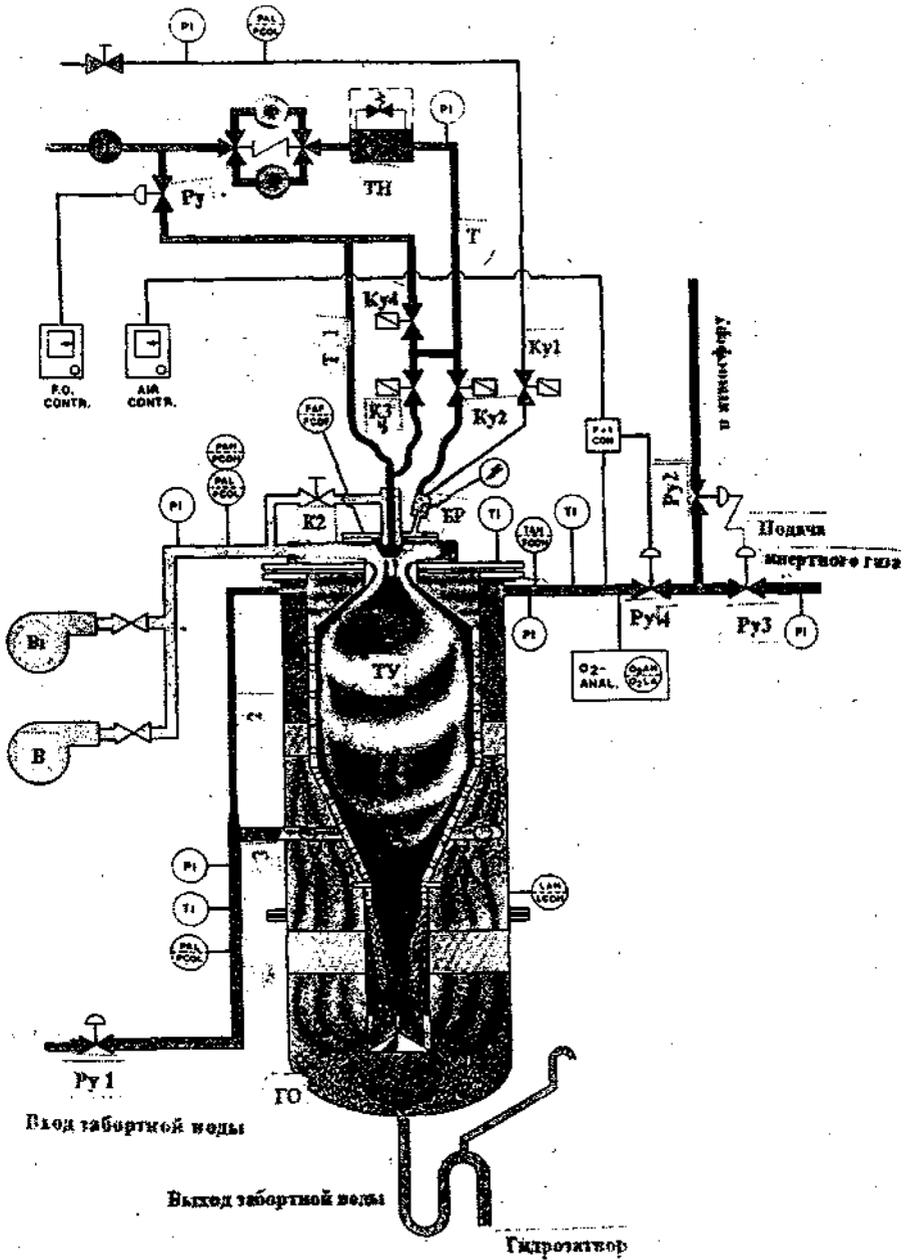


Рис.4.3. Автономная газогенераторная установка

После продувки ТУ и ГО открывается клапан Ку2 и топливо подается в запальное устройство БР, где смешивается с воздухом. В этот момент подается искра, что обеспечивает воспламенение топливовоздушной смеси. Клапан Ку4 перепускает часть топлива в приемную магистраль. Регулирующий клапан Ру находится в открытом положении. После пуска газогенератора от вентиляторов одновременно в топочное устройство подается топливо через клапан Ку3. Клапаны Ку1, Ку2 и Ку4 закрываются. Часть воздуха от вентилятора через секущий клапан К2 поступает к форсунке и смешивается с топливом, вторая часть направляется в топку, минуя форсунку. Топливо по трубе Т поступает к клапану Ку3.

Расход топлива с учетом режима работы газогенератора и содержания кислорода в уходящих газах теперь поддерживает регулирующий клапан Ру, пропуская часть топлива по трубопроводу Т1 в приемную топливную магистраль.

При эксплуатации установки давление газов в газогенераторе поддерживается постоянным и регулируется клапанами Ру4, излишки газов удаляются в атмосферу через регулирующий клапан Ру2. Содержание кислорода в инертных газах поддерживается расходом топлива, подаваемого в топочное устройство, и регулируется клапаном Ру.

Для охлаждения топочного устройства и газов, их очистки в газоочиститель подается забортная вода от специально установленных для этой цели двух насосов. Необходимый расход воды на газоочиститель регулируется клапаном Ру1. Вода на охлаждение в топочное устройство подается по трубе 2, на очистку и охлаждение газов - по трубе 3. Использованная в газоочистителе вода удаляется через гидрозатвор за борт.

#### 4.3.4. Газогенераторные установки с дожигающим устройством

На рис.4.4 представлена схема газогенератора, в котором могут быть использованы в качестве исходных для получения инертных газов уходящие газы парового котла, дизель-генераторов, содержание кислорода в которых превышает допустимые нормы.



Основные узлы, представленные на рис.4.4, обозначены: В - вентилятор с управляющим клапаном Ку3; БР - запальные устройства, включающие автономные топливную и воздухоподводящую системы и блок электророзжига; Ф - топливный фильтр; ТН - топливный насос с топливной системой; ВТН - вспомогательный топливный насос; **АСПВ** - автономный вспомогательный воздуховод; Ку1 - управляющий клапан системы подачи уходящих газов от котла; Ку2 - управляющий клапан системы подачи уходящих газов от дизель-генератора; Ку3 - общий управляющий клапан газозоодушнoй системы; Ку4 - основной управляющий топливный клапан; Ку5 - управляющий клапан перед газодувкой; Куб - управляющий клапан на линии нагнетания газодувки; Ку7 - управляющий клапан удаления продуктов сгорания при пуске газогенератора; Ку8 - регулирующий клапан возврата инертного газа в газоочиститель при значениях их температур выше допустимых; Ку9 - управляющий клапан подачи воздуха в систему инертных газов при дегазации танков; Ру - регулирующий клапан подачи воды к газогенераторному блоку; Ру1 - регулирующий клапан возврата топлива; Ру2 - регулирующий клапан удаления газов и системы инертного газа в атмосферу; Ру3 - регулирующий клапан подачи инертного газа в грузовые танки танкера;

- 1 - кислородомер;
- 2 - регулирующее устройство кислородомера с последующей подачей управляющего сигнала на Ру;
- 3 - регистрирующие и управляющие устройства контроля температуры инертных газов с последующей подачей управляющего сигнала на Ру1.

Дожигание кислорода, содержащегося в уходящих газах дизель-генераторов и вспомогательных котлов путем додачи топлива и дополнительного воздуха в такие газогенераторы, позволяет получить инертные газы с содержанием кислорода порядка 1.5 — 2%.

Этому способствуют высокая температура факела, связанная с отсутствием теплообменных поверхностей и возможность регулирования содержания кислорода путем изменения подачи как воздуха, так и топлива.

В паровых котлах дизельных танкеров избыток кислорода наблюдается при их эксплуатации на частичных режимах, у дизель-генераторов во всем диапазоне их эксплуатации. Установка такого дожигающего устройства позволяет существенно уменьшить расход топлива за счет высокой температуры уходящих газов из котла или дизель-генератора.

При использовании уходящих газов котлов или дизель-генераторов газы соответственно поступают через клапаны К1 или К2 и К3 в топочное устройство ТУ. Дополнительный воздух направляется в ТУ вспомогательным вентилятором В. Топливо в дожигающее устройство подается насосом ТН через управляющий клапан Ку4, излишки топлива возвращаются через регулирующий клапан Ру1 по трубе в приемную магистраль ТН.

Положение клапанов Ку1 и Ку2, количество подаваемого топлива в дожигающее устройство зависит от содержания кислорода в инертных газах, которое постоянно контролируется кислородомером О2, пока работает система инертных газов.

Для розжига топочного устройства предусмотрено запальное устройство БР, которое включает вспомогательный топливный насос ВТН, автономную систему воздухообеспечения АСПВ и электродуговое устройство для поджига топлива при запуске этого устройства.

При работе установки в газоочиститель ГО в необходимом количестве подается забортная вода, часть ее используется для охлаждения наружной поверхности топочного устройства с последующей подачей этой воды на охлаждение газа в нижнюю часть ТУ. Вторая часть воды через распыливающие устройства подается навстречу восходящим потокам газа. Расход воды с учетом температуры инертного газа перед газодувкой ГД регу-

лируется управляющим клапаном заборной воды Ру. Охладив газы и очистив их от твердых частиц и кислот, вода через гидрозатвор удаляется за борт. Инертный газ после ГО поступает к клапану Ку5, расположенному перед газодувкой, пройдя последнюю и управляющий клапан Ку6, в случае превышения температуры газа от расчетного значения, возвратится в газоочиститель, пройдя через открытый управляющий клапан Ку7. В этом случае поступит сигнал к клану Ру, что приведет к увеличению расхода воды на газоочиститель. При достижении температуры инертного газа допустимых пределов клапан Ку7 закроется и газ по трубопроводу Т поступит к управляющим клапанам Ру2 и Ру3. Если содержание кислорода в газе не превышает допустимых значений и существует необходимость его подачи в танки, откроется регулирующий клапан Ру3, в противном случае инертные газы будут удаляться через регулирующий клапан Ру2 в атмосферу. Для снижения содержания кислорода блок автоматики путем воздействия на управляющий клапан Ру1 обеспечит повышение расхода топлива в топочное устройство, что снизит содержание кислорода в инертных газах. Необходимость удаления инертных газов в атмосферу при закрытом регулирующем клапане Ру3 связана с надежностью работы газодувки ГД. Длительная ее работа при закрытых клапанах Ку6 или Ку8 приведет к разогреву газа в ней за счет подводимой энергии к рабочему колесу от приводящего ее электродвигателя, что может привести к выходу из строя газодувки.

Кроме указанных на схеме клапанов, управляющий клапан Ку9 предназначен для подачи воздуха в танки при их дегазации. При проведении дегазации танков управляющие клапаны Ку2, Ку3 и Ку5 должны быть закрыты.

Достоинством рассмотренной схемы по сравнению со схемой, представленной на рис. 4.2, является значительно меньшее сопротивление всасывающего тракта, что значительно повышает как технико-экономические показатели вентилятора, так и его надежность. Однако при этом несколько увеличивается содержание твердых частиц в инертных газах. Кроме того, не исключено увеличение содержания в них кислот, особенно на частич-

ных режимах. Поэтому вряд ли следует ожидать высокую надежность газоочистителя в вышеприведенных схемах, так как в обоих случаях эти элементы будут подвергаться воздействию кислот. Кроме указанных условных обозначений на этой схеме индексом P1 обозначены манометры, а T1- термометры.

#### **4.4, Конструкция, назначение основных элементов системы инертных газов**

В качестве примера ниже будет рассмотрена схема очистки газов парового котла в газоочистителе барботажного типа (рис.4.2). Газоочиститель предназначен для охлаждения топочного газа, удаления диоксида серы не менее чем на 90% и для отделения частиц сажи. Все три процесса происходят при непосредственном контакте топочного газа с большим количеством морской воды. При поступлении в днищевую часть башни газоочистителя газ проходит через слой воды, который поддерживается постоянным в период работы газоочистителя. При барботировании через слой воды газы охлаждаются и очищаются от твердых частиц. Загрязненная и подогретая вода удаляется через гидрозатвор за борт. Наличие колена у газоподводящей трубы при подводе газа в нижней части газоочистителя служит в качестве дополнительного устройства для предотвращения поступления газа из дымохода парового котла в газоочиститель, когда последний открыт для осмотра или технического обслуживания.

В самой башне газоочистителя газ поднимается вверх, проходя сквозь поток воды, стекающей вниз. Для наиболее эффективного контактирования газа с водой могут устанавливаться одно или несколько устройств, расположенных на нескольких уровнях:

- водораспыливающие сопла;
- поддоны, заполненные наполнителями, изготовленными из керамики, пластмасс и других достаточно дешевых материалов, не разрушаемых кислотами;
- перфорированные "отражающие" тарелки.

В верхней части башни газоочистителя в направлении потока газа водяные капли удаляются с помощью одного или нескольких

воздухоподсушивающих устройств, в качестве которых могут быть использованы пропиленовые фильтры или циклонные сушилки.

Конструкции газоочистителей такого типа отдельных изготовителей могут существенно отличаться между собой, сохраняя при этом функциональные свойства. На рис.4.5 показаны принципы работы очистителя инертного газа.

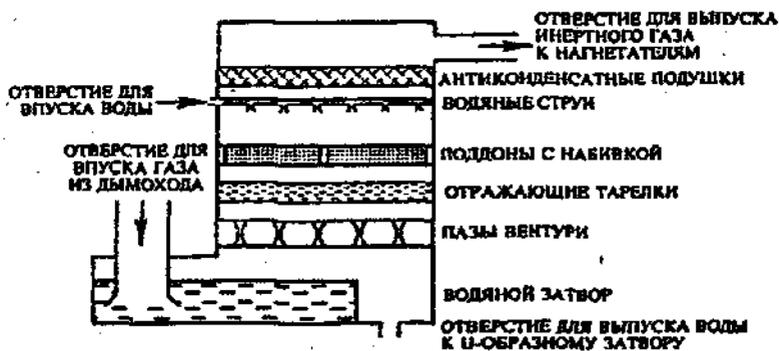


Рис. 4.5.

Представлена схема газоочистителя, нашедшая широкое применение на танкерах. Достоинством такой конструкции является:

- газ, который, барботируя через слой воды, интенсивно очищается от твердых частиц сажи и других твердых остатков;
- температура газа, которая существенно снижается;
- кислотные остатки, которые хорошо растворяются в морской воде.

При повышении давления газов в танках и несрабатывании палубного гидрозатвора по тем или иным причинам слой воды» через который барботируют газы, может выполнить роль гидрозатвора при подводе газа сверху.

Основным недостатком такой конструкции газоочистителя является повышенное гидравлическое сопротивление на линии всасывания газодувки. Это приводит к повышению разрежения в трубах между котлом и газодувками, что повышает напор, создаваемый последними. Известно, что у центробежных газодувок по мере повышения разрежения на линии всасывания значительно снижаются технико-экономические показатели. Поэтому, по мере загрязнения газоочистителя и других элементов,

расположенных на линии всасывания, производительность газодувок будет снижаться. Кроме того, наличие достаточно длинного участка от котла до газоочистителя с давлением газов ниже атмосферного и содержание в составе газов сажи и серной кислоты приводит к коррозионным разрушениям этого участка. Концентрация кислорода в инертных газах повышается.

На рис. 4.3 показана схема газоочистителя с меньшим гидравлическим сопротивлением. Газ, двигаясь по каналам газоочистителя, контактирует на всем пути с мелко распыленным потоком воды. Гидравлическое сопротивление такого газоочистителя значительно меньше представленного на рис. 4.5, что является достоинством такой компоновки. В условиях эксплуатации в нем не всегда удается достаточно полно очистить газы от твердых частиц и кислот. Это является значительным недостатком такой конструкции. Сточные воды, удаляемые из газоочистителя, содержат кислоты (значение pH составляет 2-4), поэтому трубопроводы такой системы изготавливаются из материала устойчивого к воздействию кислот.

Конструкция газоочистителя должна соответствовать типу танкера, виду груза и оборудованию для контроля сгорания топлива, в результате которого образуется инертный газ. Кроме того, газоочиститель должен иметь производительность, достаточную для обработки газа в необходимом количестве.

Внутренние детали газоочистителя должны быть изготовлены из коррозионностойких материалов по отношению к воздействию кислот. В качестве альтернативного решения при использовании некоррозионностойкого материала внутренние поверхности этих деталей должны быть облицованы резиной, стекловолоконистым покрытием, эпоксидной смолой или другим равноценным материалом. В этом случае может потребоваться охлаждение топочных газов до того, как они будут поданы в газоочиститель и достигнут уровня, на котором расположены указанные детали.

На танкерах типа «Крым» система инертных газов была изготовлена из титана. За весь период эксплуатации этих танкеров не было ни одного случая отказа этой системы. Но титан дорог и поэтому редко используется для этих целей. В корпусе газоочи-

стителю необходимо предусмотреть соответствующие отверстия и смотровые стекла для осмотра, очистки и наблюдения. Смотровые стекла должны быть ударо- и термостойкими. Данное требование может быть выполнено за счет двойного остекления.

Конструкция газоочистителя должна обеспечивать условия, при которых при обычном дифференте и угле крена судна, его производительность не снижалась более чем на 3%, а температура газа у выпускного отверстия не превышала расчетного значения более чем на 3°C.

Местоположение газоочистителя относительно грузовой ватерлинии должно быть таковым, чтобы скорость потока выходящего газа не снижалась при полной загрузке судна.

#### **4.5, Нагнетатели инертного газа**

Нагнетатели используются для подачи в грузовые танки очищенного топочного газа.

На танкерах можно встретить схемы СИГ, содержащие основной и вспомогательный нагнетатели. Производительность основного нагнетателя составляет не менее 125% от максимальной производительности грузовых насосов. Производительность второго газонагнетателя относительно мала. В случае установки двух нагнетателей, производительность каждого из них должна отвечать вышеуказанному требованию. В любой из приведенных комбинаций напоры, создаваемые этими нагнетателями должны быть одинаковыми. Преимущество первой компоновки заключается в том, что нагнетатель малой производительности удобно использовать в рейсе, когда в грузовых танках необходимо повысить давление газа; преимущество последней заключается в том, что при выходе одного из нагнетателей из строя с помощью второго нагнетателя в грузовых танках можно поддерживать положительное давление газа, обеспечив при этом сдачу груза, хотя и с меньшей скоростью. Напор нагнетателей должен быть достаточным как для преодоления гидравлического сопротивления напорной части СИГ, так и обеспечивать необходимую скорость и давление газа у впускного отверстия танка для полной замены в нем одной газовой среды другой.

Корпус нагнетателя должен быть выполнен из коррозионно-стойкого материала или из малоуглеродистой стали. В последнем случае его внутренние поверхности должны быть облицованы кислотостойким материалом.

Рабочее колесо нагнетателя изготавливается из коррозионно-стойкого материала. Все рабочие колеса необходимо испытать путем превышения на 20% расчетной рабочей частоты вращения двигателя или на 10% предельной частоты вращения двигателя, при которой срабатывает автоматический выключатель, в зависимости от того, какой из этих способов приемлем.

Для предотвращения повреждения корпуса и рабочего колеса нагнетателя от возможного скопления в нем воды, должны быть в корпусе просверлены дренажные отверстия, оборудованные соответствующими водяными затворами. Для снижения скорости коррозионных процессов отдельных элементов нагнетателя следует выполнять предписания инструкций по их эксплуатации, как, например, мойка пресной водой. Это снизит скорость неравномерной коррозии отдельных его деталей, образования отложений, что уменьшит вибрации нагнетателя во время его работы.

Корпус, в целях предотвращения разрушения, должен быть соответствующим образом подкреплён ребрами, а его конструкция и расположение должны быть такими, чтобы при снятии двигателя последний не смог повредить основные детали соединений для впуска и выпуска газа.

В корпусе нагнетателя должно быть предусмотрено достаточное количество лючков для осмотра.

Если основной двигатель и нагнетатель имеют отдельные валы, то эти валы должны быть соединены между собой гибкой муфтой.

При использовании роликовых или шариковых подшипников должное внимание следует уделить определению твердости по Бринеллю и способу смазки. Тип смазки, т. е. масло или консистентную смазку, следует выбирать с учетом диаметра и частоты вращения вала. В случае установки подшипников скольжения амортизаторы использовать не рекомендуется.

В условиях эксплуатации блок автоматики нагнетателя должен обеспечивать давление газов в танках от 200 до 800 мм

води. ст. Предельно допустимым при этом является диапазон, равный 100 - 1200 мм води. ст. При этом должны быть учтены гидравлические потери в следующих элементах; " башне газоочистителя и воздухоподсушивающем устройстве; "

- трубопроводе подачи горячего газа к башне газоочистителя;
- распределительном трубопроводе, расположенном ниже газоочистителя по течению потока газа;
- палубном водяном затворе.

Кроме того, необходимо учесть протяженность и диаметр системы распределения инертного газа.

Если производительность нагнетателей различна, то их характеристики давления/вакуума должны соотноситься с характеристиками впускного и выпускного трубопроводов таким образом, чтобы при возможной параллельной работе они были бы способны развить свои расчетные производительности. Размещение нагнетателей должно быть таким, чтобы нагнетатель, находящийся под нагрузкой, не взаимодействовал со вторым нагнетателем, который остановлен или отключен.

Если в качестве приводного двигателя используется электродвигатель, то его мощность должна быть достаточной для того, чтобы он не подвергался перегрузкам при всех возможных условиях эксплуатации нагнетателя. При необходимости следует предусмотреть наличие устройств для поддержания его обмоток в сухом состоянии в период, когда двигатель находится в нерабочем состоянии.

#### 4.5. 1 Состав инертных газов и их параметры

Азот	$N_2$	80 %;
Диоксид углерода	$CO_2$	13%;
Кислород	$O_2$	6%;
Диоксид серы	$SO_2$	не более 10 % от содержания в уходящих газах;
Оксид углерода CO и окислы азота $NO_x$		следы.

*Остаток представляет собой водяной пар и твердые частицы.*

Топочный газ аналогичного состава получается и при применении генераторов инертного газа. Однако в случае использования топлива, очищенного от серы, содержание диоксида серы будет значительно ниже.

Вторая часть системы инертных газов предназначена для обеспечения распределения их по танкам, контроля их параметров как в системе, так и в танках, предотвращения поступления смеси инертных газов с углеводородами из танков в газоочиститель и другие элементы, в пределах которых возможно их воспламенение.

Основными элементами этой части системы инертных газов являются:

- палубный гидрозатвор;
- невозвратный клапан; секущий клапан; прерыватель давления/вакуум;
- блок автоматики, который может быть установлен после прерывателя давления/вакуум или перед палубным гидрозатвором.

Назначение и принцип работы этих элементов будут рассмотрены ниже.

#### **4.6, Палубный гидрозатвор и невозвратный клапан**

Палубный водяной затвор и механический невозвратный клапан, вместе взятые, представляют собой устройства, автоматически препятствующие оттоку газов, выделяемых грузом, из грузовых танков в машинное отделение, в котором размещена установка для выработки инертного газа.

Это устройство является основным препятствием для противотока газа. С помощью водяного затвора осуществляется подача инертного газа в палубную магистраль и предотвращается любой противоток выделяемого грузом газа даже тогда, когда установка для выработки инертного газа отключена. Крайне важно обращать внимание на постоянное наличие воды в затворе, особенно при отключенной установке, генерирующей инертный газ. Кроме того, осушительные трубы должны выходить

непосредственно за борт, минуя помещения машинного отделения. Палубные гидрозатворы, используемые на судах, подразделяются на неосушаемые, частично осушаемые и осушаемые. Каждый из указанных типов может иметь различные конструктивные исполнения.

#### 4.6.1 Неосушаемый гидрозатвор

Это водяной затвор простейшего типа. Во время работы установки, вырабатывающей инертный газ, проходят через воду, перекрывающую погружной впускной трубопровод инертного газа, но если давление в танке превышает давление в линии впуска инертного газа, то эта вода вдавливается во впускной трубопровод и, таким образом, предотвращает противоток газа. Недостаток водяного затвора такого типа заключается в том, что вместе с потоком инертного газа могут выноситься водяные капли, и хотя от этого качество инертного газа не ухудшается, при этом может усилиться процесс коррозии в танках. Поэтому в целях снижения влажности инертного газа после водяного затвора следует установить водоподсушивающее устройство. На рис.4.6 изображен затвор такого типа.

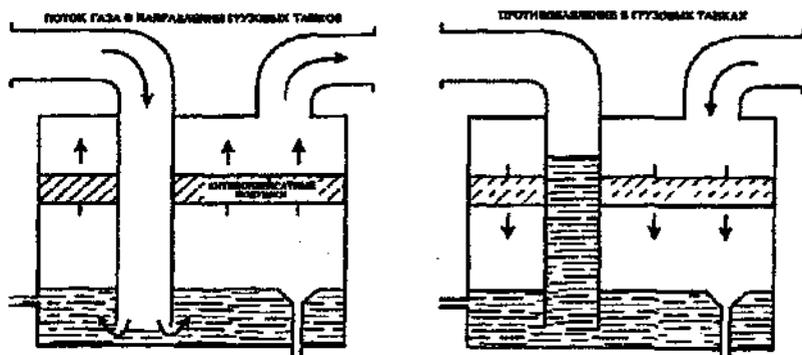


Рис. 4,6 Палубный водяной неосушаемый затвор

#### 4.6.2, Частично осушаемый гидрозатвор

Частично осушаемый затвор показан на рис. 4.7. Его конструктивной особенностью является наличие диффузно-

конфузорного устройства, которое соединено с емкостью, в которой поддерживается постоянный уровень воды. При прохождении газа через это устройство в месте его соединения с емкостью давление газа снижается, а скорость увеличивается. По закону Вентури вода в основном удаляется из затвора в автономную сборную цистерну и инертные газы, проходя через него, только частично насыщаются влагой. В других отношениях такой затвор функционирует так же, как и неосушаемый затвор.

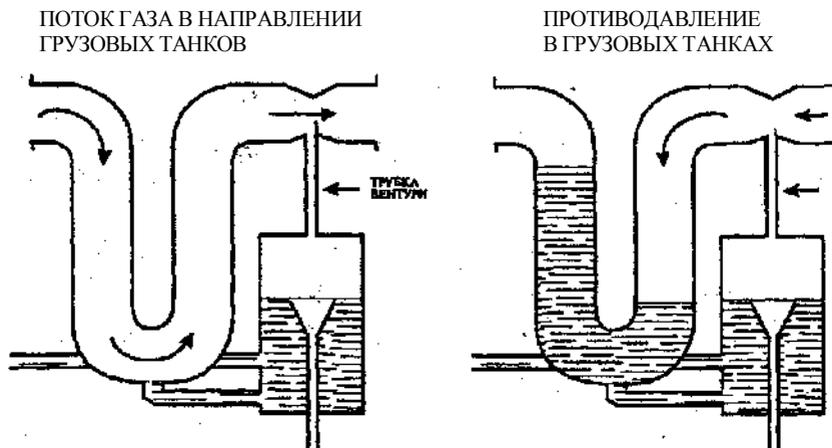


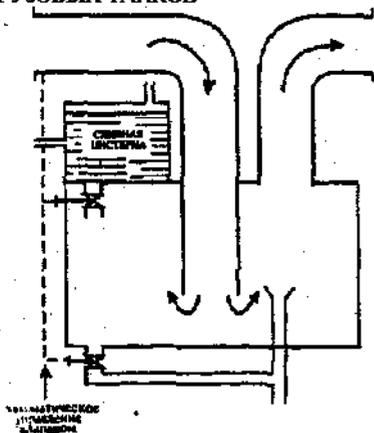
Рис. 4.7 Палубный водяной, частично осушаемый затвор

### 4.6.3. Осушаемый гидрозатвор

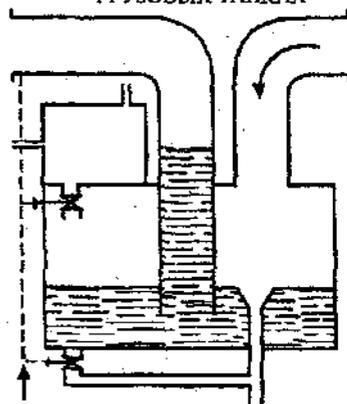
Затвор такого типа осушается во время работы установки для выработки инертного газа (газ в это время движется по направлению к танкам) и вновь заполняется, когда СИГ отключается или когда давление в танке превышает давление, создаваемое нагнетателем инертного газа. Наполнение и осушение затвора осуществляется с помощью автоматически управляемых клапанов, срабатывание которых настроено в зависимости от уровня воды в водяном затворе и режима эксплуатации нагнетателей. В период инерттизации танков при давлении газов в системе инертных газов выше их давления в танках в гидрозатворе вода отсутствует, и газы свободно поступают в танки. При снижении этой разности давления до предельно допустимого значе-

ния автоматически открывается сливной клапан, и вода из цистерны заполняет гидрозатвор, предотвращая движение газа в обратном направлении. При повышении разности давления газов до и после затвора открывается дренажный клапан, и затвор вновь осушается. Преимущество затвора этого типа заключается в том, что исключается насыщение водой инертных газов. Водяной затвор данного типа имеет недостаток, связанный с возможным повреждением автоматически управляемых клапанов, что влияет на эффективность его работы. На рис. 4.8 изображен затвор такого типа.

ПОТОК ГАЗА В НАПРАВЛЕНИИ  
ГРУЗОВЫХ ТАНКОВ



ПРОТИВОДАВЛЕНИЕ В  
ГРУЗОВЫХ ТАНКАХ



*Рис. 4.8. Палубный водяной осушаемый затвор*

Материалы, из которых изготавливаются устройства для предотвращения противотока газов, должны быть огнестойкими и коррозионно-стойкими по отношению к воздействию кислот. Особое внимание следует уделять защите трубы для подвода газа к водяному затвору.

Сопротивление противотоку, создаваемое палубным водяным затвором, не должно быть меньше давления, установленного для прерывателя давления/вакуума в системе распределения инертного газа, а невозвратный клапан должен быть сконструирован таким образом, чтобы с его помощью можно было предотвратить противоток газов при любых предусмотренных ус-

ловиях эксплуатации.

Наличие воды в палубном затворе необходимо поддерживать путем регулировки объема поступающей чистой воды из резервуара палубного затвора.

Палубный водяной затвор должен быть снабжен смотровыми стеклами и отверстиями, через которые можно было бы наблюдать за уровнем воды во время его работы и производить тщательный осмотр затвора. Смотровые стекла должны быть ударопрочными.

Конструкция любых осушительных каналов, отводящих воду из устройств для предотвращения противотока, должна предусматривать наличие водяного затвора.

#### **4.6.4. Палубный разобщающий клапан**

В качестве дополнительной меры по предотвращению оттока газа из грузовых танков и жидкости, которая может поступить в магистраль инертного газа в случае перелива грузовых танков, после палубного водяного затвора и механического невозвратного клапана устанавливается секущий клапан, назначение которого отсечь грузовые танки от системы инертных газов при ремонтных работах в танках.

#### **4.6.5. Прерыватель давления/вакуума**

На танкерах устанавливается один или несколько прерывателей давления/вакуума, заполненных жидкостью. Их назначением является предотвратить чрезмерное повышение или снижение давлений в танках, связанное с изменением температуры окружающей среды. Эти устройства требуют технического обслуживания в незначительном объеме, но они будут работать при заданном давлении только при условии, если заполнены до необходимого уровня жидкостью, плотность которой соответствует установленной величине. В целях предупреждения замерзания жидкости в холодную погоду необходимо использовать либо подходящее масло (прерыватели закрытого типа), либо смесь пресной воды с гликолем (прерыватели открытого типа). Следует учитывать возможность испарения, попадания морской

воды, конденсации и коррозии, а также предпринять соответствующие меры по компенсации их воздействия. В штормовую погоду гидравлический удар, вызванный перемещением жидкости в грузовых танках, может привести к выдавливанию жидкости из прерывателя давления/вакуума (см. рис. 4.9).

Проектант должен обеспечить совместимость параметров палубного водяного затвора, прерывателей давления/вакуума и клапанов давления/вакуума, а также установочных давлений сигнализаторов верхнего и нижнего давления в палубной магистрали инертного газа. Следует также следить за тем, чтобы все устройства давления/вакуума эксплуатировались при значениях давлений, установленных проектантом.

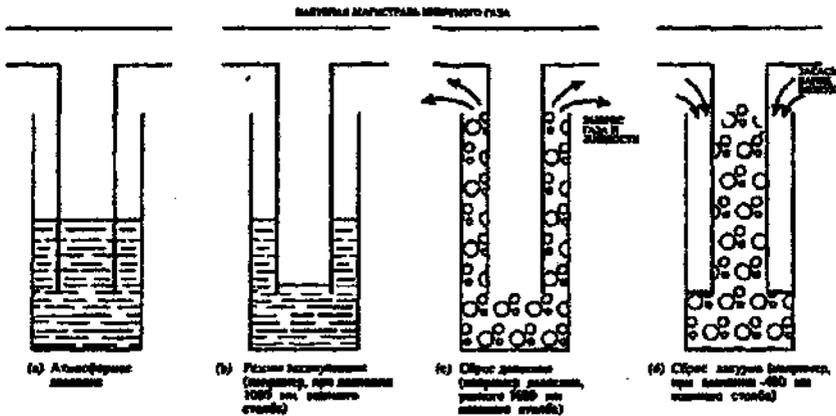


Рис. 4.9 Принципы действия прерывателей давления/вакуума заполненных жидкостью

Принцип работы прерывателя давления/вакуум открытого типа показан на рис.4.9. В случае, если система инертного газа находится в нерабочем состоянии (положение а), то уровень жидкости в обеих емкостях одинаков. При рабочем состоянии системы инертных газов уровень жидкости во внутренней емкости понижается на величину избыточного давления в системе, а в наружной повышается (положение Б).

При чрезмерном давлении газов в системе инертных газов жидкость из наружной емкости начнет выливаться на палубу, что

легко будет обнаружено командой, и будут приняты соответствующие меры, направленные на снижение давления в танках. Одновременно включится сигнализация, если такая установлена (положение с). При создании разряжения в танках атмосферным давлением воздуха жидкость из наружной емкости будет выдавлена во внутреннюю (положение d), включится также сигнализация, что позволит команде своевременно принять меры и снизить дополнительную механическую нагрузку на корпус танкера. Аналогично функционируют и прерыватели давления/вакуум закрытого типа.

Прерыватель является последним элементом системы инертных газов. После него осуществляется распределение инертных газов по танкам. Каждая труба, подводящая инертный газ к танку, заканчивается секущим или невозвратным клапаном. Тип клапана определяется конструкцией газоотводящей системы.

## **4.7 Система распределения инертного газа**

Система распределения инертного газа вместе с газоотводной системой грузового танка там, где это применимо, должна предусматривать:

- средства для подачи инертного газа в грузовые танки во время выгрузки, дебалластировки и выполнения операций по зачистке танков, а также для дополнительной подачи газа в танки;
- средства для выпуска в атмосферу находящихся в танках газов во время погрузки груза и балластировки;
- дополнительные впускные или выпускные трубы для инертизации;
- средства отсечения отдельных танков от магистрали инертного газа для выполнения дегазации;
- средства защиты танков от чрезмерного давления или вакуума.

Для удовлетворения всех этих взаимосвязанных требований могут быть использованы системы самых разнообразных конструкций, а также различные способы их эксплуатации. Ниже рассмотрены некоторые основные конструкции систем и наиболее важные особенности их эксплуатации. Кроме того, приведены меры предосторожности,

предпринимаемые в процессе эксплуатации таких систем.

Все эти устройства должны обладать общей характерной особенностью, которая заключается в том, что точки впуска и выпуска инертного газа следует располагать таким образом, чтобы обеспечивалось эффективное замещение газа во всем объеме танка. В настоящее время на танкерах широко используется одна из трех схем устройств распределения инертных газов по танкам (табл. 4.1).

Таблица 4.1

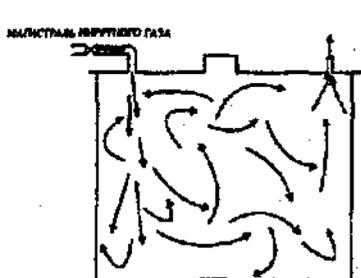
**Устройства распределения инертных газов по танкам трех основных типов**

Тип устройства	Местоположение в танке		Метод замены
	впускного отверстия	выпускного отверстия	
I	Верхняя часть	Верхняя часть	Разбавление
II	Днищевая часть	Верхняя часть	Разбавление
III	Верхняя часть	Днищевая часть	Замещение или разбавление

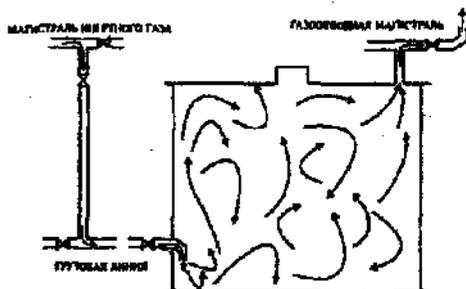
Следует отметить, что устройства этих типов используются в условиях эксплуатации не только для инертизации, но и для продувки и дегазации танков.

**4.7.1. Устройство I типа**

Как впуск, так и выпуск газов осуществляется из верхней части танка (рис 4.10). Устройство этого типа является самым простым. Газообмен осуществляется методом разбавления. Газ должен всегда поступать в танк таким образом, чтобы обеспечивалось его проникновение на максимальную глубину танка и эффективное перемешивание вводимой и удаляемой смесей во всем объеме танка. Выпуск газов может осуществляться через газоотводную трубу каждого танка или через общую газоотводную магистраль (рис.4 .17).



*Рис. 4. 10 Разбавление  
(с помощью устройства I типа)*



*Рис. 4. 11 Разбавление  
(с помощью устройства II типа)*

### 4.7.2, Устройство II типа

Впуск газа производится у днища танка, а выпуск - из его верхней части. Замена газа осуществляется методом разбавления. В устройстве этого типа газ поступает через соединение, расположенное между палубной магистралью инертного газа (непосредственно перед механическим невозвратным клапаном) и днищевыми грузовыми линиями (см. рис.4.11). Может быть также установлен специальный вентилятор для дегазации. Удаляемый газ может быть выпущен через автономные газовыпускные трубы или через магистраль инертного газа, если установлены клапаны, отсекающие каждый грузовой танк от этой магистрали, по которой газ поступает в мачтовый стояк.

### 4.7.3, Устройство III типа

Газ поступает в верхнюю часть танка, а выходит из его днищевой части (рис.4.12, 4.13). Такое устройство позволяет производить замену газа методом замещения (рис.4.12), хотя и может преобладать метод разбавления, если разница между плотностями поступающего и выходящего газа невелика или если скорость газа при впуске высокая (рис.4.13). Часто патрубок для впуска инертного газа размещается в горизонтальном положении в целях сведения к минимуму турбулентности у поверхности раздела. Для выпуска газа используется специально установленная для продувки труба, которая располагается в пределах 1 м от настила второго дна.

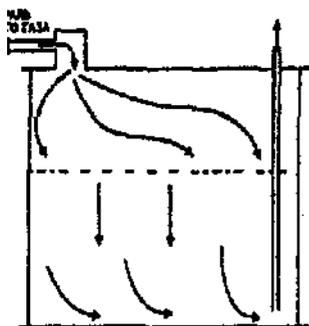


Рис. 4.12 Замещение

(с помощью устройства III типа)

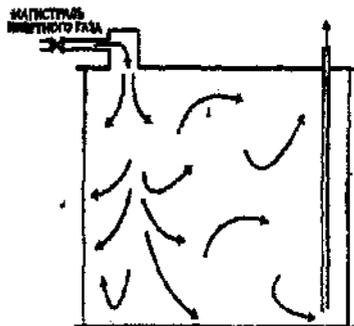


Рис. 4.13 Разбавление

## 4.8. Методы замены газа в танках

Замена газа в грузовых танках возможна при использовании одной из трех ниже перечисленных операций:

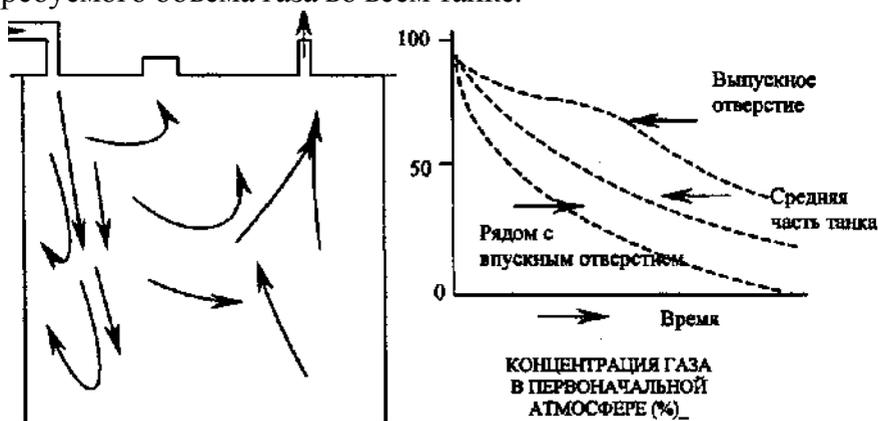
- инертизации;
- продувки;
- дегазации.

В каждой из этих операций будет преобладать один из двух процессов:

- **разбавление.**, которое представляет собой процесс смешивания двух сред;  
**замещение**, при котором газы, подаваемые в танк, не смешиваются с удаляемыми, а образуют двухслойную структуру. Метод замещения достаточно эффективен в случае, когда плотность удаляемой среды значительно выше подаваемой.

Эти два процесса в значительной степени определяют способ контроля атмосферы в танке и толкование полученных результатов. Из рис. 4.10 - 4.13 видно, что для правильного толкования показаний, полученных с помощью соответствующих приборов, необходимо понять сущность процессов разбавления и замещения газа, фактически имеющего место внутри танка.

Теория разбавления предполагает, что поступающий инертный газ смешивается с первоначальной атмосферой танка для получения какой-либо однородной газовой смеси во всем объеме танка. В результате этого концентрация газа в первоначальной атмосфере прогрессивно уменьшается. Интенсивность замены газа зависит от объема поступающего газа, его скорости при впуске и размеров танка. Для полного замещения газа необходимо, чтобы при впуске поступающая струя инертного газа имела скорость, достаточную для достижения днища танка. Поэтому важно убедиться в способности каждой газодувки, работающей на основе этого принципа, обеспечить замену требуемого объема газа во всем танке.



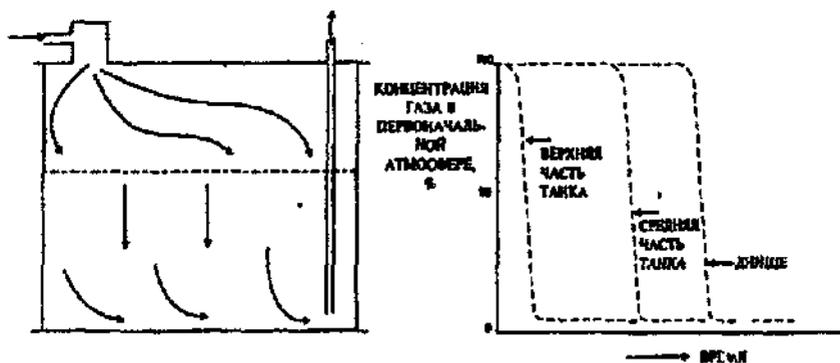
*Рис. 4.14. Схема и график удаления газов из танка методом разбавления*

На рис. 4.14 показана схема впускного и выпускного отверстий, предназначенных для реализации процесса разбавления, а также показана турбулентность газового потока внутри танка, там же представлены характерные кривые изменения концентрации газа по времени для трех различных точек отбора проб.

Идеальное замещение требует устойчивой горизонтальной поверхности раздела между легким газом, поступающим из верхней части танка, и более тяжелым газом, вытесняемым из днищевой части танка через газоотводящий трубопровод. Этот метод требует, чтобы подаваемый в танк газ имел относительно

низкую скорость. Поэтому важно убедиться в способности каждой установки, работающей на основе этого принципа, обеспечить замену требуемого объема газа всем танке при плавном изменении напора. Это связано с необходимостью увеличения плотности подаваемого газа путем постепенного повышения давления до значений, превышающих плотность вытесняемого, так как только в этом случае возможно обеспечение процесса замещения.

На рис. 4.15 представлена кривая, отображающая процесс замещения у впускного и выпускного отверстий, а также показана поверхность раздела между входящими и выходящими газами. Здесь же представлены характерные кривые изменения концентрации газа по времени для трех различных уровней отбора проб.



*Рис. 4.15. Схема и график удаления газов методом замещения*

## 4.9. Устройства для выпуска газов из танков

Для выпуска газов из танка в атмосферу в процессе погрузки, балластировки, а также для уменьшения избыточного давления газа в танке в целях выполнения замеров вручную и т.п. может быть установлено устройство одного из трех основных видов: одиночная газоотводная система, совмещаемая при использовании с палубной магистралью инертного газа отводными линиями инертного газа, выходящими из каждого танка, и выпускающая газ посредством одного или более мачтовых стояков либо нескольких высокоскоростных газовыпускных клапанов (рис. 4.16);



Рис.4.16. Выпуск газа через единую палубную магистраль и одиночный мачтовый стояк.

- единая система выпуска газа с использованием автономной газоотводной магистрали и газоотводных линий, выходящих из каждого танка, и, таким образом, выпускающая газ в атмосферу посредством одного или более мачтовых стояков либо высокоскоростных газовыпускных клапанов (рис. 4.17);

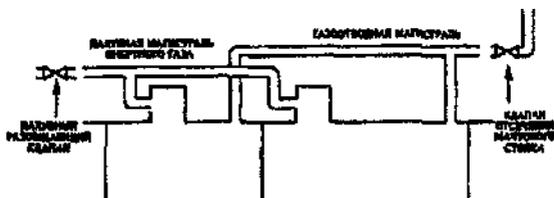


Рис. 4.17 Выпуск газа через автономную магистраль и одиночный мачтовый стояк.

автономные высокоскоростные газовыпускные устройства, устанавливаемые на каждом грузовом танке (рис 4.18).

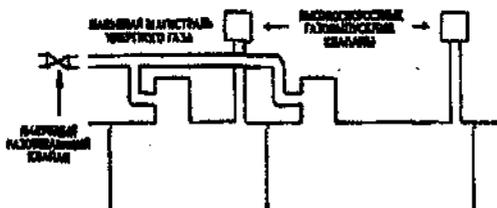


Рис. 4.18 Автономный выпуск газа из танка при помощи высокоскоростных газовыпускных устройств, установленных на каждом танке.

Анализ конструкций газовыпускных систем, представленных на рисунках 4.16, 4.17, 4.18, позволяет сделать вывод, что наиболее простой и менее металлоемкой является схема, представленная на рисунке 4.16. К достоинствам такой схемы сле-

дует отнести возможность использования трубопроводов системы инертного газа для удаления газов из танков путем переключения двух клапанов.

Схема, представленная на рисунке 4.17, более маневренная, позволяющая одновременно подавать газы в танки и удалять их в атмосферу. Количество трубопроводов при этом увеличивается примерно в два раза, что связано с дополнительным объемом работ для палубной команды по поддержанию судовых устройств в надлежащем техническом состоянии.

Схема установки выпуска газов из танков, представленная на рис.4.18, наименее металлоемкая по сравнению вышерассмотренными. Индивидуальные газоотводящие устройства, расположенные в пределах каждого танка, не связаны между собой трубопроводами, что существенно снижает ее весогабаритные показатели. Наличие в нем сопла, преобразующего потенциальную энергию газа в кинетическую, обеспечивает подъем удаляемого газа до 20 м над палубой. Это позволяет снизить высоту устройства до 2.5-3 м. Подъем удаляемого газа из танков на такую высоту определяется стремлением предотвратить попадания углеводородного газа на палубу и в отдельные помещения танкера.

Однако следует заметить, что наличие большого количества арматуры и других устройств увеличивает объем профилактических и ремонтных работ, связанных с поддержанием этого оборудования в соответствующем техническом состоянии.

# Глава 5

## Контроль и управление системой инертных газов

### 5.1. Назначение в общее устройство системы управления СИГ

Контроль параметров и управление СИГ производится с помощью специализированной автоматизированной системы управления (АСУ СИГ).

**АСУ СИГ предназначена для:**

- непрерывного измерения и индикации на постах управления в ПУГО, ЦПУ машинного отделения, ходовой рубке параметров, определяющих рабочие процессы СИГ;
- автоматического управления режимами работы СИГ;
- дистанционного управления механизмами и арматурой СИГ;
- аварийно-предупредительной сигнализации о выходе параметров СИГ за допустимые пределы.

Устройство и действие АСУ СИГ определяется устройством самой СИГ танкера. Здесь рассматривается обобщенная АСУ СИГ с характерными особенностями для многих танкеров.

АСУ СИГ контролирует параметры СИГ по сигналам от датчиков с непрерывными или релейными выходными сигналами. Перечень датчиков приведен в таблице 5.1, места измерения параметров показаны на схеме, приведенной на рис. 5.1.

Датчик с непрерывными выходными сигналами используется для вывода значений параметров на показывающие приборы.

Датчики с релейными выходными сигналами используются для сигнализации о выходе параметра за допустимое значение.

АСУ СИГ выдает сигналы на открытие и закрытие арматуры, установленной на трубопроводах СИГ (рис 5.1). Перечень этой арматуры приведен в таблице 5.2. Основную часть арматуры составляют поворотные затворы с гидравлическим или воздушным приводом. Кроме того, АСУ СИГ управляет пуском и остановкой газонагнетателей и насоса охлаждающей воды воздействием на их пускатели П1, П2, П3..



Таблица 5.1

## Перечень датчиков параметров СИГ

Выходной сигнал датчика: н - непрерывный, р - релейный.

№ п/п	Наименование измеряемого параметра	Обозначение на схеме	Тип сигналов (н/р)
1.	Температура дымовых газов на выходе из котла.	ТГК	н
2.	Давление газа после газонагнетателей.	ДГН	н
3.	Давление газа после газонагнетателей.	РДГ	р
4.	Содержание кислорода в инертном газе после газонагнетателей	O <sub>2</sub>	н
5.	Температура инертного газа после газонагнетателей.	ТГН	н
6.	Давление инертного газа в палубной распределительной магистрали.	ДГМ	н
7.	Верхнее предельное давление в палубной магистрали.	РВД	р
8.	Нижнее предельное давление в палубной магистрали.	РНД	р
9.	Рабочее давление в палубной магистрали.	РРД	р
10.	Давление охлаждающей воды.	РДВ	р
11.	Температура забортной воды.	ТЗВ	н
12.	Температура охлаждающей воды после скруббера.	ТВС	н
13.	Верхний уровень воды в скруббере.	РУС	р
14.	Верхний уровень воды в палубном водяном затворе.	РВУ	р
15.	Нижний уровень воды в палубном водяном затворе.	РНУ	р
16.	Аварийный нижний уровень воды в палубном водяном затворе.	РАУ	р
17.	Предельная температура подшипников газонагнетателей.	РТП	р

Таблица 5.2

**Перечень автоматически и дистанционно управляемой  
арматуры СИГ**

Номер на схеме	Тип арматуры	Место установки
1	Поворотный затвор.	Трубопровод отбора газа от котла.
2	Поворотный затвор.	Трубопровод рециркуляции газа.
3	Поворотный затвор.	Трубопровод подвода атмосферного воздуха.
4, 5	Поворотный затвор.	Приемный трубопровод газонагнетателей.
6, 7	Поворотный затвор.	Напорный трубопровод газонагнетателей.
8	Поворотный затвор.	Напорный трубопровод инертного газа перед палубным водяным затвором.
9	Поворотный затвор.	Трубопровод подачи газа в танк.
10	Поворотный затвор.	Трубопровод, соединяющий палубную распределительную магистраль инертного газа и грузовую систему.
11	Электромагнитный клапан	Трубопровод подачи воды в палубный водяной затвор.

Основной частью АСУ СИГ является щит управления СИГ, который содержит блоки и элементы, обрабатывающие сигналы от датчиков параметров СИГ и выдающий управляющие воздействия на приводы арматуры и пускатели.

Блок-схема АСУ СИГ показана на рис 5.2.

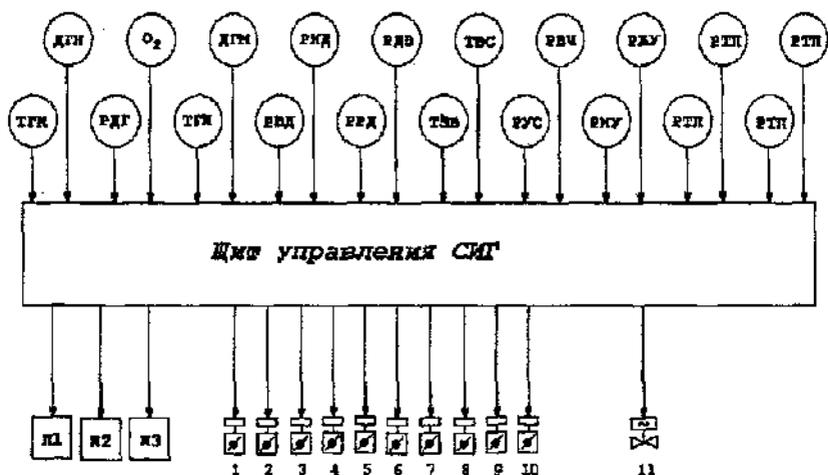


Рис. 5.2. Блок-схема контроля и управления СИГ

## 5.2. Функции АСУ СИГ

Автоматизированная система управления СИГ выполняет следующие функции:

- автоматическое управление работой СИГ на всех нормальных эксплуатационных режимах;
- дистанционное управление затворами, газонагнетателями, насосами со щита управления;
- сигнализация на щит управления о параметрах СИГ;
- автоматический вывод из действия установки для выработки инертного газа при выходе параметров за предельные значения;
- автоматическое регулирование давления инертного газа в танках;
- обобщенная сигнализация о работе СИГ на ЦПУ машинного отделения и в ходовую рубку (если щит управления СИГ установлен в отдельном помещении СИГ, то обобщенная информация выдается также в пост управления грузовыми операциями.)

При автоматическом управлении СИГ необходимо выполнять ручные операции по вводу в действие установки для выработки инертного газа, после чего АСУ СИГ автоматически выполняет операции по управлению СИГ (газонагнетателями, насосами, поворотными затворами). АСУ обеспечивает автоматическое управление СИГ на следующих режимах, выбираемых с помощью переключателя на щите управления СИГ:

1. "ВЫГРУЗКА" - для первоначального заполнения инертными газами грузовых танков перед приемом груза, инерттизации танков при выдаче груза, при мойке танков.
2. "ПОГРУЗКА-ПЕРЕХОД" - для периодической подкачки грузовых танков инертными газами во время приема груза и грузового перехода.
3. "ВЕНТИЛЯЦИЯ" - при дегазации танков.

Сигнализация на щит управления СИГ выдается в следующих случаях:

- повышение температуры инертного газа после газонагнетателей более 70°C и 75°C;
- повышение давления газа в магистрали более 800 мм вод.ст.;
- понижение давления газа в магистрали менее 200 мм вод.ст.;
- аварийное понижение давления газа в магистрали менее 100 мм вод. ст.;
- повышение температуры подшипников газонагнетателей;
- закрытое/открытое положение поворотных заборов;
- включение газонагнетателей и насосов;
- нормальное давление охлаждающей воды перед скруббером;
- отсутствие давления управляющего воздуха (при воздушном приводе поворотных затворов);
- высокий уровень воды в скруббере;
- низкий уровень воды в палубном водяном затворе;
- высокий уровень воды в палубном водяном затворе;
- высокое содержание кислорода (более 8%) в инертных газах;
- отсутствие электропитания.

*Сигнализация производится в виде мигающих табло красного цвета и звукового сигнала.*

На пульте управления грузовыми операциями и центральном пульте в машинном отделении предусмотрена обобщенная световая и звуковая сигнализация по выходу за пределы любого параметра.

Автоматический вывод из действия установки для выработки инертного газа (остановка газонагнетателей, насосов, закрытие затворов) с одновременной сигнализацией производится в случаях:

- повышение температуры инертного газа более  $75^{\circ}\text{C}$ ;
- высокий уровень воды в скруббере;
- низкое давление охлаждающей воды;
- низкое давление управляющего воздуха;
- прекращение электропитания;
- остановка газонагнетателя или насоса охлаждающей воды.

Кроме того, может предусматриваться блокировка;

- пуска газонагнетателя при неполном открытии поворотного затвора на трубопроводе рециркуляции;
- блокировка открытия этого затвора при работе сажеобдучных устройств котлов.

### **5.3. Регулирование давления газа и устройства рециркуляции**

Устройства регулирования давления в СИГ предназначены для выполнения следующих функций:

- автоматическое предотвращение противотока газа в случае выхода из строя:
  - нагнетателя инертного газа;
  - палубного водяного затвора;
  - невозвратного клапана на магистрали;
- изменение расхода инертного газа в палубную распределительную магистраль.

Регулирование давления газа может выполняться следующими способами:

1. Ручное регулирование посредством регулирующего клапана на магистрали при отсутствии линии рециркуляции.

Данный способ в настоящее время не применяется, так как он не защищает от противотока.

2. Автоматическое регулирование давления газа в палубной магистрали при наличии линии рециркуляции газа.

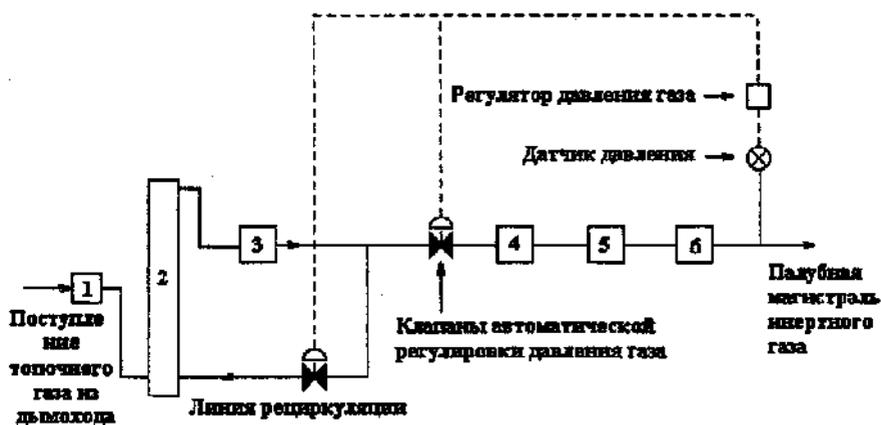
Неиспользуемый в грузовых танках газ вновь подается в очиститель или выпускается в атмосферу.

Поддержание заданного давления газа производится с помощью двух регулирующих клапанов:

- на напорной магистрали за нагнетателями,
- на линии рециркуляции.

Система регулирования давления газа может быть построена по двум принципам:

- поддержание давления газа за нагнетателями (рис. 5.3);
- поддержание давления газа в палубной магистрали (рис. 5.4).



- 1 - Клапан отсечения топочного газа;
- 2 - Газоочиститель;
- 3 - Нагнетатель инертного газа;
- 4 - Палубный водяной затвор;
- 5 - Невозвратный клапан;
- 6 - Палубный разобшающий клапан.

Рис. 5.3. Схема автоматического регулирования давления газа в палубной распределительной магистрали

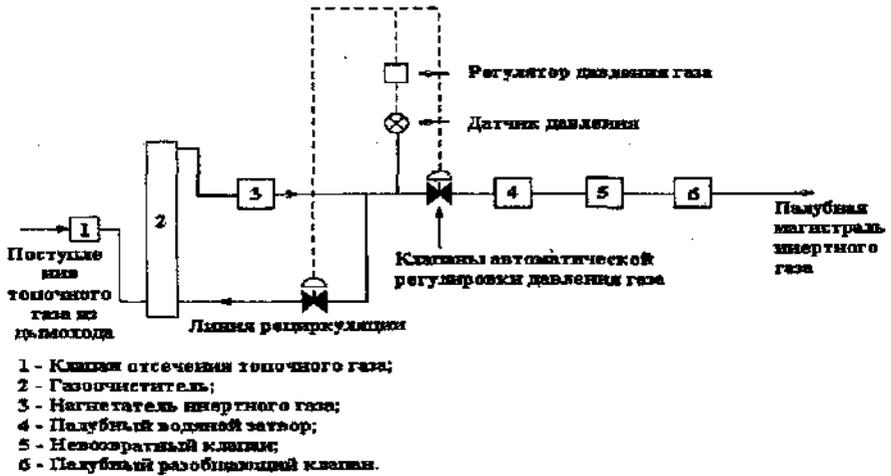


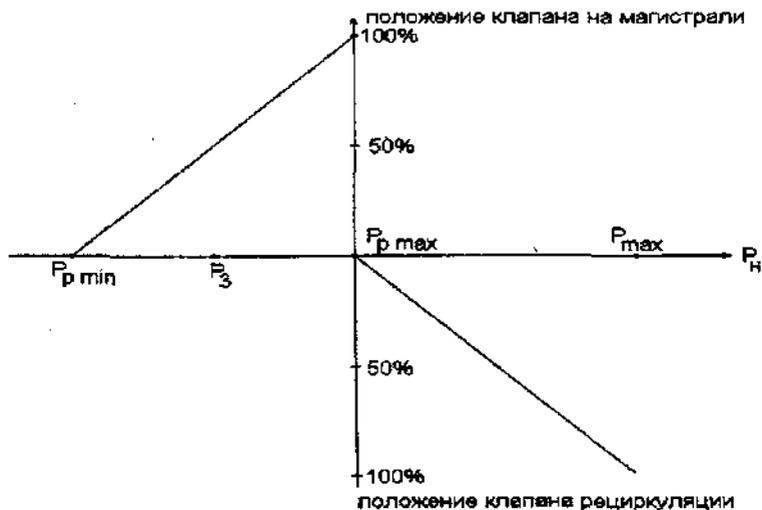
Рис. 5.4. Схема автоматического регулирования давления газа на нагнетатели

В особых случаях основное регулирующее воздействие производится с помощью регулирующего клапана на магистрали, а при повышении давления дополнительно открывается клапан на линии рециркуляции.

Статические характеристики САР давления для обоих вариантов показаны на рис. 5.5, 5.6.



Рис. 5.5. Статическая характеристика САР давления газа за нагнетателями



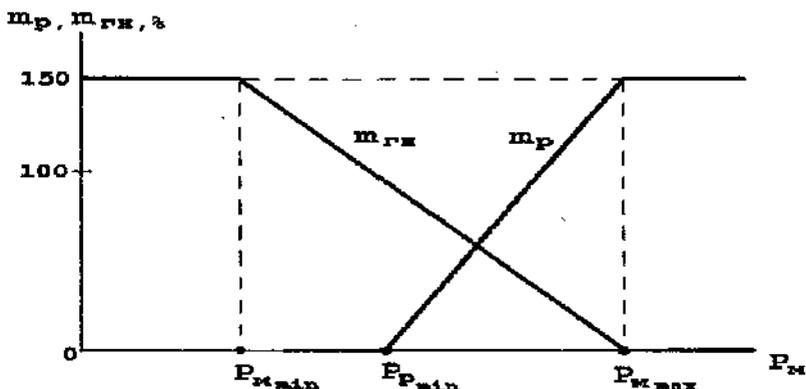
*Рис. 5.6. Статическая характеристика САР давления газа в магистрали*

Клапан рециркуляции может управляться не только от регулятора давления газа, но и работать как обычный предохранительный клапан.

Поддержание постоянного давления газа за нагнетателями (см. рис. 5.3) предотвращает перегрузку газоочистителей и нагнетателей, но при этом имеется вероятность опасного понижения давления в танках, если интенсивность выгрузки превышает фактическую подачу нагнетателя.

Второй способ (см. рис. 5.4) обеспечивает положительное давление в танках во время выгрузки, но при этом отсутствует защита газоочистителя и нагнетателя от перегрузки.

При регулировании давления газа в палубной распределительной магистрали иногда применяется одновременное управление затворами на напорной линии газонагнетателей (8) и на линии рециркуляции (2) (см. рис. 5.1) в соответствии со статической характеристикой, приведенной на рис. 5.7.



- положение затвора на нагнетательном трубопроводе;

$\text{ш}_{\text{ГН}}$

$\text{ш}_{\text{Р}}$  - положение затвора на трубопроводе рециркуляции.

Рис. 5.7. Статическая характеристика регулирования давления инертного газа в палубной магистрали при одновременном воздействии на затворы В

этом случае (рис. 5.1):

- при давлении газа в магистрали  $P_M > P_{M_{\text{max}}}$  затвор (8) полностью закрыт, а затвор рециркуляции (2) полностью открыт, и весь поток инертного газа идет на рециркуляцию;
- при уменьшении давления газа в магистрали  $P_M < P_{M_{\text{max}}}$  затвор (8) начинает открываться, и газ поступает в палубную распределительную магистраль, а затвор (2) начинает закрываться, и расход газа на рециркуляцию уменьшается;
- при  $P_M = P_{M_{\text{max}}}$  затвор (2) полностью закрывается, и весь поток инертного газа начинает поступать в палубную магистраль;
- при дальнейшем уменьшении давления в магистрали затвор (8) продолжает открываться и при  $P_M = P_{M_{\text{min}}}$  открывается полностью.

Следует отметить, что данный способ регулирования давления инертного газа является предпочтительным, так как отсутствуют режимы работы газонагнетателей при нулевой подаче. Настройкой величин  $P_{M_{\text{max}}}$ ,  $P_{M_{\text{min}}}$  и  $P_{P_{\text{min}}}$  выбирается диапазон изменения давления инертного газа и диапазон изменения режимов

работы газонагнетателей при работе СИГ (например,  $P_{P_{min}} = 200$  мм вод. ст.,  $P_{M_{max}} = 800$  мм вод. ст.,  $P_{M_{min}} = 500$  мм вод. ст.).

Рассмотренные выше способы регулирования давления инертного газа являются *непрерывными*; подача газа в магистраль в точности соответствует расходу газа из магистрали в танки.

Кроме того, в ряде случаев используется позиционное (релейное) автоматическое регулирование, которое заключается в следующем:

- автоматическое включение в действие газонагнетателей и насосов, открытие поворотных затворов при понижении давления в палубной магистрали (или танках) менее  $P_{M_{min}}$
- автоматическая остановка газонагнетателей и насосов, закрытие поворотных затворов при повышении давления в палубной магистрали (или танках) более  $P_{M_{max}}$ .

## 5.4. Щит управления СИГ

Практически все операции по управлению СИГ выполняются со щита управления СИГ, располагаемого, как правило, в посту управления грузовыми операциями.

Пример панели щита управления СИГ, на которой расположены элементы управления и контроля СИГ, показан на рис. 5.8. Перечень элементов панели щита управления содержится в таблице 5.3.

На панели размещаются следующие группы элементов:

- выключатель электропитания щита;
- переключатель режима работы системы;
- переключатель режима работы СИГ "инертизация/дегазация";
- мнемосхема СИГ;
- кнопки пуска/остановки;
- кнопки открытия/закрытия затворов;
- кнопка аварийной остановки установки для выработки инертного газа;
- лампы сигнализации о выходе за допустимые пределы параметров СИГ и о неисправностях оборудования;
- показывающий и регистрирующий прибор содержания кислорода в инертном газе и давления газа.

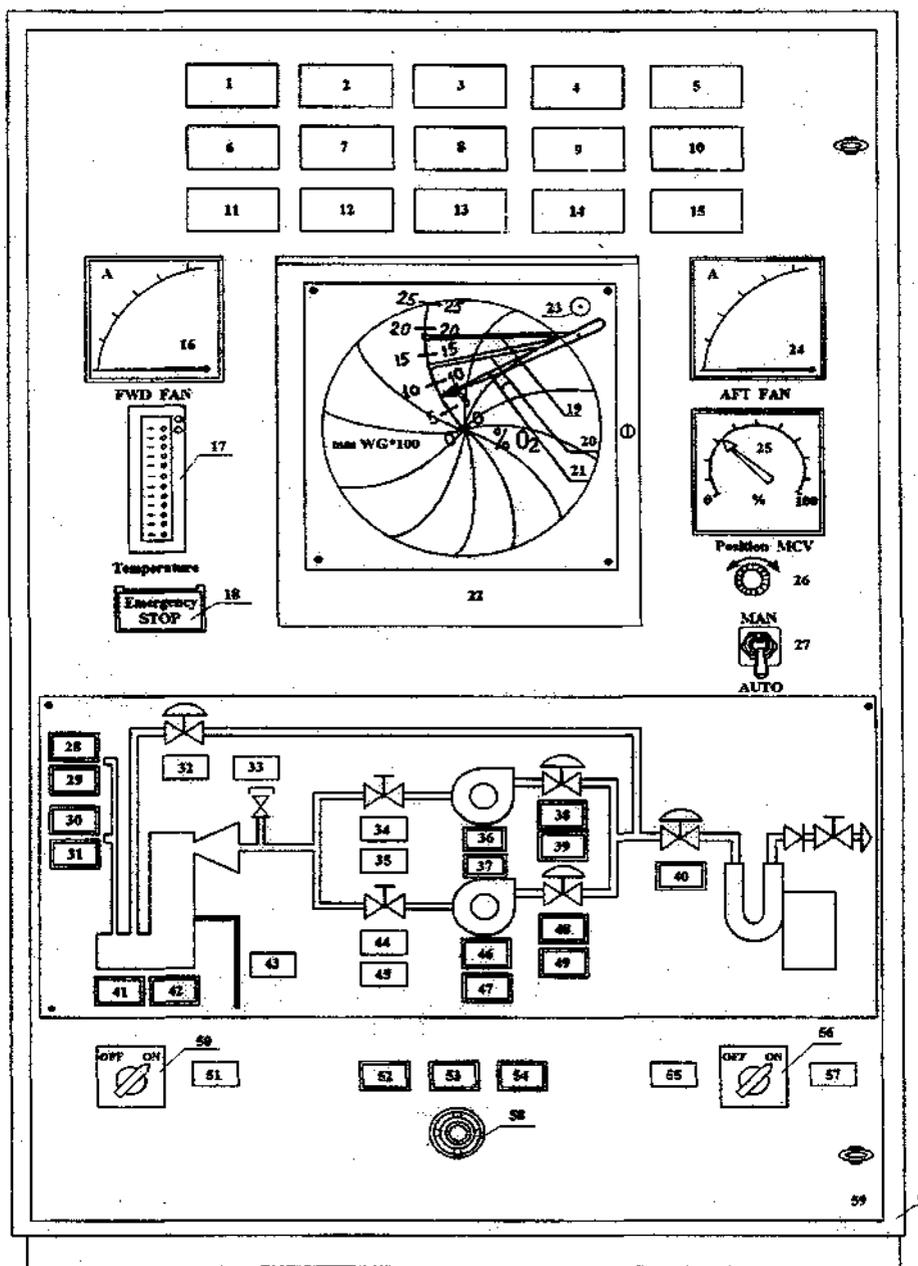


Рис. 5.8. Панель управления системы инертных газов

## Перечень элементов панели щита управления СИГ

Таблица 5.3

№ п/п	Тип элемента	Назначение элемента управления	Цвет
1.	Лампа сигнализации	Неисправность носовой газодувки	Красный
2.	Лампа сигнализации	Неисправность насоса охлаждения воды скруббера	Красный
3.	Лампа сигнализации	Отсутствие давления воздуха управления	Красный
4.	Лампа сигнализации	Высокое давление ИГ в палубной магистрали	Красный
5.	Лампа сигнализации	Неисправность кормовой газодувки	Красный
6.	Лампа сигнализации	Высокая температура импеллера носовой газодувки	Красный
7.	Лампа сигнализации	Высокий уровень охлаждающей воды в скруббере	Красный
8.	Лампа сигнализации	Высокая температура ИГ после скруббера	Красный
9.	Лампа сигнализации	Низкое давление ИГ в палубной магистрали	Красный
10.	Лампа сигнализации	Высокая температура импеллера кормовой газодувки	Красный
11.	Лампа сигнализации	Низкий уровень в палубной водяном затворе или малый поток воды на палубный водяной затвор	Красный
12.	Лампа сигнализации	Малый поток охлаждающей воды на скруббер	Красный
13.	Лампа сигнализации	Высокое содержание кислорода в ИГ	Красный
14.	Лампа сигнализации	Очень низкое давление ИГ в палубной магистрали	Красный

15.	Лампа сигнализации	Обрыв электропитания	Красный
16.	Прибор	Амперметр электродвигателя носовой газодувки	Красный
17.	Прибор	Термометр ИГ с индикацией на светодиодах	Красный
18.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка аварийной остановки установки ИГ	Красный
19.	Регистратор	Перо самописца содержания кислорода в ИГ	Красные чернила
20.	Регистратор-контроллер	Перо самописца давления ИГ в палубной магистрали	Синие чернила
21.	Регистратор-контроллер	Стрелка задания максимального давления ИГ в палубной магистрали	Красная
22.	Регистратор-контроллер	Дверца комбинированного регистратора-контроллера	
23.	Регистратор-контроллер	Ручка управления стрелкой задания давления ИГ	
24.	Прибор	Амперметр электродвигателя кормовой газодувки	
25.	Прибор	Указатель положения открытия-закрытия в % главного управляющего поворотного затвора ИГ	
26.	Ручка	Ручка ручного управления главного управления поворотным затвором	
27.	Тумблер	Переключатель автомат-ручного упр. главн. управл. повор. затвором	
28.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка открытия поворотного затвора приема ИГ на котле №1	желтый
29.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка закрытия поворотного затвора приема ИГ на котле №1	синий

30.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка открытия поворотного затвора приема ИГ на котле №2	синий
31.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка закрытия поворотного затвора приема ИГ на котле №2	синий
32.	Лампа сигнализации	Открытие рециркуляционного поворотного затвора	желтый
33.	Лампа сигнализации	Открытие поворотного затвора приема свежего воздуха	желтый
34.	Лампа сигнализации	Открытие приемного поворотного затвора носовой газодувки	желтый
35.	Лампа сигнализации	Закрытие приемного поворотного затвора носовой газодувки	синий
36.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка пуска носовой газодувки	зеленый
37.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка остановки носовой газодувки	Красный
38.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка открытия нагнетательного затвора носовой газодувки	Желтый
39.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка закрытия нагнетательного затвора носовой газодувки	Красный
40.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка открытия главного управляющего повороти, затвора	Желтый
41.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка пуска насоса охлаждающей воды скруббера	Зеленый
42.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка остановки насоса охлаждающей воды скруббера	Красный
43.	Лампа сигнализации	Нормальное давление охлаждающей воды скруббера	Зеленый
44,	Лампа сигнализации	Открытие приемного поворотного затвора кормовой газодувки	Желтый

45.	Лампа сигнализации	Закрытие приемного поворотного затвора кормовой газодувки	Синий
46.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка пуска кормовой газодувки	Зеленый
47.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка остановки кормовой газодувки	Красный
48.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка открытия нагнетательного затвора кормовой газодувки	Желтый
49.	Кнопка + сигнал, лампа	Кнопка закрытия нагнетательного затвора кормовой газодувки	Красный
50.	Выключатель	Выключатель электропитания щита управления	
51.	Лампа сигнализации	Электропитание щита управления выключено	Зеленый
52.	Кнопка	Кнопка отключения звуковой и световой мигающей сигнализации	Черная
53.	Кнопка	Кнопка снятия защиты (восстановление эл. схемы)	Черная
54.	Кнопка	Кнопка проверки сигнальных ламп	Черная
55.	Лампа сигнализации	Система находится в режиме "дегазация"	Белый
56.	Переключатель	Переключатель режимов работы "Дегазация - Инертирование"	
57.	Лампа сигнализации	Система находится в режиме "Инертирование"	Белый
58.	Зуммер	Звуковая сигнализация	
59.	Панель	Панель (дверца) щита управления	
60.	Щит	Щит управления системой ИГ	

## 5.5. Контроль газовой среды СИГ

Устройства непрерывного измерения и регистрации содержания кислорода в инертных газах обеспечивают:

- измерение содержания кислорода в инертном газе за газонагнетателями (см. рис. 5.1);
- выдачу показаний на дистанционные индикаторы содержания кислорода, установленные на щите управления СИГ (см. рис. 5.8) и, возможно, в ЦПУ машинного отделения.

Для этих целей применяются стационарные анализаторы кислорода.

### **Стационарный анализатор кислорода типа SCP-X.**

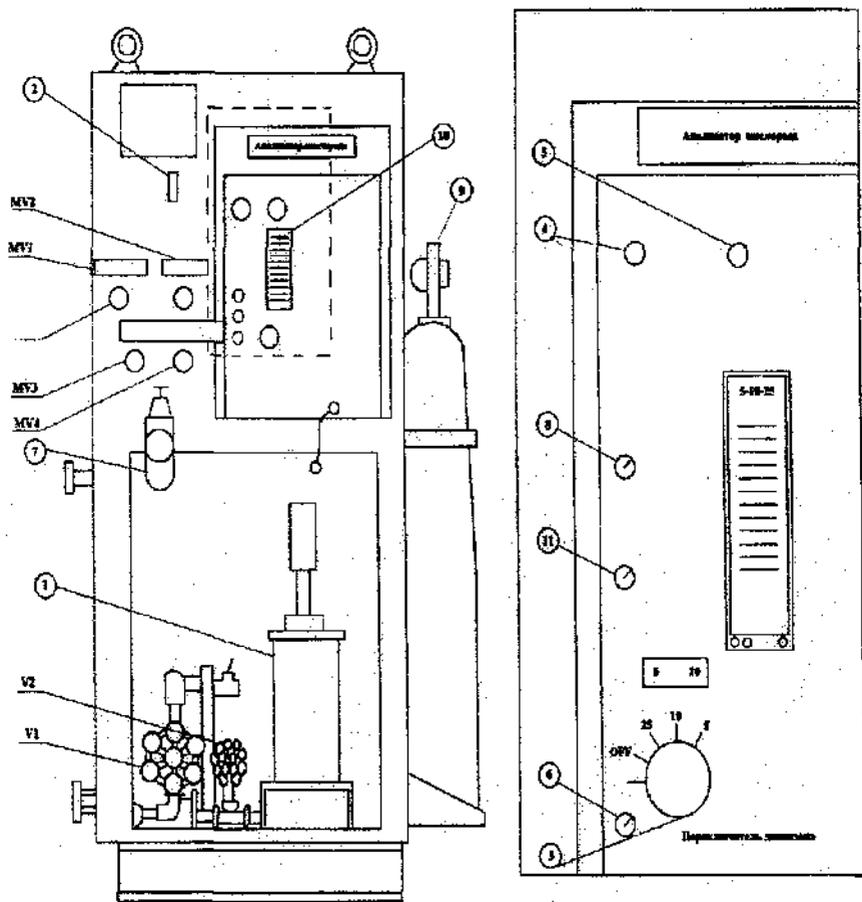
Данный анализатор предназначен для измерения объемного содержания кислорода в инертном газе и выдачи соответствующего аналогового электрического сигнала на показывающие регистрирующие приборы.

Устройство анализатора показано на рис. 5.9.

Перед измерениями содержания кислорода в инертном газе должна быть выполнена подготовка анализатора к работе и его калибровка, что занимает около 30 мин.

### **Подготовка анализатора к работе:**

1. Включить электропитание кислородного анализатора с помощью выключателя на распределительной коробке блока управления СИГ.
2. Перекрыть выпускной клапан (V2) и открыть клапан подачи воды (Vi).
3. Убедиться в том, что перелив из газовойдынного сепаратора (1) достаточный.
4. Включить питание главным выключателем (2).
5. Установить переключатель диапазонов (3) в положение "ВЫКЛ" Установить переключатель источника питания кислородного анализатора (4) в положение "ВКЛ".
6. Убедиться, что лампа "Температура элемента" (5) горит.
7. Калибровку можно производить, когда начнет мигать лампа "Температура элемента" (5) (примерно через 20 мин.).



- 1 - Водно-газовый сепаратор
- 2 - Главный переключатель
- 3 - Переключатель диапазона
- 4 - Переключатель питания
- 5 - Лампа температуры элемента
- 6 - Регулирование смещения
- 7 - Регулятор давления
- 8 - Установка нуля
- 9 - Клапан источника калибр.газа
- 10 - Регулятор расхода
- 11 - Регулятор диапазона

Рис. 5.9. Стационарный анализатор кислорода типа SCP-X

## Калибровка:

1. Закрыть клапан выпуска Газа (MV1), пробоотборный клапан (MV2) и клапан калибровочного газа (MV4).
2. Установить переключатель диапазонов (3) в положение "смещение". С помощью установленного на кислородном анализаторе потенциометра "СМЕЩЕНИЕ" (6) отрегулируйте индикацию на 20,6% (красная стрелка).
3. После открытия воздушного клапана (MV3) установить давление  $0,1 \text{ кгс/см}^2$  с помощью регулятора (7).
4. Установить переключатель диапазонов (3) в положение "25". Когда индикация станет стабильной, отрегулировать ее на 20,6% с помощью встроенного потенциометра "Нуль (регулировка подачи воздуха)", (8).
5. Закрыть воздушный клапан (MV3).
6. Открыть клапан подачи калибровочного газа (MV4).
7. Открыть клапан источника калибровочного газа (9). Отрегулировать расход калибровочного газа на 1 - 2 л/мин, с помощью встроенного регулятора расхода (10).
8. Установить переключатель диапазонов (3) в положение "10". Когда индикация станет стабильной, отрегулировать ее на 1% (концентрация калибровочного газа) с помощью встроенного потенциометра "ДИАПАЗОН" (11).
9. Закрыть клапан источника калибровочного газа (9).

## Замер:

1. Открыть клапан выпуска газа (MV1) и пробоотборный клапан (MV2).
2. Установить переключатель диапазонов (3) в положение "10", при котором включается индикация содержания кислорода в газовой пробе.

# Глава 6

## Эксплуатация установки для выработки инертного газа

### 6.1. Ввод установки

Включение в действие установки для выработки инертного газа содержит следующие обязательные операции:

1. Проверить:
  - содержание кислорода в дымовых газах котла, которое не должно превышать 5% по объему;
  - наличие электропитания у всех механизмов и устройств управления, контроля и сигнализации;
  - подачу необходимого количества воды в газоочиститель и палубный водяной затвор;
  - срабатывание средств сигнализации отключения СИГ при малых количествах воды в газоочистителе и палубном водяном затворе.
2. Закрыть клапаны подачи воздуха для дегазации.
3. Перекрыть доступ воздуха в уплотняющие устройства клапанов отсека дымовых газов котла.
4. Открыть отсекающий клапан газов выбранного котла.
5. Открыть впускной клапан выбранного нагнетателя. Проверить закрытие впускного и выпускного клапанов другого нагнетателя.
6. Запустить нагнетатель.
7. Проверить сигнализацию, срабатывающую в случае выхода из строя нагнетателя. Открыть выпускной клапан нагнетателя.
8. Открыть клапан рециркуляции для стабилизации режима работы установки.
9. Открыть клапан регулирования подачи инертного газа.
10. Проверить содержание кислорода в дымовых газах (должно быть не более 5% по объему).
11. Закрыть клапан выпуска газа в атмосферу на участке между клапаном регулирования давления газа и палубным разобщающим клапаном.
12. СИГ готова к подаче газа в грузовые танки.

## **6.2. Контроль в период эксплуатации**

В период эксплуатации системы инертных газов подлежат контролю:

1. Основные параметры инертных газов:

- содержание кислорода в инертных газах не должно превышать 8% по объему. Обычно концентрация кислорода составляет 3 - 5 %;
- давление инертных газов в танках поддерживается в пределах 200 - 800 мм вода. ст. Предельно допустимые значения лежат в пределах от 100 до 1200 мм водн. ст.

2. Системы предупредительной сигнализации и защиты должны быть в рабочем состоянии.

3. Стационарные и переносные приборы для замера концентрации кислорода и углеводорода должны находиться в рабочем состоянии.

4. Палубный и другие гидрозатворы должны быть заполнены водой до соответствующего уровня и, если это предусмотрено конструкцией, непрерывно прокачиваться водой.

5. В газоочиститель непрерывно подавать охлаждающую воду в необходимом количестве.

6. Прерыватели давления/вакуум должны находиться в рабочем состоянии и быть заполнены соответствующей жидкостью до необходимого уровня.

## **6.3. Возможные причины отказов**

1. Отказ системы инертных газов может произойти при высоком содержании кислорода, что объясняется:

- неисправностью системы управления процессом топливосжигания в котле, особенно при его малой нагрузке;
- подсосом воздуха из дымохода, когда расход дымовых газов меньше подачи нагнетателя (особенно при малой нагрузке на котел);
- подсосом воздуха на участке между дымоходом котла и нагнетателем в результате коррозионного разрушения металла трубопровода;
- ошибками, допущенными при тарировке анализатора кислорода;
- работой установки для выработки инертного газа в режиме

рециркуляции;

- поступлением воздуха в магистраль инертного газа через клапаны давления/вакуума, мачтовые стоянки и т.п. из-за их не исправности.

*Для снижения высокого содержания кислорода необходимо:* увеличить нагрузку на котел; уменьшить подачу газа газонагнетателем; устранить разгерметизацию участка СИГ от котла до газонагнетателя.

2. Не рекомендуется отключать установку для выработки инертного газа, если объемное содержание кислорода более 8%, однако при этом необходимо одновременно принимать меры по снижению содержания кислорода до 8%.

Неспособность установки вырабатывать инертный газ с содержанием кислорода менее 11% следует рассматривать как выход ее из строя.

3. Система не поддерживает положительное избыточное давление в процессе выгрузки или откачки балласта вследствие:

- ошибочного закрытия клапанов инертного газа;
- ошибочного срабатывания системы автоматического управления давлением;
- понижения давления, создаваемого нагнетателем;
- превышения интенсивности выгрузки над подачей нагнетателя.

4. В случае отключения установки для выработки инертного газа вследствие какого-либо повреждения необходимо:

- приостановить все операции, связанные с эксплуатацией грузовых танков;
- закрыть палубный разобщающий клапан, чтобы воздух не поступал в танки.

## **6.4. Вывод из эксплуатации**

Вывод из действия установки для выработки инертного газа должен содержать следующие операции:

1. Проверить содержание кислорода (должно быть не более 8% по объему) и величину давления во всех танках. Закрыть палубный разобщающий клапан.

2. Открыть клапан выпуска газа в атмосферу на участке между клапаном регулирования и палубным разобщающим клапаном.

3. Закрывать клапан регулировки давления газа.
4. Остановить нагнетатель инертного газа.
5. Закрывать выпускной и впускной клапаны нагнетателя.
6. Убедиться, что осушительные каналы нагнетателя не засорены.
7. Открыть систему мойки водой нагнетателя, пока он продолжает вращаться при отключенном электропитании электродвигателя.
8. Выключить систему мойки нагнетателя после установленного времени.
9. Закрывать отсечной клапан дымовых газов и открыть его систему воздушного уплотнения.
10. Подавать в газоочиститель воду в период его вывода согласно инструкции завода-изготовителя.
11. Проверить поступления достаточного количества воды в палубный водяной затвор, исправность водяного затвора и его сигнализации.

## **6.5. Контроль за установкой СИГ в нерабочее состояние**

При отключенной установке для выработки инертного газа необходимо контролировать обеспечение безопасности. Данный контроль должен производиться следующим образом:

1. Проверять подачу воды в палубный водяной затвор и уровень воды в нем не реже одного раза в сутки.
2. В целях предотвращения противотока углеводородных газов контролировать уровень воды в петлях гидрозатворов. Следить за исправностью устройств, предотвращающих замерзание воды в палубных гидрозатворах, прерывателях давления\вакуума и т.п.
3. Прежде чем давление в танках снизится до 100 мм водн. ст., в них следует подать инертный газ.

## **6.6. Техническое обслуживание и проверка СИГ. Повреждения элементов СИГ**

Характерные повреждения элементов СИГ, результаты повреждений и возможные последствия представлены в табличной форме.

Составная часть СИГ	Перечень повреждений	Что происходит в результате повреждения	Возможные последствия
Клапаны отсечения топочного газа	Отложения сажи. Коррозионное разрушение. Повреждение сальниковых уплотнений.	Заклинивание. Утечка топочного газа в газоочиститель или окружающую среду.	Затруднения при открывании клапана. Коррозионное разрушение газоочистителя и линии топочного газа. Выход из строя оборудования для контроля. Выход из строя оборудования для сигнализации.
Палубный водяной затвор	Коррозионное разрушение магистральной линии. Коррозионное разрушение выключателя. Повреждение или засорение трубок Вентури.	Нарушение режима работы системы сигнализации и регулятора уровня в результате короткого замыкания.	Отток газа из танка в машинное отделение. Утечка воды. Отток газа из танка.

<p>Очисти- тель инерт- ного газа</p>	<p>Прекращение по- дачи охлаждающей воды.</p> <p>Коррозионное раз- рушение и разъеда- ние струйных сопел, труб для подачи ох- лаждающей воды, поплавокных пере- ключателей.</p> <p>Коррозионное раз- рушение кожуха.</p> <p>Засорение антикон- денсатного устрой- ства и намокание фильтров.</p>	<p>Угроза перегрева и ав- томатическое отклю- чение системы.</p> <p>Недостаточное снижение содержание SO<sub>2</sub> и выпа- дение сажи в виде отло- жения. Отказ в работе устройств сигнализации и обеспечения безопасно- сти.</p> <p>Утечки.</p> <p>Падение давления газа и снижение расхода воды.</p>	<p>Нарушение режима работы. Повреждение неметалличе- ских элементов.</p> <p>Угроза косвенного повреж- дения нагнетателей и других частей системы, установлен- ных после газоочистителя.</p> <p>Нарушение режима работы. Поступление воздуха. Низкое давление инертного газа в палубной линии. Возрастание угрозы повреж- дения нагнетателя.</p>
<p>Сточная ли-ния га- зоочисти- теля и кла- пан забор- ного слива</p>	<p>Коррозионное по- вреждение</p>	<p>Поступление сливной воды в машинное отде- ление</p>	<p>Угроза затопления машин- ного отделения в случае, ес- ли выпускное отверстие рас- положено ниже уровня воды.</p>

Нагнетатели инертного газа	Образование отложений сажи. Коррозионное разрушение. Нарушение соосности валов. Местная вибрация.	Разбалансировка. Утечка газа. Разрушение подшипников.	Повреждение подшипника. Опасность отравления. Повреждение нагнетателя.
Механический невозвратный клапан в палубной линии	Образование отложений сажи. Коррозионное разрушение.	Заклинивание или неплотное закрытие клапана.	Нарушение режима работы. Сброс давления (расход).
Клапаны сброса давления/ вакуума	Образование отложений сажи. Коррозионное разрушение.	Заклинивание или неплотное закрытие клапана.	Угроза повреждения танков из-за чрезмерного давления.
Прерыватель давления/ вакуума, заполненный жидкостью	Недостаточное количество жидкости. Чрезмерное количество жидкости.	Не закрывается клапан давления/вакуума	Выпуск газа в атмосферу. Конструктивное повреждение.

## 6.7. Примерная программа профилактических осмотров СИГ

Составная часть СИГ	Мероприятия по профилактическому техническому обслуживанию	Частота выполнения мероприятий по техническому обслуживанию
Клапаны отсечения топочного газа	<p>Проверка работоспособности клапана.</p> <p>Зачистка сжатым воздухом или паром.</p> <p>Демонтаж для осмотра и зачистки.</p>	<p>Перед запуском и каждую неделю.</p> <p>До начала работы СИГ.</p> <p>Во время остановки котла.</p>
Очиститель топочного газа	<p>Промывка струей воды.</p> <p>Зачистка антиконденсатного устройства.</p> <p>Разборка регулятора уровня и температурных датчиков для осмотра.</p> <p>Вскрытие для полного внутреннего осмотра.</p>	<p>После сивования танков.</p> <p>Через три месяца.</p> <p>Через шесть месяцев.</p> <p>Во время докования.</p>
Клапан забортного слива и трубы, выходящие из очистителя топочного газа	<p>Промывка струей воды из водяного насоса газоочистителя примерно в течение одного часа.</p> <p>Разборка клапана для капитального ремонта, осмотр трубопровода и забортного патрубка.</p>	<p>После использования.</p> <p>Во время докования и ремонта.</p>
Палубный механический невозвратный клапан	<p>Проворачивание и смазка клапана.</p> <p>Вскрытие для внутреннего осмотра.</p>	<p>Через неделю и до запуска.</p> <p>Через 18 месяцев.</p>

Нагнетатели	<p>Контроль вибрации корпуса нагнетателя.</p> <p>Промывка струей воды.</p> <p>Внутренний осмотр через лючки.</p> <p>Разборка для полного капитального ремонта рабочего колеса, набивка сальников вала и выполнение других необходимых работ.</p>	<p>Во время вращения.</p> <p>После сивования.</p> <p>После промывки и через шесть месяцев.</p> <p>Через два года или чаще в зависимости от потребности и сроков докования.</p>
Палубный водяной затвор	<p>Разборка для осмотра регуляторов уровня и поплавковых клапанов.</p> <p>Вскрытие для общего внутреннего осмотра.</p> <p>Капитальный ремонт автоматических клапанов.</p>	<p>Через шесть месяцев.</p> <p>Через год.</p> <p>Через год.</p>
Клапаны давления/вакуума	<p>Проверка срабатывания и смазка клапанов.</p> <p>Вскрытие для полного капитального ремонта и осмотра.</p>	<p>Через шесть месяцев.</p> <p>Через год.</p>
Палубный разобщающий клапан	Вскрытие для капитального ремонта.	Через год.
Система регулировки давления газа	<p>Предотвращение конденсации в приборе, подача воздуха.</p> <p>Вскрытие клапанов регулировки давления газа для капитального ремонта.</p>	<p>Перед запуском</p> <p>По мере необходимости.</p>
Прерыватели давления/вакуума, заполненные жидкостью	Контроль уровня жидкости при атмосферном давлении в системе.	При каждом удобном случае и через шесть месяцев.

## **6.8. Эксплуатация грузовых танков после выхода из строя установок для выработки инертного газа**

Все операции, связанные с грузовыми танками, следует немедленно прекратить, а палубный разобщающий клапан закрыть в случае обнаружения следующих неисправностей СИГ:

- установка для выработки инертного газа подает газ с содержанием кислорода равным 11% и более;
- давление в грузовых танках перестало быть избыточным (стало меньше атмосферного);
- установка для выработки инертного газа отключена вследствие аварии.

Одновременно должны быть предприняты незамедлительные действия по предотвращению поступления воздуха в танки.

Возобновление операций с грузовыми танками должно определяться инструкцией судовладельца.

После ремонта установки для выработки инертного газа неинертизированные танки должны быть повторно инертизированы.

При инертизации танков необходимо:

- контролировать состав газа, выпускаемого из танка до тех пор, пока содержание кислорода в нем станет менее 8% по объему;
- проверить, что выпускаемый газ полностью соответствует составу атмосферы внутри танка;
- если для контроля понадобится ввести в танк пробоотборник для отбора проб газа, то это следует сделать через 30 минут после прекращения впуска инертного газа;
- металлические детали пробоотборной системы должны быть надежно замкнуты на корпус судна и находится в таком положении в течение 5 часов, считая с момента прекращения впуска инертного газа.

Перечисленные выше в табличной форме действия экипажа при вводе, эксплуатации и выводе из действия установки инертных газов, поддержания допустимых значений отдельных параметров носят рекомендательный характер. В настоящее время на танкерах можно встретить достаточно большое разнообразие конструкций системы инертных газов, которые разработаны и изготовлены в разных странах мира.

Каждая фирма-изготовитель прилагает к своему изделию инструкции по эксплуатации. Эти нормативные документы при эксплуатации конкретной системы инертных газов являются основополагающими. Кроме того, в этой главе приводятся типичные причины отказов отдельных элементов СИГ, указываются причины повышения кислорода в инертных газах, одновременно указываются общепринятые требования к конструкции отдельных элементов, позволяющих повысить их надежность. Учитывая, что значительная часть элементов системы СИГ эксплуатируется в агрессивной среде, особое внимание уделено возможным их повреждениям, причинам, вызвавшим эти повреждения и их влияние на техническое состояние других элементов СИГ.

# Литература

1. Сыромятников В.Ф., Петров В.П. Автоматизация грузовых операций на танкерах.-М.: Транспорт,1979.-168с.
2. Рабий ИЛ., Луничев Н.П., Сизов Г.Н., Грузовые операции на нефтеналивных судах.- М.:Транспорт, 1973.- 174с.
3. Международное руководство по безопасности для нефтяных танкеров и терминалов (четвертое издание).- Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1997.-596с.
4. Системы инертного газа. Руководство по применению инертного топочного газа. - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1996.-212с.
5. Системы мойки сырой нефтью. - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1995.-176с.
6. Общие и специальные правила перевозки наливных грузов (7-М). - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1997.-582С.
7. Консолидированный текст конвенции СОЛАС-74. - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1996.-758с.
8. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973г., измененная протоколом 1978г. к ней. МАРПОЛ 73/78. Книга I и II. - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1999,-762с.
9. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973г., измененная протоколом 1978г. к ней. МАРПОЛ 73/78. Книга III. - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1998.-282С.
10. Загрязнение моря нефтью: гражданская ответственность и компенсация ущерба (Сборник конвенций ИМО). - Спб: ЗАО ЦНИИМФ, 1999.-362с.
11. Плявин Н.И., Шаповал М.А., Васильев Ю.В. Казимиров А.Г. Морские перевозки наливных грузов. .-М.: Транспорт, 1991.-191с.
- 12.Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов. .-М.: Транспорт, 1985.-288с.

ЛРН№ 021005 от 04.08.95 г.

**Подписано в печать 24.07.2000**

**Формат 60x84 1/16. Бумага для множ. апп.**

**Усл.печл. 6,74. Уч.изд.л. 532. Доп. тираж 100. Заказ[290.Изд.№ 113**

**Редакционно-издательский отдел**

**Новороссийской государственной морской академии**

**353918, г.Новороссийск, пр. Ленина, 93**