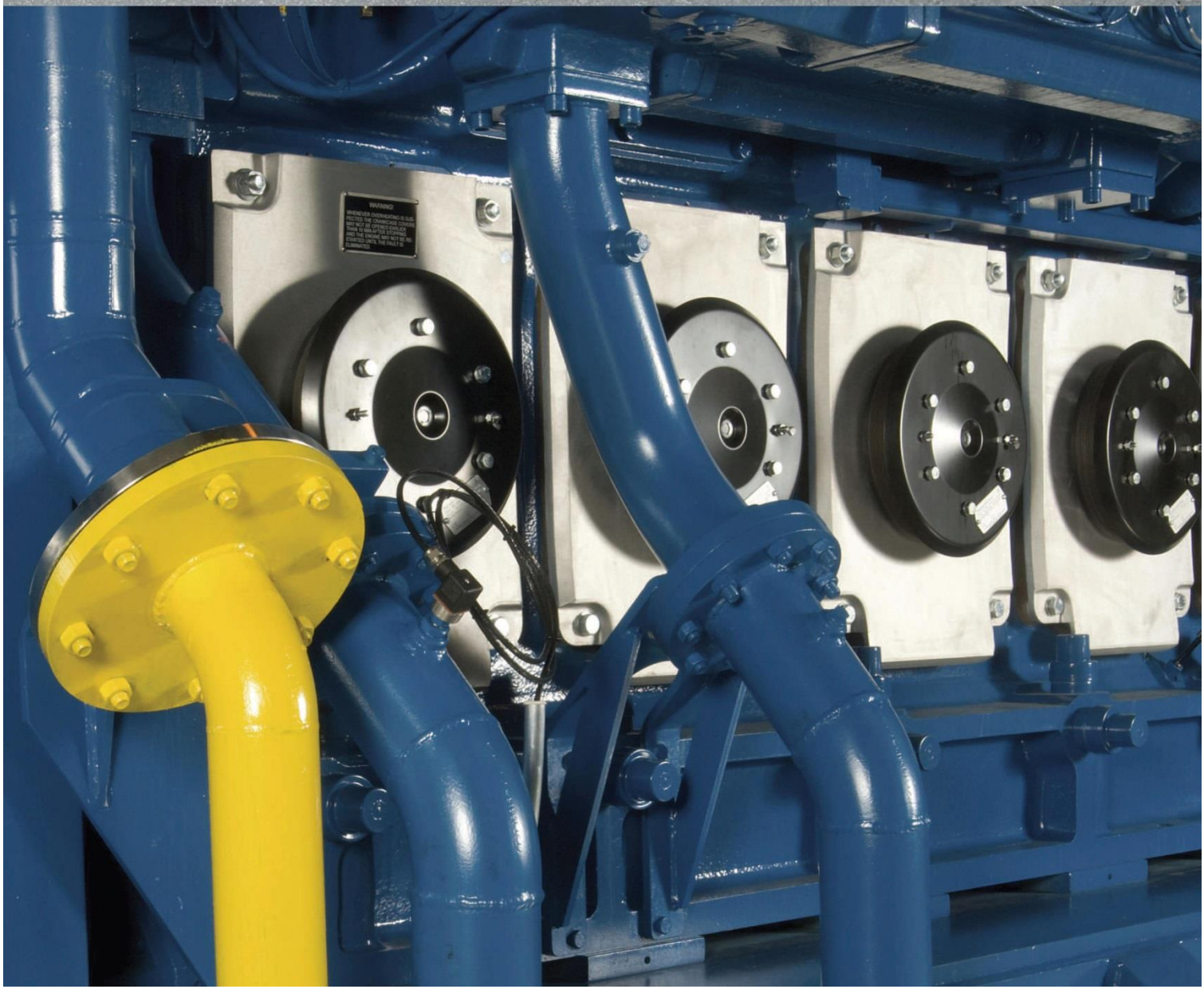
WÄRTSILÄ

WÄRTSILÄ **Engines**

ДВУХТОПЛИВНЫЕ ДВИГАТЕЛИ WÄRTSILÄ 34DF
ПРОЕКТНОЕ РУКОВОДСТВО



Введение

Данная публикация содержит данные и предложения для ранней стадии разработки проектов для судовых двигателей. Для контрактных проектов всегда предоставляются конкретные инструкции по проектированию. Любые данные и информация в данном руководстве могут быть пересмотрены без специального уведомления. Данная публикация 1/2013 отменяет все предыдущие публикации проектных руководств по двигателю Wärtsilä 34DF.

Издание	Опубликовано	Обновления
1/2013	31.12.2013	Добавление информация по двигателям W34DF с мощностью 500 кВт на цилиндр
3/2012	13.06.2012	Обновление главы «Технические данные»
2/2012	08.06.2012	Обновление глав «Рабочие диапазоны» и «Технические данные»
1/2012	01.02.2012	Обновление глав «Рабочие диапазоны» и прочие незначительные обновления
3/2011	18.11.2011	Некоторые обновления в проектном руководстве

Декабрь 2013

Wärtsilä, Ship Power Technology

ДАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ ПЛАНИРОВАЛАСЬ КАК ТОЧНЫЙ И АВТОРИТЕТНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ ПО ОПИСЫВАЕМОМУ ПРЕДМЕТУ НА МОМЕНТ НАПИСАНИЯ. ОДНАКО В ПУБЛИКАЦИИ ОПИСАНЫ СЛОЖНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, А КОНСТРУКЦИЯ ОПИСЫВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДВЕРЖЕНА РЕГУЛЯРНОМУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ, МОДИФИКАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯМ. В СВЯЗИ С ЭТИМ ИЗДАТЕЛЬ И ДЕРЖАТЕЛЬ АВТОРСКИХ ПРАВ НА ДАННУЮ ПУБЛИКАЦИЮ НЕ ПРИНИМАЮТ НИКАКИХ, В ТОМ ЧИСЛЕ ФИНАНСОВЫХ, ПРЕТЕНЗИЙ ЗА СЛУЧАЙНЫЕ ОШИБКИ, ДОПУЩЕННЫЕ В ПУБЛИКАЦИИ ЛИБО ЗА РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ КОНСТРУКТИВНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ОПИСЫВАЕМОГО ОБОРУДОВПАНИЯ И РЕАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ. ИЗДАТЕЛЬ И ДЕРЖАТЕЛЬ АВТОРСКИХ ПРАВ НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ НЕ НЕСУТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ФИНАНСОВЫЕ, КОСВЕННЫЕ ИЛИ ИНЫЕ УБЫТКИ, ИЛИ УЩЕРБ И ТРАВМЫ, ПОНЕСЕННЫЕ ЛЮБЫМИ СТОРОНАМИ, ИСПОЛЬЗОВАВШИМИ ДАННУЮ ПУБЛИКАЦИЮ ЛИБО СОДЕРЖАЩУЮСЯ В НЕЙ ИНФОРМАЦИЮ.

COPYRIGHT © 2013 BY WÄRTSILÄ FINLAND Oy

ВСЕ ПРАВА ЗАЩИЩЕНЫ. НИКАКАЯ ЧАСТЬ ДАННОГО ИЗДАНИЯ НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНА ИЛИ СКОПИРОВАНА КАКИМ-ЛИБО СПОСОБОМ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПИСЬМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЕРЖАТЕЛЯ АВТОРСКИХ ПРАВ.

Содержание

1 Основные данные и мощность 1
1.1 Основные технические характеристики 1
1.2 Максимальная длительная мощность 1
1.3 Дератирование при работе в газовом режиме 2
1.4 Стандартные условия эксплуатации 4
1.5 Крен и дифферент 4
1.6 Основные размеры и веса 5
2 Рабочие диапазоны 8
2.1 Рабочий диапазон двигателя 8
2.2 Допустимая нагрузка 9
2.3 Работа при малых нагрузках и холостых оборотах 12
2.4 Низкая температура воздуха 13
3 Технические данные 14
3.1 Wärtsilä 6L34DF 14
3.2 Wärtsilä 9L34DF 17
3.3 Wärtsilä 12V34DF 20
3.4 Wärtsilä 16V34DF 23
4 Описание двигателя 27
4.1 Определения 27
4.2 Основные компоненты и системы 27
4.3 Двигатель в разрезе 33
4.4 Интервалы между капитальными ремонтами и расчетный срок службы 35
4.5 Хранение двигателя 35
5 Разработка, обработка и установка трубопроводов 36
5.1 Размер трубопроводов 36
5.2 Подогрев трубопроводов 37
5.3 Класс давления 37
5.4 Класс трубопроводов 38
5.5 Изоляция 39
5.6 Местные измерительные приборы 39
5.7 Технология очистки 39
5.8 Упругие соединения трубопроводов 40
5.9 Крепление труб 41
6 Топливная система 43
6.1 Допустимые характеристики топлива 43
6.2 Принципы работы 50
6.3 Система газового топлива 51
6.4 Система дизельного топлива 58
7 Система смазочного масла 77
7.1 Требования к качеству смазочного масла 77
7.2 Внутренняя система смазочного масла 79
7.3 Внешняя система смазочного масла 82
7.4 Система вентиляции картера 87
7.5 Инструкция по промывке 88
8 Система сжатого воздуха 90
8.1 Качество рабочего воздуха 90
8.2 Внутренняя система сжатого воздуха 90
8.3 Внешняя система сжатого воздуха 93
9 Система водяного охлаждения 96
9.1 Качество воды 96
9.2 Внутренняя система водяного охлаждения 97

9.3 Внешняя система водяного охлаждения ... 100
10 Система воздуха сгорания ... 109
10.1 Вентиляция машинного отделения ... 109
10.2 Конструкция системы воздуха сгорания ... 110
11 Система выхлопного газа ... 112
11.1 Внутренняя система выхлопного газа ... 112
11.2 Выхлопной патрубок ... 114
11.3 Внешняя выхлопная система ... 116
12 Очистка ГТН ... 121
12.1 Система очистки турбины ... 121
12.2 Система очистки компрессора ... 121
13 Выхлопные газы ... 122
13.1 Выбросы двухтопливного двигателя ... 122
13.2 Морское законодательство по выбросам выхлопных газов ... 122
13.3 Методы снижения уровня выброса выхлопных газов ... 126
14 Система автоматики ... 127
14.1 Система управления UNIC C3 ... 127
14.2 Функции ... 133
14.3 Потребители энергии ... 138
15 Фундамент ... 140
15.1 Устройство стальной конструкции ... 140
15.2 Монтаж главных двигателей ... 140
15.3 Монтаж дизель-генераторов ... 152
15.4 Упругие соединения трубопроводов ... 154
16 Вибрации и шумы ... 155
16.1 Внешние силы и динамические пары ... 155
16.2 Колебания крутящего момента ... 156
16.3 Суммарный момент инерции ... 156
16.4 Воздушные шумы ... 156
16.5 Выхлопные шумы ... 157
17 Передача мощности ... 159
17.1 Упругая муфта ... 159
17.2 Измерительный фланец крутящего момента ... 160
17.3 Муфта сцепления ... 160
17.4 Устройство блокировки вала ... 160
17.5 Отбор мощности со свободного конца двигателя ... 161
17.6 Исходные данные по вычислению крутильных колебаний ... 162
17.7 Валоповоротный механизм ... 163
18 Конструкция машинного отделения ... 164
18.1 Расстояния между коленвалами ... 164
18.2 Пространство для техобслуживания ... 171
18.3 Транспортировка и хранение запчастей и инструментов ... 171
18.4 Пространство на палубе, необходимое для техобслуживания ... 171
19 Транспортировка: размеры и вес ... 174
19.1 Подъем главных двигателей ... 174
19.2 Подъем дизель-генераторов ... 176
19.3 Компоненты двигателя ... 177
20 Дополнения к проектному руководству ... 179
21 ПРИЛОЖЕНИЕ ... 180
21.1 Таблицы пересчета единиц ... 180
21.2 Перечень символов, используемых в чертежах ... 181

Эта страница оставлена пустой специально.

1 Основные данные и мощность

1.1 Основные технические характеристики

Wärtsilä 34DF это четырёхтактный, нереверсивный, дизельный двигатель с турбонаддувом и промежуточным охладителем, с прямым впрыском жидкого топлива и непрямым впрыском газового топлива. Двигатель может эксплуатироваться в газовом или дизельном режиме.

Диаметр цилиндра.....340 мм

Ход поршня.....400 мм

Рабочий объем .....36.3 л/цилиндр

Число клапанов.....2 впускных и 2 выпускных клапана

Конфигурация цилиндров.....Рядный, 6- и 9-цилиндровый, V-образный 12- и 16-цилиндровый

Направление вращения.....По часовой стрелке, против часовой – по требованию

Частота вращения двигателя.....720, 750 об/мин

Средняя скорость поршня.....9,6, 10,0 м/с

1.2 Максимальная длительная мощность

Таблица 1.1 Таблица мощностей для Wärtsilä 34DF

Тип двигателя:	**Главные двигатели: 720 об/мин**	**Дизель-генераторы:**			
		720 об/мин		**750 об/мин**	
	Двигатель (кВт)	**Двигатель (кВт)**	**Генератор (кВА)**	**Двигатель (кВт)**	**Генератор (кВА)**
Wärtsilä 6L34DF	2700	2610	3130	2700	3240
	3000	2880	3460	3000	3600
Wärtsilä 9L34DF	4050	3915	4700	4050	4860
	4500	4320	5180	4500	5400
Wärtsilä 12V34DF	5400	5220	6260	5400	6480
	6000	5760	6910	6000	7200
Wärtsilä 16V34DF	7200	6960	8350	7200	8640
	8000	7680	9220	8000	9600

Среднее эффективное давление Pe может быть вычислено по формуле:

$$P_e = \frac{P \times c \times 1.2 \times 10^9}{D^2 \times L \times n \times \pi}$$

где:

Pe = Среднее эффективное давление [бар]

P = Выходная мощность на цилиндр [кВт]

n = Частота вращения двигателя [об/мин]

D = Диаметр цилиндра [мм]

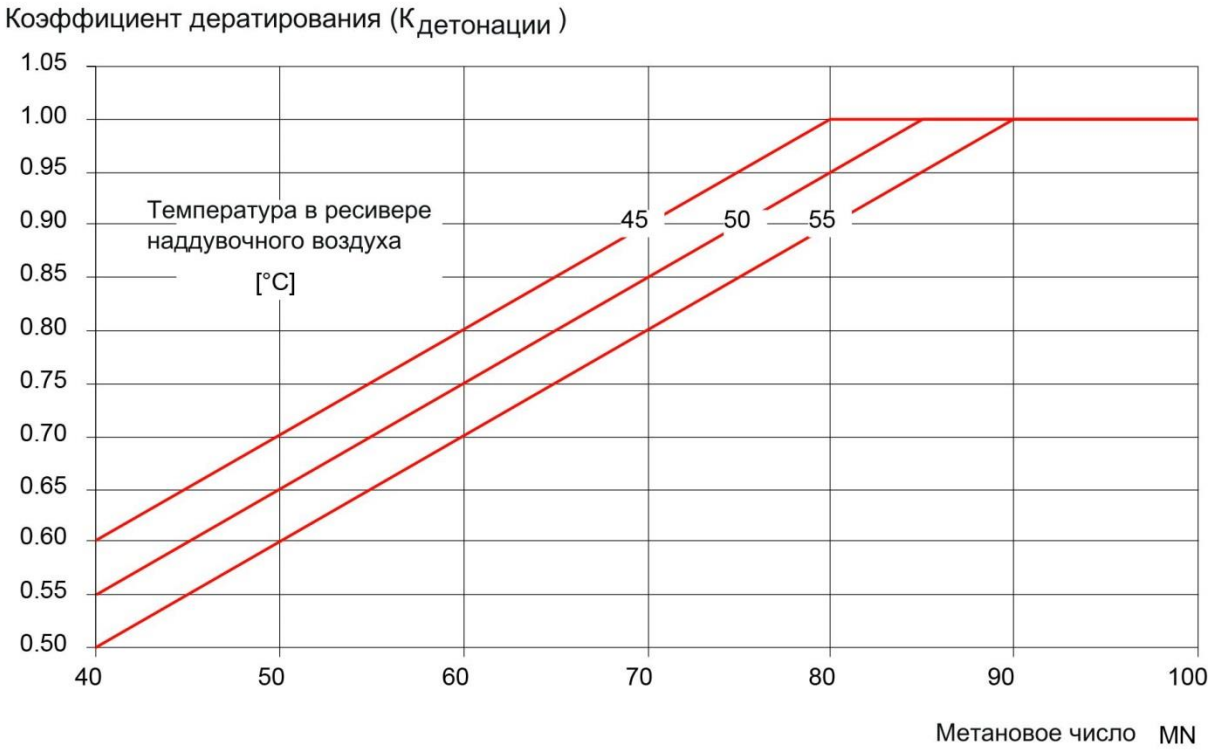
L = Длина хода поршня [мм]

c = Рабочий цикл (4)

1.3 Дератирование при работе в газовом режиме

1.3.1 Дератирование по метановому числу и температуре в ресивере наддувочного воздуха

Рисунок 1.1 Дератирование по метановому числу и температуре в ресивере наддувочного воздуха



ПРИМЕЧАНИЯ: Не допускается компенсация низкого метанового числа газа понижением температуры на ресивере ниже 45°C.

Минимальная температура на ресивере наддувочного воздуха 35°C.

Не допускается компенсация повышения температуры на ресивере выше 55°C высоким метановым числом газа.

Точка росы рассчитывается исходя из фактических условий на объекте. Минимальная температура наддувочного воздуха должна быть выше точки росы, в противном случае в воздушном холодильнике будет происходить образование конденсата.

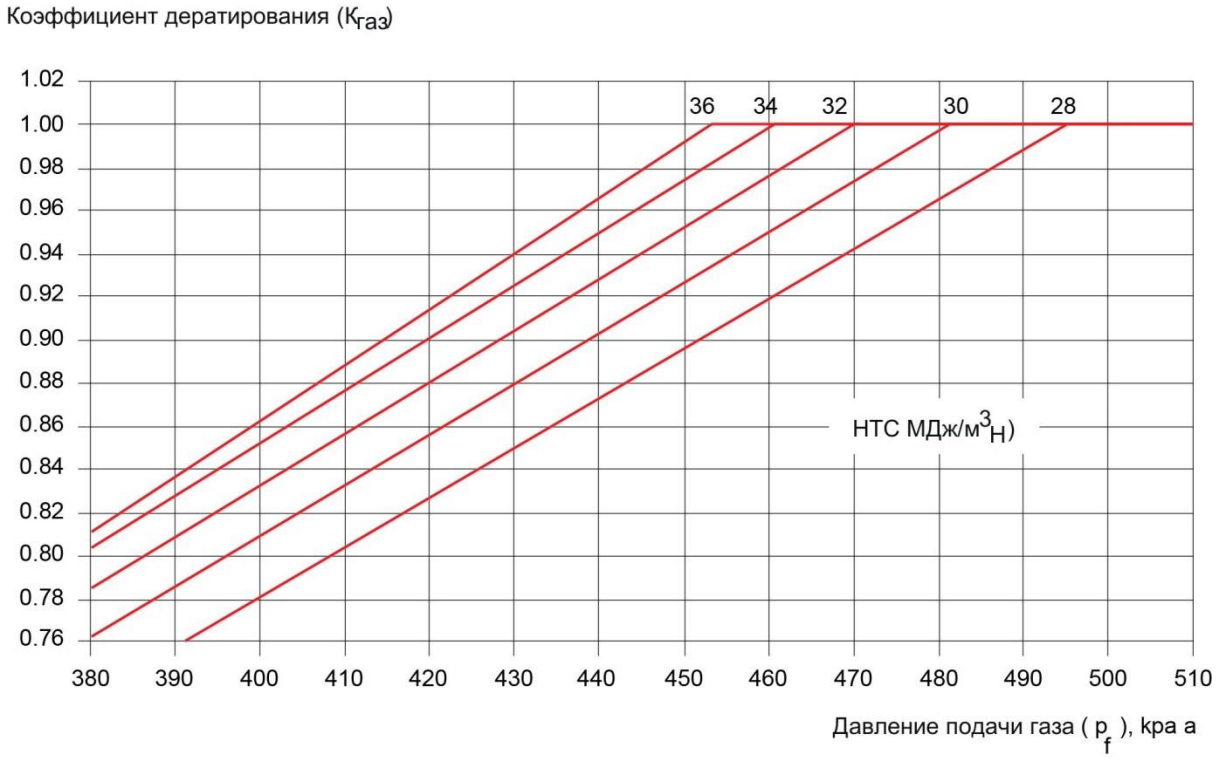
Повышение температуры в ресивере наддувочного воздуха на каждые +10°C начиная с 45°C означает повышение давления наддувочного воздуха на 18 кПа. Это влияет на расчет дератирования по факторам KGAS и KTC.

Температура наддувочного воздуха прибл. на 5-10°C выше температуры воды, охлаждающей воздушный холодильник на номинальной нагрузке.

Гликоль используется в охлаждающей воде в соответствии с документом DAAE062266.

1.3.2 Дератирование по давлению газа и низкой теплотворной способности

Рисунок 1.2 Дератирование по давлению газа и низкой теплотворной способности



Примечания: Приведенные выше значения давления подачи газа даны на подводе в двигатель (после газоклапанного блока).

Не допускается компенсация (повышение мощности) двигателя по более высокому, чем требуется в таблице выше, давлению газа или по теплотворной способности выше 36 МДж/м3 (норм).

Величины приведены в нормальных м3 при 0 °C и давлении 101.3 кПа.

Если давление газа ниже, чем требуется, то перед газоклапанным блоком можно установить блок нагнетания давления для обеспечения достаточного давления. Если нагнетание давления невозможно, мощность двигателя должна быть дератирована как указано выше.

Повышение давления на 18 кПа требуется на каждые +10°C повышения температуры на ресивере наддувочного воздуха из-за повышения давления наддувочного воздуха.

1.4 Стандартные условия эксплуатации

Работа на указанной мощности возможна в диапазоне окружающих условий и температуры охлаждающей жидкости, указанных в главе «Технические данные». Необходимое качество топлива для достижения максимальной мощности указано в разделе «Характеристики топлива». При окружающих условиях и качества топлива, несоответствующих спецификации, возможна необходимость дератирования.

Удельный расход топлива определён в главе «Технические данные». Приведённое значение соответствует двигателям, работающим в окружающих условиях, соответствующих стандарту ISO 3046-1:2002 (E).

полное барометрическое давление	100 кПа
температура воздуха	25°C
относительная влажность	30%
температура воды охлаждения наддувочного воздуха	25°C

Поправочные коэффициенты для расхода масла при других окружающих условиях даны в стандарте ISO 3046-1:2002.

1.5 Крен и дифферент

Максимальные углы крена, при которых обеспечивается удовлетворительная работа двигателя.

Крен, длительный (статический) ..... 15°

Крен, кратковременный (бортовой) ..... 22,5°

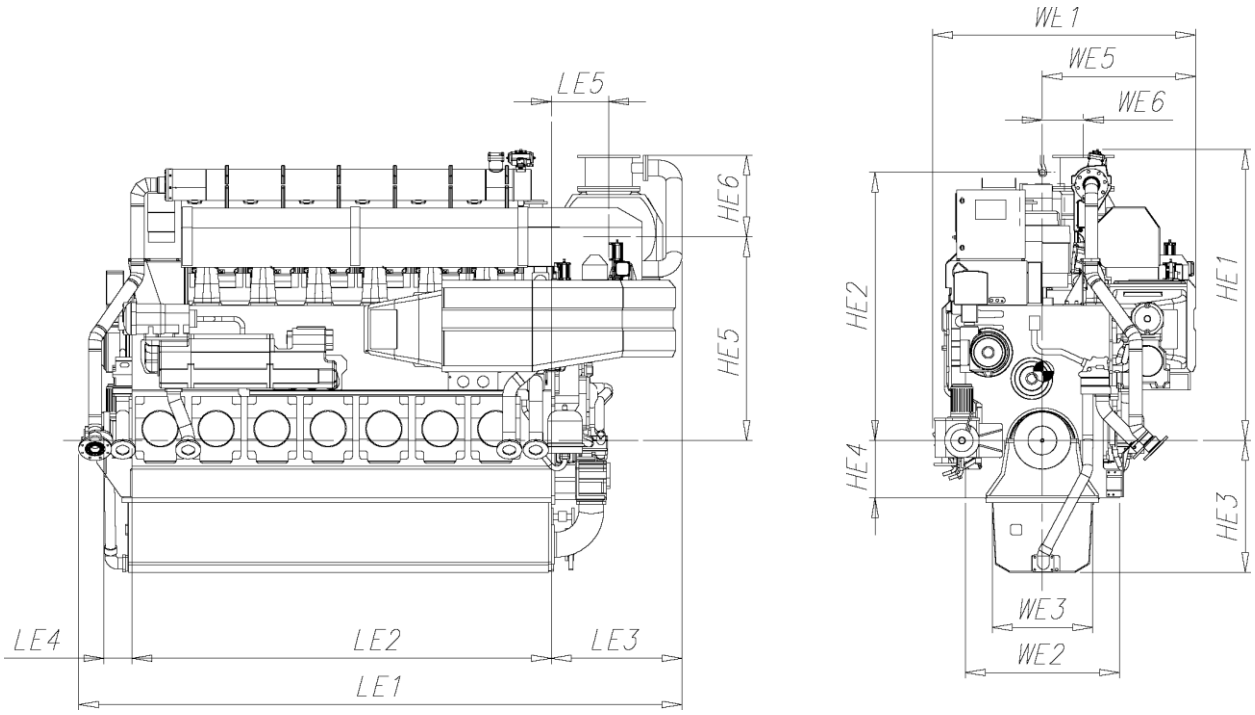
Дифферент, длительный (трим) ..... 10°

Дифферент, кратковременный (при килевой качке)..... 10°

1.6 Основные размеры и веса

1.6.1 Главные двигатели

Рис. 1.2 Рядные двигатели (DAAE082421A, DAAF065806)

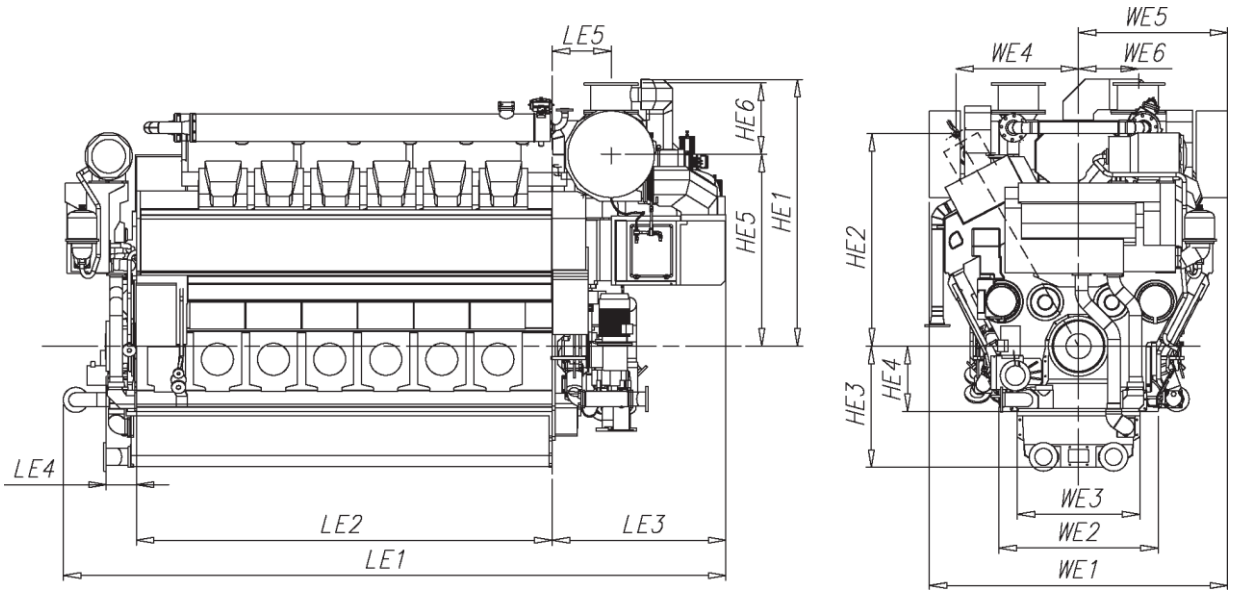


Двигатель	кВт/Цил	LE1	HE1	WE1	HE2	HE4	HE3	LE2	LE4
Wärtsilä 6L34DF	450	5280	2550	2385	2345	500	1155	3670	250
	500	5325	2550	2380	2345	500	1155	3670	250
Wärtsilä 9L34DF	450	6750	2550	2385	2345	500	1155	5140	250
	500	6869	2550	2610	2345	500	1155	5140	250

Двигатель	кВт/Цил	WE2	WE5	LE3	HE5	HE6	WE6	LE5	WE3	Вес
Wärtsilä 6L34DF	450	1350	1425	1145	1780	710	360	505	880	33.3
	500	1350	1425	1215	1780	460	375	515	880	35.4
Wärtsilä 9L34DF	450	1350	1425	1150	1780	420	360	505	880	46.8
	500	1350	1650	1285	1718	607	1340	705	880	49.2

Габариты в мм. Вес в тоннах с рабочими жидкостями (мокрый картер), но без маховика.

Рис. 1.4 V-образные двигатели (DAAE082423B, DAAF066203)



Двигатель	кВт/Цил	LE1	HE1	WE1	HE2	HE4	HE3	LE2	LE4	WE3
Wärtsilä 12V34DF	450	6615	2660	3020	2120	650	1210	4150	300	1225
	500	6865	2435	2900	2120	650	1210	4150	300	1225
Wärtsilä 16V34DF	450	7735	2335	3020	2120	650	1210	5270	300	1225
	500	7905	2570	3325	2120	650	1210	5270	300	1225

Двигатель	кВт/Цил	WE5	LE3	WE4	HE5	HE6	WE6	LE5	WE2	Вес
Wärtsilä 6L34DF	450	1510	1735	850	1915	710	600	590	1590	56.1
	500	1450	1985	850	1915	460	540	555	1590	
Wärtsilä 9L34DF	450	1510	1735	850	1915	420	600	590	1590	70.7
	500	1665	1925	850	2020	550	575	1225	1590	

Габариты в мм. Вес в тоннах с рабочими жидкостями (мокрый картер), но без маховика.

1.6.2 Дизель-генераторы:

Рис. 1.5 Рядные двигатели (DAAE082427)

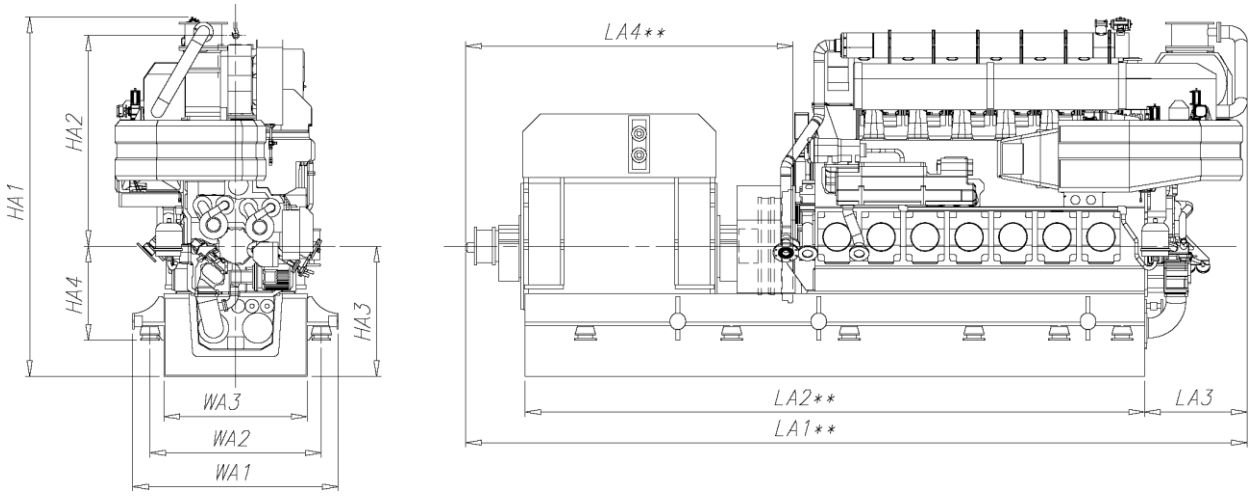
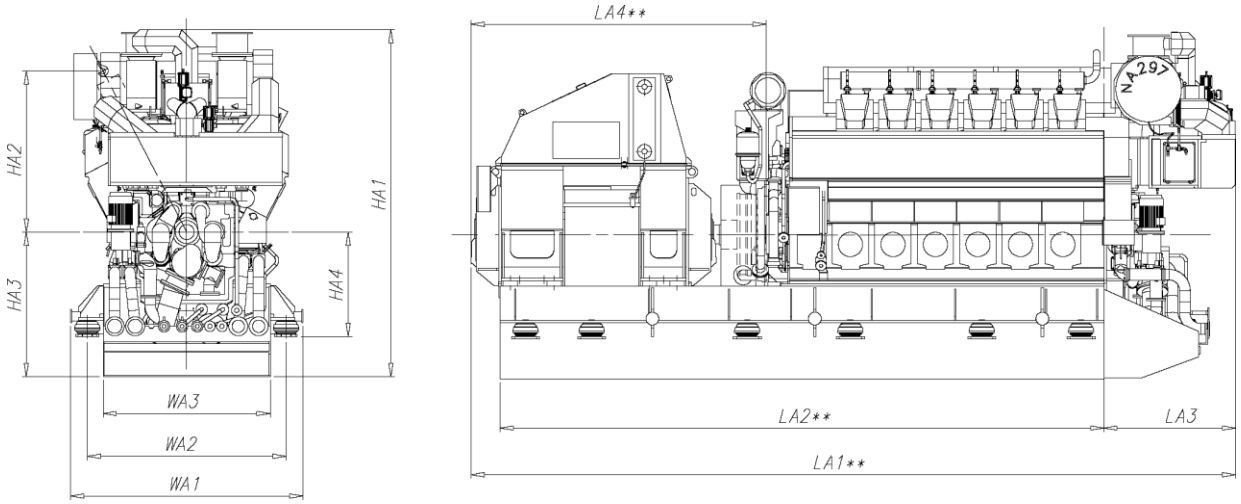


Рис. 1.6 V-образные двигателя (DAAE082975)



Двигатель	кВт/ цил	LA1**	LA2**	LA3	LA4**	WA1	WA2	WA3	HA1	HA2	HA3	HA4	Вес*
W6L34DF	435	8700	6900	1150	3160	2290	1910	1600	4000	2345	1450	1055	57
	480	8765	6900	1215	3160	2290	1910	1600	4000	2345	1450	1055	60
W9L34DF	435	10475	8850	1150	3845	2890	2510	2200	4180	2345	1630	1055	84
	480	10610	8850	1285	3845	2890	2510	2200	4180	2345	1630	1055	87
W12V34DF	435	10075	7955	1735	3775	3060	2620	2200	4365	2120	1700	1375	96
	480	10260	7955	1985	3775	3060	2620	2200	4335	2120	1900	1375	
W16V34DF	435	11175	9020	1735	3765	3060	2620	2200	4515	2120	1850	1375	121
	480	11465	9130	1925	3765	3060	2620	2500	4445	2120	1850	1375	

** В зависимости от типа генератора и упругой муфты*

Все габариты в мм. Вес в метрических тоннах с рабочими жидкостями.

2 Рабочие диапазоны

2.1 Рабочий диапазон двигателя

При частоте вращения меньше номинальной, необходимо ограничивать нагрузку в соответствии с диаграммами, представленными в этой главе, для того, чтобы поддерживать рабочие параметры двигателя в допустимых пределах. Работа в заштрихованной области диаграммы возможна только кратковременно, при переходных режимах. Минимальная частота вращения и диапазон частот для включения сцепления показаны на диаграмме, но также могут применяться особые ограничения для конкретного проекта.

2.1.1 Винты регулируемого шага

Для защиты двигателя от перегрузки необходимо использовать автоматическую систему контроля нагрузки. Регулятор нагрузки уменьшает шаг винта автоматически, когда запрограммированная функция нагрузки относительно частоты вращения превышает предельную величину («предельную кривую двигателя»), при необходимости блокируя комбинаторную кривую. Нагрузка двигателя зависит от положения топливной рейки и фактической частоты вращения двигателя. Датчик мощности на валу входит в поставку Wärtsilä.

Управление пропульсивной установкой должно также включать в себя автоматическое ограничение темпа повышения нагрузки. Максимальные значения темпа повышения нагрузки приведены ниже в этой главе.

При расчетном шаге КПД гребного винта самый высокий. Это принятая практика – рассчитывать винт так, чтобы указанная скорость судна достигалась при расчетном шаге, номинальной частоте вращения двигателя и 85% выходной мощности при заданной нагрузке. Необходимо принимать во внимание отбор мощности возможным валогенератором или иным механизмом отбора мощности. 15% морской запас вводится для компенсации погодных условий, обрастания корпуса и коррозии гребного винта. Дополнительный морской запас может быть применим для наиболее экономичной работы двигателя или для обеспечения резерва мощности.

Рис. 2.1 Рабочий диапазон при работе с ВРШ, 450 кВт/цил., номинальная частота вращения 750 об/мин

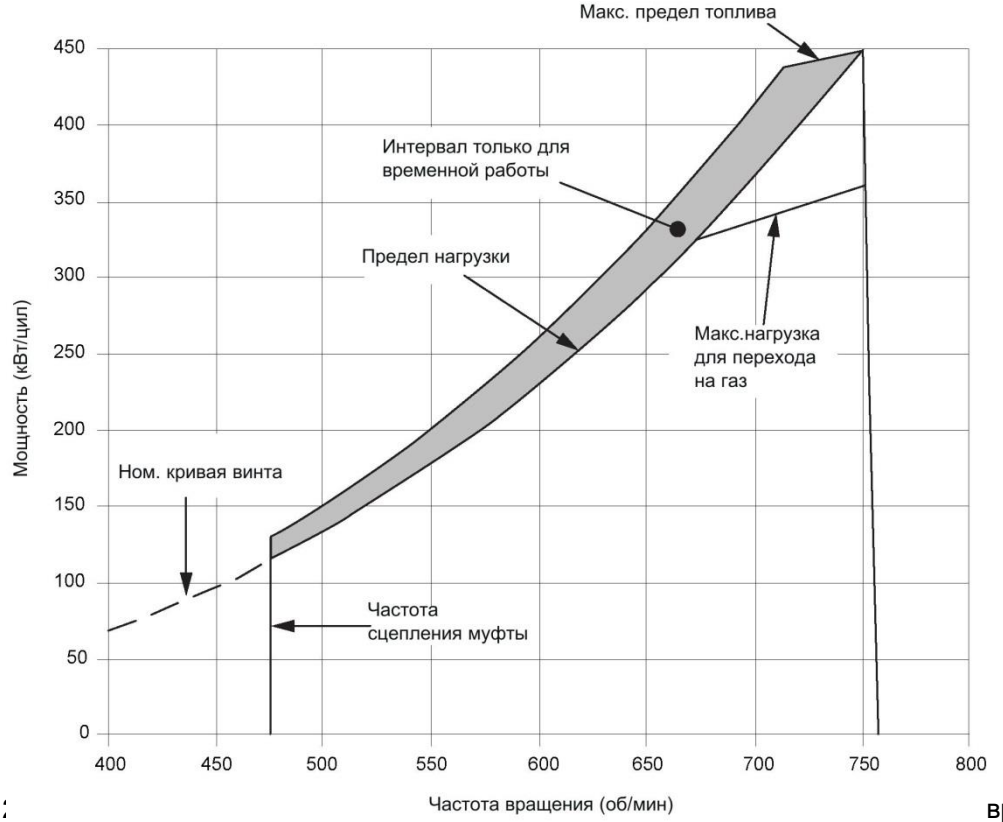
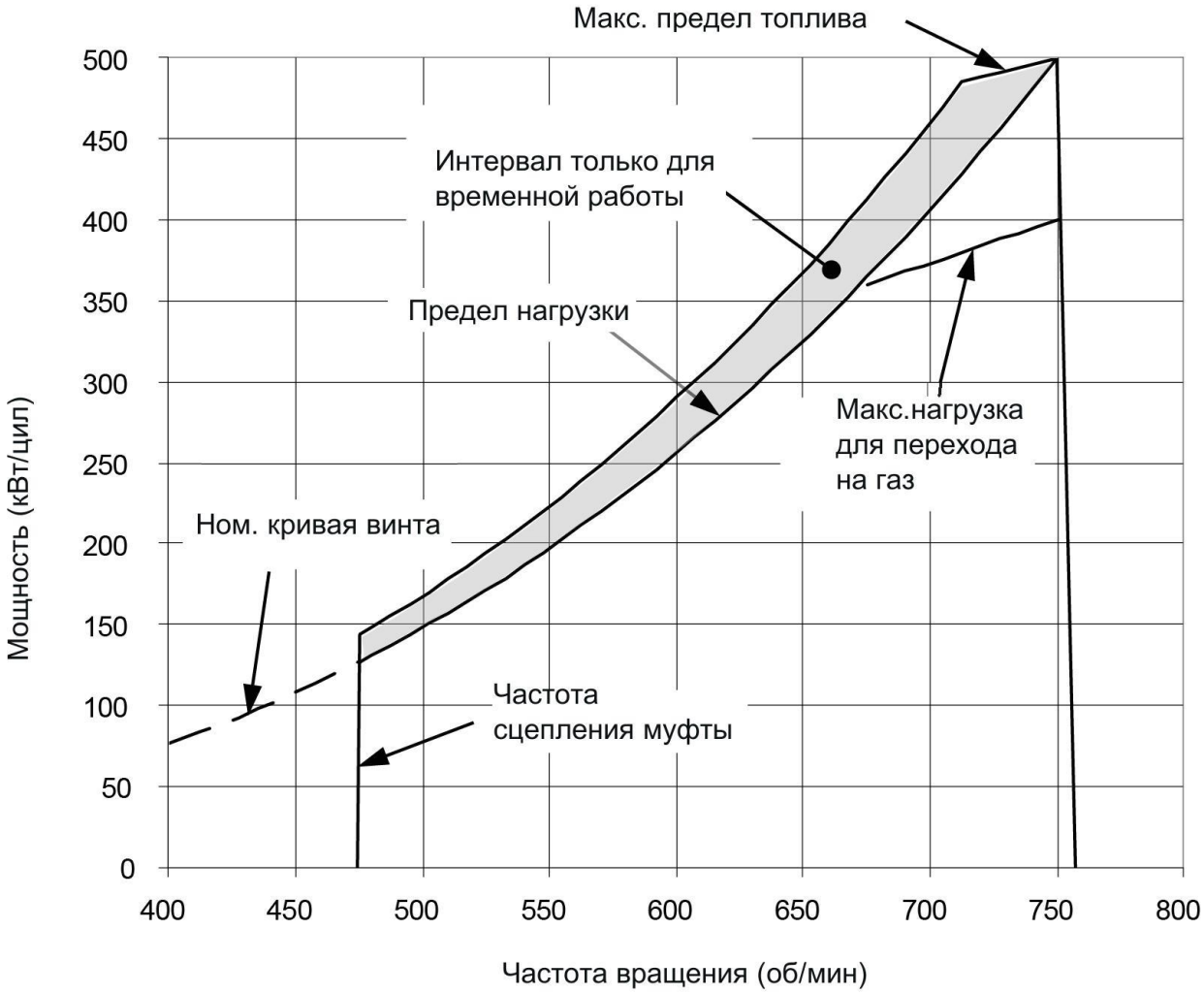


Рис. вращения 750 об/мин



Примечания: Максимальная мощность может снижаться в зависимости от характеристик и давления газа, см. раздел «Дератирование в газовом режиме». Допустимая мощность в таком случае будет понижаться на одинаковый процент при всех частотах вращения.

Следует соблюдать ограничения при работе на низких нагрузках.

2.2 Допустимая нагрузка

Для двигателей с высокой степенью наддува важное значение имеет регулируемое увеличение нагрузки, так как турбонагнетателю требуется время для разгона перед тем, как он сможет подавать требуемое количество воздуха. Также должно быть обеспечено достаточное время для более плавного распределения температуры в компонентах двигателя. Для многотопливных двигателей, работающих в газовом режиме, требуется точная регулировка состава воздушно/газовой смеси, что делает контролируемый наброс нагрузки абсолютно решающим при работе на газовом топливе.

В качестве нормативного темпа нагрузки как для дизельного, так и для газового режима, можно использовать кривую наброса нагрузки в состоянии «прогрет, нормальный, газ» (см. диаграммы). Если в системе управления запрограммирована только одна кривая наброса нагрузки, тогда должна применяться кривая для прогретого двигателя. Температура воды ВТ контура в прогретом двигателе должна быть не менее 60ºC, а предпочтительно 70ºC, а температура смазочного масла – не менее 40ºC.

Кривая наброса нагрузки «макс. нагрузка, газ» указывает на максимальную нагрузочную способность двигателя в газовом режиме. Более быстрый наброс нагрузки может привести к срабатыванию АПС, детонации и нежелательным переключениям в дизельный режим. Эта кривая может также использоваться как кривая наброса нагрузки в дизельном режиме, если двигатель достиг нормальной рабочей температуры.

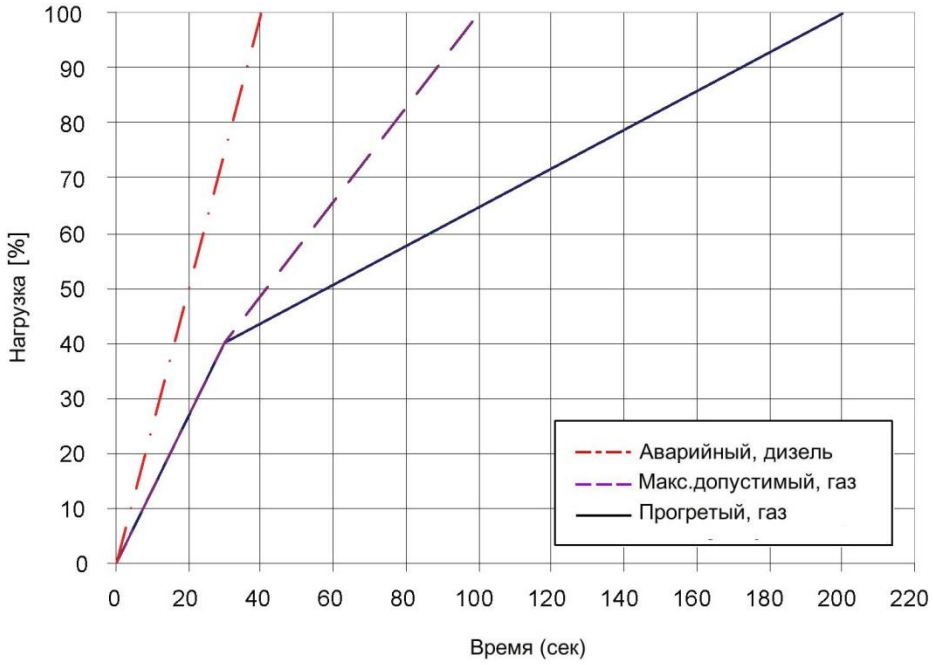
Максимальный темп наброса нагрузки «аварийный дизель» близок к максимальной нагрузочной способности двигателя в дизельном режиме. Его нельзя использовать как нормальный темп наброса нагрузки в дизельном режиме.

При штатной работе всегда должен соблюдаться плавный наброс нагрузки. Приемлемые ступени наброса нагрузки в газовом режиме меньше, чем в дизельном, а также меньше на высоких нагрузках, что должно приниматься во внимание в установках с резкими изменениями нагрузки. *Время между шагами повышения нагрузки должно таким, чтобы не превышался максимальный темп наброса нагрузки.* На начальном этапе проектирования генераторной установки необходимо обсудить с классификационным обществом спецификацию системы и нагрузочную способность двигателя.

Генераторные установки должны быть способны работать с 10% перегрузкой. Максимальная мощность двигателей должна быть 110% в дизельном режиме и 100% в газовом режиме. Переход в дизельный режим происходит автоматически в случае перегрузки. Понижение указанного метанового числа может также привести к автоматическому переходу в дизельный режим, при работе близкой к 100% мощности. Ожидаемые изменения качества газового топлива и уровня нагрузки должны приниматься во внимание для поддержания работы в газовом режиме при штатной нагрузке.

2.2.1 Механические пропульсивные установки, винт регулируемого шага (ВРШ)

Рис. 2.3 Максимальный темп повышения нагрузки для двигателей, работающих на переменной частоте вращения

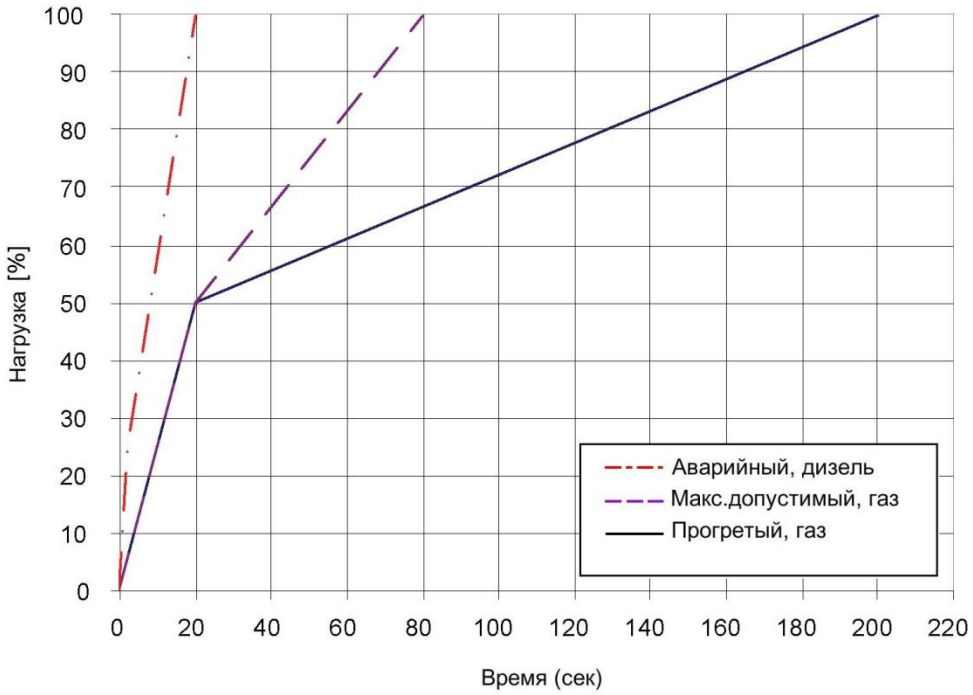


*Для двигателей, работающих при номинальной частоте вращения, см. кривые нагрузки дизельных пропульсивных установок.

Система управления пропульсивным комплексом не должна допускать снижения нагрузки быстрее 20 сек от 100% до 0% без предварительного автоматического переключения на дизельное топливо.

2.2.2 Электродвижение

Рис. 2.4 Постепенное увеличение нагрузки от 0 до 100%.



Система управления пропульсивной установкой и система СУЭ не должны допускать сброс нагрузки со 100% до 0% менее чем за 20 сек. и без предварительного автоматического переключения в дизельный режим.

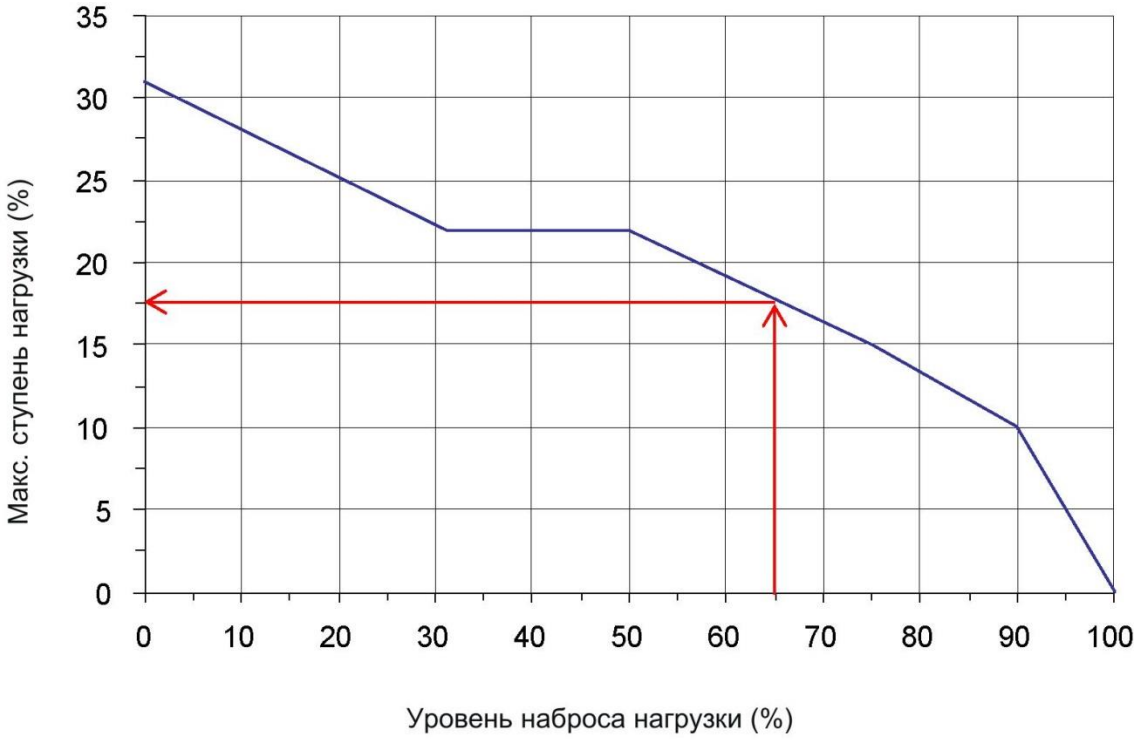
В электрических пропульсивных установках кривые наброса нагрузки реализуются и в системе управления пропульсивной установкой, и в системе СУЭ, или в системе управления частоты вращения двигателя, если применяется изохронная параллельная работа по нагрузке. Когда распределение нагрузки основано на статизме регулирования частоты вращения, необходимо принять во внимание, что степень увеличения нагрузки недавно вновь генератора есть сумма передачи нагрузки, которую выполняет СУЭ, и увеличения нагрузки, которую выполняет система управления пропульсивной установкой.

Максимальные ступени мгновенного наброса нагрузки

Электрическая система должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать безопасное размыкание выключателей. Для этого необходимо, чтобы двигатели были защищены от наброса нагрузки, превышающей максимально допустимую нагрузочную способность. Если исключение быстрых ступеней наброса нагрузки сложно для осуществления или нежелательно, разовая нагрузочная способность может быть повышена с помощью быстросрабатывающего сигнала запроса перевода в дизельный режим.

Газовый режим

Рис. 2.5 Максимальные разовые ступени наброса нагрузки в % от МДМ в газовом режиме



При выполнении анализа электрической нагрузки для судна в различных условиях эксплуатации необходимо оценить возможные сценарии, когда происходит резкое изменение нагрузки и убедиться, что мощность двигателя в газовом режиме соответствует указанному на схеме.

- *Максимальный пошаговый наброс нагрузки возрастает в соответствии со схемой*
- Диапазон колебаний частоты в стабилизировавшемся состоянии ≤1,5%
- Максимальный провал частоты вращения 10%
- Время восстановления ≤10 сек
- *Промежуток между максимальными ступенями наброса нагрузки ≥15 сек*
- Максимальные ступени сброса нагрузки: 100-75-45-0%

Дизельный режим

- Максимальный пошаговый наброс нагрузки 33% МДМ
- Диапазон колебаний частоты в стабилизировавшемся состоянии ≤1,0%
- Максимальный провал частоты вращения 10%
- Время восстановления ≤5 сек
- Промежуток между максимальными ступенями наброса нагрузки ≥8 сек

Время запуска установки

Резервный генератор достигает номинальной частоты вращения в течение 50-70 секунд после подачи сигнала запуска (во время нормального запуска всегда проводится проверка подачи запального топлива).

Если запуск происходит после обесточивания, то активная номинальная частота вращения достигается в течение примерно 25 секунд (проверка подачи запального топлива отключена).

Двигатель может быть запущен и с выбранным газовым режимом. В этом случае двигатель будет запущен на газовом топливе, как только будет выполнена проверка подачи запального топлива и система подачи газа будет готова.

Запуск и остановка на тяжелом топливе возможны без ограничений.

2.3 Работа при малых нагрузках и холостых оборотах

Холостые обороты (расцеплена муфта лавного двигателя, отключен генератор):

- Максимум 10 минут, если двигатель планируется остановить после холостого хода. Рекомендуется 3-5 минут холостого хода перед остановкой.
- Максимум 6 часов, если планируется работа под нагрузкой после холостого хода.

Работа при нагрузке ниже 20% на тяжёлом топливе или до 10% на дизельном топливе или газе

- Максимум 100 часов непрерывной работы. Между интервалами в 100 часов следует нагружать двигатель минимум 70% от номинальной мощности в течение 1 часа. До начала работы при нагрузке ниже 10% в газовом режиме двигатель должен поработать при нагрузке выше 10% не менее 10 минут. Однако приемлем перевод в газовый режим непосредственно после выхода двигателя на номинальные обороты после запуска, при условии, что температура наддувочного воздуха выше 55 °C.

Работа при нагрузке выше 20% на тяжёлом топливе или выше 10% на дизельном топливе или газе

- Без ограничений.

2.4 Низкая температура воздуха

В холодных условиях следует принимать во внимание следующие минимальные температуры на подводе воздуха:

Газовый режим:

- Низкая нагрузка + 5ºC
- Высокая нагрузка -10ºC

Дизельный режим:

- Запуск + 5ºC
- Холостой ход - 5ºC
- Высокая нагрузка - 10ºC

Двухступенчатые воздушные холодильники полезны для подогрева наддувочного воздуха при длительной работе на низкой нагрузке в холодных условиях. При этом, однако, постоянная работа при нагрузках от 0 до 40% может потребовать применения специальных устройств в холодных условиях для предотвращения чрезмерного понижения температуры воды НТ контура. При необходимости может быть спроектировано устройство для подогрева работающего двигателя (необходимо проверить производительность).

Прочие указания см. в главе «Устройство системы воздуха сгорания».

3 Технические данные

3.1 Wärtsilä 6L34DF

Wartsila 6L34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Частота вращения двигателя	об/мин	720		750		750		720		750		750	
Мощность двигателя	кВт	2610		2700		2700		2880		3000		3000	
Среднее эффективное давление	МПа	2.0		1.98		1.98		2.2		2.2		2.2	
Система воздуха сгорания (Примечание 1)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	4.3	5.1	4.3	5.4	4.3	5.7	4.4	5.3	4.4	5.5	4.4	5.5
Макс. температура на входе турбонагнетателя	°C	45		45		45		45		45		45	
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка > 70%	°C	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка 30 -70%	°C	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601)	°C	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50
Система выхлопного газа (Примечание 2)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	4.5	5.2	4.5	5.6	4.5	5.9	4.5	5.4	4.5	5.7	4.5	5.7
Расход при 75% нагрузке	кг/с	3.6	4.0	3.6	4.3	3.5	4.1	3.3	4.3	3.4	4.6	3.8	4.2
Расход при 50% нагрузке	кг/с	2.9	2.6	2.9	2.8	3.0	3.1	3.0	3.0	3.1	3.2	2.9	3.1
Температура после турбонагнетателя при 100% нагрузке (TE 517)	°C	390	350	390	340	390	315	380	340	380	335	380	335
Температура после турбонагнетателя при 75% нагрузке (TE 517)	°C	425	375	425	355	410	345	425	320	425	315	365	340
Температура после турбонагнетателя при 50% нагрузке (TE 517)	°C	440	420	440	410	355	350	386	340	386	340	353	343
Противодавление, макс.	кПа (Бар)	4		4		4		4		4		4	
Расчетный диаметр выхлопного газохода для 35 м/сек	мм	550	578	550	591	550	594	546	583	551	596	551	596
Тепловой баланс при 100% нагрузке (Примечание 3)													
Рубашка охлаждения, ВТ контур	кВт	470	480	490	510	490	530	470	504	490	528	490	528
Наддувочный воздух, ВТ контур	кВт	330	570	340	640	340	690	497	831	542	870	542	870
Наддувочный воздух, НТ контур	кВт	240	250	250	270	250	310	223	239	243	290	243	290
Смазочное масло, НТ контур	кВт	280	290	290	310	290	310	288	307	300	321	300	321
Тепловое излучение	кВт	100	100	100	110	100	110	98	107	102	112	102	112
Расход топлива (Примечание 4)													
Суммарное энергопотребление при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7710	-	7710	-	7710	-	7400	-	7400	-	7400	-
Суммарное энергопотребление при 75% нагрузке	кДж/кВтч	8190	-	8190	-	8130	-	7610	-	7610	-	7610	-
Суммарное энергопотребление при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8890	-	8890	-	8350	-	8450	-	8450	-	7730	-
Расход газового топлива при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7629	-	7629	-	7629	-	7324	-	7324	-	7324	-
Расход газового топлива при 75% нагрузке	кДж/кВтч	8067	-	8067	-	8010	-	7496	-	7496	-	7505	-
Расход газового топлива при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8677	-	8677	-	8153	-	8286	-	8286	-	7600	-
Расход дизельного топлива при 100% нагрузке	г/кВтч	2.0	189	2.0	191	2.0	193	1.9	186	1.9	187	1.9	187
Расход дизельного топлива при 75% нагрузке	г/кВтч	2.8	193	2.8	195	2.7	187	2.6	183	2.6	184	2.4	180
Расход дизельного топлива при 50% нагрузке	г/кВтч	4.9	200	4.9	202	4.5	192	3.8	190	3.8	**191**	3.0	182

Wartsila 6L34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Система газового топлива (Примечание 5)													
Мин. давление газа на входе в двигатель (PT901)	кПа (а)	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-
Мин. давление газа на газовый клапан	кПа (а)	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-
Температура газа до газового клапана	°C	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-
Система дизельного топлива													
Давление перед ТНВД (PT 101)	кПа	700±50		700±50		700±50		700±50		700±50		700±50	
Проток топлива через двигатель, прибл.	м3/ч	2.8		2.9		2.9		3.0		3.2		3.2	
Вязкость тяжелого топлива на входе в двигатель	сСт	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16„24
Макс. температура тяжелого топлива до двигателя (TE 101)	°C	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140
Мин. вязкость дизельного топлива	сСт	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
Макс. температура MDF до двигателя (TE 101)	°C	45		45		45		45		45		45	
Количество утечного чистого топлива (MDF) при 100% нагрузке	кг/ч	5.2	10.3	5.4	10.8	5.5	10.9	5.6	11.2	5.9	11.8	5.9	11.8
Вязкость запального топлива до двигателя	сСт	2...11		2...11		2...11		2...11		2...11		2...11	
Давление запального топлива на подводе в двигатель (PT 112)	кПа	550...750		550...750		550...750		550...750		550...750		550...750	
Макс. перепад давления запального топлива после двигателя	кПа	150		150		150		150		150		150	
Возвратный поток запального топлива при 100% нагрузке	кг/ч	590		590		590		590		590		590	
Система смазочного масла													
Ном. давление на подводе к подшипникам (PT 201)	кПа	500		500		500		500		500		500	
Макс. всасывающая способность, включая потери в трубопроводах	кПа	30		30		30		30		30		30	
Давление предварительной прокачки, ном. (PT201)	кПа	50		50		50		50		50		50	
Макс. всасывающая способность насоса предварительной прокачки, включая потери в трубопроводах	кПа	30		30		30		30		30		30	
Ном. температура на подводе к подшипникам (TE 201)		63		63		63		63		63		63	
Температура после двигателя, прибл.	°C	78		78		78		78		78		78	
Производительность главного насоса, с приводом от двигателя	°C	78		81		81		78		81		81	
Производительность главного насоса с электроприводом	м3/ч	67		70		70		67		70		70	
Производительность насоса предварительной прокачки (50/60 Гц)	м3/ч	15.0/18.0		15.0/18.0		15.0/18.0		15.0/18.0		15.0/18.0		15.0/18.0	
Объем масла в отдельном системном танке	м3/ч	3		3		3		3		3		3	
Расход масла при 100% нагрузке, прибл.	м3	0.4		0.4		0.4		0.4		0.4		0.4	
Объем вентиляции картера при полной нагрузке	г/кВтч	840		840		840		840		840		840	
Противодавление вентиляции картера, макс.	л/мин	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3	
Объем масла в валоповоротном устройстве	л	8.5...9.5		8.5...9.5		8.5...9.5		8.5„9.5		8.5„9.5		8.5...Э.5	
Объем масла в регуляторе частоты вращения	л	1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2	
ВТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Прибл. температура до цилиндров (TE 401)	°C	85		85		85		85		85		85	
Ном. температура после двигателя	°C	96		96		96		96		96		96	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	60		60		60		60		60		60	
Полный перепад давления на двигателе	кПа	100		100		100		100		100		100	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	150(1.5)		150(1.5)		150(1.5)		150(1.5)		150(1.5)		150(1.5)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70„150		70...150	

Wartsila 6L34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Объем воды в двигателе	$м^3$	0.41		0.41		0.41		0.41		0.41		0.41	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
НТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Макс. температура на подводе к двигателю (TE 471)	°C	38		38		38		38		38		38	
Температура на входе в двигатель, мин. (TE 471)	°C	25		25		25		25		25		25	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	60		60		60		60		60		60	
Перепад давления в холодильнике наддувочного воздуха	кПа	35		35		35		35		35		35	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
Система пускового воздуха													
Давление, ном.	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Макс. давление	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Предельно низкое давление в баллоне пускового воздуха	кПа	1600		1600		1600		1600		1600		1600	
Расход на запуск (успешный)	$Нм^3$	4.7		4.7		4.7		4.7		4.7		4.7	
Расход на запуск (с проворачиванием)	$Нм^3$	6.1		6.1		6.1		6.1		6.1		6.1	

Примечания:

Примечание 1 При низшей теплотворной способности газа 49620 кДж/кг

Примечание 2 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1 (температуре окружающего воздуха 25°C, температура воды НТ контура 25ºC) и 100% нагрузке. Допуск по расходу 5% и допуск по температуре 10°C в газовом режиме. Допуск по расходу 8% и допуск по температуре 15°C в дизельном режиме.

Примечание 3 При 100% нагрузке и номинальной частоте вращения. Величины действительны при окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1, за исключением температуры воды НТ контура, которая соответствует температуре в ресивере наддувочного воздуха 45°C при работе в газовом режиме. С учетом масляного и охлаждающих насосов с приводом от двигателя. Допуск по теплу от охлаждающей воды 10%, допуск по тепловому излучению 30%. Коэффициент загрязнения и резерв по производительности должны приниматься во внимание при расчете теплообменников.

Примечание 4 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046/1, наименьшая теплотворная способность топлива 42 700 кДж/кг, с учетом насосов с приводом от двигателя (один масляный и два охлаждающих). Допуск 5%.

Примечание 5 Давление топливного газа приведено при низшей теплотворной способности = 36 МДж/м³Н. Необходимое давление газового топлива зависит от его теплотворной способности и должно увеличиваться при более низкой теплотворной способности. Необходимо принимать во внимание перепад давления во внешней системе. См. подробную информацию в главе «Топливная система».

ГД = Двигатель привода гребного винта на переменной частоте вращения

ВД = Вспомогательный двигатель привода генератора

ДЭ = Двигатель дизель-электрической установки привода генератора

Возможна корректировка без уведомления.

3.2 Wärtsilä 9L34DF

Wartsila 9L34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Частота вращения двигателя	об/мин	720		750		750		720		750		750	
Мощность двигателя	кВт	3915		4050		4050		4320		4500		4500	
Среднее эффективное давление	МПа	2.0		1.98		1.98		2.2		2.2		2.2	
Система воздуха сгорания (Примечание 1)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	6.5	7.6	6.5	8.1	6.5	8.6	6.5	7.9	6.6	8.3	6.6	8.3
Макс. температура на входе турбонагнетателя	°C	45		45		45		45		45		45	
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка > 70%	°C	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка 30 -70%	°C	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	
Температура после воздушного холодильника (TE 601)	°C	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50
Система выхлопного газа (Примечание 2)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	6.7	7.8	6.7	8.3	6.7	8.8	6.7	8.1	6.8	8.6	6.8	8.6
Расход при 75% нагрузке	кг/с	5.4	6.0	5.4	6.5	5.3	6.2	4.9	6.5	5.0	6.8	5.7	6.2
Расход при 50% нагрузке	кг/с	4.3	4.0	4.3	4.2	4.4	4.7	4.6	4.5	4.7	4.7	4.3	4.6
Температура после турбонагнетателя при 100% нагрузке (TE 517)	°C	390	350	390	340	390	315	380	340	380	335	380	335
Температура после турбонагнетателя при 75% нагрузке (TE 517)	°C	425	375	425	355	410	345	425	320	425	315	365	340
Температура после турбонагнетателя при 50% нагрузке (TE 517)	°C	440	420	440	410	355	350	386	340	386	340	353	343
Противодавление, макс.	кПа (Бар)	4		4		4		4		4		4	
Расчетный диаметр выхлопного газохода для 35 м/сек	мм	673	707	673	724	673	727	669	715	675	730	675	730
Тепловой баланс при 100% нагрузке (Примечание 3)													
Рубашка охлаждения, ВТ контур	кВт	700	730	730	760	730	800	705	756	735	792	735	792
Наддувочный воздух, ВТ контур	кВт	490	860	510	880	510	1030	746	1247	813	1305	813	1305
Наддувочный воздух, НТ контур	кВт	360	380	370	410	370	470	335	359	365	435	365	435
Смазочное масло, НТ контур	кВт	420	430	440	460	440	470	432	461	450	482	450	482
Тепловое излучение	кВт	150	160	150	160	150	160	147	161	153	168	153	168
Расход топлива (Примечание 4)													
Суммарное энергопотребление при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7710	-	7710	-	7710	-	7400	-	7400	-	7400	-
Суммарное энергопотребление при 75% нагрузке	кДж/кВтч	8190	-	8190	-	8130	-	7610	-	7610	-	7610	-
Суммарное энергопотребление при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8890	-	8890	-	8350	-	8450	-	8450	-	7730	-
Расход газового топлива при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7629	-	7629	-	7629	-	7324	-	7324	-	7324	-
Расход газового топлива при 75% нагрузке	кДж/кВтч	8067	-	8067	-	8010	-	7496	-	7496	-	7505	-
Расход газового топлива при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8677	-	8677	-	8153	-	8286	-	8286	-	7600	-
Расход дизельного топлива при 100% нагрузке	г/кВтч	2.0	189	2.0	191	2.0	193	1.9	186	1.9	187	**1.9**	187
Расход дизельного топлива при 75% нагрузке	г/кВтч	2.8	193	2.8	195	2.7	187	2.6	183	2.6	184	2.4	180
Расход дизельного топлива при 50% нагрузке	г/кВтч	4.9	200	4.9	202	4.5	192	3.8	190	3.8	191	3.0	182
Система газового топлива (Примечание 5)													

Wartsila 9L34DF		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ГД IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ГД IMO Tier 2**	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз .**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Мин. давление газа на входе в двигатель (PT901)	кПа (а)	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-
Мин. давление газа на газовый клапан	кПа (а)	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-
Температура газа до газового клапана	°C	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-
Система дизельного топлива													
Давление перед ТНВД (PT 101)	кПа	700±50		700±50		700±50		700±50		700±50		700±50	
Проток топлива через двигатель, прибл.	$м^3$/ч	4.2		4.4		4.4		4.5		4.7		4.7	
Вязкость тяжелого топлива на входе в двигатель	сСт	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16.„24	-	16...24
Макс. температура тяжелого топлива до двигателя (TE 101)	°C	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140
Мин. вязкость дизельного топлива	сСт	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
Макс. температура MDF до двигателя (TE 101)	°C	45		45		45		45		45		45	
Количество утечного чистого топлива (MDF) при 100% нагрузке	кг/ч	7.8	15.5	8.1	16.2	8.2	16.4	8.4	16.8	8.8	17.6	8.8	17.6
Вязкость запального топлива до двигателя	сСт	2...11		2...11		2...11		2...11		2...11		2...11	
Давление запального топлива на подводе в двигатель (PT 112)	кПа	550...750		550...750		550...750		550...750		550...750		550...750	
Макс. перепад давления запального топлива после двигателя	кПа	150		150		150		150		150		150	
Возвратный поток запального топлива при 100% нагрузке	кг/ч	635		635		635		635		635		635	
Система смазочного масла													
Ном. давление на подводе к подшипникам (PT 201)	кПа	500		500		500		500		500		500	
Макс. всасывающая способность, включая потери в трубопроводах	кПа	30		30		30		30		30		30	
Давление предварительной прокачки, ном. (PT201)	кПа	50		50		50		50		50		50	
Макс. всасывающая способность насоса предварительной прокачки, включая потери в трубопроводах	кПа	30		30		30		30		30		30	
Ном. температура на подводе к подшипникам (TE 201)	°C	63		63		63		63		63		63	
Температура после двигателя, прибл.	°C	79		79		79		79		79		79	
Производительность главного насоса, с приводом от двигателя	м3/ч	108		112		112		108		112		112	
Производительность главного насоса с электроприводом	м3/ч	96		100		100		96		100		100	
Производительность насоса предварительной прокачки (50/60 Гц)	м3/ч	21.6/25.9		21.6/25.9		21.6/26.9		21.6/25.9		21.6/25.9		21.6/25.9	
Объем масла в отдельном системном танке	м3	5		5		5		5		5		5	
Расход масла при 100% нагрузке, прибл.	г/кВтч	0.4		0.4		0.4		0.4		0.4		0.4	
Объем вентиляции картера при полной нагрузке	л/мин	1260		1260		1260		1260		1260		1260	
Противодавление вентиляции картера, макс.	Па	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3	
Объем масла в валоповоротном устройстве	л	8.5...9.5		8.5...9.5		8.5...9.5		8.5...Э.5		8.5...9.5		8.5...9.5	
Объем масла в регуляторе частоты вращения	л	1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2	
ВТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Прибл. температура до цилиндров (TE 401)	°C	85		85		85		85		85		85	
Ном. температура после двигателя	°C	96		96		96		96		96		96	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	85		85		85		85		85		85	
Полный перепад давления на двигателе	кПа	100		100		100		100		100		100	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	150 (1.5)		150 (1.5)		150(1.5)		150 (1.5)		150 (1.5)		150 (1.5)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Объем воды в двигателе	$м^3$	0.56		0.56		0.56		0.56		0.56		0.56	

Wartsila 9L34DF		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ГД IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ВД/ДЭ IMO Tier 2**		**ГД IMO Tier 2**	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
НТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Макс. температура на подводе к двигателю (TE 471)	°C	38		38		38		38		38		38	
Температура на входе в двигатель, мин. (TE 471)	°C	25		25		25		25		25		25	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	85		85		85		85		85		85	
Перепад давления в холодильнике наддувочного воздуха	кПа	35		35		35		35		35		35	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
Система пускового воздуха													
Давление, ном.	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Макс. давление	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Предельно низкое давление в баллоне пускового воздуха	кПа	1600		1600		1600		1600		1600		1600	
Расход на запуск (успешный)	$Нм^3$	6.2		6.2		6.2		6.2		6.2		6.2	
Расход на запуск (с проворачиванием)	$Нм^3$	8.0		8.0		8.0		8.0		8.0		8.0	

Примечания:

Примечание 1 При низшей теплотворной способности газа 49620 кДж/кг

Примечание 2 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1 (температуре окружающего воздуха 25°C, температура воды НТ контура 25ºC) и 100% нагрузке. Допуск по расходу 5% и допуск по температуре 10°C в газовом режиме. Допуск по расходу 8% и допуск по температуре 15°C в дизельном режиме.

Примечание 3 При 100% нагрузке и номинальной частоте вращения. Величины действительны при окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1, за исключением температуры воды НТ контура, которая соответствует температуре в ресивере наддувочного воздуха 45°C при работе в газовом режиме. С учетом масляного и охлаждающих насосов с приводом от двигателя. Допуск по теплу от охлаждающей воды 10%, допуск по тепловому излучению 30%. Коэффициент загрязнения и резерв по производительности должны приниматься во внимание при расчете теплообменников.

Примечание 4 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046/1, наименьшая теплотворная способность топлива 42 700 кДж/кг, с учетом насосов с приводом от двигателя (один масляный и два охлаждающих). Допуск 5%.

Примечание 5 Давление топливного газа приведено при низшей теплотворной способности = 36 МДж/м³Н. Необходимое давление газового топлива зависит от его теплотворной способности и должно увеличиваться при более низкой теплотворной способности. Необходимо принимать во внимание перепад давления во внешней системе. См. подробную информацию в главе «Топливная система».

ГД = Двигатель привода гребного винта на переменной частоте вращения

ВД = Вспомогательный двигатель привода генератора

ДЭ = Двигатель дизель-электрической установки привода генератора

Возможна корректировка без уведомления.

3.3 Wärtsilä 12V34DF

Wartsila 12V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Частота вращения двигателя	об/мин	720		750		750		720		750		750	
Мощность двигателя	кВт	5220		5400		5400		5760		6000		6000	
Среднее эффективное давление	МПа	**2.0**		1.98		1.98		2.2		2.2		2.2	
Система воздуха сгорания (Примечание 1)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	8.6	10.2	8.6	10.8	8.6	11.4	8.7	10.5	8.8	11.1	8.8	11.1
Макс. температура на входе турбонагнетателя	°C	45		45		45		45		45		45	
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка > 70%	°C	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка 30 -70%	°C	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-	55	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601)	°C	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50
Система выхлопного газа (Примечание 2)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	8.8	10.5	8.8	11.1	8.8	11.7	8.9	10.8	9.1	11.4	9.1	11.4
Расход при 75% нагрузке	кг/с	7.3	7.9	7.3	8.7	7.0	8.2	6.6	8.6	6.7	9.1	7.6	8.3
Расход при 50% нагрузке	кг/с	5.5	5.3	5.5	5.6	5.8	6.3	6.1	6.0	6.2	6.3	5.7	6.2
Температура после турбонагнетателя при 100% нагрузке (TE 517)	°C	385	350	385	340	390	315	380	340	380	335	380	335
Температура после турбонагнетателя при 75% нагрузке (TE 517)	°C	415	375	415	355	400	345	425	320	425	315	365	340
Температура после турбонагнетателя при 50% нагрузке (TE 517)	°C	440	420	440	410	345	350	386	340	386	340	353	343
Противодавление, макс.	кПа (Бар)	4		4		4		4		4		4	
Расчетный диаметр выхлопного газохода для 35 м/сек	мм	770	817	770	836	773	840	772	825	779	843	779	843
Тепловой баланс при 100% нагрузке (Примечание 3)													
Рубашка охлаждения, ВТ контур	кВт	900	970	940	1010	940	1060	930	998	970	1046	970	1046
Наддувочный воздух, ВТ контур	кВт	640	1140	660	1270	660	1380	994	1662	1084	1740	1084	1740
Наддувочный воздух, НТ контур	кВт	490	510	500	540	500	630	46	478	486	580	486	580
Смазочное масло, НТ контур	кВт	520	580	540	610	540	620	570	608	594	636	594	636
Тепловое излучение	кВт	200	210	200	220	200	220	196	214	204	222	204	224
Расход топлива (Примечание 4)													
Суммарное энергопотребление при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7620	-	7620	-	7620	-	7370	-	7370	-	7400	-
Суммарное энергопотребление при 75% нагрузке	кДж/кВтч	8090	-	8090	-	7960	-	7580	-	7580	-	7580	-
Суммарное энергопотребление при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8750	-	8750	-	8170	-	8410	-	8410	-	8450	-
Расход газового топлива при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7543	-	7543	-	7543	-	7286	-	7286	-	7286	-
Расход газового топлива при 75% нагрузке	кДж/кВтч	7972	-	7972	-	7839	-	7458	-	7458	-	7467	-
Расход газового топлива при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8534	-	8534	-	7972	-	8248	-	8248	-	7562	-
Расход дизельного топлива при 100% нагрузке	г/кВтч	2.0	189	2.0	191	2.0	193	1.9	185	1.9	186	1.9	186
Расход дизельного топлива при 75% нагрузке	г/кВтч	2.8	193	2.8	195	2.7	187	2.6	182	2.6	183	2.4	180
Расход дизельного топлива при 50% нагрузке	г/кВтч	4.9	200	4.9	202	4.5	192	3.8	189	3.8	190	3.0	182

Wartsila 12V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Система газового топлива (Примечание 5)													
Мин. давление газа на входе в двигатель (PT901)	кПа (а)	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-
Мин. давление газа на газовый клапан	кПа (а)	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-
Температура газа до газового клапана	°C	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-	0...60	-
Система дизельного топлива													
Давление перед ТНВД (PT 101)	кПа	700±50		700±50		700+50		700+50		700±50		700±50	
Проток топлива через двигатель, прибл.	$м^3$/ч	5.6		5.8		5.9		6.0		6.3		6.3	
Вязкость тяжелого топлива на входе в двигатель	сСт	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24
Макс. температура тяжелого топлива до двигателя (TE 101)	°C	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140
Мин. вязкость дизельного топлива	сСт	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2,0	
Макс. температура MDF до двигателя (TE 101)	°C	45		45		45		45		45		45	
Количество утечного чистого топлива (MDF) при 100% нагрузке	кг/ч	10.3	20.7	10.8	21.6	10.9	21.8	11.2	22.3	11.7	23.4	11.7	23.4
Вязкость запального топлива до двигателя	сСт	2...11		2...11		2...11		2...11		2...11		2...11	
Давление запального топлива на подводе в двигатель (PT 112)	кПа	550...750		550...750		550...750		550...750		550...750		550...750	
Макс. перепад давления запального топлива после двигателя	кПа	150		150		150		150		150		150	
Возвратный поток запального топлива при 100% нагрузке	кг/ч	680		680		680		680		680		680	
Система смазочного масла													
Ном. давление на подводе к подшипникам (PT 201)	кПа	500		500		500		500		500		500	
Макс. всасывающая способность, включая потери в трубопроводах	кПа	40		40		40		40		40		40	
Давление предварительной прокачки, ном. (PT201)	кПа	50		50		50		50		50		50	
Макс. всасывающая способность насоса предварительной прокачки, включая потери в трубопроводах	кПа	35		35		35		35		35		35	
Ном. температура на подводе к подшипникам (TE 201)	°C	63		63		63		63		63		63	
Температура после двигателя, прибл.	°C	81		81		81		81		81		81	
Производительность главного насоса, с приводом от двигателя	м3/ч	124		129		129		124		129		129	
Производительность главного насоса с электроприводом	м3/ч	106		110		110		106		110		110	
Производительность насоса предварительной прокачки (50/60 Гц)	м3/ч	38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9	
Объем масла в отдельном системном танке	м3	6		6		6		6		6		6	
Расход масла при 100% нагрузке, прибл.	г/кВтч	0.4		0.4		0.4		0.4		0.4		0.4	
Объем вентиляции картера при полной нагрузке	л/мин	1680		1680		1680		1680		1680		1680	
Противодавление вентиляции картера, макс.	Па	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3	
Объем масла в валоповоротном устройстве	л	8.5...Э.5		8.5...9.5		8.5...9.5		8.5...9.5		8.5.-9.5		8.5...9.5	
Объем масла в регуляторе частоты вращения	л	1.4.„2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2	
ВТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	250 + static		250 + static		250 + static		250 + static		250 + static		250 + static	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Прибл. температура до цилиндров (TE 401)	°C	85		85		85		85		85		85	
Ном. температура после двигателя	°C	96		96		96		96		96		96	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	100		100		100		100		100		100	

Wartsila 12V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.	Газ	Диз.
Цилиндровая мощность	**кВт**	**435**		**450**		**450**		**480**		**500**		**500**	
Полный перепад давления на двигателе	кПа	100		100		100		100		100		100	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	150(1.5)		150(1.5)		150(1.5)		150 (1.5)		150(1.5)		150(1.5)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Объем воды в двигателе	$м^3$	0.74		0.74		0.74		0.74		0.74		0.74	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
НТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Макс. температура на подводе к двигателю (TE 471)	°C	38		38		38		38		38		38	
Температура на входе в двигатель, мин. (TE 471)	°C	25		25		25		25		25		25	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	100		100		100		100		100		100	
Перепад давления в холодильнике наддувочного воздуха	кПа	35		35		35		35		35		35	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
Система пускового воздуха													
Давление, ном.	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Макс. давление	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Предельно низкое давление в баллоне пускового воздуха	кПа	1600		1600		1600		1600		1600		1600	
Расход на запуск (успешный)	$Нм^3$	6.8		6.8		6.8		6.8		6.8		6.8	
Расход на запуск (с проворачиванием)	$Нм^3$	8.8		8.8		8.8		8.8		8.8		8.8	

Примечания:

Примечание 1 При низшей теплотворной способности газа 49620 кДж/кг

Примечание 2 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1 (температуре окружающего воздуха 25°C, температура воды НТ контура 25ºC) и 100% нагрузке. Допуск по расходу 5% и допуск по температуре 10°C в газовом режиме. Допуск по расходу 8% и допуск по температуре 15°C в дизельном режиме.

Примечание 3 При 100% нагрузке и номинальной частоте вращения. Величины действительны при окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1, за исключением температуры воды НТ контура, которая соответствует температуре в ресивере наддувочного воздуха 45°C при работе в газовом режиме. С учетом масляного и охлаждающих насосов с приводом от двигателя. Допуск по теплу от охлаждающей воды 10%, допуск по тепловому излучению 30%. Коэффициент загрязнения и резерв по производительности должны приниматься во внимание при расчете теплообменников.

Примечание 4 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046/1, наименьшая теплотворная способность топлива 42 700 кДж/кг, с учетом насосов с приводом от двигателя (один масляный и два охлаждающих). Допуск 5%.

Примечание 5 Давление топливного газа приведено при низшей теплотворной способности = 36 МДж/м³Н. Необходимое давление газового топлива зависит от его теплотворной способности и должно увеличиваться при более низкой теплотворной способности. Необходимо принимать во внимание перепад давления во внешней системе. См. подробную информацию в главе «Топливная система».

ГД = Двигатель привода гребного винта на переменной частоте вращения

ВД = Вспомогательный двигатель привода генератора

ДЭ = Двигатель дизель-электрической установки привода генератора

Возможна корректировка без уведомления.

3.4 Wärtsilä 16V34DF

Wartsila 16V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	435		450		450		480		500		500	
Частота вращения двигателя	об/мин	720		750		750		720		750		750	
Мощность двигателя	кВт	6960		7200		7200		7680		8000		8000	
Среднее эффективное давление	МПа	2.0		1.98		1.98		2.2		2.2		2.2	
Система воздуха сгорания (Примечание 1)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	11.4		13.6	11.4	14.4	11.4 | 15.2	11.5	14.0	11.7	14.8	11.7	14.8
Макс. температура на входе турбонагнетателя	°C	45		45		45		45		45		45	
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка > 70%	°C	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601), нагрузка 30 - 70%	°C	55	-	55	-	55	-	55	-	55		55	-
Температура после воздушного холодильника (TE 601)	°C	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50	-	50
Система выхлопного газа (Примечание 2)													
Расход при 100% нагрузке	кг/с	11.7	14.0	11.7	14.8	11.7	15.6	11.9	14.5	12.1	15.3	12.1	15.2
Расход при 75% нагрузке	кг/с	9.7	10.6	9.7	11.6	9.3	11.0	8.8	11.5	8.9	12.1	10.2	11.1
Расход при 50% нагрузке	кг/с	7.3	7.0	7.3	7.5	7.8	8.4	8.1	8.0	8.3	8.4	7.6	8.2
Температура после турбонагнетателя при 100% нагрузке (TE 517)	°C	385	350	385	340	390	315	380	340	380	335	380	335
Температура после турбонагнетателя при 75% нагрузке (TE 517)	°C	415	375	415	355	400	345	425	320	425	315	365	340
Температура после турбонагнетателя при 50% нагрузке (TE 517)	°C	440	420	440	410	345	350	386	340	386	340	353	343
Противодавление, макс.	кПа (Бар)	4		4		4		4		4		4	
Расчетный диаметр выхлопного газохода для 35 м/сек	мм	889	944	889	965	893	970	891	953	899	976	899	973
Тепловой баланс при 100% нагрузке (Примечание 3)													
Рубашка охлаждения, ВТ контур	кВт	1210	1290	1250	1350	1250	1410	1240	1331	1293	1395	1293	1395
Наддувочный воздух, ВТ контур	кВт	850	1520	880	1690	660	1840	1325	2216	1445	2320	1445	2320
Наддувочный воздух, НТ контур	кВт	650	680	670	720	500	840	595	637	648	773	648	773
Смазочное масло, НТ контур	кВт	700	770	720	820	720	830	760	811	792	848	792	848
Тепловое излучение	кВт	260	280	270	290	270	290	261	285	272	296	272	299
Расход топлива (Примечание 4)													
Суммарное энергопотребление при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7620	-	7620	-	7620	-	7370	-	7370	-	7400	-
Суммарное энергопотребление при	кДж/кВтч	8090	-	8090	-	7960	-	7580	-	7580	-	7580	-

Wartsila 16V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	435		450		450		480		500		500	
75% нагрузке													
Суммарное энергопотребление при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8750	-	8750	-	8170	-	8410	-	8410		8450	-
Расход газового топлива при 100% нагрузке	кДж/кВтч	7543	-	7543	-	7543	-	7286	-	7286	-	7286	-
Расход газового топлива при 75% нагрузке	кДж/кВтч	7972	-	7972	-	7839	-	7458	-	7458	-	7467	-
Расход газового топлива при 50% нагрузке	кДж/кВтч	8534	-	8534	-	7972	-	8248	-	8248	-	7562	-
Расход дизельного топлива при 100% нагрузке	г/кВтч	2.0	189	2.0	191	2.0	193	1.9	185	1.9	186	1.9	186
Расход дизельного топлива при 75% нагрузке	г/кВтч	2.8	193	2.8	195	2.7	187	2.6	182	2.6	183	2.4	180
Расход дизельного топлива при 50% нагрузке	г/кВтч	4.9	200	4.9	202	4.5	192	3.8	189	3.8	190	3.0	182
Система газового топлива (Примечание 5)													
Мин. давление газа на входе в двигатель (PT901)	кПа (a)	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-	452	-
Мин. давление газа на газовый клапан	кПа (a)	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-	572	-
Температура газа до газового клапана	°C	0...60	-	**0**...60	-	0...60	-	0...60		0...60		0...60	-
Система дизельного топлива													
Давление перед ТНВД (PT 101)	кПа	700±50		700±50		700±50		700±50		700±50		700±50	
Проток топлива через двигатель, прибл.	$м^3$/ч	7.4		7.7		7.8		8.0		8.4		8.4	
Вязкость тяжелого топлива на входе в двигатель	сСт	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24	-	16...24
Макс. температура тяжелого топлива до двигателя (TE 101)	°C	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140	-	140
Мин. вязкость дизельного топлива	сСт		2.0	2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
Макс. температура MDF до двигателя (TE 101)	°C	45		45		45		45		45		45	
Количество утечного чистого топлива (MDF) при 100% нагрузке	кг/ч	13.8 | 27.6		14.4 | 28.8		14.5 | 29.1		14.9 | 29.8		15.6 | 31.2		15.6 | 31.2	
Вязкость запального топлива до двигателя	сСт	2...11		2...11		2...11		2...11		2...11		2...11	
Давление запального топлива на подводе в двигатель (PT 112)	кПа	550...750		550...750		550...750		550...750		550...750		550...750	
Макс. перепад давления запального топлива после двигателя	кПа	150		150		150		150		150		150	
Возвратный поток запального топлива при 100% нагрузке	кг/ч	740		740		740		740		740		740	
Система смазочного масла													
Ном. давление на подводе к подшипникам (PT 201)	кПа	500		500		500		500		500		500	
Макс. всасывающая способность, включая	кПа	40		40		40		40		40		40	

Wartsila 16V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	435		450		450		480		500		500	
потери в трубопроводах													
Давление предварительной прокачки, ном. (PT201)	кПа	50		50		50		50		50		50	
Макс. всасывающая способность насоса предварительной прокачки, включая потери в трубопроводах	кПа	35		35		35		35		35		35	
Ном. температура на подводе к подшипникам (TE 201)	°C	63		63		63		63		63		63	
Температура после двигателя, прибл.	°C	81		81		81		81		81		81	
Производительность главного насоса, с приводом от двигателя	м3/ч	158		164		164		158		164		164	
Производительность главного насоса с электроприводом	м3/ч	130		135		135		130		135		135	
Производительность насоса предварительной прокачки (50/60 Гц)	м3/ч	38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9		38.0/45.9	
Объем масла в отдельном системном танке	м3	8		8		8		8		8		8	
Расход масла при 100% нагрузке, прибл.	г/кВтч	0.4		0.4		0.4		0.4		0.4		0.4	
Объем вентиляции картера при полной нагрузке	л/мин	2240		2240		2240		2240		2240		2240	
Противодавление вентиляции картера, макс.	Па	0.3		0.3		0.3		0.3		0.3		0.3	
Объем масла в валоповоротном устройстве	л	8.5...9.5		8.5—9.5		8.5...9.5		8.5...9.5		8.5...Э.5		В.5...9.5	
Объем масла в регуляторе частоты вращения	л	1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2		1.4...2.2	
ВТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.		250 + стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 401)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Прибл. температура до цилиндров (TE 401)	°C	85		85		85		85		85		85	
Ном. температура после двигателя	°C	96		96		96		96		96		96	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	140		140		140		140		140		140	
Полный перепад давления на двигателе	кПа	100		100		100		100		100		100	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	150(1.5)		150 (1.5)		150(1.5)		150 (1.5)		150(1.5)		150 (1.5)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Объем воды в двигателе	$м^3$	0.84		0.84		0.84		0.84		0.84		0.84	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	

Wartsila 16V34DF		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ВД/ДЭ IMO Tier 2		ГД IMO Tier 2	
		Газ	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**	**Газ**	**Диз.**
Цилиндровая мощность	**кВт**	435		450		450		480		500		500	
НТ контур системы водяного охлаждения													
Ном. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.		250+ стат.	
Макс. давление на двигатель, после насоса (PT 471)	кПа	530		530		530		530		530		530	
Макс. температура на подводе к двигателю (TE 471)	°C	38		38		38		38		38		38	
Температура на входе в двигатель, мин. (TE 471)	°C	25		25		25		25		25		25	
Ном. производительность насоса с приводом от двигателя	$м^3$/ч	120		120		120		120		120		120	
Перепад давления в холодильнике наддувочного воздуха	кПа	35		35		35		35		35		35	
Макс. перепад давления во внешней системе	кПа	200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)		200 (2.0)	
Давление от расширительного танка	кПа	70...150		70...150		70...150		70...150		70...150		70...150	
Высота подачи резервного насоса	кПа	250		250		250		250		250		250	
Система пускового воздуха													
Давление, ном.	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Макс. давление	кПа	3000		3000		3000		3000		3000		3000	
Предельно низкое давление в баллоне пускового воздуха	кПа	1600		1600		1600		1600		1600		1600	
Расход на запуск (успешный)	$Нм^3$	8.5		8.5		8.5		8.5		8.5		8.5	
Расход на запуск (с проворачиванием)	$Нм^3$	11.0		11.0		11.0		11.0		11.0		11.0	

Примечания:

Примечание 1 При низшей теплотворной способности газа 49620 кДж/кг

Примечание 2 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1 (температуре окружающего воздуха 25°C, температура воды НТ контура 25ºC) и 100% нагрузке. Допуск по расходу 5% и допуск по температуре 10°C в газовом режиме. Допуск по расходу 8% и допуск по температуре 15°C в дизельном режиме.

Примечание 3 При 100% нагрузке и номинальной частоте вращения. Величины действительны при окружающих условиях в соответствии с ISO 3046-1, за исключением температуры воды НТ контура, которая соответствует температуре в ресивере наддувочного воздуха 45°C при работе в газовом режиме. С учетом масляного и охлаждающих насосов с приводом от двигателя. Допуск по теплу от охлаждающей воды 10%, допуск по тепловому излучению 30%. Коэффициент загрязнения и резерв по производительности должны приниматься во внимание при расчете теплообменников.

Примечание 4 При окружающих условиях в соответствии с ISO 3046/1, наименьшая теплотворная способность топлива 42 700 кДж/кг, с учетом насосов с приводом от двигателя (один масляный и два охлаждающих). Допуск 5%.

Примечание 5 Давление топливного газа приведено при низшей теплотворной способности = 36 МДж/м³Н. Необходимое давление газового топлива зависит от его теплотворной способности и должно увеличиваться при более низкой теплотворной способности. Необходимо принимать во внимание перепад давления во внешней системе. См. подробную информацию в главе «Топливная система».

ГД = Двигатель привода гребного винта на переменной частоте вращения

ВД = Вспомогательный двигатель привода генератора

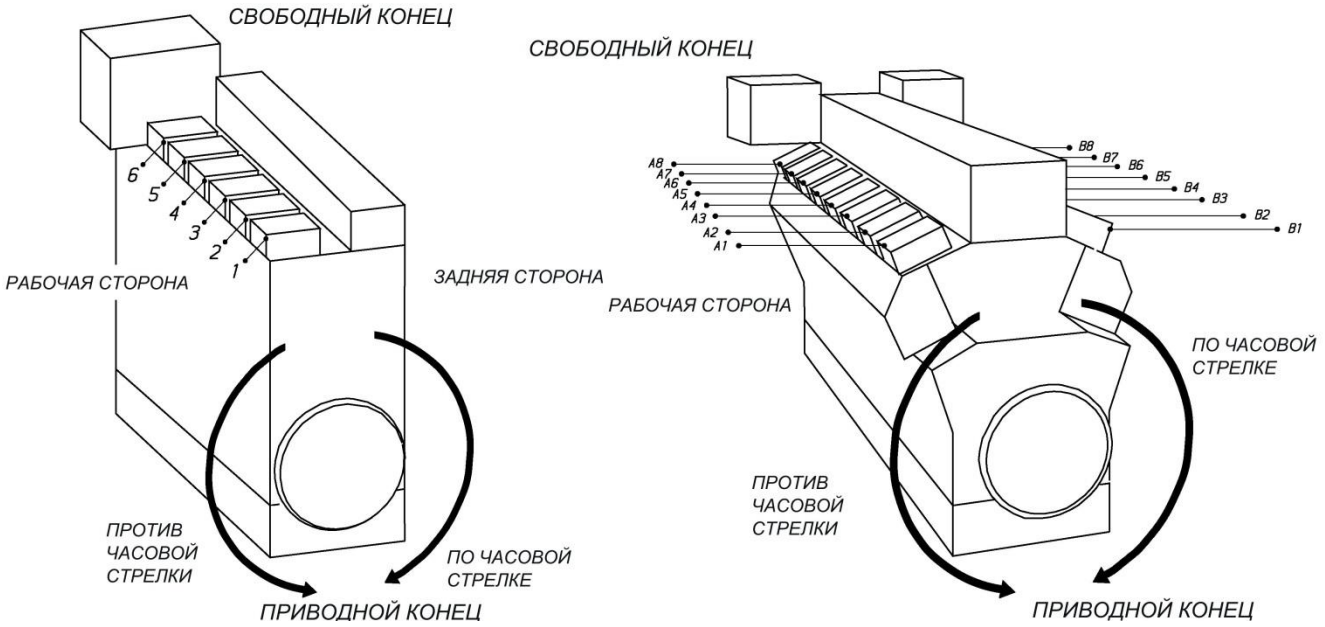
ДЭ = Двигатель дизель-электрической установки привода генератора

Возможна корректировка без уведомления.

4 Описание двигателя

4.1 Определения

Рис. 4.1 Определение терминов, рядный и V-образный двигатель (1V93C0029 / 1V93C0028)



4.2 Основные компоненты и системы

Габариты и вес двигателей указаны в разделе 1.6 «Основные размеры и веса».

4.2.1 Блок двигателя

Блок двигателя для всех цилиндровых конфигураций представляет собой цельный литой компонент из шарового чугуна. Он имеет жесткую и долговечную конструкцию для восприятия внутренних усилий и обеспечения монтажа двигателя на амортизаторах без промежуточного фундамента.

Двигатель оборудован подвесным коленвалом, удерживаемым в корпусах рамовых подшипников. Корпуса рамовых подшипников из шарового чугуна устанавливаются в блок снизу на двух шпильках с гидравлической затяжкой. Они фиксируются в блоке в продольном направлении сверху и снизу. Горизонтальные боковые винты с гидравлической затяжкой в нижних направляющих обеспечивают очень жесткую конструкцию рамовых подшипников.

Гидравлический домкрат с опорой в масляном картере обеспечивает возможность выемки и подъема корпусов рамовых подшипников, например при их инспекции. Смазочное масло подводится к подшипникам и поршню через этот домкрат. Комбинированный маховиковый/упорный подшипник находится на приводном конце двигателя. Масляный поддон облегченной сварной конструкции крепится к блоку снизу и уплотняется кольцевыми прокладками.

Масляный поддон облегченной сварной конструкции крепится к блоку снизу и уплотняется кольцевыми прокладками.

Есть два вида поддонов масляного картера - сухой или мокрый, в зависимости от типа установки. Мокрый масляный картер в дополнение к приемной трубе к насосу смазочного масла включает в себя основной распределительный трубопровод для смазочного масла, а также трубы всасывания и обратное соединение для сепаратора. С обоих концов сухого поддона (на выбор) предусмотрен слив масла в отдельный системный танк.

4.2.2 Коленчатый вал

Основным критерием проектирования коленвала является надежность, обеспечиваемая очень низкими нагрузками на подшипники. Высокая осевая и крутильная жесткость достигается умеренным отношением диаметра цилиндра к ходу поршня. Коленвал удовлетворяет требования всех классификационных обществ.

Коленвал представляет собой цельнокованый компонент, подвешиваемый снизу в блоке двигателя. В V-образных двигателях шатуны крепятся парами на одной шатунной шейке для достижения высокой степени стандартизации. Размер шеек одинаковый вне зависимости от числа цилиндров.

Коленвал полностью сбалансирован с помощью противовесов на каждой шатунной шейке для противодействия эксцентрическим нагрузкам на подшипники. В результате на всех подшипниках формируется равномерная и масляная пленка нужной толщины. При необходимости коленвал оборудуется демпфером крутильных колебаний.

4.2.3 Шатун

Шатун имеет трехкомпонентную конструкцию, позволяющую снять шатун без разборки мотылевого подшипника. Были проведены обширные исследования и разработки, чтобы разработать шатун, в котором силы сгорания распределены по максимальной площади мотылевого подшипника.

Шатун изготовлен из кованной легированной стали, с полностью обработанным корпусом. Нижняя часть делится по горизонтали, что позволяет извлекать поршень и шатун через цилиндр. Все шпильки шатуна имеют гидравлическую затяжку. Подшипник поршневого пальца имеет трехкомпонентную конструкцию.

Масло подается к подшипнику поршневого пальца и поршню через сверление в шатуне.

4.2.4 Рамовые и мотылевые подшипники

Рамовые и мотылевые подшипники имеют трехкомпонентную конструкцию типа «свинец и бронза на стали» с толстым и мягким опорным слоем. Подшипники целиком покрыты оловянным слоем толщиной 0,5-1 микрон для защиты от коррозии. Даже незначительные повреждения становятся видимыми на поверхности подшипника во время приработки. Это не оказывает никакого негативного влияния на функции подшипника.

4.2.5 Цилиндровая втулка

Цилиндровые втулки изготавливаются центробежным литьём из специального серого чугуна, который обладает высокой износостойкостью и прочностью. Охлаждающая вода распределяется по верхней части втулки при помощи колец распределения воды.

Нижняя часть втулки сухая. Для устранения риска полировки втулка оборудована нагаросъемным кольцом.

4.2.6 Поршень

Поршень сделан из композитного материала – юбка из шарового чугуна, головка поршня из стали. Юбка поршня смазывается принудительно, что гарантирует хорошо контролируемый расход масла во втулке цилиндра во всех режимах работы. Масло подаётся через шатун в охлаждающее пространство поршня. Поршень охлаждается по принципу коктейльного шейкера. Канавки поршневого кольца в верхней части поршня подвергаются закалке для лучшей сопротивляемости износу.

4.2.7 Поршневые кольца

Набор поршневых колец состоит из двух направленных компрессионных колец и одного соответственно подпружиненного маслосъемного кольца. Все кольца хромированы, находятся в головке поршня.

4.2.8 Цилиндровая крышка

Цилиндровая крышка выполнена из чугуна; основной критерий проектирования – высокая надежность и простота обслуживания.

Механическая нагрузка поглощается прочной промежуточной составляющей, которая, вместе с верхней составляющей, и боковыми сторонами образуют замкнутую область, в четырёх углах которой расположены гидравлически затягиваемые болты крепления цилиндровой втулки.

В цилиндровой крышке имеются два впускных и два выпускных клапана на цилиндр. Все клапаны оборудованы ротокапами. Клетки клапанов не применяются, что обеспечивает очень хорошую газодинамику. Основной критерий проектирования выпускных клапанов – поддержание правильной температуры путем точно контролируемого водяного охлаждения седла выпускного клапана.

Подверженная нагреву поверхность эффективно охлаждается охлаждающей водой, радиально подводимой от периферии к центру цилиндровой крышки. Соединения между охлаждающими каналами клапанов просверлены для наиболее лучшего теплообмена.

4.2.9 Распределительный вал и клапанный механизм

На каждый цилиндр приходится по кулачку, они разделены между собой отдельными подшипниками. Кулачки и шейки распредвала крепятся друг к другу фланцевыми соединениями. *Эта конструкция позволяет снимать детали распредвала в горизонтальном направлении.* Штампованные, полностью закаленные части распредвала имеют неподвижные кулачки. Корпуса подшипников интегрированы в отливке блока цилиндров, поэтому практически закрыты. Монтаж и демонтаж подшипников выполняется гидравлическим приспособлением. Крышки распредвала (одна на каждый цилиндр) уплотнены по отношению к блоку цилиндра замкнутым уплотнителем круглого сечения. Направляющие привода клапанов интегрированы в блок двигателя. Толкатели клапана – поршневого типа, с саморегулирующимся роликом по отношению к кулачку для равномерного распределения контактного напряжения. Сдвоенные пружины клапана обеспечивают динамическую устойчивость механизма клапана.

4.2.10 Привод распределительного вала

Привод распредвала осуществляется через зубчатую передачу от коленвала. Передаточная шестерня крепится к коленвалу на фланцевом соединении. Внутренние зубчатые колеса закреплены в узле при помощи гидравлически затянутых центральных болтов.

4.2.11 Топливная система

Двигатель Wärtsilä 34DF рассчитан на длительную работу на газовом топливе (природный газ) или морском дизельном топливе (MDF). Также возможна работа двигателя на тяжелом топливе (HFO). Для работы многотопливного двигателя требуется внешняя система подачи газового топлива и подачи жидкого топлива. Более подробное описание системы см. в главе «Топливная система».

Система газового топлива

Система газового топлива на двигателе состоит из следующих навешенных компонентов:

- Магистраль низкого давления (common rail) газового топлива
- Впускной газовый клапан для каждого цилиндра
- Предохранительные фильтры на каждом впускном газовом клапане
- Вентиляционный клапан магистрали (Common rail)
- Двустенные газовые трубки

По магистрали газовое топливо подается к каждому впускному клапану. Магистраль представляет собой сварную двустенную трубу увеличенного диаметра, которая одновременно служит аккумулятором давления. По газовым трубкам газовое топливо из магистрали подводится к впускным клапанам, установленным в каждом цилиндре.

Впускные газовые клапаны (по одному на цилиндр) имеют электронное управление; они раскрываются для подачи в каждый отдельный цилиндр правильного количества газа. Впускные

газовые клапаны управляются системой управления двигателя, регулирующей частоту вращения и мощность двигателя. Клапаны установлены в цилиндровых крышках (на V-образных двигателях) во впускных патрубках цилиндровых крышек (на рядных двигателях).

Впускной клапан представляет собой соленоидный клапан с прямым приводом. Клапан закрывается пружиной (положительное уплотнение) при отсутствии электрического сигнала. Система управления двигателя может регулировать количество газа, подаваемого в каждый отдельный цилиндр при работе двигателя для выравнивания его нагрузки. Впускной газовый клапан также оборудован предохранительными фильтрами (90 микрон).

Вентиляционный клапан трубы газовой магистрали используется для сбрасывания давления в магистрали при переходе из газового в дизельный режим работы. Клапан имеет пневматический привод и управляется системой управления двигателя.

Система впрыска основного дизельного топлива

Система впрыска основного дизельного топлива используется при работе двигателя в дизельном режиме. Когда двигатель работает в газовом режиме, происходит постоянная циркуляция в системе основного дизельного топлива, постоянно обеспечивающая возможность мгновенного переключения в дизельный режим.

Внутренняя система впрыска основного дизельного топлива состоит из следующего оборудования, на каждый цилиндр:

- ТНВД
- Трубка высокого давления
- Сдвоенная форсунка (для впрыска основного и запального топлива)

Конструкция топливного насоса – монокомпонентного типа; насос рассчитан на давление впрыска до 150 МПа. Топливные насосы имеют встроенные эксцентрики; они также оборудованы пневматическими стоп-цилиндрами, подключенными к системе защиты от заброса оборотов.

Впрыскная трубка высокого давления соединяет насос впрыска с форсункой. Трубки двустенные, экранированные, располагаются в хорошо защищающем их хот-боксе двигателя.

Форсунка представляет собой комбинированную форсунку впрыска основного и запального топлива. Форсунка впрыска основного топлива установлена в центре цилиндровой крышки. Форсунка впрыска основного топлива имеет традиционную конструкцию с пружинным игольчатым клапаном.

В хот-боксе установлена вся топливная аппаратура основного топлива и системные трубопроводы, что обеспечивает максимальную надежность и безопасность. Сторона высокого давления системы основного дизельного топлива, таким образом, полностью отделена от выхлопной системы и полостей смазочного масла двигателя. Любые протечки внутри хот-бокса отводятся для предотвращения смешивания топлива со смазочным маслом. По той же причине насосы впрыска полностью изолированы от полости распредвала.

Система впрыска запального топлива

Система впрыска запального топлива используется для зажигания воздушно-газовой смеси в цилиндре при работе двигателя в газовом режиме. Для системы запального топлива используется та же самая внешняя топливная система, что и для системы основного топлива. Система запального топлива состоит из следующих навешенных компонентов:

- Фильтр запального топлива
- Насос высокого давления топливной магистрали (common rail)
- Трубопровод топливной магистрали (common rail)
- Сдвоенная форсунка на каждый цилиндр

Фильтр запального топлива представляет собой полнопроточный сдвоенный блок, не допускающий попадания загрязнений в систему запального топлива. Размер ячейки фильтра – 10 микрон.

Насос запального топлива высокого давления радиального поршневого типа имеет привод от двигателя и устанавливается на неприводной стороне двигателя. Система управления двигателя отслеживает и контролирует давление топлива, которое составляет около 10 МПа.

Запальное топливо под давлением подается от насоса к трубопроводу топливной магистрали (common rail) малого диаметра. По магистрали запальное топливо поступает в каждую форсунку; магистраль также выполняет функцию аккумулятора давления для предотвращения колебаний давления. Трубки высокого давления двустенные, экранированные, располагаются в хорошо защищающем их хот-боксе двигателя. По этим трубкам топливо от магистрали поступает к форсункам.

Блок запального топлива сдвоенной форсунки оборудован игольчатым распылителем с приводом от соленоида, управляемого системой управления двигателя. Запальное топливо подается по соединениям высокого давления, ввинченным в корпус распылителя. Когда двигатель работает в дизельном режиме, впрыск запального топлива продолжается для содержания в чистоте иглы распылителя.

4.2.12 Выпускные патрубки

Патрубки выпускного коллектора выполнены из специального жароустойчивого литого шарового чугуна. Соединения на цилиндровых крышках – типа обжимного кольца. Вся система отвода отработавшего газа размещена в изолированной коробке, состоящей из легко убираемых панелей. В качестве изоляционного материала используется минеральная вата.

4.2.13 Система смазочного масла

Внутренняя система смазочного масла двигателя состоит из насоса смазочного масла с приводом от двигателя, насоса предварительной прокачки с электроприводом, термостата, фильтров и масляного холодильника. Насосы смазочного масла расположены на свободной стороне двигателя, тогда как автоматический фильтр, холодильник и термостат интегрированы в единый блок.

4.2.14 Система охлаждения

Система водяного охлаждения разделена на высокотемпературный (ВТ) и низкотемпературный (НТ) контуры.

Вода ВТ контура охлаждает втулки цилиндра, крышку цилиндра и первую ступень холодильника наддувочного воздуха. Вода НТ контура охлаждает вторую ступень холодильника наддувочного воздуха и смазочное масло.

4.2.15 Турбонаддув и охлаждение наддувочного воздуха

Система турбонаддува SPEX (Single Pipe Exhaust system) сочетает в себе преимущества как импульсной системы, так и системы постоянного давления. Выхлопной коллектор полностью помещается в теплоизоляционном кожухе, что обеспечивает низкую температуру поверхности двигателя.

Рядные двигатели имеют один ГТН, а V-образные – по одному ГТН на каждый ряд цилиндров. ГТН расположен в поперечном направлении со свободного конца двигателя. Выхлопной патрубок может быть вертикальным, горизонтальным или наклоненным в продольном направлении.

Для оптимизации системы турбонаддува для работы на высоких и низких нагрузках, а также для работы в дизельном и газовом режиме со стороны выхлопного газа в системе предусмотрен разгрузочный клапан (waste gate). Этот разгрузочный клапан используется на высоких нагрузках.

В качестве стандартного используется двухступенчатый холодильник наддувочного воздуха с ВТ и НТ ступенями. В обоих контурах используется пресная вода.

Для промывки ГТН во время работы двигатель в стандартном исполнении оборудован водяным промывочным устройством, как с воздушной стороны, так и с выхлопной стороны.

ГТН поставляется с втулочными подшипниками, что обеспечивает простоту обслуживания блока со стороны компрессора. Смазка ГТН осуществляется смазочным маслом двигателя по интегрированным масляным каналам.

4.2.16 Система автоматики

Двигатель Wärtsilä 34DF оборудован модульной встроенной системой автоматики Wärtsilä Unified Controls - UNIC.

Система UNIC имеет аппаратно реализованный интерфейс функций управления и программируемый шинный интерфейс АПС и контроля параметров. Блок защиты двигателя и местная панель управления установлены на двигателе. Модуль защиты двигателя отрабатывает основные функции защиты, например автоматическую остановку по забросу оборотов и низкому давлению смазочного масла. Блок защиты также выполняет обнаружение неисправностей по критическим сигналам и оповещает систему АПС об обнаруженных неисправностях. Местная панель управления оборудована кнопками местного пуска/остановки и перезагрузки автоматической остановки, а также дисплеем, на который выводятся наиболее важные рабочие параметры. Управление частотой вращения входит в объем системы автоматики на двигателе.

Все необходимые функции управления двигателем, обмен данными по интерфейсной шине с внешними системами, подключение более сложного блока местного дисплея и управление впрыском топлива отрабатываются навешенным на двигателе оборудованием.

На двигателе применяются стандартные промышленные кабели; количество подключений сведено к минимуму.

Питание, связь по шине обмена данными и критические функции защиты дублируются на двигателе. Все кабели к/от внешних систем подключаются к клеммам в главной панели на двигателе.

4.3 Двигатель в разрезе

Рис. 4.2 Рядный двигатель в разрезе

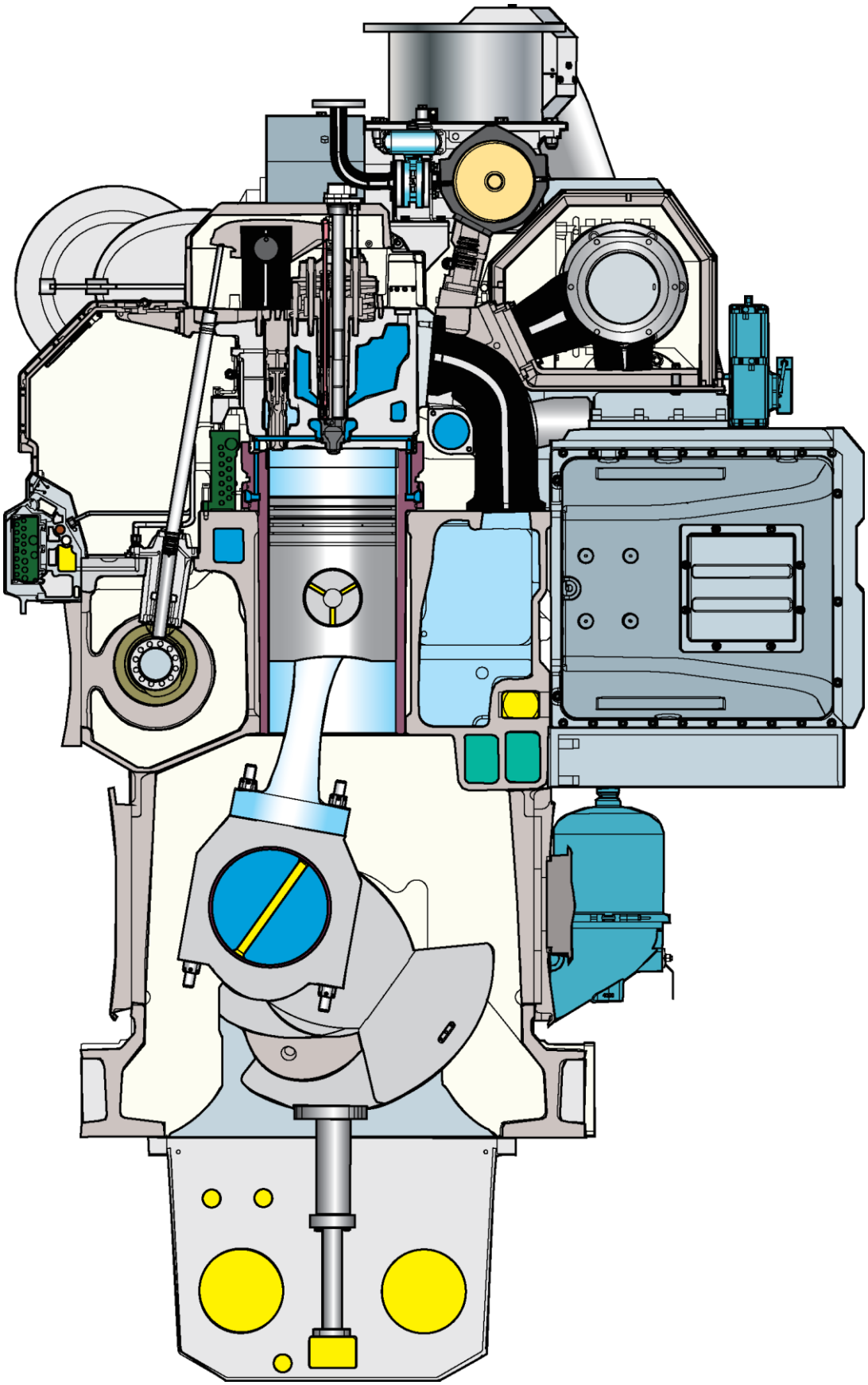
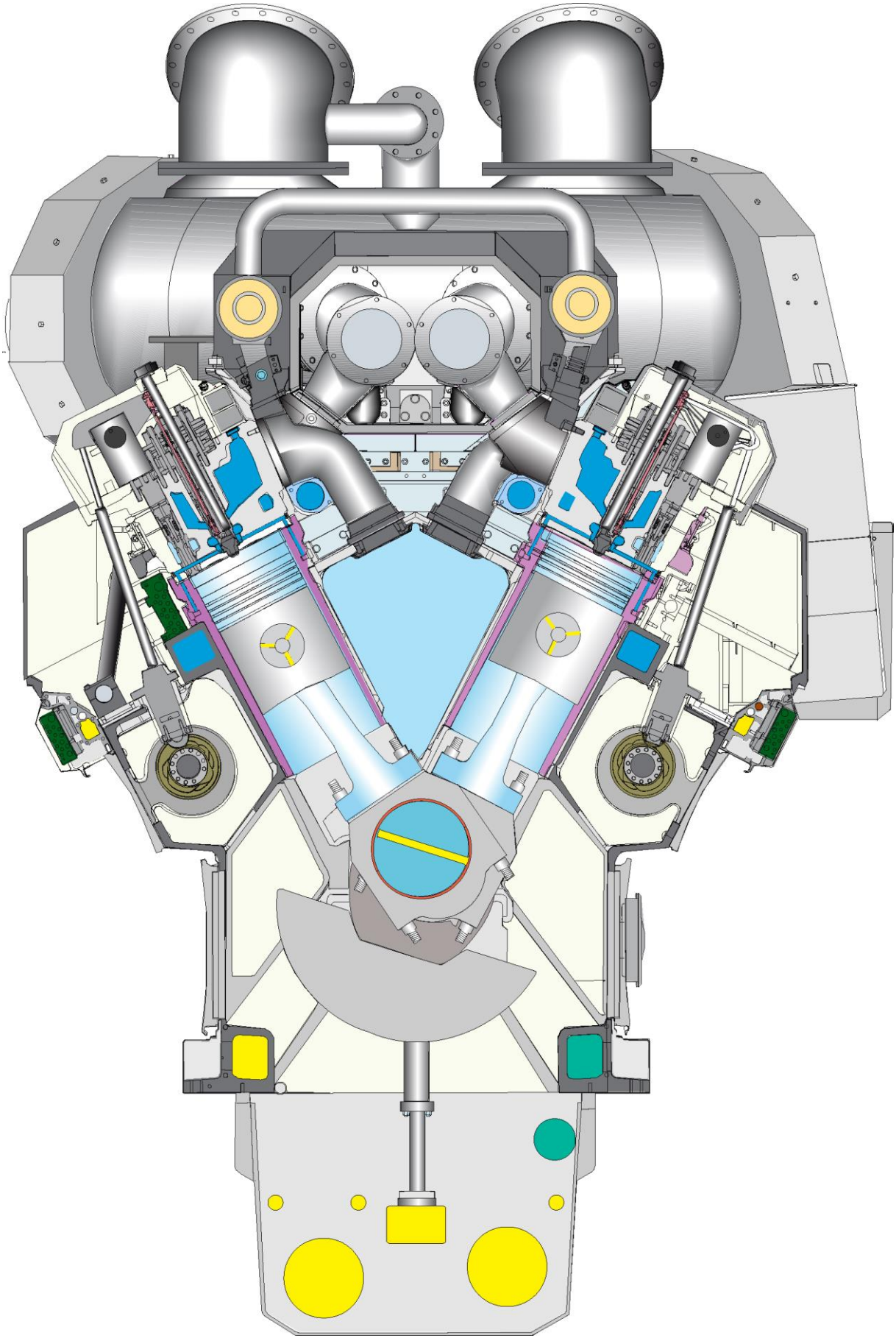


Рис. 4.3 V-образный двигатель в разрезе



4.4 Интервалы между капитальными ремонтами и расчетный срок службы

Приведённые интервалы между капитальными ремонтами и сроки службы приведены в качестве рекомендаций. Действительные значения будут отличаться в зависимости от условий эксплуатации, средней нагрузки двигателя, качества используемого топлива, системы топливоподготовки, качества ТО и т.д. Расчетные сроки службы компонентов откорректированы для соответствия интервалам ТО.

Таблица 4.1 Интервалы между техническими обслуживаниями и расчетный срок службы

Компонент	Интервал между инспекциями или ремонтом, час		Расчетный срок службы, час	
	Работа на MDF/газе	Работа на HFO	Работа на MDF/газе	Работа на HFO
Поршень	16000 – 24000	12000 – 20000	48000 – 60000	40000 – 48000
Поршневые кольца	16000 – 24000	12000 – 20000	16000 – 24000	12000 - 20000
Цилиндровая втулка	16000 – 24000	12000 – 20000	60000 – 100000	60000 - 100000
Цилиндровая крышка	16000 – 24000	12000 – 20000	60000 – 100000	60000 - 100000
Впускной клапан	16000 – 24000	12000 – 20000	32000 – 48000	24000 - 40000
Выпускной клапан	16000 – 24000	12000 – 20000	32000 – 48000	24000 - 40000
Распылитель форсунки	4000 – 8000	2000	4000...8000	4000 – 6000
ТНВД	16000 – 20000	12000 – 16000	12000 - 16000	12000 - 16000
Насос впрыска	24000	24000	24000 - 48000	24000 - 48000
Насос запального топлива	-	-	24000	-
Рамовый подшипник	16000	16000	32000	32000
Мотылевой подшипник	16000 – 24000	12000 – 20000	16000 – 24000	12000 – 20000
Главный впускной газовый клапан	8000	-	16000	-

4.5 Хранение двигателя

При поставке двигатель защищен покрытием VCI и брезентом. При хранении дольше 3 месяцев просим обращаться в Wärtsilä Finland Oy.

5 Разработка, обработка и установка трубопроводов

Эта глава содержит общие рекомендации по разработке, конструкции и установке трубопроводных систем, однако, не исключает другие разъяснения, во всяком случае, из аналогичных стандартов. Инструкции по установке входят в комплект инструкций, поставляемых для каждой установки.

Для трубопроводов топлива, смазочного масла, пресной воды и сжатого воздуха обычно используют бесшовные трубы из углеродистой стали (DIN 2448) и бесшовные тонкостенные трубы из углеродистой и нержавеющей стали (DIN 2391), для выхлопных газоходов – сварные трубы из стали марки corten или углеродистой стали (DIN 2458). Для трубопроводов забортной воды должны использоваться бронза Cunifer или сталь с горячей оцинковкой.

Газовые трубопроводы между газовым клапаном и двигателем должны быть изготовлены из нержавеющей стали.

ВНИМАНИЕ! Со стороны пресной воды в системе водяного охлаждения нельзя использовать оцинкованные трубы!

Необходимо принимать во внимание вопросы пожарной безопасности. Линии подачи и возврата топлива должны быть спроектированы таким образом, чтобы их можно было монтировать без натяжения. Упругие соединения должны иметь одобрение классификационного общества. Если упругие соединения применяются в системе сжатого воздуха, продувочный клапан должен устанавливаться до упругого соединения.

Рекомендуется до начала монтажа составить план сборки трубопроводов.

Следует принимать во внимание следующие аспекты:

- Следует избегать «карманов». Если это невозможно, следует предусматривать сливные пробки и воздушные вентили
- Трубопроводы утечного топлива должны прокладываться с постоянным уклоном
- Вентиляционные трубки должны устанавливаться с постоянным подъемом
- Следует использовать фланцевые соединения, а для тонкостенных труб – муфты с врезным кольцом.
- Следует использовать фланцевые соединения для топлива, смазочного масла, сжатого воздуха и пресной воды
- Следует использовать сварные соединения (TIG) для трубопроводов газового топлива насколько это практически возможно, однако фланцевые соединения тоже допустимы по необходимости.

Необходимо предусмотреть пространство для доступа при техобслуживании и демонтаже клапанов, холодильников и других компонентов. Фланцевые и прочие соединения должны быть расположены так, чтобы демонтаж оборудования был возможен с минимальными усилиями.

5.1 Размер трубопроводов

При выборе размера труб принимать во внимание следующее:

- Материал труб и их устойчивость к коррозии/эрозии.
- Допустимая потеря давления в системе относительно высоты нагнетания насоса.
- Требуемая высота столба жидкости (NPSH) (в линиях всасывания).
- В трубах малого диаметра максимально допустимая скорость потока обычно несколько ниже, чем в трубах такой же длины, но большего диаметра.
- Скорость потока должна быть не менее 1 м/сек в трубопроводах забортной воды в связи с большим риском обрастания и питтинга.
- В открытых контурах скорость потока во всасывающей трубе обычно составляет 2/3 от скорости потока в нагнетающей трубе.

Таблица 5.1 Рекомендованная максимальная скорость потока со стороны нагнетания насоса (для справки)

Трубопровод	Материал труб	Макс. скорость протока (м/с)
Трубопровод СПГ	Нерж.сталь	3
Трубопровод топливного газа	*Нерж.сталь/Углеродистая сталь*	20
Топливный трубопровод (MDF и HFO)	*Черное листовое железо*	1,0
Трубопровод смазочного масла	Черное листовое железо	1,5
Трубопровод с пресной водой	Черное листовое железо	2,5
Трубопровод с забортной водой	Оцинкованная сталь	2,5
	Алюминиевая латунь	2,5
	Кунифер (сплав меди, никеля и железа) 10/90	3,0
	Медно-никелевый сплав 70/30	4,5
	Обрезиненные трубы	4,5

ВНИМАНИЕ! Диаметр труб для топливного газа и сжатого воздуха зависит только от допустимой потери давления в трубопроводе, которая рассчитывается для каждого проекта в отдельности.

Размер труб для сжатого воздуха должен рассчитываться специально по каждому проекту. Размер труб можно выбирать, основываясь на скорости протока воздуха или перепаде давления. В каждом случае рекомендуется проверять размеры труб по обоим параметрам, чтобы не был превышен один из параметров.

Определение размера трубы по скорости протока воздуха: Опыт показывает, что для сухого воздуха нормальная скорость составляет 25-30 м/сек, но данная величина должна рассматриваться в качестве предельной, выше которой возникают шумы и эрозия, особенно, если воздух не сухой. Даже указанная скорость может оказаться слишком большой в отношении ее действия на перепад давления. В длинных линиях подачи часто необходимо снижать скорость потока до 15 м/сек, чтобы ограничить воздействие перепада давления.

Определение размера трубы по перепаду давления: Опыт показывает, что перепад давления от баллона пускового воздуха до входа в двигатель должен быть макс. 0,1 МПа (1 бар), когда давление в баллоне 3 МПа (3 бар).

Чрезвычайно важно, чтобы давление, подаваемое на ряд приборов управления, не падало ниже номинального (указанного в главе «Система сжатого воздуха») из-за перепада давления в трубопроводе.

5.2 Подогрев трубопроводов

Следующие трубопроводы должны быть оборудованы подогревом (паровым, термическим маслом или электрическим). Должна быть предусмотрена возможность отключения подогрева.

- Все трубопроводы тяжелого топлива
- Все трубы для утечного тяжелого топлива и промывочные трубы фильтра тяжёлого топлива

5.3 Класс давления

Класс давления трубы должен быть выше или равен расчетному давлению, которое, в свою очередь, должно быть выше или равно наибольшему рабочему (эксплуатационному) давлению. Наибольшее рабочее давление равно уставке предохранительного клапана в системе.

Давление в системе может:

- Нагнетаться поршневым насосом

- Быть сочетанием статического давления и давления в наивысшей точке насосной характеристики насоса центробежного типа
- Повышаться в изолированной системе при нагревании жидкости

В настоящей Инструкции к чертежам прилагаются таблицы, в которых указан класс давления подсоединений. Класс давления присоединения может быть выше класса давления, требуемого для трубы.

Пример 1:

Давление топлива на воде в двигатель должно быть 0,7 МПа (7 Бар). Защитный фильтр в загрязненном состоянии может вызвать потерю давления 0,1 МПа (1,0 Бар). Вискозиметр, автоматический фильтр, подогреватель и трубопровод могут вызвать потерю давления 0,25 МПа (2,5 Бар). Следовательно, давление нагнетания циркуляционного насоса может повышаться до 1,05 МПа (10,5 Бар), а предохранительный клапан, соответственно, иметь уставку 1,2 МПа (12 Бар).

- Расчетное давление должно быть не менее 1,2 МПа (12 Бар).
- Ближайший класс давления для труб будет PN16.
- Испытательное давление трубопровода, как правило, 1,5 x расчетного давления = 1,8 МПа (18 Бар).

Пример 2:

Давление со стороны всасывания насоса водяного охлаждения 0,1 МПа (1 Бар). Напор насоса 0,3 МПа (3 Бар), то есть давление со сторон нагнетания должно быть 0,4 МПа (4 Бар). Наивысшая точка насосной характеристики (при нулевом потоке) на 0,1 МПа (1 Бар) выше номинальной точки, следовательно, давление со стороны нагнетания может повышаться до 0,5 МПа (5 Бар) (при закрытых или приоткрытых клапанах).

- Соответственно, расчетное давление должно быть не менее 0,5 МПа (5 Бар).
- Ближайший класс давления для труб будет PN6.
- Испытательное давление трубопровода, как правило, 1,5 x расчетного давления = 0,75 МПа (7,5 Бар).

Стандартные класса давления следующие PN4, PN6, PN10, PN16, PN25, PN40 и т.д.

5.4 Класс трубопроводов

Классификационные общества разделяют трубопроводные системы на разные классы (DNV) или группы (ABS) в зависимости от давления, температуры и рабочей среды. Класс трубопровода может определять:

- Используемый тип соединений
- Тепловую обработку
- Технологию сварки
- Метод испытания

Трубопроводные системы с высоким расчетным давлением, температурой, а также опасными рабочими средами относятся к классу I (или группе I), прочие к классам II или III. Требования к качеству наивысшие у класса I.

Примеры классов трубопроводов в соответствии с правилами DNV приведены в следующей таблице.

Проектирование, изготовление и документация газовых трубопроводов должны выполняться в соответствии с правилами соответствующего классификационного общества.

При отсутствии соответствующих правил или если эти правила менее строги, нежели правила DNV рекомендуется пользоваться правилами DNV.

Соответствующие правила DNV:

- Правила постройки судов, Часть 4, Глава 6, Системы трубопроводов

- Правила постройки судов, Часть 5 Глава 5, Газовозы
- Правила постройки судов, Часть 6 Глава 13, Установки с газовыми двигателями

Таблица 5.2 Классы трубопроводов в соответствии с правилами DNV

Среда	Класс I		Класс II		Класс III	
МПа (Бар)	°C	МПа (Бар)	°C	МПа (Бар)	°C	
Пар	> 1,6 (16)	или > 300	< 1,6 (16)	и < 300	< 0,7 (7)	и < 170
Горючие жидкости	> 1,6 (16)	или > 150	< 1,6 (16)	и < 150	< 0,7 (7)	и < 60
Газовое топливо	Все	Все	-	-	-	-
Прочие рабочие среды	> 4 (40)	или > 300	< 4 (40)	и < 300	< 1,6 (16)	и < 200

5.5 Изоляция

Следующие трубопроводы должны быть изолированы:

- Все трубопроводы с подогревом
- Выхлопные газоходы
- Открытые участки труб, температура которых > 60 ˚C

Изоляция также рекомендуется для:

- Трубопроводов между двигателем или масляным танком и масляным сепаратором
- Трубопроводов между двигателем и подогревателем оборотной воды

5.6 Местные измерительные приборы

Местные термометры должны устанавливаться во всех точках изменения температуры, например до и после теплообменников и т.д.

Манометры должны устанавливаться со сторон всасывания и нагнетания каждого насоса.

5.7 Технология очистки

Компании, поставляющие и монтирующие оборудование, должны получить указания по обработке, очистке и защите от загрязнений различных систем трубопроводов до поставки и монтажа.

5.7.1 Чистота труб при установке

Перед поставкой на судно для установки все трубопроводы должны быть проверены и очищены от загрязнений. При монтаже незавершенные системы трубопроводов должны содержаться в чистоте. Открытые концы труб следует закрывать временными заглушками.

Возможные загрязнения следует удалять допустимыми методами. Перед заливкой топливом, маслом или водой все танки должны быть проверены на предмет чистоты.

Методы очистки приводятся в таблице ниже.

Таблица 5.3 Очистка трубопроводов

Система	Методы
Газовое топливо	A,B,C D,F[1)]
Топливо	A,B,C,D,F
Смазочное масло	A,B,C,D,F
Пусковой воздух	A,B,C
Охлаждающая вода	A,B,C
Выхлопной газ	A,B,C
Наддувочный воздух	A,B,C

[1)] В случае использования труб из углеродистой стали

Методы, применяемые при изготовлении трубных пучков

A = Промывка щелочным раствором горячей воде 80°C для удаления смазки (только если в трубопроводах была смазка)

B = Удаление ржавчины и накипи стальной щеткой (не требуется для бесшовных тонкостенных труб)

D = Травление (не требуется для бесшовных тонкостенных труб)

Методы, применяемые после установки на борту

C = Продувка сжатым воздухом

F = Промывка

5.7.2 Травление

Перед установкой на судне бухты труб промываются травлением.

Травление производится в смеси 10% соляной кислоты с 10% формальдегидом в течение 4-5 часов, после чего труба промывается горячей водой и сушится сжатым воздухом.

После травления трубы обрабатываются нейтрализующей смесью в составе 10% едкого натра и 50 г тринатрийфосфата на литр воды в течение 20 минут при 40...50°C, промывается горячей водой и сушится сжатым воздухом.

Следует проверять абсолютную чистоту на всех стадиях монтажа после травления.

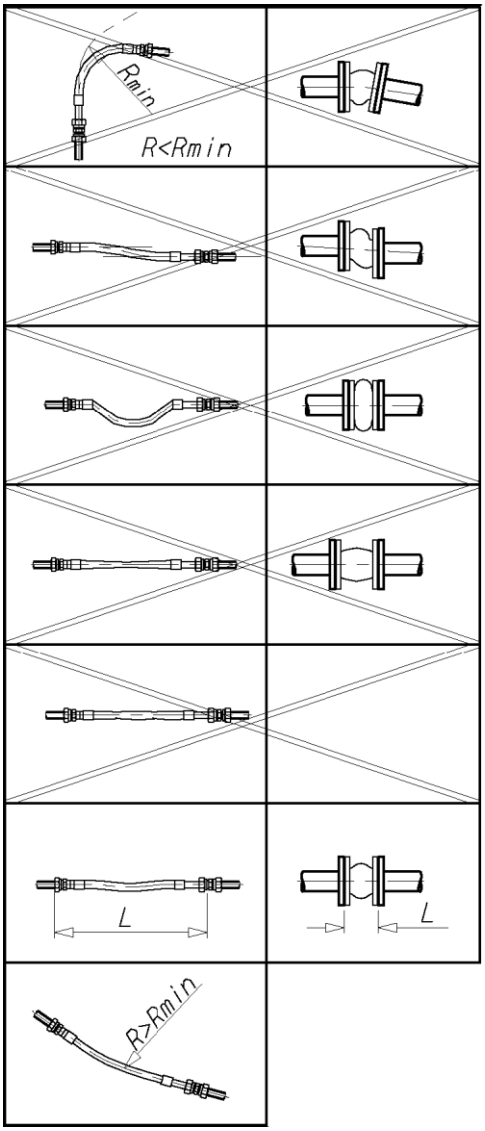
5.8 Упругие соединения трубопроводов

Упругие соединения трубопроводов, используемые для горючих жидкостей под давлением или сжатого воздуха должны иметь типовое одобрение.

Для правильной установки упругих соединений между двигателями на амортизаторах и судовыми трубопроводами следует производить работы с большой тщательностью.

- Упругие соединения нельзя перекручивать
- Правильной должна быть монтажная длина упругого соединения
- Следует соблюдать минимальный радиус сгиба
- Трубопроводы должны быть концентрически совмещены
- Если указано направление потока, то оно должно соблюдаться
- Ответные фланцы должны быть чистыми от коррозии, заусенцев и антикоррозийного покрытия
- Болты следует затягивать перекрестно, в несколько приемов
- Упругие соединения не должны быть окрашены
- На резиновые компенсаторы не должны попадать топливо и масло
- Трубопроводы должны иметь жесткие опоры поблизости от упругих соединений.

Рис. 5.1 Гибкие шланги



5.9 Крепление труб

Крайне важно фиксировать трубы к жёстким конструкциям поблизости от гибких соединений труб, чтобы предотвратить повреждение под действием вибрации. Необходимо следовать следующим рекомендациям:

- Крепления труб и опоры, ближайшие к двигателю, должны быть очень жесткими, они привариваются к стальным конструкциям основания.
- Первая опора должна быть расположена как можно ближе, насколько это возможно, к гибкому соединению. Следующая опора располагается в 0,3-0,5 метрах от первой опоры.
- Первые три опоры, ближайшие к двигателю или генераторной установке должны быть неподвижными опорами. После этих трёх неподвижных опор там, где это необходимо, используют скользящие опоры, чтобы допускать тепловое расширение трубы.
- Опоры никогда не привариваются непосредственно к трубе. Для гибких соединений следует использовать либо трубные зажимы, либо фланцевые опоры.

Примеры конструкций опор для фланцев показаны на рисунке 5.2. Типичный трубный зажим для неподвижной опоры показан на рисунке 5.3. Трубные зажимы изготавливают из стали; недопустимо использовать пластиковые или подобные зажимы.

Рисунок 5.2 Опоры фланцев гибких соединений труб (4V60L0796)

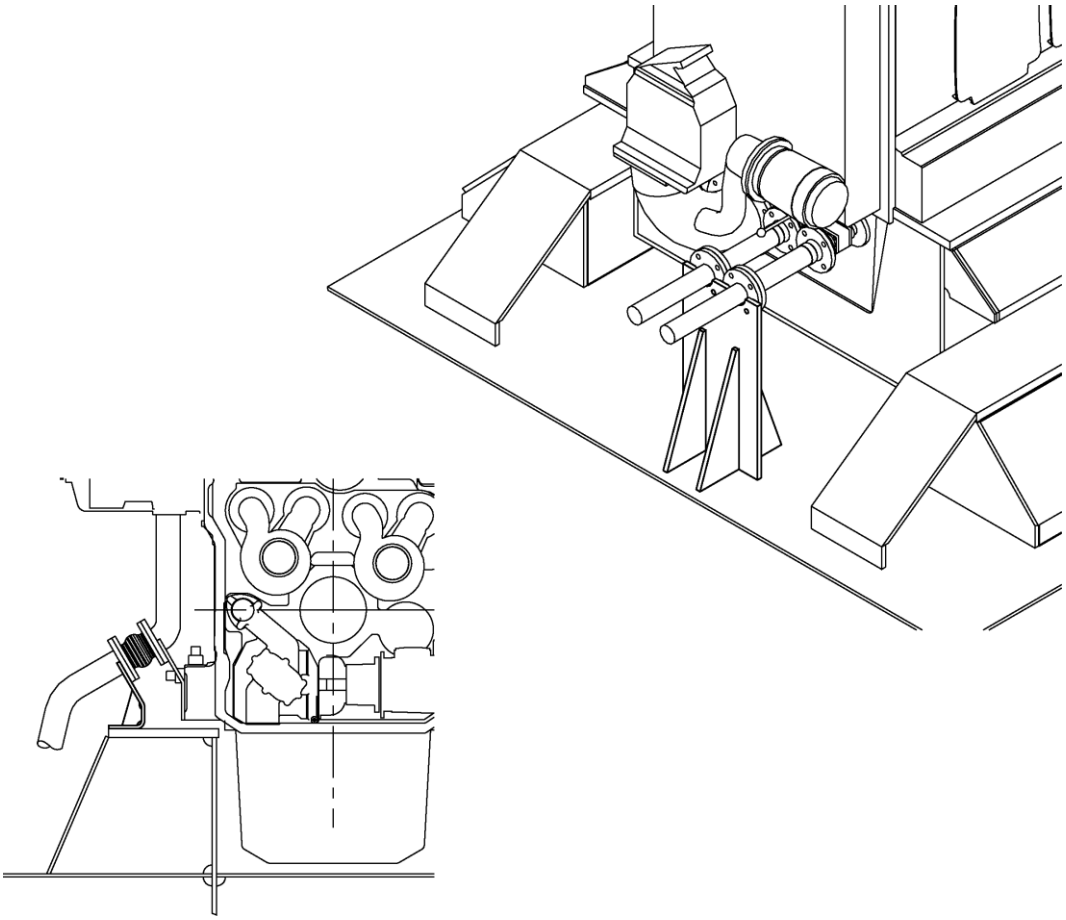
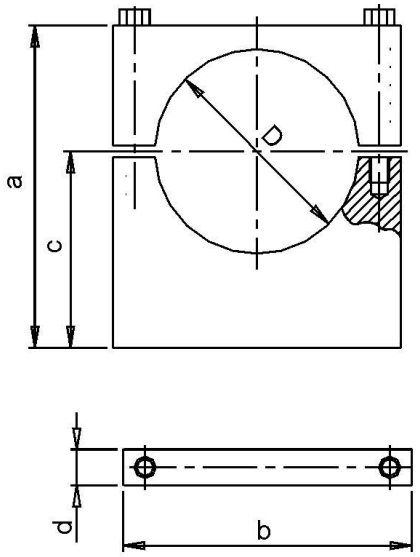


Рисунок 5.3 Трубный зажим для неподвижной опоры (4V61H0842)



DN	d_u [мм]	D [мм]	a [мм]	b [мм]	c [мм]	d [мм]	БОЛТЫ
25	33.7	35	150	80	120	25	M10x50
32	42.4	43	150	75	120	25	M10x50
40	48.3	48	154.5	100	115	25	M12x60
50	60.3	61	185	100	145	25	M12x60
65	76.1	76.5	191	115	145	25	M12x70
80	88.9	90	220	140	150	30	M12x90
100	114.3	114.5	196	170	121	25	M12x100
125	139.7	140	217	200	132	30	M16x120
150	168.3	170	237	240	132	30	M16x140
200	219.1	220	295	290	160	30	M16x160
250	273.0	274	355	350	190	30	M16x200

d_u = Внешний диаметр трубы

6 Топливная система

6.1 Допустимые характеристики топлива

6.1.1 Спецификация газового топлива

Многотопливный двигатель Wärtsilä 34DF рассчитан на длительную работу в газовом или в дизельном режиме. Для длительной работы без дератирования мощности двигателя газ, используемый в качестве основного топлива при работе в газовом режиме, должен соответствовать приведенным ниже требованиям к его качеству.

Таблица 6.1 Спецификация газового топлива

Свойство	Единица измерения	Величина
Низшая теплотворная способность (НСТ), мин[1)]	МДж/м^{3}Н [2)]	28
Метановое число (МЧ), мин[3)]		80-90
Содержание метана (CH_4), мин	% объема	70
Содержание сероводорода (H_2S), макс	% объема	0,05
Содержание водорода (H_2), макс[4)]	% объема	3
Содержание аммиака, макс	мг/м^{3}Н	25
Содержание хлора + фтора, макс	мг/м^{3}Н	50
Механические примеси на подводе к двигателю, макс	мг/м^{3}Н	50
Механические примеси на подводе к двигателю, макс. размер	микрон	5
Температура газа на входе	°C	0…60
Недопустимо содержание на подводе к двигателю воды и углеводородов[5)]		

1) *Необходимое давление газа зависит от НТС (см. раздел «Давление газового топлива» в главе «Топливная система»).*

2) *Величины приведены в м³Н при 0°C и 101,3 кПа.*

3) *Метановое число (МЧ) – это расчетная величина, которая обеспечивает масштаб для оценки устойчивости топливных газов к помпажу. Приведенная выше таблица действительна для двигателя, оптимизированного под низкое метановое число. Минимальная величина зависит от конфигурации двигателя, которая влияет на его выходные параметры. Однако, если общее содержание C5 и более насыщенных углеводородов выше 1% по объему, необходимо обращаться в Wärtsilä для дополнительной оценки.*

4) *Содержание водорода выше 3% по объему необходимо рассматривать для каждого проекта в отдельности.*

5) *Точка росы природного газа ниже минимальных рабочих температуры и давления.*

6.1.2 Спецификация жидкого топлива

Технические характеристики топлива основаны на стандарте ISO 8217:2010 (E). Обратите внимание, что несколько дополнительных характеристик, не включённых в этот стандарт, приведено в таблицах. Информацию о максимальной температуре топлива на подводе к двигателю см. в разделе «Технические данные».

Топливо не должно содержать никаких добавок других веществ или химических отходов, поскольку они ставят под угрозу безопасность установок или отрицательно влияют на работу двигателей или вредны для персонала или в целом загрязняют воздух.

Морское дизельное топливо (MDF)

Классами дистиллятного топлива являются ISO-F-DMX, DMA, DMZ, DMB. Эти сорта топлива называют MDF (Морское дизельное топливо).

Указанные выше классы дистиллята могут быть описаны следующим образом:

- DMX: *Топливо, которое является подходящим для использования при температуре окружающей среды до -15 ° C без подогрева топлива. На торговых судах это топливо используется только на спасательных шлюпках и определенном аварийном оборудовании в связи с пониженной температурой вспышки. Из-за низкой температуры вспышки, которая не отвечает требованиям SOLAS, не допускается использование этого топлива на других морских судах, если топливная система не строится в соответствии со специальными требованиями. Кроме того, из-за низкой вязкости (мин. 1,4 cCm) такое топливо не должно использоваться в двигателях, если топливо не может охлаждаться до требуемого в данном двигателе минимального предела вязкости на впрыске.*
- DMA: *Дистиллят высокого качества, как правило, обозначается как MGO (судовое маловязкое топливо/морской газойль).*
- DMZ: *Дистиллят высокого качества, как правило, обозначается как MGO (судовое маловязкое топливо/морской газойль). Альтернативный сорт топлива для двигателей, требующих более высокую вязкость топлива, чем указанная для сорта топлива DMA.*
- DMB: *Универсальное топливо, которое может содержать незначительное количество остаточных фракций, предназначено для двигателей, не спроектированных специально для сжигания тяжелого топлива. Оно, как правило, обозначается как MDO (топливо для судового дизеля/дизельное топливо)*

Таблица 6.2 Спецификации дизельного топлива (MDF)

Свойство	Единица измерения	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Метод испытания
Вязкость перед запальной форсункой, мин.[1)]	сСт	2,0	2,0	2,0	
Вязкость перед запальным топливным насосом, макс.[1)]	сСт	11,0	11,0	11,0	
Вязкость перед основными ТНВД, мин[1)] .	сСт	2,0	2,0	2,0	
Вязкость перед основными топливными насосами, макс.[1)]	сСт	24,0	24,0	24,0	
Вязкость при 40°C, мин.	сСт	2	3	2	
Вязкость при 40°C, макс.	сСт	6	6	11	ISO 3104
Плотность при 15°C, макс.	кг/м³	890	890	900	ISO 3675 или 12185
Цетановое число, мин.		40	40	35	ISO 4264
Содержание серы, макс.	% массы	1,5	1,5	2	ISO 8574 или 14596
Температура вспышки, мин.	°C	60	60	60	ISO 2719
Содержание сероводорода, макс.[2)]	мг/кг	2	2	2	IP 570
Кислотное число, макс.	мг KOH/г	0,5	0,5	0,5	ASTM D664
Общий осадочный потенциал (метод горячей фильтрации), макс.	% массы	—	—	0,1 [3)]	ISO 10307-1
Устойчивость к окислению, макс.	г/м^3	25	25	25[4)]	ISO 12205
Углеродистый остаток (микрометод, 10 % от объема остатка перегонки), макс.	% массы	0,30	0,30	—	ISO 10370
Углеродистый остаток (микрометод), макс.	% массы	—	—	0,30	ISO 10370
Температура застывания (верхн.), зимнее, макс.[5)]	°C	-6	-6	0	ISO 3016

Свойство	Единица измерения	ISO-F-DMA	ISO-F-DMZ	ISO-F-DMB	Метод испытания
Температура застывания (верхн.), летнее, макс.[5)]	°C	0	0	6	ISO 3016
Внешний вид	—	Чистое и прозрачное[6)]		3) 4) 7)	
Содержание воды, макс.	% объема	—	—	0,3 [3)]	ISO 3733
Зольность, макс.	% массы	0,01	0,01	0,01	ISO 6245
Смазывающая способность, скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4 мкм) при 60°C, макс.[8)]	микрон	520	520	520 [7)]	ISO 12156-1

Примечания:

1) Дополнительные свойства, указанные Wärtsilä, не включенные в спецификацию ISO.

2) Дата согласования на соответствие указанным стандартам – 1 июля 2012 года. До этого указанные значения даются в качестве руководства.

3) Если образец мутный и непрозрачный, то необходимо провести пробы на общий осадок методом горячей фильтрации и пробы воды.

4) Если образец мутный и непрозрачный, испытания не могут быть проведены и, следовательно, предел устойчивости к окислению не будет определен.

5) Необходимо удостовериться, что температура застывания подходит для оборудования на борту, особенно если судно работает в условиях холодного климата.

6) Если образец окрашен и непрозрачен, то содержание воды должно быть определено с помощью метода испытания ISO 12937.

7) Если образец мутный и непрозрачный, испытания не могут быть проведены и, следовательно, смазывающая способность не будет определена.

8) Требование распространяется на топливо с содержанием серы 500 мг/кг(0,050% массы).

ПРИМЕЧАНИЕ! Качество запального топлива должно быть в соответствии со стандартами DMX, DMA, DMZ или DMB.

В топливе не должно содержаться смазочного масла, механических загрязнений или химических отходов, представляющих опасность для установки или отрицательно сказывающихся на выходных параметрах двигателя.

Тяжелое топливо (HFO)

Сорта топлива из остаточных фракций называют HFO (Тяжелое топливо). Спецификация топлива HFO 2 основана на стандартах ISO-F-RMA 10 - RMK 700. *Топливо, отвечающее спецификации HFO 1, позволяет увеличить интервалы капитального ремонта конкретных деталей двигателя по сравнению с топливом HFO 2.*

Таблица 6.3 Спецификации тяжелого топлива (HFO)

Свойство	Единица измерения	Ограничение HFO 1	Ограничение HFO 2	Метод испытания
Вязкость перед ТНВД[1)]	сСт	16...24	16...24	
Вязкость при 50°C, макс.	сСт	700	700	ISO 3104
Плотность при 15°C, макс.	кг/м³	991/1010 [2)]	991/1010 [2)]	ISO 3675 или 12185
Ароматический индекс CCAI, макс.[3)]		850	870	ISO 8217, Annex F
Содержание серы, макс. [4) 5)]	% массы	В соответствии с установленными требованиями		ISO 8754 или 14596
Температура вспышки, мин.	°C	60	60	ISO 2719
Содержание сероводорода, макс. [6)]	мг/кг	2	2	IP 570

Свойство	Единица измерения	Ограничение HFO 1	Ограничение HFO 2	Метод испытания
Кислотное число, макс.	мг KOH/г	2,5	2,5	ASTM D664
Общий осадочный потенциал, макс.	% массы	0,1	0,1	ISO 10307-2
Углеродистый остаток (микрометод), макс.	% массы	15	20	ISO 10370
Содержание асфальтенов, макс.[1)]	% массы	8	14	ASTM D 3279
Предел текучести (верхний), макс. [7)]	°C	30	30	ISO 3016
Содержание воды, макс.	% объема	0,5	0,5	ISO 3733 или ASTM D6304-C [1)]
Содержание воды на входе в двигатель, макс.[1)]	% объема	0,3	0,3	ISO 3733 или ASTM D6304-C [1)]
Зольность, макс.	% массы	0,05	0,15	ISO 6245 или LP1001 [1)]
Содержание ванадия, макс.[5)]	мг/кг	100	450	ISO 14597 или IP 501 или IP 470
Содержание натрия, макс.[5)]	мг/кг	50	100	IP 501 или IP 470
Содержание натрия на входе в двигатель, макс.[1) 5)]	мг/кг	30	30	IP 501 или IP 470
Содержание алюминия + кремния, макс.	мг/кг	30	60	ISO 10478 или IP 501 или IP 470
Содержание алюминия + кремния на входе в двигатель, макс.[1)]	мг/кг	15	15	ISO 10478 или IP 501 или IP 470
Отработанные смазочные масла, кальций, макс. [8)]	мг/кг	30	30	IP 501 или IP 470
Отработанные смазочные масла, цинк, макс.[8)]	мг/кг	15	15	IP 501 или IP 470
Отработанные смазочные масла, фосфор, макс.[8)]	мг/кг	15	15	IP 501 или IP 500

Примечания:

[1)] Дополнительные свойства, указанные Wärtsilä, не включенные в спецификацию ISO.

[2)] Макс. 1010 кг/м³ при 15°C при условии, что система топливоподготовки сепарирует воду и твердые частицы (осадок, натрий, алюминий, кремний) до входа в двигатель до указанного уровня.

[3)] Остаточные фракции прямой перегонки имеют ароматический индекс CCAI в пределах от 770 до 840 и обладают очень высоким качеством сгорания. Продукты крекинга в бункеровочном топливе могут иметь индекс от 840 до, в исключительных случаях, более 900. В настоящее время большая часть бункеровочного топлива поставляется в диапазоне от 850 до 870. Значение CCAI не всегда может рассматриваться как точный инструмент для определения свойств воспламенения топлива, особенно это касается топлива, производимого в современных условиях и с использованием более сложных процессов переработки.

[4)] Макс. содержание серы должно быть определено в соответствии с установленными ограничениями.

[5)] Натрий способствует горячей коррозии выхлопных клапанов в сочетании с высоким содержанием серы и ванадия. Натрий также значительно усиливает образование отложений на лопатках выхлопных турбин при высоких нагрузках. Агрессивные химические свойства топлива зависят не только от содержания натрия и ванадия, но и от общей зольности топлива. Горячая коррозия и образование отложений также зависят от содержания в зольном остатке прочих элементов. Поэтому сложно установить жесткие ограничения на основе исключительно содержания натрия и ванадия в топливе. Таким образом, топливо с низким содержанием натрия и ванадия, как указано выше, также может вызывать горячую коррозию компонентов двигателя.

[6)] Дата согласования на соответствие указанным стандартам – 1 июля 2012 года. До этого указанные значения даются в качестве руководства.

7) Необходимо удостовериться, что температура застывания подходит для оборудования на борту, особенно если судно работает в условиях холодного климата.

8) В топливе не должно содержаться примесей отработанного смазочного масла (ОСМ). Топливо считается содержащим ОСМ при соответствии одному из приведенных ниже условий:

- Содержание кальция > 30 мг /кг и содержание цинка > 15 мг / кг
- Содержание кальция > 30 мг / кг и содержание фосфора > 15 мг / кг

6.1.3 Жидкое биотопливо

Двигатель может работать на жидких сортах биотоплива в соответствии со спецификацией в *Таблицах 6.4 Спецификация чистого биотоплива* или *6.5 Спецификация биодизеля на базе стандарта EN 14214:2008.* Жидкие сорта биотоплива имеют, как правило более низкую теплотворную способность, чем продукты нефтепереработки, характеристики системы впрыска топлива должны проверяться для каждой конкретной установки.

Если биотопливо предполагается использовать в качестве запального, допускается использование только топлива в соответствии с таблицей Спецификация биодизеля на базе стандарта EN 14214:2008.

Таблица «Спецификация чистого биотоплива» распространяется только на непроизводные сорта биотоплива, такие как пальмовое масло, кокосовое масло, рапсовое масло, ятрофовое масло и т.д., и не распространяется на прочие сорта, например, на животный жир.

Биодизель может смешиваться с дистиллятным топливом. Дистиллятное топливо, применяемое для смешивания, должно соответствовать требованиям, описанным в предыдущих разделах данной главы.

Таблица 6.4 Спецификация чистого биотоплива

Свойство	Единица измерения	Ограничение	Метод испытания
Вязкость при 40°C, макс.[1)]	сСт	100	ISO 3104
Вязкость перед ТНВД, мин.	сСт	2.0	
Вязкость перед ТНВД, макс.	сСт	24	
Плотность при 15°C, макс.	кг/м³	991	ISO 3675 or 12185
Свойства сгорания[2)]			FIA test
Содержание серы, макс.	% массы	0.05	ISO 8574
Общий осадочный потенциал, макс.	% массы	0.05	ISO 10307-1
Содержание воды до двигателя, макс.	% объема	0.20	ISO 3733
Углеродистый остаток (микрометод), макс.	% массы	0.50	ISO 10370
Зольность, макс.	% массы	0.05	ISO 6245 / LP1001
Содержание фосфора, макс.	мг/кг	100	ISO 10478
Содержание кремния, макс.	мг/кг	15	ISO 10478
Щелочность (Na+K), макс.	мг/кг	30	ISO 10478
Температура вспышки (PMCC), мин..	°C	60	ISO 2719
Температура помутнения, макс.	°C	[3)]	ISO 3015
Температура потери текучести, макс.	°C	[3)]	IP 309
Коррозия медной полосы (3 часа при 50°C), макс.	Интенсивность	1b	ASTM D130
Коррозия стали (24/72 часа при 20, 60 и 120°C), макс.	Интенсивность	Без следов коррозии	LP 2902
Кислотное число, макс.	мг KOH/г	15.0	ASTM D664

Свойство	Единица измерения	Ограничение	Метод испытания
Сильное кислотное число, макс.	мг KOH/г	0.0	ASTM D664
Содержание йода, макс.	г йода / 100 г	120	ISO 3961
Синтетические полимеры	% mass	Проверка[4)]	LP 2401 ext. и LP 3402

Примечания:

1) Если максимальная вязкость 24 сСт не может достигаться без подогрева, то топливная система должна быть оборудована подогревателем.

2) Свойства сгорания должны быть аналогичными или лучше, чем в требованиях к продуктам нефтеперегонки, например, цетановое число не менее 35 для MDF и ароматический индекс CCAI макс. 870 для HFO.

3) Температура помутнения и температура потери текучести должны быть как минимум на 10°C градусов ниже температуры впрыска топлива.

4) Сорта биотоплива, получаемые в пищевой промышленности, могут содержать синтетические полимеры, такие как стирол, пропилен и этилен, применяемые в упаковочных материалах. Такие вещества могут вызывать закупоривание фильтров и поэтому не должны содержаться в биотопливе.

Таблица 6.5 Спецификация биодизеля на базе стандарт EN 14214:2008

Свойство	Единица измерения	Ограничение	Метод испытания
Вязкость при 40°C, макс.[1)]	сСт	3.5...5	ISO 3104
Вязкость перед ТНВД, мин.	сСт	2.0	
Плотность при 15°C, макс.	кг/м³	860...900	ISO 3675/12185
Цетановое число, мин.		51	ISO 5165
Содержание серы, макс.	мг/кг	10	ISO 20846 / 20884
Сульфатная зольность, макс.	% массы	0.02	ISO 3987
Общее загрязнение, макс.	мг/кг	24	EN 12662
Содержание воды, макс.	мг/кг	500	ISO 12937
Углеродистый остаток (на 10% дистиллятный остаток), макс.	% массы	0.30	ISO 10370
Содержание фосфора, макс.	мг/кг	4	EN 14107
Металлы 1-й группы (Na+K), макс.	мг/кг	5	EN 14108/14109
Металлы 2-й группы (Ca+Mg), макс.	мг/кг	5	EN 14538
Температура вспышки, мин.	°C	101	ISO 2719A/3679
Температура потери текучести, макс. [2)]	°C	-44...+5	EN 116
Окислительная стабильность при 110°C, мин.	Часов	6	EN 14112
Коррозия медной полосы (3 часа при 50°C), макс.	Интенсивность	Class 1	ISO 2160
Кислотное число, макс.	мг KOH/г	0.5	EN 14104
Содержание йода, макс.	г йода / 100 г	120	EN 14111
Содержание сложных эфиров, мин.	% массы	96.5	EN 14103
Метиловый эфир линоленовой кислоты, макс.	% массы	12	EN 14103

Свойство	Единица измерения	Ограничение	Метод испытания
Полиненасыщенные метиловые эфиры, макс.	% массы	1	
Содержание метилового спирта, макс.	% массы	0.2	EN 14110
Содержание моноглицеридов, макс.	% массы	0.8	EN 14105
Содержание диглицеридов, макс.	% массы	0.2	EN 14105
Содержание триглицеридов, макс.	% массы	0.2	EN 14105
Свободный глицерин, макс.	% массы	0.02	EN 14105/14106
Общее содержание глицерина, макс.	% массы	0.25	EN 14105

Примечания:

1) Свойства текучести разных сортов биодизелей могут быть разными в зависимости от географического положения и качества исходного продукта. Это следует принимать во внимание при проектировании топливной системы.

6.2 Принципы работы

Двигатели Wärtsilä 34DF обычно применяются в многотопливных установках, то есть таких, в которых двигатель может эксплуатироваться как в газовом, так и в дизельном режиме. Смена режима эксплуатации возможна без остановки двигателя и, в определенных пределах, без перебоя выработки энергии. Если происходит сбой подачи газа, двигатель автоматически переводится в дизельный режим (на MDF).

6.2.1 Газовый режим эксплуатации

В газовом режиме эксплуатации основным топливом является газовое топливо, подаваемое в двигатель под низким давлением. Воспламенение газа происходит путем впрыска небольшого количества запального топлива (MDF). Подача газового и запального топлива производится соленоидными клапанами из систем единой магистрали (common rail) с электронным управлением.

6.2.2 Дизельный режим эксплуатации

В дизельном режиме эксплуатации двигатель работает только на жидком топливе. Применяется дизельное или тяжелое топливо, подаваемое традиционной дизельной системой впрыска. При этом постоянно остается в работе система запального дизельного топлива (MDF).

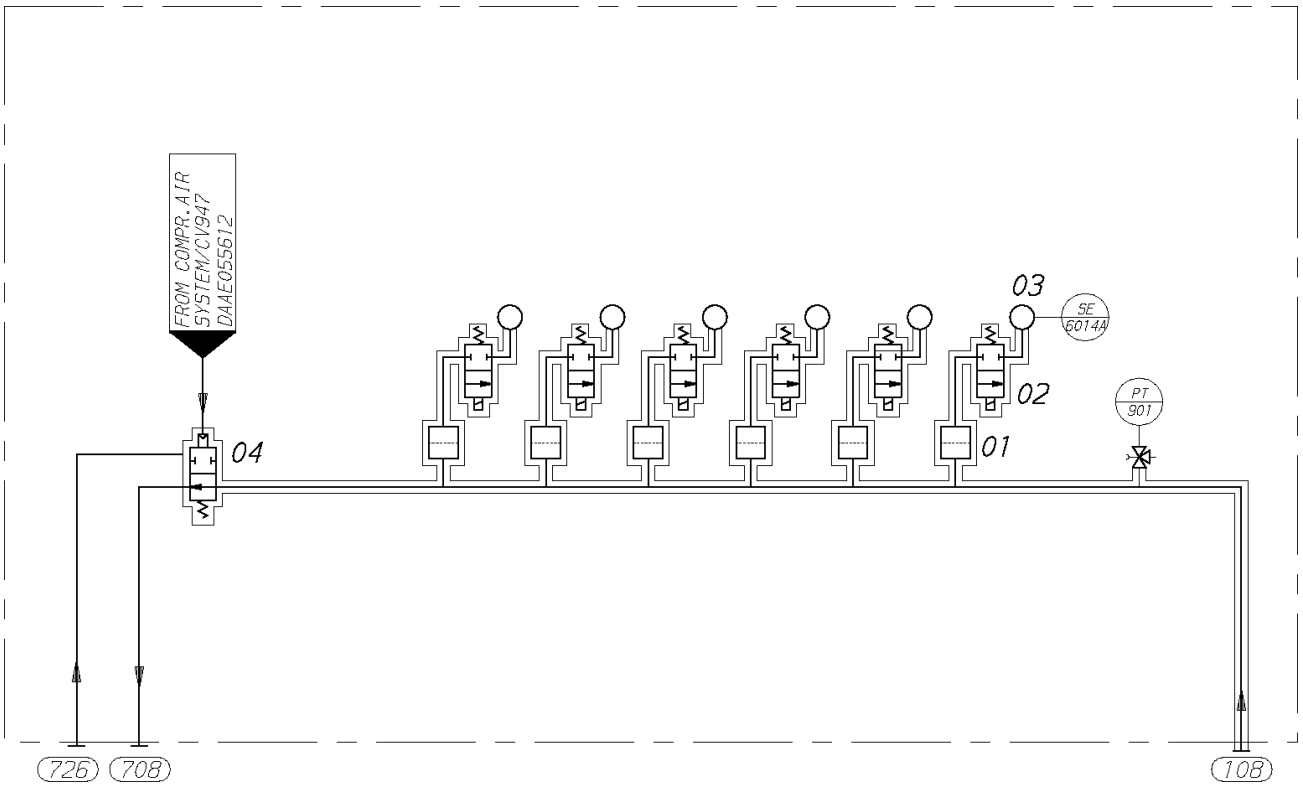
6.2.3 Резервный режим эксплуатации

Система управления и защиты двигателя или система обнаружения обесточивания может в некоторых ситуациях переводить двигатель в резервный режим эксплуатации. В этом режиме система впрыска запального дизельного топлива (MDF) не активна, и работа более, чем в течение 30 минут (на тяжелом топливе HFO) или 10 часов (на дизельном топливе MDF) может привести к забиванию запальных топливных форсунок.

6.3 Система газового топлива

6.3.1 Внутренняя система газового топлива

Рис. 6.1 Внутренняя система газового топлива, рядный двигатель (DAAE055609a)



Системные компоненты

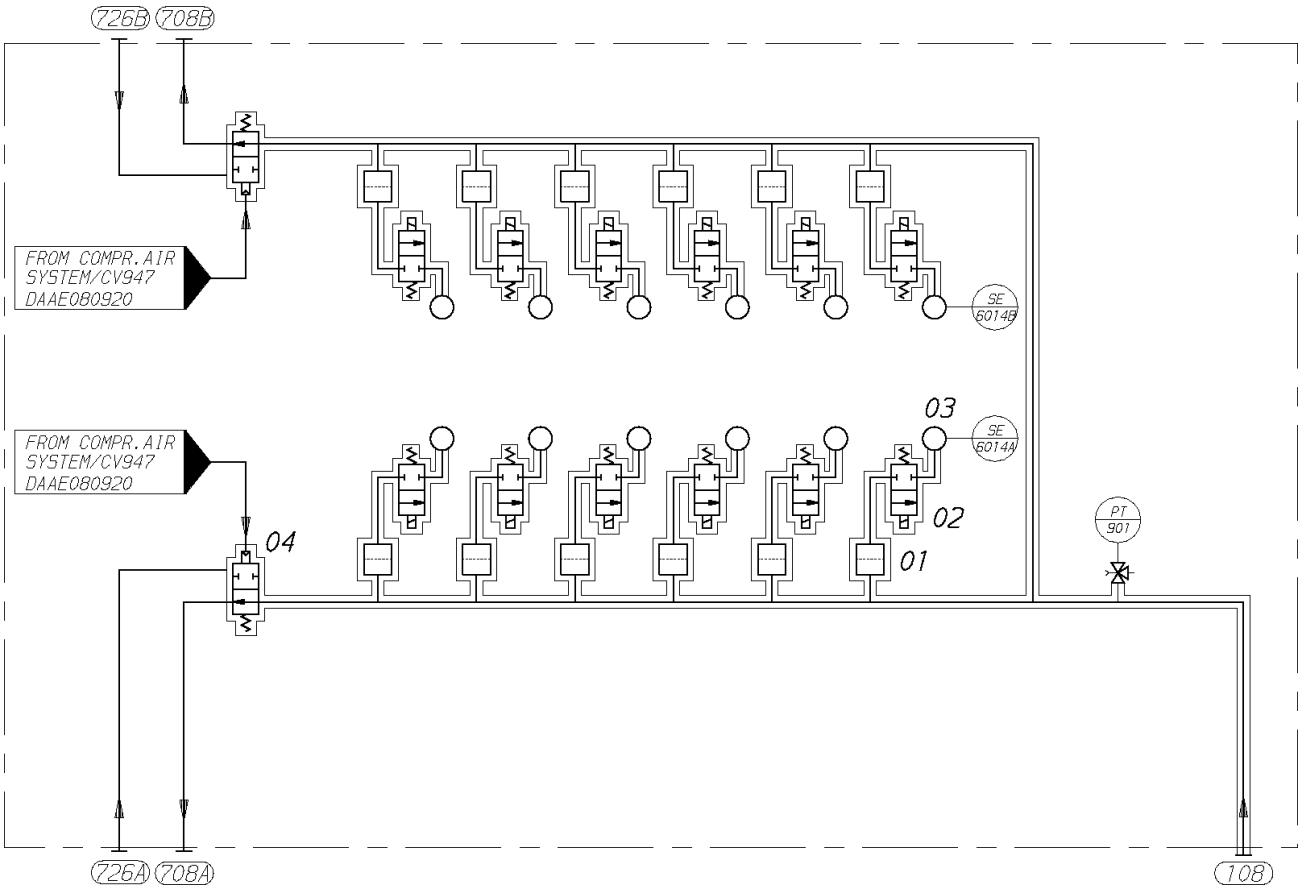
01 Предохранительный фильтр	03 Цилиндр
02 Впускной газовый клапан	04 Вентиляционный клапан

Датчики и индикаторы

SE6014A.. Датчик детонации, цил. A#
PT901 Давление главной линии подачи газа

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
108 Подвод газа	DN80	PN16	ISO 7005-1
708 Вентиляция газовой системы	DN32	PN40	ISO 7005-1
726 Подвод воздуха к двустенной газовой системе	M42*2		

Рисунок 6.2 Внутренняя система газового топлива, двигатель, V-образный двигатель (DAAE080852)



Системные компоненты

01 Предохранительный фильтр	03 Цилиндр
02 Впускной газовый клапан	04 Вентиляционный клапан

Датчики и индикаторы

SE6014A/B.. Датчик детонации, цил. A#/B#

PT901 Давление главной линии подачи газа

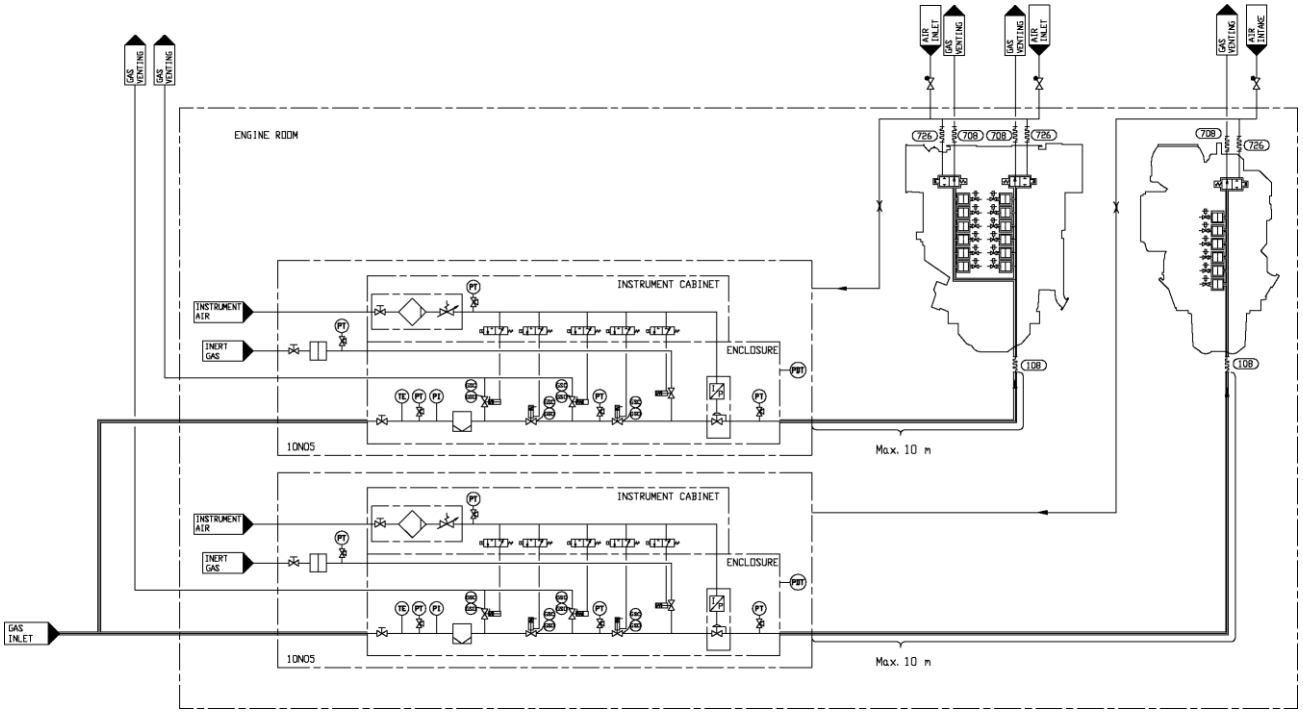
Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
108 Подвод газа	DN80	PN16	ISO 7005-1
708A/B Вентиляция газовой системы	DN32	PN40	ISO 7005-1
726A/B Подвод воздуха к двустенной газовой системе	M42 x 2		

При работе двигателя в газовом режиме впрыск газа производится впускным газовым клапаном во впускной канал каждого цилиндра. Смешивание газа с воздухом сгорания происходит непосредственно на следующем участке схемы после впускного клапана в цилиндровой крышке. Так как время срабатывания газового клапана не зависит от времени срабатывания впускного клапана, продувка цилиндра возможна без риска попадания несгоревшего газа непосредственно из впускного клапана в выпускной.

Вентиляция внутренней полости в установках с двустенными трубопроводами происходит за счет перепада давления, создаваемого вентиляцией. Подвод воздуха во внутреннюю полость находится на двигателе. Воздух может подаваться из-за пределов машинного отделения через специальный трубопровод. Дополнительно при проектировании необходимо учитывать требования классификационного общества по вентиляции конкретного проекта.

6.3.2 Внешняя система газового топлива

Рисунок 6.3 Внешняя система газового топлива, пример (DAAF022750B)



Системные компоненты	Трубопроводы
10N05 Газоклапанный блок	108 Подвод газа 708 Вентиляция газовой системы 726 Подвод воздуха к двустенной газовой системе

Бункеровочное газовое топливо может храниться в виде сжатого газа, сжиженного газа (LNG) при атмосферном давлении или сжиженного газа под давлением. Конструкция внешней системы газового топлива может варьироваться, однако любая из конструкций должна обеспечивать подачу в каждый двигатель природного газа при правильной температуре и давлении.

Двустенные газовые трубопроводы и вентиляция трубопроводов

Вентиляция внутренней полости в установках с двустенными трубопроводами происходит за счет перепада давления, создаваемого вентиляторами. Первый подвод вентиляционного воздуха во внутреннюю полость находится на двигателе. Воздух может подаваться из-за пределов машинного отделения через специальный трубопровод. Второй подвод вентиляционного воздуха расположен со стороны двустенного трубопровода в балластном трюме. Вентиляционный воздух поступает из обоих подводов и идет через внутреннюю полость двустенного трубопровода к корпусу газоклапанного блока. От корпуса газоклапанного блока отдельная вентиляционная труба подсоединена к вентиляторам, а от вентиляторов эта труба идет в безопасную зону. На подводе и отводе вентиляционного воздуха будет формироваться опасная зона в радиусе 1,5 метров; эту опасную зону нужно принимать во внимание при проектировании вентиляционного трубопровода.

Газоклапанный блок (10N05)

Перед подачей газа в двигатель газ проходит через газоклапанный блок (ГКБ). ГКБ включает в себя газовый регулировочный клапан и установленные последовательно блокировочные и предохранительные клапаны, обеспечивающие надежную и безопасную работу на газовом топливе.

В составе блока имеется ручной запорный клапан, продувочные соединения, фильтр, регулировочный клапан газового топлива, запорные блокировочные клапаны, вентиляционные клапаны, манометрические реле и индикаторы, датчик температуры газа и панели управления.

Фильтр тонкой очистки – полнопроточный блок, который защищает от механических загрязнений на последующих участках схемы. Тонкость фильтра 5 микрон (абсолютный размер ячеек).

Перепад давления на фильтре отслеживается, и когда перепад давления превышает допустимое значение из-за загрязнения фильтра, срабатывает АПС.

Регулировочный газовый клапан регулирует давление подачи газа в двигатель в соответствии с нагрузкой двигателя. Управление регулировочным клапаном осуществляется от системы управления двигателем. Система устроена таким образом, чтобы в газовую магистраль двигателя газовое топливо подавалось постоянно под правильным давлением.

Данные с датчиков на ГКБ, а также сигналы открытия и закрытия кланов блока отрабатываются электроникой и электропневматическими устройствами системы управления ГКБ. Все данные о состоянии, поступающие с датчиков и клапанов, можно увидеть на блоке местного дисплея (БМД). БМД установлен в шкафу управления ГКБ.

Два запорных блокировочных клапана вместе с вентиляционными клапанами (между запорными блокировочными клапанами) выполняют функцию блокировочно-разгрузочного блока. Запорные клапаны по запросу эффективно отсекают подачу газа в двигатель. Вентиляционные соленоидные клапаны сбрасывают давление в системе, нагнетающееся при закрытии блокировочных клапанов. Блокировочные и разгрузочные клапаны V03, V05 и клапан инертного газа V07 имеют отказоустойчивую конструкцию, то есть закрываются по сигналу текущей неисправности. Вентиляционные клапаны V02 и V04 имеют отказоустойчивую конструкцию и открываются по сигналу текущей неисправности. Имеется соединение для продувки трубопроводов азотом, см. Рис. «Принципиальная схема газоклапанного блока». Продувка газотопливного трубопровода перед блокировочно-разгрузочными клапанами начинается от системы хранения газа, и газ выдувается через вентиляционный клапан V02 на ГКБ.

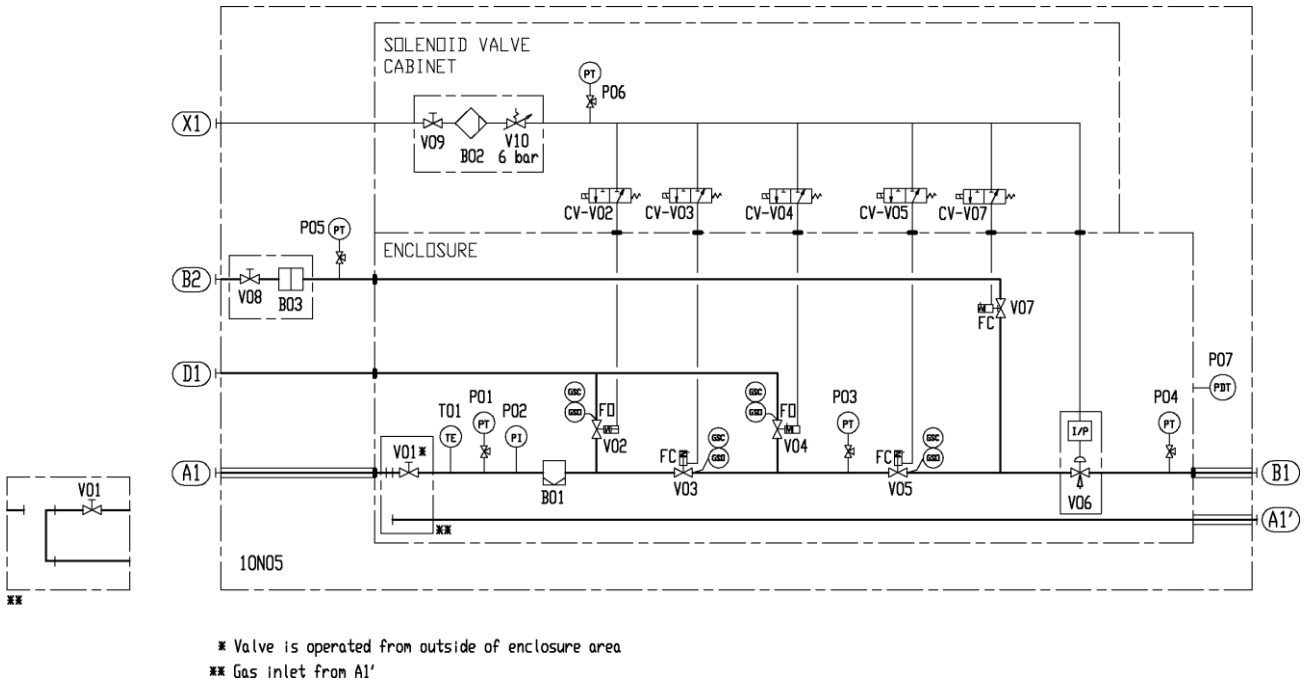
При включении алгоритма остановки в газовом режиме работы многотопливного двигателя (по отсечке газа, отсечке запального топлива, штатной или аварийной остановке или автоматической остановке в газовом режиме, либо при переводе в дизельный режим работы) ГКБ отрабатывает алгоритм отсечки газа и вентиляции. Оба запорных клапана (V03 и V05) на газоклапанном блоке закрываются, а вентиляционный клапан (V04) между запорными клапанами открывается. В дополнение к этому, при аварийной остановке вентиляционный клапан V02 откроется, и при некоторых аварийных ситуациях клапан V07 направит инертный газ по трубам между ГКБ и двигателем.

Перед запуском двигателя в газовом режиме газоклапанный блок отрабатывает алгоритм обнаружения утечки. Эта предосторожность необходима для проверки плотности клапанов и правильной работы компонентов.

Газоклапанным блоком должен быть оборудован каждый двигатель. ГКБ должен располагаться как можно ближе к двигателю для обеспечения быстрой реакции двигателя на переменные условия работы. Максимальное расстояние трубопровода между двигателем и ГКБ – 10 м.

Инертный газ и сжатый воздух должны быть осушенными и чистыми. Максимальное давление инертного газа – 1,5 МПа (15 Бар). Требования к качеству сжатого воздуха приведены в главе «Система сжатого воздуха».

Рисунок 6.4 Принципиальная схема газоклапанного блока (DAAF003882D)



* Valve is operated from outside of enclosure area
** Gas inlet from A1'

Компоненты блока:

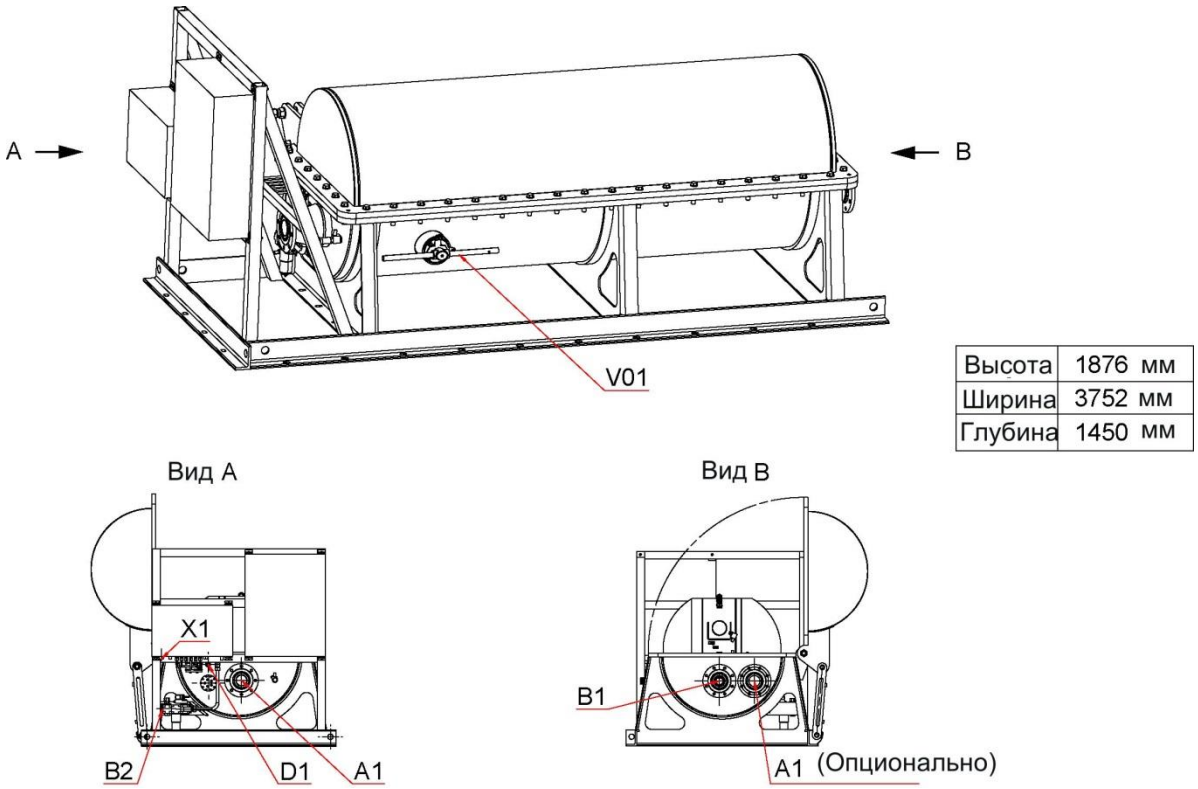
B01	Газовый фильтр	V03	Первый запорный клапан	V08	*Запорный блокировочный клапан*
B02	*Фильтр воздуха управления*	V04	Вентиляционный клапан	V09	Запорный блокировочный клапан
B03	Фильтр инертного газа	V05	Второй запорный клапан	V10	Регулятор давления
V01	Ручной запорный блокировочный клапан	V06	Газорегулирующий клапан	CV-V0#	Соленоидный клапан
V02	Вентиляционный клапан	V07	*Продувочный клапан*		

Датчики и индикаторы

P01	Преобразователь давления, подвод газа	P05	Преобразователь давления, инертный газ
P02	Манометр, подвод газа	P06	*Преобразователь давления, воздух управления*
P03	Преобразователь давления	P07	Преобразователь давления
P04	Преобразователь давления, отвод газа	T01	Температурный датчик, подвод газа

Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
A1 Подвод газа (5-10 Бар(г))	DN80/DN125	DN16	ISO 7005-1
A1' Опционный подвод газа/Подвод воздуха	DN80/DN125	DN16	ISO 7005-1
B1 Отвод газа	DN80/DN125	DN16	ISO 7005-1
B2 Инертный газ (макс. 15 Бар(г))	G1/2' '	DN16	DIN 2353
D1 Вентиляция газа	DN16		DIN 2353
X1 Рабочий воздух (6-8 Бар(г))	G1/2' '		DIN 2353

Рисунок 6.5 Основные габариты ГТБ (DAAF020519)



Главный газовый клапан

Кодекс IMO IGC требует установки главного газового клапана в системе подачи газового топлива на газовозах (танкерах СПГ).

Требуется, по крайней мере, один главный газовый клапан, однако рекомендуется применять по одному клапану на каждый двигательный отсек для обеспечения независимой эксплуатации.

Всегда рекомендуется установка одного главного запорного клапана за пределами машинного и клапанного отделения в установке любого типа.

Вентиляция газового топлива

В определенных ситуациях в ходе нормальной работы многотопливного двигателя, а также в связи с определенными неполадками, возникает необходимость безопасной вентиляции трубопроводов газового топлива. При отработке алгоритма остановки многотопливного двигателя в газовом режиме вентиляционные клапаны ГБК и двигателя выполняют процедуру вентиляции для стравливания давления из газопроводов.

Дополнительно, при аварийной остановке клапан V02 будет стравливать давление из газопровода, идущего от ГБК.

Образующееся небольшое количество газа может выводиться в атмосферу либо в пространство, в котором отсутствуют источники возгорания.

Помимо вывода в атмосферу могут рассматриваться альтернативные способы утилизации газа (например, в специальной горелке). Однако такие меры должны одобряться в каждом индивидуальном случае классификационным обществом.

ВНИМАНИЕ! Все вентиляционные и продувочные трубопроводы, в которых может находиться газовое топливо, всегда должны прокладываться с постоянным уклоном вверх для исключения возможности скапливания газа в этих трубопроводах.

В случае если многотопливный двигатель останавливается в газовом режиме, открытие вентиляционных клапанов быстро понижает давление в газопроводах до атмосферного.

В вентиляционных линиях должен поддерживаться минимальный перепад давления.

Для предотвращения попадания газа в другой двигатель во время техобслуживания вентиляционные линии от системы подачи газа или ГБК других двигателей не должны

пересекаться друг с другом. Однако вентиляционные линии от одного двигателя могут быть подсоединены к общему коллектору.

Продувка инертным газом

До начала техобслуживания в системе трубопроводов газового топлива должно быть стравлено давление и произведена ее продувка инертным газом. Если будут проводиться работы по техобслуживанию после ГБК и корпус ГБК не будет открыт, то достаточно продуть газопровод между ГБК и двигателем. Если техобслуживание будет проводиться на ГБК и необходимо будет открыть корпус ГБК для прохода газа по направлению от ГБК, то запорные блокирующие клапаны должны быть продуты от системы хранения газа. Трубопроводы двигателя 34DF и газоклапанного блока оборудованы продувочными соединениями для инертного газа (азота).

Продувка газопроводов инертным газом может понадобиться и в качестве штатной процедуры при работе двигателя. Соответствующие мероприятия должны рассматриваться отдельно в каждом индивидуальном случае. Продувочное соединение установлено на ГКБ для обеспечения возможности продувки трубопроводов между ГКБ и двигателем.

Давление на подаче газа

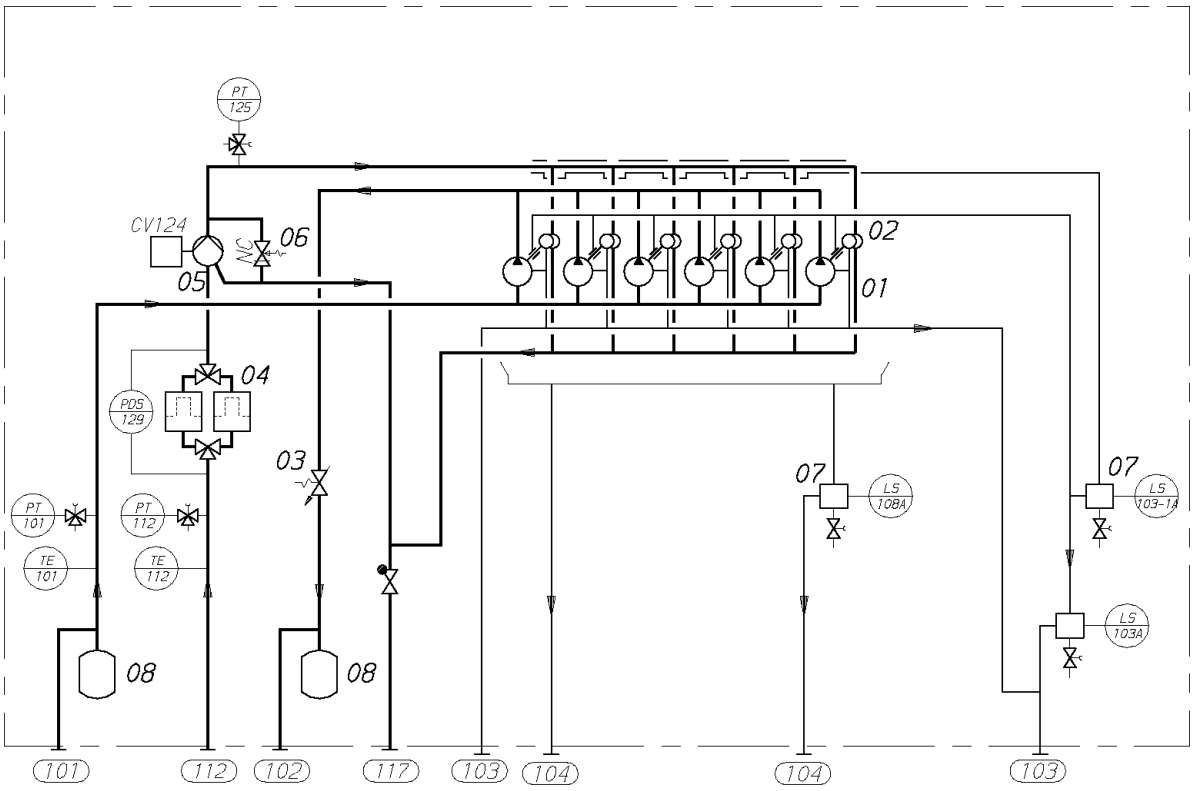
Необходимое давление газового топлива зависит от ожидаемой низшей теплотворной способности (НТС) газового топлива, а также от падения давления в системе подачи газа в двигатель. НТС газового топлива должна быть выше 28 МДж/м^3 при 0°C и 101,3 кПа.

- При низшей теплотворной способности газа 28 МДж/м3 при 0°C и 101.3 кПа соответствующее необходимое давление газа на подводе ГКБ при 100% нагрузке двигателя составляет 515 кПа (манометрическое давление).
- При низшей теплотворной способности газа 36 МДж/м3 при 0°C и 101.3 кПа соответствующее необходимое давление газа на подводе ГКБ при 100% нагрузке двигателя составляет 472 кПа (манометрическое давление).
- При низшей теплотворной способности газа между 28 МДж/м3 и 36 МДж/м3 при 0°C и 101.3 кПа соответствующее необходимое давление газа на подводе ГКБ вычисляется методом интерполяции.
- Необходимо учесть потери давления в системе подачи газа на двигатель, чтобы рассчитать необходимое давление газа.
- В качестве рекомендуемого перепада давления можно использовать значение 120 кПа на ГБК.
- Необходимое давление газа на подводе к двигателю зависит от нагрузки двигателя. Регулировка осуществляется на ГКБ.

6.4 Система дизельного топлива

6.4.1 Внутренняя топливная система

Рисунок 6.6 Внутренняя топливная система, рядные двигатели (DAAE055610a)



Системные компоненты

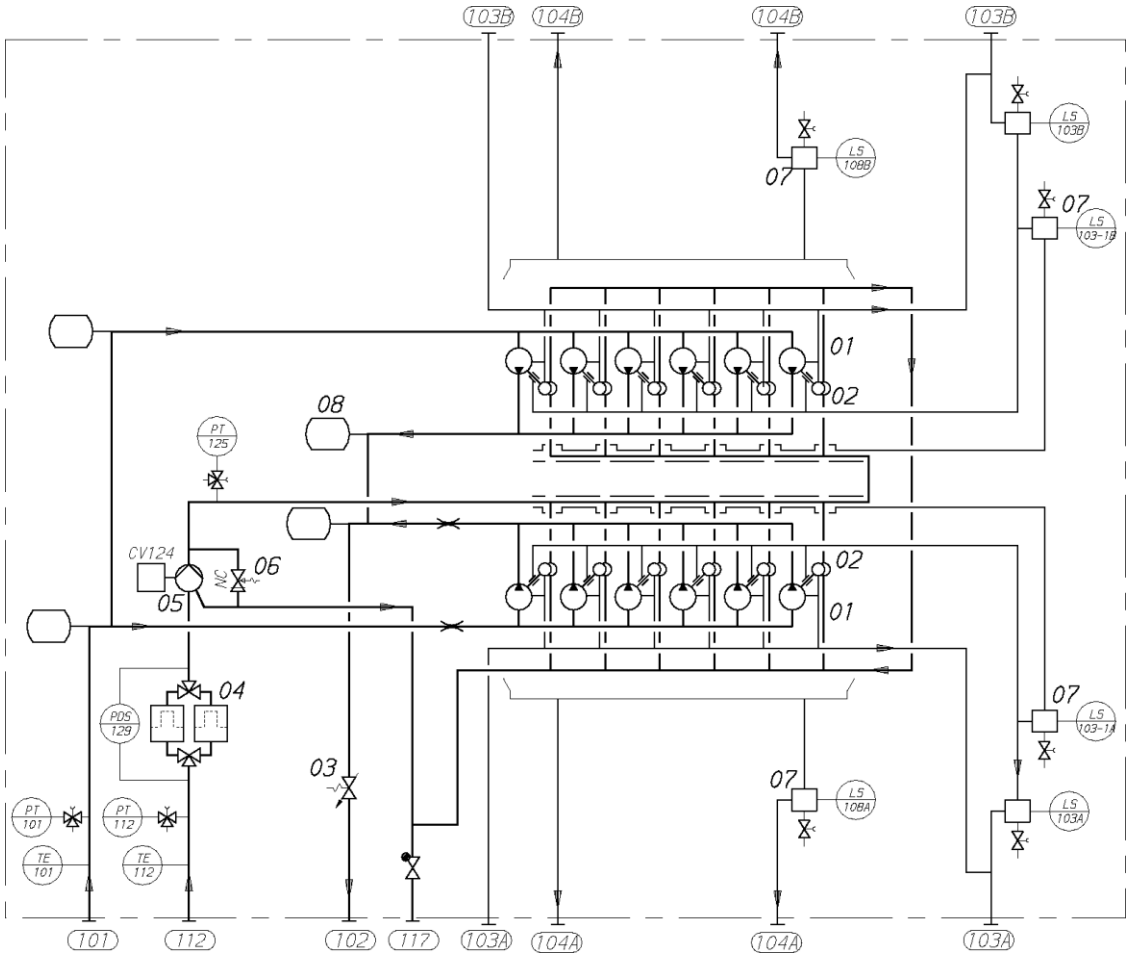
01	ТНВД	05	Насос запального топлива
02	Форсунка с соленоидом запального топлива и распылителем	06	Предохранительный фильтр запального топлива
03	*Клапан регулировки давления*	07	Накопитель утечного топлива
04	*Фильтр запального топлива*	08	*Демпфер пульсаций*

Датчики и индикаторы

PT101	Давление на подводе топлива	PT112	Давление на подводе запального топлива
TE101	Температура на подводе топлива	TE112	Температура на подводе запального топлива
LS103-1A	Уровень чистого утечного запального топлива	CV124	Давление запального топлива на контрольном клапане
LS103A	Уровень чистого утечного основного топлива	PT125	*Давление запального топлива, отвод насоса*
LS108A	Уровень утечного грязного топлива	PDS129	Перепад давления на фильтре запального топлива

Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
101 Подвод топлива	DN32	PN40	ISO 7005-1
102 Отвод топлива	DN32	PN40	ISO 7005-1
103 Слив утечного чистого топлива	OD28		DIN 2353
104 Слив утечного грязного топлива	OD18		DIN 2353
112 Подвод запального топлива	OD22		DIN 2353
117 Отвод запального топлива	OD22		DIN 2353

Рис. 6.7 Внутренняя топливная система,V-образные двигатели (DAAE080918)



Системные компоненты

01	ТНВД	05	Насос запального топлива
02	Форсунка с соленоидом запального топлива и распылителем	06	Предохранительный фильтр запального топлива
03	Клапан регулировки давления	07	Накопитель утечного топлива
04	Фильтр запального топлива	08	Демпфер пульсаций

Датчики и индикаторы

PT101	Давление на подводе топлива	PT112	Давление на подводе запального топлива
TE101	Температура на подводе топлива	TE112	Температура на подводе запального топлива
LS103-1A/1B	Уровень чистого утечного запального топлива, ряд A/ ряд B	CV124	Давление запального топлива на контрольном клапане
LS103A/B	Уровень чистого утечного основного топлива, ряд A/ ряд B	PT125	*Давление запального топлива, отвод насоса*
LS108 A/B	Уровень утечного грязного топлива, ряд A/ ряд B	PDS129	Перепад давления на фильтре запального топлива

Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
101 Подвод топлива	DN32	PN40	ISO 7005-1
102 Отвод топлива	DN32	PN40	ISO 7005-1
103A/B Слив утечного чистого топлива	OD28		DIN 2353
104A/B Слив утечного грязного топлива	OD18		DIN 2353
112 Подвод запального топлива	OD22		DIN 2353
117 Отвод запального топлива	OD22		DIN 2353

Предусмотрены отдельные трубопроводы для основного топлива и запального топлива. В качестве основного топлива могут применяться дизельное топливо (MDF) или тяжелое топливо (HFO). В качестве запального топлива всегда используется MDF; система запального топлива работает и в газовом, и в дизельном режиме.

Регулировочный клапан в возвратной линии основного топлива на двигателе поддерживает заданное давление перед ТНВД.

Система утечного топлива

Чистое топливо, просочившееся из клапанов впрыска топлива и ТНВД, собирается в двигателе и выходит самотеком через подсоединение для чистого утечного топлива. Чистое топливо может быть заново использовано без сепарации. Количество утечки чистого топлива приведено в главе «Технические данные».

Иные возможные утечки топлива, воды и масла отводятся отдельно от хот-бокса через систему грязного утечного топлива и должны уходить в шламовый танк.

6.4.2 Внешняя топливная система

Конструкция внешней системы газового топлива может варьироваться, однако любая из конструкций должна обеспечивать подачу в каждый двигатель хорошо очищенного топлива необходимой вязкости при соответствующем давлении. Температурный контроль необходим для постоянного поддержания правильного значения вязкости топлива перед ТНВД (см. главу «Технические данные»). Во всех режимах работы должна быть обеспечена достаточная циркуляция топлива через каждый двигатель, подсоединённый к одному и тому же контуру.

Система очистки топлива должна включать в себя, по крайней мере, один отстойник и два сепаратора. Наиболее важным является правильное задание размеров сепараторов тяжёлого топлива, следовательно, необходимо точно следовать рекомендациям производителя сепаратора. Плохо центрифугированное топливо вредно для двигателя, а высокое содержание воды может также нанести вред системе подачи топлива.

ТНВД создают импульсы давления в трубопроводе подачи топлива и в возвратном трубопроводе. Топливопроводы между блоком топливоподготовки и двигателем должны быть как следует закреплены к жёстким конструкциям. Расстояние между точками крепления рядом с двигателем должно быть небольшим. См. главу «Разработка, обработка и установка трубопроводов».

Перед двигателем необходимо обеспечить соединение для сжатого воздуха, а также слив из возвратного топливопровода к соединению чистого топлива утечки или расширительному танку. При таком расположении становится возможным выдуть топливо из двигателя до начала технического обслуживания, чтобы избежать пролива жидкости.

ВНИМАНИЕ! В установках с главными двигателями, когда несколько двигателей подсоединены к одному и тому же контуру подачи топлива, должна существовать возможность по отдельности перекрывать трубу подачи топлива и возвратный трубопровод, подсоединённые к двигателю. Это требование конвенции SOLAS. Сверх того ставятся условия, что способ отключения не окажет влияния на работу остальных двигателей, и что возможно перекрыть топливопроводы в том случае, если они окажутся недоступными из-за пожара на любом из двигателей.

Требования по подогреву тяжёлого топлива

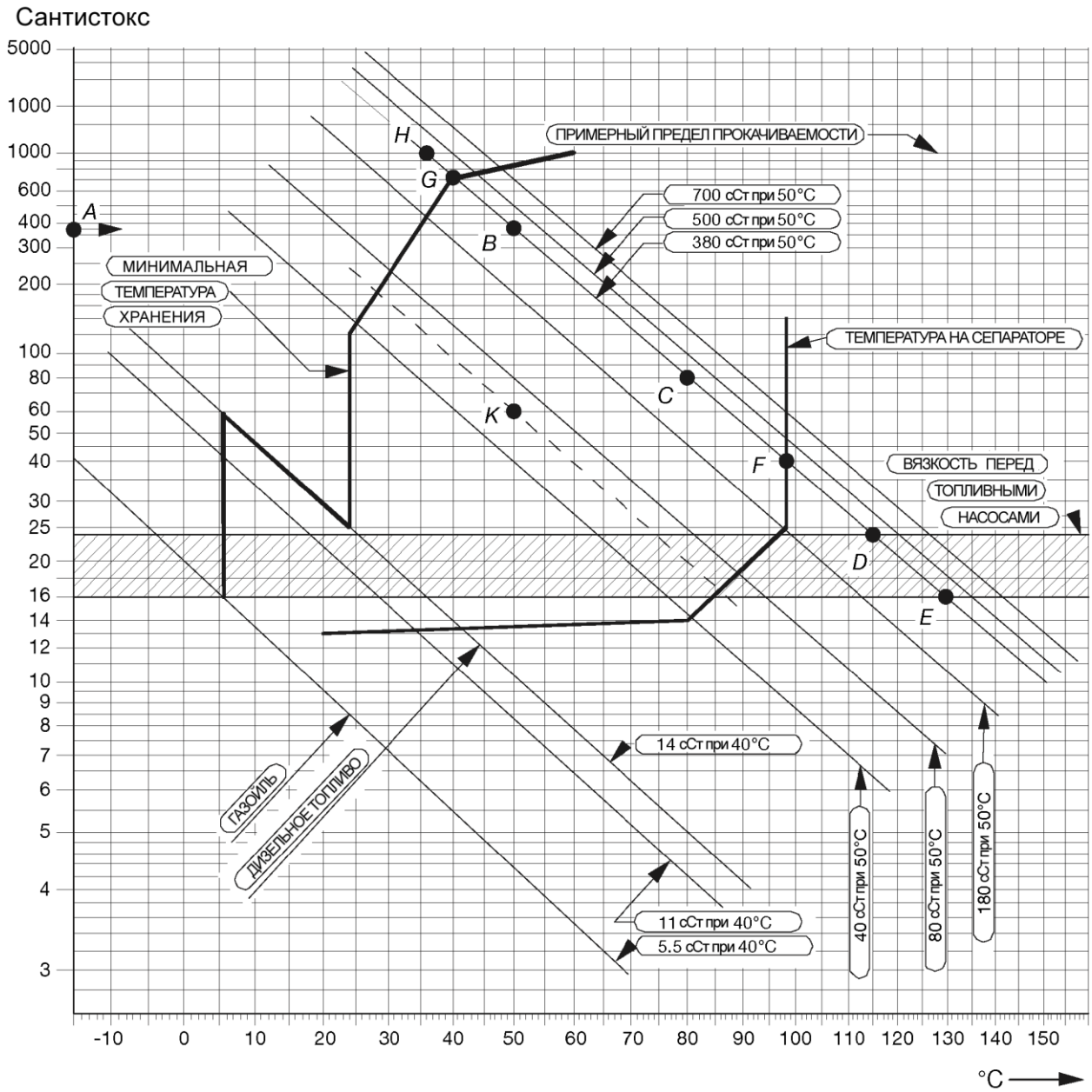
Подогрев необходим для:

- Топливных цистерн, отстойников, расходных танков
- Трубопроводов (обогрев линии)
- Сепараторов
- Подкачивающих насосов/блоков топливоподготовки

Для возможности работы насосов температура топливных цистерн должна всегда поддерживаться на 5....10˚C выше температуры застывания, обычно при 40…50˚C. Нагревательные элементы могут быть рассчитаны на температуру 60˚C.

Нагревательная способность танка определяется тепловыми потерями топливных цистерн и заданной степенью увеличения температуры.

Рис. 6.8 Диаграмма «вязкость топлива/температура» для определения температур предварительного нагрева жидких топлив (4V92G0071b)



Пример 1: Топливо вязкостью 380 сСт (A) при 50°C (B) или 80 сСт при 80°C (C) должно прогреваться до 115-130°C (D-E) до ТНВД, до 98°C (F) до центрифуги и до мин. 40°C (G) в бункеровочных танках. Перекачка топлива может быть невозможна при температуре ниже 36°C (H).

Для определения температур промежуточных значений вязкости провести линию от известной точки вязкости/температуры параллельно ближайшей линии зависимости вязкости/температуры на таблице.

Пример 2: Известная вязкость 60 сСт при 50°C (K). По пунктирной линии можно определить: вязкость при 80˚C = 20 сСт, температуру на впрыскивающих насосах 74 - 87˚C, температуру на сепараторе 86˚C, минимальную температуру в бункеровочных танках 28˚C.

Топливные танки

Сначала топливо перемещается из бункеровочных танков в отстойник для первоначального отделения осадка и воды. После центрифугирования топливо поступает в расходные танки, из которых топливо подаётся к двигателю.

Отстойник для тяжёлого топлива (1T02) и дизельного топлива (1T10)

Для тяжёлого топлива и дизельного топлива рекомендуются раздельные отстойники.

Для того чтобы гарантировать достаточность времени отстаивания (отделения воды и осадка), объём каждого танка должен быть достаточным для мин. 24 часов работы при максимальном расходе топлива.

Танки должны быть оборудованы внутренними перегородками для обеспечения эффективности отстаивания, а также дно должно быть под наклоном для надлежащего слива.

Температура в отстойнике тяжёлого топлива должна поддерживаться между 50˚C и 70˚C, для чего необходимы нагревательный элемент и теплоизоляция танка. Отстойники дизельного топлива обычно не требуют обогрева или изоляции, однако температура танка должна находиться в пределах 20…40˚C.

Расходный танк для тяжёлого топлива (1T03) и дизельного топлива (1T06)

Необходимо обеспечить два расходных танка для тяжёлого топлива, каждый объёмом, достаточным для, по крайней мере, 8 часов работы при максимальном расходе топлива.

Для дизельного топлива назначается отдельный танк. Объёма танка с дизельным топливом должно хватать на 8 часов подачи топлива.

Отстойники не могут быть использованы взамен расходных танков.

Расходный танк должен быть сконструирован так, чтобы предотвращать скопление шлама рядом с всасывающей трубой, а дно танка должно быть наклонным для достижения эффективности сливания.

Расходные танки тяжёлого топлива должны быть оборудованы нагревательными элементами и теплоизолированы. Рекомендуется, чтобы значение вязкости в расходных танках было меньше 140 сСт. Из-за риска появления воскообразных образований, топливо со значением вязкости ниже 50 сСт при 50˚C необходимо хранить при температуре выше, чем того требует вязкость. Непрерывное сепарирование в настоящее время является принятой практикой, это означает, что температура расходного танка с тяжёлым топливом обычно находится выше 90˚C.

Температура танка дизельного топлива должна быть в диапазоне 20…40˚C.

Уровень танка должен обеспечивать положительное статическое давление со стороны всасывания топливоподающих насосов. Если предполагается пуск на дизельном топливе в условиях отсутствия электричества, необходимо расположить танк, по меньшей мере, на 15 метров выше коленвала двигателя.

Танк утечного топлива, чистое топливо (1T04)

Чистое топливо утечки вытекает из двигателя под действием силы тяжести. Необходимо собирать топливо в отдельный танк для чистого топлива утечки, откуда оно может быть перекачено в расходный танк и заново использовано без сепарации. Трубы от двигателя к танку чистого топлива утечки должны устанавливаться под постоянным уклоном. Танк и трубопровод должны подогреваться и быть изолированы, кроме случаев, когда установка предназначена для работы только на дизельном топливе.

В установках, работающих на тяжелом топливе, во избежание смешивания чистого утечного MDF и HFO необходим переключающий клапан (1V13). Во время работы в газовом режиме и циркуляции MDF в системе чистое утечное дизельное топливо должно отводиться в танк утечного чистого дизтоплива. Таким образом, дизельное топливо может перекачиваться обратно в расходный танк MDF (1T06).

При переходе с HFO на MDF клапан 1V13 должен направлять топливо в утечный танк HFO в течение достаточно долгого времени для того чтобы исключить попадание тяжелого топлива в утечный танк чистого дизтоплива.

Пример внешней системы тяжелого топлива см. в разделе «Система подачи топлива - установки для работы на тяжелом топливе».

Трубопровод топлива утечки должен быть целиком замкнутым, чтобы предотвратить попадание грязи внутрь системы.

Подготовка топлива

Сепарация

Тяжёлое топливо (остаточное и смеси остаточных и дистиллятных фракций) перед перемещением в расходный танк подвергаются очистке в эффективных центробежных сепараторах.

Классификационные правила требуют использовать блок сепарации с излишней производительностью, чтобы требуемая производительность поддерживалась при любой одной неработающей установке.

Необходимо чётко следовать всем рекомендациям производителя сепаратора.

Для удаления воды и возможных примесей также рекомендуются центробежные пакетные сепараторы (для установок, работающих только на дизельном топливе). Производительность сепараторов дизельного топлива должна быть достаточной для того, чтобы обеспечивать подачу топлива при максимальном расходе топлива. Если центробежные сепараторы оказываются слишком дорогими для установок на дизельном топливе, тогда вместо них допустимо использовать коалесцирующие фильтры. Коалесцирующие фильтры обычно устанавливаются с всасывающей стороны циркуляционного насоса системы подачи топлива. Фильтр должен обладать малым перепадом давления, чтобы избежать кавитации в насосе.

Режим работы сепаратора

Наилучшая эффективность сепарации достигается, когда постоянно дополнительно работает резервный сепаратор и пропускная способность снижена в соответствии с текущим расходом топлива.

Сепараторы с мониторингом очищенного топлива (без гравитационного диска), работающие непрерывно, могут пропускать топливо с плотностью, превышающей 991 кг/м3 при 15˚C. В этом случае основной и резервный сепараторы должны работать параллельно.

Когда используются сепараторы с гравитационным диском, тогда каждый резервный сепаратор должен работать последовательно с другим сепаратором, так чтобы первый сепаратор выступал в роли очистителя, а второй – осветлителя. Такая схема расположения применяется для топлив плотностью макс. 991 кг/м^3 при 15°C. Сепараторы должны быть одинакового размера.

Эффективность сепарации

Термин «гарантированный расход» (ГР, CFR) был предложен, чтобы выразить рабочие характеристики сепараторов в соответствии с общепринятыми стандартами. ГР определяется как расход (литры/час) через 30 минут после слива осадка, когда эффективность сепаратора равна 85%, при использовании определённых тестовых видов топлива и частиц. ГР задаётся для эквивалентных вязкостей топлива, равных 380 сСт и 700 сСт при 50˚C. Больше информации содержится в документе CWA 15375:2005 (E), разработанном ЕКС (европейской комиссии по стандартизации).

Эффективность сепарации – это мера способности сепаратора удалять определённые пробные частицы. Эффективность сепарации определяется следующим образом:

$$n = 100 \times \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right)$$

где:

n = эффективность сепарации [%]

C_{out} = число пробных частиц в очищенном тестовом топливе

C_{in} = число пробных частиц в тестовом топливе перед сепаратором

Блок сепаратора (1N02/1N05)

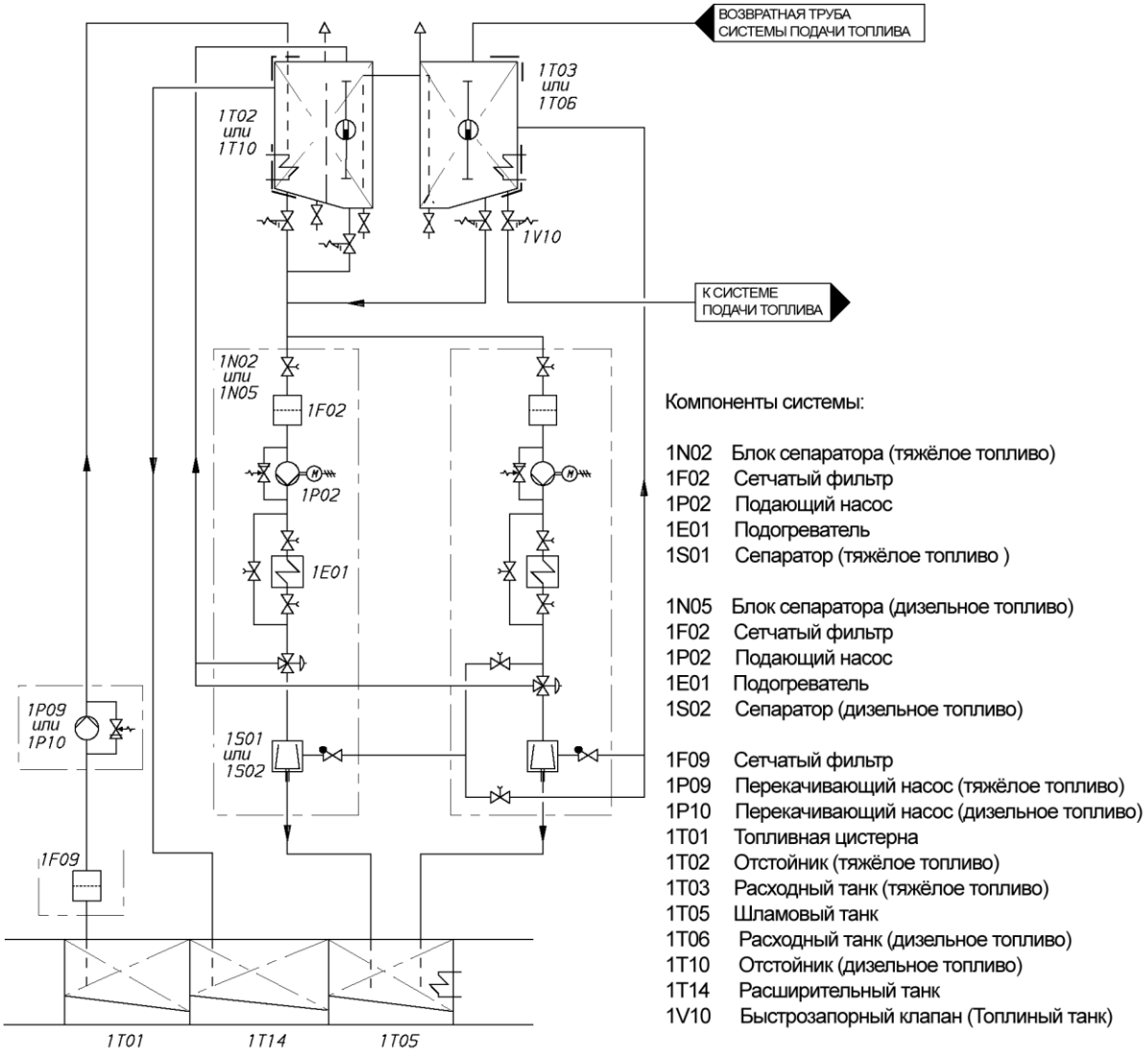
Сепараторы обычно поставляются как предварительно собранные блоки, разработанные производителем сепаратора.

Типично сепараторные модули оборудованы:

- Сетчатым фильтром на всасывающей линии (1F02)

- Подающим насосом (1P02)
- Подогревателем (1E01)
- Шламовым танком (1T05)
- Сепаратором (1S01/1S02)
- Шламовым насосом
- Шкафами управления, включающими пускатели электродвигателей и контрольное устройство

Рис. 6.9 Перекачка топлива и система сепарации (3V76F6626d)



Подающие насосы сепаратора (1P02)

Подающие насосы должны рассчитываться, принимая во внимание реальное качество топлива, а также рекомендованную пропускную способность сепаратора.

Насос должен защищаться сетчатым фильтром (с размером ячейки около 0,5 мм)

Для контроля нормы подачи топлива в сепаратор требуется одобренная система.

Данные для проектирования:	**HFO**	**MDF**
Расчетное давление	0,5 МПа (5 Бар)	0,5 МПа (5 Бар)
Расчетная температура	100°C	50°C
Вязкость для задания параметров электромотора	1000 сСт	100 сСт

Подогреватель сепаратора (1E01)

Подогреватель, как правило, рассчитывается в соответствии с пропускной способностью подающего насоса и заданной температурой отстойного танка.

Температура поверхности подогревателя не должна быть слишком высокой, чтобы избежать крекинга топлива. Контроль температуры должен обеспечивать поддержание температуры топлива в пределах ± 2˚C.

Рекомендуемая температура топлива после подогревателя зависит от вязкости, но обычно составляет 98˚C для тяжёлого топлива и 20…40˚C для дизельного топлива. Оптимальная температура работы задаётся производителем сепаратора.

Минимальная требуемая мощность подогревателя составляет:

$$P = \frac{Q \times \Delta T}{1700}$$

где:

P = мощность подогревателя [кВт]

Q = производительность подающего насоса сепаратора [л/ч]

ΔT = повышение температуры подогревателем [˚C]

Для тяжелых сортов топлива можно принять ΔT = 48˚C, то есть температура в отстойном танке равна 50°C. Сорта топлива с вязкостью выше 5 сСт при 50°C требуют предварительного нагрева перед сепаратором.

Подогреватели должны быть оснащены предохранительными клапанами и сливными трубами, ведущими к танку утечки (таким образом, чтобы возможные утечки могли быть обнаружены).

Сепаратор (1S01/1S02)

Основываясь на времени сепарации (23 или 23.5 ч/сутки), пропускная способность Q [л/ч] сепаратора может быть оценена по формуле:

$$Q = \frac{P \times b \times 24[h]}{\rho \times t}$$

где:

P = макс. продолжительная мощность дизельного двигателя (двигателей) [кВт]

b = удельный расход топлива + 15% запас, г/кВт

ρ = плотность топлива, кг/м3

t = суточное время сепарации для самоочищающихся сепараторов, ч (обычно = 23 ч или 23,5 ч)

Недопустимо превышать рекомендованные для сепаратора значения расходов топлива и качество топлива. Чем меньше расход, тем больше эффективность сепаратора.

Перед и после сепаратора необходимо установить пробоотборные клапаны.

Сепаратор дизельного топлива в установках, работающих на тяжёлом топливе (1S02)

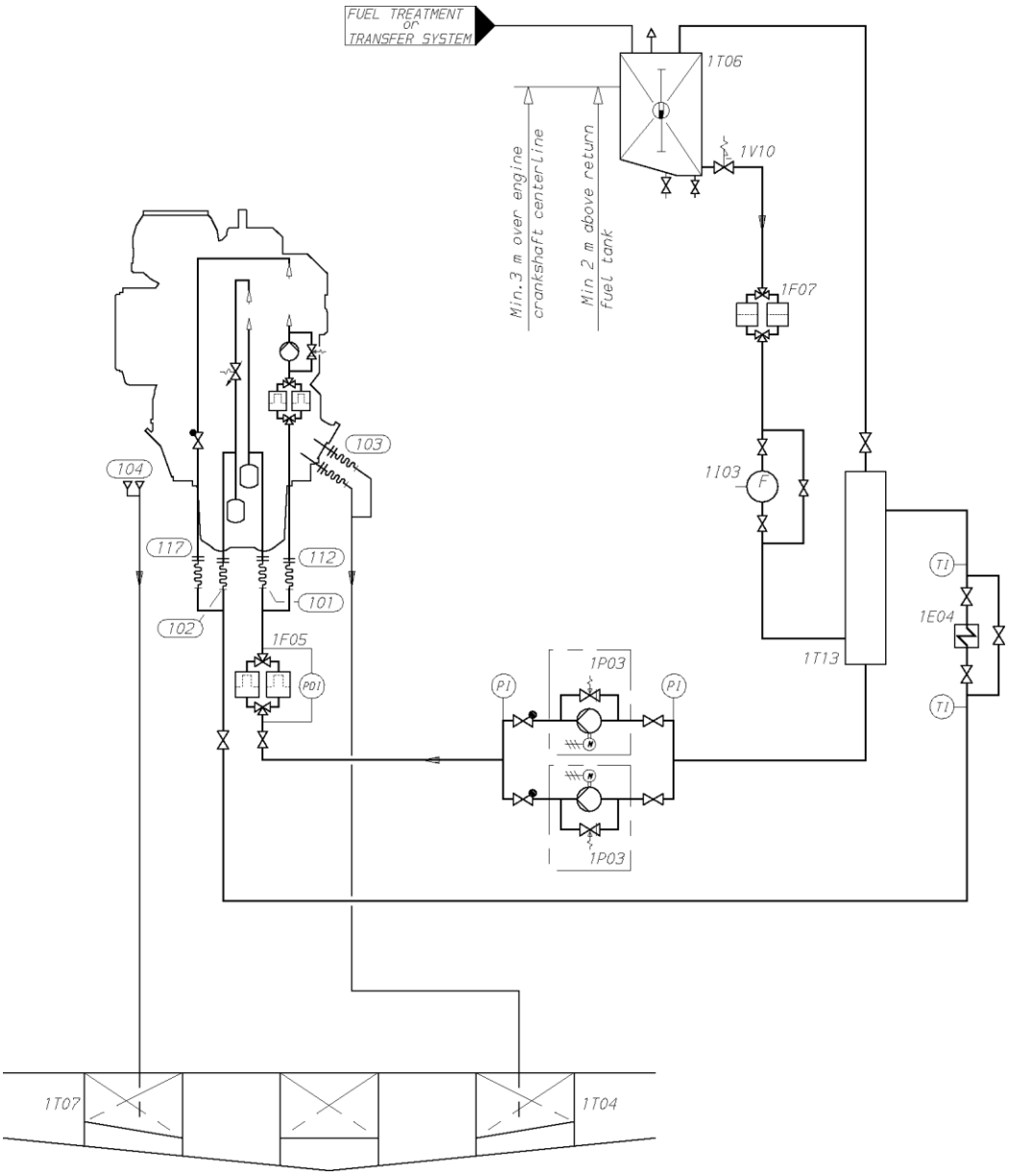
Для установок, работающих главным образом на тяжёлом топливе, рекомендуется также установить сепаратор дизельного топлива. В качестве сепаратора дизельного топлива может использоваться специальный сепаратор меньшего размера, или резервный сепаратор тяжёлого топлива.

Шламовый танк (1T05)

Шламовый танк должен располагаться непосредственно под сепараторами, или как можно ближе к сепараторам, кроме случаев, когда он интегрирован в сепараторный блок. Труба шламового танка должна быть установлена с постоянным уклоном вниз.

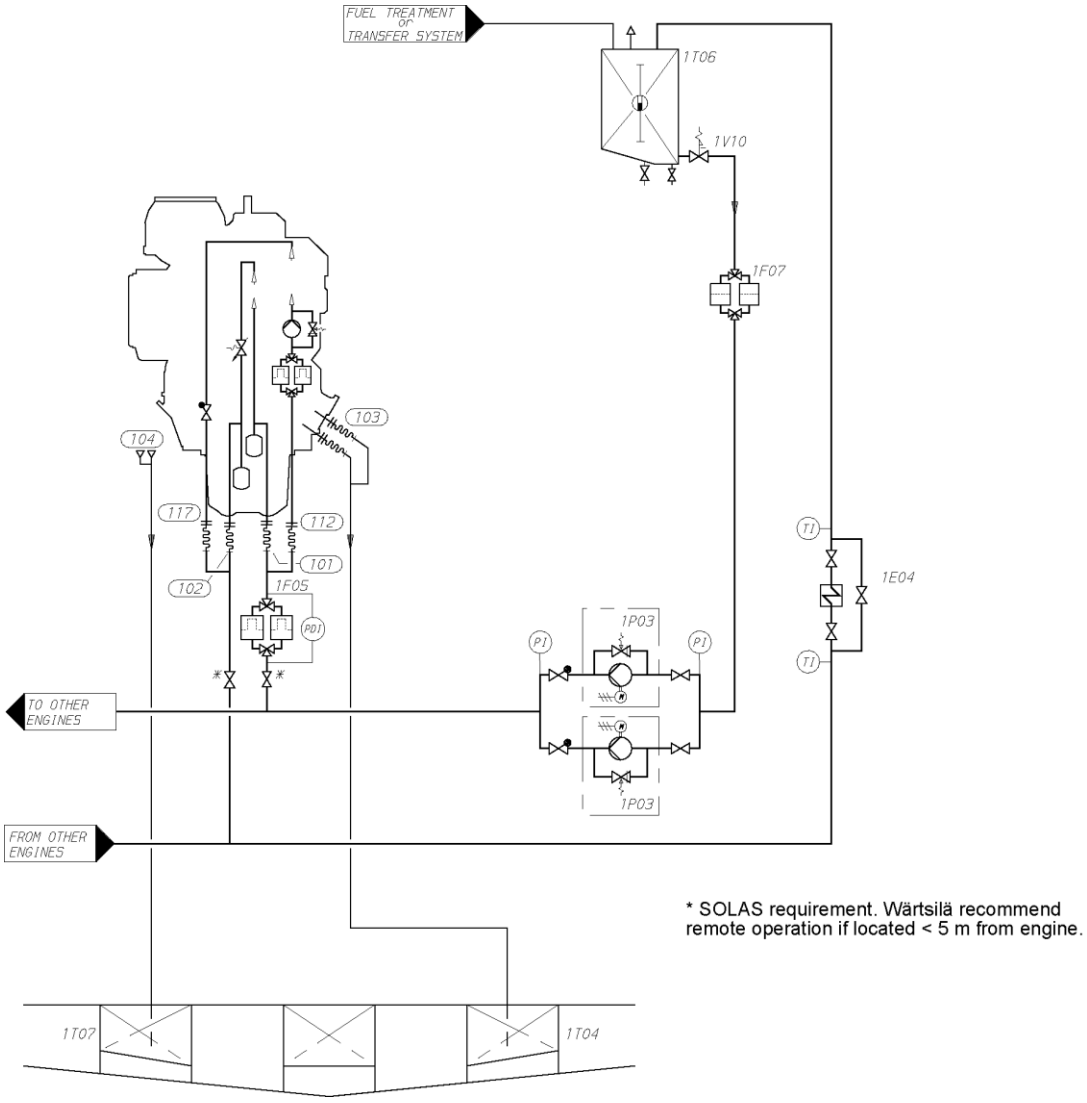
Система подачи топлива – установки на дизельном топливе

Рисунок 6.10 Пример топливной системы (MDF), установка с одним двигателем (DAAE055756a)



Системные компоненты	Трубопроводы
1E04 Холодильник (MDF)	101 Подвод топлива
1F05 Фильтр тонкой очистки (MDF)	102 Отвод топлива
1F07 Фильтр грубой очистки (MDF)	103 Слив утечного чистого топлива
1I03 Расходомер (MDF)	104 Слив утечного грязного топлива
1P03 Циркуляционный насос (MDF)	112 Подвод запального топлива
1T04 Танк утечного топлива, чистое топливо	117 Отвод запального топлива
1T06 Расходный танк (MDF)	
1T07 Танк утечного топлива (грязное топливо)	
1T13 Танк возвратного топлива	
1V10 Быстрозакрывающийся клапан (топливный танк)	

Рисунок 6.11 *Пример топливной системы (MDF), установка с несколькими двигателями (*DAAE085364*)*



Системные компоненты	Трубопроводы
1E04 Холодильник (MDF)	101 Подвод топлива
1F05 Фильтр тонкой очистки (MDF)	102 Отвод топлива
1F07 Фильтр грубой очистки (MDF)	103 Слив утечного чистого топлива
1P03 Циркуляционный насос (MDF)	104 Слив утечного грязного топлива
1T04 Танк утечного топлива, чистое топливо	112 Подвод запального топлива
1T06 Расходный танк (MDF)	117 Отвод запального топлива
1T07 Танк утечного топлива (грязное топливо)	
1V10 Быстрозапорный клапан (топливный танк)	

Если двигатели будут работать только на дизельном топливе, тогда подогрев топлива не обязателен. В таком случае достаточно установить оборудование, перечисленное ниже. Некоторое оборудование, перечисленное ниже, также требует установки в дизельную часть топливной системы, работающей на тяжёлом топливе.

Циркуляционный насос, дизельное топливо (1P03)

Циркуляционный насос служит для поддержания давления на ТНВД и прокачки топлива по системе. В качестве циркуляционного рекомендуется использовать насос винтового типа. Фильтр на всасывании с размером ячейки 0,5 мм должен устанавливаться для защиты топливоподающих насосов перед каждым насосом. Со стороны всасывания насоса должно иметься положительное статическое давление величиной около 30 кПа.

Данные для проектирования:

Производительность	5 × общее потребление подсоединённых двигателей
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Макс. полное давление (предохранительный клапан)	1,0 МПа (10 Бар)
Номинальное давление	см. раздел "Технические данные"
Расчетная температура	50 °C
Вязкость (для расчета электромотора)	90 сСт

Расходомер, дизельное топливо (1I03)

Если возвратное топливо из двигателя поступает в возвратный танк вместо расходного танка, тогда для мониторинга расхода топлива достаточно одного расходомера при условии, что измеритель установлен в линии подачи, идущей от расходного танка (перед танком возвратного топлива). Для танка возвратного топлива обычно необходим холодильник.

Общее сопротивление расходомера и сетчатого фильтра должно быть достаточно небольшим, чтобы гарантировать положительное статическое давление величиной порядка 30 кПа со стороны всасывания циркуляционного насоса.

Необходимо наличие перепускной линии вокруг расходомера, которая будет автоматически открываться при чрезмерном перепаде давления.

Фильтр тонкой очистки, дизельное топливо (1F05)

Фильтр тонкой очистки топлива представляет собой сдвоенный полнопроточный фильтр из стальной сетки. Необходимо установить фильтр как можно ближе к двигателю.

Диаметр трубы между фильтром тонкой очистки и двигателем должен быть таким же, как и диаметр трубы до фильтров.

Данные для проектирования:

Вязкость топлива	в соответствии со спецификациями топлива
Расчетная температура	50 °C
Расчётный расход	Соответствует производительности топливного/циркуляционного насоса
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Тонкость фильтрации	37 мкм (абсолютный размер ячейки)

Макс. допустимый перепад давления при 14 сСт:

- чистый фильтр	20 кПа (0,2 Бар)
- срабатывание АПС	80 кПа (0,8 Бар)

Холодильник дизельного топлива (1E04)

Перед двигателем вязкость топлива может не опускаться ниже минимального предела, см. главу «Технические данные». Практический опыт показывает, что при работе на дизельном топливе, температура топлива на входе должна быть ниже 45˚C. Для лёгких сортов топлива возможна ещё более низкая температура.

При продолжительной работе на дизельном топливе обычно требуется холодильник топлива. Холодильник необходимо установить в возвратный трубопровод после двигателя (двигателей). В качестве охлаждающей среды обычно используется вода НТ контура.

Если вязкость топлива MDF в расходном танке превышает указанный минимальный предел вязкости, то рекомендуется устанавливать топливный холодильник в линию подачи топлива для надежного управления вязкостью.

Данные для проектирования:

Рассеиваемое тепло	2.5 кВт/цил
Максимальный перепад давления топлива	80 кПа (0,8 Бар)
Максимальный перепад давления воды	60 кПа (0,6 Бар)
Величина запаса (мощности, на загрязнение), мин.	15%
Расчетная температура, установка MDF/HFO	50/150°C

Танк возвратного топлива (1T13)

Танк возвратного топлива должен быть оснащён выпускным клапаном на выходной трубе, ведущей к расходному танку дизельного топлива. Объём возвратного танка должен составлять, по крайней мере, 100 л.

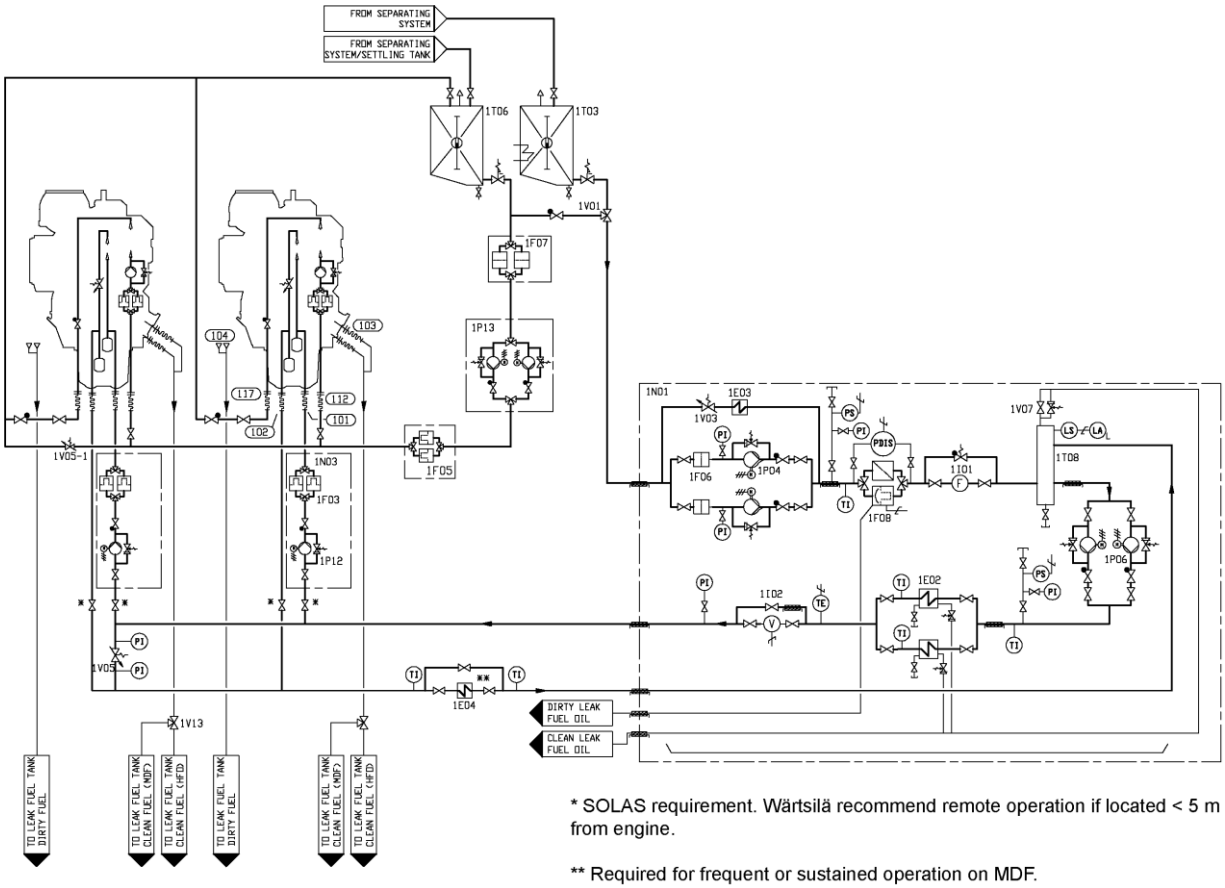
Пуск при отсутствии электропитания

Дизель-генераторы, являющиеся основными источниками электроэнергии, должны быть способны продолжать функционировать при аварийном отключении электропитания за счёт запасённой энергии. В зависимости от конструкции системы и классификационных нормативов, в некоторых случаях является допустимым использовать аварийный генератор. Двигатели, работающие на тяжелом топливе без топливоподающего насоса, могут достигать давления топлива, достаточного для аварийного запуска при помощи:

- Напорного танка, расположенного мин. на 15 метров выше коленвала
- Пневматического топливного насоса (1P11)
- Электрического топливного насоса (1P11), питаемого от аварийного источника питания

Топливная система – установки, работающие на тяжёлом топливе

Рис. 6.12 Пример топливной системы (HFO), установка с несколькими двигателями (DAAE085365B)



* SOLAS requirement. Wärtsilä recommend remote operation if located < 5 m from engine.

** Required for frequent or sustained operation on MDF.

Системные компоненты:

1E02 Подогреватель (блок топливоподготовки)
1E03 Холодильник (блок топливоподготовки)
1E04 Холодильник (MDF)
1F03 Предохранительный фильтр (HFO)
1F05 Фильтр тонкой очистки (MDF)
1F06 Фильтр на всасывании (блок топливоподготовки)
1F07 Фильтр грубой очистки (MDF)
1F08 Автоматический фильтр (блок топливоподготовки)
1I01 Расходомер (блок топливодготовки)
1I02 Вискозиметр (блок топливодготовки)
1N01 Блок топливоподготовки
1N03 Блок насоса с фильтром (HFO/MDF)
1P04Топливоподкачивающий насос (блок топливоподготовки)
1P06 Циркуляционный насос (блок топливоподготовки)
IP12 Циркуляционный насос (HFO/MDF)
1P13 Насос запального топлива (MDF)
1T03 Расходный танк (HFO)
1T04 Танк чистого утечного топлива
1T06 Расходный танк (MDF)
1T07 Танк грязного утечного топлива
1T08 Деаэрационный танк (блок топливоподготовки)
1V01 Переключающий клапан
1V03 Регулировочный клапан (блок топливоподготовки)
1V05 – Переливной клапан (HFO/MDF)
1V05-1 – Переливной клапан (HFO/MDF)
1V07 Вентиляционный клапан (блок топливоподготовки)

Трубопроводы:

101 Подвод топлива
102 Отвод топлива
103 Слив утечного чистого топлива
104 Слив утечного грязного топлива
112 Подвод запального топлива
117 Отвод запального топлива

Трубы для тяжелого топлива должны быть правильно изолированы. Если вязкость топлива составляет 180сСт/50˚C или выше, необходимо оборудовать трубы подогревателем трубопровода. Должна существовать возможность отключить подогрев труб, когда осуществляется работа на дизельном топливе (грамотно сгруппировать подогрев трубопроводов).

Пуск и остановка

Пуск и остановка двигателя может производиться на тяжёлом топливе при условии, что двигатель и топливная система предварительно прогреты до рабочей температуры. Топливо должно продолжать циркулировать в остановленном двигателе, чтобы поддерживать рабочую температуру. При пуске и остановке не требуется переходить на дизельное топливо.

Перед капитальным ремонтом или отключением внешней системы необходимо промыть топливную систему двигателя и заполнить дизельным топливом.

Переход с тяжёлого топлива на дизельное топливо

Последовательность действий и оборудование для изменения топлива во время работы должны обеспечивать плавное изменение температуры и вязкости топлива. Если дизельное топливо подаётся через блок топливоподготовки тяжёлого топлива, то объём системы как раз достаточен для плавного перехода.

Если имеются отдельные циркуляционные насосы для дизельного топлива, тогда смену топлива стоит производить до переключения на циркуляционные насосы дизельного топлива при помощи блока топливоподготовки тяжёлого топлива. Как было упомянуто выше, при продолжительной работе на дизельном топливе обычно требуется холодильник топлива. Вязкость топлива в двигателе не должна падать ниже минимального предела, описанного в главе «Технические данные».

Количество двигателей в одной системе

Когда блок топливоподготовки обеспечивает только двигатели Wärtsilä 34DF, то к одному топливному контуру может быть подключено максимум два двигателя, кроме случаев, когда перед каждым двигателем установлен свой циркуляционный насос.

Предпочтительно, чтобы главные двигатели и вспомогательные двигатели имели отдельные блоки подачи топлива. Для того чтобы главные двигатели и вспомогательные двигатели были на одном питающем контуре, обычно необходимы индивидуальные циркуляционные насосы или другие специальные устройства. Независимо от используемых специальных устройств, не рекомендуется питать более двух главных двигателей и двух вспомогательных двигателей, или более одного главного двигателя и трёх вспомогательных двигателей от одного блока топливоподготовки.

Дополнительные указания:

- На двухвальных судах с двумя двигателями должен иметься отдельный контур подачи топлива для каждого гребного вала.
- На двухвальных судах с четырьмя двигателями, стоящие на одном валу двигатели подсоединяются к разным контурам подачи топлива. К одному и тому же контуру может быть подсоединен только один двигатель с каждого вала.

Блок топливоподготовки (1N01)

Блок топливоподготовки может доставляться целиком собранным. Данный блок включает в себя следующее оборудование:

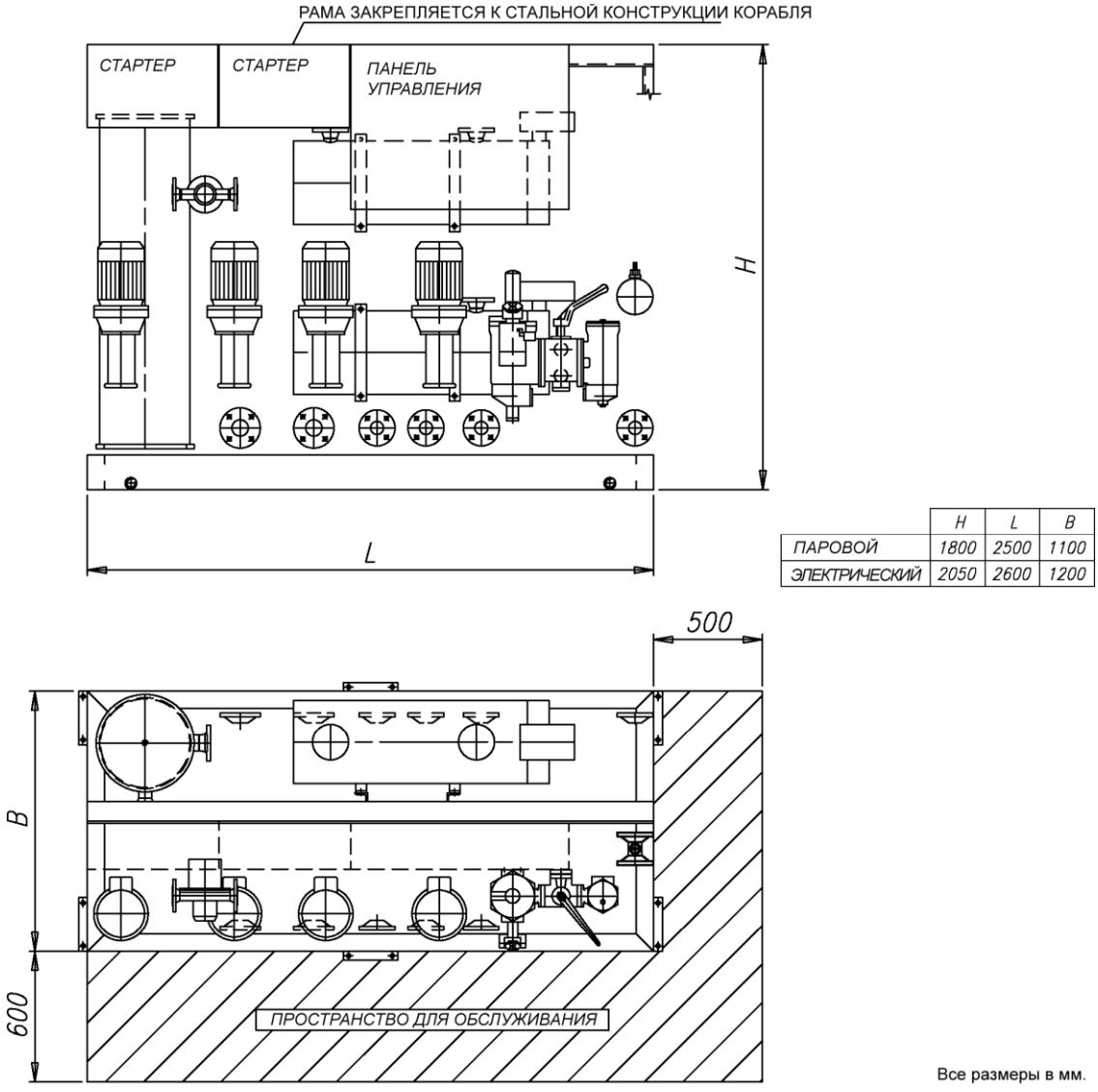
- Два сетчатых фильтра
- Два подающих насоса винтового типа, оснащённых встроенными предохранительными клапанами и электромоторами
- Один клапан регулировки давления/сливной клапан
- Один деаэрационный танк, находящийся под давлением, оборудованный выпускным клапаном, управляемым по реле уровня
- Два циркуляционных насоса, такого же типа, что и подающие насосы
- Два подогревателя (паровые, электрические, термомасляные) – один подогреватель работает, второй резервный

- Один автоматический фильтр обратной промывки с перепускным фильтром
- Один вискозиметр для управления подогревателями
- Один регулирующий клапан для парового подогревателя или термомасляного подогревателя, шкаф управления электроподогревателями
- Один терморегулирующий клапан для аварийного контроля подогревателей
- Один шкаф управления, включающий стартеры для насосов
- Одну панель аварийной сигнализации

Перечисленное выше оборудование собирается на стальном каркасе, который может быть приварен или прикручен болтами к судовому фундаменту.

Все внутренние электрокабели и трубопроводы целиком смонтированы. Все трубы для тяжёлого топлива изолированы и оборудованы подогревом.

Рисунок 6.13 Блок топливоподготовки, пример (DAAE006659)



	H	L	B
ПАРОВОЙ	1800	2500	1100
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ	2050	2600	1200

Все размеры в мм.

Подкачивающий насос, блок топливоподготовки (1P04)

Подкачивающий насос поддерживает давление в системе подачи топлива. В качестве подкачивающего насоса рекомендуется использовать винтовой насос. Производительность насоса должна быть достаточной, чтобы предотвратить падение давления во время промывки автоматического фильтра.

Фильтр на всасывании с размером ячейки 0,5 мм должен устанавливаться для защиты топливоподающих насосов перед каждым насосом. Со стороны всасывания насоса должно иметься положительное статическое давление величиной около 30 кПа.

Данные для проектирования:

Производительность	Общий расход подсоединёнными двигателями плюс объём потока от автоматического фильтра (1F08)
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)

Данные для проектирования:

Макс. полное давление (предохранительный клапан)	0,7 МПа (7 Бар)
Расчетная температура	100°C
Вязкость для задания параметров электромотора	1000 сСт

Клапан регулировки давления, блок топливоподготовки (1V03)

Клапан регулировки давления в подкачивающем насосе/блоке топливоподготовки поддерживает давление в деаэрационном танке, направляя избыток потока к всасывающей стороне подкачивающего насоса.

Данные для проектирования:

Производительность	Соответствует производительности подкачивающего насоса
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Расчетная температура	100°C
Контрольная точка	0,3...0,5 МПа (3...5 Бар)

Автоматический фильтр, блок топливоподготовки (1F08)

Рекомендуется выбрать для обводной линии автоматический фильтр с фильтром с ручной очисткой в перепускной линии. Автоматический фильтр необходимо установить перед подогревателем, между подкачивающим насосом и деаэрационным танком. Фильтр оборудуется нагревательной рубашкой. Тем не менее, необходимо предотвратить перегревание (выше 100˚C); при работе на дизельном топливе должна быть предусмотрена возможность отключения подогревателя.

Данные для проектирования:

Вязкость топлива	В соответствии со спецификацией топлива
Расчетная температура	100°C
Предварительный подогрев	Если вязкость топлива больше 25 сСт/100˚C
Расчётный расход	Соответствует производительности подкачивающего насоса
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Тонкость фильтрации:	
- автоматический фильтр	35 µm (абсолютный размер ячейки)
- перепускной фильтр	35 µm (абсолютный размер ячейки)
Макс. допустимый перепад давления при 14 сСт:	
- чистый фильтр	20 кПа (0,2 Бар)
- срабатывание АПС	80 кПа (0,8 Бар)

Расходомер, блок топливоподготовки (1I01)

Если требуется расходомер, его следует установить между подкачивающими насосами и деаэрационным танком. Если требуется измерять расход топлива каждого отдельного двигателя

в установках с несколькими двигателями, необходимо установить два расходомера на каждый двигатель: один на линию подачи и один на возвратную линию каждого двигателя.

Необходимо наличие перепускной линии вокруг расходомера, которая будет автоматически открываться при чрезмерном перепаде давления.

Если на расходомере установлен предварительный фильтр, рекомендуется установить устройство, сигнализирующее о высокой разнице давления на фильтре.

Деаэрационный танк, блок топливоподготовки (1T08)

Танк должен быть оснащён реле сигнала низкого уровня топлива и выпускным клапаном. Если это возможно, вытяжная труба отводится вниз, например, к расширительному танку. Танк должен быть изолирован и оборудован нагревательным элементом. Объём танка должен составлять минимум 100 литров.

Циркуляционный насос, блок топливоподготовки (1P06)

Назначение насоса – прокачивать топливо в системе и поддерживать требуемое давление (определённое в главе «Технические данные») на ТНВД. Циркулируя в системе, топливо сохраняет правильное значение вязкости, а также поддерживает трубопроводы и ТНВД при рабочей температуре.

Данные для проектирования:

Производительность

- без циркуляционных насосов (1P12)	5 × общее потребление подсоединённых двигателей
- с циркуляционными насосами (1P12)	на 15% больше суммарной производительности циркуляционных насосов
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Макс. полное давление (предохранительный клапан)	1,0 МПа (10 Бар)
Расчетная температура	150°C
Вязкость для задания параметров электромотора	500 сСт

Подогреватель, блок топливоподготовки (1E02)

Подогреватель должен быть способен поддерживать вязкость топлива 14 сСт (топливо заданного сорта при заданной температуре расходного танка) при максимальном потреблении топлива, требуемые значения вязкости на ТНВД приведены в главе «Технические данные». Тем не менее, при работе на топливе высокой вязкости, температура топлива на входе двигателя не должна превышать 135˚C.

Мощность подогревателя должна контролироваться вискозиметром. Контрольная точка вискозиметра должна быть несколько ниже требуемой вязкости на ТНВД, чтобы компенсировать тепловые потери в трубопроводах. Для резервного контроля вязкости следует установить термостат.

Во избежание крекинга топлива температура поверхности нагревателя не должна быть слишком высокой. Количество передаваемого тепла от поверхности не должно превышать 1,5 Вт/см2.

Требуемая мощность подогревателя может быть приблизительно подсчитана по следующей формуле:

$$P = \frac{Q \times \Delta T}{1700}$$

где:

P = мощность подогревателя [кВт]

Q = общее потребление топлива при полной выходной мощности двигателя + 15% запас, л/ч

ΔT = повышение температуры подогревателем, ˚C

Вискозиметр, блок топливоподготовки (1I02)

Подогреватель должен контролироваться вискозиметром. Вискозиметр должен быть сконструирован таким образом, чтобы выдерживать пики давления, вызываемые ТНВД дизельного двигателя.

Данные для проектирования:

Рабочий диапазон	0...50 сСт
Расчетная температура	180°C
Расчетное давление	4 МПа (40 Бар)

Блок насоса с фильтром (1N03)

Если к одному блоку топливоподготовки подключено более двух двигателей, перед каждым из них должен быть установлен циркуляционный насос (1P12). Циркуляционный насос (1P12) и предохранительный фильтр (1F03) могут быть объединены в блок насоса с фильтром (1N03). При этом предохранительный фильтр требуется всегда.

В обвод насоса должна быть предусмотрена перепускная линия для обеспечения циркуляции топлива через двигатель в случае, когда насос остановлен. Диаметр трубы между фильтром и двигателем должен быть таким же, как между блоком топливоподготовки и блоком насоса с фильтром.

Циркуляционный насос (1P12)

Назначение циркуляционного насоса – обеспечение равномерной прокачки топлива через все двигатели. При установке общего циркуляционного насоса для нескольких двигателей поток топлива будет разделяться в соответствии с распределением давления в системе (которое имеет тенденцию меняться со временем), а регулировочный клапан на двигателе имеет весьма пологую кривую давления/потока.

В установках, в которых дизельное топливо подается непосредственно от танка MDF (1T06) на циркуляционный насос, для защиты циркуляционного насоса должен устанавливаться фильтр на всасывании (1F07) с размером ячейки 0,5 мм. Допускается использование общего фильтра для всех циркуляционных насосов.

Данные для проектирования:

Производительность	5 x расхода топлива двигателя
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Макс. полное давление (предохранительный клапан)	1,0 МПа (10 Бар)
Расчетная температура	150°C

Давление, для расчета электромотора (ΔP):

- при подаче дизтоплива непосредственно из расходного танка 0,7 МПа (7 Бар)
- при подаче топлива через блок топливоподготовки 0,3 МПа (3 Бар)

Вязкость для задания параметров электромотора 500 сСт

Предохранительный фильтр (1F03)

Предохранительный фильтр это полнопроточный сдвоенный фильтр с сетчатым стальным фильтрующим элементом. Предохранительный фильтр оборудуется нагревательной рубашкой. Необходимо устанавливать предохранительный фильтр или блок насоса с фильтром как можно ближе к двигателю.

Данные для проектирования:

Вязкость топлива	В соответствии со спецификацией топлива
Расчетная температура	150°C
Расчётный расход	Равен производительности циркуляционного насоса
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)

Тонкость фильтрации	37 µm (абсолютный размер отверстий)

Макс. допустимый перепад давления при 14 сСт:

- чистый фильтр	20 кПа (0,2 Бар)
- срабатывание АПС	80 кПа (0,8 Бар)

Переливной клапан, тяжёлое топливо (1V05)

Если несколько двигателей подключены к одному и тому же блоку топливоподготовки, между линией подачи топлива и возвратной линией требуется переливной клапан. Переливной клапан ограничивает максимальное давление в линии подачи, когда топливные линии к параллельному двигателю закрыты для технического обслуживания.

Для переливного клапана необходимо задать параметры, обеспечивающие стабильное давление во всём рабочем диапазоне.

Данные для проектирования:

Производительность	Равна производительности циркуляционного насоса (1P06)
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Расчетная температура	150°C
Контрольная точка (Δp)	0,2...0,7 МПа (2...7 Бар)

Насос запального топлива, MDF (1P13)

Насос запального топлива требуется в установках, работающих на тяжелом топливе. Насос подает в двигатель дизельное топливо для запальной системы. Попадание тяжелого топлива с систему запального топлива не допускается.

В качестве циркуляционного рекомендуется использовать насос винтового типа. Для защиты каждого циркуляционного насоса должен устанавливаться фильтр грубой очистки с размером ячейки 0,5 мм. Со стороны всасывания насоса должно быть обеспечено статическое давление прибл. 30 кПа.

Данные для проектирования:

Производительность	1 $м^3$/час на двигатель
Расчетное давление	1,6 МПа (16 Бар)
Макс. полное давление (предохранительный клапан)	1,0 МПа (10 Бар)
Номинальное давление	см. «Технические данные»
Расчетная температура	50°C
Вязкость для задания параметров электромотора	90 сСт

Промывка

Перед тем, как двигатели подсоединяются к системе подачи топлива, и топливо начинает циркулировать через двигатели, необходимо полностью промыть внешнюю систему трубопроводов. Система трубопроводов должна предусматривать установку временного промывочного фильтра.

Топливопроводы на двигателе (соединения 101 и 102) отсоединяются, подающая и возвратная линии соединяются временной трубой или шлангом со стороны установки. Все фильтрующие элементы удаляются из фильтров, кроме, конечно, промывочного фильтра. Для предотвращения повреждения, вокруг автоматического фильтра и измерителя вязкости следует проложить байпасные трубы. Тонкость фильтрации промывочного фильтра должна составлять 35µм или быть более высокой.

7 Система смазочного масла

7.1 Требования к качеству смазочного масла

7.1.1 Смазочное масло для двигателя

Смазочное масло должно быть класса вязкости SAE 40 и иметь индекс вязкости (VI) минимум 95. Щелочные свойства смазочного масла (ЩЧ) связаны с сортом топлива, как показано в таблице ниже. ЩЧ – это щелочное число. Его значение равно миллиграммам KOH в грамме масла.

Таблица 7.1 Стандарты топлива и требования к качеству смазочного масла, работа на газовом и дизельном топливе

Категория	Стандарт топлива		ЩЧ смазочного масла
A	ASTM D 975-01, BS MA 100: 1996 CIMAC 2003 ISO 8217: 2010 (E)	GRADE 1-D, 2-D, 4-D DMX, DMA, DMB DX, DA, DB ISO-F-DMX, DMB	10...20
B	ASTM D 975-01 BS MA 100: 1996 CIMAC 2003 ISO 8217: 2010 (E)	GRADE 1-D, 2-D, 4-D DMX, DMA, DMB DX, DA, DB ISO-F- DMX, DMB	15...20

При продолжительном использовании в качестве топлива газойля или дизельного топлива рекомендуется применение смазочных масел с ЩЧ 10-20. При периодической работе на природном газе и MDF рекомендуется применение смазочных масел с ЩЧ 10-15.

Необходимое ЩЧ при работе на тяжелом топливе связано со спецификацией топлива для двигателя, приведенной в следующей таблице.

Таблица 7.2 Стандарты топлива и требования к смазочным маслам, работа на тяжелом топливе

Категория	Стандарт топлива		ЩЧ смазочного масла
C	ASTM D 975-01 ASTM D 396-04, BS MA 100: 1996 CIMAC 2003, ISO 8217: 2010 (E)	GRADE NO. 4D GRADE NO. 5-6 DMC, RMA10-RMK55 DC, A30-K700 RMA10-RMK700	30...55

Для установок, в которых двигатели периодически работают на топливе переменного качества, например природном газе, MDF и HFO, качество смазочного масла должно подбираться на основе требований для HFO. Для работы на тяжёлом топливе в первую очередь следует выбирать смазочные масла со значением ЩЧ равным 50-55. Масло со значением ЩЧ 40 также может быть использовано с тяжёлым топливом при условии, что содержание серы сравнительно невелико и что ЩЧ остаётся выше предельного значения при допустимых интервалах между заменами масла. Смазочные масла со значением ЩЧ 30 должны использоваться вместе с тяжёлым топливом только в частных случаях; например, на установках с SCR (селективным катализатором), если, несмотря на более короткие интервалы между заменами масла, могут быть достигнуты лучшие показатели общей экономии. Меньшие значения ЩЧ могут иметь положительное влияние на срок службы катализатора в установках с SCR.

Для двигателя не является вредным использование более высокого ЩЧ, чем рекомендуется для сорта топлива.

Недопустимо смешивать масла разных марок, если только это не разрешено поставщиками масла. Если двигатель на гарантии, смешивание различных масел также должно быть одобрено компанией Wärtsilä.

Каждая установка снабжается обновлённым списком одобренных смазочных масел.

7.1.2 Масло в регуляторе частоты вращения или актуаторе

В нормальных условиях эксплуатации допустим класс вязкости масла SAE 30 или SAE 40. Обычно может быть использовано такое же масло, что и в двигателе. При низких температурах окружающей среды возможна необходимость использования универсального масла (например, SAE 5W-40), чтобы гарантировать правильную работу при запуске с холодным маслом.

7.1.3 Масло в валоповоротном устройстве

Рекомендуется использовать редукторные масла типа EP с вязкостью 400-500 сСт при 40°C = ISO VG 460. Каждая установка снабжается обновлённым списком одобренных смазочных масел.

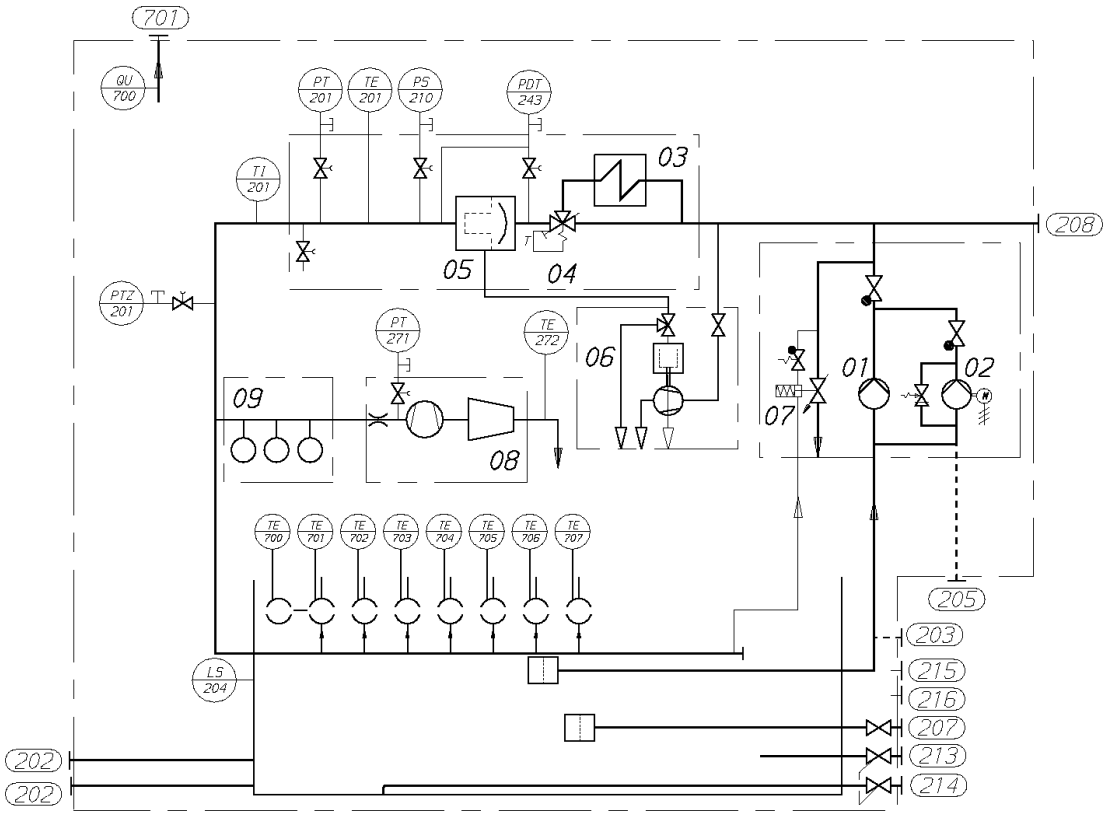
7.1.4 Насос запального топлива

Рекомендуется использовать противозадирные смазки на основе мыльного загустителя, имеющие проникновение 300 ... 350 при измерении согласно стандарту ASTM D 217, имеющие классификацию NLGI 1 при 30...70°C рабочей температуры.

Каждая установка снабжается обновлённым списком одобренных смазочных масел.

7.2 Внутренняя система смазочного масла

Рисунок 7.1 Внутренняя система смазочного масла, рядные двигатели (DAAE055611a)



Системные компоненты:

01 Главный насос смазочного масла	06 Центробежный фильтр
02 Насос предварительной прокачки	07 Клапан регулировки давления
03 Холодильник смазочного масла	08 ГТН
04 Термостатный клапан	09 Смазка подшипников распредвала и цилиндровой крышки
05 Автоматический фильтр	

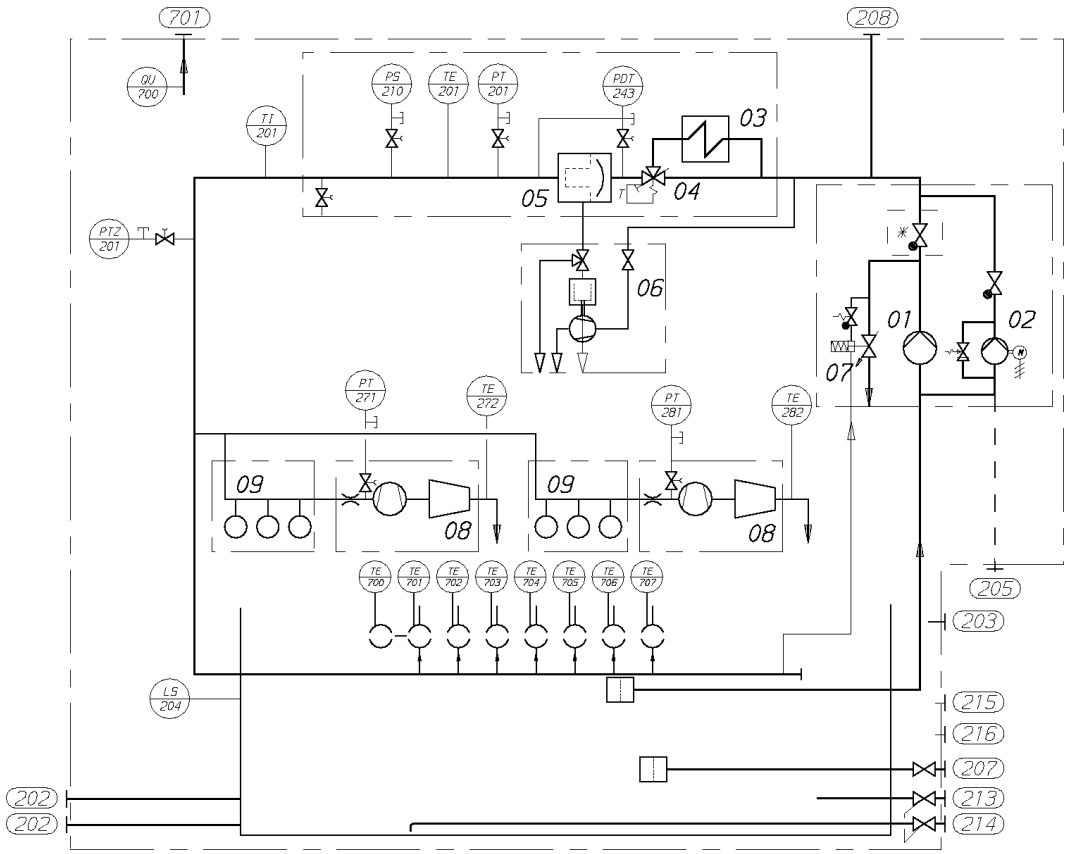
Датчики и индикаторы:

PT201 Давление смазочного масла, подвод к двигателю	PT271 Давление смазочного масла на подводе к ГТН, ряд А (при ГД)
PTZ201 Давление смазочного масла, подвод к двигателю	TE272 Давление смазочного масла на отводе ГТН, ряд А (при ГД)
TE201 Температура смазочного масла, подвод к двигателю	QU700 Датчик масляного тумана
LS204 Низкий уровень смазочного масла (мокрый картер)	TI201 Температура смазочного масла, на подводе к двигателю (для ГД)
PS210 Запуск резервного масляного насоса (при резервном насосе)	TE7## Температура рамового подшипника
PDT243 Перепад давления на фильтре смазочного масла	

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
202 Отвод смазочного масла	DN150	PN16	ISO 7005-1
203 Смазочное масло на насос с приводом от двигателя (при сухом картере)	DN200	PN16	ISO 7005-1
205 Смазочное масло на пусковой насос (при сухом картере)	DN80	PN16	ISO 7005-1
207 Смазочное масло на насос с электроприводом (при резервном насосе)	DN150	PN16	ISO 7005-1
208 Смазочное масло от насоса с электроприводом (при резервном насосе)	DN100	PN16	ISO 7005-1
213 Смазочное масло от сепаратора и системы заливки	DN40	PN40	ISO 7005-1
214 Смазочное масло на сепаратор и слив	DN40	PN40	ISO 7005-1

215 Заливка смазочного масла (мокрый картер)	DN40	PN40	ISO 7005-1
216 Слив смазочного масла (мокрый картер)	M22 x 1.5		
701 Вентиляция картера	DN80	PN16	ISO 7005-1

Рисунок 7.2 Внутренняя система смазочного масла, V-образные двигатели (DAAE080919)



Системные компоненты:

01 Главный насос смазочного масла	06 Центробежный фильтр
02 Насос предварительной прокачки	07 Клапан регулировки давления
03 Холодильник смазочного масла	08 ГТН
04 Термостатный клапан	09 Смазка подшипников распредвала и цилиндровой крышки
05 Автоматический фильтр	

Датчики и индикаторы:

PT201 Давление смазочного масла, подвод к двигателю	TE272 Давление смазочного масла на отводе ГТН, ряд A (при ГД)
PTZ201 Давление смазочного масла, подвод к двигателю	PT281 Давление смазочного масла, подвод ГТН B
TE201 Температура смазочного масла, подвод к двигателю	TE282 Давление смазочного масла, отвод ГТН B
LS204 Низкий уровень смазочного масла (мокрый картер)	QU700 Датчик масляного тумана
PS210 Запуск резервного масляного насоса (при резервном насосе)	TE7## Температура рамового подшипника
PDT243 Перепад давления на фильтре смазочного масла	TI201 Температура смазочного масла, на подводе к двигателю (для ГД)
PT271 Давление смазочного масла на подводе к ГТН, ряд A (при ГД)	

Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
202 Отвод смазочного масла	DN150	PN16	ISO 7005-1
203 Смазочное масло на насос с приводом от двигателя (при сухом картере)	DN200	PN16	ISO 7005-1
205 Смазочное масло на пусковой насос (при сухом картере)	DN80	PN16	ISO 7005-1
207 Смазочное масло на насос с электроприводом (при резервном	DN150	PN16	ISO 7005-1

насосе)			
208 Смазочное масло от насоса с электроприводом (при резервном насосе)	DN100	PN16	ISO 7005-1
213 Смазочное масло от сепаратора и системы заливки	DN40	PN40	ISO 7005-1
214 Смазочное масло на сепаратор и слив	DN40	PN40	ISO 7005-1
215 Заливка смазочного масла (мокрый картер)	DN40	PN40	ISO 7005-1
216 Слив смазочного масла (мокрый картер)	M22 x 1.5		
701 Вентиляция картера	DN80	PN16	ISO 7005-1

Поддон картера для смазочного масла – мокрого. Сухой картер возможен в качестве опциона для главных двигателей.

Приводимый напрямую насос смазочного масла – шестерённого типа и оборудован клапаном регулировки давления. Насос настраивается таким образом, чтобы обеспечить достаточный поток даже при низких скоростях. Соединение для резервного насоса возможно по выбору. Информацию касательно высоты всасывания, расхода и давления насоса см. в главе «Технические данные».

Насос предварительной смазки – это приводимый от электродвигателя шестерённый насос, оборудованный предохранительным клапаном. Насос должен всегда работать после остановки двигателя. Информацию касательно высоты всасывания, расхода и давления насоса см. в главе «Технические данные».

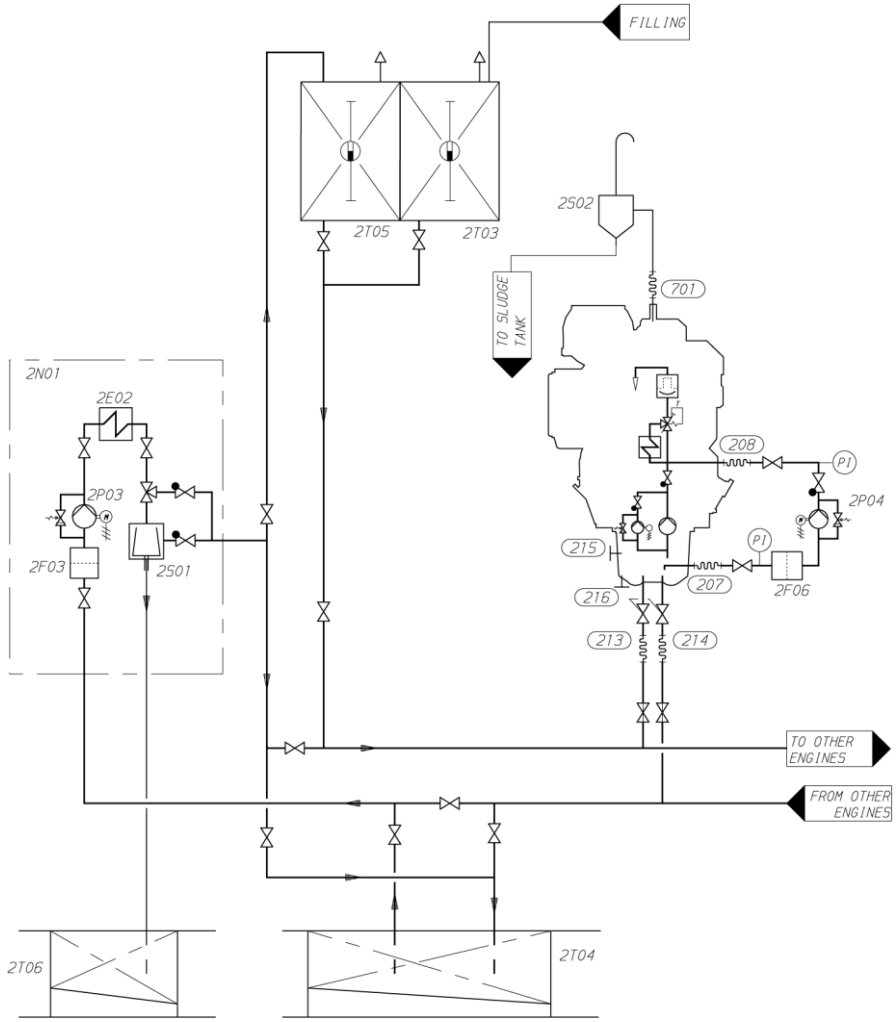
Находящийся на двигателе модуль смазки маслом состоит из охладителя смазочного масла, терморегулирующего клапана и автоматического фильтра.

Центробежный фильтр устанавливается для очистки масла обратной циркуляции из автоматического фильтра.

Все двигатели с сухим картером поставляются с приработочным фильтром для каждого рамового подшипника. Эти фильтры должны сниматься после пуско-наладки.

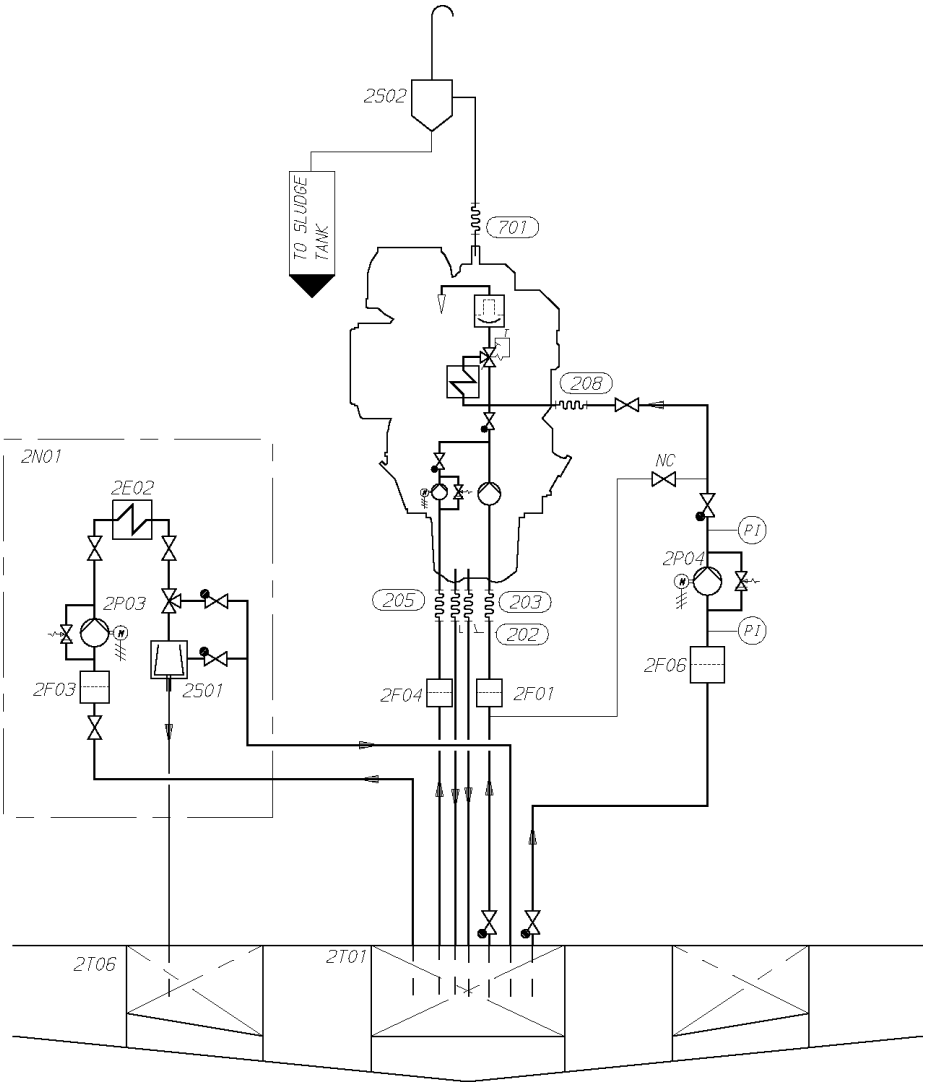
7.3 Внешняя система смазочного масла

Рисунок 7.3 Пример системы смазочного масла, с мокрым картером (DAAE055757a)



Системные компоненты	Трубопроводы
2E02 Подогреватель (блок сепаратора)	207 Смазочное масло на насос с электроприводом
2F03 Фильтр грубой очистки (блок сепаратора)	208 Смазочное масло от насоса с электроприводом
2F06 Фильтр грубой очистки (резервный насос)	213 Смазочное масло от сепаратора и системы заливки
2N01 Блок сепаратора	214 Смазочное масло на сепаратор и слив
2P03 Насос сепаратора (блок сепаратора)	215 Залив смазочного масла
2P04 Резервный насос	216 Слив смазочного масла
2S01 Сепаратор	701 Вентиляция картера
2S02 Конденсатная ловушка	
2T03 Танк свежего масла	
2T04 Танк восстанавливаемого масла	
2T05 Танк очищенного масла	
2T06 Шламовый танк	

Рисунок 7.3 Пример системы смазочного масла, с сухим картером (DAAE055758a)



Системные компоненты	Трубопроводы
2E02 Подогреватель (блок сепаратора)	202 Отвод смазочного масла
2F01 Фильтр грубой очистки (главный масляный насос)	203 Смазочное масло на насос с приводом от двигателя
2F03 Фильтр грубой очистки (блок сепаратора)	205 Смазочное масло на насос предварительной прокачки
2F04 Фильтр грубой очистки (насос предварительной прокачки)	208 Смазочное масло от насоса с электроприводом
2F06 Фильтр грубой очистки (резервный насос)	701 Вентиляция картера
2N01 Блок сепаратора	
2P03 Насос сепаратора (блок сепаратора)	
2P04 Резервный насос	
2S01 Сепаратор	
2S02 Конденсатная ловушка	
2T01 Системный масляный танк	
2T06 Шламовый танк	

7.3.1 Система сепарации

Блок сепаратора (2N01)

Каждый главный двигатель должен иметь специальный сепаратор смазочного масла, сепараторы должны быть настроены на непрерывную сепарацию. Если установка предназначена для работы только на газовом/дизельном топливе, тогда может быть достаточна периодическая сепарация.

Вспомогательные двигатели, работающие на тяжелом топливе с макс. вязкостью 380 сСт/50°C могут иметь общий блок сепарации смазочного масла. Два двигателя могут иметь общий сепаратор. В установках с четырьмя или более двигателями должны быть предусмотрены два блока сепарации.

Сепараторы обычно поставляются как предварительно собранные блоки.

Обычно блоки сепаратора смазочного масла оборудованы:

- Подающим насосом с сетчатым фильтром и предохранительным клапаном
- Подогревателем
- Сепаратором
- Шкафом управления

Также блок сепаратора смазочного масла может быть оборудован промежуточным шламовым танком и шламовым насосом, что делает сепаратор более удобным для установки, так как нет необходимости располагать шламовый танк непосредственно под сепаратором.

Подающий насос сепаратора (2P03)

Подающий насос выбирается из расчёта, чтобы соответствовать рекомендованной пропускной способности сепаратора. Обычно насос подбирается и поставляется к сепаратору производителем сепаратора.

При настройке электродвигателя, необходимо принять во внимание самую низкую прогностическую температуру в масляном танке системы (после длинной остановки).

Подогреватель сепаратора (2E02)

Параметры подогревателя следует задать, исходя из производительности подающего насоса и температуры в системном масляном танке. Когда двигатель работает, температура в масляном танке системы, расположенном в днище корабля, обычно составляет 65…75˚C. Для того, чтобы сделать возможной сепарацию при остановленном двигателе, мощность подогревателя должна быть достаточной для поддержания требуемой температуры без подвода тепла от двигателя.

Рекомендуемая температура масла после подогревателя составляет 95˚C.

Температура поверхности подогревателя не должна превышать 150˚C во избежание перегрева масла.

Подогреватели должны быть оснащены предохранительными клапанами и сливными трубами, ведущими к танку утечки (таким образом, чтобы возможные утечки могли быть обнаружены).

Сепаратор (2S01)

Предпочтительно, чтобы сепаратор был с контролируемым сливом из корпуса, чтобы минимизировать потери смазочного масла.

Пропускная способность Q [л/ч] сепаратора может быть оценена по формуле:

$$Q = \frac{1.35 \times P \times n}{t}$$

где:

Q = объёмный расход [л/ч]

P = выходная мощность двигателя, кВт

n = число полных прокачек объёма танка в день: 5 для тяжёлого топлива, 4 для дизельного

t = время работы, ч/день: 24 ч при непрерывной сепарации, 23 ч при нормальной работе

Шламовый танк (2T06)

Шламовый танк должен располагаться непосредственно под сепараторами, или как можно ближе к сепараторам, кроме случаев, когда он интегрирован в сепараторный блок. Труба шламового танка должна быть установлена с постоянным уклоном вниз.

Танк восстанавливаемого масла (2T04)

Если двигатели с мокрым картером, тогда перед сепарацией содержимое поддона картера может стекать в этот танк.

Танк очищенного масла (2T05)

В этом танке содержится отсепарированное масло, готовое к использованию вместо слитого для сепарации.

7.3.2 Системный масляный танк (2T01)

Рекомендуемый объём масляного танка указан в главе «Технические данные».

Системный масляный танк обычно располагается под фундаментом двигателя. Танк не должен выдаваться под редуктор или генератор, а также должен быть расположен симметрично в поперечном направлении под двигателем. Более того, расположение танка должно быть таким, чтобы смазочное масло не охлаждалось ниже нормальной рабочей температуры. Высота всасывания крайне важна, если насос смазочного масла приводится от двигателя. Потери на фильтрах и т.д. добавляются к геометрической высоте всасывания. Максимальная высота всасывания указана в главе «Технические данные».

Соединение трубы между поддоном картера двигателя и масляным танком системы должно быть гибким, чтобы предотвратить повреждения, связанные с тепловым расширением. Возвратные трубы от поддона картера двигателя должны оканчиваться ниже минимального уровня масла в танке. Более того, возвратные трубы не должны располагаться в том же углу танка, где расположена всасывающая труба насоса.

Всасывающая труба насоса должна быть с воронкообразным или коническим впускным отверстием, чтобы минимизировать потерю давления. По этой же причине всасывающая труба должна быть как можно короче и прямее и иметь достаточный диаметр. Манометр должен быть расположен близко к впускному отверстию насоса смазочного масла. Далее всасывающая труба должна быть оборудована обратным клапаном створчатого типа без пружины. Обратный клапан чрезвычайно важен, если насос приводится от двигателя, обратный клапан необходимо установить в таком положении, чтобы обеспечить самозакрывание.

Всасывающая и возвратная трубы сепаратора не должны располагаться в танке близко друг к другу.

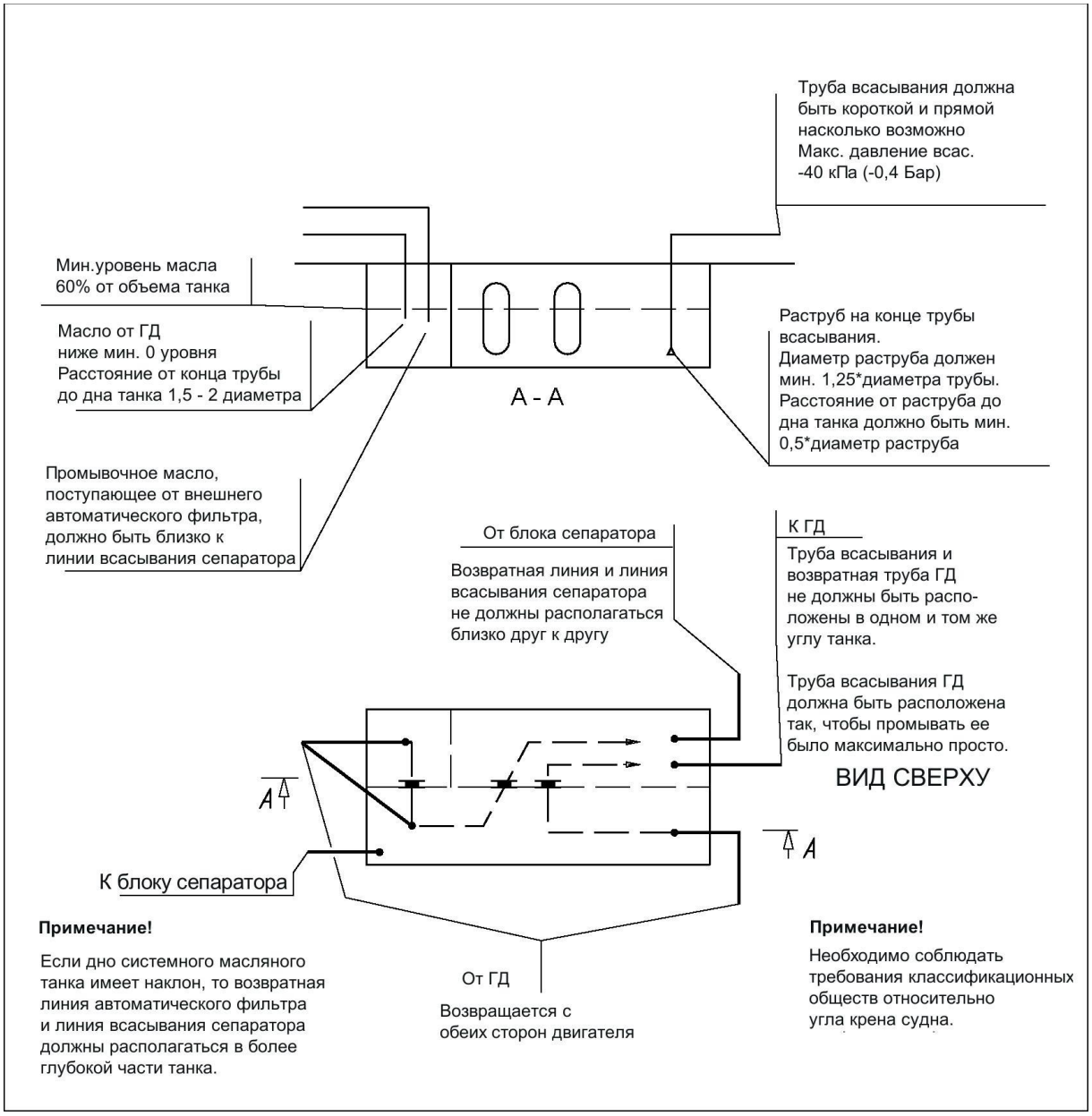
Вентиляционная труба из масляного танка системы не может быть совмещена с вентиляционными трубами картера двигателя.

После длительной остановки должна существовать возможность повысить температуру масла в танке. В холодных условиях, возможна необходимость иметь нагревательные элементы в масляном танке для обеспечения прокачиваемости. Подогреватель сепаратора обычно используется единожды для повышения температуры масла до достижения прокачиваемости. После тепло может передаваться маслу от предварительно прогретого двигателя, если вязкость масла и, соответственно, потребление мощности масляного насоса предварительной смазки не превышает мощности электродвигателя.

Газовое топливо в картере может в очень небольших количествах растворяться в смазочном масле. Поэтому возможно попадание небольших количеств газа в системный масляный танк многотопливного двигателя вместе со смазочным маслом и испарение его в танке в пространство выше уровня масла. Поэтому системный масляный танк должен быть с закрытым верхом. Системный масляный танк многотопливного двигателя в части вентиляции должен быть оборудован так же, как его масляный картер. Отверстия системного масляного танка помимо трубки сапуна должны быть либо закрыты, либо иметь конструкцию, не позволяющую газовому топливу проникать танк (например, конструкции переливной трубы с водяным затвором). Трубки сапунов системных танков двигателей, находящихся в одном машинном отделении, не должны соединяться.

Конструкция и компоновка системного масляного танка может требовать одобрения классификационного общества для каждого конкретного проекта. Любые КИП, установленные в системном масляном танке, должны сертифицироваться Ex apparatus.

Рисунок 7.5 Пример компоновки системного масляного танка (DAAE007020e)



Расчётные данные:

Объём масла	1.2…1.5 л/кВт, см. также главу *Технические данные*
Уровень масла при работе	75 – 80 % от объёма танка
Аварийный уровень масла	60% от объёма танка.

7.3.3 Танк свежего масла (2T03)

Для двигателей с мокрым картером масло в двигатель можно заливать при помощи шланга или канистры через лючок картера или патрубок сепаратора. Система должна быть устроена так, чтобы имелась возможность замера уровня залитого масла.

7.3.4 Сетчатые фильтры грубой очистки (2F01, 2F04, 2F06)

Рекомендуется установить сетчатые фильтры перед каждым насосом, чтобы защитить насос от повреждения. Чтобы минимизировать потери давления, сетчатый фильтр и всасывающая труба должны быть рассчитаны достаточно точно. Сетчатый фильтр всегда должен быть оборудован аварийной сигнализацией высокого перепада давления.

Данные для проектирования:

Тонкость фильтрации	0.5...1.0 мм.

7.3.5 Насос предварительной прокачки, резервный (2P04)

Резервный насос смазочного масла, как правило, винтового типа и должен быть оборудован перепускным клапаном.

Данные для проектирования:

Производительность	см. главу «Технические данные»
Расчетное давление, макс.	0,8 МПа (8 Бар)
Расчетная температура, макс.	100°C
Вязкость смазочного масла	SAE 40
Вязкость для задания параметров электромотора	500 мм^2/с (сСт)

7.4 Система вентиляции картера

Система вентиляции картера двигателя предназначена для удаления газов из картера двигателя, чтобы поддерживать давление в картере в заданных пределах.

Каждый двигатель должен быть оснащён собственной вентиляционной трубой, ведущей к открытому воздуху. Вентиляционные трубы картера недопустимо совмещать с другими вентиляционными трубами, например, вентиляционными трубами из масляного танка системы.

Диаметр трубы должен быть достаточно большим во избежание чрезмерного противодавления. Другое оборудование трубопровода также должно быть разработано и настроено для предотвращения чрезмерного противодавления.

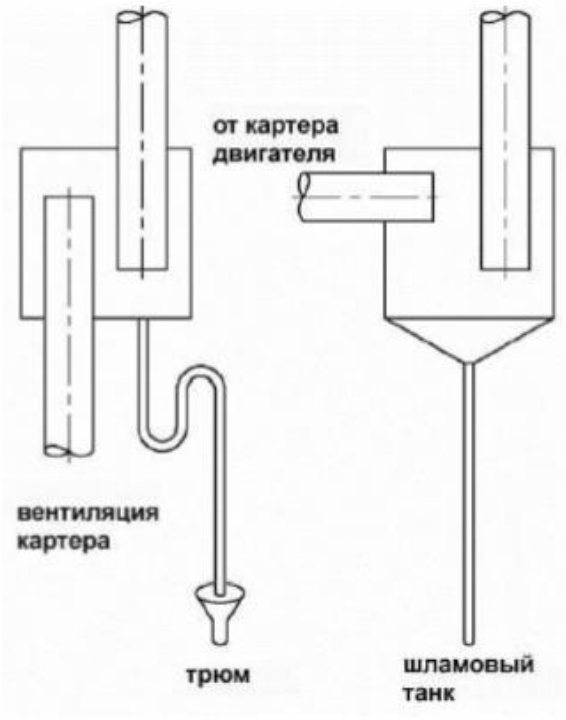
Конденсатную ловушку необходимо расположить на вытяжной трубе рядом с двигателем.

Соединение между двигателем и трубой должно быть гибким.

Данные для проектирования:

Поток	см. главу «Технические данные»
Противодавление, макс.	См. раздел «Технические данные»
Температура	80°C

Рисунок 7.4 Конденсатная ловушка (DAAE032780)



Минимальный размер вентиляционной трубы после конденсационного горшка составляет:

W L34DF: DN100

W V34DF: DN125

При выборе размера вентиляционной трубы также должно приниматься во внимание максимальное противодавление.

7.5 Инструкция по промывке

Инструкция по промывке в настоящем документе приводится только в качестве рекомендаций Для каждого конкретного проекта инструкции по промывке включены в Инструкцию по монтажу (IPI).

7.5.1 Трубопроводы и оборудование на двигателе

Промывка установленных на двигателе трубопроводов и оборудования не требуется, а промывочное масло не должно прокачиваться через систему смазочного масла на двигателе (которая промывается и очищается на заводе). При этом допустима циркуляция промывочного масла через масляный картер, если это кажется предпочтительным. После завершения промывки необходимо убедиться в чистоте картера.

7.5.2 Внешняя система масла

Расположение и описание компонентов, перечисленных ниже см. на диаграммах в разделе «Внешняя система смазочного масла».

Если двигатель оснащен мокрым масляным картером, масляные танки во внешней системе, танк свежего масла (2T03), танк восстанавливаемого масла (2T04) и танк очищенного масла (2T05) должны проверяться на предмет чистоты перед бункеровкой масла. В особенности необходимо обеспечить чистоту трубопроводов, ведущих от сепаратора (2N01) непосредственно к двигателю; их можно, например, отсоединить от двигателя и продуть сжатым воздухом.

Если двигатель оснащен сухим масляным картером, масляные танки во внешней системе, танк свежего масла и системный масляный танк (2T01) должны проверяться на предмет чистоты перед бункеровкой масла.

Сепараторы смазочного масла должны непрерывно работать до и во время промывки (не менее 24 часов). Сепаратор также должен продолжать работать после завершения промывки для удаления остаточных загрязнений.

Если в системе установлен резервный масляный насос с электроприводом (2P04), для промывки трубопровода следует использовать его, с циркуляцией масла через временный внешний

масляный фильтр (с рекомендуемым размером ячейки 34 микрона) и возвратом масла через лючок картера в картер двигателя. Насос должен быть защищен фильтром на всасывании (2F06).

По возможности в течение всей промывки для отвода загрязнений должен постоянно работать сепаратор. Сепаратор также должен продолжать работать после завершения промывки для удаления остаточных загрязнений.

7.5.3 Тип промывочного масла

Вязкость

Для того, чтобы при промывке поток масла мог собирать и отводить загрязнения, идеально подходит вязкость 10...50 сСт. Правильную вязкость можно обеспечить нагреванием моторного масла до прибл. 65°C или использованием отдельного промывочного масла, имеющего идеальную вязкость при комнатной температуре.

Промывка моторным маслом

Идеальным считается использование для промывки моторного масла. Для этого, однако, требуется, чтобы сепаратор был в работе для подогрева масла. Моторное масло, использовавшееся для промывки, может снова использоваться в двигателе при условии, что при завершении промывки в нем не содержалось механических частиц и прочих загрязнений.

Промывка маловязким промывочным маслом

Если нагревание с помощью сепаратора при промывке невозможно, можно использовать вместо моторного маловязкое промывочное масло. В этом случае по окончании промывки маловязкое промывочное масло необходимо утилизовать. Требуется тщательно удалять промывочное масло из застойных участков и со дна танков, чтобы остающееся в системе промывочное масло не приводило к разжижению моторного масла.

Образец смазочного масла

Для проверки чистоты системы специалист Wärtsilä производит отбор образца смазочного масла после завершения промывки. При этом анализируются следующие свойства: вязкость, щелочное число, кислотное число, присутствие нерастворимых примесей, железа и механических частиц.

В это время необходимо продолжать выполнение пуско-наладочных работ, если только сервисный инженер не уверен в том, что масло загрязнено.

8 Система сжатого воздуха

Сжатый воздух используется для запуска двигателей и обеспечения энергией исполняющих устройств систем безопасности и управления.

Использование пускового воздуха для этих прочих целей ограничено правилами классификационных обществ.

Для обеспечения нормальной работы компонентов системы сжатого воздуха необходимо, чтобы воздух не содержал твердых частиц и масла.

8.1 Качество рабочего воздуха

Качество сжатого воздуха судовой системы сжатого воздуха должно отвечать следующим требованиям безопасности и управления оборудованием:

Спецификация рабочего воздуха:

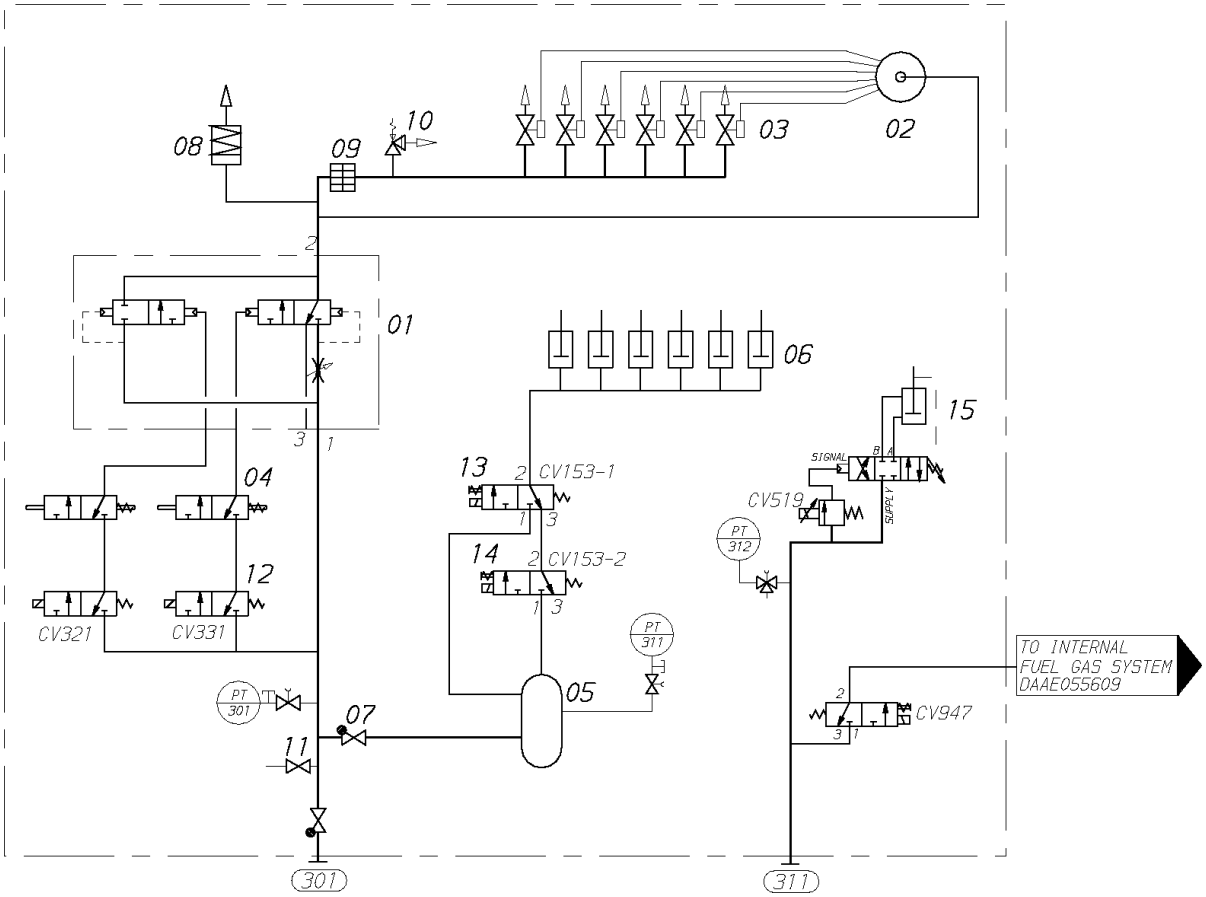
Расчетное давление	1 МПа (10 Бар)
Номинальное давление	0,7 МПа (7 Бар)
Температура точки росы	+3°C
Макс. содержание масла	1 мг/м^3
Макс. размер частиц	3 µm

8.2 Внутренняя система сжатого воздуха

Все двигатели вне зависимости от числа цилиндров запускаются при помощи сжатого воздуха с максимальным давлением 3 МПа (30 Бар). Запуск осуществляется путем прямой подачи воздуха в цилиндры через клапаны пускового воздуха в цилиндровых крышках. Главный пусковой клапан на двигателе может управляться как вручную, так и электрическим клапаном. Система пускового воздуха оборудована клапаном для медленного проворачивания, обеспечивающим медленное проворачивание коленвала на несколько оборотов без подачи топлива перед запуском. Медленное проворачивание не выполняется, если двигатель работал до запуска в течение макс. 30 минут или если медленное проворачивание выполняется автоматически каждые 30 минут. Все двигатели оборудованы навешенными невозвратными клапанами и пламегасителями. В качестве меры предосторожности двигатель не может быть запущен при подключенном валоповоротном устройстве.

.

Рисунок 8.1 Внутренняя система сжатого воздуха, рядные двигатели (DAAE055612a)



Системные компоненты

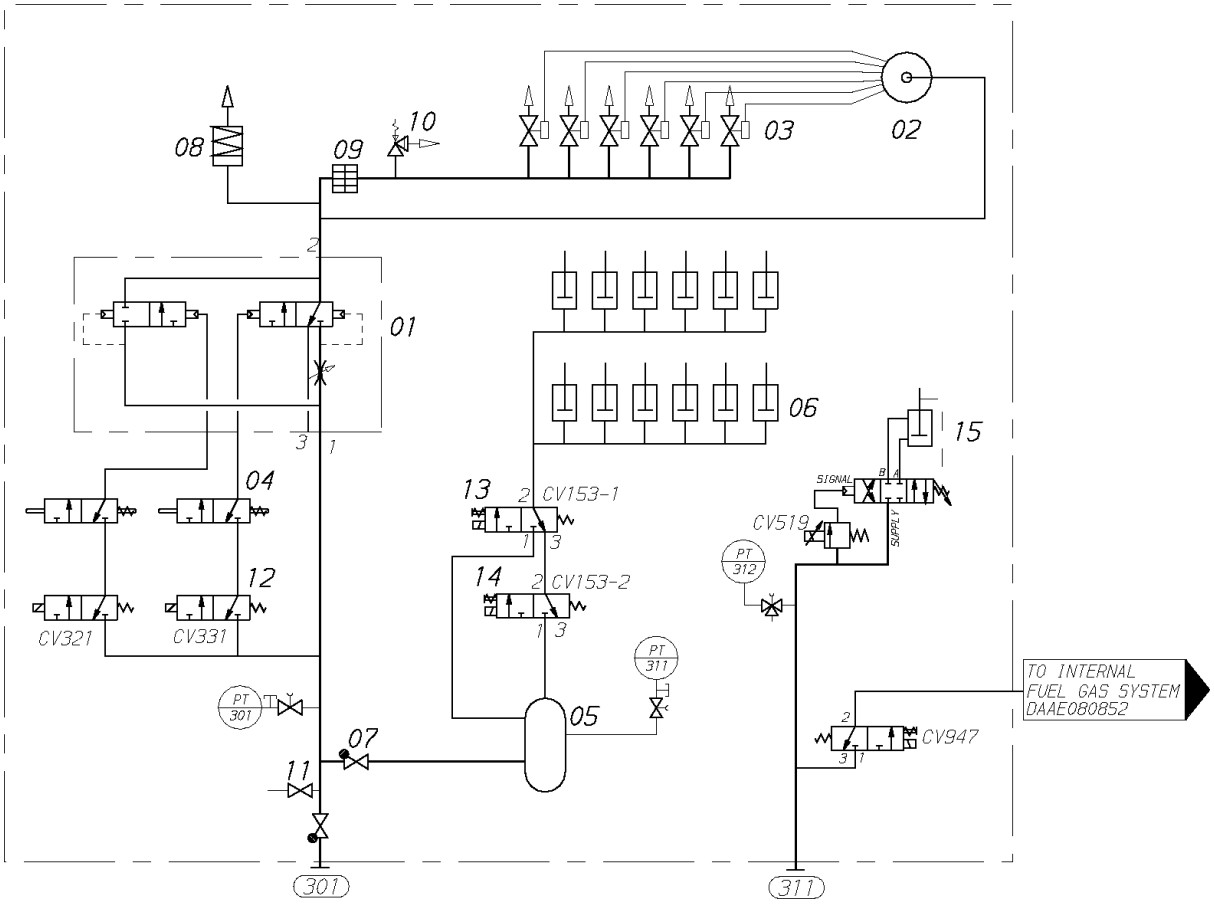
01 Главный пусковой клапан	09 Пламегаситель
02 Распределитель пускового воздуха	10 Предохранительный клапан
03 Клапан пускового воздуха в цилиндровой крышке	11 Дренажный клапан
04 Блокировочный клапан при зацепленном валоповоротном устройстве	12 Пусковой соленоидный клапан
05 Аккумулятор воздуха	13 Остановочный соленоидный клапан
06 Пневматический стоп-цилиндр в каждом ТНВД	14 Остановочный соленоидный клапан
07 Невозвратный клапан	15 Клапан сброса наддувочного воздуха
08 Усилитель для регулятора частоты вращения	

Датчики и индикаторы

CV153-1 Соленоидный клапан остановка/отключения 1	CV321 Соленоидный клапан запуска
CV153-2 Соленоидный клапан остановка/отключения 2	CM331 Соленоидный клапан медленного проворачивания
PT301 Давление пускового воздуха на входе двигателя	CV519 Контроль клапана сброса наддувочного воздуха
PT311 Давление воздуха управления	CV947 MCC, клапан дегазации
PT312 Давление рабочего воздуха	

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
301 Подвод пускового воздуха, 3МПа	DN32	PN40	ISO 7005-1
311 Подвод воздуха управления на перепуск/сброс наддувочного воздуха	OD12		DIN2353

Рисунок 8.2 Внутренняя система сжатого воздуха, V-образные двигатели (DAAE080920)



Системные компоненты

01 Главный пусковой клапан	09 Пламегаситель
02 Распределитель пускового воздуха	10 Предохранительный клапан
03 Клапан пускового воздуха в цилиндровой крышке	11 Дренажный клапан
04 Блокировочный клапан при зацепленном валоповоротном устройстве	12 Пусковой соленоидный клапан
05 Аккумулятор воздуха	13 Остановочный соленоидный клапан
06 Пневматический стоп-цилиндр в каждом ТНВД	14 Остановочный соленоидный клапан
07 Невозвратный клапан	15 Клапан сброса наддувочного воздуха
08 Усилитель для регулятора частоты вращения	

Датчики и индикаторы

CV153-1 Соленоидный клапан остановка/отключения 1	CV321 Соленоидный клапан запуска
CV153-2 Соленоидный клапан остановка/отключения 2	CM331 Соленоидный клапан медленного проворачивания
PT301 Давление пускового воздуха на входе двигателя	CV519 Контроль клапана сброса наддувочного воздуха
PT311 Давление воздуха управления	CV947 MCC, клапан дегазации
PT312 Давление рабочего воздуха	

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
301 Подвод пускового воздуха, 3МПа	DN32	PN40	ISO 7005-1
311 Подвод воздуха управления на перепуск/сброс наддувочного воздуха	OD12		DIN2353

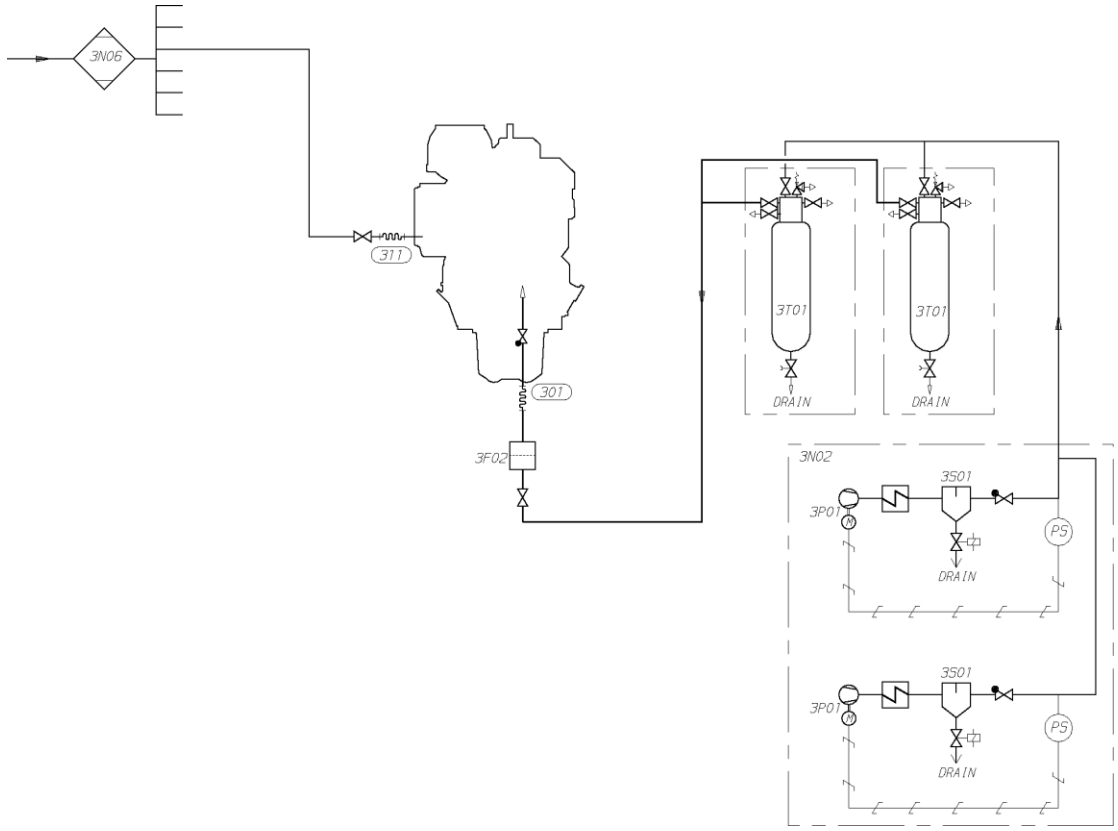
8.3 Внешняя система сжатого воздуха

Конструкция системы пускового воздуха частично определяется правилами классификационных обществ. Большинство классификационных обществ требуют, чтобы полный объем разделялся на два равных потока – к воздушным ресиверам и к компрессорам пускового воздуха. Требования, касающиеся составных двигательных установок, могут стать предметом специального рассмотрения классификационного общества.

Трубы пускового воздуха всегда должны иметь небольшой наклон и оснащаться ручной или автоматической системой слива в самых нижних точках.

Рабочий воздух на устройства безопасности и управления должен обрабатываться через осушитель.

Рисунок 8.2 Пример внешней системы сжатого воздуха (DAAE055759a)



Системные компоненты	Трубопроводы
3F02 Воздушный фильтр (на подводе пускового воздуха)	301 Подвод пускового воздуха, 3МПа
3N02 Блок компрессора пускового воздуха	311 Подвод воздуха управления на перепуск/сброс наддувочного воздуха
3N06 Блок осушителя	
3P01 Компрессор (Компрессорная установка пускового воздуха)	
3S01 Сепаратор (Компрессорная установка пускового воздуха)	
3T01 Баллон пускового воздуха	

8.3.1 Компрессорная установка пускового воздуха (3N02)

Необходимо установить, по крайней мере, два компрессора пускового воздуха. Рекомендуется, чтобы компрессоры были способны заполнять баллон с пусковым воздухом от минимального (1,8 мПа) до максимального давления за 15…30 минут. Для точного определения минимальной производительности необходимо следовать правилам классификационного общества.

8.3.2 Сепаратор масла и воды (3S01)

На трубе между компрессором и воздушной камерой должен быть всегда установлен сепаратор масла и воды.

В зависимости от условий эксплуатации установки, может потребоваться сепаратор масла и воды на трубе между воздушной камерой и двигателем.

8.3.3 Баллон с пусковым воздухом (3T01)

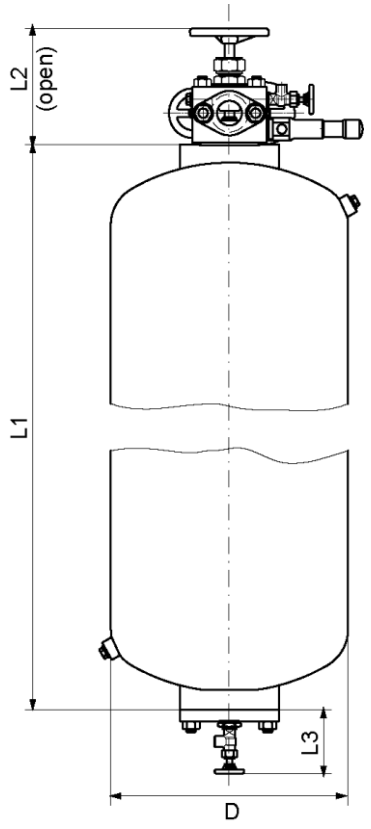
Баллоны с пусковым воздухом должны быть рассчитаны на нормальное давление, равное 3 мПа.

Количество и объём воздушный баллонов для главных двигателей зависит от требований классификационного общества и типа установки.

При расчёте требуемого объёма баллонов рекомендуется брать минимальное давление воздуха, равное 1,8 мПа.

Баллоны с пусковым воздухом должны быть оснащены, по крайней мере, клапаном с ручным управлением для удаления конденсата. Если баллоны располагаются горизонтально, тогда необходимо обеспечить наклон в 3…5° в сторону спускного клапана для обеспечения эффективности слива.

Рисунок 8.3 Баллон пускового воздуха



Размер (L)	Габариты (мм)				Вес (кг)
	L1	L2[1)]	L3[1)]	D	
250	1767	243	110	480	274
500	3204	243	133	480	450
710	2740	255	133	650	625
1000	3560	255	133	650	810

1) Габариты являются приблизительными

Расход пускового воздуха, указанный в технических данных указан для удачного запуска. При дистанционном запуске главный пусковой клапан остается открытым до тех пор, пока двигатель не будет запущен или до тех пор, пока не истечет предельное время попытки запуска. На неудачный дистанционный пуск может быть израсходовано в два раза больший объем воздуха по сравнению с указанным в технических данных. Если в знаке класса судна указано необслуживаемое машинное отделение, должно быть выставлено требование предъявления запусков в дистанционном режиме.

Требуемый общий объём баллона пускового воздуха может быть посчитан по формуле:

$$V_R = \frac{p_E \times V_E \times n}{p_{Rmax} - p_{Rmin}}$$

где:

V_R = общий объём баллона с пусковым воздухом [м^3]

P_E = нормальное барометрическое давление (нормальные условия) = 0,1 МПа

V_E = потребление воздуха при старте [Нм^3] см. главу «Технические данные»

n = требуемое количество стартов в соответствии с классификационным обществом

P_{Rmax} = максимальное давление пускового воздуха = 3 МПа

P_{Rmin} = минимальное давление пускового воздуха = 1,8 МПа

ПРИМЕЧАНИЕ! Общий объём баллона должен быть разделён, по крайней мере, на два равных по объёму баллона с пусковым воздухом.

8.3.4 Фильтр пускового воздуха (3F02)

Конденсат после сепаратора воды (между компрессором пускового воздуха и баллоном пускового воздуха) может приводить к появлению абразивных частиц ржавчины в трубопроводах, соединениях труб и баллонах. Поэтому рекомендуется установить фильтр перед подводом пускового воздуха к двигателю, чтобы избежать попадания частиц в оборудование пускового воздуха.

Можно использовать сетчатый фильтр Y-типа со стальной сеткой и размером ячеек 400 µm. Перепад давления не должен превышать 20 кПа (0,2 Бар) для указанного для двигателя расхода пускового воздуха в течение 4 секунд.

9 Система водяного охлаждения

9.1 Качество воды

Пресная вода в системе водяного охлаждения двигателя должна соответствовать следующим требованиям:

Водородный показатель (pH) мин. 6,5...8,5

Жесткость ..... макс. 10 °dH

Содержание хлоридов макс. 80 мг/л

Содержание сульфатов макс. 150 мг/л

Можно использовать водопроводную воду хорошего качества, но береговая пресная вода не всегда пригодна. Рекомендуется использовать воду, полученную с помощью бортовой испарительной установки. Содержание хлоридов в пресной воде, полученной с помощью установок обратного осмоса, часто превышает норму. Дождевая вода не годится для охлаждения двигателя в силу высокого содержания кислорода и углекислого газа.

Для охлаждения двигателя должна применяться только пресная вода, обработанная присадками.

Важно, чтобы непосредственно после монтажа система была залита водой приемлемого качества, обработанной одобренными присадками.

9.1.1 Ингибиторы коррозии

Обязательно использование одобренных присадок к охлаждающей воде. Обновляемый перечень одобренной продукции прилагается к каждой установке. Он также включен в руководство по эксплуатации двигателя вместе с указанием дозировок и дополнительными инструкциями.

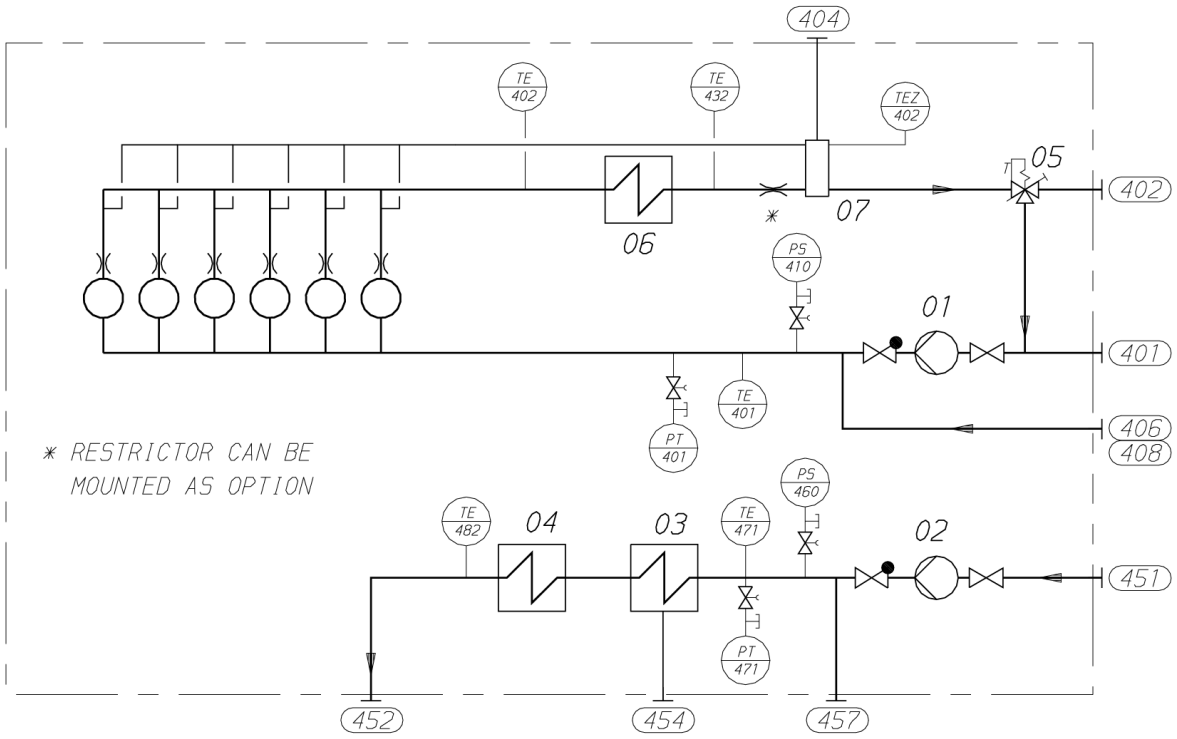
9.1.2 Гликоль

Не рекомендуется использовать гликоль в охлаждающей воде без особой необходимости. Гликоль повышает температуру воздуха наддува, что может потребовать понижения нагрузки на двигатель, мощность которого зависит от характеристик газа и содержания гликоля в охлаждающей жидкости. Разрешенный максимум содержания гликоля - 50%.

Ингибиторы коррозии необходимо использовать независимо от наличия гликоля в охлаждающей воде.

9.2 Внутренняя система водяного охлаждения

Рисунок 9.1 Внутренняя система водяного охлаждения, рядные двигатели (DAAE055613a)



Системные компоненты:

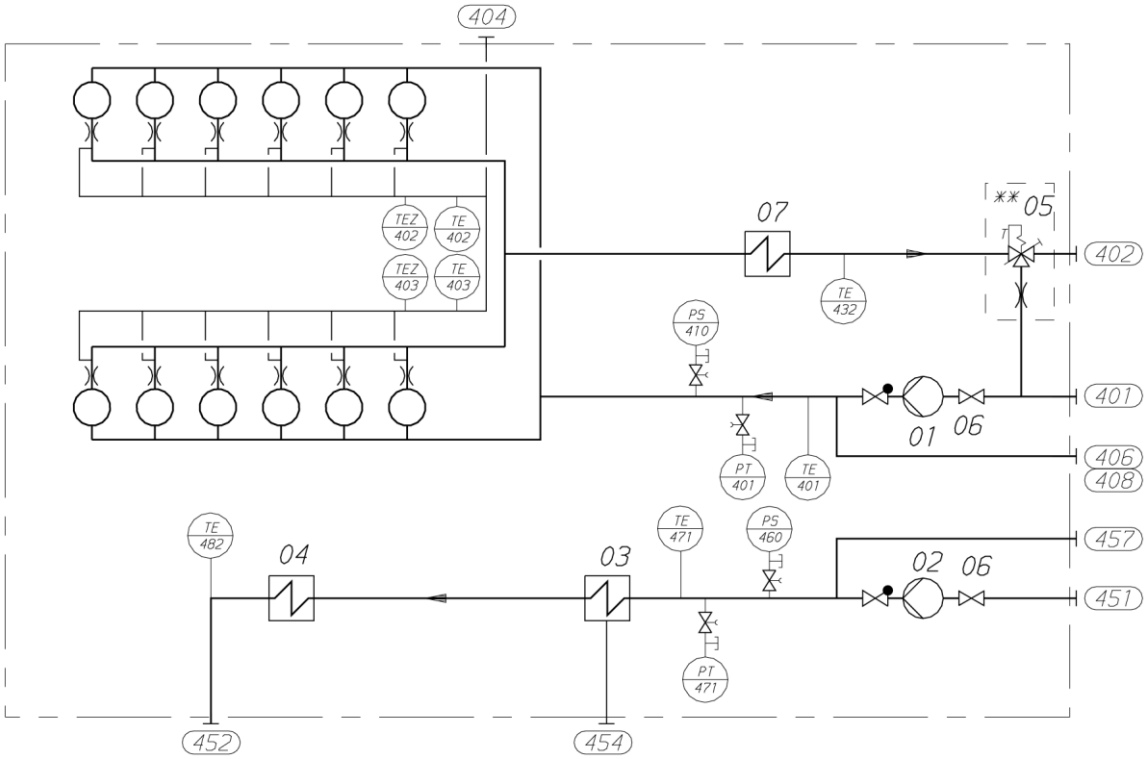
01 Насос охлаждающей воды, ВТ контур	04 Холодильник смазочного масла	07 Адаптер
02 Насос охлаждающей воды, НТ контур	05 Термостатный клапан, ВТ контур	
03 Холодильник наддувочного воздуха (НТ)	06 Холодильник наддувочного воздуха (ВТ)	

Датчики и индикаторы:

PT401 Давление воды ВТ контура на входе рубашки охлаждения	TE432 Температура воды ВТ контура на выходе холодильника наддувочного воздуха
TE401 Температура воды ВТ контура на входе рубашки охлаждения	PT471 Давление воды на входе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур
TE402 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения	TE471 Температура воды на входе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур
TEZ402 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения	TE482 Температура воды на выходе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур
PS410 Запуск резервного насоса ВТ контура (при резервном насосе)	PS460 Запуск резервного насоса НТ контура (при резервном насосе)

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
401 Впуск воды ВТ контура	DN100	PN16	ISO 7005-1
402 Выпуск воды ВТ контура	DN100	PN16	ISO 7005-1
404 Вентиляция ВТ контур	OD12		DIN 2353
406 Вода от подогревателя в ВТ контур	OD28		DIN 2353
408 Вода от резервного насоса, ВТ-контур	DN100	PN16	ISO 7005-1
451 Впуск воды НТ контура	DN100	PN16	ISO 7005-1
452 Выпуск воды НТ контура	DN100	PN16	ISO 7005-1
454 Вентиляция НТ контур	OD15		DIN 2353
457 Вода от резервного насоса, НТ контур	DN100	PN16	ISO 7005-1

Рисунок 9.2 Внутренняя система водяного охлаждения, V-образные двигатели (DAAE080921)



Системные компоненты:

01 Насос охлаждающей воды, ВТ контур	04 Холодильник смазочного масла	07 Адаптер
02 Насос охлаждающей воды, НТ контур	05 Термостатный клапан, ВТ контур	
03 Холодильник наддувочного воздуха (НТ)	06 Холодильник наддувочного воздуха (ВТ)	

Датчики и индикаторы:

PS410 Запуск резервного насоса ВТ контура (при резервном насосе)	TEZ402 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения, ряд А
PT401 Давление воды ВТ контура на входе рубашки охлаждения	TEZ403 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения, ряд В
TE401 Температура воды ВТ контура на входе рубашки охлаждения	PS460 Запуск резервного насоса НТ контура (при резервном насосе)
TE402 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения, ряд А	PT471 Давление воды на входе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур
TE403 Температура воды ВТ контура на выходе рубашки охлаждения, ряд В	TE471 Температура воды на входе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур
TE432 Температура воды ВТ контура на выходе холодильника наддувочного воздуха	TE482 Температура воды на выходе холодильника наддувочного воздуха, НТ контур

Трубопроводы	Размер	Класс давления	Стандарт
401 Впуск воды ВТ контура	DN125	PN16	ISO 7005-1
402 Выпуск воды ВТ контура	DN125	PN16	ISO 7005-1
404 Вентиляция ВТ контур	OD12		DIN 2353
406 Вода от подогревателя в ВТ контур	OD32	PN40	DIN 2353
408 Вода от резервного насоса, ВТ-контур	DN125	PN16	ISO 7005-1
451 Впуск воды НТ контура	DN125	PN16	ISO 7005-1
452 Выпуск воды НТ контура	DN125	PN16	ISO 7005-1
454 Вентиляция НТ контур	OD12		DIN 2353
457 Вода от резервного насоса, НТ контур	DN125	PN16	ISO 7005-1

Система водяного охлаждения разделена на высокотемпературный (ВТ) и низкотемпературный (НТ) контуры. Вода ВТ контура охлаждения циркулирует через рубашку охлаждения, цилиндровые крышки и 1-ю ступень холодильника наддувочного воздуха (если двигатель оборудован двухступенчатым воздушным холодильником). V-образные двигатели оборудованы двухступенчатыми холодильниками наддувочного воздуха, а рядные двигатели - одноступенчатыми.

Двухступенчатый холодильник наддувочного воздуха обеспечивает более эффективную утилизацию тепла и подогрев холодного наддувочного воздуха.

Вода НТ контура охлаждения циркулирует через холодильник наддувочного воздуха и масляный холодильник, который навешивается на двигатель.

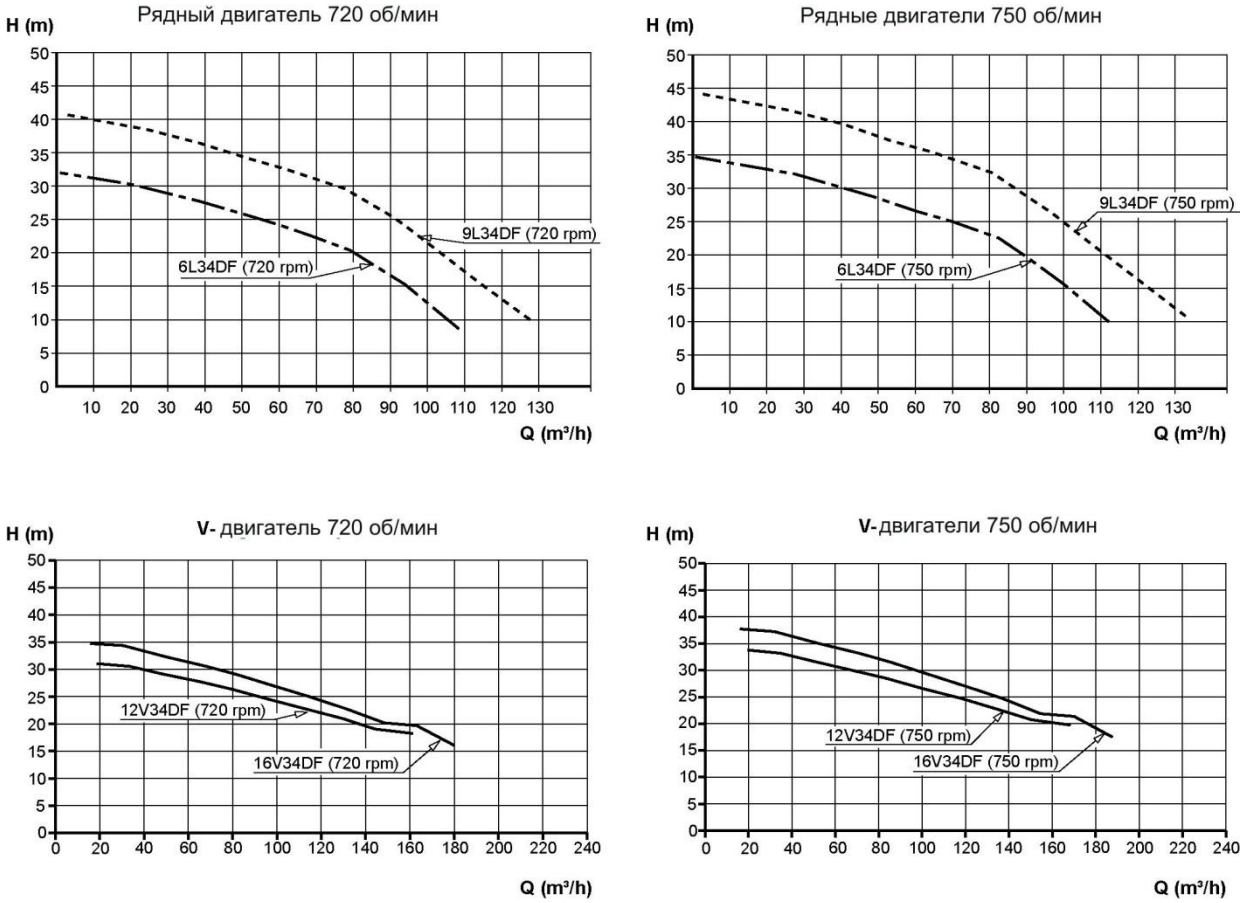
Термостатные клапаны регулируют температуру поступающей от двигателя, направляя часть ее обратно ко входу на насос охлаждающей воды. Термостатный клапан ВТ контура охлаждения всегда монтируется на двигателе, в то время как термостат НТ контура охлаждения может располагаться как на двигателе, так и вне его. В установках с двигателем, работающем только на топливе морском дизельном топливе (MDF), можно установить термостат НТ контура во внешней системе охлаждения и, таким образом, регулировать температуру воды НТ контура охлаждения до двигателя.

9.2.1 Циркуляционные насосы с механическим приводом

Насосы охлаждающей воды ВТ и НТ контуров всегда работают от механического привода. Насосы с механическим приводом располагаются со свободной стороны двигателя.

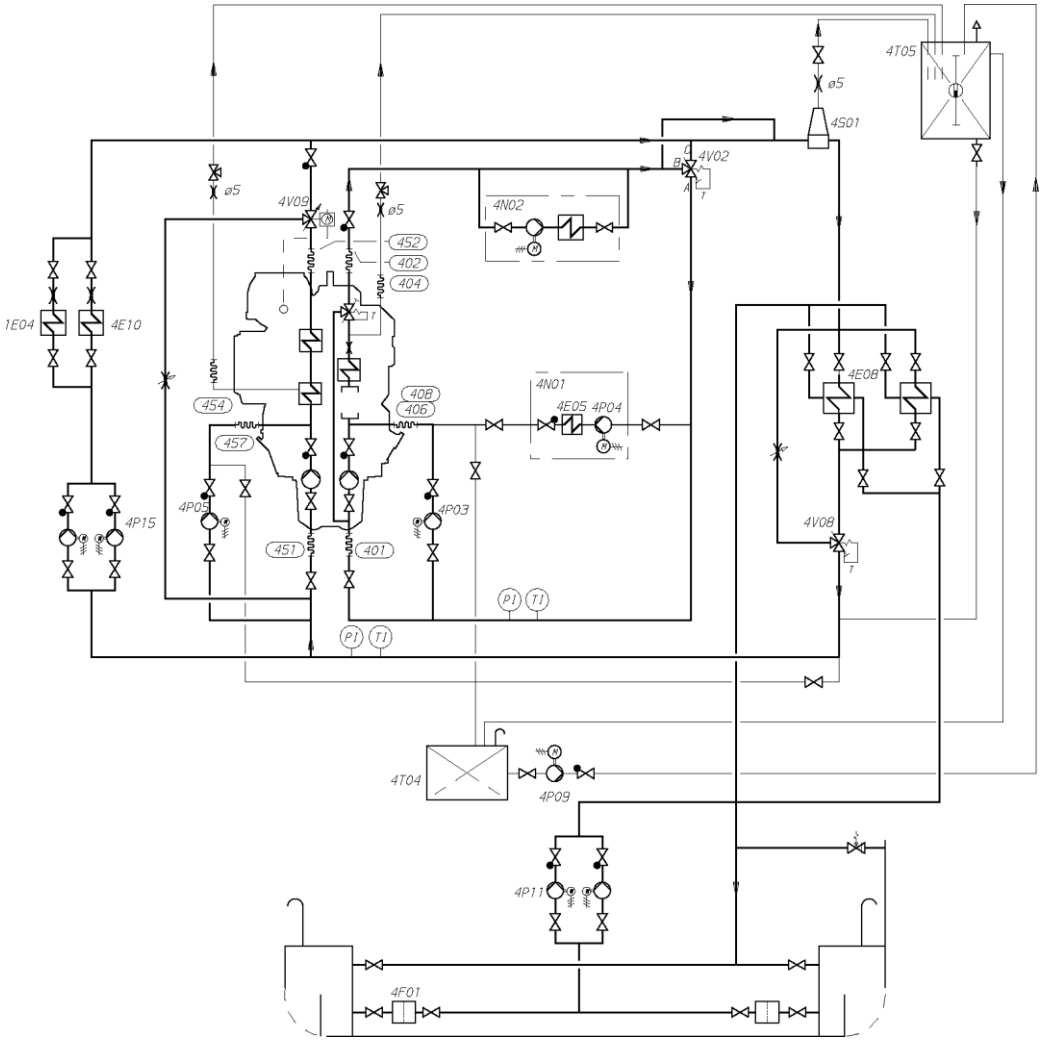
Кривые характеристик насоса с механическим приводом показаны на диаграммах. Номинальное давление и мощность насоса описаны в разделе «Технические данные».

Рисунок 9.3 Насосные характеристики насосов ВТ и НТ контуров с приводом от двигателя



9.3 Внешняя система водяного охлаждения

Рисунок 9.4 Внешняя система водяного охлаждения, рядные двигатели (DAAE055760a)



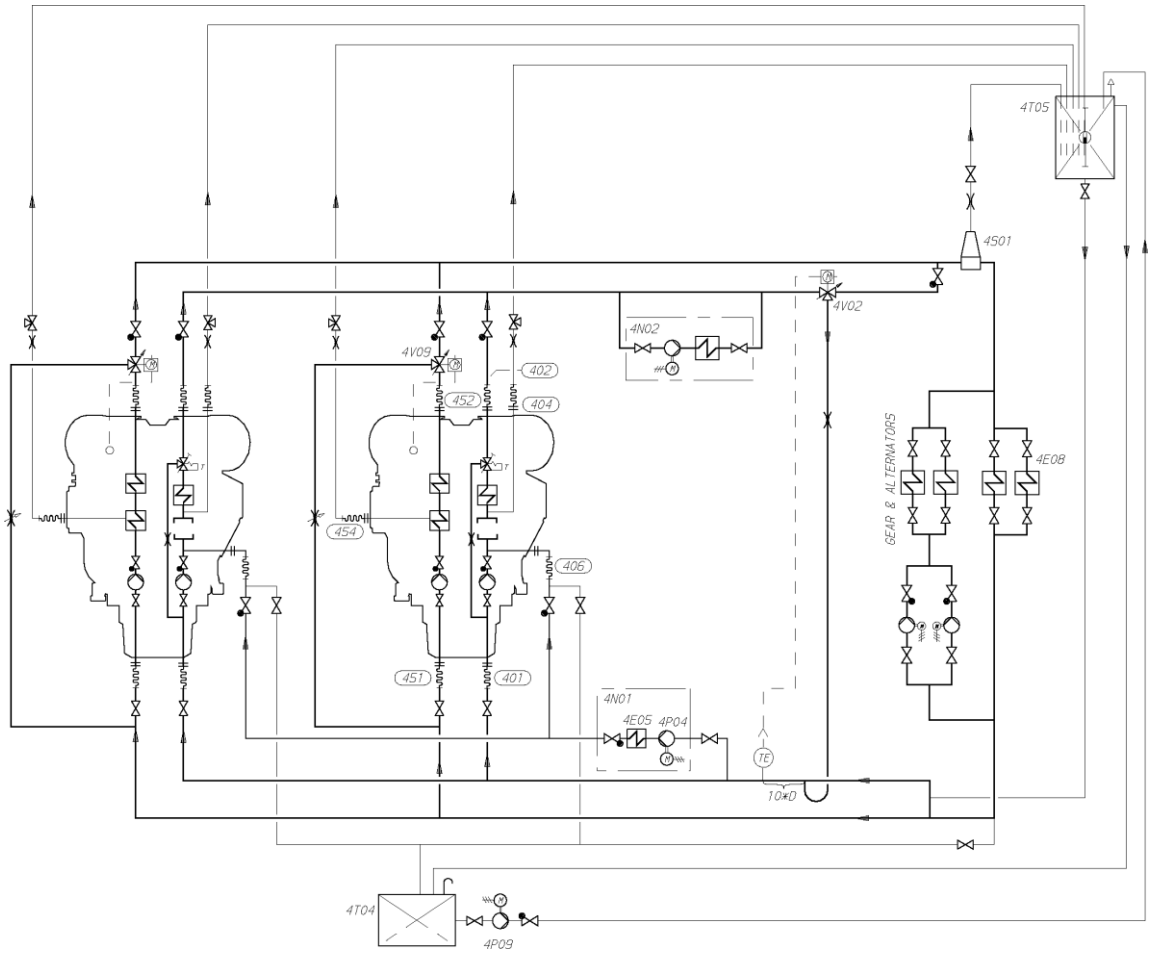
Системные компоненты:

1E04 Холодильник (MDF)	4P09 Перекачивающий насос
4E05 Нагреватель (блок подогревателя)	4P11 Циркуляционный насос
4E08 Центральный холодильник	4P15 Циркуляционный насос (НТ)
4E10 Холодильник (редуктор)	4S01 Вентиляция
4F01 Фильтр грубой очистки (забортная вода)	4T04 Дренажный танк
4N01 Блок подогревателя	4T05 Расширительный танк
4N02 Блок опреснителя	4V02 Термостатный клапан (утилизация тепла)
4P03 Резервный насос (ВТ)	4V08 Термостатный клапан (центральный холодильник)
4P04 Циркуляционный насос (подогреватель)	4V09 Термостатный клапан (наддувочный воздух)
4P05 Резервный насос (ВТ)	

Трубопроводы:

401 Впуск воды ВТ контура	451 Впуск воды НТ контура
402 Выпуск воды ВТ контура	452 Выпуск воды НТ контура
404 Вентиляция ВТ контур	454 Вентиляция от воздушного холодильника, НТ контур
406 Вода от подогревателя в ВТ контур	457 Вода от резервного насоса НТ контур
408 Вода от резервного насоса ВТ контур	

Рисунок 9.5 Внешняя система водяного охлаждения, V-образные двигатели (DAAE084914)



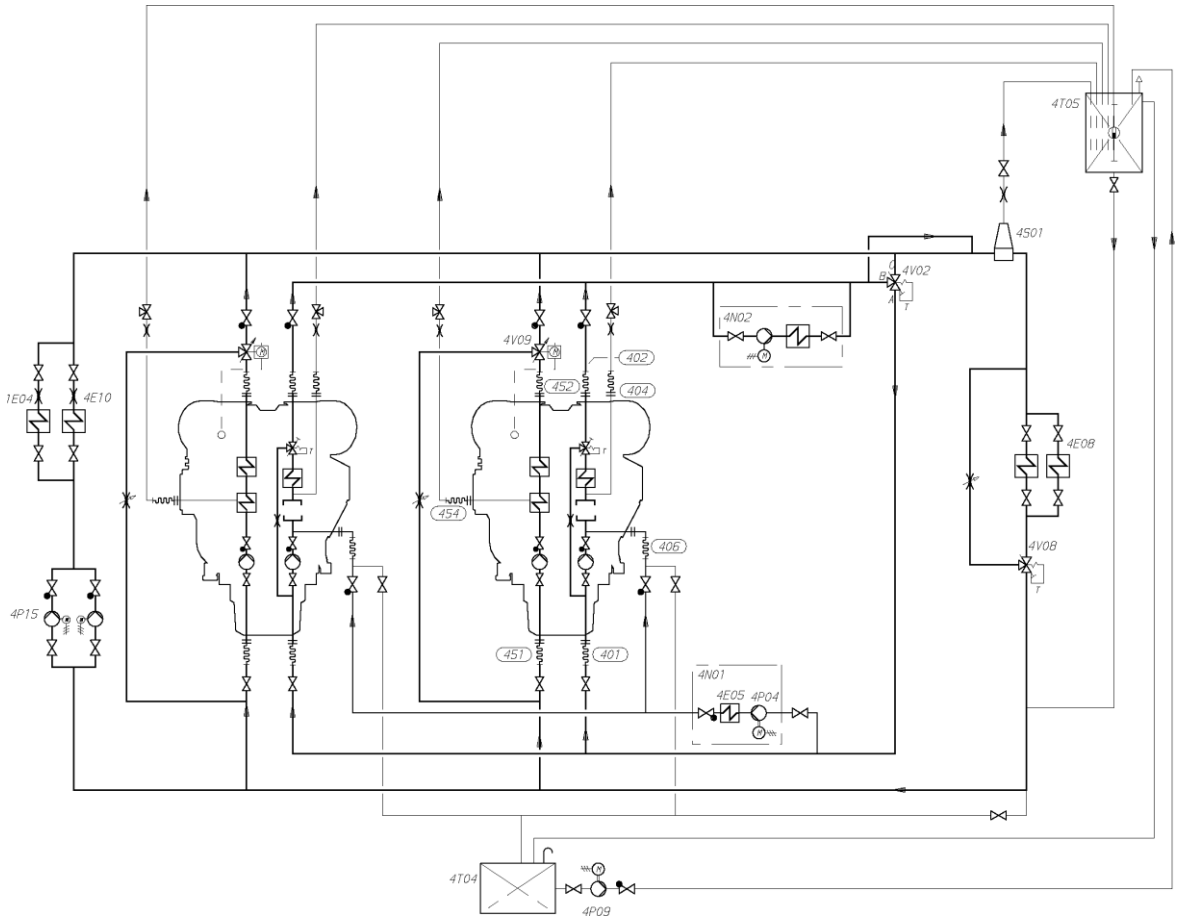
Системные компоненты:

4E05 Нагреватель (блок подогревателя)	4S01 Вентиляция
4E08 Центральный холодильник	4T04 Дренажный танк
4N01 Блок подогревателя	4T05 Расширительный танк
4N02 Блок опреснителя	4V02 Термостатный клапан (утилизация тепла)
4P04 Циркуляционный насос (подогреватель)	4V09 Термостатный клапан (наддувочный воздух)
4P09 Перекачивающий насос	

Трубопроводы:

401 Впуск воды ВТ контура	451 Впуск воды НТ контура
402 Выпуск воды ВТ контура	452 Выпуск воды НТ контура
404 Вентиляция ВТ контур	454 Вентиляция от воздушного холодильника, НТ контур
406 Вода от подогревателя в ВТ контур	

Рисунок 9.6 Внешняя система водяного охлаждения, V-образные двигатели (DAAE089099)



Системные компоненты:

1E04 Холодильник (MDF)	4P15 Циркуляционный насос (HT)
4E05 Нагреватель (блок подогревателя)	4S01 Вентиляция
4E08 Центральный холодильник	4T04 Дренажный танк
4E10 Холодильник (редуктор)	4T05 Расширительный танк
4N01 Блок подогревателя	4V02 Термостатный клапан (утилизация тепла)
4N02 Блок опреснителя	4V08 Термостатный клапан (центральный холодильник)
4P04 Циркуляционный насос (подогреватель)	4V09 Термостатный клапан (наддувочный воздух)
4P09 Перекачивающий насос	

Трубопроводы:

401 Впуск воды ВТ контура	451 Впуск воды НТ контура
402 Выпуск воды ВТ контура	452 Выпуск воды НТ контура
404 Вентиляция ВТ контур	454 Вентиляция от воздушного холодильника, НТ контур
406 Вода от подогревателя в ВТ контур	

В установках с несколькими двигателями рекомендуется разделить двигатели на несколько контуров. Одной из причин, разумеется, является дублирование, но также легче отрегулировать отдельные потоки в меньших системах. Можно также ограничить количество неисправностей, вызванных увлеченными газами или потерей охлаждающей воды в случае бóльших утечек. В некоторых установках желательно разделить ВТ контур и НТ контур с помощью теплообменника.

Внешний контур системы должен быть смоделирован таким образом, чтобы потоки, давление и температура были близки к своим номинальным значениям, указанным в разделе «Технические данные», а охлаждающая вода была должным образом деаэрирована.

Нельзя использовать трубы с оцинкованной внутренней поверхностью в системе охлаждения пресной водой. Некоторые присадки к охлаждающей воде вступают в химическую реакцию с цинком, образуя вредный осадок. К тому же при высоких температурах цинк становится более инертным, чем сталь, что вызывает значительную коррозию деталей двигателя.

Суда (ледового класса), спроектированные для хождения в холодной морской воде, должны быть обеспечены средствами для рециркуляции воды из центрального охладителя в кингстонную коробку:

- Для натаивания льда и шуги, для избегания загрязнения фильтра забортной воды
- Для улучшения регулировки температуры НТ воды с помощью повышения температуры забортной воды

9.3.1 Резервный циркуляционный насос (4P03, 4P05)

Резервные насосы должны быть центробежного типа, с электроприводом. Необходимые параметры производительности и напорного давления указаны в разделе «Технические данные».

ВНИМАНИЕ! Некоторые классификационные общества требуют наличия на борту запасных насосов, даже если судно оснащено несколькими двигателями. В этом случае резервные насосы могут быть использованы для этих целей.

9.3.2 Насос забортной воды (4P11)

Насосы забортной воды всегда устанавливаются отдельно от двигателя и имеют электропривод.

Производительность насосов забортной воды определяется типом охладителей и объемом тепла, которое нужно рассеять.

Значительные энергосбережения могут быть получены в большинстве установок с помощью регулятора частоты насоса забортной воды с электроприводом. Тем не менее, необходимо принимать во внимание минимальную скорость потока (засорение) и максимальную температуру морской воды (осаждение соли).

9.3.3 Temperature control valve, HT-system (4V01)

Внешний термостатный клапан ВТ контура – это опцион для V-образных двигателей.

Термостатный клапан устанавливается непосредственно после двигателя. Он контролирует температуру воды, отводимой от двигателя, направляя какое-то количество воды обратно на насос ВТ контура. Термостатный клапан может быть прямого действия или с электрическим актуатором. Каждый двигатель должен иметь отдельный термостатный клапан.

Уставка клапана 96°C

9.3.4 Термостатный клапан, центральный холодильник (4V08)

Если нужно использовать НТ насос с механическим приводом для охлаждения внешнего оборудования, например, редуктора или генератора, то вместо отдельных клапанов на каждом двигателе необходим общий НТ термостат во внешней системе. Общий НТ термостат устанавливается за центральным холодильником и регулирует температуру воды до поступления в двигатель и внешнее оборудование, частично направляя ее в обход центрального холодильника. Клапан может быть прямого действия или с электроприводом.

Уставка термостата 4V08 38 ºC для типа системы, описанного выше.

Двигатели, работающие на тяжелом топливе должны иметь отдельные НТ термостаты. В таких случаях для оборудования внешнего контура нужен отдельный насос, и уставка клапана 4V08 может быть, при необходимости, ниже, чем 38ºC.

9.3.5 Термостат наддувочного воздуха (4V09)

Температура наддувочного воздуха поддерживается на определенном уровне при помощи термостата с электроприводом, установленного во внешнем НТ контуре. Термостат регулирует поток охлаждающей воды через НТ ступень холодильника наддувочного воздуха в соответствии с температурой, измеряемой во впускном коллекторе.

Температура наддувочного воздуха регулируется в зависимости от нагрузки двигателя.

9.3.6 Термостатный клапан утилизации тепла (4V02)

Термостат, установленный после системы утилизации тепла, регулирует максимальную температуру воды, которая смешивается с водой ВТ-контура, выходящей из двигателя, перед насосом ВТ-контура. Термостат может быть самоприводным или с электроприводом.

Уставка термостата обычно около 75ºC.

9.3.7 Холодильники прочего оборудования и холодильники дизельного топлива

Циркуляционный насос НТ контура с механическим приводом может осуществлять подачу охлаждающей воды к одному или двум небольшим холодильникам, установленным параллельно с двигателем, например, на холодильник дизельного топлива или холодильник редуктора. Это единственный способ для двигателей, работающих на дизельном топливе, потому что термостат НТ контура не может быть установлен на двигатель для контроля температуры после двигателя. Для более объемных потоков требуются отдельные циркуляционные насосы.

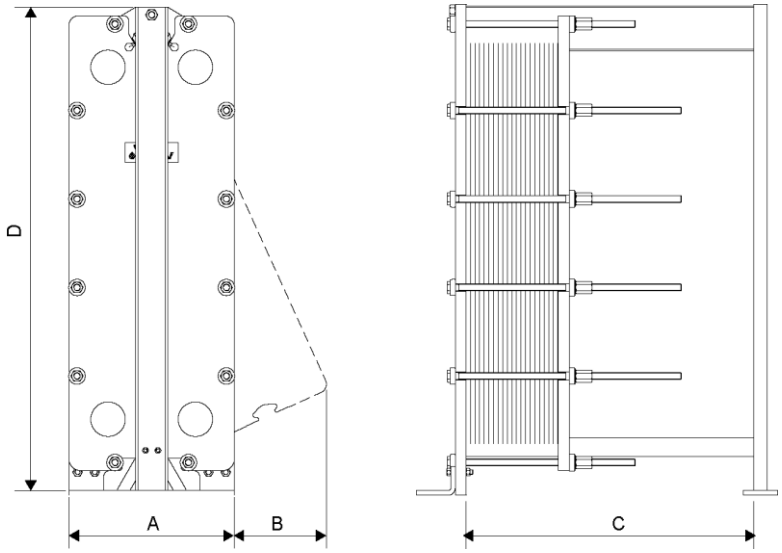
Данные для проектирования для холодильника MDF приведены в разделе «Топливная система».

9.3.8 Центральный холодильник пресной воды (4E08)

Данные для проектирования:

Поток пресной воды	см. раздел «Технические данные»
Рассеиваемое тепло	см. раздел «Технические данные»
Перепад давления со стороны пресной воды, макс.	60 кПа (0,6 Бар)
Поток забортной воды	устанавливается производителем холодильника, обычно x 1,2 – 1,5 к потоку пресной воды
Перепад давления со стороны забортной воды, норм.	в завис. от напора насоса, обычно 80 - 140 кПа (0,8 – 1,4 Бар)
Температура пресной воды после холодильника, макс.	38°C
Величина запаса (мощности, на загрязнение)	15%

Рисунок 9.7 Основные габаритные размеры центрального холодильника Пример приведен в качестве рекомендаций



Число цилиндров	A (мм)	B (мм)	C (мм)	D (мм)	Вес (кг)
6	720	425	700	2150	1200
9	720	425	700	2150	1230
12	720	425	700	2150	1250
16	720	425	950	2150	1310

В качестве альтернативы центральным холодильникам пластиночного или трубчатого типа может быть установлен кингстонный холодильник. Принцип кингстонного охлаждения очень прост. Охлаждающая вода пропускается через пучок U-образных труб помещенных в кингстонную коробку, снабженную впускным и выпускным отверстиями. Эффект охлаждения достигается с помощью естественной циркуляции окружающей воды. Забортная вода нагревается и поднимается вверх под действием своей меньшей плотности, вызывая, таким образом, естественный восходящий поток циркуляции, устраняющий тепло.

Кингстонное охлаждение обладает тем преимуществом, что снимает необходимость в системе забортной воды, а также кингстонные холодильники менее чувствительны к загрязнению, а потому хорошо подходят для работы в мутной воде или на мелководье.

9.3.9 Утилизация отходящего тепла

Отходящее тепло в охлаждающей воде ВТ-контура может быть использовано для получения пресной воды, центрального отопления, подогрева танка и т.д. В этом случае, во избежание излишнего охлаждения, система должна быть снабжена термостатом, как это показано на диаграммах-примерах. С этим приспособлением можно усилить поток воды ВТ-контура, проходящей через систему утилизации тепла.

Тепло, поступающее от ВТ-контура охлаждения, подвержено влиянию условий окружающей среды. Также необходимо принимать во внимание, что объем регенерируемого тепла снижается за счет циркуляции в расширительный танк, излучения от труб и утечек в термостатах.

9.3.10 Вентиляция

Воздух или прочие газы могут содержаться в трубопроводах после переборки системы, а также вследствие протечек уплотнений и прочих причин воздух или газ может постоянно добавляться в систему. Для удаления воздуха из системы охлаждения двигатель оборудован вентиляционными трубами. Вентиляционные трубы должны проводиться отдельно от каждого подсоединения на двигателе к расширительному танку.

Вентиляционные трубы к расширительному танку должны устанавливаться во всех верхних точках в системе трубопроводов, где воздух или газ может аккумулироваться.

Вентиляционные трубы должны непрерывно идти вверх.

9.3.11 Расширительный танк (4T05)

Расширительный танк должен компенсировать изменения объема в системе водяного охлаждения, выполнять функции вентиляции и обеспечения остаточного статического давления на циркуляционные насосы.

Данные для проектирования:

Давление от танка на входе насоса	70 - 150 кПа (0,7...1,5 Бар)
Мин. объем	10% общего объема воды в системе

ПРИМЕЧАНИЕ! В том случае, если насос с электроприводом установлен значительно выше двигателя, нельзя превышать максимальное давление на двигатель.

Объем воды в двигателе - см. в разделе «Технические данные».

Расширительный танк должен быть оборудован лючком для осмотра, уровнемером, АПС по низкому уровню и устройствами для дозировки присадок.

Каждая вентиляционная труба должна заканчиваться ниже уровня воды в танке. Вентиляционные трубы должны прокладываться к танку по отдельности (см. раздел «Вентиляция»), а также трубы должны быть помечены бирками на расширительном танке.

Некоторое количество топливного газа может попадать в систему водяного охлаждения двухтопливного двигателя. Газ (как и воздух) сепарируется в системе водяного охлаждения и выпускается в расширительный танк системы охлаждения. Поэтому расширительный танк охлаждающей воды должен иметь крышку, чтобы предотвратить попадание газа во внешнюю среду.

Вентиляция расширительного танка охлаждающей воды двухтопливного двигателя проводится по аналогии с вентиляцией газопровода.

Все отверстия из расширительного танка охлаждающей воды во внешнюю среду, за исключением вентиляционной трубы, должны быть, как правило, либо закрыты, либо сконструированы так, чтобы не позволить топливному газу выйти из танка (например, переливная труба с водяным затвором). Вентиляционные трубы расширительного танка охлаждающей воды двигателей, расположенные в одном машинном отделении, могут быть объединены.

Конструкция и устройство расширительного танка охлаждающей воды для определенного проекта могут потребовать одобрения классификационного общества.

Выравнивающая труба от расширительного танка должна иметь сечение для скорости протока, не превышающего 1,0-1,5 м/с, чтобы обеспечить требуемое давление на входе насоса при работающих двигателях. Поток воды по трубам зависит от количества ведущих к танку вентиляционных труб и размеров отверстий в вентиляционных трубах. Можно пользоваться данными, приведенными в таблице ниже.

Таблица 9.2 Минимальный диаметр уравнительной трубы

Номинальный размер трубы	Макс. скорость протока (м/с)	Макс. к-во вентиляционных труб с отверстием ø 5 мм
DN 32	1,1	3
DN 40	1,2	6
DN 50	1,3	10
DN 65	1,4	17

9.3.12 Дренажный танк (4T04)

Рекомендуется собирать охлаждающую воду с присадками в дренажный танк в тех случаях, когда систему необходимо осушить для работ по техническому обслуживанию. Для того чтобы охлаждающую воду можно было закачать обратно в систему и снова использовать, необходим насос.

Объем воды в двигателе - см. в разделе «Технические данные». Объем воды в НТ контуре двигателя небольшой.

9.3.13 Подогрев

Охлаждающая вода, циркулирующая через цилиндры, должна быть подогрета, по крайней мере, до 60 ºC, желательно до 70 ºC. Это обязательное требование для установок, предназначенных для работы на тяжелом топливе, но также настоятельно рекомендуется для двигателей работающих только на морском дизельном топливе.

Энергия необходимая для подогрева охлаждающей воды ВТ контура может быть получена от автономного источника или от работающего двигателя, часто комбинации того и другого. Во всех случаях необходимо использовать автономный циркуляционный насос. Обычно для подогрева главных двигателей используется тепло работающих вспомогательных двигателей. В установках с несколькими главными двигателями мощности автономного источника тепла должно хватать для подогрева двух двигателей при условии, что этого достаточно для функционирования судна. Если контуры охлаждающей воды разделены, энергия передается через теплообменник.

Подогреватель (4E05)

Источником энергии для подогревателя может служить электроэнергия, пар или термальное масло.

Рекомендуется подогревать ВТ воду до температуры близкой к обычной рабочей температуре. Мощность подогрева обусловливает время необходимое для прогревания остывшего двигателя.

Минимальная необходимая мощность подогрева 5 кВт/цил, позволяющая разогреть двигатель от 20 ºC до 60 … 70 ºC за 10 – 15 часов. Необходимая для более короткого времени прогревания мощность подогрева может быть рассчитана по приведенной ниже формуле. Около 2 кВт/цил требуется, чтобы поддерживать двигатель в разогретом состоянии.

Данные для проектирования:

Температура подогрева, мин.	60°C
Необходимая мощность подогрева	5 кВт/цил
Необходимая мощность подогрева для поддержания двигателя в разогретом состоянии	2 кВт/цил

Необходимая мощность для подогрева двигателя, см. ниже приведенную формулу:

$$P = \frac{(T_1 - T_0)(m_{eng} \times 0.14 + V_{LO} \times 0.48 + V_{FW} \times 1.16)}{t} + k_{eng} \times n_{cyl}$$

где:

P = Входная мощность подогревателя [кВт]

T_1 = Температура подогрева = 60...70 °C

T_0 = Температура окружающей среды [°C]

m_{eng} = Вес двигателя [тонн]

V_{LO} = Уровень смазочного масла [м^3] (только двигатели с мокрым картером)

V_{FW} = Уровень ВТ воды [м^3]

t = Время подогрева (ч)

k_{eng} = Удельный коэффициент двигателя = 0,5 кВт

n_{cyl} = Количество цилиндров

Данная формула не должна применяться, если P<3.5 кВт/цилиндр.

Циркуляционный насос для подогревателя (4P04)

Данные для проектирования:

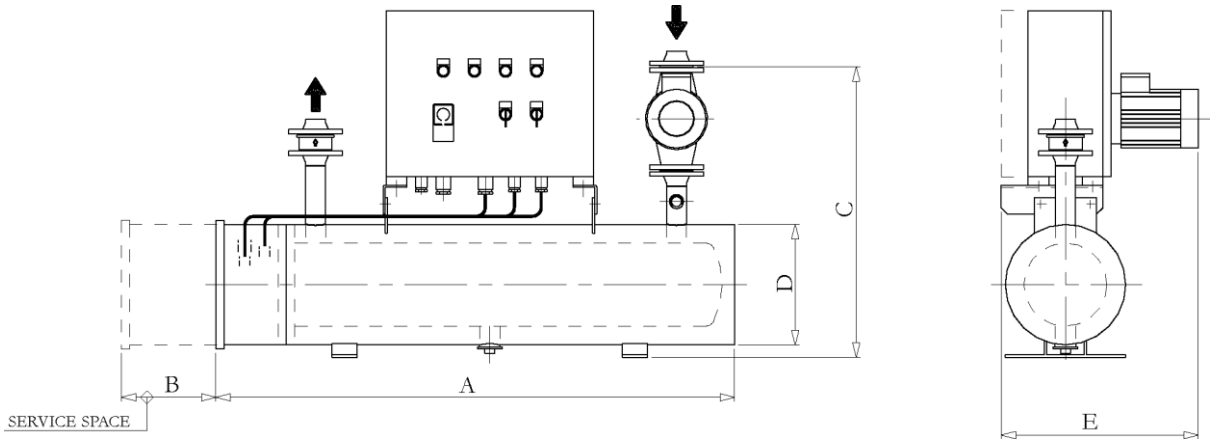
Производительность	0,4 м^3/ч на цилиндр
Напорное давление	80...100 кПа (0,8...1,0 Бар)

Блок подогревателя (4N01)

Блок подогревателя может поставляться полностью в сборе. Блок включает:

- Электрические или паровые подогреватели
- Циркуляционный насос
- Шкаф управления подогревателями и насосом
- Набор термометров
- Невозвратный клапан
- Предохранительный клапан

Рисунок 9.8 Блок подогревателя, электрический (3V60L0562C).



Мощность нагревателя	Производительность насоса, м³/ч		Вес	Трубопроводы	Габариты				
кВт	50 Гц	60 Гц	кг	ВХ/ВЫХ	A	B	C	D	E
18	11	13	95	DN40	1250	900	660	240	450
22,5	11	13	100	DN40	1050	720	700	290	475
27	12	13	103	DN40	1250	900	700	290	475
30	12	13	105	DN40	1020	720	700	290	475
36	12	13	125	DN40	1250	900	700	290	475
45	12	13	145	DN40	1250	720	755	350	505
54	12	13	150	DN40	1250	900	755	350	505
72	12	13	187	DN40	1260	900	805	400	550
81	12	13	190	DN40	1260	900	805	400	550
108	12	13	215	DN40	1260	900	805	450	575

9.3.14 Дроссели

Дроссели должны быть установлены на всех обводных линиях с тем, чтобы обеспечить сбалансированные условия эксплуатации термостата. Дроссели также должны быть установлены там, где необходимо сбалансировать поток воды между дополнительными протоками воды.

9.3.15 Термометры и манометры

Локальные термометры должны быть установлены в тех местах, где происходит изменение температуры, т.е. до и после теплообменников и т.д.

Локальные манометры должны быть установлены на стороне всасывания и стороне нагнетания каждого насоса.

10 Система воздуха сгорания

10.1 Вентиляция машинного отделения

Для поддержания приемлемых условий работы двигателей и обеспечения бесперебойной работы оборудования, следует уделять внимание вентиляции машинного отделения и подаче воздуха сгорания.

Воздухозаборники машинного отделения должны быть расположены и спроектированы так, чтобы в воздуховоды и машинное отделение не попадали забортная вода, дождевая вода, пыль и выхлопной газ. Минимальные требования относительно вентиляции машинного отделения и более подробная информация содержится в соответствующих стандартах и в «Концепции безопасности двухтопливных двигателей».

Объем воздуха, необходимый для вентиляции, рассчитывается исходя из величины Ф, суммарного теплового излучения, которое должно быть компенсировано. Для определения Ф должны приниматься во внимание все источники тепла, в частности:

- Главные и вспомогательные дизельные двигатели
- Выхлопные газоходы
- Генераторы
- Электрооборудование и освещение
- Котлы
- Паровые и конденсатные трубопроводы
- Танки

Рекомендуется принимать в расчет температуру забортного воздуха не ниже 35°C и повышение температуры на 11°C при вентиляции машинного отделения.

Объем воздуха для вентиляции машинного отделения (необходимо помнить, что должны быть выполнены упомянутые выше требования - 30 оборотов объема воздуха/час) рассчитывается по формуле:

$$q_V = \frac{\Phi}{\rho \times c \times \Delta T}$$

где:

q_v = объем вентиляционного воздуха [м³/с]

Ф = Суммарное тепловое излучение, которое должно быть компенсировано [кВт]

ρ = плотность воздуха 1,13 кг/м³

c = Удельная теплоемкость воздуха 1,01 кДж/кг

ΔT = Повышение температуры в машинном отделении [°C]

Выделяемые двигателями объемы тепла перечислены в разделе «Технические данные».

Вентиляция машинного отделения должна производиться отдельными вентиляторами. Предпочтительно, чтобы эти вентиляторы были оборудованы двухскоростными электромоторами (либо моторами с регулируемой частотой вращения). Тогда можно будет снижать уровень вентиляции в зависимости от температуры окружающего воздуха и выделения тепла в машинном отделении, например, во время ремонта главного двигателя, когда он не разогрет и, таким образом, не нагревает машинное отделение.

Необходимо равномерное распределение воздуха в машинном отделении с учетом потоков от точек подачи до точек вытяжки воздуха. Обычно система проектируется так, чтобы через трубу выдувалось наибольшее количество воздуха. Во избежание застаивания воздуха можно применять вытяжные вентиляторы.

Хорошей практикой является оборудование зон со значительными источниками тепла, скажем помещений сепараторов, собственными вохдухозаборниками и отводящими вентиляторами.

Следует избегать недоохлаждения машинного отделения при любых условиях (эксплуатации, на медленном ходу и на стоянке). Также следует избегать холодных сквозняков, особенно в местах частых работ по техническому обслуживанию. Для работы в очень холодных условиях в системе должен быть предусмотрен подогреватель. Подходящей рабочей средой может быть термальное масло либо смесь вод с гликолем (для предотвращения замерзания). Если судно обогревается паром, подогреватель должен быть включен во вторичный контур.

10.1.1 Качество воздуха сгорания

Температура воздуха на подводе ГТН должна держаться, насколько это возможно, в диапазоне от 15°C до 35°C. Краткосрочно допустима максимальная температура 45ºC.

10.2 Конструкция системы воздуха сгорания

Обычно воздух сгорания выводится из машинного отделения через фильтр на ГТН. Это снижает риск при работе при низких температурах, а также подачи загрязненного воздуха. Совершенно недопустимо, чтобы воздух сгорания содержал забортную воду, пыль, испарения и т.д.

При нормальных условиях эксплуатации температура воздуха, поступающего в ГТН, должна поддерживаться в пределах между 15ºC и 35ºC. Краткосрочно допустима максимальная температура 45ºC. Расход воздуха сгорания указан в разделе "Технические данные".

Воздух сгорания должен подаваться отдельными нагнетателями, мощность которых должна быть несколько больше, чем максимальный расход воздуха. Масса воздуха сгорания, указанная в технических данных, определена для температуры окружающего воздуха 25°C. Для определения плотности воздуха, соответствующей 30°C или более следует перевести массовый расход в объемный расход. Для вычисления объемного расхода можно пользоваться следующей формулой:

$$q_c = \frac{m'}{\rho}$$

где:

q_c = объемный расход воздуха сгорания, м³/сек

m' = массовый расход воздуха сгорания, кг/с

ρ = плотность воздуха 1,15 кг/м³

Предпочтительно, чтобы вентиляторы были оборудованы двухскоростными электромоторами (либо моторами с регулируемой частотой вращения) для большей гибкости в эксплуатации. В дополнение к ручному управлению скорость вентилятора может регулироваться с помощью нагрузки двигателя.

На установках с несколькими двигателями предпочтительно, чтобы каждый главный двигатель имел свой вентилятор для воздуха сгорания. Таким образом, подача воздуха может регулироваться в зависимости от числа работающих двигателей.

Воздух сгорания должен поступать по специальному воздуховоду, расположенному около ГТН и направленному на воздухозаборник ГТН. Выпускное отверстие воздуховода должно быть оборудовано створкой для регулирования направления и количества воздуха. Другие потребители воздуха сгорания, например, другие двигатели, газовые турбины и бойлеры, должны также обслуживаться соответствующими воздуховодами воздуха сгорания.

В случае необходимости, воздуховод воздуха сгорания может быть подсоединен непосредственно к ГТН с помощью гибкого соединительного шланга. К такому приспособлению в воздуховоде должен быть установлен внешний фильтр для защиты ГТН и предотвращения засорения холодильника наддувочного воздуха. Максимальный разрешенный перепад давления в воздуховоде – 1,5 кПа.

Воздуховод должен быть оснащен плавно переключающейся перекидной створкой с тем, чтобы забирать воздух из машинного отделения или снаружи, в зависимости от нагрузки двигателя и температуры воздуха.

Для очень холодных условий необходимо наладить подогрев приточного воздуха. Вентилятор воздуха сгорания остановлен во время запуска двигателя, и необходимый воздух сгорания

поступает из машинного отделения. После запуска двигателя подача вентиляционного воздуха, воздуха сгорания или сочетания того и другого, должна поддерживать минимальную требуемую температуру воздуха сгорания. В тех случаях, когда всасываемый воздух холодный, поток воздуха, подаваемый с помощью вентилятора воздуха сгорания, должен быть направлен от двигателя, чтобы воздух мог прогреваться в машинном отделении.

10.2.1 Отсечной клапан наддувочного воздуха (опцион)

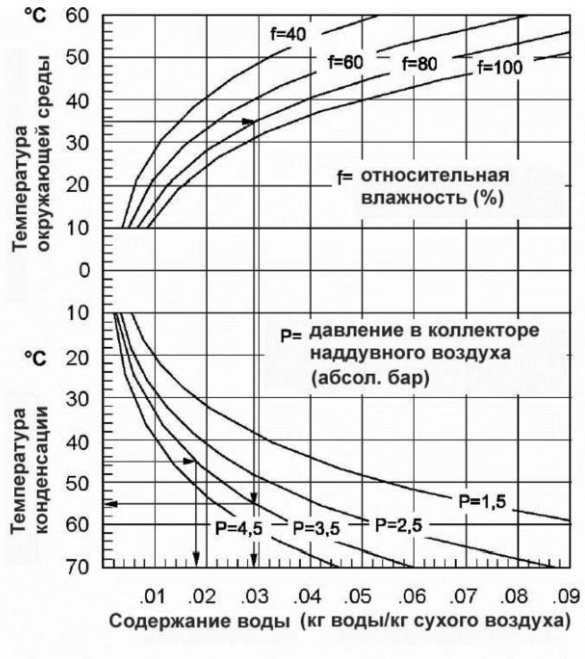
В установках, в которых воздух сгорания может содержать горючий газ или пар, двигатель может быть оборудован отсечным клапаном зарядного воздуха. Это обязательно там, где возможно всасывание двигателем горючего газа или дыма.

10.2.2 Конденсация в холодильнике наддувочного воздуха

Пример, в соответствии с диаграммой:

При температуре окружающего воздуха 35°C и относительной влажности 80%, количество воды в воздухе составляет 0,029 кг воды/ кг сухого воздуха. Если давление в коллекторе наддувочного воздуха (ресивере) при этих условиях равно 2,5 Бар (= 3,5 Бар абсолютное давление), точка росы равна 55°C. Если температура воздуха в коллекторе всего 45°C, в воздухе может содержаться только 0,018 кг/кг воды. Разница, 0,011 кг/кг (0,029 – 0,018) выпадает в виде конденсата.

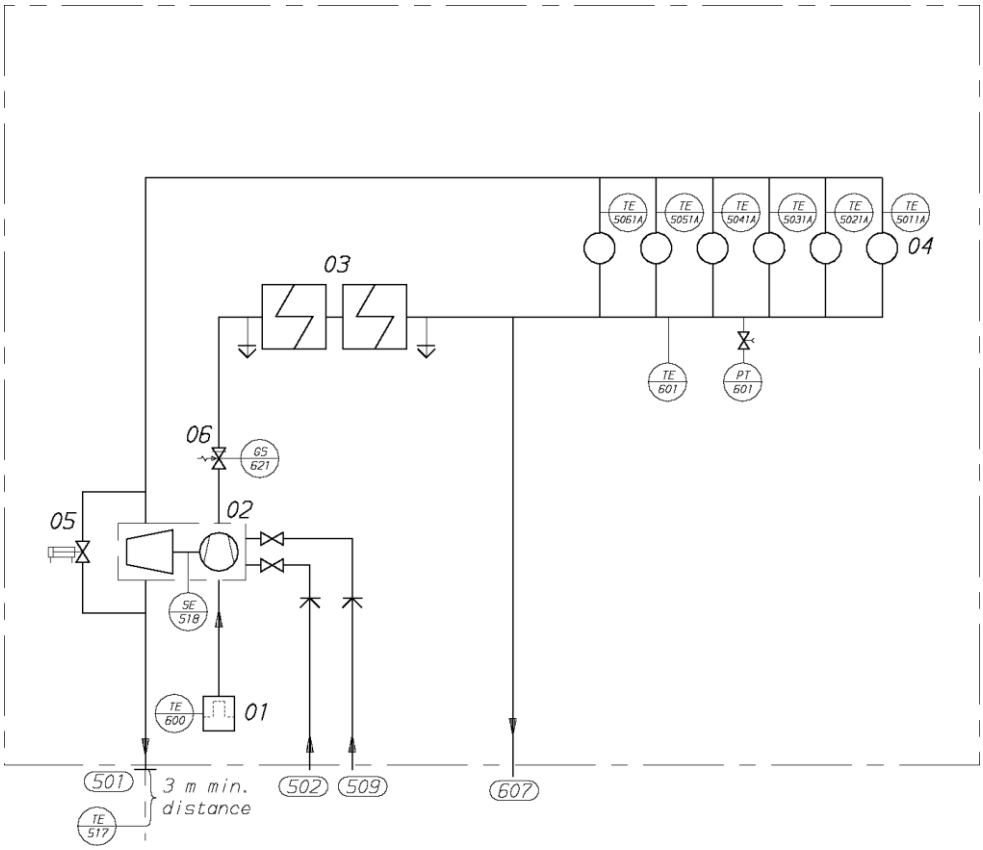
Рис. 10.1 Конденсация в холодильнике наддувочного воздуха



11 Система выхлопного газа

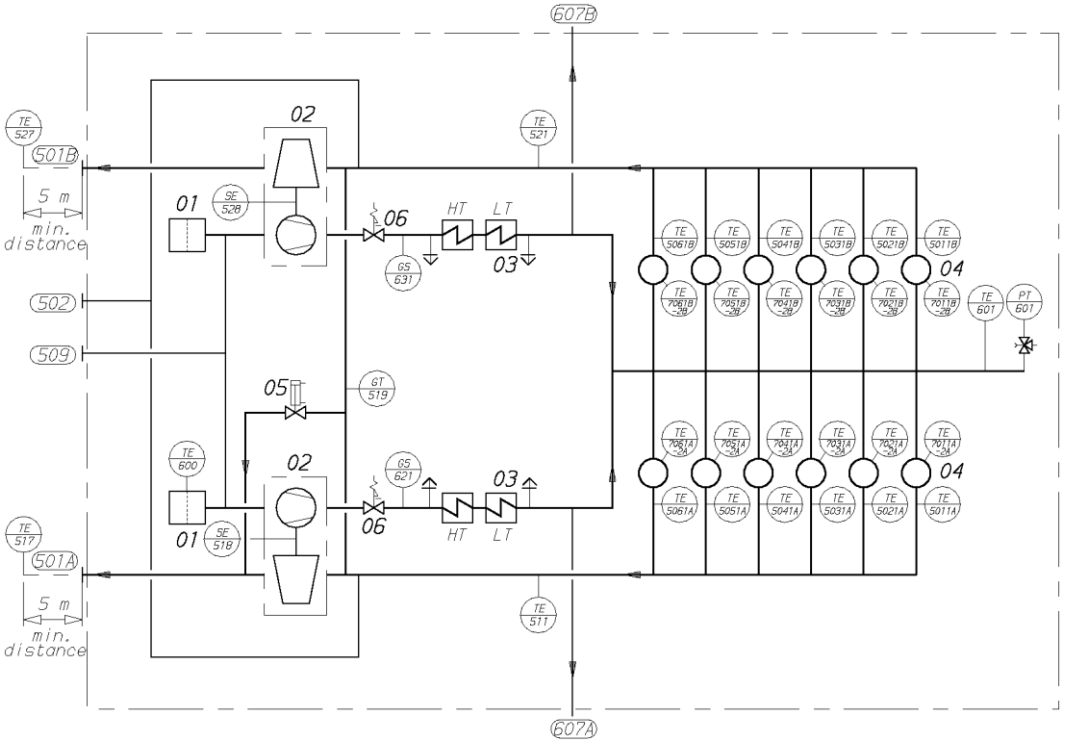
11.1 Внутренняя система выхлопного газа

Рисунок 11.1 Внутренняя система выхлопного газа, рядные двигатели (DAAE055614a)



Системные компоненты			
01 Воздушный фильтр		04 Цилиндр	
02 ГТН		05 Клапан сброса наддувочного воздуха	
03 Холодильник наддувочного воздуха		06 Клапан отсечки наддувочного воздуха	
Датчики и индикаторы			
TE50#1A... Датчик температуры выхлопного газа после каждого цилиндра		TE600 Температура воздуха, вход ГТН	
TE517 Датчик температуры выхлопного газа после ГТН		TE601 Температура наддувочного воздуха после холодильника	
SE 518 Частота вращения ГТН		GS621 Положение клапана отсечки наддувочного воздуха (опцион)	
PT601 Давление наддувочного воздуха после холодильника			
TE600 Температура воздуха на входе ГТН			
Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
501 Выход выхлопных газов	DN400	PN6	ISO 7005-1
502 Промывочная вода к турбине	OD18		DIN 2353
509 Промывочная вода на компрессор	OD18		DIN 2353
607 Конденсат после воздушного холодильника	OD8		DIN 2353

Рисунок 11.2 Внутренняя система выхлопного газа, V-образные двигатели (DAAE080922)

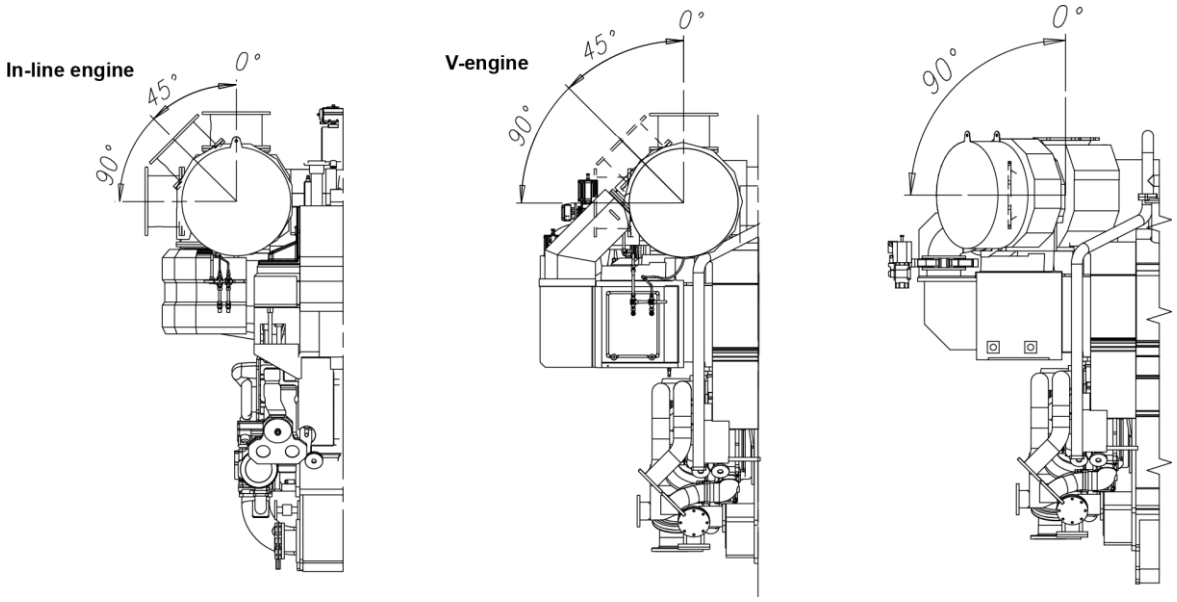


Системные компоненты	
01 Воздушный фильтр	04 Цилиндр
02 ГТН	05 Клапан сброса наддувочного воздуха
03 Холодильник наддувочного воздуха	06 Клапан отсечки наддувочного воздуха
Датчики и индикаторы	
TE511 Температура выхлопного газа, подвод ГТН, ряд A	TE50#1B... Датчик температуры выхлопного газа после каждого цилиндра, ряд B
TE517 Датчик температуры выхлопного газа после ГТН, ряд A	TE7#1A Температура цилиндровой крышки, ряд A
SE 518 Частота вращения ГТН, ряд A	TE7#1B Температура цилиндровой крышки, ряд B
GT519 Положение клапана сброса наддувочного воздуха	TE600 Температура воздуха на входе ГТН
TE521 Температура выхлопного газа, подвод ГТН, ряд B	PT601 Давление наддувочного воздуха после холодильника
TE527 Датчик температуры выхлопного газа после ГТН, ряд B	TE601 Температура наддувочного воздуха после холодильника
SE 528 Частота вращения ГТН, ряд B	GS621 Положение клапана отсечки наддувочного воздуха (опцион), ряд A
TE50#1A... Датчик температуры выхлопного газа после каждого цилиндра, ряд A	GS631 Положение клапана отсечки наддувочного воздуха (опцион), ряд B

Трубопроводы	**Размер**	**Класс давления**	**Стандарт**
501A/B Отвод выхлопных газов	DN400	PN6	ISO 7005-1
502 Промывочная вода к турбине	OD18		DIN 2353
509 Промывочная вода на компрессор	OD18		DIN 2353
607A/B Конденсат после воздушного холодильника	OD8		DIN 2353

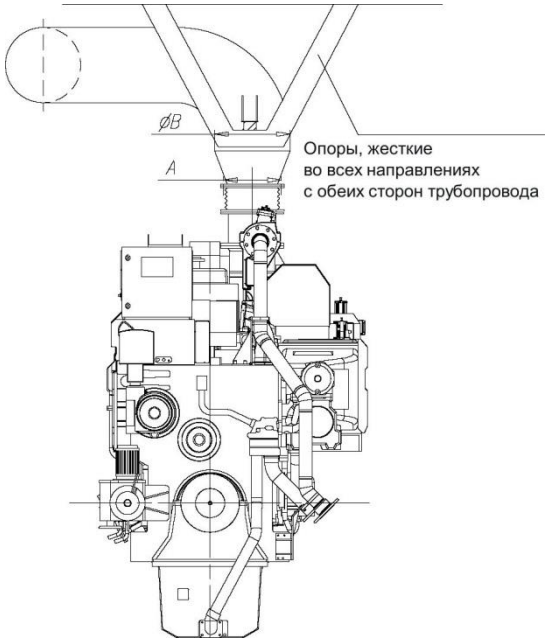
11.2 Выхлопной патрубок

Рисунок 11.3 Соединение выхлопного патрубка (DAAE082913, DAAF06827)



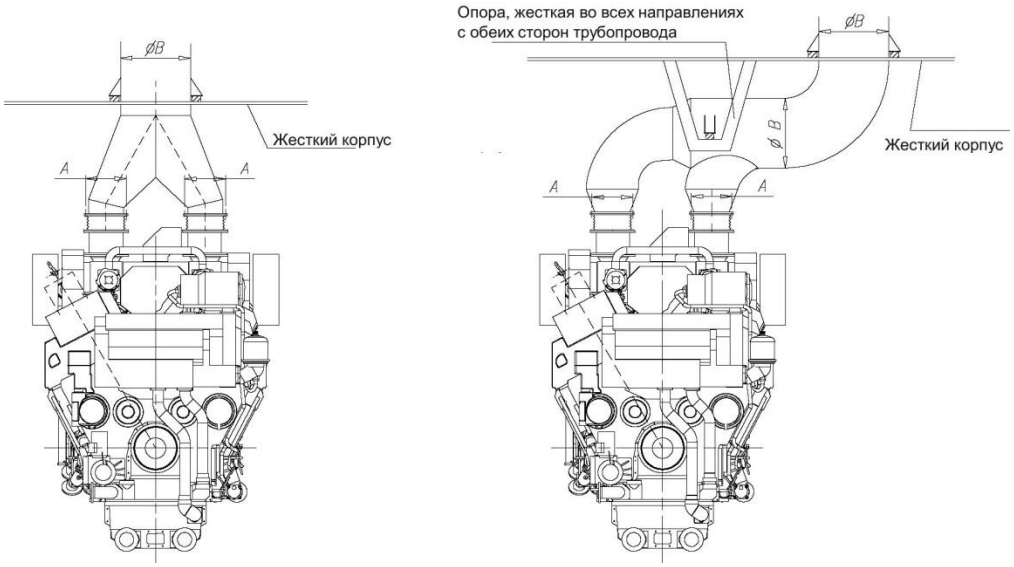
Двигатель	кВт/цилиндр	Тип ГТН	ГТН со свободного конца
W 6L34DF	450	NA297	0°, 45°, 90°
	500	A145	0°, 45°
W 9L34DF	450	NA307	0°, 45°, 90°
	500	A155	0°, 45°, 90°
W 12V34DF	450	NA297	0°, 45°, 90°
	500	NA298	0°, 90°
W 16V34DF	450	NA307	0°, 45°, 90°
	500	NA358	0°

Рисунок 11.4 Выхлопная труба, диаметр и опора (DAAE082783, DAAF068269)



Двигатель	кВт /цилиндр	Тип ГТН	ØA мм	ØB мм
W 6L34DF	450	NA297	DN400	600
	500	A145 A155	DN400	600
W 9L34DF	450	NA307	DN400	700
	500	A155 A155	DN450	700

Рисунок 11.5 Выхлопная труба, диаметр и опора (DAAE082784, -86, DAAF068200, -04)



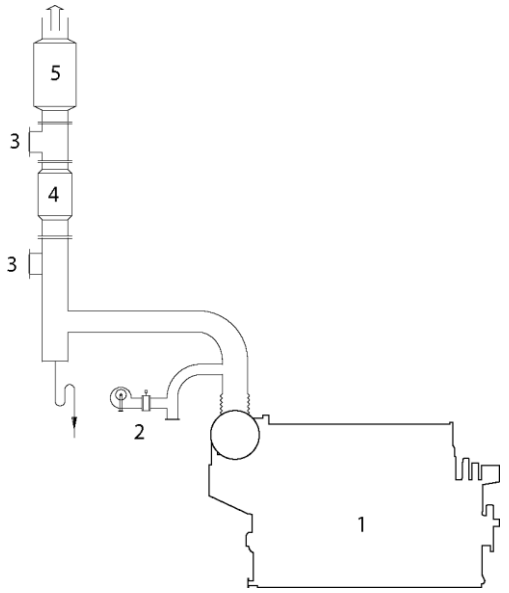
Двигатель	кВт/цилиндр	Тип ГТН	ØA мм	ØB мм
W 12V34DF	450	NA297	2 x DN400	800
	500	NA298/358	DN400	800
W 16V34DF	450	NA307	2 x DN400	900
	500	NA298/358	DN500	900

11.3 Внешняя выхлопная система

Каждый двигатель должен быть оборудован отдельным выхлопным трактом, по которому выхлопные газы отводятся в открытый воздух. Некоторыми важными факторами проектирования конструкции являются противодавление, тепловое расширение и опоры.

Гибкие сильфоны должны быть установлены непосредственно на выхлопной патрубок ГТН для компенсации теплового расширения и предотвращения повреждений ГТН из-за вибрации.

Рисунок 11.4 Внешняя выхлопная система



1 Двухтопливный двигатель

2 Блок вентиляции выхлопного газа

3 Разрывные диски

4 Выхлопной котел

5 Глушитель

11.3.1 Конструкция системы - параметры безопасности

Природный газ может попасть в выхлопную систему при неполадках работы на газе. Газ может скапливаться в выхлопном газоходе и воспламениться, если в системе появится источник воспламенения (например, искра). Поэтому внешняя выхлопная система должна быть сконструирована так, чтобы давление, возникшее в ситуации взрыва газа, не превышало максимально допустимого значения для всех компонентов системы. Двигатель выдерживает давление как минимум до 200 кПа. Другие компоненты могут иметь и меньшее предельно допустимое значение давления. Последствия возможного взрыва газа можно свести к минимуму, если правильно сконструировать выхлопную систему; при этом двигатель не будет поврежден и газы при взрыве будут безопасно выпущены через установленные пути выпуска газов. При конструировании внешней выхлопной системы необходимо соблюдать следующее:

- Трубопроводы и все другие компоненты в выхлопной системе должны иметь постоянный уклон вверх для предотвращения скапливания газа в системе. Если невозможно полностью избежать горизонтальной установки секций трубопровода, длина этих секций должна быть сведена к минимуму. Длина участка одной горизонтальной секции трубопровода не должна превышать диаметр трубы более чем в пять раз. Глушители, выхлопные котлы и т.д. должны быть сконструированы таким образом, чтобы газ не мог скапливаться внутри.
- Выхлопная система должна быть оснащена устройствами подавления взрыва, такими как разрывные диски, для того, чтобы обеспечить безопасный сброс излишнего давления в случае взрыва газа в системе. Выпускные отверстия предохранительных клапанов должны выпускать газ в безопасное пространство.

Дополнительно система управления и автоматики включает в себя следующие функции безопасности:

- Перед пуском двигатель автоматически вентилируется, т.е. вращается без впрыска какого-либо топлива.

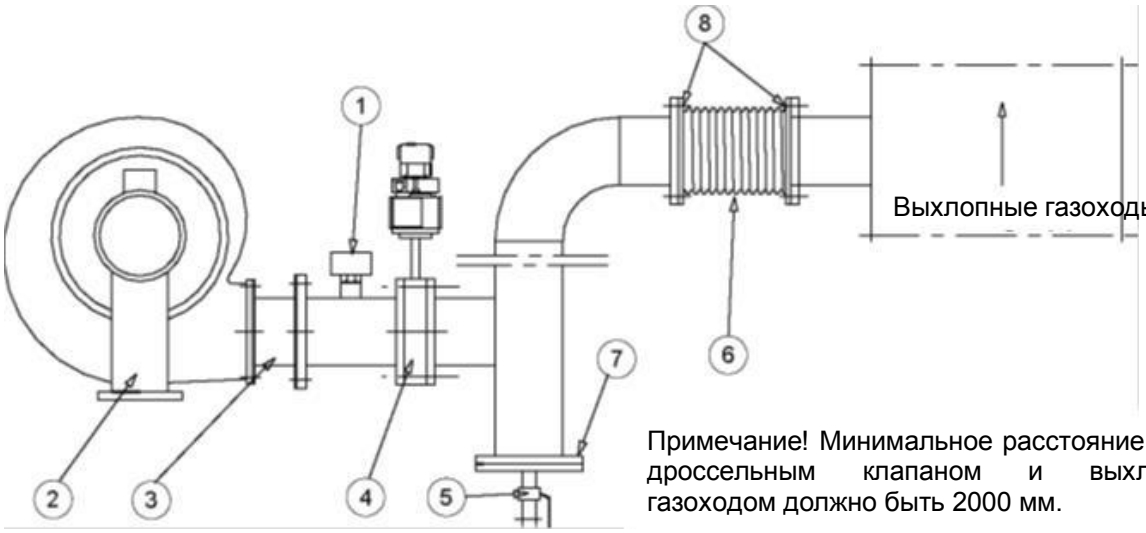
- При выполнении последовательности пуска, прежде чем подать на двигатель газ, производится автоматическая проверка зажигания, чтобы проверить правильность работы системы впрыска запального топлива.
- Постоянно производится мониторинг сгорания топлива во всех цилиндрах, и в случае обнаружения, что во всех цилиндрах зажигание не нормально, то двигатель автоматически переходит на ДТ.
- Выхлопная система вентилируется вентилятором после остановки двигателя, если до остановки двигатель работал на газе. Контроль данной функции должен быть включен во внешнюю систему автоматики.

11.3.2 Блок вентиляции выхлопного газа (5N01)

Система вентиляции выхлопного газа требуется, чтобы очистить выхлопные трубы после того, как двигатель был остановлен в газовом режиме. Данная система вентиляции устанавливается в соответствии с классификационными требованиями по эксплуатации данного типа судов. Блок вентиляции состоит из центробежного вентилятора, реле протока и дроссельной заслонки с обратной связью по положению. Заслонка должна быть газонепроницаемой должна выдерживать максимальную температуру в выхлопной системе в месте установки.

Вентилятор может быть расположен внутри или вне машинного отделения, насколько возможно близко к ГТН. Последовательность вентиляции выхлопного газа управляется автоматически.

Рисунок 11.5 Устройство вентиляции выхлопного газа (3V76A2955)



Примечание! Минимальное расстояние между дроссельным клапаном и выхлопным газоходом должно быть 2000 мм.

Компоненты блока

1 Реле	5 Шаровой клапан
2 Вентилятор	6 Сильфон
3 Сильфон	7 Заглушка
4 Дроссельный клапан	8 Фланец

11.3.3 Предохранительные клапаны - разрывные диски

Выхлопная система должна быть оборудована предохранительными клапанами, такими как разрывные диски. Выходы должны выводиться в безопасное место, удаленное от источника воспламенения. Количество и расположение устройств подавления взрыва должны быть такими, чтобы повышение давления, вызванное возможным взрывом, не могло вызвать дефекты в выхлопной системе.

Эти данные получают или при помощи расчетов, или при помощи симуляции. Устройства снятия давления от взрыва газа, которые установлены внутри помещений, должны иметь отводы из отделения с оборудованием в такие места, куда давление можно безопасно выпустить.

Отводы должны быть как минимум того же диаметра, что и взрывные диски. Отводы должны быть максимально прямыми, чтобы минимизировать обратное давление в случае взрыва газов.

Для установки на нижней палубе предохранительные разрывные диски могут быть установлены с выпуском газов в выхлопной коллектор. Расположение выпускных отверстий и объем коллектора должны быть соответствующими, чтобы безопасно выдержать импульс давления. Выпускные отверстия должны быть расположены так, чтобы при нормальной работе рядом с ними не мог оказаться персонал. Территория рядом с каждым отверстие должна быть помечена как опасная зона.

11.3.4 Трубопровод

Газоходы должны быть как можно более короткими и прямыми. Изгибы и расширения трубопроводов должны быть плавными, чтобы минимизировать противодавление. Диаметр газохода должен увеличиваться непосредственно после компенсатора на ГТН. Изгибы газоходов должны выполняться с наибольшим возможным радиусом; радиус изгиба не должен быть меньше 1,5 x D.

Рекомендованная скорость потока в газоходе 35…40 м/сек при максимальной производительности. В случае, если в газоходе имеются места, увеличивающие противодавление или газоход очень длинный, скорость потока газа должна быть ниже. Массовый расход выхлопного газа, приведенный в разделе «Технические данные», можно пересчитать в скорость потока с использованием формулы:

$$v = \frac{4 \times m'}{1.3 \times \left(\frac{273}{273 + T} \right) \times \pi \times D^2}$$

Где:

v =скорость потока газа, м/сек

m'=массовый расход выхлопного газа, кг/сек

T=температура выхлопного газа, °C

D=диаметр выхлопного газохода, м

Выхлопная труба должна быть заизолирована с использованием изоляционных материалов, утвержденных для соответствующих условий эксплуатации, минимальная толщина 30 мм, с учетом изоляции, установленной на двигатель. Выхлопной газоход должен быть заизолирован от самого ГТН; изоляция должна быть защищена защитной пластиной или аналогичным образом.

Поблизости от ГТН изоляция должна состоять из демонтируемых матов для облегчения ТО.

Особенно важно предотвратить поток воздуха с частицами отслаивающейся изоляции на ГТН, так как они приводят к засорению воздушных фильтров.

После окончания работ по изоляции необходимо убедиться, что она соответствует рекомендациям SOLAS. Температура поверхности должна быть ниже 220°C на всем диапазоне работы двигателя.

11.3.5 Монтажные опоры

Очень важно, чтобы газоход был должным образом закреплен к опоре, жесткой во всех направлениях, непосредственно после компенсаторов на ГТН. Крепления должны располагаться на хомуте с обеих сторон газохода.

Компенсаторы на ГТН не должны использоваться для компенсации теплового расширения газохода. Первая точка крепления должна направлять тепловое расширение от двигателя. Следующая точка крепления должна предотвращать вращение трубы вокруг первой точки крепления.

В первой точке крепления после ГТН рекомендуется применять абсолютно жесткую фиксацию. Упругая фиксация может быть приемлемой для двигателей, установленных на амортизаторах с длинными компенсаторами при условии, что такие фиксаторы являются самозапорными; максимальное смещение не должно превышать 2 мм в радиальном и 4 мм в осевом направлении относительно компенсаторов. Собственные частоты фиксаторов должны значительно отличаться от частоты вращения, частоты срабатывания цилиндров и частоты прохода лопастей винта. В качестве фиксаторов могут применяться конические полимерные амортизаторы либо упругие проволочные подвески из нержавеющей стали. Для защиты резиновых амортизаторов от действия высоких температур должна быть предусмотрена термоизоляция.

При упругой фиксации центровку выхлопных компенсаторов следует регулярно проверять и при необходимости исправлять.

После первой точки крепления рекомендуется применять упругие фиксаторы. Фиксаторы должны располагаться на укрепленных участках судовых конструкций, например полках палуб, скобах шпаций или специально приспособленных опорах.

При креплении необходимо учитывать тепловое расширение и структурные отличия судна.

11.3.6 Противодавление

Максимальное разрешенное противодавление выхлопного газа указано в разделе «Технические данные». Расчет противодавления в системе должен выполняться Верфью исходя из фактической конструкции газоходов и сопротивления компонентов выхлопного тракта. Массовый расход и температура выхлопного газа, приведенные в разделе "Технические данные", могут использоваться при расчете.

Каждый выхлопной газоход должен быть оборудован соединением для замера противодавления. Замер противодавления должен также выполняться на Верфи во время ходовых испытаний.

11.3.7 Выхлопные компенсаторы (5H01, 5H03)

В выхлопных газоходах, в которых необходима компенсация теплового расширения или смещения судовых конструкций, должны применяться компенсаторы. Упругие выхлопные компенсаторы, устанавливаемые непосредственно на патрубок ГТН, служат для снижения внешних воздействий на ГТН и, таким образом, предотвращения вибрации и возможных повреждений. Все выхлопные компенсаторы должны быть одобренного типа.

11.3.8 Блок селективного каталитического восстановления SCR (11N03)

Выхлопная труба должна быть прямой, по крайней мере, 3…5 м до блока SCR. Если устанавливаются и бойлер, и блок SCR, бойлер должен быть установлен после блока SCR. Необходимо принять меры, чтобы вода не попадала в блок SCR при промывке бойлера.

При газовом режиме блок SCR не требуется, поскольку соблюдаются нормы IMO Tier 3 и EPA Tier 4.

11.3.9 Бойлер на выхлопном газе

При установке бойлеров, работающих на выхлопных газах, необходимо, чтобы каждый двигатель имел свой бойлер. В качестве альтернативы допустима установка общего бойлера с отдельными секциями выхлопного газа для каждого двигателя.

Для расчета размера бойлера можно использовать данные по количеству выхлопных газов и температуре, приведенные в разделе "Технические данные".

11.3.10 Выхлопной глушитель (5R09)

Верфь/проектант должны принимать во внимание, что неудачная конструкция выхлопной системы (длина прямых участков газоходов) может вызывать усиление шума выхлопных газов между выхлопным патрубком двигателя и глушителем. Следовательно, затухание шумов в глушителе не дает абсолютной гарантии для уровня шума после глушителя.

При включении в объем поставки стандартный глушитель поглощающего типа оборудован искрогасителем. Он также оборудован клапаном снятия давления при взрыве газов (опционально), сажеулавливателем и сливом для конденсата, но поставляется без монтажных скоб и изоляции. Глушитель должен быть установлен вертикально.

Шумоподавление стандартного глушителя – 25 или 35 дБ(А).

Рисунок 11.6 Выхлопной глушитель (DAAE087980)

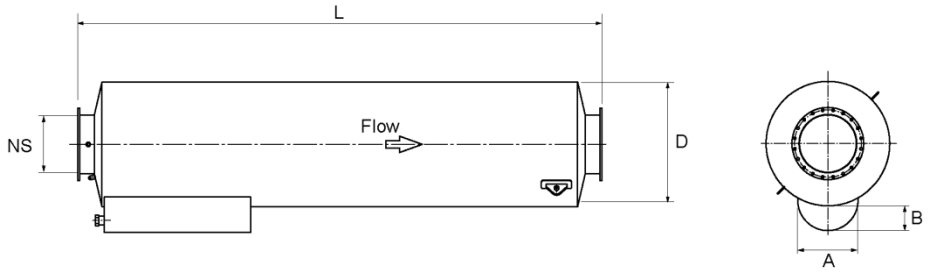


Таблица 11.1 Типовые размеры выхлопного глушителя, звукопоглощение 35 дБ(А)

NS	L [мм]	D [мм]	A [мм]	B [мм]	Вес (кг)
600	5510	1300	635	260	1690
700	6550	1500	745	270	2330
800	6530	1700	840	280	2750
900	7270	1800	860	290	3340
Фланцы: DIN 2501					

12 Очистка ГТН

Периодическая промывка турбины снижает образование отложений и увеличивает интервалы между капремонтами. Пресная вода впрыскивается в ГТН во время работы. Нельзя использовать присадки, растворители или соленую воду, также необходимо тщательно соблюдать инструкции по очистке, изложенные в руководстве пользователя.

Регулярная промывка турбины не требуется при работе на газе.

12.1 Система очистки турбины

Для каждой установки поставляется дозировочный блок, состоящий из расходомера и настраиваемого дросселя.

Дозатор устанавливается в машинном отделении и подсоединяется к двигателю через съемный резиновый шланг.

Шланг подсоединяется через быстроразъемную муфту, длина шланга составляет обычно 10 м. Один дозатор может использоваться для нескольких двигателей.

Подача воды:

Пресная вода

Мин. давление 0,3 МПа (3 Бар)

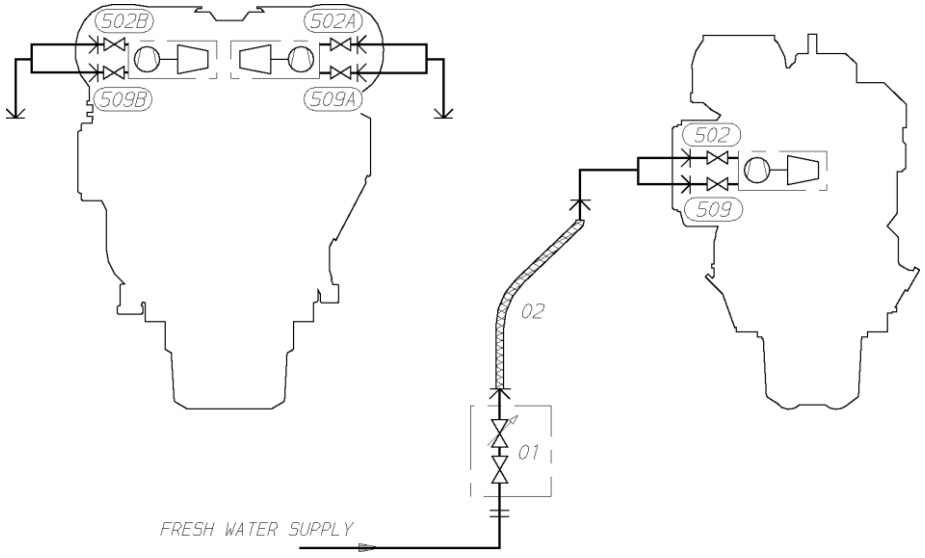
Макс. давление 2 МПа (20 Бар)

Макс. температура 80°C

Поток 15-30 л/мин (в зависимости от цилиндровой конфигурации)

На V-образных двигателях промывка ГТН производится по одному за раз.

Рисунок 12.1 Система очистки турбины (4V76A2937a)



Системные компоненты	Соединения трубопроводов	Размер
01 Дозировочный блок с запорным клапаном	502 Промывочная вода на турбину	OD18
02 Резиновый шланг	509 Промывочная вода на компрессор	OD18

12.2 Система очистки компрессора

Компрессор со стороны ГТН очищают с помощью отдельного дозировочного блока, установленного на двигателе.

13 Выхлопные газы

Выхлопные газы двухтопливного двигателя в основном состоят из азота, углекислого газа (CO2) и водяного пара с небольшим количеством угарного газа (CO), оксидов серы (SOx), оксидов азота (NOx), частично прореагировших и несгоревших углеводородов и твердых частиц.

13.1 Выбросы двухтопливного двигателя

Благодаря высокому КПД и чистому топливу, используемому в газовом режиме, выбросы выхлопных газов при работе в газовом режиме чрезвычайно низкие. В двухтопливном двигателе соотношение воздуха к топливу очень высокое и единообразное по всем цилиндрам. Поэтому максимальные температуры и, соответственно, выработка окислов азота, низкие, так как то же самое удельное количество тепла, выделяемое при сгорании, уходит на нагревание значительно большей массы воздуха.

Благодаря такой уникальной особенности сгорания обедненной смеси выбросы окислов азота от двигателя Wärtsilä 34DF очень низки и соответствуют большинству существующих норм. В газовом режиме соблюдаются все самые строгие нормы ММО, EPA и SECA, а в дизельном режиме двухтопливный двигатель работает как стандартный дизель. В следующей таблице приведены некоторые примеры типичного уровня выбросов от двигателя 34DF.

Таблица 13.1 Типичные выбросы двигателя Wärtsilä 34DF в газовом режиме.

Типичные уровни выброса*	100% нагрузка	75% нагрузка
NO_x (г/кВтч)	1.3	2.0
CO_2 (г/кВтч)	460	469

Примечание:

** Выбросы CO2 зависят от качества газа, применяемого в качестве топлива. Для получения конкретной величины для каждого проекта необходимо представить фактическую спецификацию газа.*

Для достижения низких выбросов при работе на газе очень важно, чтобы количество впрыскиваемого топлива было минимальным. Поэтому в двухтопливных двигателях Wärtsilä DF используется принцип «микро запала», при котором в качестве запального при номинальной нагрузке впрыскивается меньше 1% дизельного топлива.

Поэтому выброс окислов серы от двухтопливного двигателя является незначительным. Когда двигатель работает в дизельном режиме выбросы находятся в одинаковом диапазоне как и от любого стандартного дизеля; двигатель поставляется с сертификатом EIAPP, показывающим соответствие правилам MARPOL Annex VI.

13.2 Морское законодательство по выбросам выхлопных газов

13.2.1 Международная морская организация (ММО/IMO)

Результатом растущей озабоченности относительно загрязнения атмосферы явилось введение в судостроении контроля за уровнем выбросов выхлопных газов. Во избежание роста числа несогласованных нормативов IMO (Международная морская организация) разработала Приложение IV к МАРПОЛ 73/78 , в котором изложен первый ряд нормативов, касающихся выброса выхлопных газов судами.

Приложение IV к MARPOL - Атмосферное загрязнение

Приложение VI к конвенции MARPOL 73/78 вступило в силу 19 мая 2005 г. Приложение VI устанавливает ограничения на выбросы оксидов азота, оксидов серы и летучих органических соединений с судов и запрещает преднамеренные выбросы озоноразрушающих веществ.

Оксиды азота, выбросы NOx

Норматив 13 «Оксиды азота» Приложения VI к конвенции МАРПОЛ 73/78 касается дизельных двигателей мощностью свыше 130кВт на судах, построенных с 1 января 2000 г. включительно (за дату постройки принята дата установки киля или аналогичная стадия постройки судна).

Ограничение по выбросам NOx зависит от частоты вращения двигателя. IMO разработала подробный Технический кодекс по NOx, контролирующий соблюдение данных правил.

Сертификат EIAPP

Сертификат EIAPP (Международное соглашение о предотвращении загрязнения атмосферы от двигателей) прилагается к каждому двигателю и свидетельствует о том, что двигатель соответствует нормативам по уровню выбросов NOx, установленным IMO.

При испытаниях двигателя на выброс NOx эталонным топливом является морское дизельное топливо (дистиллят); испытания проводятся в соответствии со стандартом ISO 8178 для циклов тестирования. Впоследствии количество выброса NOx должно подсчитываться с учетом различных весовых коэффициентов для различных нагрузок в соответствии со стандартом ISO 8178. Используемые стандарты ISO 8178 для циклов тестирования представлены в приведенной ниже таблице.

Таблица 13.1 Стандарт ISO 8178 для циклов тестирования

D2: Вспомогательный двигатель	Частота вращения (%)	100	100	100	100	100
	Мощность (%)	100	75	50	25	10
	Весовой коэффициент	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1

E2: Дизель-электрическая пропульсивная установка или с ВРШ	Частота вращения (%)	100	100	100	100
	Мощность (%)	100	75	50	25
	Весовой коэффициент	0,2	0,5	0,15	0,15

C1: Переменные частота вращения и нагрузка вспомогательного двигателя	Частота вращения (%)	Номинальный				Средний			Малый
	Крутящий момент (%)	100	75	50	10	100	75	50	0
	Весовой коэффициент	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15

Семейства / группы двигателей

Поскольку производители выпускают двигатели, различающиеся по размеру и назначению, Технический кодекс по NOx позволяет объединить двигатели в семейства или группы. Согласно определению, семейство двигателей – это группа двигателей, определенная производителем, которые в силу своей конструкции имеют одинаковые характеристики выбросов выхлопных газов, то есть имеют одинаковые базовые проектные параметры. При проведении тестирования семейства двигателей, выбирается исходный двигатель, который имеет наибольший уровень выбросов. Семейство двигателей представлено своим исходным двигателем, и сертификационные испытания на уровень выбросов проводятся только для него. Прочие двигатели могут быть сертифицированы по контрольным документам, комплектующим, установочным параметрам и т.д., которые доказывают их соответствие с теми же характеристиками исходного двигателя.

Технический журнал

В соответствие с нормативами IMO для каждого двигателя должен быть заведен Технический журнал. В этом Техническом журнале содержится информация о компонентах двигателя, влияющих на уровень выброса NOx; ответственные детали двигателя имеют специальный номер IMO. В Техническом журнале также указаны допустимые регулировочные значения и параметры для работы двигателя. Сертификат EIAPP является частью Свидетельства IAPP (Международное соглашение о предотвращении загрязнения атмосферы от двигателей) о соответствии судна в целом.

Стандарты IMO по уровню выбросов NOx

Первый стандарт IMO по выбросу окислов азота IMO Tier 1 вступил в силу в 2005 году и относится к морским дизельным двигателям, установленным на судах, построенных после 1 января 2000 года, но до 1 января 2011 года.

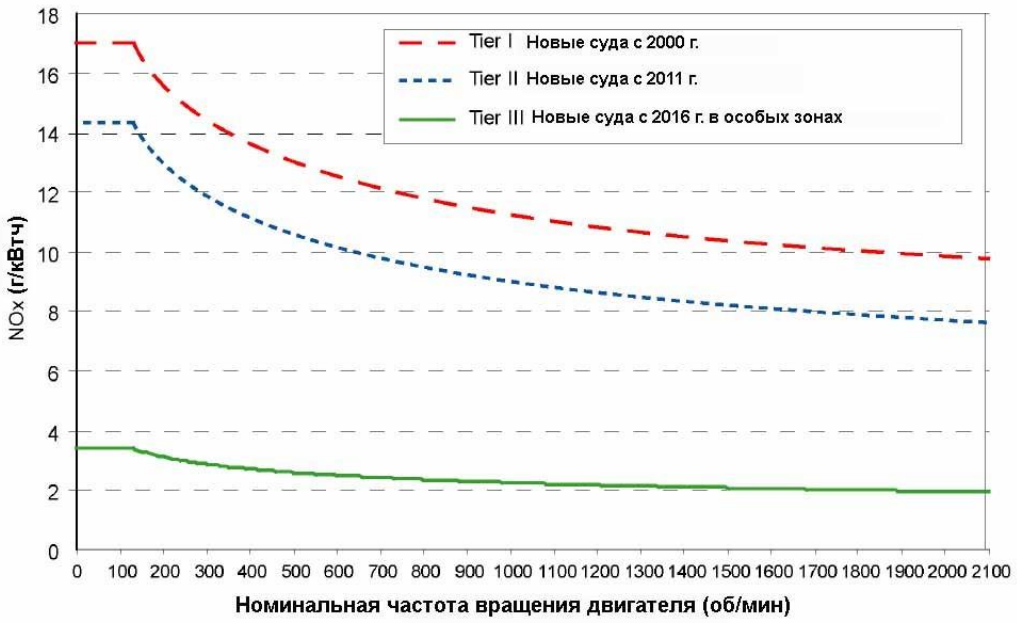
Приложение VI к конвенции MARPOL73/78 и Технический кодекс по NOx были затем пересмотрены с целью дальнейшего снижения уровня выбросов с судов. В апреле 2008 г. на сессии Комитета по защите морской среды MEPC ИМО были достигнуты договоренности о поправках к федеральным стандартам Tier 2 и Tier 3 ИМО по ограничениям выбросов NOx. Окончательно поправки к федеральным стандартам Tier 2 и Tier 3 были приняты на 58 сессии MEPC/IMO в октябре 2008 г.

Стандарт IMO Tier 2 вступил в силу 01.01.2011 и заменил стандарт IMO Tier 1 по всему миру. Новый стандарт Tier 2 IMO по уровню выбросов NOx вступил в силу с 1 января 2011 г. и касается морских дизельных двигателей на судах, построенных, начиная с 1 января 2011 г.

Стандарт IMO Tier 3 вступит в силу с 1 января 2016 года, но он будет относиться только к определенным районам. Статус района контроля выбросов окислов азота имеет на данный момент только район Североамериканского побережья. Остальные районы будут определены до вступления стандарта в силу. Стандарт IMO Tier 2 будет применяться к районам, не входящим в перечень стандарта Tier 3. Стандарт Tier 3 не применяется к любительским судам менее 24 м и к судам, с общей пропульсивной мощностью менее 750 кВт - этих факторов достаточно для Администрации, чтобы признать, что эти суда не попадают под действие стандарта Tier 3.

Ограничения на выброс NOx согласно стандартам Tier 2 IMO зависят от частоты вращения двигателя. Они показаны на рисунке 13.1.

Рисунок 13.1 Стандарты IMO по выбросам NOx



Стандарт по выбросам NOx IMO Tier 1

Стандарт по выбросам NOx IMO Tier 1 применяется к судам, построенным с 2000 по 2010 год.

Ограничения на выброс NOx согласно стандартам Tier1 IMO рассчитываются следующим образом:

NOx [г/кВтч] = 45 x об/мин-0,2 при 130 < об/мин < 2000

Уровень NOx это средневзвешенное значение выбросов NOx при различных нагрузках, в соответствии с действующим испытательным циклом для конкретного профиля эксплуатации двигателя.

Стандарт по выбросам NOx IMO Tier 2 (новые суда с 2011 года)

Стандарт IMO по выбросу окислов азота IMO Tier 2 вступил в силу с 01.01.2011 года и относится к новым морским дизельным двигателям с мощностью более 130 кВт, установленным на судах, построенных, начиная с 01.01.2011 года.

Ограничения на выброс NOx согласно стандартам Tier2 IMO рассчитываются следующим образом:

NOx [г/кВтч] = 44 x об/мин-0,23 при 130 < об/мин < 2000

Уровень выброса NOx - это средневзвешенное значение выбросов NOx при различных нагрузках, цикл тестирования основан на рабочем профиле конкретного двигателя в соответствии со стандартом ISO 8178 для циклов испытаний. Допустимый уровень выброса NOx согласно стандарту Tier 2 IMO снизился на 20% в сравнении со стандартом Tier 1 IMO. Это снижение достигнуто за счет оптимизации двигателей.

Стандарт Tier 3 IMO по уровню выброса NOx (новые суда, вступит в силу в зонах ECA)

Стандарт IMO Tier 3 еще не вступил в силу. *Стандарт IMO по выбросу окислов азота IMO Tier 3 относится только к новым морским дизельным двигателям с мощностью более 130 кВт, установленным на судах, которые будут построены начиная с 01.01.2016 года и позже, и которые будут эксплуатироваться в определенных районах контроля выбросов (ECA).*

Ограничения на выброс NOx согласно стандартам Tier3 IMO рассчитываются следующим образом:

NOx [г/кВтч] = 9 x об/мин-0,2 при 130 < об/мин < 2000

Допустимый уровень выбросов NOx в соответствии с стандартом Tier 3 IMO был снижен на 80% в сравнении со стандартом Tier 1 IMO. Снижение уровня выбросов может быть достигнуто за счет вспомогательной системы контроля за уровнем выброса выхлопных газов. На данный момент единственным эффективным способом снизить уровень выбросов NOx на 80% является избирательное каталитическое восстановление (SCR).

Оксиды серы, выбросы SOx

Приложение VI к конвенции МАРПОЛ устанавливает общее ограничение максимального содержания серы в топливе, на настоящий момент он составляет 3,5% (от 01.01.2012) от общего веса любого топлива, используемого на судне. Приложение VI также содержит положения, позволяющие устанавливать особые Зоны контроля за содержанием SOx в выбросах (SECA) с более строгим контролем выброса серы. В особых Зонах контроля за содержанием SOx в выбросах (SECA), в которые в настоящий момент включены Балтийское море, Северное море, Ла-Манш и прибрежный район Североамериканского побережья (200 морских миль), содержание серы в топливе, используемом на судах, не должно превышать 1% от общего веса. В качестве альтернативы можно применить систему очистки выхлопных газов для снижения общего выброса оксидов серы вспомогательным и главным пропульсивными двигателями судов, подсчитываемого как суммарная масса выброса оксидов серы.

Приложение VI к конвенции MARPOL было пересмотрено с целью дальнейшего снижения уровня выбросов с судов. В апреле 2008 г. на 12-й сессии Комитета по защите морской среды (MEPC) IMO были достигнуты договоренности о новых ограничениях содержания серы в топливе. Окончательно поправки по ограничениям содержания серы в топливе были приняты на 58 сессии Комитета по защите морской среды IMO в октябре 2008 г. Новые ограничения по содержанию серы в топливе, которые будут применяться в будущем, представлены в приведенной ниже таблице.

Таблица 13.2 Содержание серы в топливе

Содержание серы в топливе	Район	Дата принятия
Макс. 1,0% S в топливе	Районы SECA	1 июля 2010г.
Макс. 3,5% S в топливе	Весь мир	1 января 2012г.
Макс. 0,1% S в топливе	Районы SECA	1 января 2015г.
Макс. 0,5% S в топливе	Весь мир	1 января 2020г.

В качестве альтернативы для топлива с низким содержанием серы разрешено использовать различные очистные технологии, в частности нейтрализаторы топливных компонентов.

13.2.2 Другие законодательные акты

В отдельных регионах действуют другие законодательные акты.

13.3 Методы снижения уровня выброса выхлопных газов

Все стандартные двигатели компании Wärtsilä соответствуют существующим нормативам по уровню выбросов NOx, установленным Международной морской организацией (IMO), а также большинству местных нормативов по выбросу выхлопных газов без дополнительных модификаций. Компания Wärtsilä также выработала решения для значительного снижения выброса NOx там, где это требуется.

Выбросы выхлопных газов дизельного двигателя могут быть снижены с помощью основных и добавочных методов. Основные методы ограничивают образование удельной эмиссии в процессе сгорания топлива. Добавочные методы снижают объем компонентов выброса после их образования в процессе прохождения по выхлопной системе.

В установках с двухтопливным двигателем для понижения выхлопных выбросов при работе в дизельном режиме могут использоваться указанные выше способы. При газовом режиме работы нет необходимости использовать газочистители или селективный катализатор (SCR).

Информацию по системам контроля за выбросами выхлопных газов см. в «Руководство по средствам защиты окружающей среды компании Wärtsilä»

14 Система автоматики

Унифицированная система управления Wärtsilä UNIC это встроенная модульная система автоматики. Система UNIC C3 используется для двигателей с системой электронного впрыска топлива и имеет аппаратно реализованный интерфейс функций управления и программируемый шинный интерфейс АПС и контроля параметров.

14.1 Система управления UNIC C3

Система UNIC C3 представляет собой полностью встроенную модульную систему управления двигателем, которая осуществляет все функции управления двигателя, например, функции алгоритма пуска, блокировки пуска, впрыска топлива, балансировки цилиндров, предотвращения детонации, управления частотой вращения, распределения мощности, нормальной остановки двигателя и безопасного выключения.

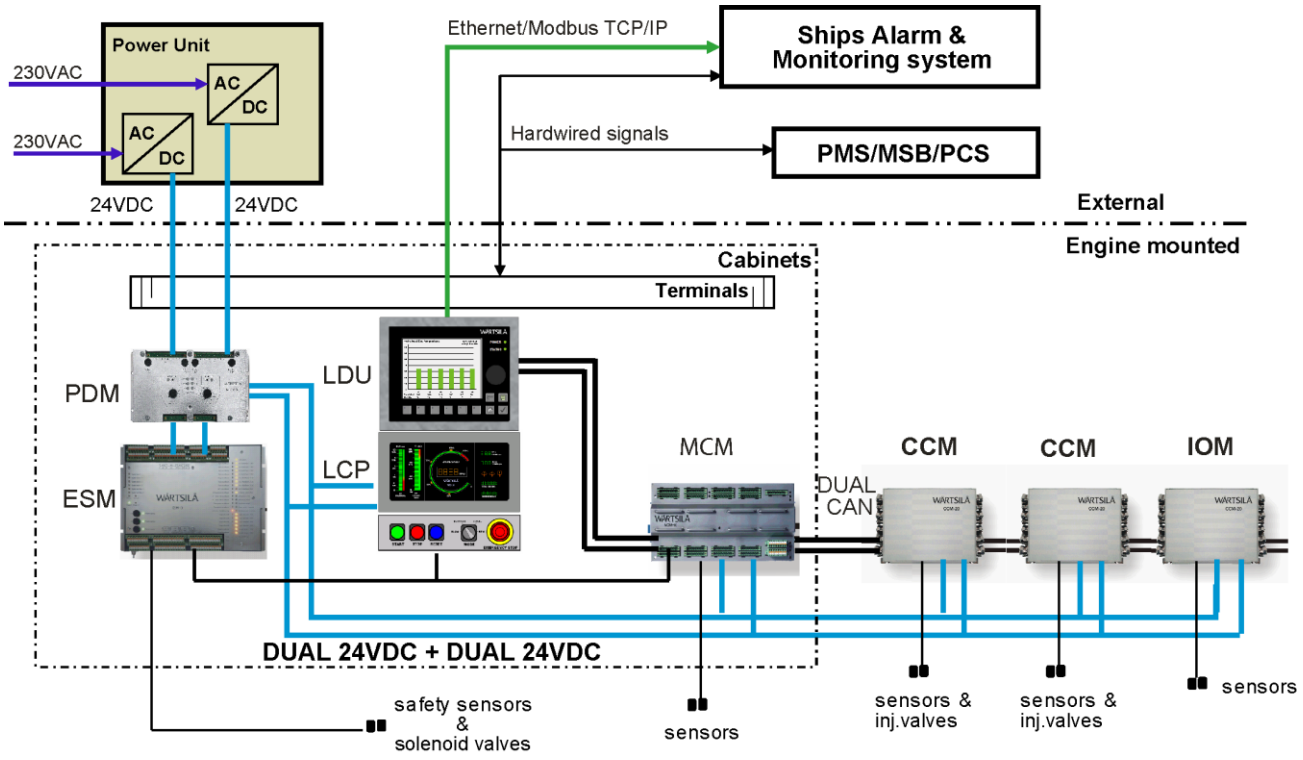
Обмен сигналами между модулями осуществляется по межмодульной информационной шине, построенной на протоколе CAN. CAN – это шина обмена данными, специально разработанная для компактных локальных сетей, в которых очень важны быстрая передача данных и безопасность.

Шина CAN и подача энергии на каждом модуле имеет физическое дублирование на двигателе, что обеспечивает полное резервирование.

Сигналы управления к/от внешних систем подключаются к клеммам в главной панели на двигателе.

Обмен данными с системой АПС и контроля параметров осуществляется через TCP-соединение шины Modbus с внешними системами.

Рисунок 14.1 Общая архитектура системы UNIC C3



Краткое объяснение назначения модулей, применяемых в системе:

MCM Главный блок управления (ГБУ) Служит для управления важнейшими функциями (пуск/остановка и частота вращения/нагрузка) двигателя.

ESM Блок защиты двигателя отрабатывает основные функции защиты, например автоматическую остановку по забросу оборотов и низкому давлению смазочного

масла (БЗД) Блок защиты взаимодействует с устройствами автоматической остановки и резервными КИП.

LCP Местная панель управления (МПУ). Содержит кнопки для местного управления двигателем, а также ЖК-панель с индикацией важнейших параметров двигателя.

LDU Блок местного дисплея (БМД). Выводит с помощью нескольких меню все замеры и расчеты, а также обеспечивает индикацию статуса двигателя и регистрацию событий. Также оборудован портом для подключения внешних систем через шину Modbus.

PDM Блок распределения питания (БРП). Обеспечивает предохранители, распределение питания, мониторинг сбоев заземления и фильтрацию электромагнитных помех в системе. *Для этого блока предусмотрены два фидера питания с полным резервированием 24 В постоянного тока. Блок подает питание на все модули, датчики и элементы управления.*

IOM Модуль ввода/вывода (МВВ). Управляет КИП и органами управления по месту их расположения на двигателе.

CCM *Модуль управления цилиндрами.* Управление впрыском топлива, а также местные измерения в цилиндрах, где он установлен.

Перечисленное выше оборудование предварительно подключено к двигателю. Уровень защиты IP54.

14.1.1 Внешнее оборудование

Блок питания

Два дублирующих питающих преобразователя/изолятора установлены в стальном шкафу и крепятся к переборке. Уровень защиты IP44.

14.1.2 Местные средства управления и индикации

В МПУ сосредоточены следующие оперативные функции:

- Местный пуск
- Местная остановка
- *Местный аварийный селектор частоты вращения (механическая установка):*
  - Режим нормальный/аварийный
  - Уменьшение/увеличение частоты вращения
- Местная аварийная остановка
- Местный сброс данных по автоматической остановке
- • Местный селектор режимов с положениями: продувка, блокировка, местный и дистанционный

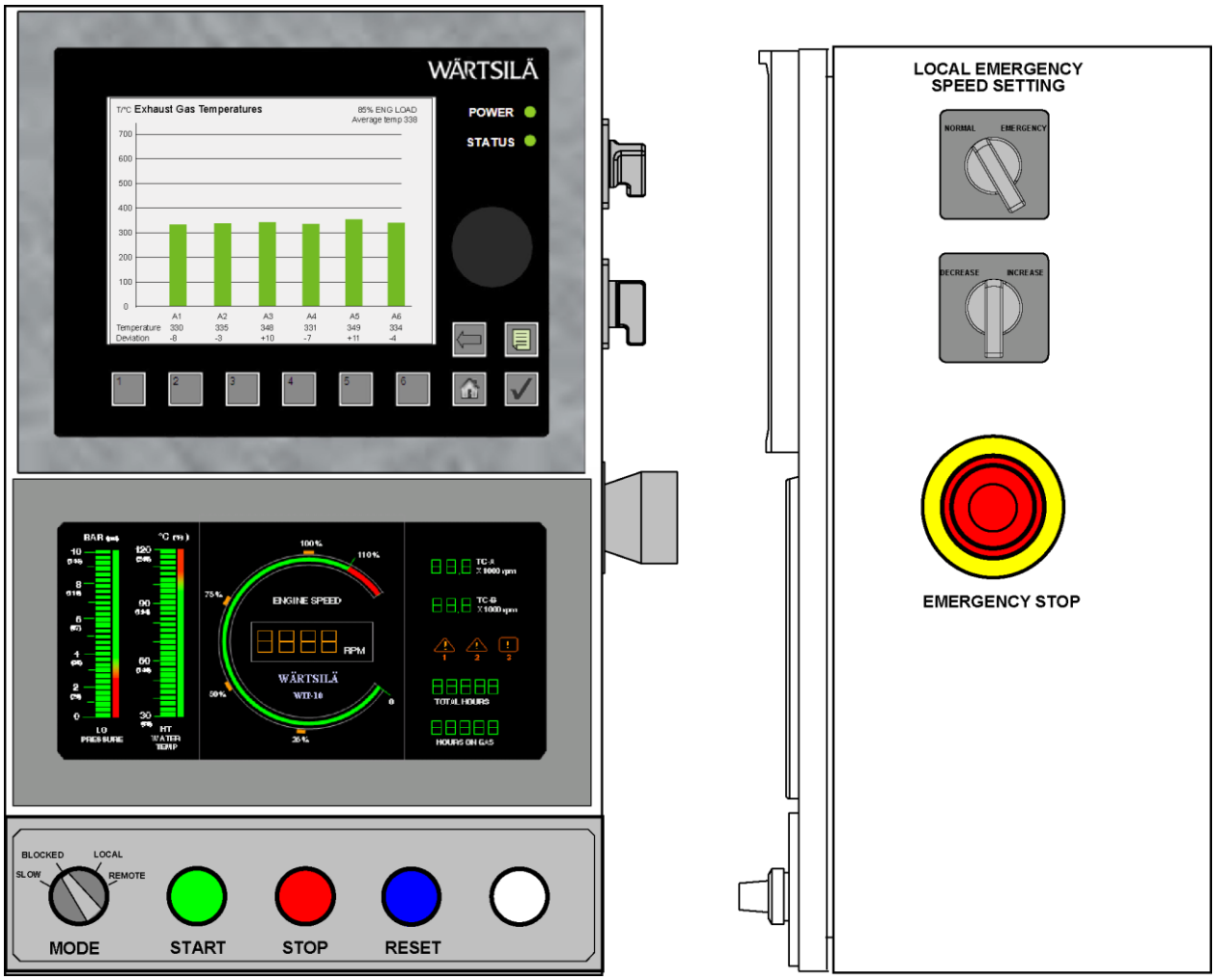
  Положение селектора:
  - Местный: Пуск и остановка двигателя возможны только с местной панели управления.
  - Дистанционный: Возможны только дистанционный пуск и остановка двигателя.
  - Блокировка: Штатный запуск двигателя невозможен

В МПУ имеются следующие резервные функции индикации:

- Частота вращения двигателя
- Частота вращения ГТН
- Счетчик наработки
- Давление смазочного масла
- Температура воды ВТ контура

Блок местного дисплея выводит с помощью нескольких меню все замеры и расчеты, а также обеспечивает индикацию статуса двигателя и регистрацию событий.

Рисунок 14.2 Местные средства управления и индикации



14.1.3 Система безопасности двигателя

Система безопасности двигателя основана на жестко монтированных проводах с дублирующими устройствами по критическим функциям безопасности. Модуль безопасности выполняет базовые функции безопасности как, например, защиту по забросам оборотов. Модуль также служит интерфейсом между устройствами отключения на двигателе и остальной системой управления.

Основные характеристики:

- Конструкция предусматривает дублирование источника питания, входов по частоте вращения и управления остановочным соленоидом
- Модуль определяет сбой на датчиках, соленоидах или обрыв проводов
- Состояние или обнаруженный сбой отображается светодиодами
- Модуль имеет цифровые выходы состояния
- Модуль осуществляет фиксирование состояния по автоматической остановке и функцию сброса данных
- Модуль подает сигнал оповещения об автоматической остановке
- Модуль предусматривает функцию игнорирования сигнала автоматической остановки (конфигурация зависит от типа установки)
- Модуль имеет аналоговые выходы по частоте вращения двигателя и ГТН
- Реле частоты вращения можно настраивать

14.1.4 Блок питания

Блок питания поставляется с каждым двигателем для отдельной установки. Блок питания подает постоянный ток на электросистему на двигателе и обеспечивает изоляцию от других систем, работающих на постоянном токе на судне. Шкаф блока питания рассчитан на установку на переборке судна. Уровень защиты IP44, макс. температура окружающей среды 50°C.

Блок питания имеет дублирующие преобразователи мощности, каждый преобразователь рассчитан на 100% нагрузку. Как минимум один из двух источников должен быть подсоединен к источнику бесперебойного питания. Блок питания подает на оборудование напряжение 2 x 24 В и 2 x 110 В постоянного тока.

Питание от судовой системы:

- Питание 1: 230 В переменного тока/ ок. 1500 Вт
- Питание 2: 230 В переменного тока/ ок. 1500 Вт

14.1.5 Прокладка кабелей и обзор системы

Рисунок 14.3 Обзор системы UNIC C3

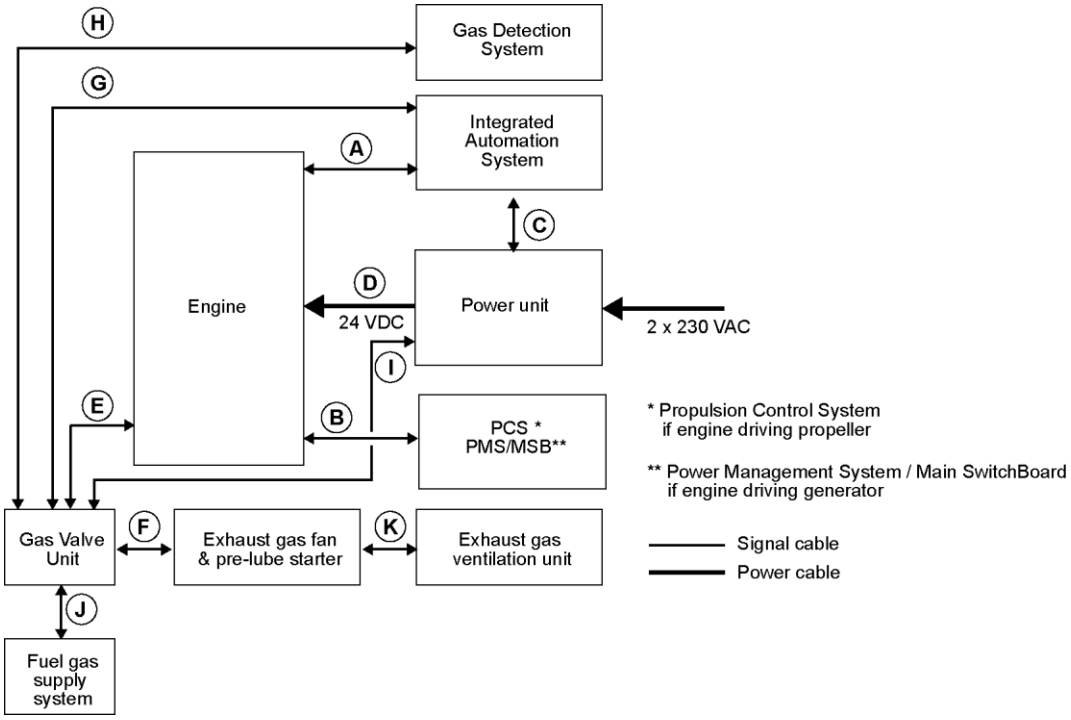


Таблица 14.1 Стандартное количество кабелей

Кабель	От <=> К	Тип кабеля (стандартный)
A	Двигатель <=> ИСА (Интегрированная система автоматики)	3 x 2 x 0,75 мм^2 1 x Ethernet CAT 5
B	Двигатель <=> Система управления пропульсивной установкой Двигатель <=> Система управления электропитанием (СУЭ) / Главный распределительный щит (ГРЩ)	1 x 2 x 0,75 мм^2 1 x 2 x 0,75 мм^2 1 x 2 x 0,75 мм^2 14 x 0,75 mm^2 14 x 0,75 mm^2
C	Блок питания <=> Интегрированная система автоматики	2 x 0,75 мм^2
D	Двигатель <=> Блок питания	2 x 2,5 мм^2 (подача питания) 2 x 2,5 мм^2 (подача питания)
E	Двигатель <=> Газоклапанный блок	4 x 2 x 0,75 мм^2 2 x 2 x 0,75 мм^2 3 x 2 x 0,75 мм^2

Кабель	От <=> К	Тип кабеля (стандартный)
		1 x Ethernet CAT5
F	*Газоклапанный блок <=> Выхлопной вентилятор и стартер насоса предварительной смазки*	3 x 2 x 0,75 мм^2 2 x 5 x 0,75 мм^2
G	Газоклапанный блок <=> Интегрированная система автоматики	2 x 2 x 0,75 мм^2 1 x Ethernet CAT5
H	Газоклапанный блок <=> Система обнаружения газа	1 x 2 x 0,75 мм^2
I	Блок питания <=> Газоклапанный блок	1 x 2 x 2,5 мм^2 1 x 2 x 2,5 мм^2 3 x 2 x 0,75 мм^2
J	Газоклапанный блок <=> Система подачи топливного газа	4 x 2 x 0,75 мм^2
K	Выхлопной вентилятор и стартер предварительной смазки <=> Блок выхлопной вентиляции	4 x 2 x 0,75 мм^2 3 x 2,5 x 2,5 мм^2

ПРИМЕЧАНИЕ! Типы кабелей и группировка сигналов в различных кабелях будет разной в зависимости от типа установки.

* Размеры силовых кабелей зависят от длины кабелей.

Требования к питанию отображены в разделе «Блок питания».

Диаграмма 14.4 Обзор сигналов (Главный двигатель)

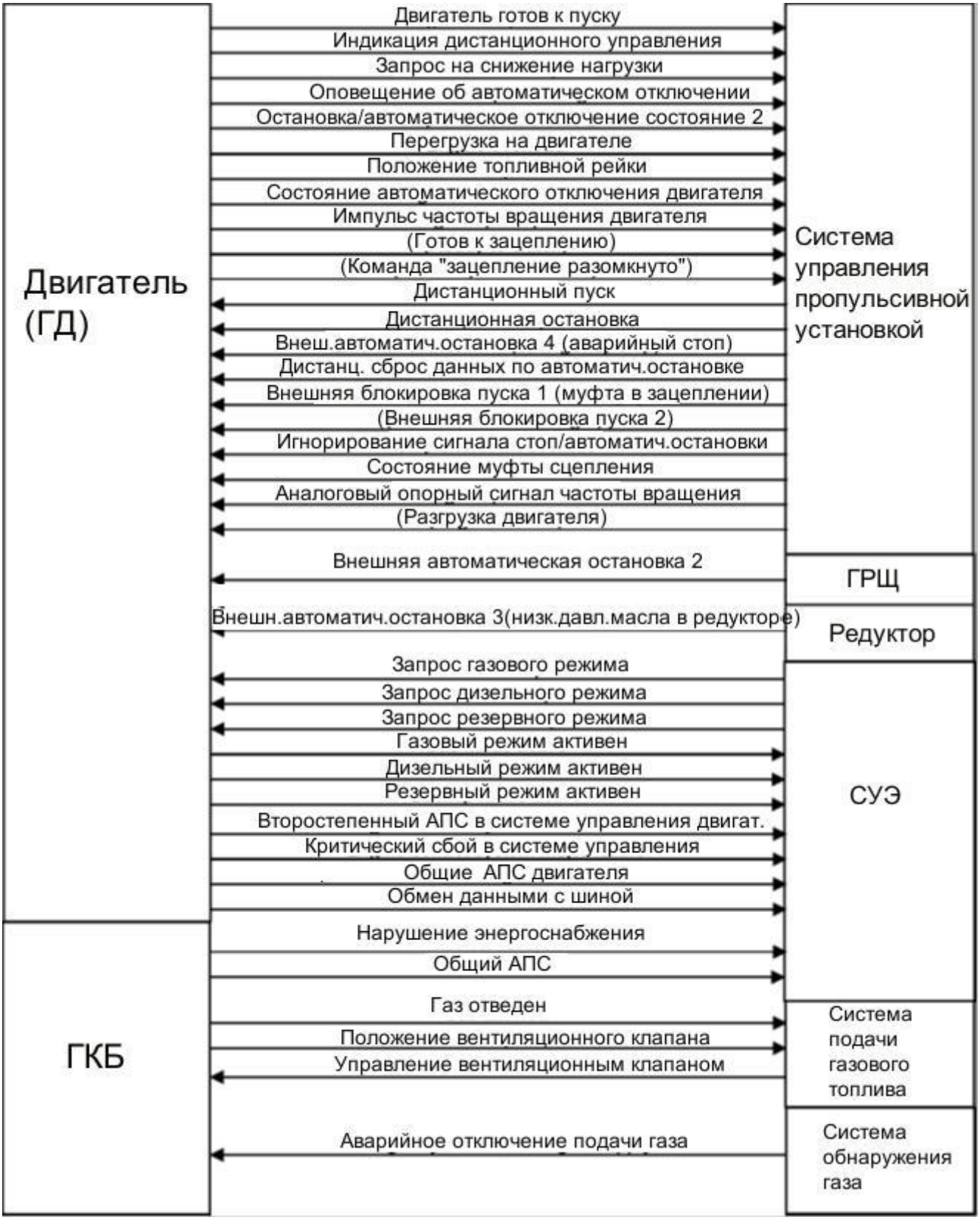
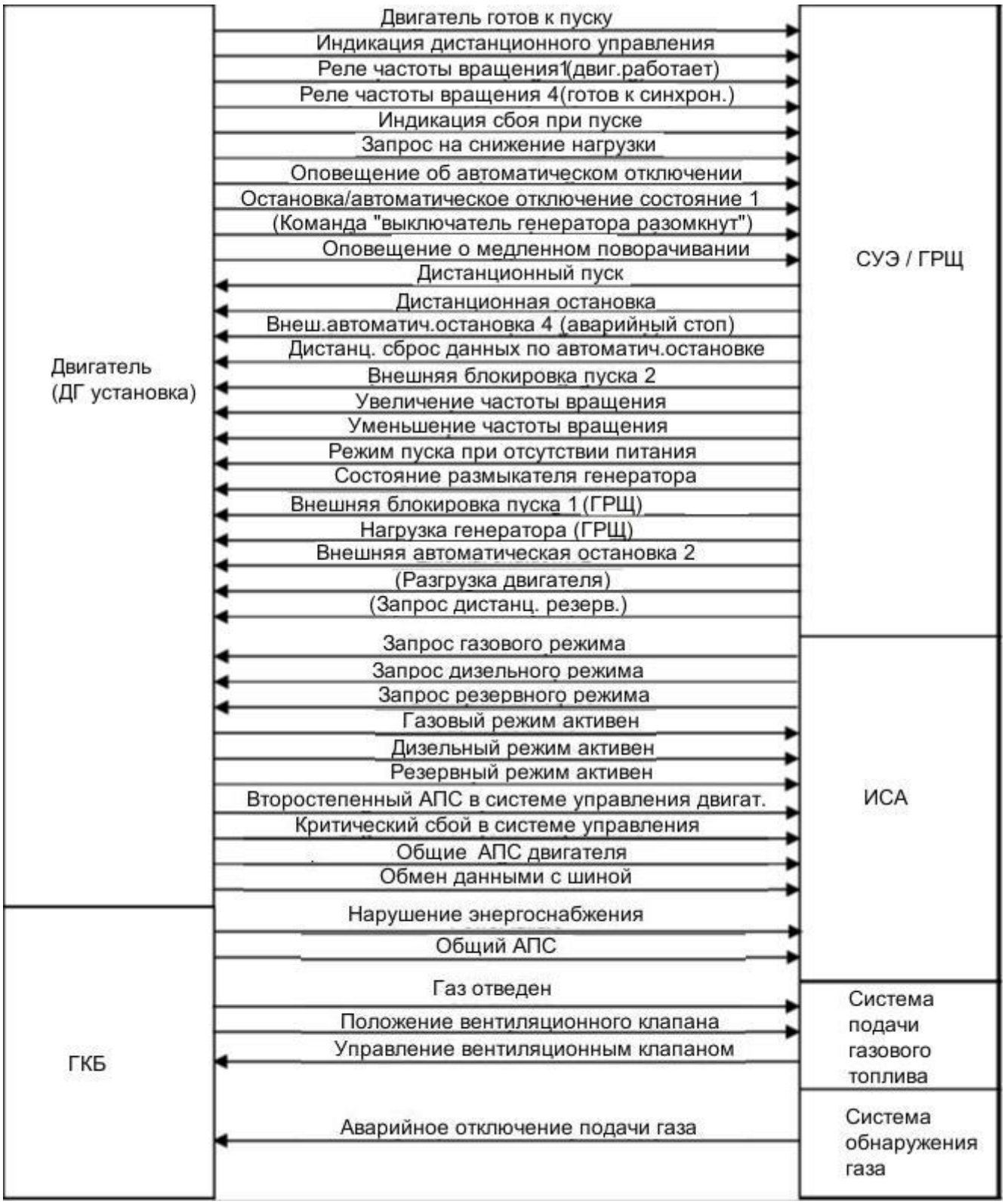


Диаграмма 14.5 Обзор сигналов (Дизель-генераторная установка)



14.2 Функции

14.2.1 Режимы работы двигателя

Двухтопливные двигатели компании Wärtsilä могут работать по запросу оператора в двух различных режимах:

- режим работы на газовом топливе (газ + впрыск запального топлива)
- режим работы на дизельном топливе (обычный впрыск дизельного топлива + впрыск запального топлива)

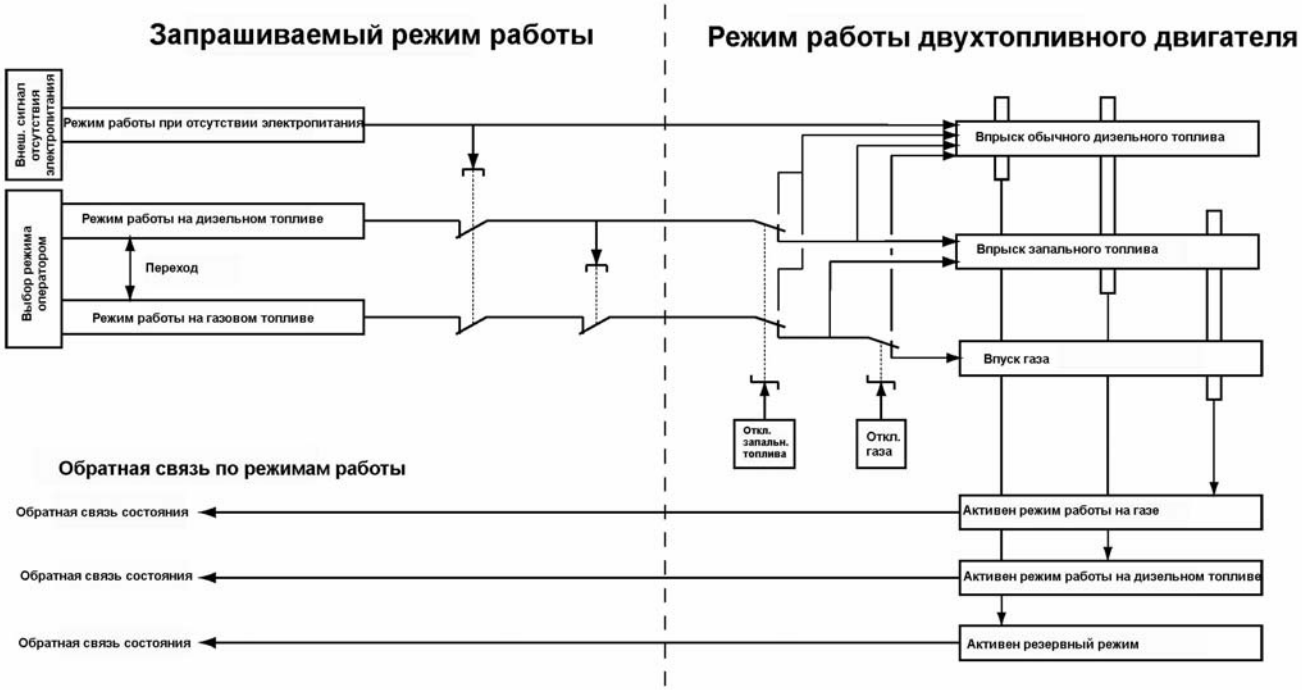
Дополнительно система управления и безопасности или система обнаружения отключения электропитания может принудительно перевести двигатель в режим работы в резервном режиме (подача только дизельного топлива).

Возможно переводить работающий двигатель из режима работы на газе в режим работы на дизельном топливе. При работе до определенного предела нагрузки двигатель можно переводить из работы на дизельном топливе в режим работы на газе. В определенных ситуациях срабатывания АПС двигатель автоматически переводится из режима работы на газе в режим работы на дизельном топливе (отключение подачи газа). Запрос работы в режиме на дизельном топливе всегда блокирует запрос работы на газовом топливе.

Система управления и безопасности принудительно переводит двигатель в режим работы в резервном режиме (независимо от выбора режим оператором) в двух случаях:

- Обнаружен сбой в системе запального топлива (отключение запального топлива)
- Двигатель запускается при активном сигнале отсутствия электропитания (сигнал с внешней системы)

Рисунок 14.6 Режимы работы двигателя



14.2.2 Пуск

Блокировка пуска

Пуск блокируется по следующим функциям:

- Остановочный рычаг в положении «Стоп»
- Валоповоротное устройство в зацеплении
- Низкое предварительное давление масла (игнорируется при высоком входном сигнале по отсутствию электропитания, а также в пределах 30 минут при падении давления ниже уставки на 0,5 бар)
- Активирован сигнал остановки двигателя (остановка системой безопасности, аварийная остановка, нормальный останов)
- Активирована внешняя блокировка пуска

- Низкое напряжение привода (игнорируется при высоком входном сигнале по отсутствию электропитания)
- Низкое напряжение главного модуля управления
- Низкое напряжение модуля управления цилиндрами
- Нет вентиляции выхлопных газов
- Выбран режим работы на тяжелом топливе или температура топлива > 70°C (только режим работы на газе)
- Отсечной клапан наддувочного воздуха закрыт (опцион)

Пуск в режиме работы на газе

Если двигатель готов к пуску в режиме работы на газе, то активируются сигналы «двигатель готов к работе на газе» (ни один сигнал отключения газа не активен) и «двигатель готов к пуску» (ни один из сигналов блокировки пуска не активен). В режиме работы на газе автоматически осуществляются следующие функции:

- Производится тестирование на утечку газа в газоклапанном блоке (ГКБ)
- Активируется пусковой воздух
- Подключается впрыск запального топлива и активируется система контроля давления запального топлива
- Производится отключение пускового воздуха
- Производится тестирование сгорания топлива
- Подается газ и частота вращения двигателя поднимается до номинальной

Режим пуска прерывается, если при осуществлении последовательности пуска были обнаружены сбои. Последовательность пуска завершается приблизительно через 1,5 мин.

Пуск в режиме работы на дизельном топливе

При пуске в режиме работы на дизельном топливе (ДТ) проверка ГКБ не производится. Производится проверка сгорания запального топлива, чтобы обеспечить правильный впрыск запального топлива для дальнейшего перехода в режим работы на газе. Последовательность пуска завершается приблизительно через 1 мин.

Пуск в режиме отсутствия электропитания

Когда активирован сигнал отсутствия электропитания, двигатель будет запущен в режиме отсутствия электропитания (резервном режиме работы). В этом случае пуск осуществляется так же, как пуск двигателя, работающего на обычном дизельном топливе, т.е. после получения сигнала «пуск» двигатель запустится и наберет обороты до номинальных, используя только обычную систему подачи дизельного топлива. Сигнал отсутствия электропитания отключает некоторые блокировки пуска, чтобы дать возможность запуска двигателя как можно скорее. Все проверки, касающиеся газа и запального топлива, в данном режиме не производятся. Поэтому невозможно переключиться из данного режима в режим работы на газе или на дизельном топливе, пока не будут осуществлены соответствующие меры по безопасности касательно системы подачи газа и запального топлива. Это осуществляется путем остановки двигателя и его пуска в режиме работы на дизельном или газовом топливе.

После того, как ситуация отключения электропитания устранена (т.е, после того, как первый двигатель запущен в режиме отсутствия электропитания, затем подключен к распределительному щиту, нагружен и, соответственно, сигнал отсутствия электропитания устранен), можно запускать другие двигатели, а далее двигатель, работающий в режиме отсутствия электропитания можно остановить и запустить в режиме работы на газе или ДТ.

14.2.3 Управление переходом из режимов работы на газовом/дизельном топливе

Переход из режима работы на газе в режим работы на ДТ

Переход из режима работы на газе в режим работы га ДТ производится при любой нагрузке в течение 1 секунды. Переход может производится тремя способами: вручную, системой управления двигателем или системой газовой безопасности (блокировка режима работы на газе).

Переход из режима работы на ДТ в режим работы на газе

Переход из режима на ДТ в режим работы на газе производится при нагрузке двигателя ниже 80%, если отсутствуют сигналы на отключение газа, на отключение запального топлива и двигатель не был запущен в режиме отсутствия электропитания (в котором исключается проверка сгорания).

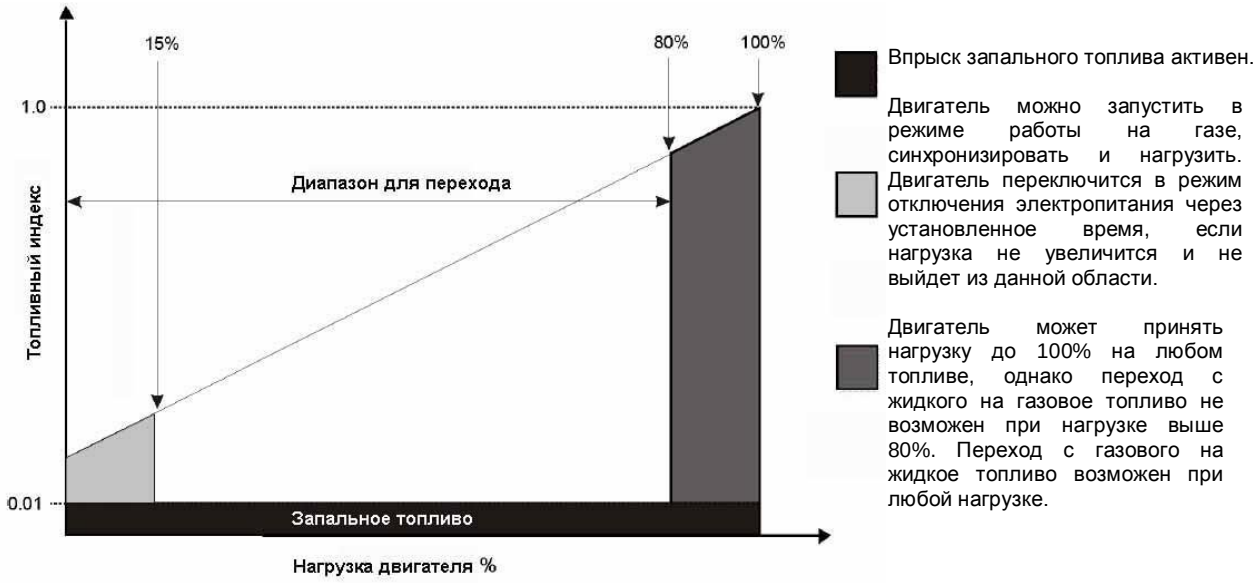
Не рекомендуется переход на газовое топливо при низких нагрузках, как это показано на рисунке 14.7.

Переход на газовое топливо обычно занимает около 2 минут, чтобы свести к минимуму возможность повреждения системы подачи газа.

Двигатель может работать в режиме отсутствия электропитания, если он был запущен по активному входному сигналу отключения электропитания или если произошло отключение подачи запального топлива. Переход в режим работы на газе может быть произведен только после проверки сгорания топлива, что возможно только при повторном пуске двигателя.

Проверка утечки газа в ГКБ производится автоматически перед каждым переходом на газовое топливо.

Рисунок 14.7 Зависимость нагрузки и режимов работы



Что необходимо учитывать при выборе топлива

При выборе режима работы или перед тем, как произвести переход между режимами, оператор должен учесть следующее:

- Для предотвращения перегрузки системы подачи газа переход в режим работы на газе производится только одного двигателя единовременно.
- При работе на газе нагрузка двигателя должна быть достаточно выше нижнего предела, при котором производится автоматический переход в режим работы на ДТ, чтобы избежать переключения на ДТ.
- При пуске в режиме газового топлива нескольких двигателей необходимо поддерживать уровень нагрузки, чтобы при подключении к линии дополнительного двигателя не произошло падение нагрузки ниже установленного уровня автоматического переключения на ДТ.
- Перед тем, как подать команду на переход в режим работы на газе, система управления электропитанием или оператор должны обеспечить, чтобы при переходе другие двигателя имели достаточный «вращающийся резерв». Это необходимо потому, что перед переходом, возможно, понадобится понизить нагрузку двигателя до уровня ниже верхнего предела перехода.
- Если нагрузка двигателя в пределах, допустимых для перехода, двигатель можно переключить на другое топливо без снятия нагрузки.

- При переходе на другое топливо необходимо избежать пуска или остановки мощных потребителей электричества.

14.2.4 Остановка, автоматическое отключение и аварийная остановка

Режим остановки

Перед остановкой двигателя система управления сначала должна постепенно снять нагрузку с двигателя (если двигатель под нагрузкой), а затем отключить выключатель генератора и отправить сигнал остановки на двигатель.

Сразу после активации сигнала остановки в режиме работы на газе ГКБ отключает подачу газа и включает вентиляцию. На первом этапе торможения запальное топливо еще подается, чтобы обеспечить полное сгорание оставшегося газа.

Если двигатель был остановлен в режиме работы на газе или газ использовался в двигателе, газовая труба должна быть продут инертным газом. Также производится вентиляция выхлопной трубы, чтобы вывести весь несгоревший газ, если газ использовался в течение двух минут до остановки.

Режим автоматического отключения

Автоматическое отключение производится автоматически в ответ на сигналы измерительного оборудования.

В режиме автоматического отключения муфта/выключатель генератора размыкается немедленно без снятия нагрузки. Действия, производимые после автоматического отключения, те же, что и при штатной остановке двигателя.

Перед последующим запуском оператор должен произвести сброс сигнала режима автоматического отключения, а также исследовать причину остановки и устранить ее.

Режим аварийной остановки

Последовательность операций в аварийном режиме аналогична последовательности в режиме автоматического отключения, за исключением того, что впрыск запального топлива отключается сразу после поступления сигнала остановки.

Аварийная остановка это быстрый способ ручной остановки двигателя. После нажатия кнопки аварийной остановки кнопка автоматически фиксируется в нажатом положении, при этом активируется реле аварийной остановки.

Для возвращения к нормальному режиму работы необходимо отжать кнопку аварийной останови и произвести подтверждение всех аварийных сигналов.

14.2.5 Управление частотой вращения

Главные двигатели (механическая пропульсия)

Система электронного управления частотой вращения интегрирована в систему автоматики двигателя.

Дистанционная установка частоты вращения с системы управления пропульсивной установкой производится сигналом 4-20 мА. Возможен также выбор режима, где опорный сигнал по частоте вращения будет настраиваться сигналами увеличения/уменьшения.

Электронная система управления частотой вращения оперирует данными распределения нагрузки между параллельно работающими двигателями, управляет топливными ограничителями и множеством других функций (напр. «готов к зацеплению/расцеплению»). Однако в систему управления пропульсивной установки необходимо включить защиту по перегрузке и контроль уровня увеличения нагрузки в соответствии с разделом «Рабочие диапазоны».

Для установок с одним главным двигателем предусмотрен актуатор топливной рейки с резервным механико-гидравлическим регулятором. Механический резервный регулятор может также быть предусмотрен для судов с двумя валолиниями, где на каждый вал гребного винта предусмотрен один двигатель. Такое механическое резервирование не является опцией для установок с двумя двигателями, подсоединенными к одному и тому же редуктору.

Дизель-генераторные установки (ДГУ)

Система электронного управления частоты вращения интегрирована в систему автоматики двигателя.

Распределение нагрузки может основываться на стандартных статических характеристиках, или может осуществляться независимо узлами регулировки частоты вращения без статизма. Последний способ регулировки относится обычно к изохронному типу распределения нагрузки. При изохронном распределении нагрузки нет необходимости балансировки нагрузки, настройки частоты или контроля нагружения/разгружения генератора на внешней системе управления.

В системе регулировки по статизму каждый узел управления частотой увеличивает свою внутреннюю опорную частоту, если узел определил увеличение нагрузки на генераторе. Уменьшение частоты в электросети с большой нагрузкой в системе приводит к тому, что все генераторы пропорционально распределят между собой общую увеличенную нагрузку. Двигатели с одинаковым статизмом и опорной частотой распределят между собой нагрузку одинаково. Нагружение и разгружение генератора осуществляется настройкой опорной частоты каждого узла регулировки частоты вращения. Величина статизма стандартно 4%, т.е. разница в частоте между нулевой и максимальной нагрузками составляет 4%.

В изохронном режиме опорный сигнал частоты вращения остается неизменным, независимо от уровня нагрузки. Оба режима, изохронного распределения и статизма, являются стандартными в системах управления частотой вращения, т.е. возможно выбрать любой из двух. Если судно имеет несколько распределительных секций с прерывателями между секциями, то необходимо значение состояния каждого прерывателя для управления распределением нагрузки в изохронном режиме.

14.2.6 АПС и сигналы параметров системы

Количество датчиков и сигналов параметров может отличаться в зависимости от типа установки. Реальная конфигурация сигналов и уровней срабатывания аварийно-предупредительных сигналов (АПС) описана в конкретной документации по конкретному проекту, поставляемая для всех контрактных проектов.

14.3 Потребители энергии

14.3.1 Стартеры двигателя и насосы с электроприводом

Сепараторы, подогреватели, компрессоры и узлы подачи топлива поставляются стандартно как предварительно собранные узлы вместе с необходимыми стартерами. Валоповоротное устройство и различные насосы с электроприводом требуют специальные стартеры.

Стартеры электрических насосов подбираются в соответствии с параметрами насоса и электромотора.

Стартеры электромотора не являются частью поставляемой системы автоматики, но могут быть поставлены в качестве опциона.

Валоповоротное устройство двигателя (9N15)

Возможно медленное проворачивание коленвала для технического обслуживания при помощи валоповоротного устройства. Стартер электромотора должен быть рассчитан на реверсивное управление электромотором. Параметры электромотора приведены в таблице ниже.

Таблица 14.2 Параметры электромотора валоповоротного устройства двигателя.

Тип двигателя	Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, кВт	Ток, А
Wärtsilä 34DF	3 x 400 / 440	50 / 60	2.2 / 2.6	5.0 / 5.3

Насос предварительной прокачки

Насос предварительной прокачки маслом должен постоянно работать после остановки двигателя. Насос должен запускаться после остановки двигателя и останавливаться после его пуска. Система автоматики управляет автоматическим пуском/остановкой насоса через стартер электромотора.

Рекомендуется предусмотреть резервное питание от аварийного источника питания. Дизель-генераторы, используемые в качестве основного источника выработки энергии, должны

запускаться в условиях отключения электропитания с помощью аккумулируемой энергии. В зависимости от конструкции и классификационных норм, возможно использование аварийного генератора.

При расчетах для стартера насоса предварительной прокачки можно использовать приведенные ниже значения. При другом напряжении значения могут несколько отличаться.

Таблица 14.3 Параметры электромотора для насоса предварительной прокачки

Тип двигателя:	Напряжение (В)	Частота (Гц)	Мощность (кВт)	Ток (А)
Рядные двигатели	3 x 400	50	7.5	14.0
	3 x 440	60	8.6	14.6
V-образные двигатели	3 x 400	50	15.5	29.0
	3 x 440	60	18.0	30.5

Блок вентиляции выхлопного газа

Блок вентиляции выхлопных газов специально разрабатывается для каждого двигателя и состоит из электрического вентилятора, реле протока и дроссельной заслонки. Дополнительную информацию см. в разделе «Система выхлопных газов».

Газоклапанный блок (ГКБ)

Блок газовых клапанов (БГК) разрабатывается конкретно для двигателя и служит для контроля подачи газа на двигатель. ГКБ оборудован встроенной системой управления. Дополнительную информацию см. в разделе «Топливная система».

Резервный насос, смазочное масло (если установлен) (2P04)

Система управления двигателя запускает насос автоматически через стартер, если давление масла падает ниже установленной величины при работающем двигателе. Для этого на двигателе установлен специальный датчик.

Насос не должен работать при остановленном двигателе, а также не может быть использован в качестве насоса предварительной прокачки маслом. Также он не должен работать параллельно с главным насосом, если главный насос в порядке.

Резервный насос, ВТ контур охлаждения (если установлен) (4P03)

Система автоматики двигателя запускает данный насос автоматически через стартер, если давление охлаждающей жидкости падает ниже установленной величины при работающем двигателе. Для этого на двигателе установлен специальный датчик.

Резервный насос, НТ контур охлаждения (если установлен) (4P05)

Система автоматики двигателя запускает данный насос автоматически через стартер, если давление охлаждающей жидкости падает ниже установленной величины при работающем двигателе. Для этого на двигателе установлен специальный датчик.

Циркуляционный насос подогревателя (4P04)

Если главный насос охлаждающей жидкости (ВТ контур) приводится от двигателя, то насос подогревателя должен запускаться после остановки двигателя (для обеспечения циркуляции через двигатель в горячем состоянии) и должен останавливаться после пуска двигателя. Система автоматики управляет автоматическим пуском/остановкой насоса через стартер электромотора.

Насосы забортной воды (4P11)

Насосы можно останавливать, когда все двигатели остановлены при условии, что нет необходимости в охлаждении другого оборудования в данной схеме.

Сепаратор смазочного масла (2N01)

Постоянно находится в работе.

Блок топливоподготовки (1N01)

Постоянно находится в работе.

15 Фундамент

Двигатели могут либо жестко монтироваться на колодках, либо иметь упругое крепление на резиновых элементах. Если предполагается применить упругое крепление, необходимо проинформировать компанию Wärtsilä о наличествующих величинах возбуждения, таких, как частота прохождения лопасти гребного винта. Динамические воздействия от двигателя указаны в главе "Вибрации и шумы».

15.1 Устройство стальной конструкции

Масляный танк системы не должен заходить под редуктор, если применяется тип двигателя с сухим картером, и масляный танк располагается ниже фундамента двигателя. Точно так же танк не должен заходить под опорный подшипник в случае, если на свободном конце установлен вал отбора мощности. Масляный танк должен располагаться симметрично в поперечном направлении под двигателем.

Фундамент и двойное дно должны быть как можно более жесткими во всех направлениях, чтобы они могли амортизировать динамические воздействия от двигателя, редуктора и опорного подшипника. Габариты и конструкция фундамента должны быть рассчитаны так, чтобы можно было избежать вредоносных деформаций.

Фундамент генератора должен составлять единое целое с фундаментом двигателя.

15.2 Монтаж главных двигателей

15.2.1 Жесткое крепление

Двигатели могут иметь жесткое крепление на фундамент на стальных, либо на резиновых колодках.

Крепежные болты представляют собой сквозные анкерные болты со стопорными гайками с нижней стороны и гидравлически затянутыми гайками с верхней стороны. Приспособление, входящее в стандартный комплект инструмента для двигателя, предназначено для гидравлической затяжки крепежных болтов.

Два из крепежных болтов должны быть призонными. Остальные крепежные болты являются обычными с допуском. Призонные болты Ø46 H7/n6 расположены ближе всего к маховику с обеих сторон двигателя.

Для призонных болтов необходимо использовать распорную втулку. Распорная втулка устанавливается между верхней плитой опорной поверхности и нижней гайкой, что позволяет обеспечить достаточную направляющую длину для призонного болта в верхней плите опорной поверхности. Направляющая длина в верхней плите опорной поверхности должна равняться, по меньшей мере, диаметру болта.

Конструкция различных крепежных болтов видна из чертежа фундамента. Рекомендуется использование болтов, изготовленных из высокопрочной стали, например, 42CrMo4 или подобной ей. Применение высокопрочного материала позволяет достигать большего растяжения болта, что обеспечивает большее удлинение (деформацию) болта. Большое удлинение болта служит мерой предохранения от ослабления гаек.

Чтобы избежать заедания при монтаже и постепенного снижения величины затяжки из-за неровностей резьбы, необходимо, чтобы резьба была обработана с более жесткими допусками, нежели обычная резьба. Резьба болтов должна отвечать допуску 6G, а резьба гаек — допуску 6H.

Во избежание возникновения в болтах изгибного напряжения и для обеспечения надежного крепления, контактная поверхность гайки под верхней плитой опорной поверхности должна быть зенкована.

Для всех двигателей необходимо установить боковые опоры. Одна пара опор должна быть расположена со свободной стороны двигателя, и одна пара (по меньшей мере) — в середине двигателя. Боковые опоры следует приварить к верхней плите опорной поверхности прежде, чем будет произведена установка колодок.

Клинья в опорах должны устанавливаться без зазора, когда двигатель прогрелся до нормальной рабочей температуры. Клинья закрепляются на месте сварными соединениями. Необходимо обеспечить у клиньев опор достаточную контактную поверхность.

Полимерные колодки

Рекомендуемый размер полимерных колодок 150 x 400 мм. Полное давление на поверхность полимера не должно превышать максимального значения, определенного для данного типа полимера и установленного требованиями классификационной организации. Рекомендуется выбрать тип полимера, утвержденный соответствующей классификационной организацией для полного давления на поверхность в 5 N/мм2. (Типовое установившееся значение - Ptot 3,5 N/мм2).

При нормальных условиях эксплуатации максимальная температура поверхности лапы двигателя приблизительно 75°C, что нужно принимать во внимание при выборе типа полимера.

В качестве болтов следует применять эластичные болты с уменьшенным диаметром в хвостовой части, что будет обеспечивать достаточное удлинение, поскольку усилие болта ограничивается максимально допустимым давлением на поверхность полимера. Для конкретного диаметра болта допустимое растягивающее усилие на болт ограничивается либо пределом прочности материала болта (максимальное напряжение — 80% от предела текучести), либо максимально допустимым давлением на поверхность полимера.

Стальные колодки

Верхние плиты фундамента двигателя обычно имеют наклон наружу относительно центровой линии двигателя. Наклон несущей поверхности должен составлять 1/100 и поверхность должна быть механически обработана до получения, по крайней мере, 75%-ной поверхности контакта.

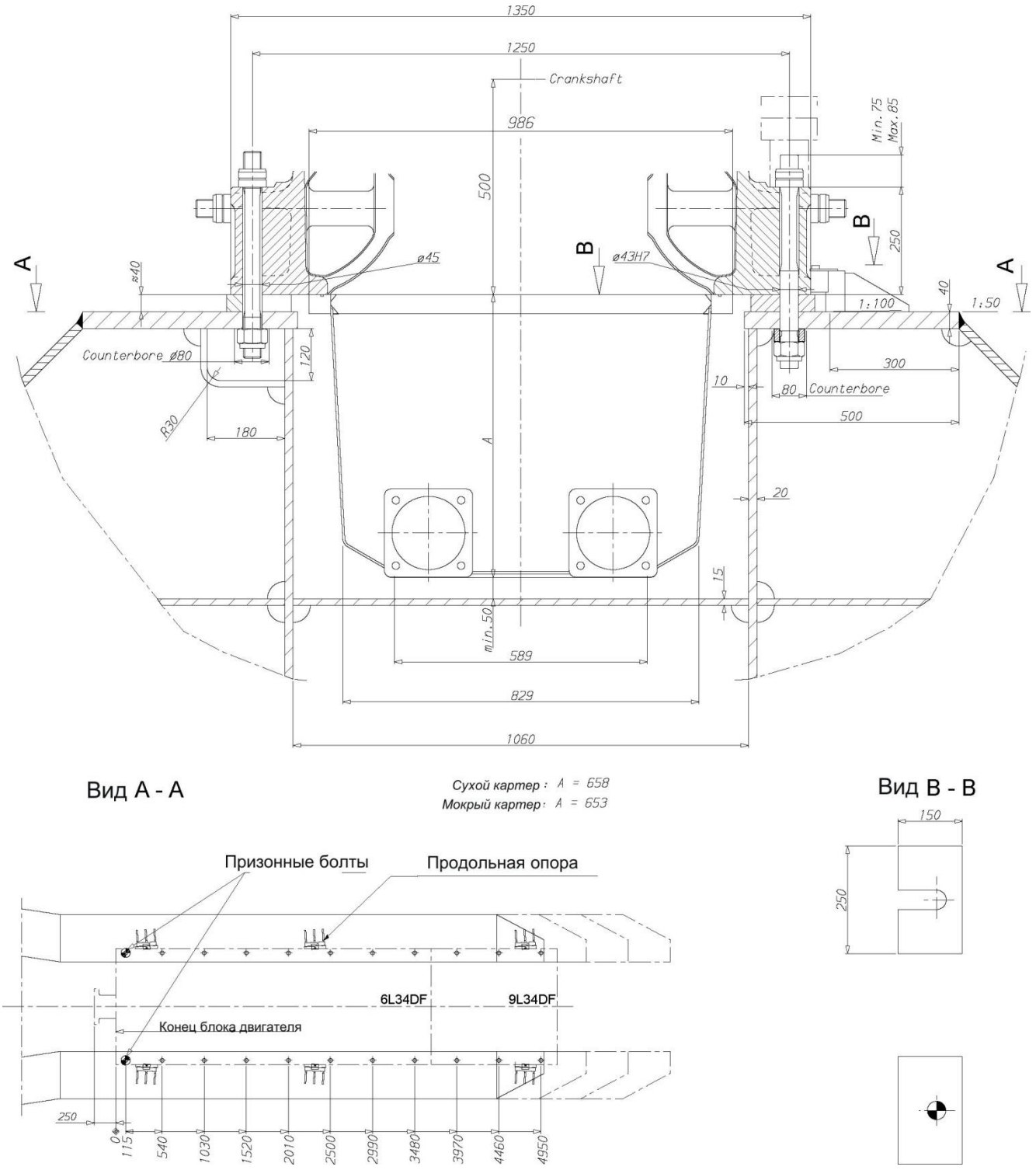
Размер колодок должен составлять приблизительно 250 x 200 мм; у колодок должен быть наклон в 1:100 (внутрь относительно центровой линии двигателя). Вырез в колодках для крепежных болтов должен составлять 44 мм (болты M42), а отверстие в колодках для призонных болтов необходимо просверлить и развернуть до нужного размера (ø43 H7), когда осуществляется окончательная центровка двигателя с редуктором.

Конструкция крепежных болтов показана на чертежах фундамента. Болты выполнены в виде болтов с уменьшенным диаметром в хвостовой части для большего удлинения, что защищает от ослабления гаек.

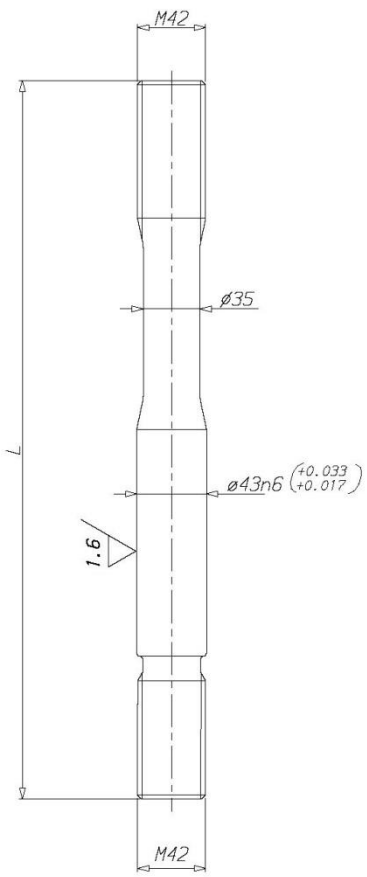
Стальные колодки с регулируемой высотой

В качестве альтернативы полимерным колодкам или обычным стальным колодкам можно устанавливать двигатель на регулируемые стальные колодки. Высота колодки регулируется от 45 до 65 мм для колодок одобренного типа. В месте установки крепежного болта должны быть колодки соответствующего размера.

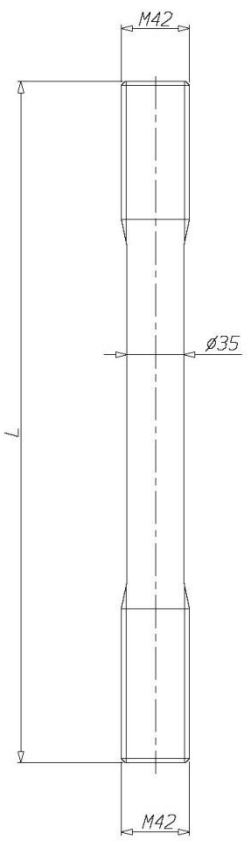
Рисунок 15.1 Опорная поверхность и крепление рядных главных двигателей на стальных клиньях (DAAE085777)



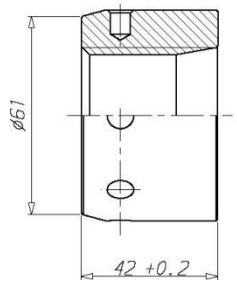
Призонный болт
(стальной клин)

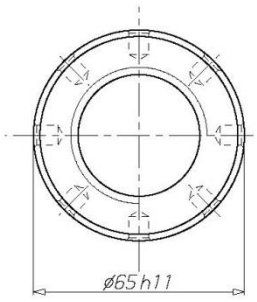


Болт с зазором
(Стальной клин)

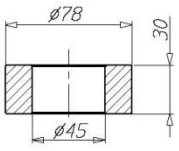


Круглая гайка



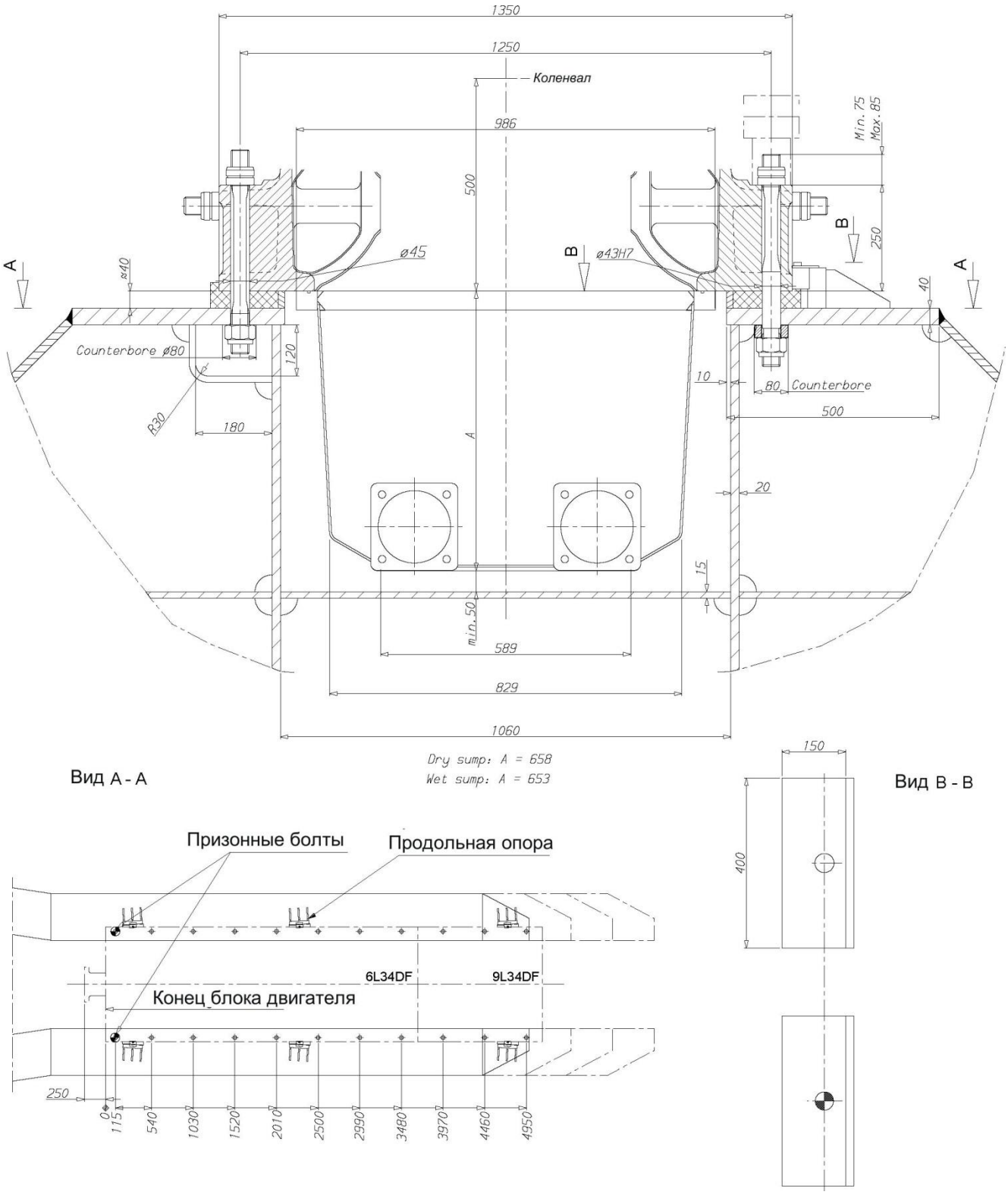


Проставочная муфта

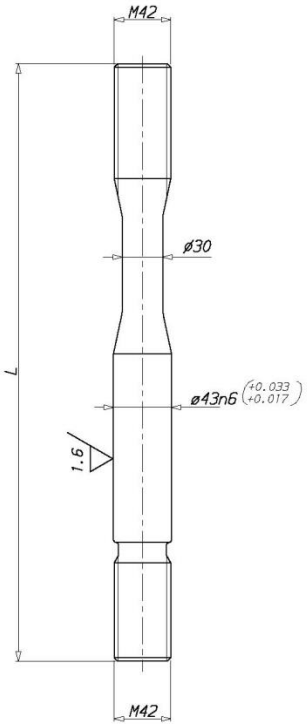


Количество компонентов на двигатель		
	W 6L34DF	**W 9L34DF**
Призонный болт	2	2
Болт с зазором	14	20
Круглая гайка	16	22
Запорная гайка	16	22
Проставочная муфта	2	2
Продольная опора	4	6
Клинья	16	22

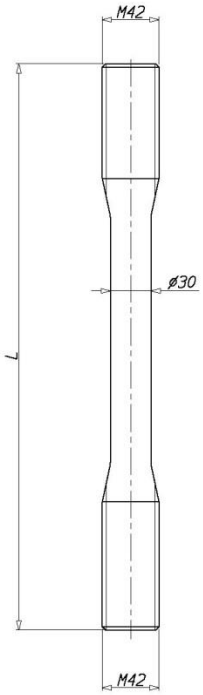
Рисунок 15.2 Опорная поверхность и крепление рядных главных двигателей на полимерных клиньях (DAAE085778)



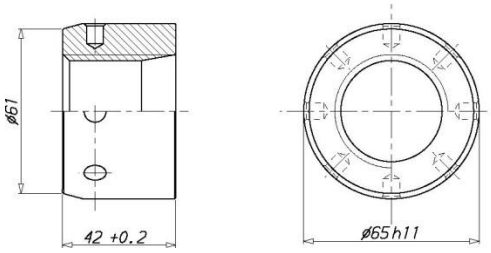
Призонный болт
(Упругий клин)



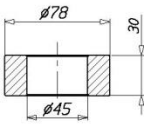
Болт с зазором
(Упругий клин)



Круглая гайка

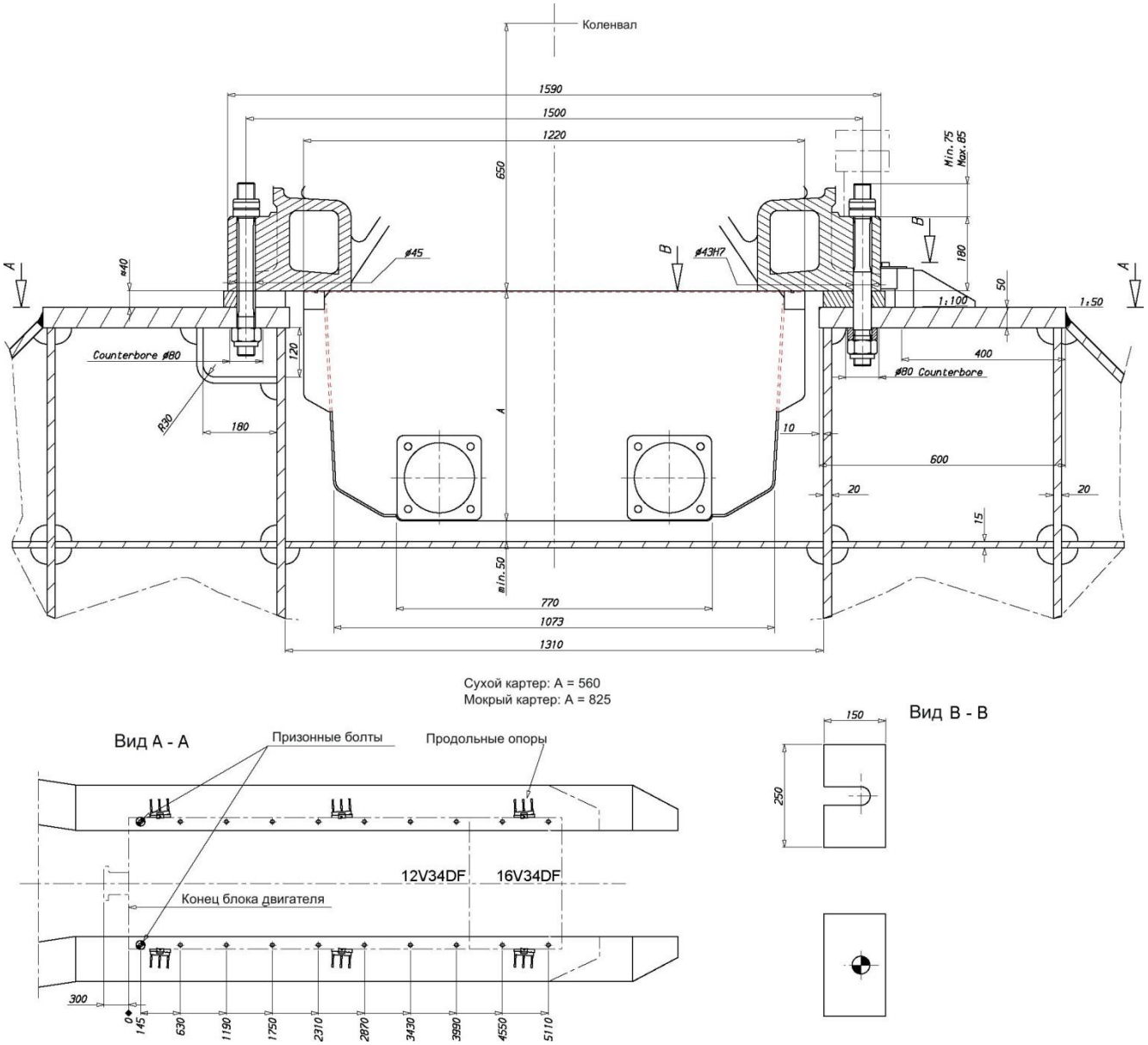


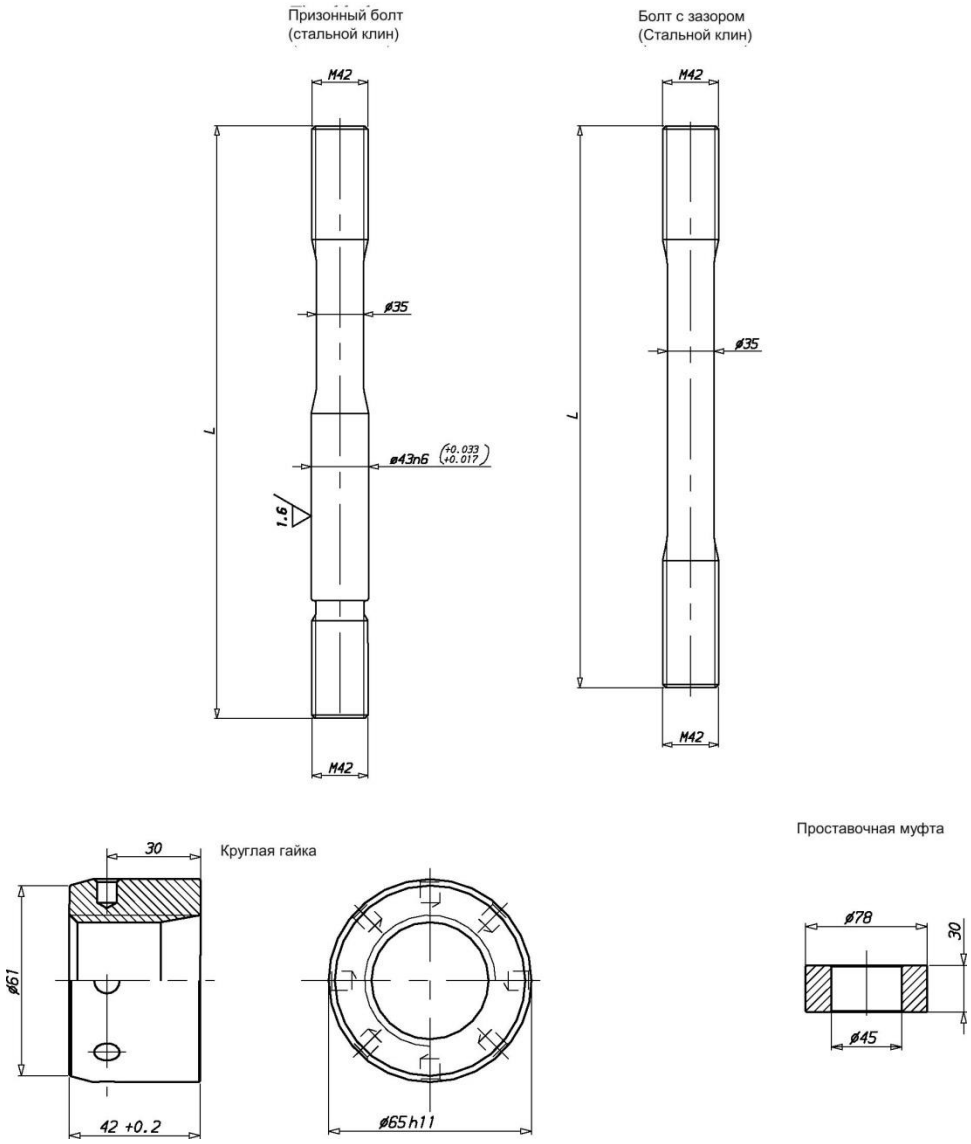
Проставочная муфта



Количество компонентов на двигатель		
	W 6L34DF	**W 9L34DF**
Призонный болт	2	2
Болт с зазором	14	20
Круглая гайка	16	22
Запорная гайка	16	22
Проставочная муфта	2	2
Продольная опора	4	6
Клинья	16	22

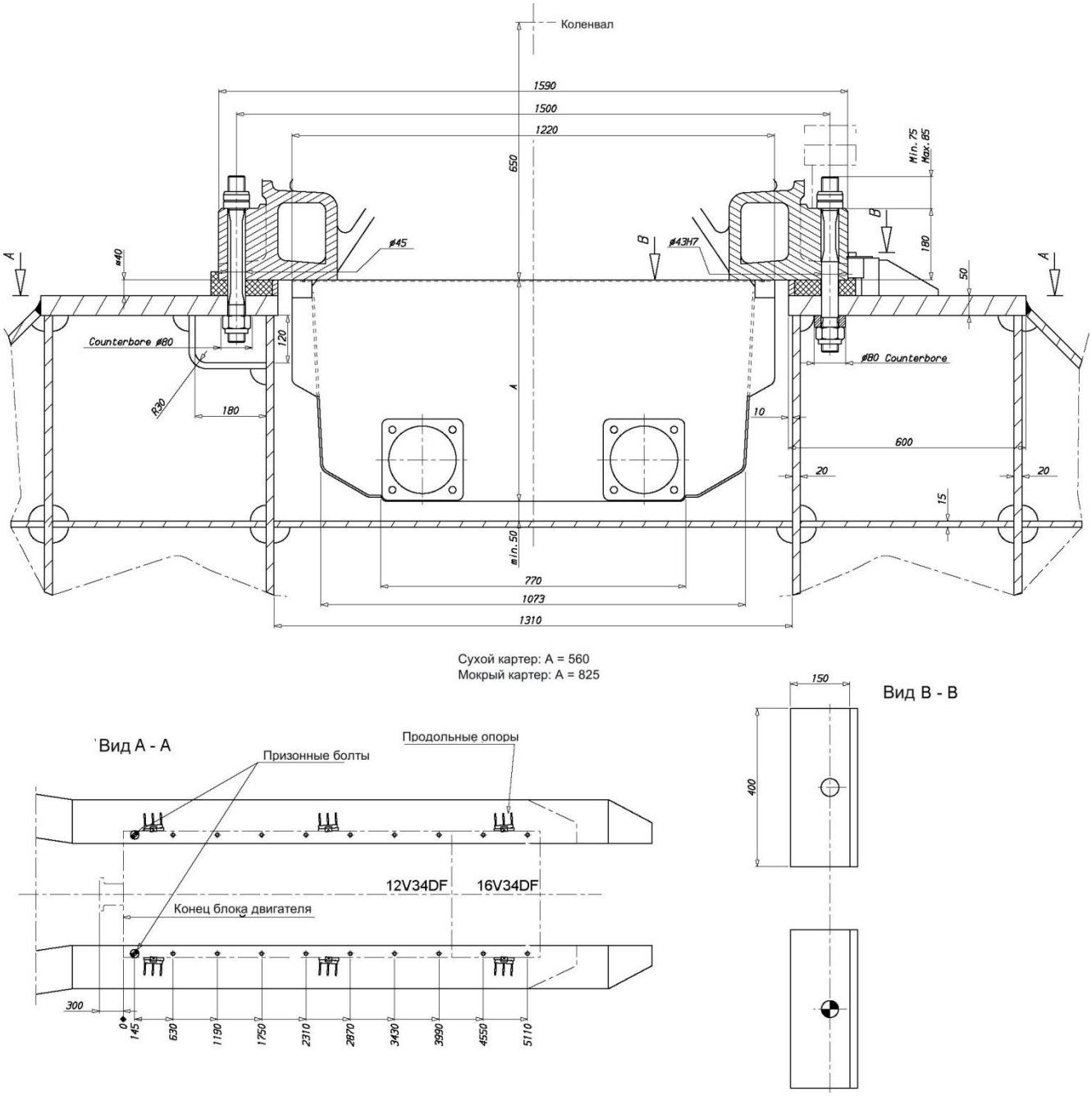
Рисунок 15.3 Опорная поверхность и крепление V-образных главных двигателей на стальных клиньях (DAAE085776)

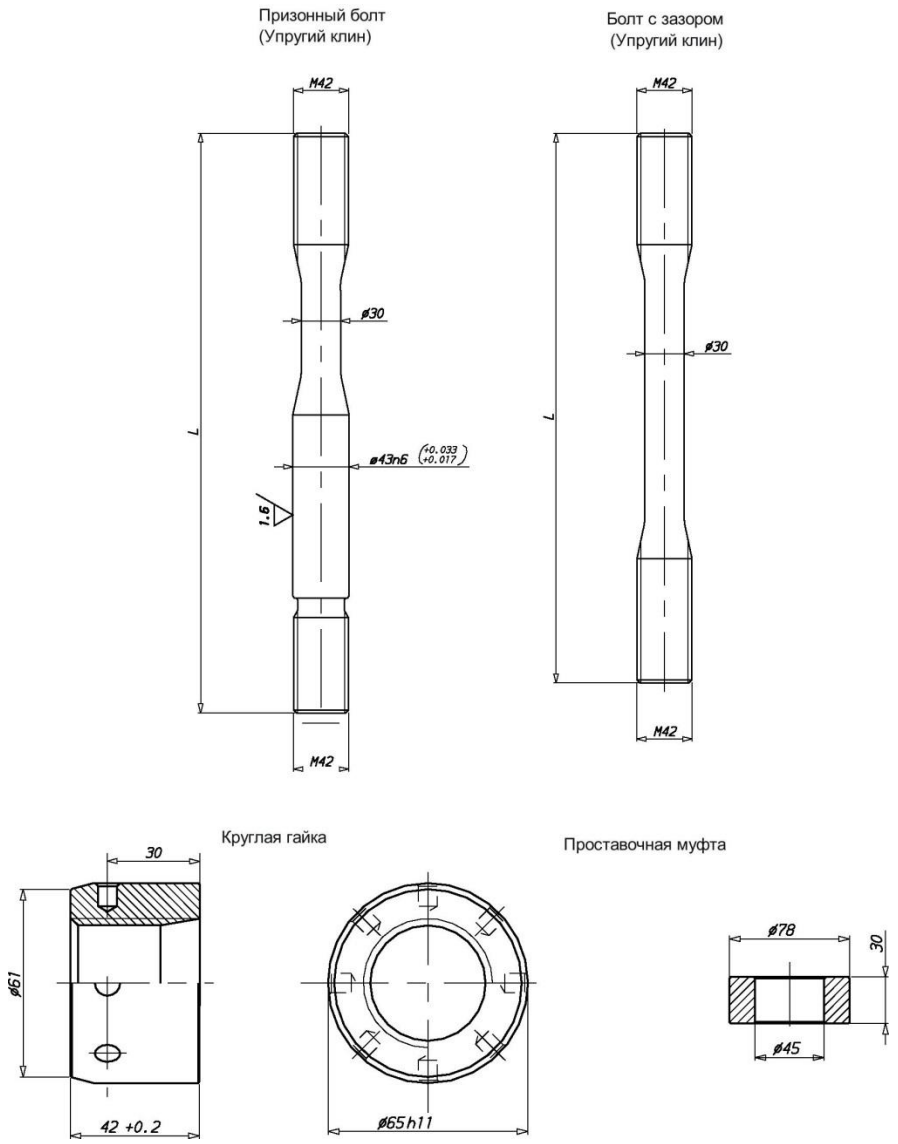




Количество компонентов на двигатель		
	W 12V34DF	**W 16V34DF**
Призонный болт	2	2
Болт с зазором	14	18
Круглая гайка	16	20
Запорная гайка	16	20
Проставочная муфта	2	2
Продольная опора	4	6
Клинья	16	20

Рисунок 15.4 Опорная поверхность и крепление V-образных главных двигателей на полимерных клиньях (DAAE085781)





Количество компонентов на двигатель		
	W 12V34DF	**W 16V34DF**
Призонный болт	2	2
Болт с зазором	14	18
Круглая гайка	16	20
Запорная гайка	16	20
Проставочная муфта	2	2
Продольная опора	4	6
Клинья	16	20

15.2.2 Упругое крепление

Чтобы уменьшить вибрации и шумы, возникающие от установки, главные двигатели можно монтировать с упругим креплением на резиновые амортизаторы. Передача усилий, излучаемых двигателем, установленным на упругом креплении, составляет 10-20% в сравнении с двигателем на жестком креплении. Как правило, для двигателей на амортизаторах доступны частоты вращения в диапазоне 500-750 об/мин, но конфигурация 18V может работать только на постоянной частоте вращения (750 rpm). Кроме того установка на амортизаторы не предусмотрена для 7L32.

Применяются амортизаторы двух разных конструкций. Цилиндровые конфигурации 6L, 8L, 12V и 16V устанавливаются на конические резиновые амортизаторы, аналогичные амортизаторам

дизель-генераторов. Амортизаторы крепятся непосредственно к лапам двигателей болтами с гидравлической затяжкой. Для облегчения сверления отверстий в фундаменте после окончательной центровки амортизатор крепится к промежуточной стальной пластине, которая фиксируется на фундаменте на одном болте. Отверстие в фундаменте под этот болт может просверливаться через лапу двигателя. Под промежуточную стальную пластину заливается полимерный клин.

Цилиндровые конфигурации 9L и 18V устанавливаются на цилиндрических резиновых амортизаторах. Эти амортизаторы крепятся к стальным пластинам группами, образуя восемь блоков. Каждый из этих блоков или упругих элементов состоит из верхней стальной пластины, крепящейся непосредственно к лапе двигателя, резиновых элементов и нижней стальной пластины, крепящейся к фундаменту. Отверстия в фундаменте под крепежные болты могут просверливаться через отверстия в лапах двигателя после окончательной центровки двигателя с редуктором. Амортизаторы сжимаются до расчетной высоты под нагрузкой с помощью болтов

M30, проходящих через лапы двигателя и проставками между двумя стальными пластинами. После этого под амортизаторами заливаются полимерные клинья. Клинья используются между лапами двигателя и амортизаторами для облегчения центровки в вертикальном направлении. Стальные клинья должны применяться под боковыми и торцевыми опорами на каждом из углов двигателя.

Рисунок 15.5 Принцип установки на амортизаторы, рядные двигатели (2V69A0247a)

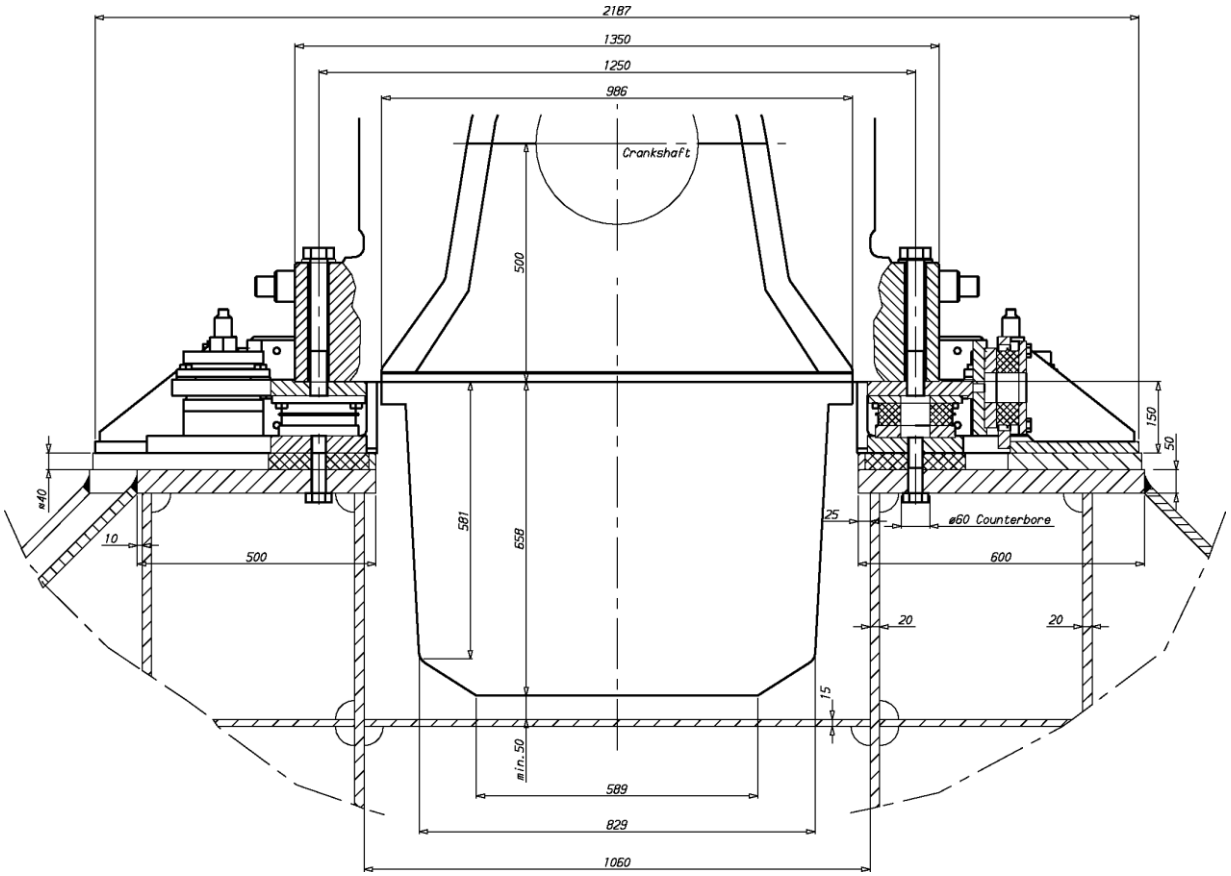
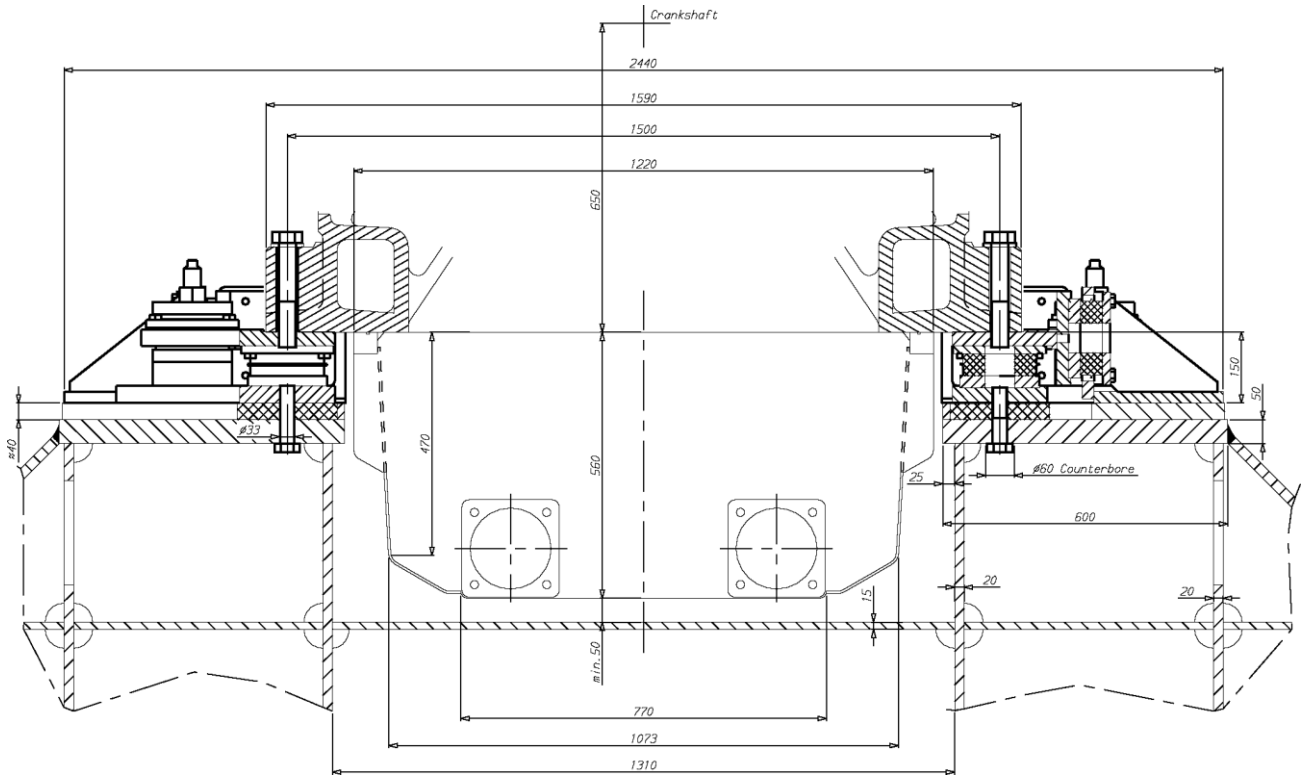


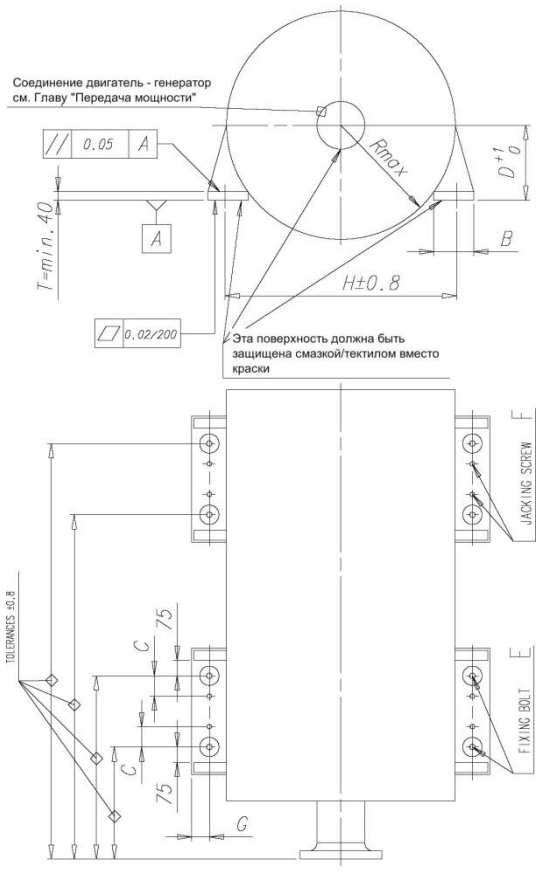
Рисунок 15.6 Принцип установки на амортизаторы, рядные двигатели (2V69A0248a)



15.3 Монтаж дизель-генераторов

15.3.1 Конструкция лап генератора

Рисунок 15.7 Расстояние между крепежными болтами на генераторе (DAAE084469)



H, мм	W 6L34DF Rmax, мм	W 9L34DF Rmax, мм	W 12V34DF Rmax, мм	W 16V34DF Rmax, мм
1400	715	-	-	-
1600	810	810	-	-
1800	-	905	985	985
1950	-	980	1045	1045
2200	-	1090	-	-

Двигатель	G, мм	F, мм	E, мм	D, мм	C, мм	B, мм
W L34DF	85	M24 или M27	Ø35	475	100	170
W V34DF	100	M30	Ø48	615	130	200

15.3.2 Упругое крепление

Дизель-генераторы, состоящие из двигателя и генератора, монтированных на общей опорной плите, устанавливаются на упругих опорах на фундаменте в судне.

Упругие амортизаторы снижают вибрацию, передаваемую на корпус судна, а также служат для защиты подшипников генераторной установки от возможного истирания, вызванного вибрацией корпуса судна.

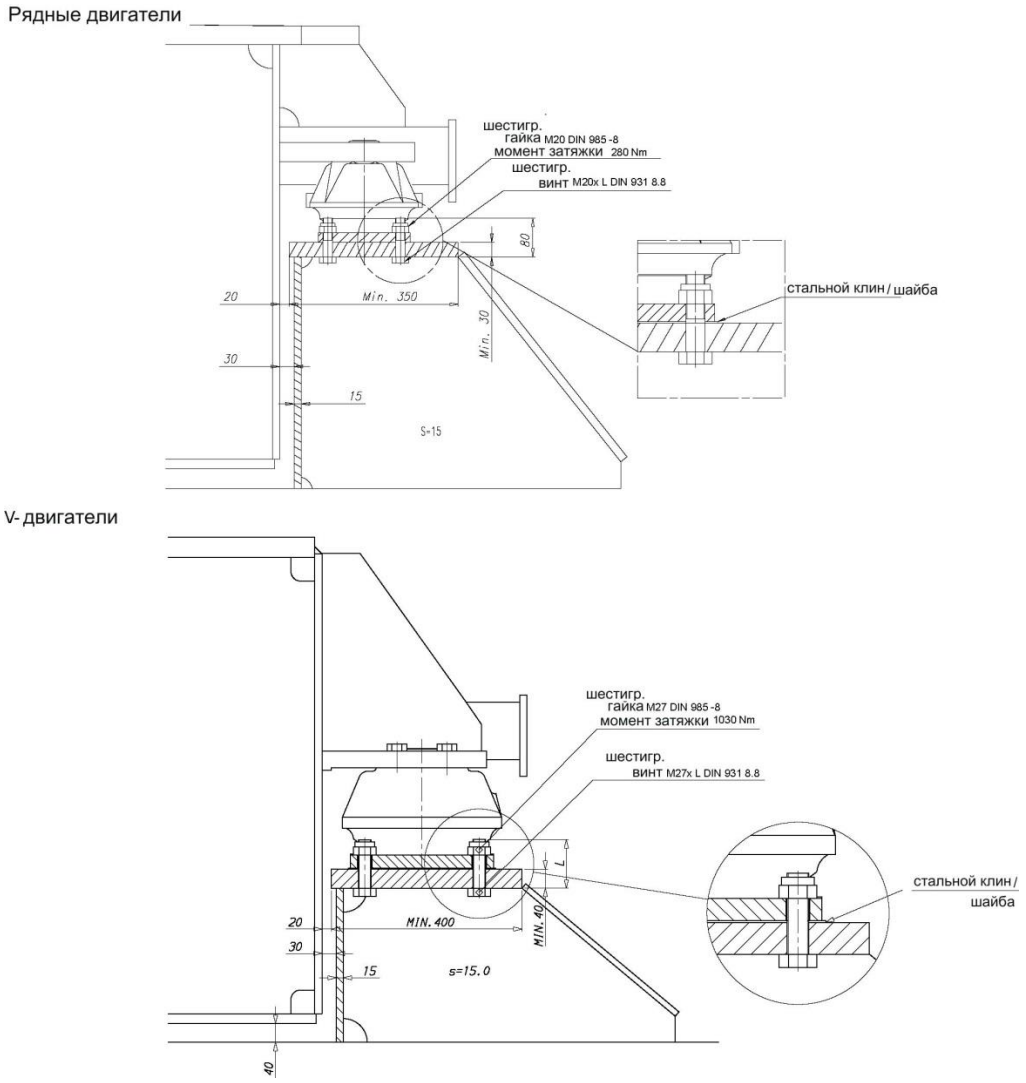
Количество амортизаторов и их расположение рассчитывается таким образом, чтобы предотвратить резонанс колебаний двигателя генераторной установки, основного двигателя и гребного винта.

ПРИМЕЧАНИЕ! Чтобы избежать наведенных колебаний дизель-генератора, верфь на этапе проектирования установки должна послать компании Wärtsilä следующие данные:

- частоту вращения главного двигателя, об/мин, и количество цилиндров
- частоту вращения вала гребного винта, об/мин, и количество лопастей гребного винта

Выбранное количество опор и их окончательное расположение показаны на чертеже дизель-генератора.

Рисунок 15.8 Рекомендованная конструкция опорной поверхности дизель-генератора (3V46L0295d, DAAE020067a)



Резиновые амортизаторы

Дизель-генератор монтируется на конических упругих опорах, сконструированных так, чтобы они могли выдерживать как сжатие, так и поперечные нагрузки. Опоры дополнительно снабжены внутренним амортизатором, который ограничивает движения дизель-генератора, вызываемые ходом судна. Следовательно, никаких боковых или концевых амортизаторов не требуется.

В амортизаторах применяется натуральная резина, вследствие чего их необходимо защищать от воздействия масла, масляной воды и топлива.

Когда дизель-генератор находится на опорах, опоры должны нагружаться равномерно. Максимально допустимая разница в сжатии разных опор составляет 2,0 мм. При необходимости следует воспользоваться клиньями или регулировочными шайбами, чтобы компенсировать локальные допуски. Под каждой опорой можно использовать только по одной регулировочной шайбе.

При использовании конических опор передача усилий, излучаемых двигателем, составляет 10-20%. Конструкцию фундамента см. на чертеже 3V46L0295 (для рядных двигателей) и 3V46L0294 (для V-образных двигателей).

Рисунок 15.9 Резиновые опоры, рядные двигатели (DAAE004230c)

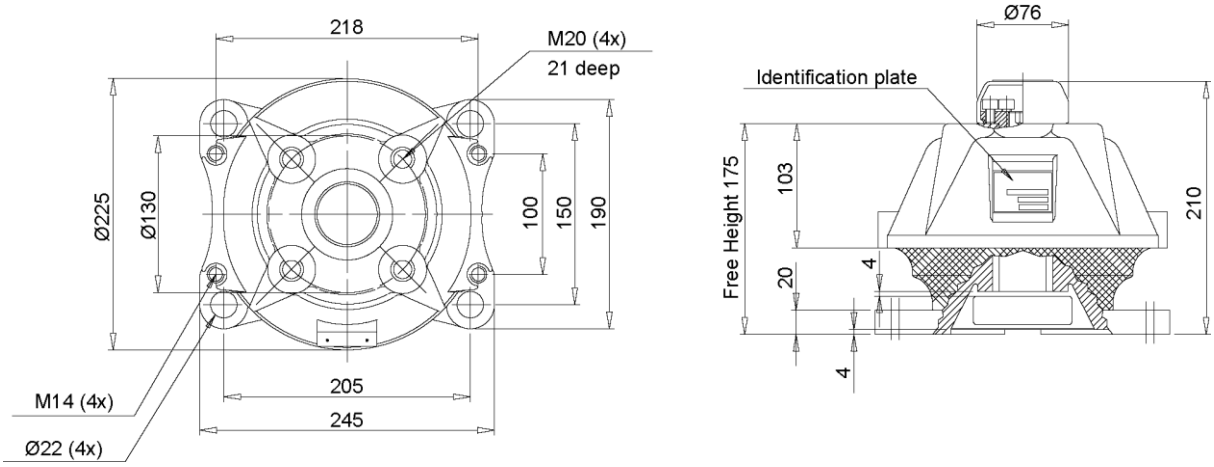
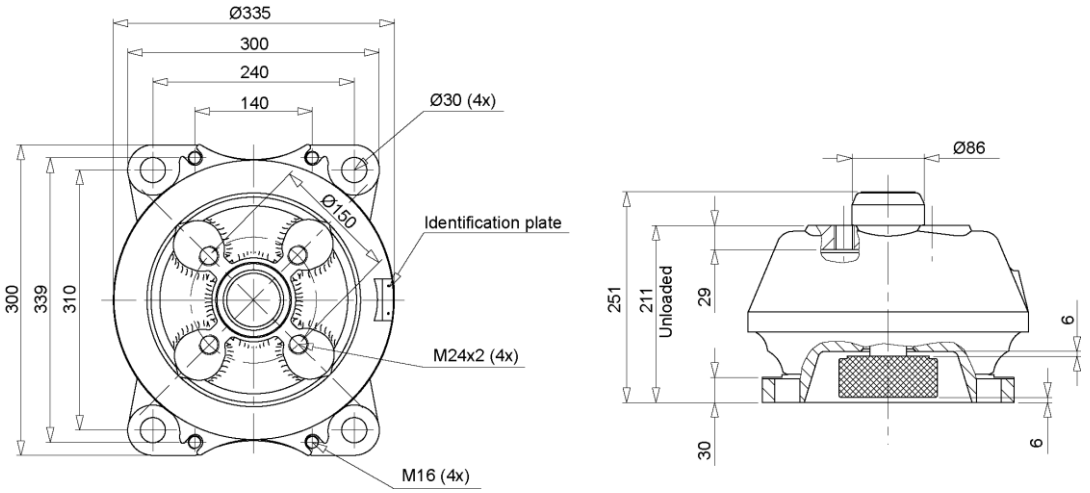


Рисунок 15.9 Резиновые опоры, V-образные двигатели (DAAE018766b)



15.4 Упругие соединения трубопроводов

Если двигатель или дизель-генератор установлен на упругом креплении, все соединения должны быть гибкими, и на дизель-генератор нельзя прикреплять ограждений или лестниц. При установке гибких соединений труб следует избегать лишних изгибов и растяжений. Внешняя труба должна быть с точностью центрована с фитингом или фланцем на двигателе. Очень важно, чтобы трубные зажимы для трубы, находящейся с наружной стороны гибкого соединения, обязательно были очень жесткими, и чтобы они были приварены к стальной конструкции фундамента для защиты от вибраций, которые могут повредить гибкое соединение.

16 Вибрации и шумы

Дизель-генераторы Wärtsilä 34DF соответствуют по уровням вибрации требованиям ISO 8528-9. Главные двигатели соответствуют по уровням вибрации требованиям ISO 10816-6, класс 5.

16.1 Внешние силы и динамические пары

Некоторые конфигурации цилиндров создают появление внешних сил и динамических пар. Они перечислены в таблицах ниже.

Проектант судна должен следить за тем, чтобы естественные частоты палуб, переборок и надстроек не были близки к резонансным частотам. Второе дно должно быть достаточно жестким во избежание резонансов, особенно с опрокидывающими частотами.

Рисунок 16.1 Система координат

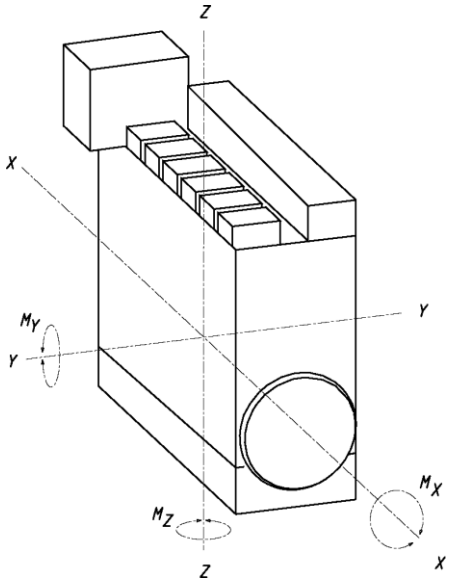


Таблица 16.1 Внешние силы и динамические пары

Двигатель	Частота вращ. (об/мин)	Частота (Гц)	M_Y (кНм)	M_Z (кНм)	Частота (Гц)	M_Y (кНм)	M_Z (кНм)	Частота (Гц)	M_Y (кНм)	M_Z (кНм)
W9L34DF	720	12	41	41	24	24	-	-	-	-
	750	12.5- -	45	45	25	26	-	-	-	-
W12V34DF	720	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	750	-	-	-	-	-	-	75	-	0.1
W16V34DF	720	-	-	-	-	-	-	-	4	3
	750	-	-	-	-	-	-	-	4	3

Пары нулевые или незначительные.

16.2 Колебания крутящего момента

Таблица 16.3 Колебания крутящего момента при 100% нагрузке

Двигатель	Частота вращения (об/мин)	Частота (Гц)	Mx (кНм)	Частота (Гц)	Mx (кНм)	Частота (Гц)	Mx (кНм)
W 6L34DF	720	36	23	72	17	108	5
	750	37.5	20	75	17	112.5	5
W9L34DF	720	54	47	108	8	162	3
	750	56.25	47	113	8	168.75	3
W12V34DF	720	36	9	72	27	108	5
	750	37.5	9	75	27	112.5	5
W16V34DF	720	48	34	96	16	144	3
	750	50	34	100	16	150	3

16.3 Суммарный момент инерции

Суммарные моменты инерции главных двигателей (включая маховик) обычно следующие:

Двигатель	J, кгм^2
W 6L34DF	440...490
W 9L34DF	640...660
W 12V34DF	700...780
W 16V34DF	840...930

16.4 Воздушные шумы

Воздушные шумы двигателя измеряются как уровень мощности звука в соответствии со стандартом ISO 9614-2. Результаты представлены с A-взвешиванием, опорный уровень 1 pW.

Рисунок 16.2 Типичный уровень мощности звука двигателя, W L34DF

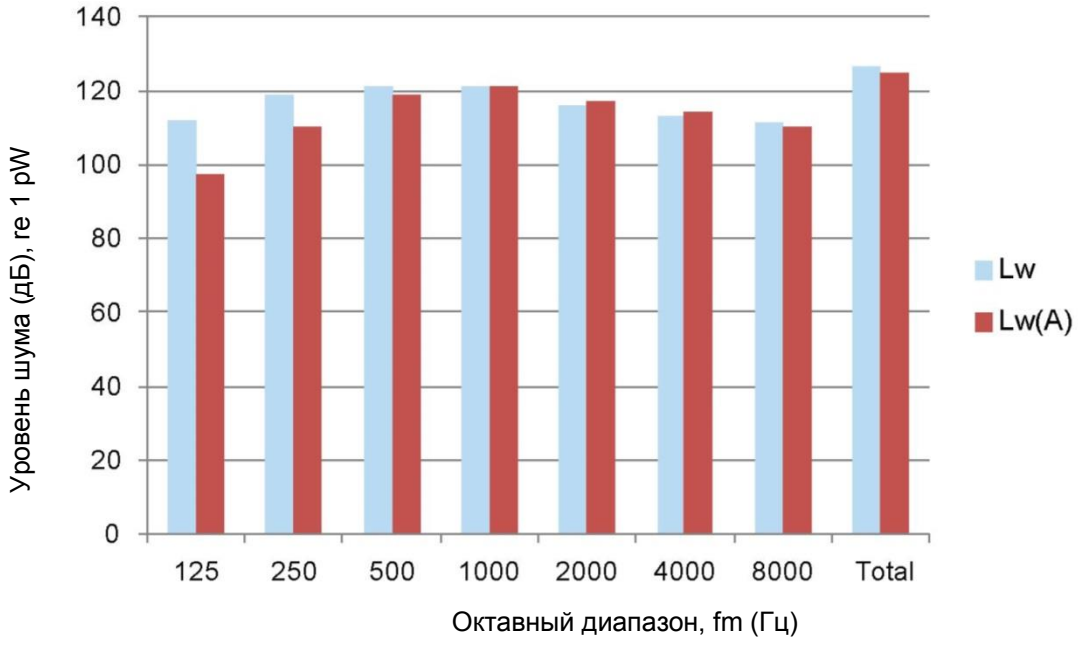
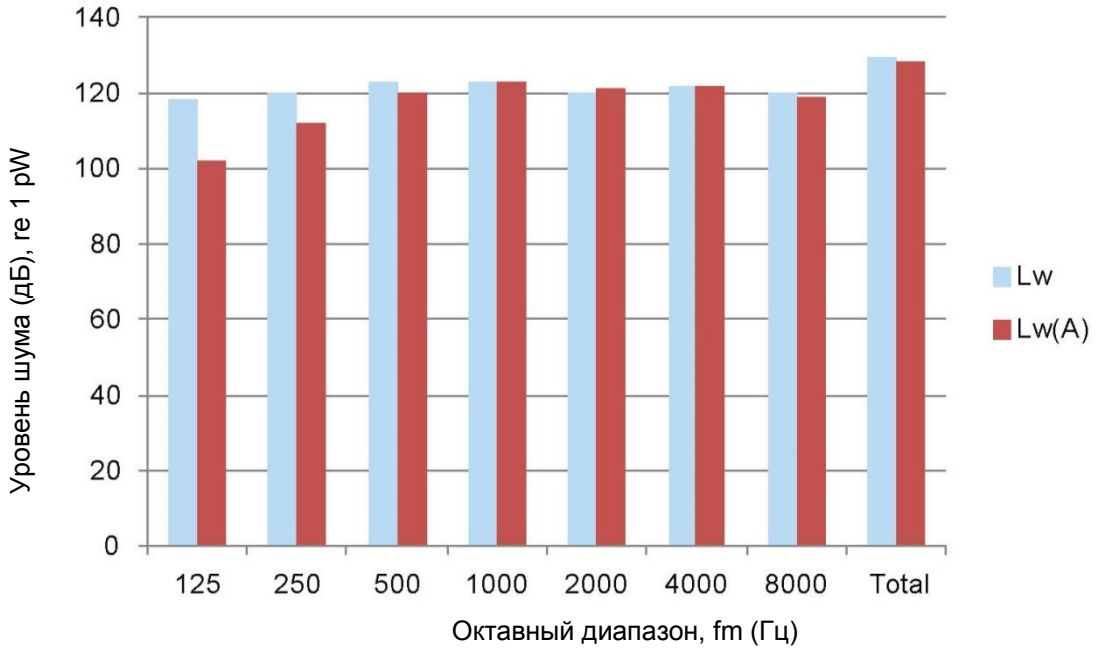


Рисунок 16.3 Типичный уровень мощности звука двигателя, W V34DF



16.5 Выхлопные шумы

Рисунок 16.4 Типичный уровень мощности звука для выхлопных шумов, W L34DF

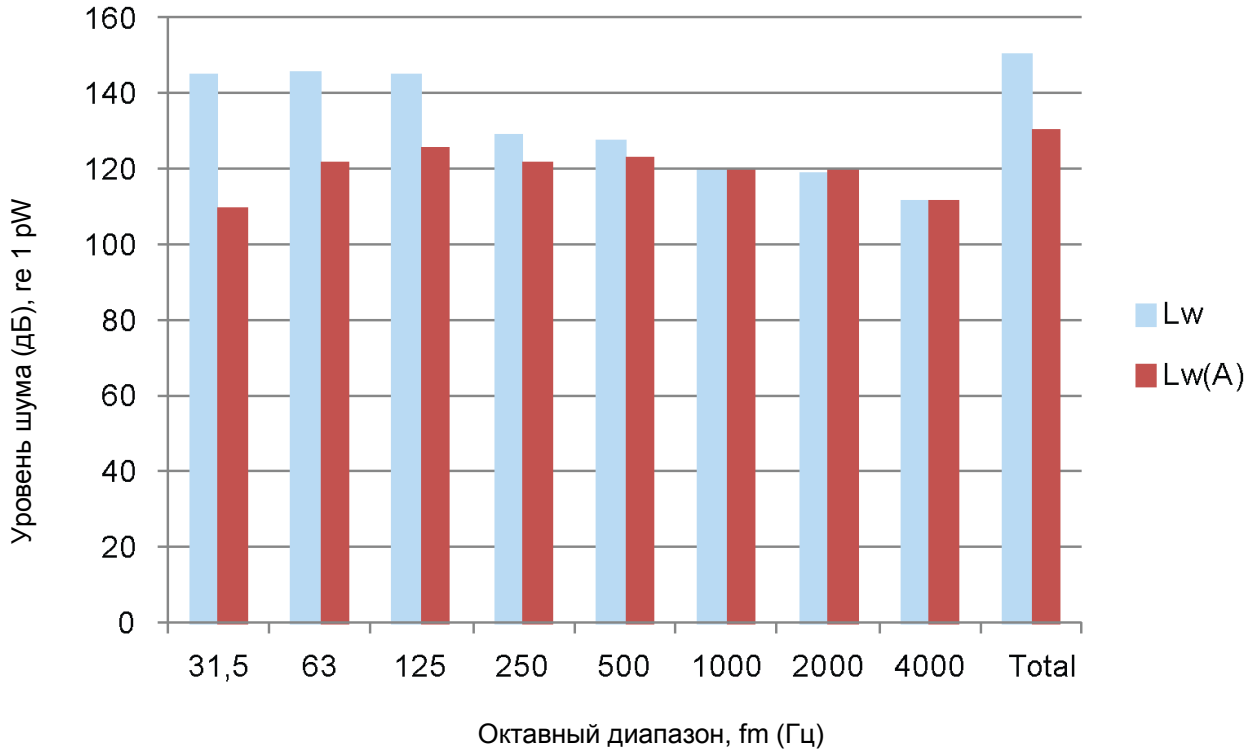
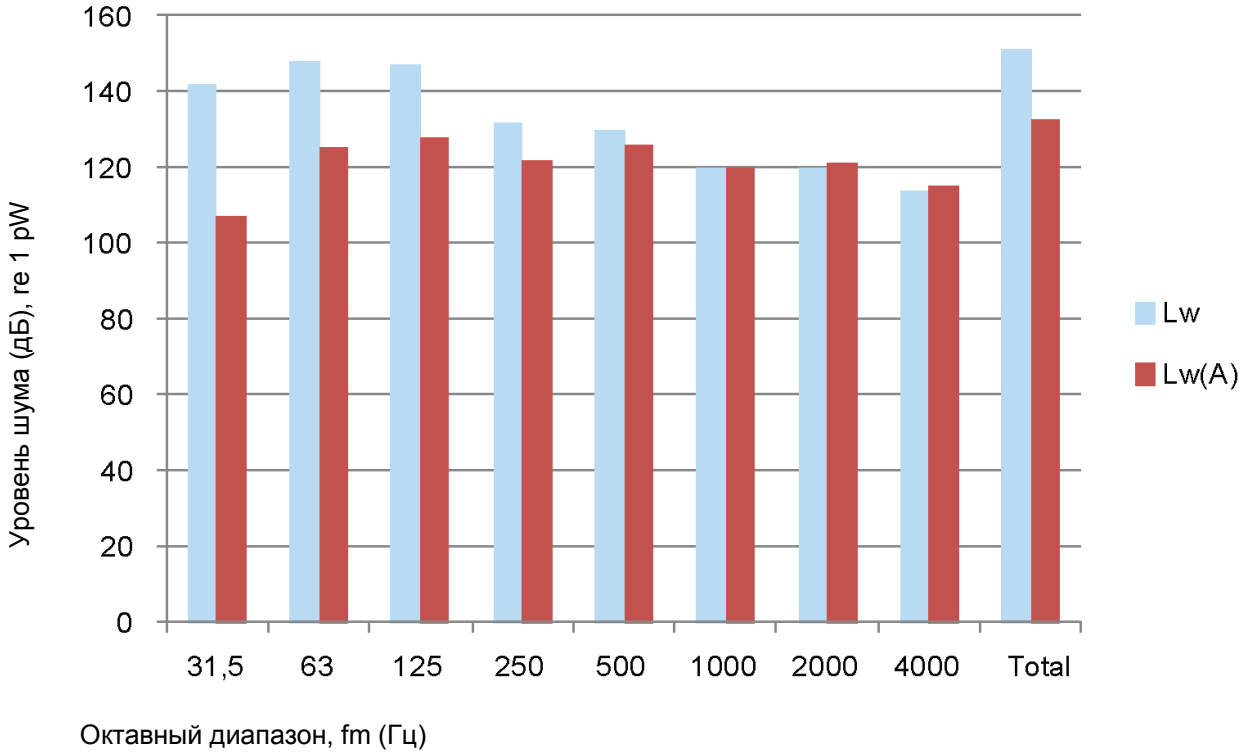


Рисунок 16.5 Типичный уровень мощности звука для выхлопных шумов, W V34DF



17 Передача мощности

17.1 Упругая муфта

Передача мощности в пропульсивных установках производится с помощью упругой муфты или с помощью комбинированной упругой муфты и муфты сцепления, установленной на маховике. Коленвал оборудован дополнительным защитным подшипником со стороны маховика. Поэтому даже достаточно тяжелая муфта может быть установлена на маховик без промежуточных подшипников.

Тип упругой муфты выбирается каждый раз индивидуально на основании вычислений крутильных вибраций.

В случае, когда на установке используется генератор с двумя подшипниками, необходимо устанавливать между генератором и двигателем упругую муфту.

17.1.1 Подсоединение к генератору

Рисунок 17.1 Подсоединение двигателя к генератору (3V64L0058c)

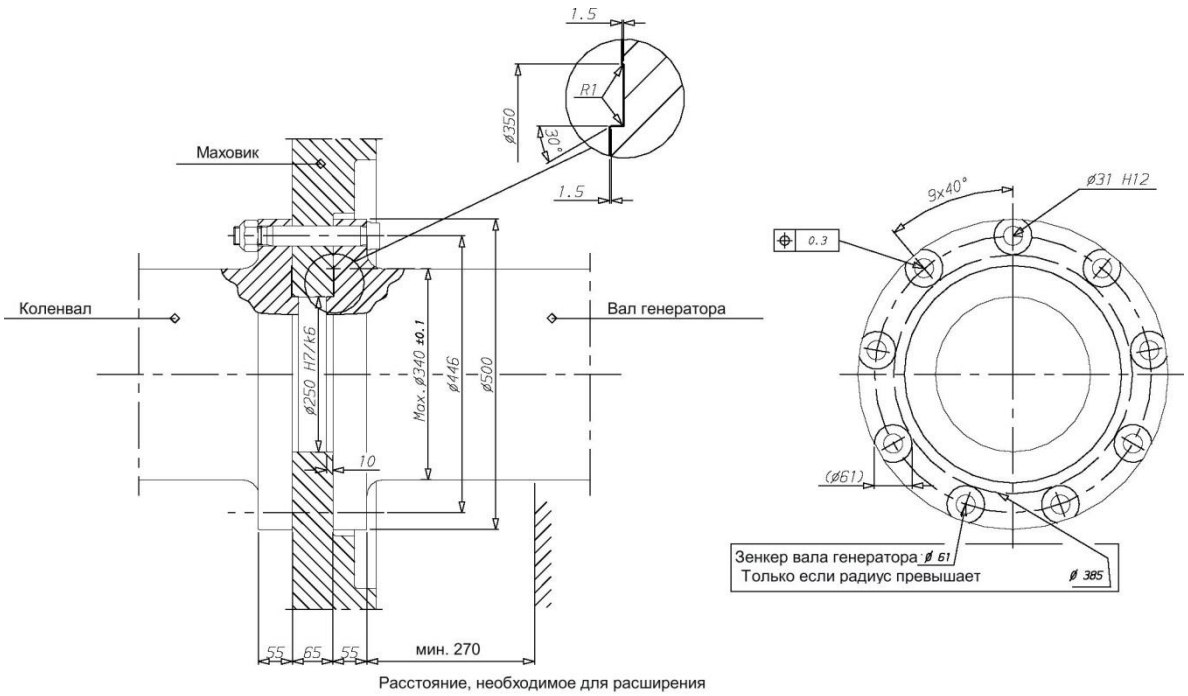
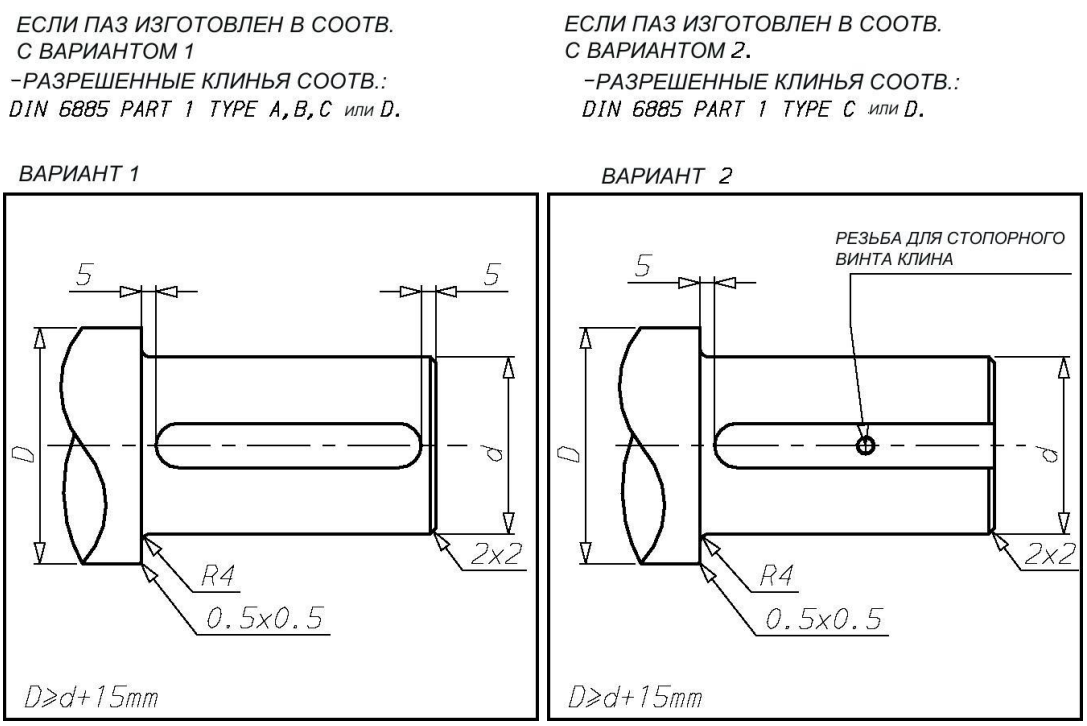


Рисунок 17.2 Указания по проектированию вала генератора (4V64F0003a)



17.2 Измерительный фланец крутящего момента

В механических пропульсивных установках должен быть установлен измеритель крутящего момента для измерения поглощаемой мощности. Измерительный фланец крутящего момента имеет монтажную длину 300 мм для всех цилиндровых конфигураций и устанавливается после упругой муфты.

17.3 Муфта сцепления

Во многих установках вал гребного винта может быть отключен от двигателя с помощью муфты. Рекомендуется использовать многопластинчатые гидравлические муфты, встроенные в редуктор.

Муфта требуется, если два или более двигателей подключены к одному и тому же приводному оборудованию, такому как редуктор.

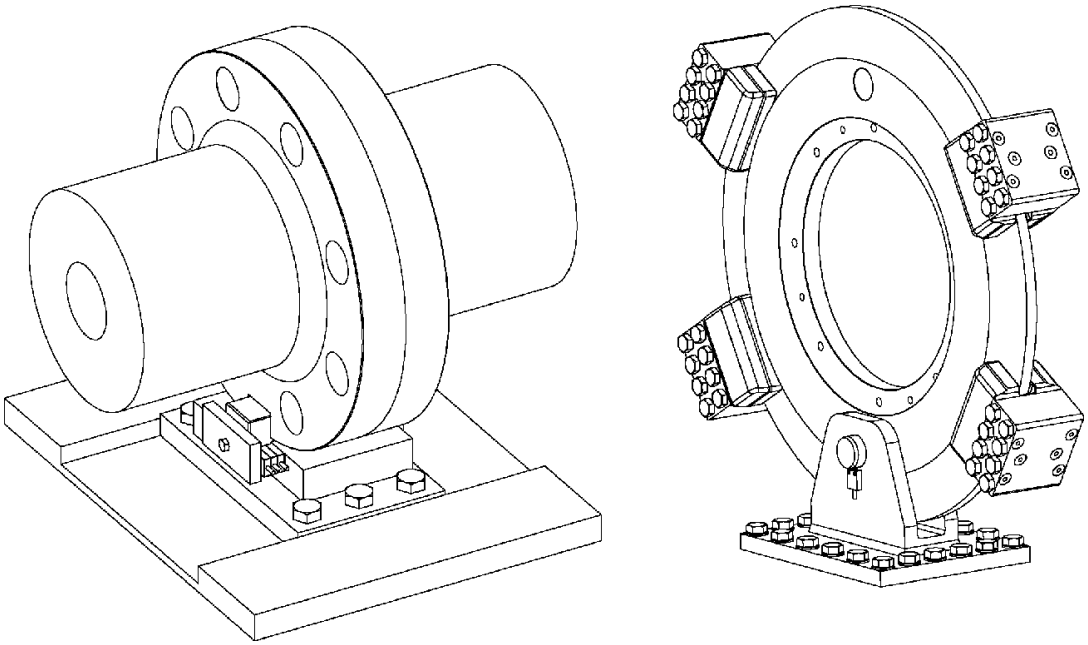
Для обеспечения возможности техобслуживания остановленного двигателя муфты должны быть установлены на суднах со сдвоенным гребным винтом, которые могут работать на одном валу гребного винта.

17.4 Устройство блокировки вала

Для обеспечения возможности техобслуживания муфты остановленного двигателя на судах с двухвальной установкой, которые могут работать на одном гребном винте. Также должно быть установлено устройство блокировки вала, чтобы закреплять гребной вал в жестком положении во избежание флюгирования винта. Это необходимо для того, что даже разомкнутая гидравлическая муфта может передавать некоторый крутящий момент. Флюгирование винта при низкой частоте вращения гребного винта (<10 об/мин) может привести к недостаточной смазке и вызвать чрезмерный износ подшипников.

В качестве устройства блокировки можно использовать специальную крепежную скобу с шплинтом, или проще использовать тормозные диски с клещевым тормозом. В обоих случаях необходимо обеспечить жесткое и надежное крепление опоры к конструкции судна.

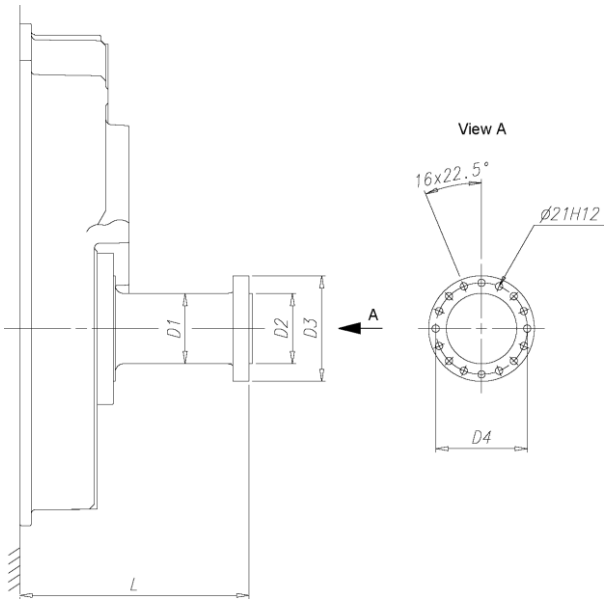
Рисунок 17.3 Устройство блокировки вала и тормозной диск с зажимами



17.5 Отбор мощности со свободного конца двигателя

Возможно подсоединение вала со свободного конца двигателя для отбора мощности. Для рядных двигателей возможен полный отбор мощности с вала отбора мощности. Для V-образных двигателей отбор мощности со свободного конца должен проверяться при расчете крутильных колебаний.

Рисунок 17.4 Отбора мощности со свободного конца (DAAE084566).



Двигатель	Мощность, кВт [1)]	D1	D2	D3	D4	L	Вал отбора мощности подсоединен к
Рядные двигатели	4500	200	200	300	260	650	Валу валу с опорным подшипником
	4500	200	200	300	260	700	Упругой муфте, макс. вес на расстоянии L = 900 кг
V-образные двигатели	5000	200	200	300	260	800	Валу валу с опорным подшипником
	2500	200	200	300	260	1070	Упругой муфте, макс. вес на расстоянии L = 390 кг

[1)] Расчетная мощность на валу отбора мощности, выходная мощность двигателя может быть ниже

17.6 Исходные данные по вычислению крутильных колебаний

Вычисление крутильных колебаний производится индивидуально для каждой установки. Для этого требуются точные данные по всем компонентам, включенным в систему гребного вала. См перечень ниже.

Установка

- Классификация
- Ледовый класс
- Рабочие режимы

Редуктор

Суммарная кривая по упругости со следующими показателями:

- Все возможности подключения муфты сцепления
- Направление вращения всех валов
- Размеры всех валов
- Суммарный момент инерции всех вращающихся частей, включая валы и фланцы
- Устойчивость к крутильным колебаниям валов между вращающимися массами
- Материал валов, включая предел прочности на разрыв и модуль сдвига
- Передаточное число редуктора
- Номер чертежа, на котором изображена кривая

Гребной винт и валолиния

Суммарная кривая по упругости или чертеж линии валов гребного винта со следующими показателями:

- Суммарный момент инерции всех вращающихся частей, включая коробку OD, муфты SKF и вращающиеся детали подшипников
- Суммарный момент инерции гребного винта при полном/нулевом шаге в воде
- Устойчивость к крутильным колебаниям или размеры вала
- Материал вала, включая предел прочности на разрыв и модуль сдвига
- Номер чертежа, на котором изображена кривая или номера чертежей

Главный генератор или валогенератор

Суммарная кривая по упругости или чертеж вала генератора со следующими показателями:

- Выходная мощность, частота и направление вращения генератора
- Суммарный момент инерции всех вращающихся частей или суммарный момент инерции ротора, включая вал
- Устойчивость к крутильным колебаниям или размеры вала
- Материал вала, включая предел прочности на разрыв и модуль сдвига
- Номер чертежа, на котором изображена кривая или номера чертежей

Упругая муфта/муфта сцепления

Если используется упругая муфта конкретного исполнения, необходимо предоставить следующую информацию:

- Суммарный момент инерции всех частей муфты
- Количество упругих элементов
- Линейная, прогрессивная и дегрессивная устойчивость к крутильным колебаниям на каждом элементе
- Динамическое усиление или относительное затухание

- Номинальный крутильный момент, допустимый вибрационный крутильный момент и допустимые потери мощности
- Чертеж муфты, показывающий исполнение, тип и номер чертежа

Рабочие параметры

- Рабочий профиль (распределение нагрузки по времени)
- Частота вращения при зацеплении
- Распределение мощности между различными потребителями
- Характеристическая кривая зависимости частоты вращения и нагрузки

17.7 Валоповоротный механизм

Двигатель оборудован валоповоротным устройством с электроприводом, которым можно поворачивать маховик.

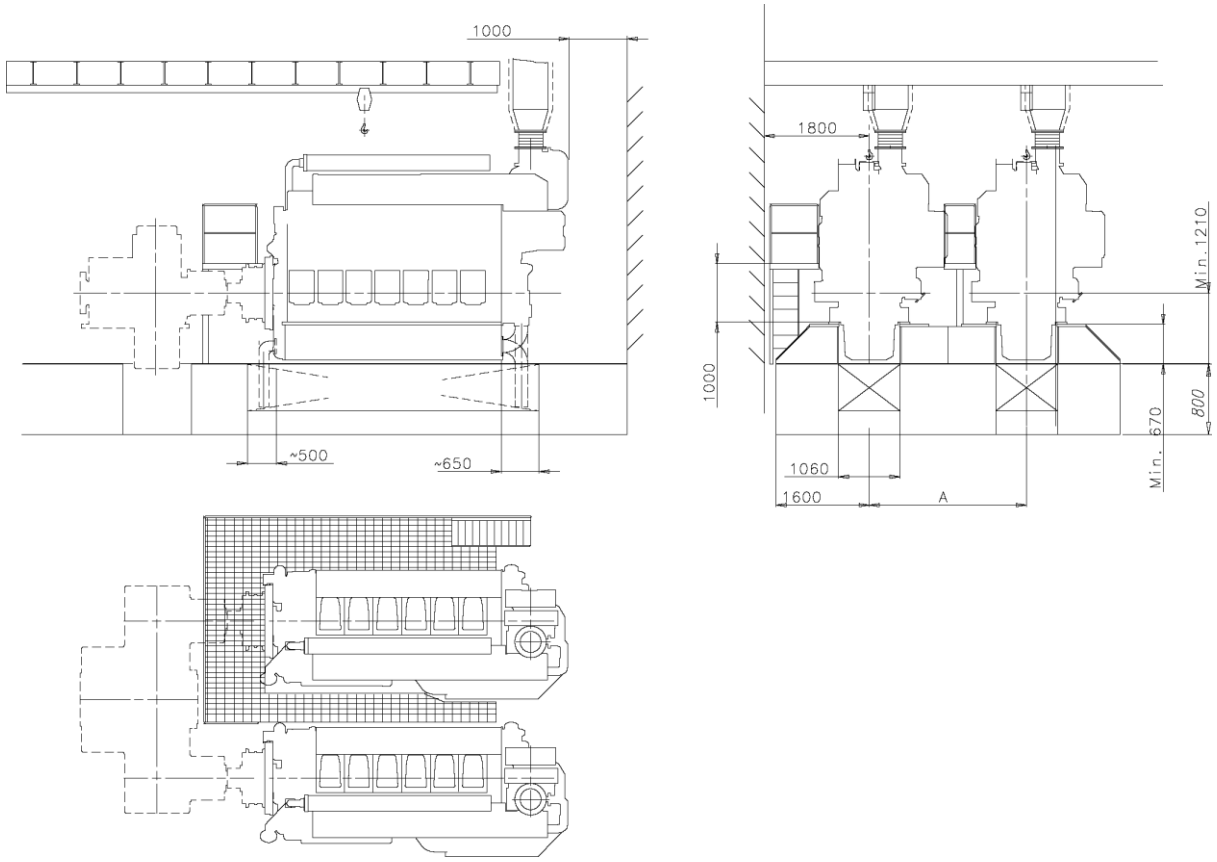
18 Конструкция машинного отделения

18.1 Расстояния между коленвалами

Минимальное расстояние между коленвалами должно быть таким, чтобы между двигателями было достаточное пространство для эксплуатации и техобслуживания.

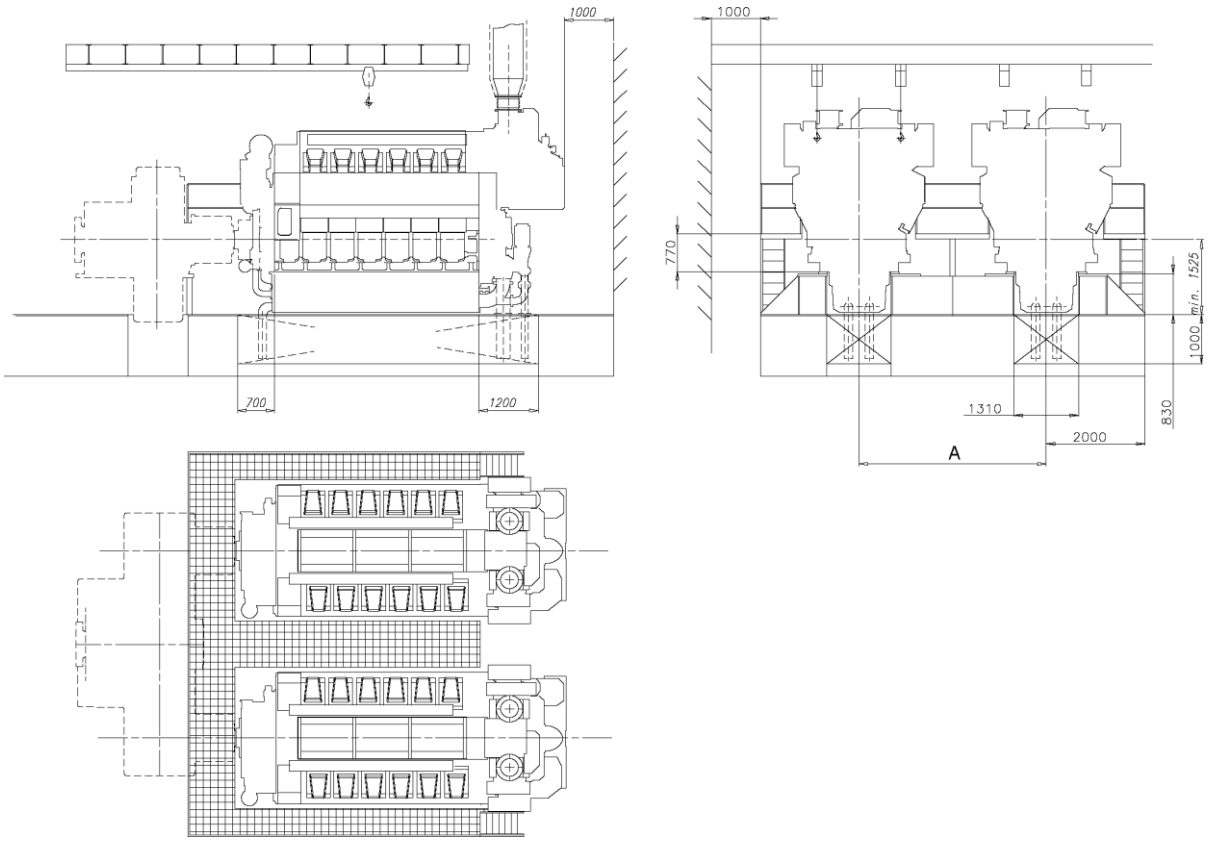
18.1.1 Главные двигатели

Рисунок 18.1 Минимальное расстояние между коленвалами, рядные двигатели (DAAE082974A)



Двигатель	A, мм
W 6L34DF	2700
W 9L34DF	2700

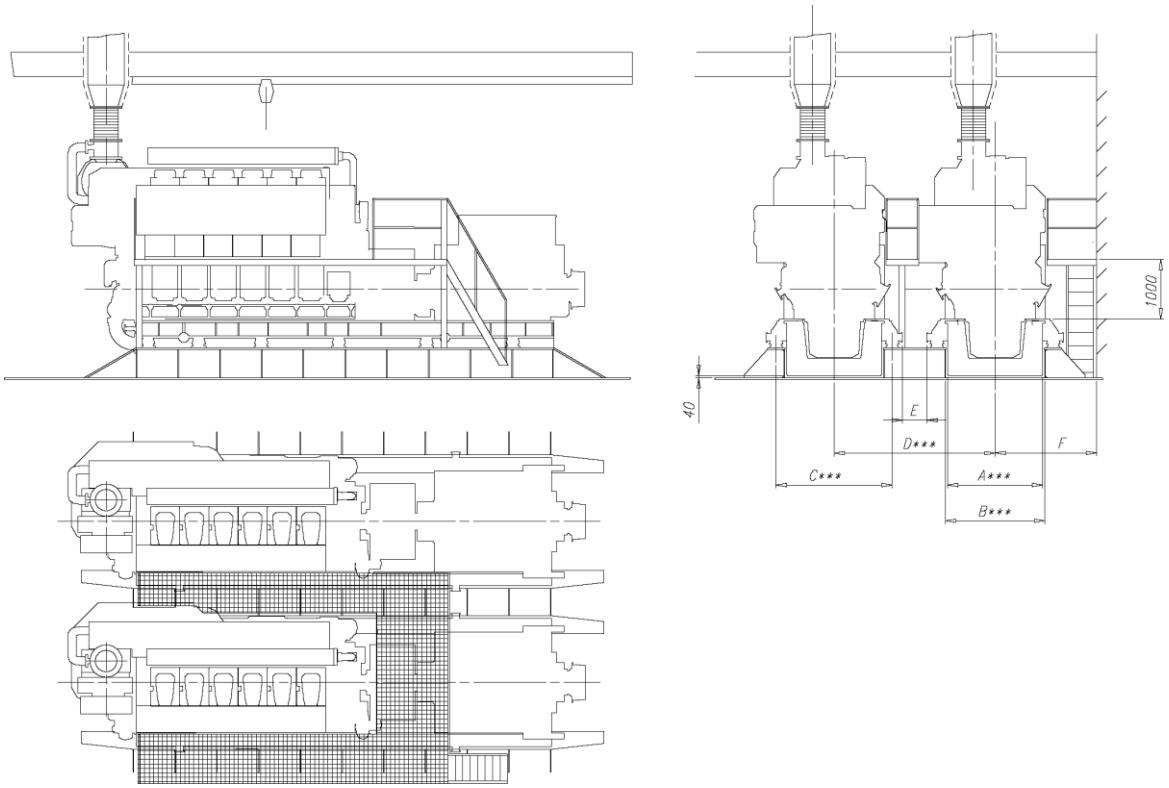
Рисунок 18.2 Минимальное расстояние между коленвалами, V-образные двигатели (DAAE082974A)



Система воздуха сгорания	A, мм
ГТН с фильтром/глушителем	3700
Канал подвода воздуха к ГТН	3800

18.1.2 Дизель-генераторные установки (ДГУ)

Рисунок 18.3 Расстояние между коленвалами, рядные дизель-генераторы (DAAE082973)

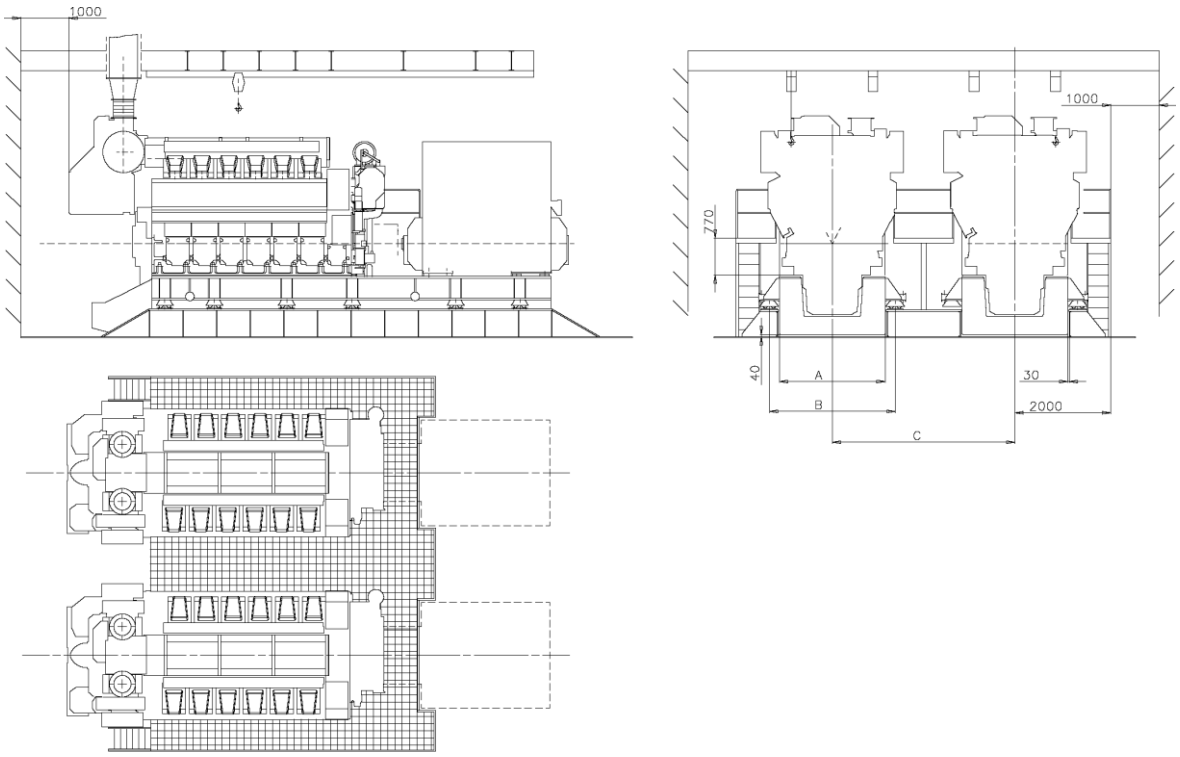


Тип двигателя	A***	B***	C***	D***	E	F
W 6L34DF	1600	1660	1910	2800	410	1700
W 9L34DF	2200	2260	2510	2800	110	2000

****В зависимости от ширины генератора*

Все габариты в мм.

Рисунок 18.4 Расстояние между коленвалами, V-образные дизель-генераторы (DAAE082970)



Тип двигателя	A	B	C
W 12V34DF	2200	2620	мин.3800
W 16V34DF	2200	2620	мин.3800

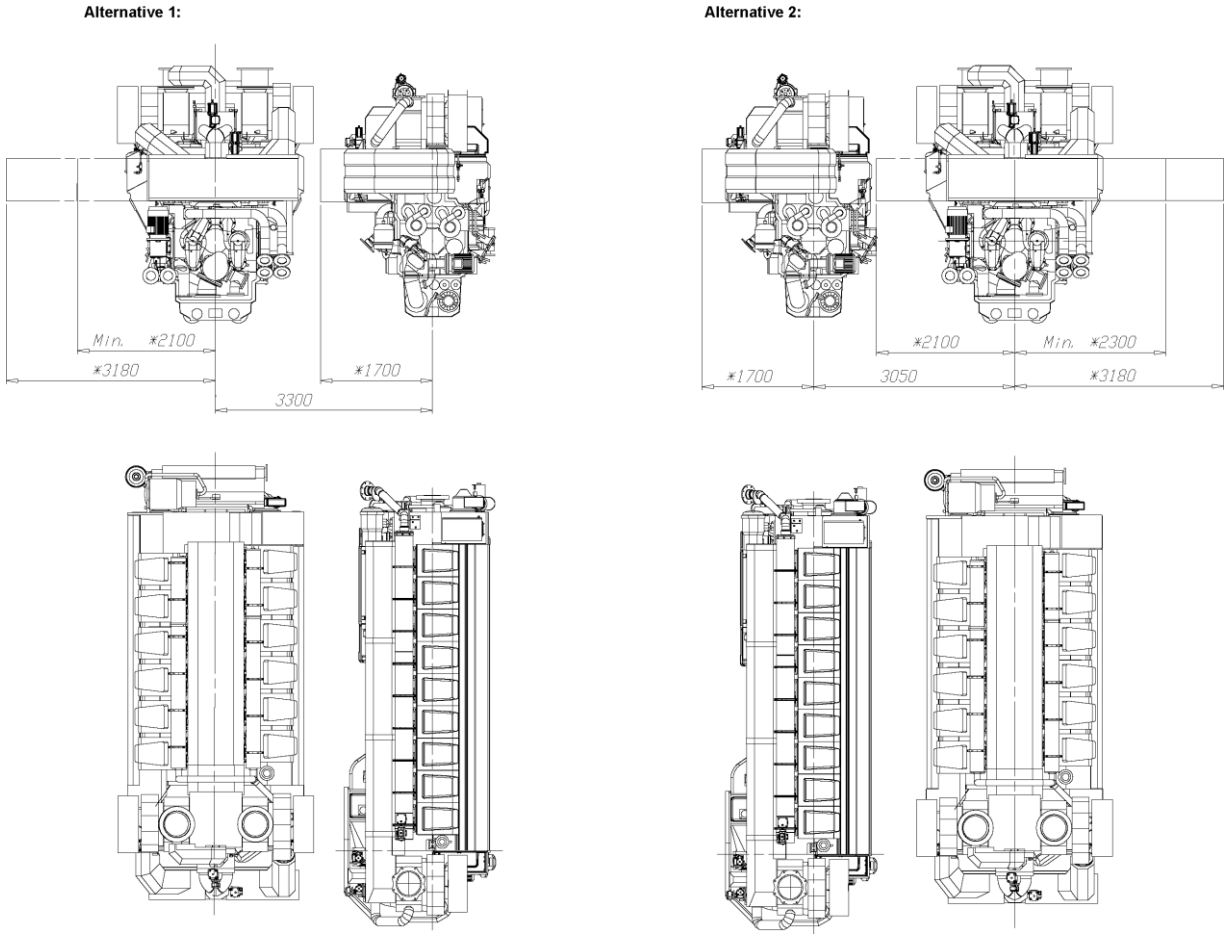
Все габариты в мм.

18.1.3 Установка с разными двигателями

При подключении двух двигателей разного типа и/или размера к одному редуктору минимальное расстояние между коленвалами определяется для каждого конкретного проекта. Однако можно дать некоторые общие рекомендации:

- Важно убедиться, что возможен демонтаж всех компонентов двигателя. Наиболее критическими компонентами обычно являются ГТН и воздушные холодильники.
- При использовании комбинации рядного и v-образного двигателя обслуживаемая сторона рядного должна быть обращена к v-образному для уменьшения расстояния между коленвалами.
- Следует особенно тщательно проверять высоту платформ для обслуживания между двигателями, чтобы конструкции не закрывали зоны обслуживания.

Рисунок 18.5 Пример установки с разными двигателями, 9L34DF + 12V34DF, ГТН со свободного конца (DAAE082972)

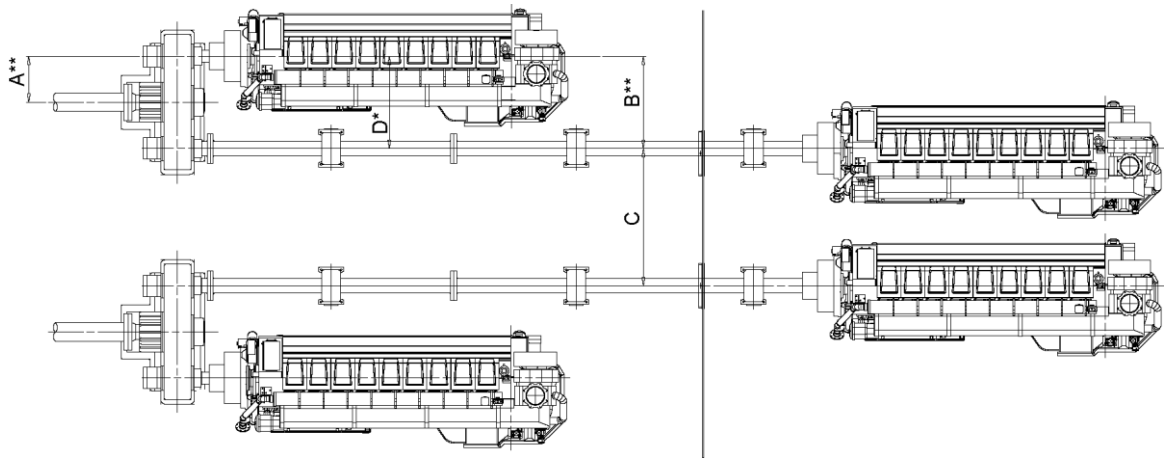


18.1.4 Расстояние от близкого промежуточного/гребного вала

В некоторых установках используются промежуточные или гребные валы, проходящие близко от двигателей.

Для обеспечения достаточной зоны для инспекции и обслуживания двигателя должно оставаться достаточное пространство между такими валами и двигателями. Для обеспечения безопасных условий работы валы должны быть закрыты кожухами. Следует отметить, что габариты кожухов также должны приниматься во внимание при определении расстояний для выполнения требований по минимальному пространству между валом и двигателем.

Рисунок 18.6 Компоновка установки с рядными главными двигателями (DAAE086973B)



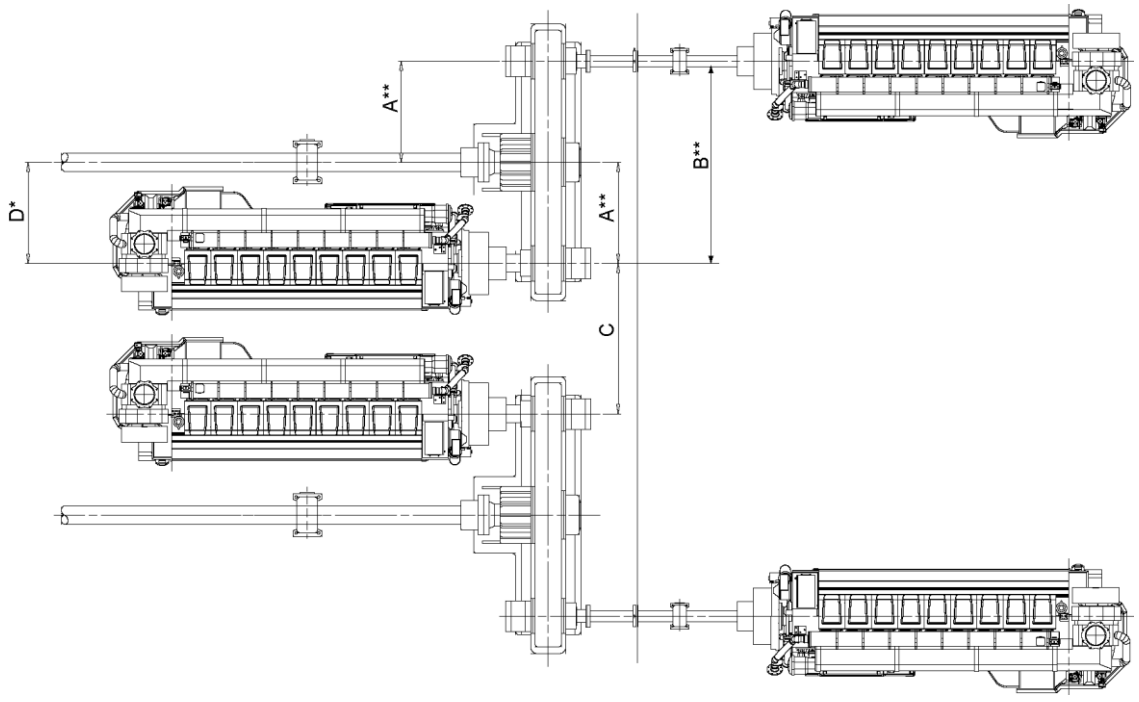
Тип двигателя	A**	B**	C	D*
W 6L34DF	940	1880	2700	1480
W 9L34DF	940	1880	2700	1480

Все габариты в мм. Диаметр промежуточного вала определяется для каждого конкретного проекта

*В зависимости от типа валового подшипника

**В зависимости от типа редуктора

Рисунок 18.7 Компоновка установки с рядными главными двигателями (DAAE086972B)



Тип двигателя	A**	B**	C	D*
W 6L34DF	1880	3760	2700	1480
W 9L34DF	1880	3760	2700	1480

Все габариты в мм. Диаметр промежуточного вала определяется для каждого конкретного проекта

*В зависимости от типа валового подшипника

**В зависимости от типа редуктора

Рисунок 18.8 Компоновка установки с v-образными главными двигателями (DAAE083977, DAAF068349)

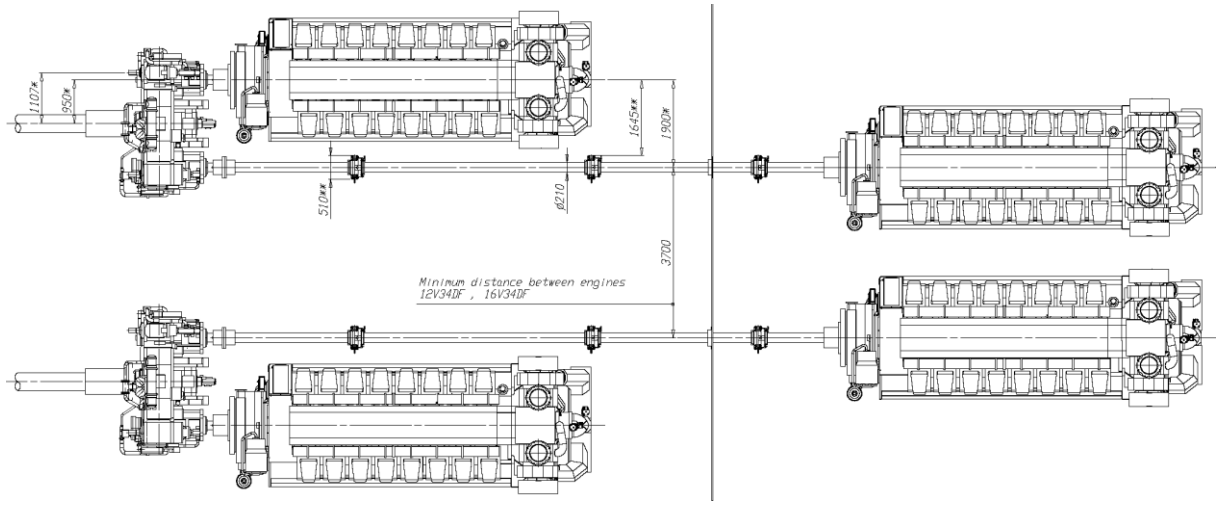
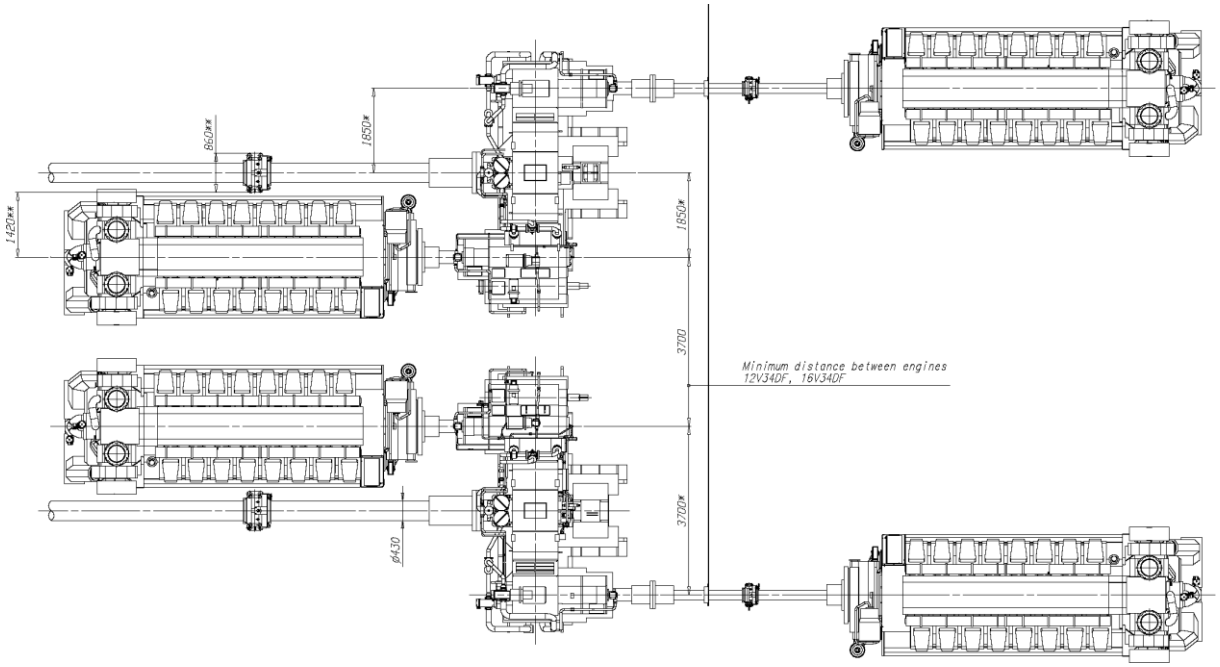


Рисунок 18.9 Компоновка установки с v-образными главными двигателями (DAAE083975, DAAF06834)



Все габариты в мм. Диаметр промежуточного вала определяется для каждого конкретного проекта

*В зависимости от типа валового подшипника

**В зависимости от типа редуктора

18.2 Пространство для техобслуживания

18.2.1 Рабочее пространство вокруг двигателя

Необходимое рабочее пространство вокруг двигателя определяется, в основном, пространством, необходимом для демонтажа узлов двигателя, а также требованиями, предъявляемыми при использовании некоторых специальных инструментов. Особенно важно, чтобы рядом с приводимыми двигателем насосами или техническими дверцами для обслуживания распредвала или картера не находились никакие конструкции, препятствующие доступу.

Однако, даже в тех местах, где не требуется пространство для демонтажа деталей двигателя, рекомендуется зарезервировать минимум 1000 мм свободного пространства вокруг двигателя для проведения работ по обслуживанию.

18.2.2 Высота машинного отделения и подъемное оборудование

Требуемая высота машинного отделения зависит от организации пространства для подъема и транспортировки частей двигателя. Минимальная высота машинного отделения достигается, если в машинном отделении достаточное поперечное и продольное пространство, т.е. нет необходимости перемещать узлы через защитный кожух или крышки коромысла.

Для капитального ремонта ГТН необходимо предусмотреть отдельное подъемное оборудование, поскольку перемещение мостового крана ограничено выхлопной трубой. Рекомендуется применение цепного палиспаста на балке, установленной сверху ГТН по его оси.

18.2.3 Платформы для техобслуживания

В целях обеспечения эффективного техобслуживания двигателя полезно соорудить на рекомендуемой высоте платформы для техобслуживания. Ширина платформ должна составлять минимум 800 мм, что будет обеспечивать достаточное рабочее пространство. Поверхность платформ для техобслуживания должна быть из нескользкого материала (решетка или плита, размеченная квадратами).

18.3 Транспортировка и хранение запчастей и инструментов

Для тяжелых компонентов двигателя необходимо предусмотреть средства для транспортировки из машинного отделения в мастерскую и места хранения, такие, как, например, несколько цепных палиспастов на балках или соответствующие передвижные блоки. Если транспортировка производится с помощью нескольких подъемников, то области покрытия соседних подъемников должны быть максимально приближены друг к другу.

Люк техобслуживания в машинном отделении должен быть достаточно большим, чтобы через него можно было осуществлять транспортировку всех основных компонентов двигателя в/из машинного отделения.

Рекомендуется хранить тяжелые компоненты двигателя на некотором возвышении на легко приспосабливаемых поверхностях, как, например, деревянные грузовые поддоны. Все запчасти двигателя необходимо предохранять от коррозии и избыточной вибрации.

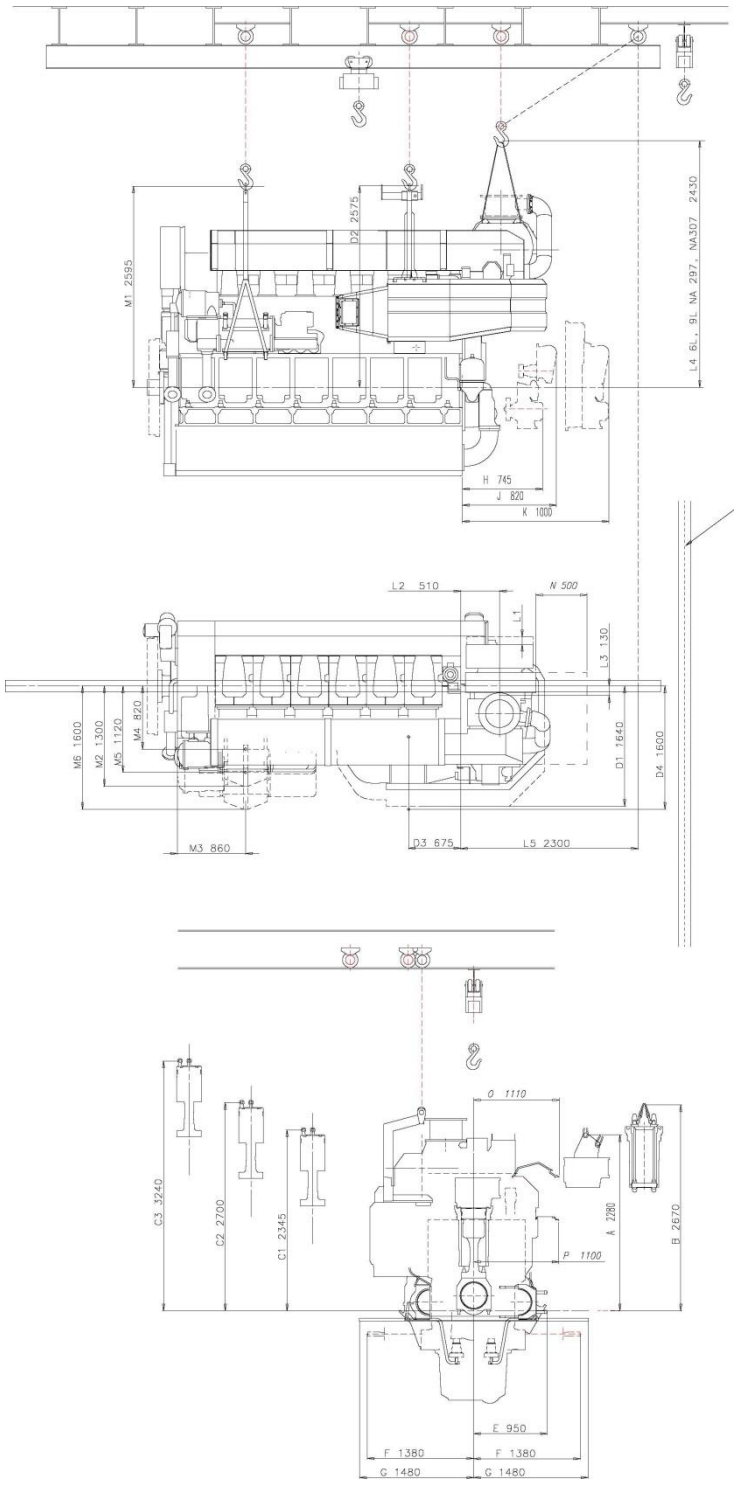
На установках с одним главным двигателем необходимо хранить тяжелые узлы рядом с двигателем, чтобы возможно было быстро осуществить ремонт в аварийных ситуациях.

18.4 Пространство на палубе, необходимое для техобслуживания

При капитальном ремонте требуется некоторое пространство на палубе для очистки и размещения демонтированных компонентов. Размер данного пространства для техобслуживания зависит от стратегии ремонта, т.е. производится ли ремонт одного цилиндра или всего двигателя сразу. Пространство для техобслуживания должно быть плоским, стальным и рассчитанным под вес деталей двигателя.

18.4.1 Требования по зонам обслуживания для рядного двигателя

Рисунок 18.10 Пространство для техобслуживания двигателя с ГТН со свободного конца (DAAE083978)



A. Высота для кап.ремонта головки цилиндра

B. Высота для свободного переноса втулки цилиндра через топливный насос

C1. Высота для кап.ремонта поршня и шатуна

C2. Высота для свободного переноса поршня и шатуна через ближайшую крышку головки цилиндра

C3. Высота для свободного переноса поршня и шатуна через изоляционную коробку выхлопного газа

D1. Ширина для демонтажа холодильника наддувочного воздуха и боковых частей вент.шахты при помощи подъемного устройства

D2. Высота подъемного рыма для подъемного оборудования холодильника наддувочного воздуха

D3. Рекомендуемые точки подъема для подъемного оборудования холодильника наддувочного воздуха

D4. Рекомендуемые точки подъема для подъемного оборудования холодильника наддувочного воздуха

E. Ширина для демонтажа большой головки шатуна

F. Ширина для снятия бокового винта рамового подшипника

G. Ширина подъемного оборудования гидравлического цилиндра/гаек рамового подшипника

Рельсы к рабочему участку

H. Расстояние для демонтажа насоса смазочного масла

J. Расстояние для демонтажа водяных насосов

K. Расстояние для демонтажа крышки насоса с соответствующим насосом

L1. Рекомендуемый осевой зазор для демонтажа и сборки глушителя = 500 мм, мин.зазор: 6L – 100мм и 9L = 180 мм

L2. Рекомендуемая точка подъема для ГТН

L3. Рекомендуемая точка подъема боковой стороны для ГТН

L4. Высота для демонтажа ГТН

L5. Рекомендованная точка подъема для ГТН

M1. Высота подъемного рыма для подъемного устройства модуля смазочного масла

M2. Мин.ширина для демонтажа модуля смазочного масла (модуль смазочного масла снимается прямо по направлению вниз)

M3. Рекомендуемая точка подъема для демонтажа модуля смазочного масла

M4. Рекомендуемая точка подъема для демонтажа модуля смазочного масла (модуль смазочного масла снимается прямо по направлению вниз)

M5. Рекомендуемая точка подъема для демонтажа модуля смазочного масла (чтобы пройти через изоляционную коробку)

M6. Ширина для демонтажа модуля смазочного масла (чтобы пройти через изоляционную коробку)

N. рабочее пространство для демонтажа изоляции ГТН

O.Пространство для открытия верхней части боковой крышки

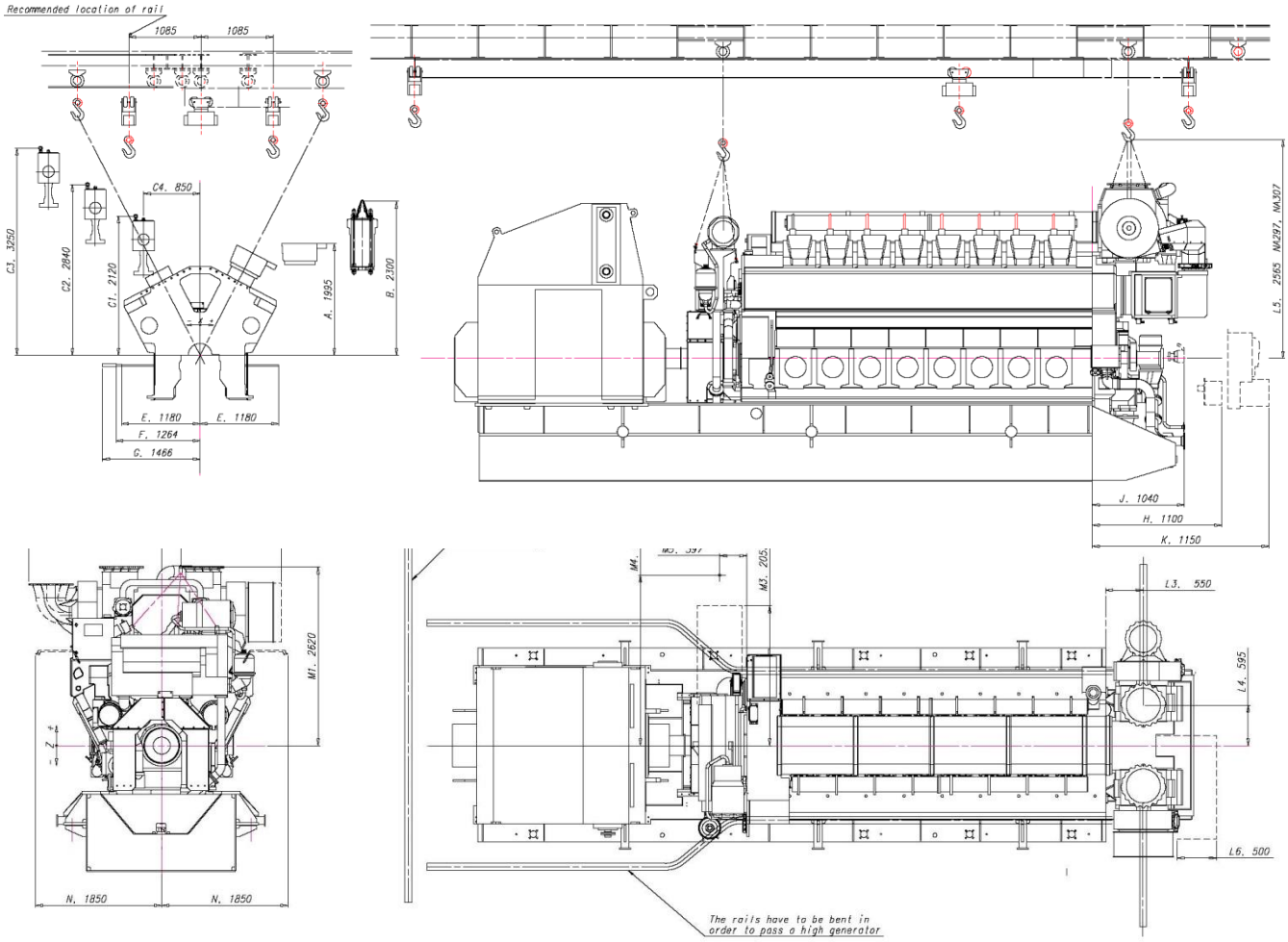
P. Пространство для открытия нижней части боковой крышки

(Все габариты даны в мм)

Допускается разница до 20 мм

18.4.2 Требования по зонам обслуживания для V-образного двигателя

Рисунок 18.11 Пространство для техобслуживания двигателя с ГТН со свободного конца (DAAE083978)



A. Высота для кап.ремонта головки цилиндра

B. Высота для кап.ремонта втулки цилиндра

C1. Высота для кап.ремонта поршня и шатуна

C2. Высота для свободного переноса поршня и шатуна через ближайшую крышку головки цилиндра

C3. Высота для свободного переноса поршня и шатуна через изоляционную коробку выхлопного газа

E. Ширина для демонтажа бокового винта рамового подшипника

F. Ширина для снятия большой головки шатуна

G. Ширина подъемного оборудования гидравлического цилиндра/гаек рамового подшипника

H. Расстояние для демонтажа насоса смазочного масла

J. Расстояние для демонтажа водяных насосов

K. Расстояние для демонтажа крышки насоса с соответствующим насосом

L1. Рекомендуемый осевой зазор для демонтажа и сборки глушителя = 500 мм, мин.зазор для NA297 и NA307 = 110 мм. Данные габариты для L1 включают в себя мин. пространство для техобслуживания.

L2. . Рекомендуемый осевой зазор для демонтажа и сборки всасывающих трубопроводов = 500 мм, мин. зазор для NA297 и NA307 = 110 мм. Данные габариты для L2 включают в себя мин. пространство для техобслуживания.

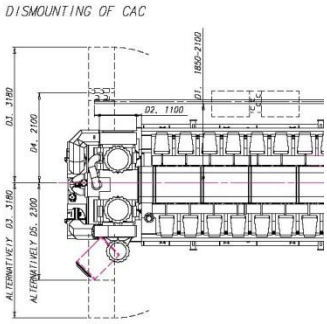
L3. Рекомендуемая точка подъема для ГТН

L4. Рекомендуемая точка подъема боковой стороны ГТН

L5. Высота для демонтажа ГТН

L6. Рекомендованное расстояние для демонтажа изоляции, мин.= 330 мм.

(Все габариты даны в мм)



D1. Рекомендуемое положение рельсов для демонтажа холодильника наддувочного воздуха, как на A, так и на B стороне

D2. Рекомендованное положение начала рельсов

D3. Ширина для полного демонтажа холодильника наддувочного воздуха, и со стороны A, и со стороны B

D4. Мин. ширина для демонтажа холодильника наддувочного воздуха со стороны B, когда холодильник разделен на 3 части перед поворотом на 90 градусов.

D5. Мин.ширина для демонтажа холодильника наддувочного воздуха со стороны A, когда холодильник разделен на 3 части перед поворотом

M1. Высота подъемного рыма для подъемного устройства модуля смазочного масла

M2. Ширина подъемного рыма для демонтажа модуля смазочного масла

M3. Ширина для демонтажа вкладыша модуля смазочного масла

M4. Рекомендуемая точка подъема для демонтажа вкладыша модуля смазочного масла

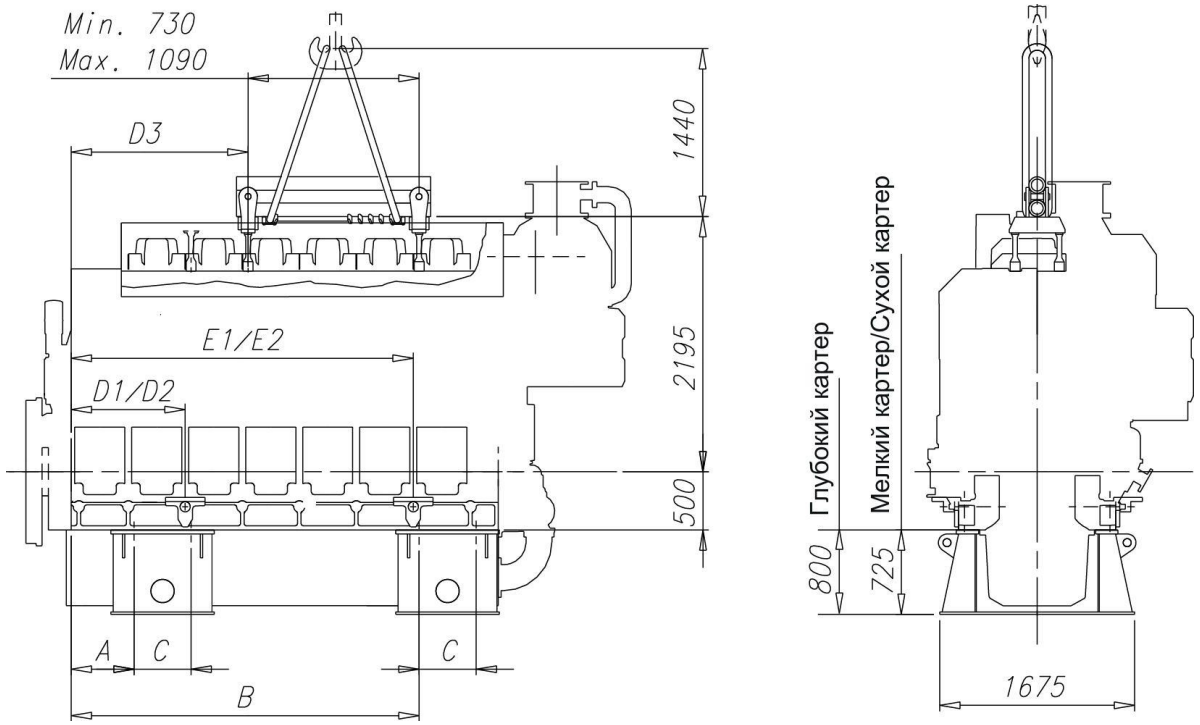
M5. Рекомендуемая точка подъема для демонтажа вкладыша модуля смазочного масла

N. Пространство для открытия нижней части боковой крышки

19 Транспортировка: размеры и вес

19.1 Подъем главных двигателей

Рисунок 19.1 Подъем главных рядных двигателей (DAAE083962, DAAF068506)

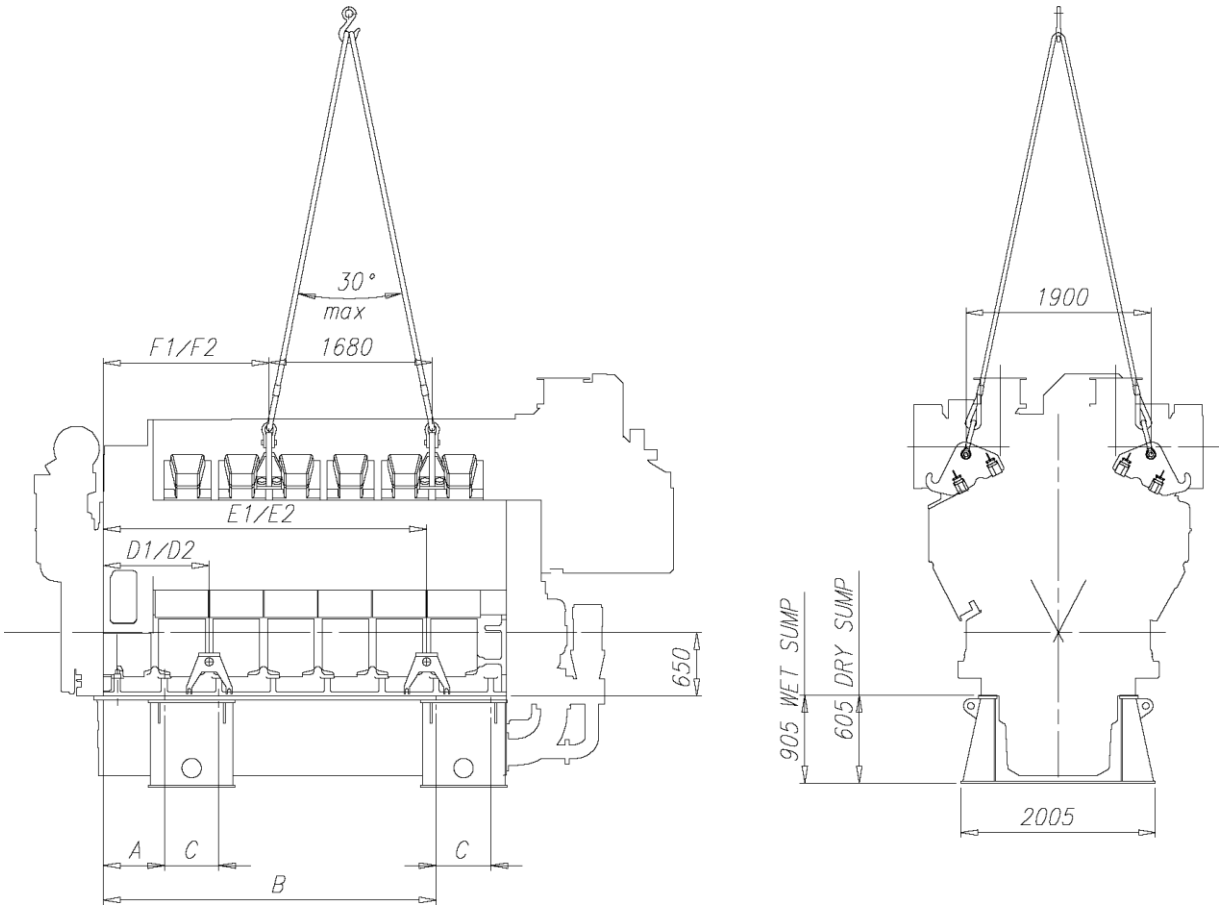


Двигатель	A	B	C	D1*	D2*	D3	E1*	E2*
W 6L34DF	540	2990	490	980	980	1520	2940	2940
W 9L34DF	540	4460	490	490	980	2010	3920	4410

Все габариты в мм. Вес погрузочного устройства: 890 кг.
* 1 = Необслуживаемая сторона (ряд B)

2 = Обслуживаемая сторона (ряд A)

Рисунок 19.1 Подъем главных V-образных двигателей (DAAE083962, DAAF068506)



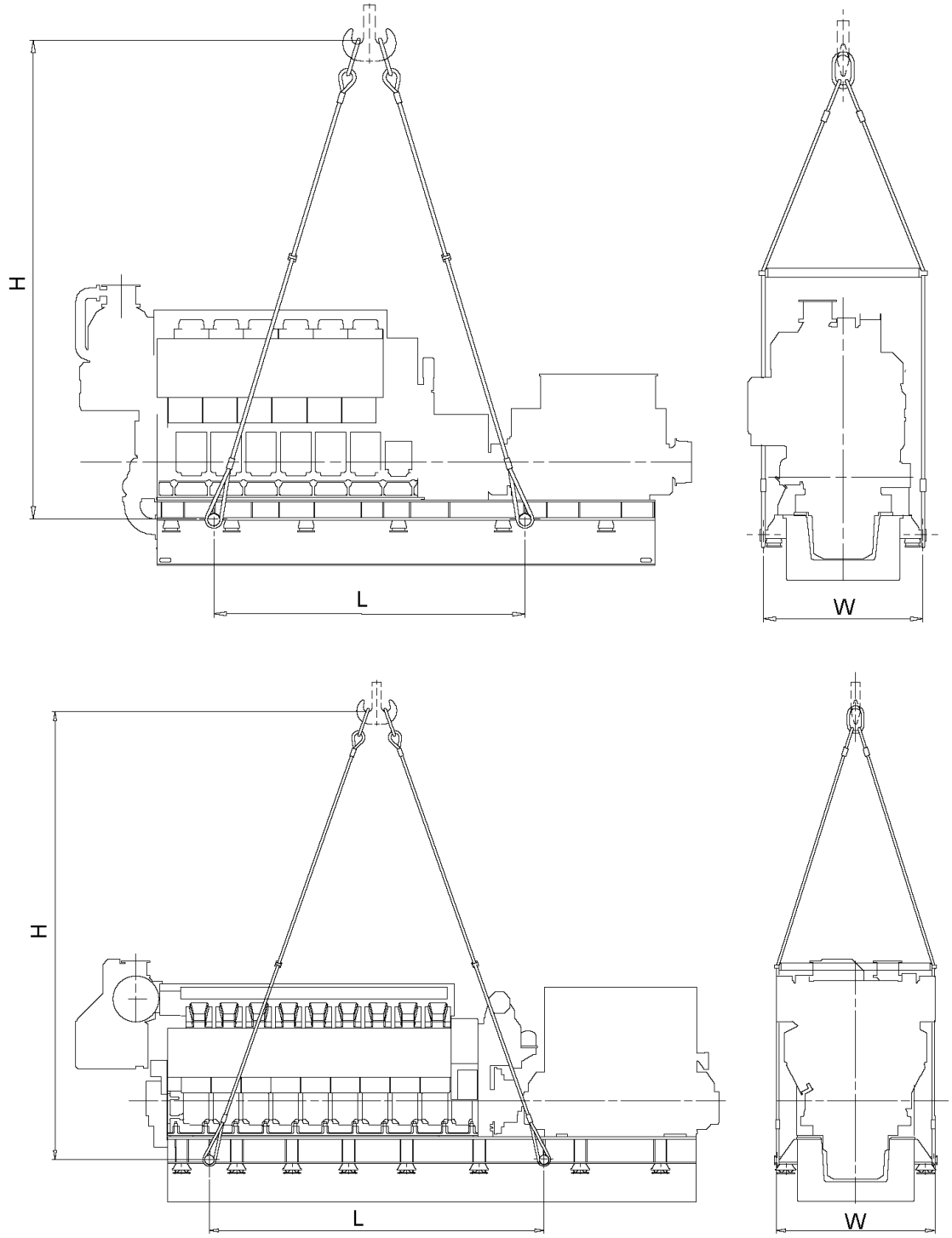
Двигатель	A	B	C	D1*	D2*	D3	E1*	E2*	F1*	F2*
W 12V34DF	630	3430	560	1090	530	1520	3330	3330	1706	1594
W 16V34DF	630	4550	560	1090	530	2010	4450	4450	2266	2154

Все габариты в мм. Вес погрузочного устройства: 935 кг для сухого картера, 1060 кг для мокрого картера
*1 = Необслуживаемая сторона (ряд B)

2 = Обслуживаемая сторона (ряд A)

19.2 Подъем дизель-генераторов

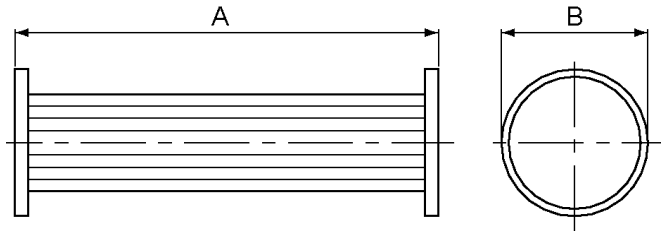
Рисунок 19.3 Подъем дизель-генераторов (DAAE083966, -69)



Двигатель	H, мм	L, мм	W, мм
W 6L34DF	6550...6900	3700...6000	2245...2845
W 9L34DF	8000...8480	4500...6500	2975...3275

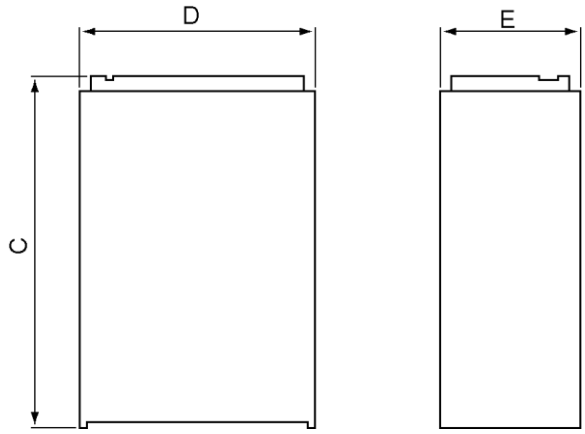
19.3 Компоненты двигателя

Таблица 19.1 Вставки фильтра смазочного масла (DAAE083974)



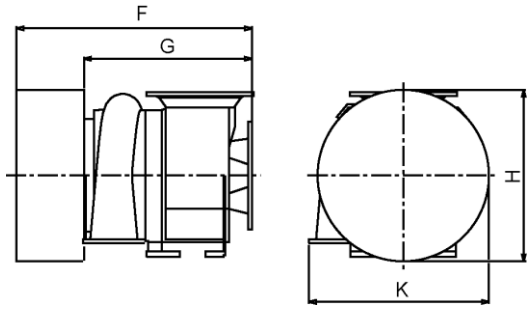
Двигатель	Габариты, мм		Вес, кг
	A	B	
W 6L34DF	650	369.4	105
W 9L34DF	1140	369.4	120
W 12V34DF	1338	479.4	250
W 16V34DF	1338	479.4	250

Таблица 19.2 Вставки холодильника наддувочного воздуха (DAAE083974)



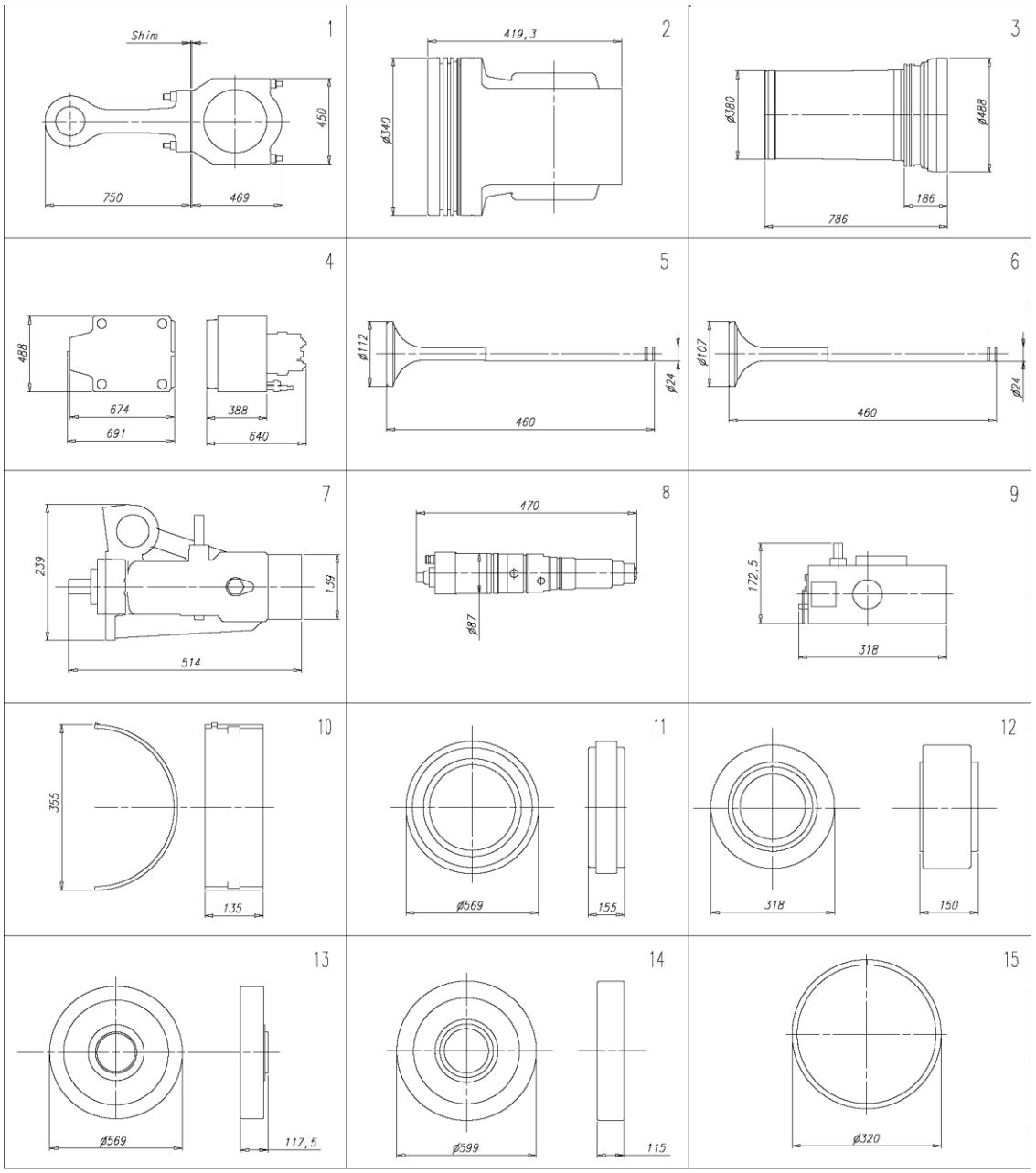
Двигатель	Габариты, мм			Вес, кг
	C	D	E	
W 6L34DF	963	672	436	500
W 9L34DF	963	790	594	500
W 12V34DF	2056	600	600	850
W 16V34DF	2056	600	600	950

Таблица 19.3 ГТН (DAAE083974)



Двигатель	Габариты, мм				Вес, кг
	F	G	H	K	
W 6L34DF	1017	663	861	766	773
W 9L34DF	1017	663	861	766	783
W 12V34DF	1017	663	861	766	2 x 773
W 16V34DF	1017	663	861	766	2 x 783

Рисунок 19.3 Основные запчасти (DAAE083973)



№	Описание	Вес (кг)	№	Описание	Вес (кг)
1	Шатун	153.5	9	Пусковой клапан	11.5
2	Поршень	74	10	Корпус рамового подшипника	8.5
3	Цилиндровая втулка	253	11	Разъемная шестерня	127
4	Цилиндровая крышка	410	12	Малая промежуточная шестерня	31
5	Впускной клапан	3	13	Большая промежуточная шестерня	156
6	Выпускной клапан	2.8	14	Ведущая шестерня распредвала	103
7	ТНВД	37	15	Комплект поршневых колец	1.5
8	Форсунка	15.5		Поршневое кольцо	0.5

ПРИМЕЧАНИЕ! Габариты могут отличаться для двигателей с мощностью цилиндра 500 кВт

20 Дополнения к проектному руководству

Данное проектное руководство, а также другие документы имеются в доступе в Интернете на портале www.wartsila.com. Документы имеются в формате web, а также PDF. Чертежи имеются в форматах PDF и DXF, а в ближайшем будущем будут представлены еще и в формате 3D. Обратитесь к контактному лицу по продаже в компании Wärtsilä для получения дополнительной информации о проектной документации, имеющейся на портале.

В печатной версии проектной документации приложения отсутствуют.

21 ПРИЛОЖЕНИЕ

21.1 Таблицы пересчета единиц

Данные таблицы помогут конвертировать единицы измерения, используемые в данной документации. Там где множитель не может быть точно указан, дано достаточное число в десятичной системе измерения.

Таблица 21.1 Длина

Из	В	Множитель
мм	дюйм (in)	0,0394
мм	фут (ft)	0,00328

Таблица 21.2 Масса

Из	В	Множитель
кг	фунт (lb)	2,205
кг	унция (oz)	35,274

Таблица 21.3 Давление

Из	В	Множитель
кПа	psi (lbf/in^2)	0,145
кП	lbf/ft^2	20,885
кПа	inch H_2O	4,015
кПа	foot H_2O	0,335
кПа	мм H_2O	101,972
кПа	Бар	0,01

Таблица 21.4 Объем

Из	В	Множитель
$м^3$	дюйм $(in)^3$	61023,744
$м^3$	фут $(ft)^3$	35,315
$м^3$	англ.галлон	219,969
$м^3$	америк.галлон	264,172
$м^3$	литр (l)	1000

Таблица 21.5 Мощность

Из	В	Множитель
кВт	л.с. (hp), метрич.	1,360
кВт	амер.л.с. (hp)	1,341

Таблица 21.6 Момент инерции и крутящий момен

Из	В	Множитель
$кгм^2$	$lbft^2$	23,730
кНм	lbf ft	737,562

Таблица 21.7 Потребление топлива

Из	В	Множитель
г/кВтч	g/hph	0,736
г/кВтч	lb/hph	0,00162

Таблица 21.8 Расход

Из	В	Множитель
$м^3$/ч (жидкость)	амер. галлон/мин	4,403
$м^3$/ч (газ)	$фут^3$/мин	0,586

Таблица 21.9 Температура

Из	В	Множитель
°C	F	F = 9/5 *C + 32
°C	K	K = C + 273,15
$кг/м^3$	фунт/$фукт^3$	0,0624

Таблица 21.10 Плотность

Из	В	Множитель
$кг/м^3$	фунт/амер.галлон	0,00834
$кг/м^3$	фунт/англ.галлон	0,01002

21.1.1 Аббревиатуры-множители

Таблица 21.11 Наиболее распространенные аббревиатуры-множители

Название	Символ	Множитель
tera	T	1012
giga	G	109
mega	M	106
kilo	k	103
milli	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

21.2 Перечень символов, используемых в чертежах

Рисунок 21.1 Перечень символов (DAAE000806c)

Эта страница оставлена пустой специально.

WÄRTSILÄ

Компания Wärtsilä стремится улучшить бизнес своих заказчиков, предлагая решения ля полного срока работы силовых установок. При разработке передовых и отвечающих требованиям охраны окружающей среды технологий компания Wärtsilä концентрирует свои усилия на судостроительном рынке и рынке производства энергии, а также на сервисном обеспечении. Wärtsilä входит в перечень NASDAQ OMX, Хельсинки, Финляндия.

WÄRTSILÄ® is a registered trademark. Copyright © 2011 Wärtsilä Corporation.

WARTSILA.COM

02.2011 / Bock's Office