



Современная Линия топливоподготовки Alfa Laval

Техническое руководство – Издание 2018 года



Техническое руководство, в котором рассматриваются проблемы негативного воздействия каталитических частиц на детали двигателя, законодательного регулирования выбросов серы, совместимости различных видов нефтяного топлива, а также способы решения этих проблем с помощью современных систем подготовки топлива



Современная Линия ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ Alfa Laval

В настоящей брошюре представлен обзор концепции Современной Линии топливоподготовки Alfa Laval с обоснованием принципов ее разработки. Давая общее представление о системе подготовки и подачи топлива, брошюра служит техническим справочником для тех, кто интересуется вопросами функционирования и ролью конкретных компонентов, а также руководством, в котором представлены варианты разработки всей топливной цепочки, позволяющие повысить эффективность подготовки топлива и снизить эксплуатационные расходы.

Niclas Dahl

Никлас Дал (Niclas Dahl)
Руководитель Отдела морского оборудования



Общие положения

В настоящий момент судоходство сталкивается с целым рядом проблем. Ужесточение правил, регулирующих выбросы оксидов серы, заставляет судовладельцев переходить на новые низкосернистые виды топлива. Хотя данные изменения действительно необходимы по экологическим соображениям, внедрение новых норм приводит к росту общего числа проблем и увеличению неопределенности; с такой реальностью сталкиваются сегодня как судоходные компании, так и судовладельцы. В настоящей брошюре раскрываются обстоятельства, обусловившие происходящие изменения и их значение, а также описывается ход разработки современной Линии топливоподготовки Alfa Laval для решения задач, связанных с подготовкой и подачей судового топлива в эпоху борьбы с выбросами серы.

Современная Линия топливоподготовки Alfa Laval

При производстве низкосернистых видов нефтяного топлива часто используется процесс, называемый каталитическим крекингом. После такой обработки в топливе остаются мелкие твердые частицы, которые обычно представляют собой соединения алюминия и кремния, так называемые каталитические частицы. Эти каталитические частицы очень твердые, их размер составляет от 100 микрон до нескольких субмикронов. Если такие частицы не полностью удаляются из топлива, они нередко приводят к преждевременному износу деталей и даже к серьезному повреждению самого двигателя.

Кроме того, неопределенность, связанная со свойствами будущего низкосернистого топлива, вызывает немалую озабоченность в отношении процесса подготовки топлива на борту судна.

В условиях острой конкуренции приоритетными задачами всегда являются сокращение затрат и повышение эффективности. Компания Alfa Laval предлагает оборудование для подготовки топлива и его очистки на борту судна. Концепция, лежащая в основе современной Линии топливоподготовки Alfa Laval, представляет собой возможность эффективного использования оборудования Alfa Laval в рамках всей системы подготовки и подачи топлива. Полная совместимость и надежное взаимодействие отдельных компонентов помогают повысить качество подготовки топлива, обеспечивая наибольшую эффективность сепарации, возможность получения более чистого топлива, которое содержит меньшее количество каталитических частиц.

Для судоходных компаний преимуществом является снижение эксплуатационных расходов, затрат на обслуживание двигателя и повышение безопасности работы судна в целом.

Настоящая публикация состоит из четырех глав

Глава 1: Бункерное топливо для судовых двигателей

В этом разделе рассматривается процесс производства нефтяного топлива для судовых двигателей, приводится основная информация относительно каталитических частиц, обсуждаются современные направления очистки тяжелого дизельного топлива от этих примесей, а также другие параметры качества топлива.

Глава 2: Подготовка топлива – эффективность работы двигателя

В этом разделе описывается характер влияния каталитических частиц на характеристики работы двигателя, а также влияние других параметров на эффективность сепарации.

Глава 3: Влияние законодательных норм на работу судна

В этом разделе приводится краткое изложение требований действующих законов, регулирующих выбросы серы. В нем обсуждаются вопросы создания новых Зон эмиссионного контроля (ЕСА) и ужесточения норм выбросов, что обуславливает необходимость использования нескольких видов топлива. Здесь также рассматриваются последствия перехода с остаточного на дистиллятное топливо.

Глава 4: Подготовка нефтяного топлива – современный подход

В этом разделе описывается новейшая система подготовки топлива, выделяются шесть различных областей работы по оптимизации установки или имеющегося судового оборудования в целях повышения его энергоэффективности и качества топлива, а также соблюдения природоохранных требований. Правильное сочетание компонентов и внедрение высоких технологий формируют современную Линию топливоподготовки Alfa Laval.

Взгляд изнутри

Все, что вам нужно знать о каталитических частицах, законодательном регулировании выбросов серы, проблемах совместимости видов нефтяного топлива и о том, как можно решить эти проблемы с помощью современных систем подготовки топлива.

1	Бункерное топливо для судовых двигателей	6
1.1	Виды нефтяного топлива для судовых двигателей	7
1.1.1	Остаточное нефтяное топливо	8
1.1.2	Дистиллятное топливо и прочие виды легкого жидкого топлива	8
1.1.3	Возобновляемые виды топлива (МЭЖК)	8
1.2	Процессы нефтепереработки	8
1.2.1	Сырая нефть	8
1.2.2	Атмосферная перегонка	8
1.2.3	Вакуумная перегонка	9
1.2.4	Процессы вторичной обработки	9
1.3	Каталитические частицы	10
1.3.1	Характеристики каталитических частиц	10
1.3.2	Состав каталитических частиц	10
1.3.3	Нормы концентрации каталитических частиц	11
1.3.4	Оценка содержания каталитических частиц в топливе	11
1.3.5	Современные направления очистки тяжелого дизельного топлива от каталитических частиц	12
1.4	Основы сепарации	12
1.4.1	Выбор оптимального размера сепараторов	12
1.4.2	Максимальная рекомендуемая производительность по сравнению с сертифицированным расходом	13
1.5	Основы фильтрации	13
1.5.1	Эффективность фильтрации	13
1.5.2	Решения по самоочистке фильтров	13
1.5.3	Отраслевые рекомендации	13
2	Подготовка топлива – эффективность работы двигателя	14
2.1	Современная подготовка топлива	14
2.1.1	Стандарты и рекомендации	14
2.1.2	Качество нефтяного топлива и его подготовка на борту судна	15
2.1.3	Оборудование для очистки топлива	15
2.2	Каталитические частицы и эффективность работы двигателя	16
2.3	Проблемы, связанные с дистиллятным топливом	17
3	Влияние законодательных норм на работу судна	18
3.1	Необходимость ограничения выбросов серы	18
3.2	Международная конвенция по предотвращению загрязнения вод с судов (МАРПОЛ) ИМО, Приложение VI	18
3.3	Регламенты Европейского союза	18
3.4	Регламенты Калифорнии в отношении выбросов серы	19
3.5	Переход с остаточного на дистиллятное топливо	20
3.5.1	Общие положения	20
3.5.2	Температурный градиент	20
3.5.3	Изменения вязкости	20
3.5.4	Несовместимость	21
3.5.5	Смазывающие свойства	21
3.5.6	Свойства при низких температурах	21



	3.5.7	Фильтрация	21
	3.5.8	Контроль потребления топлива	21
3.6		Использование скрубберов вместо смены топлива	21
4		Подготовка нефтяного топлива – современный подход	22
4.1		Современная Линия топливоподготовки Alfa Laval	22
	4.1.1	Оптимальная конфигурация топливной системы	23
	4.1.2	Оптимизация оборудования и системы подачи	23
	4.1.3	Мониторинг и автоматизация системы	23
	4.1.4	Управление использованием нескольких видов топлива	24
	4.1.5	Восстановление топлива из отходов нефтепродуктов	24
4.2		Рабочие параметры	24
	4.2.1	Движение «на малых ходах» способствует более эффективной сепарации	24
	4.2.2	Управление подачей топлива в сепаратор	24
	4.2.3	Температура	25
4.3		Конструкция топливной системы	26
	4.3.1	Однотопливная система	26
	4.3.2	Многотопливные системы	26
	4.3.3	Важность очистки тяжелого дизельного топлива, флотского мазута и судового газойля в разных сепараторах	27
	4.3.4	Конструкция резервуара	27
	4.3.5	Переход на другой вид топлива	27
4.4		Технические решения	28
	4.4.1	Технология Alcap™	28
	4.4.2	FlowSync™ – оптимизация энергопотребления и расхода топлива	29
	4.4.3	Высокотемпературная сепарация	30
	4.4.4	Pure Dry – энергоэффективность и восстановление топлива	30
	4.4.5	ACS – автоматизированная система перехода на другой вид топлива	30
	4.4.6	Модуль подготовки топлива FCM One	32
	4.4.7	Электронный журнал учета топлива для обеспечения соответствия требованиям	32
	4.4.8	Топливные фильтры Moatti – защита двигателя	34
	4.4.9	2Touch – контроль очистки топлива	34
4.5		Современная Линия топливоподготовки	35
5		Список сокращений	36
		Использованная литература	37



1 Бункерное топливо для судовых двигателей

При использовании нефтяного топлива для судовых двигателей его подготовка и очистка на борту имеют решающее значение для эффективной работы судна. В этой главе описываются некоторые вопросы, связанные с подготовкой топлива для судовых двигателей, причем особое внимание уделяется проблеме содержания каталитических частиц в нефтяном топливе, степень серьезности которой все время растет.

На борту судов бункерное топливо используется как главными двигателями, которые отвечают за ход судна, так и вспомогательными двигателями, которые обеспечивают судно электроэнергией. На морских судах используются различные виды топлива. ISO 8217 является действующим международным стандартом, определяющим характеристики нефтепродуктов для морских дизельных двигателей и котлов перед их подготовкой. Экологические нормы, описанные в Главе 3 «Влияние законодательных норм на работу судна», все чаще определяют глобальный спрос на бункерное топливо. В настоящее время наибольшим спросом пользуется тяжелое остаточное топливо, однако в будущем его, скорее всего, заменит маловязкая смесь остаточного и дистиллятного топлива. На Рисунке 1 представлена прогнозируемая динамика изменения глобального спроса на бункерное топливо после 2020 года.

Внедрение в жизнь Приложения VI МАРПОЛ приведет к изменению спроса на топливо для судовых двигателей за счет перехода на:

- Низкосернистое нефтяное топливо (VLSFO) с максимально допустимым содержанием серы 0,50%.
- Сверхнизкосернистое нефтяное топливо (ULSFO) с максимально допустимым содержанием серы 0,10% для использования в Зонах эмиссионного контроля (ECA), которые были введены в 2015 году. Сегодня большинство видов сверхнизкосернистого нефтяного топлива содержат в основном дистиллятное нефтяное топливо; однако спрос на маловязкие остаточные виды топлива, такие как ISO RMD80, растет.
- Высокосернистое нефтяное топливо (HSFO), которое может использоваться в сочетании с системой очистки выхлопных газов (скруббером). Ожидается, что во всем мире на судах будет устанавливаться все больше скрубберов, так как это, по-видимому, является самым дешевым способом выполнить требования ИМО.

- Сжиженный природный газ (СПГ). Ожидается, что спрос на СПГ будет расти, однако нехватка инфраструктуры и высокие инвестиционные расходы означают, что в среднесрочной перспективе суда, работающие на СПГ, вряд ли станут большей частью парка морских судов в мировом масштабе.

Успешное выполнение новых правил будет зависеть от доступности в 2020 году как VLSFO, так и HSFO. В июле 2016 года консорциум, возглавляемый независимой исследовательской консультационной организацией CE Delft, опубликовал отчет, в котором говорится о поддержке процесса принятия решений Комитета по защите морской среды (КЗМС) Международной морской организации.

«Основным результатом проведенной оценки является то, что при любом варианте развития событий нефтеперерабатывающая промышленность может поставлять достаточное количество судового топлива с содержанием серы 0,50% масс./масс. или менее и с содержанием серы 0,10% масс./масс. или менее для удовлетворения спроса на эти нефтепродукты, а также удовлетворения спроса на прочие виды топлива».

Основываясь на этой оценке, Международная морская организация объявила в октябре 2016 года, что установленный Директивой об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе предел, составляющий 0,50% для судового топлива, вступит в силу 1 января 2020 года. Некоторые влиятельные игроки в сфере промышленности критиковали принятое решение, выразив озабоченность по поводу того, что переход на новый вид топлива будет проблематичным и что предложение топлива в регионах может оказаться намного ниже спроса.

На морскую промышленность приходится около одной десятой от всей нефти, потребляемой в мире (Рисунок 2). Когда в 2020 году будет применяться норма, установленная Директивой об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе, ожидается, что мировой спрос на дистиллятные виды топлива увеличится на 85 млн тонн в год, с 1,2 до 1,3 миллиарда тонн, поскольку большинству судов придется перейти с тяжелого дизельного топлива на флотский мазут или другую топливную смесь, соответствующую применимым требованиям (IBIA, 2016).

Использование скрубберов и сжиженного природного газа (СПГ) может снизить количество используемого сейчас флотского мазута и топливных смесей в рамках подобного перехода, однако прогнозы показывают, что соответствующее оборудование и топливо, доступные в настоящий момент, не смогут полностью удовлетворить спрос (DNV GL, 2016).

В следующих разделах дается краткое описание различных видов топлива, используемых в судоходстве и в процессах очистки.

1.1 Виды нефтяного топлива для судовых двигателей

В работе судов используются различные виды топлива, которые обычно называют судовым нефтяным топливом. Судовые двигатели представляют собой механизмы, способные потреблять любое топливо – от тяжелого мазута до более легких дистиллятов, таких как судовый газойль, при условии, что используется эффективная система очистки топлива и что его температура и вязкость находятся в пределах, рекомендуемых производителями судового двигателя.

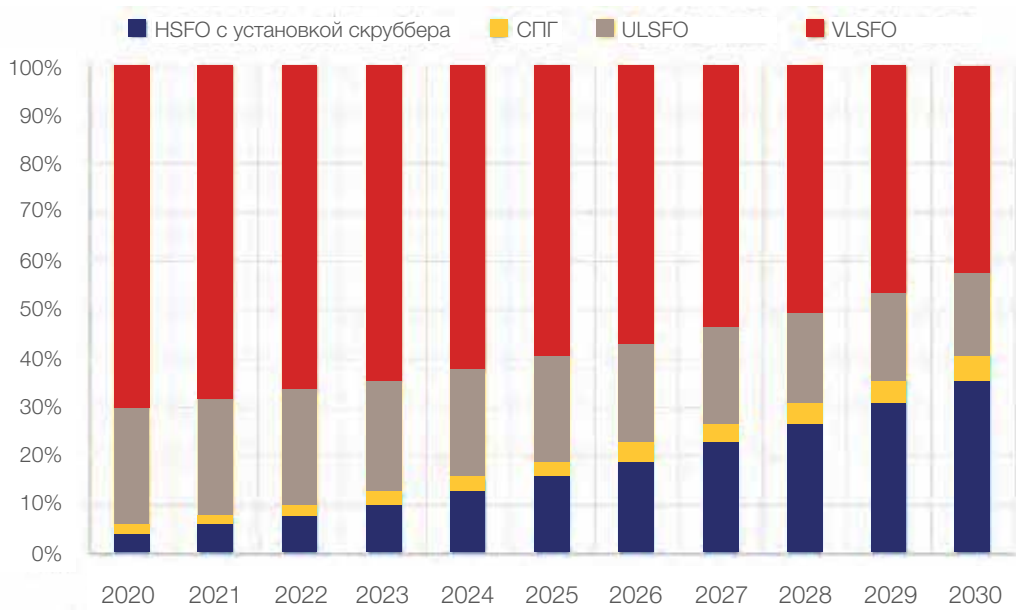


Рисунок 1. Прогнозируемый мировой спрос на различные виды топлива.
Эта диаграмма показывает, как меняющиеся международные нормы могут повлиять на спрос бункерного топлива.

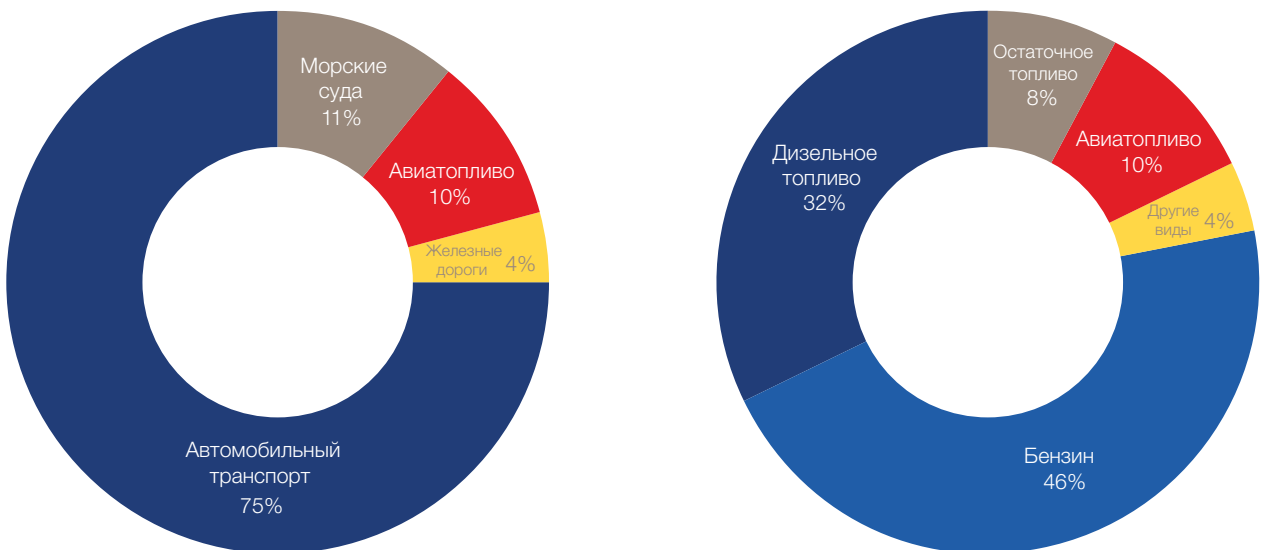


Рисунок 2. Потребление нефти в соответствии с сегментом транспортного рынка; распределение всех видов топлива.
В морской промышленности используется 240 миллионов тонн в год, что соответствует 11% от общего мирового спроса.

1.1.1 Остаточное нефтяное топливо

Остаточное нефтяное топливо, или тяжелое дизельное топливо (HFO), по существу, является побочным продуктом нефтепереработки. Оно представляет собой смесь, которая удовлетворяет рыночный спрос на относительно дешевый источник энергии. Основной движущей силой нефтеперерабатывающей промышленности является производство легких и средних дистиллятов, используемых для производства бензина, авиатоплива, автомобильного дизельного топлива и сырья для химической промышленности.

1.1.2 Дистиллятное топливо и прочие виды легкого жидкого топлива

Использование дистиллятов стало более распространенным явлением в судоходной отрасли вслед за вступлением в силу 1 января 2015 года Директивы об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе, предусматривающей использование топлива с предельно допустимым содержанием серы 0,10% в Зонах эмиссионного контроля. Как правило, суда работают на тяжелом дизельном топливе за пределами Зон эмиссионного контроля, а затем переходят на дистилляты, когда входят в эту зону. Низкосернистые виды нефтяного топлива, используемые в морской промышленности, обычно делятся на судовую газойль, который является чистым дистиллятом, и флотский мазут, представляющий собой смесь, в состав которой входят как дистилляты, так и остаточное топливо.

1.1.3 Возобновляемые виды топлива (МЭЖК)

Растительные масла и жиры не содержат серы и могут использоваться для производства топлива, пригодного для сжигания в дизельных двигателях. Масло должно быть специальным образом обработано для уменьшения его вязкости и улучшения хладнотекучести. Полученное в результате топливо известно как метиловый эфир жирной кислоты (МЭЖК) или гидроочищенные растительные масла (ГРМ). Стоимость МЭЖК и ГРМ значительно выше, чем дистиллятов, полученных из сырой нефти. Транспортировка топлива также оказывается более сложной, поскольку МЭЖК является питательной средой для микроорганизмов, которые могут в ней размножаться, особенно в присутствии свободной воды в самом топливе или под ним. Из-за их высокой стоимости и ограниченной доступности современные возобновляемые виды топлива не являются коммерчески привлекательными альтернативами судовому топливу, полученному из сырой нефти. Однако стандартом ISO 8217:2017 допускается добавление в топливную смесь до 7% биотоплива.

1.2 Процессы нефтепереработки

Сырая нефть является типичным источником наиболее распространенных видов топлива. В этом разделе описаны некоторые основные процессы нефтепереработки, которые имеют отношение к производству остаточных видов топлива.

1.2.1 Сырая нефть

Сырая нефть представляет собой сложную смесь углеводородов, извлеченных из недр земли с помощью бурения скважин, а затем специально переработанных для получения различных нефтепродуктов. Едва ли можно обнаружить два одинаковых вида сырой нефти, поскольку ее плотность, вязкость, содержание серы, ванадия и другие свойства в значительной степени варьируются, в результате конечный продукт также может варьироваться от одного нефтеперерабатывающего завода к другому.

Фракции сырой нефти отделяются с помощью ее перегонки. В начале истории нефтепереработки для получения требуемых сортов в требуемом количестве сырая нефть подвергалась только процессу атмосферной перегонки. Однако вакуумная перегонка позволяет дополнительно очистить нефть от остатков атмосферной перегонки. Оба вида перегонки нефти являются процессами нефтепереработки, основанными на физическом разделении компонентов сырой нефти на разные виды топлива.

1.2.2 Атмосферная перегонка

Первой стадией переработки сырой нефти является ее разделение на различные фракции путем перегонки. Этот процесс основан на том, что нефть содержит сложную смесь углеводородов с различными точками кипения. В процессе нагревания испаряются сначала самые легкие и летучие углеводороды, а самые тяжелые и наименее летучие остаются (Рисунок 3). Тяжелая фракция с более высокой температурой кипения легко собирается на дне. Эта сырая фракция известна как остаток атмосферной перегонки и может использоваться в качестве компонента для получения смеси остаточного нефтяного топлива.



Рисунок 3. Перегонка сырой нефти с разделением на фракции. Перегонка проводится как непрерывный процесс в ректификационной колонне.

Атмосферная перегонка представляет собой относительно простой физический процесс, в ходе которого топливо разделяется в соответствии с диапазоном кипения каждой фракции. Тип сырой нефти определяет процентное содержание каждого продукта, который может быть получен на ее основе. Для увеличения рентабельности этого процесса многие нефтеперерабатывающие заводы используют дополнительные процессы переработки, помимо атмосферной перегонки. Общая цель заключается в уменьшении количества остаточных продуктов и увеличении количества дистиллятного топлива.

1.2.3 Вакуумная перегонка

Вакуумная перегонка похожа на атмосферную перегонку, но происходит в условиях вакуума. Используя соотношение между давлением и точкой кипения жидкости можно отделить большее количество легкой фракции дистиллята без повышения температуры до критических отметок, когда происходит термическое разложение.

Как и при атмосферной перегонке, не вся жидкость испаряется. Фракция, собравшаяся на дне вакуумной дистилляционной колонны, называется остатком вакуумной перегонки и может использоваться в качестве компонента морского остаточного топлива.

Однако эти два простых процесса перегонки сами по себе не позволяют получить достаточное количество дистиллятных нефтепродуктов для удовлетворения растущего мирового спроса. Поэтому часто требуются последующие, более сложные процессы переработки, известные как процессы вторичной переработки.

1.2.4 Процессы вторичной переработки

Процессы вторичной переработки позволяют нефтеперерабатывающим заводам извлекать большее количество легкого дистиллятного топлива из сырой нефти. Поскольку при перегонке фракции сырой нефти разделяются в соответствии со степенью их летучести, эти процессы меняют их химическое строение.

Процессы вторичной переработки включают в себя крекинг, разделение длинных углеводородных цепочек тяжелых фракций топлива на более короткие молекулы, которые затем можно с большей легкостью использовать для получения нужного нефтяного топлива. Существует два основных типа крекинга: термический и каталитический.

Термический крекинг

В ходе термического крекинга высокая температура и давление, вызывающие химическую реакцию, позволяют изменить свойства нефти. Термический крекинг может применяться как при переработке дистиллята, так и остаточного топлива. Типичные процессы термического крекинга включают в себя легкий крекинг, который значительно снижает вязкость тяжелых остаточных продуктов, что позволяет смешивать их с другими видами нефтяного топлива, и коксование, которое представляет собой тяжелую форму термического крекинга, помогающую превратить даже самый тяжелый малоценный остаток в ценные дистилляты и кокс.

Каталитический крекинг

Каталитический крекинг также меняет химический состав остаточного нефтяного топлива. При этом для разделения сложных углеводородов на более простые молекулы используются химические катализаторы, а не высокое давление. Катализаторы представляют собой вещества, которые ускоряют химическую реакцию, не подвергаясь изменению в ходе этой реакции; химические свойства катализаторов остаются постоянными на протяжении всего процесса.

Наиболее распространенным процессом является крекинг на флюидизированном катализаторе (КФК), который используется для переработки газойля и остаточных нефтепродуктов в высокооктановый бензин и дизельное топливо. На Рисунке 4 показано, как катализаторы в виде мелких частиц диаметром приблизительно от 20 до 100 мкм циркулируют в пространстве между реактором и регенератором в процессе переработки с псевдосжиженным слоем катализатора. Катализаторы, которые применяются в рамках этого способа, обычно стоят дорого, а крупные установки для крекинга требуют, как правило, порядка 500 тонн катализатора.

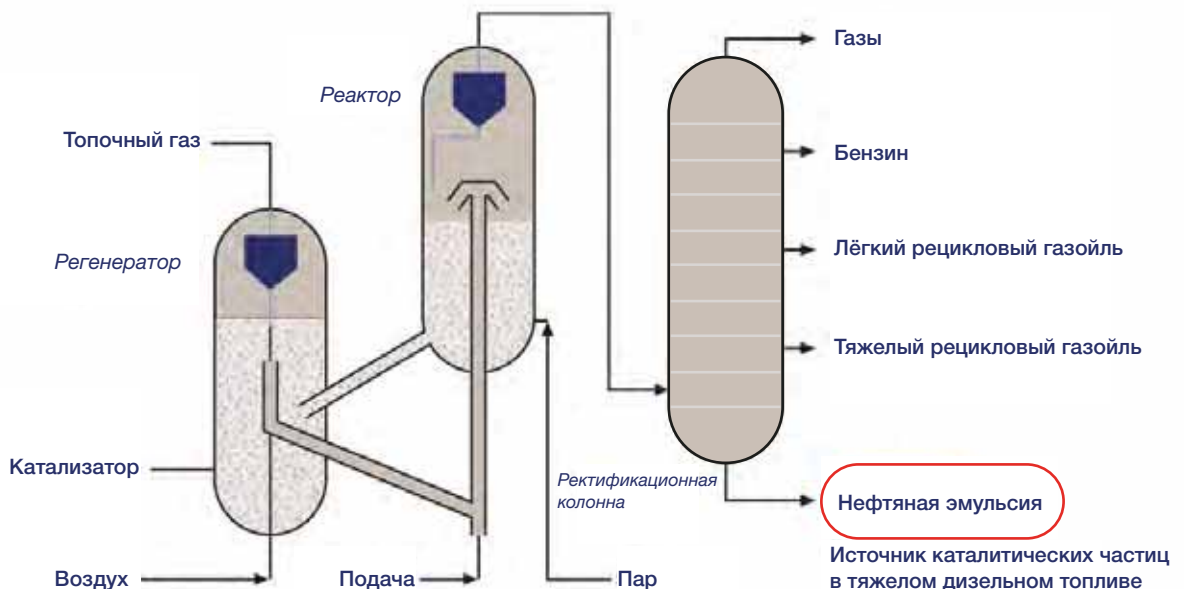


Рисунок 4. Процесс каталитического крекинга.

Твердые химические катализаторы используются для расщепления сложных углеводородов.

Нагретый в регенераторе катализатор смешивается с исходным сырьем и затем поступает в реактор. При контакте с катализатором исходное сырье испаряется. Пары, в свою очередь, вступают в реакцию, в результате которой разрушаются химические связи и достигается желаемое качество продукта. В результате такой реакции углерод оседает на частицах катализатора. Затем катализаторы и пары разделяют в реакторе, где пары поднимаются вверх и попадают в ректификационную колонну для дальнейшей обработки. Катализатор переходит обратно в регенератор, где он нагревается для сжигания углеродистых отложений до того, как заново вернуться в реактор для последующего смешивания с исходным сырьем.

Непрерывная рециркуляция катализатора приводит к его разложению на более мелкие частицы. Некоторые из этих частиц попадают в ректификатор и обычно называются каталитическими частицами. Хотя нефтеперерабатывающие заводы пытаются свести к минимуму потерю катализатора в процессе каталитического крекинга с использованием циклонов, попадание в конечный продукт каталитических частиц неизбежно.

Продукт, извлеченный из нижней части ректификационной колонны, называется тяжелым остатком каталитического крекинга, нефтяной эмульсией или остаточными продуктами КФК. Он имеет высокую плотность около 1000 кг/м³ при 15 °С и низкую вязкость приблизительно от 30 до 60 сСт при 50 °С. Он представляет собой идеальный компонент для образования топливной смеси на основе дистиллятного нефтепродукта и остаточного топлива благодаря высокому содержанию ароматических углеводородов, придающих устойчивость конечному топливному продукту. Именно с этой остаточной фракцией каталитической нефтепереработки каталитические частицы попадают в судовое остаточное топливо, вызывая серьезные повреждения двигателей, в которых это топливо сгорает.

1.3 Каталитические частицы

Каталитические частицы представляют собой очень твердые частицы, которые обычно состоят из соединений кремния и алюминия. Их присутствие в судовом остаточном топливе является следствием каталитического крекинга. Присутствие каталитических частиц нежелательно, так как они могут вызвать тяжелый абразивный износ двигателя, если их не удалить с помощью системы подготовки топлива (Alfa Laval AB, BP Marine Ltd & MAN B&W Diesel A/S, 2016).

1.3.1 Характеристики каталитических частиц

При описании каталитических частиц важно различать концентрацию частиц и размер частиц.

- Концентрация частиц измеряется в частях на миллион (ppm). Концентрация каталитических частиц описывается как соотношение масс каталитических частиц и нефтепродукта, например 60 мг/кг = 60 м. д.
- Размер частиц измеряется в микрометрах (мкм), или микронах, где 1 мкм = 1 микрон = 1 · 10⁻⁶ м.

1.3.2 Состав каталитических частиц

Состав каталитических частиц варьируется в зависимости от типа исходного сырья и от того, оптимизирован ли основной блок крекера в отношении марки бензина (легкой фракции) или марки дизельного топлива (более тяжелой фракции). Состав катализаторов не раскрывается нефтепереработчиками, однако все катализаторы содержат различные формы синтетического кристаллического цеолита. Цеолиты представляют собой алюмосиликатные минералы, являющиеся хорошими катализаторами благодаря своей микропористой структуре и возможности удерживать большое количество катионов. Цеолит, используемый в каталитическом крекинге (КФК), обычно состоит из тетраэдрических молекул оксида алюминия и кварца с одним атомом алюминия или кремния в центре и одним атомом кислорода на каждой вершине (Рисунок 5).

Около 10–60% объема частиц состоит из пор (Рисунок 6), для усиления их каталитических свойств добавляются определенные редкие металлы. Благодаря наличию пор частицы имеют большую площадь поверхности, что ускоряет химическую реакцию в процессе крекинга.

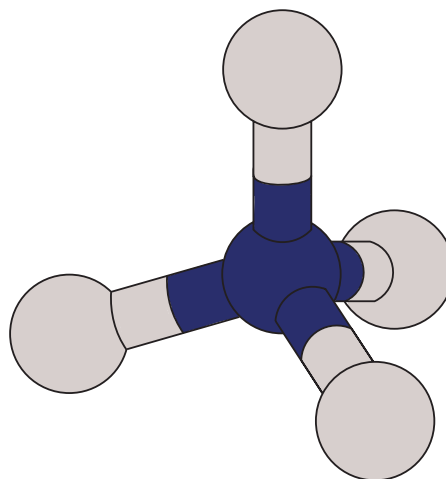


Рисунок 5. Тетраэдрическая молекулярная структура цеолита.

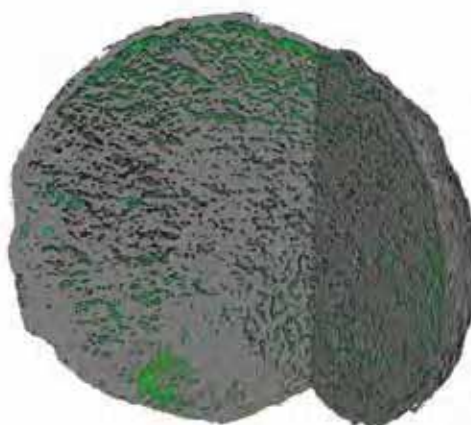


Рисунок 6. Поперечное сечение типичной каталитической частицы.

Микропористая структура цеолитов делает их эффективными катализаторами. (Image © 2016, Springer Nature; Liu, Y., Meirer, F., Krest, C.M., Webb, S., & Weckhuysen, B.M.)

Каталитические частицы образуются в результате распада катализатора, главным образом из-за абразивного износа в процессе рециркуляции катализатора в установке для каталитического крекинга. Каталитические частицы различаются по форме и размеру: от субмикронного до примерно 30 мкм, а иногда до 100 мкм (Рисунок 7).

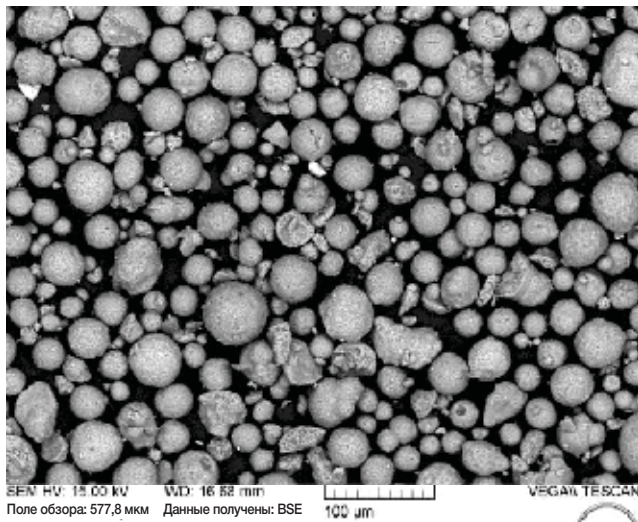


Рисунок 7. Каталитические частицы при увеличении.

Мелкие каталитические частицы значительно различаются по размеру и форме.

Судя по немногочисленным литературным источникам, плотность каталитических частиц может варьироваться от 0,9 до 1,3 г/см³ (по сравнению с типичной плотностью тяжелого нефтяного топлива 0,90–1,01 г/см³). Такая плотность и тот факт, что пористые частицы цеолита чаще всего заполнены нефтью после крекинга, означают невысокую результативность сепарации только лишь путем осаждения частиц.

1.3.3 Нормы концентрации каталитических частиц

ISO 8217 является общепринятым стандартом качества топлива. Новейшая версия стандарта ограничивает концентрацию каталитических частиц в нефтяном топливе, имеющемся на рынке, до 60 ppm Al+Si (алюминий плюс кремний). Производители морских двигателей в настоящее время предусматривают концентрацию 15 ppm как максимально допустимый уровень содержания каталитических частиц в топливе до впрыска. Поэтому перед тем, как топливо поступит в двигатель, необходимо провести надлежащие процедуры подготовки топлива на борту, включая сепарацию и фильтрацию, что позволит снизить уровень содержания каталитических частиц в бункерном топливе.

1.3.4 Оценка содержания каталитических частиц в топливе

Есть две причины, обуславливающие необходимость определять концентрацию каталитических частиц в нефтяном топливе. Во-первых, необходимо проверить, соответствует ли переработанная на заводе нефть стандарту топлива ISO 8217 и, соответственно, имеет ли она приемлемый уровень содержания каталитических частиц при доставке.

Второй причиной является необходимость обеспечить постоянное повышение качества топлива, используемого на борту судна, и минимизировать износ двигателя.

ISO 10478 является стандартизированным методом определения содержания алюминия и кремния в нефтяном топливе. Согласно этому методу, используется атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой и атомно-абсорбционная спектроскопия. Стоит отметить, что этот метод позволяет измерить концентрацию каталитических частиц в нефтяном топливе, но он не показывает распределение размеров каталитических частиц, что очень важно в контексте подготовки топлива на борту судна.

Измерение содержания каталитических частиц как часть обычных процедур, проводимых на судне, является относительно новой, но весьма актуальной концепцией с учетом недавнего увеличения частоты негативных последствий присутствия каталитических частиц в топливе. Хотя метод ISO 10478 плохо адаптирован к непрерывному отслеживанию количества каталитических частиц в топливе на борту судна, один существующий метод предполагает использование того же удобного для пользователя метода, который применяется для визуализации в медицине. В рамках этого метода, известного как ядерная магнитно-резонансная спектроскопия (ЯМР-спектроскопия), для обнаружения каталитических частиц используются их магнитные свойства, и этот метод вполне доступен сегодня.

1.3.5 Современные направления очистки тяжелого дизельного топлива от каталитических частиц

Различные источники указывают на тенденцию увеличения концентрации каталитических частиц в тяжелом дизельном топливе для судовых двигателей. Данные, полученные DNV Petroleum Services (DNVPS), подтверждают это утверждение. На Рисунке 8 показаны концентрации каталитических частиц в разных марках топлива. Природоохранное законодательство привело к увеличению спроса на низкосернистые виды топлива (Глава 3). Это, в свою очередь, побудило нефтеперерабатывающие заводы увеличивать производство смесей тяжелого дизельного топлива. Как описано в разделе «Каталитический крекинг» (стр. 9), смешивание топлива является основным источником каталитических частиц.

Первые Зоны эмиссионного контроля были введены в Северной Европе в период с 2006 по 2007 год. Это в первую очередь повлияло на характер топлива, поставляемого в район Антверпен-Роттердам-Амстердам (APA). Аналогичные тенденции наблюдаются при изменении правил и появлении новых Зон эмиссионного контроля.

Виды топлива с высоким содержанием каталитических частиц можно найти в составе всех марок остаточного топлива. Однако в среднем более легкие марки характеризуются меньшей концентрацией каталитических частиц по сравнению с марками, отличающимися большей вязкостью. На Рисунке 8 представлена средняя концентрация каталитических частиц в разных марках топлива. Концентрация Al+Si в различных марках топлива измеряется в мг/кг (что эквивалентно ppm по отношению к весу), на этом основании выделяются семь остаточных видов топлива. Высота столбцов представляет собой то, как концентрация каталитических частиц изменяется в соответствии со степенью вязкости топлива; кружок указывает на среднее содержание каталитических частиц. Обратите внимание, что наиболее распространенная марка топлива RMG 380 сСт содержит каталитические частицы в диапазоне от 1 до 110 ppm Al+Si, а RMG 700 – до 400 ppm Al+Si.

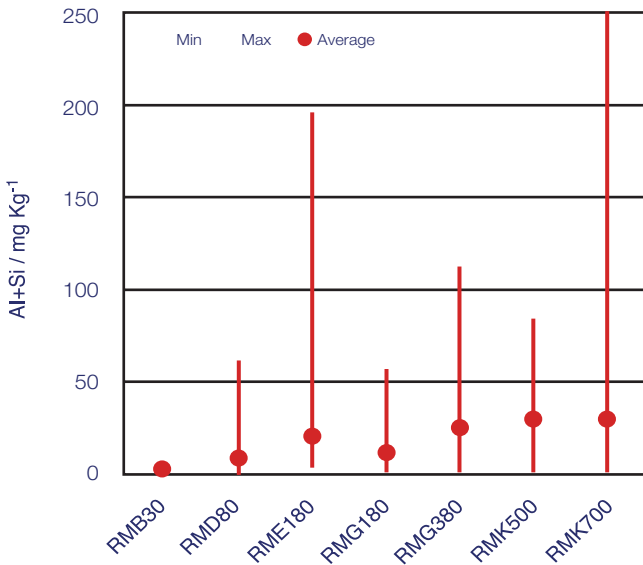


Рисунок 8. Средний показатель концентрации каталитических частиц в различных марках топлива.
В среднем концентрация каталитических частиц выше в марках с более высокой вязкостью (VeriFuel, Alfa Laval (2017)).

1.4 Основы сепарации

Частицы удаляются из нефтяного топлива в сепараторах, а также в отстойных танках, в основе процесса лежит большая плотность каталитических частиц по сравнению с нефтью. При нахождении топлива в отстойных танках в течение достаточно длительного времени все частицы будут оседать на дно резервуара. Однако если частицы очень малы, они будут оседать очень медленно.

Производительность сепаратора находится в диапазоне от 1 г (9,8 м/с²), как в случае гравитационного осаждения, до нескольких тысяч граммов. При использовании тарельчатого сепаратора каталитические частицы подчиняются тому же принципу, что и в резервуаре. Центробежная сила воздействует на частицы, перемещая их на периферию, тогда как поток нефти приносит частицы к центру барабана. Когда поток достигает определенной скорости, каталитические частицы начинают уходить с нефтью, а не отделяться от нее. Дело в том, что частицы не успевают осесть.

1.4.1 Выбор оптимального размера сепараторов

Правильный размер сепаратора имеет первостепенное значение. При определении общего требуемого расхода системы очистки топлива необходимо учитывать расход топлива, характерный для вспомогательных двигателей и котлов, если таковые имеются. В настоящее время соответствующий сепаратор выбирается с использованием таблиц пропускной способности, выданных поставщиками сепараторов и производителями двигателей.

Испытания для определения удельного расхода нефтяного топлива обычно проводятся с использованием дистиллятного топлива, и их результаты иногда приходится корректировать в расчете на так называемые условия отхода от ISO.

Расчет скорости оседания

Факторы, определяющие скорость оседания ($V_{\text{оседания}}$) частиц, описываются хорошо известным уравнением Стокса:

Где:

$$V_{\text{settling}} = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{18\mu} \alpha$$

- d = Диаметр частиц
- ρ_p = Плотность частиц
- ρ_l = Плотность жидкости
- μ = Вязкость жидкости
- α = Гравитационное или, в случае сепаратора, центробежное ускорение

Расход нефтепродукта

Для расчета расхода нефтепродукта при максимальной допустимой непрерывной нагрузке (МДНН) двигателей можно использовать следующую формулу:

Где:

$$Q = \frac{P \cdot b \cdot 24}{\rho \cdot T} \quad (l/h)$$

- Q = Расход нефтяного топлива (л/ч)
- P = МДНН (кВт или л. с.)
- b = Удельный расход нефтяного топлива (кг/кВтч или кг/л. с.ч), указанный поставщиком двигателя
- ρ = Плотность нефтяного топлива (предположительно 0,96 кг/л)
- T = Ежедневное чистое время работы (количество часов работы в сутки)

1.4.2 Максимальная рекомендуемая мощность по сравнению с сертифицированным расходом

Для сравнения сепараторов используются два параметра: максимальная рекомендуемая и сертифицированная производительность.

Максимальная рекомендуемая производительность

Поставщики сепараторов определяют максимальную рекомендуемую производительность (MRC) для каждого устройства в соответствии с конкретными критериями, которые не являются общеизвестными и не позволяют проводить достоверные сравнения.

Сертифицированная производительность

Сертифицированная производительность (CFR) сепаратора измеряется в соответствии со Стандартом производительности сепарации, содержащимся в стандарте CE CWA15375:2005. Сферические испытательные частицы размером 5 микрон добавляются в испытуемый нефтепродукт, аналогичный топливу. CFR определяется как такой расход топлива, когда 85% частиц отделяются в сепараторе от нефтепродукта. Использование CFR для определения пропускной способности сепаратора обеспечивает выбор правильного размера сепаратора, обеспечивающего требуемую производительность и тем самым безопасную работу двигателя.

1.5 Основы фильтрации

Фильтры играют важную роль в системе сепарации, дополняя ее основное действие. Топливо, прошедшее через сепараторы, поступает в расходный резервуар. Затем перед подачей в двигатель топливо проходит через фильтры, которые выступают последним защитным барьером, позволяющим захватить частицы, которые либо не были осаждены в сепараторе, либо были унесены потоком нефтепродукта дальше по линии. Фильтры также могут служить эффективным показателем общей производительности системы – падение давления в фильтрах может указывать на такие проблемы, как неправильная работа сепаратора, грязное бункерное топливо или проблемы несовместимости (Сервисный бюллетень MAN SL2017-638/DOJA).

1.5.1 Эффективность фильтрации

В целом системы фильтрации делятся на две категории – глубинную фильтрацию и поверхностную фильтрацию. Благодаря глубинной фильтрации загрязняющие частицы улавливаются фильтрующим материалом, который необходимо часто менять. В случае более распространенной поверхностной фильтрации загрязняющие частицы задерживаются на поверхности мелкоячеистой сетки, которая может очищаться автоматически. Размер ячейки сетки измеряется в микронах (мкм). Стандарты фильтрации предусматривают эффективное улавливание сферических частиц. Однако поскольку реальные частицы различаются по форме, поверхностные фильтры удаляют приблизительно 100% частиц, величина которых превышает заданный абсолютный размер ячейки, а также некоторые частицы, размер которых может быть меньше.

1.5.2 Решения по самоочистке фильтров

Фильтры могут автоматически очищаться путем последовательной или непрерывной обратной промывки. При последовательной обратной промывке фильтров необходимо дождаться момента, когда будет достигнут порог падения давления на фильтре, после чего производится обратная промывка. Многие системы последовательной обратной промывки используют воздух, позволяющий пропустить жидкость назад для очистки фильтрующей сетки.

Что касается фильтров с непрерывной обратной промывкой, то они используют некоторую часть очищенного нефтепродукта для непрерывного удаления загрязнений, прежде чем они накопятся на фильтрующем слое, обеспечивая тем самым минимальный перепад давления.

1.5.3 Отраслевые рекомендации

В последнее время в виде реакции на проблему загрязненного топлива и более жестких спецификаций начинают появляться различные отраслевые рекомендации. В настоящее время рекомендуется размещать мелкоячеистые фильтры, размер ячейки которых составляет 10 мкм, на стороне рециркуляции системы, где рабочая температура достаточно высока (Сервисный бюллетень MAN D&T SL2017-640 / LNw, SL2016-615/JFH, Технический бюллетень Wärtsilä RT-140 29/11/2012 или рекомендации CIMAC WG7 по фильтрации остаточного нефтяного топлива).

2 Подготовка топлива – эффективность работы двигателя

Судовое нефтяное топливо может быть представлено несколькими марками с различными характеристиками. На некоторые характеристики могут влиять судовые системы подготовки топлива, в то время как другие остаются без изменений. В этой главе раскрываются характеристики, которые определяют качество топлива, указанное в международных стандартах.

2.1 Современная подготовка топлива

Судовые дизельные двигатели предназначены для работы на всех имеющихся в продаже видах нефтяного топлива при условии их надлежащей подготовки на борту судна. Для этого требуется хорошо спроектированная система подготовки топлива. В рамках морской отрасли сепараторы в сочетании с фильтрами и отстойными танками обычно рассматриваются в качестве надежной системы очистки топлива.

2.1.1 Стандарты и рекомендации

В морской отрасли заявления независимых ассоциаций, таких как CIMAC (Международный совет по двигателям внутреннего сгорания) и ISO (Международная организация по стандартизации), имеют огромное значение для всех заинтересованных сторон. CIMAC является некоммерческой организацией, цель которой состоит в содействии обмену мнениями, технологиями и достижениями среди ее членов. В их число входят производители двигателей, исследовательские организации, поставщики, классификационные общества и университеты.

В том, что касается очистки топлива на борту судна в целом (стандарт бункерного топлива ISO 8217), рекомендации по подготовке топлива CIMAC и руководства по продуктам Alfa Laval сходятся в трех основных, но важных моментах, предусматривающих меры предосторожности для безопасной и эффективной работы сепараторов:

- Перед поступлением в сепаратор топливо необходимо предварительно нагреть до рекомендуемой температуры.
- Необходимо обеспечить правильную пропускную способность/конфигурацию сепаратора, то есть пропускная способность для данного топлива должна соответствовать заданной пропускной способности.
- Необходимо обеспечить правильную работу и обслуживание сепаратора.

В ответ на усугубляющуюся проблему повреждения двигателей каталитическими частицами как ISO 8217, так и CIMAC указали, что содержание каталитических частиц в нефтяном топливе, доставленном на судно, не должно превышать 60 ppm. Производители двигателей обычно требуют, чтобы максимальный уровень содержания каталитических частиц был снижен за счет системы подготовки топлива на борту до максимально допустимого значения, составляющего 10 ppm перед поступлением топлива в двигатель. Поскольку уровень каталитических частиц в бункерном топливе снижается, разработчики двигателей ожидают соответствующего сокращения количества каталитических частиц в топливе, поступающем в двигатель.



CIMAC

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ
ПО ДВИГАТЕЛЯМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Международный совет по двигателям внутреннего сгорания (CIMAC) является международной некоммерческой ассоциацией национальных ассоциаций-участников, национальных групп-участников и организаций-участников в 26 странах Америки, Азии и Европы. Он объединяет производителей дизельных и газовых двигателей и газовых турбин, пользователей, таких как судовладельцы, коммунальные компании и железнодорожные операторы, а также поставщиков, нефтяные компании, классификационные общества и ученых.

Рабочие группы CIMAC разрабатывают решения и рекомендации по техническим, коммерческим и нормативным проблемам, с которыми сталкиваются производители крупногабаритных двигателей.

2.1.2 Качество нефтяного топлива и его подготовка на борту судна

Качество нефтяного топлива варьируется даже среди его видов, номинально относимых к одному и тому же типу. Изменение спроса на бункерное топливо способствует появлению на рынке новых видов топлива. Следовательно, важно иметь точные спецификации бункерного топлива. Не менее важно точно определить его параметры и понять, на какие из них может повлиять подготовка топлива на борту. В Таблице 1 перечислены важные параметры нефтяного топлива вместе с их основным влиянием на работу двигателя. В правой колонке указано, в какой степени на каждое свойство может влиять сепарация. Все параметры в Таблице 1 включены в стандарт нефтяного топлива ISO 8217.

Содержание воды, осадка, натрия и каталитических частиц может в значительной степени снижаться благодаря системам сепарации, которые используются на борту судна. Также можно несколько уменьшить содержание зольного остатка. Не менее важно оценить уровни содержания в топливе цинка, фосфора и кальция, поскольку это может указывать на присутствие в топливе смазочного масла.

2.1.3 Оборудование для очистки топлива

На Рисунке 9 показана типичная система подготовки топлива. Основными устройствами являются отстойный танк, сепаратор, расходной танк и модуль подготовки топлива, или FCM (также известный как бустерная система). Система подготовки топлива включает в себя оборудование, которое очищает топливо, в том числе отстойный танк, центробежные сепараторы и фильтры.

Отстойный танк

Тяжелые и крупные частицы примеси в нефтяном топливе, например крупные каталитические частицы, собираются на дне отстойного танка благодаря силе тяжести. Тем не менее в открытом море и в штормовую погоду эти компоненты могут смешиваться с топливом и попадать в сепараторы. Поскольку пропускная способность сепараторов ограничена, это может повлиять на качество очищенного топлива. Поэтому для снижения подобного риска необходим регулярный слив осадка из отстойного танка и расходного танка.

Характеристики топлива	Характер влияния	Результат сепарации
Плотность	Необходимость скорректировать расходы на бункерное топливо и сепараторы	Не оказывает никакого влияния
Вязкость	Выбор температуры впрыска и необходимость нагревания/охлаждения	Не оказывает никакого влияния
Вода	Коррозия и отложения на стенках резервуара	Значительное влияние
Микроуглеродный остаток	Отложения в двигателе	Не оказывает никакого влияния
Сера	Выбросы, смазка и щелочное число (ЩЧ)	Не оказывает никакого влияния
Осадок	Нагрузка на сепаратор (и фильтры)	Значительное влияние
Зольность	Износ двигателя	Умеренное влияние
Ванадий	Высокотемпературная коррозия в двигателе	Не оказывает никакого влияния
Натрий	Отложения хлорида натрия в двигателе и коррозия деталей	Значительное влияние
Алюминий+Кремний	Абразивный износ из-за присутствия каталитических частиц	Значительное и умеренное влияние
Расчетный индекс ароматичности углеводородов	Качество работы системы зажигания двигателя	Не оказывает никакого влияния
Температура потери текучести	Засорение фильтра	Не оказывает никакого влияния
Температура вспышки	Положения Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) и правила классификационных обществ обычно предусматривают температуру как минимум 60 °C	Не оказывает никакого влияния

Таблица 1. Важные параметры нефтяного топлива.



Рисунок 9. Типичная система подготовки топлива.

Согласно ISO 8217/2012, максимальное содержание каталитических частиц в бункерном топливе не должно превышать 60 ppm. Производители двигателей рекомендуют не превышать максимальный уровень содержания каталитических частиц в топливе порядка 10 ppm перед его поступлением в двигатель.

Сепараторы

При правильном использовании большинство сепараторов способны удалять почти 100% каталитических частиц размером более 10 мкм. Тем не менее большинство каталитических частиц менее 3 мкм не могут быть удалены с помощью сепараторов при максимальном рекомендуемом расходе. Чтобы проверить эффективность сепараторов, рекомендуется брать образцы на линии подачи и выпуска сепаратора не реже одного раза в четыре месяца и отправлять их в выбранное независимое учреждение для проведения анализа.

Фильтры

Фильтры используются в качестве окончательной защитной меры, позволяющей предотвратить попадание оставшихся частиц в топливную систему. Раньше в топливных системах на линии подачи (на холодной стороне) использовались грубые фильтры. Это рассматривалось как более дешевый вариант, теперь рекомендуется использовать мелкоячеистые – с размером ячейки максимум 10 мкм – фильтры с автоматической обратной промывкой на стороне рециркуляции (на горячей стороне). Частицы с низкой плотностью могут пропускаться сепаратором, однако все же будут задерживаться в фильтре. Контроль перепада давления на фильтре также позволяет оценить качество работы системы.

2.2 Каталитические частицы и эффективность работы двигателя

Каталитические частицы варьируются от субмикронных размеров до десятых долей микрона – от размера пылинки или пыльцы до толщины жесткого человеческого волоса. Несмотря на то что невооруженным глазом каталитические частицы практически невозможно увидеть, они достаточно твердые, чтобы сильно повредить металл (Alfa Laval, BP Marine, MAN B&W Diesel, 2007).

В топливе также иногда обнаруживаются ржавчина, песок и пыль, но чаще всего они удаляются сепараторами из топлива до его поступления в двигатель. Такие компоненты обычно менее вредны, чем каталитические частицы, и обнаруживаются в гораздо меньших количествах.

Все каталитические частицы, оставшиеся в нефтяном топливе после его очистки в центробежном сепараторе, могут послужить причиной абразивного износа и повреждения двигателя, что, в свою очередь, может привести к потере эффективности работы двигателя и создать потенциально опасные условия его эксплуатации (Рисунок 10). Вот почему содержание каталитических частиц должно быть снижено настолько, насколько это возможно, за счет системы подготовки топлива.



Рисунок 10. Увеличенное изображение повреждения, вызванного каталитическими частицами.

Каталитические частицы представляют собой очень твердые частицы, способные повредить металл, вызвав серьезное повреждение его поверхности.

Разработчики двигателей утверждают, что каталитические частицы размером менее 4 мкм являются менее вредными, чем крупные частицы (СИМАС, Документ № 51, 2013). Однако чем выше концентрация каталитических частиц, тем выше риск создания небезопасных условий работы. Двигатели, страдающие от высокого содержания каталитических частиц, скорее всего, потребуют более частого технического обслуживания, при этом повышается риск их повреждения.

Система впрыска топлива и камера сгорания наиболее часто повреждаются под воздействием каталитических частиц. Топливные насосы высокого давления (ТНВД) повышают давление топлива перед его попаданием в двигатель. Попадание частиц в зазоры плунжерной пары может привести к повреждению ТНВД. Такая же проблема возникает в камере внутреннего сгорания, где каталитические частицы могут попадать между уплотняющим кольцом поршня и втулкой цилиндра.

Неизбежное перемещение частиц между поверхностями приводит к абразивному ускоренному износу деталей.

При повреждении насосы не способны обеспечивать надлежащую производительность, давление топлива при его подаче в двигатель падает. Это, в свою очередь, снижает эффективность работы двигателя и увеличивает эксплуатационные расходы. Износ двигателя и последующий ущерб обходятся слишком дорого, поэтому их следует избегать.

2.3 Проблемы, связанные с дистиллятным топливом

Стандарт ISO 8217, в котором определяется максимально допустимое содержание серы в судовом топливе, требует использования низкосернистых дистиллятов в двигателях, предназначенных для работы на остаточном топливе. Низкая вязкость этих дистиллятов побудила производителей двигателей пересмотреть свои критерии относительно минимальной вязкости и смазывающей способности топлива. Маловязкие дистилляты будут использоваться шире, когда в 2020 году вступят в силу положения Директивы об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе, предусматривающие предельное значение на уровне 0,50%.

Влияние на дизельные двигатели

Сжигание дистиллятов в дизельных двигателях имеет некоторые значимые моменты, которые могут повлиять на работу системы впрыска двигателя, насосы и другое оборудование. Первое, с чем приходится столкнуться, это вязкость топлива при впрыске, которая влияет на смазочную способность топлива и, соответственно, срок службы отдельных деталей системы впрыска топлива. Поскольку температура впрыска легкого топлива намного ниже, чем температура тяжелого дизельного топлива, перепад температур обуславливает появление второй проблемы: внезапное изменение температуры может стать причиной термического удара внутри системы впрыска.

Чтобы решить эти проблемы и установить правильные параметры топлива в точке впрыска, важно, чтобы модуль подготовки топлива позволял управлять переходом на другой вид топлива простым и безопасным способом, путем регулирования диапазона температур внутри системы, и поддерживал правильную температуру легкого топлива во время его впрыска.

Требования к системе подготовки топлива

Чтобы соответствовать требованиям производителя двигателя, система подготовки топлива должна обеспечивать:

- Контроль перехода от высокой температуры впрыска тяжелого дизельного топлива к низкой температуре впрыска дистиллятного топлива, позволяющий сохранять температурный градиент в пределах рекомендованного производителем диапазона. Типичный диапазон изменения температуры на входе топлива в топливные насосы составляет 2 °C в минуту.
- Поддержание температуры дистиллятного топлива и его вязкости в пределах значений, рекомендованных производителем двигателей.



3 Влияние законодательных норм на работу судна

Создание Зон эмиссионного контроля (ECA) вместе с ужесточением мировых норм выбросов привело к появлению новых эксплуатационных требований к использованию топлива. Здесь мы рассмотрим основные источники нормативных изменений и операционные последствия этих изменений для судовладельцев и судоходных компаний.

3.1 Необходимость ограничения выбросов серы

Основной причиной, вызывающей необходимость снижения содержания серы в выхлопных газах, является то негативное воздействие, которое оксиды серы оказывают на здоровье человека. Сера в выхлопных газах вступает в реакцию с воздухом и образует мелкие частицы, известные как сульфатные аэрозоли. При вдыхании эти частицы могут проходить через легкие и проникать в кровоток, в результате чего они нередко вызывают воспаление легких и развитие сердечно-сосудистых заболеваний, а также служат причиной легочной и сердечной недостаточности (Platts, 2016). Сера, загрязняющая атмосферный воздух, также способствует повышению кислотности воды и почвы.

3.2 Международная конвенция по предотвращению загрязнения вод с судов (МАРПОЛ) IMO, Приложение VI

Требования Приложения VI МАРПОЛ, касающиеся выбросов серы, можно свести к двум положениям.

- Положение 14 касается оксидов серы и твердых взвешенных частиц. Следует отметить, что это положение применяется

к топливу, которое используется не только новыми судами, но и всеми судами, находящимися в эксплуатации после даты его введения. Положение определяет предельно допустимое содержание серы в топливе, при этом соблюдение данного требования должно осуществляться на основе загруженного топлива. Существуют разные предельные значения содержания серы, действующие внутри и за пределами Зоны эмиссионного контроля, которые являются теми зонами, где, как согласилась Международная морская организация, требуется более высокий уровень защиты.

- Положение 4 распространяется на эквивалентные способы, в частности, оснащение судна специальными устройствами (например, системой очистки выхлопных газов) или на использование владельцем судна других стратегий, гарантирующих, что выбранный метод соблюдения требований не менее эффективен с точки зрения сокращения выбросов, чем те, что определены в Положении 14.

На Рисунке 11 показаны существующие на сегодняшний день Зоны эмиссионного контроля (2016), где действует более жесткий контроль над выбросами оксидов серы и оксидов азота, а также области, которые в будущем могут рассматриваться как Зоны эмиссионного контроля. Предельно допустимое количество выбросов постепенно уменьшается как внутри, так и за пределами Зон эмиссионного контроля (Рисунок 12). В 2020 году вступит в силу Директива об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе, предусматривающая предельное значение на уровне 0,50%.

3.3 Регламенты Европейского союза

Для реализации требований Приложения VI МАРПОЛ Международной морской организации в рамках законодательства ЕС Европейский союз изначально разработал Директиву 1999/32/ЕС, в которую впоследствии были внесены поправки на основе Директивы 2005/33/ЕС. Однако в этом законодательном документе также содержатся некоторые дополнительные требования. Важными дополнениями (со всеми ограничениями, выраженными в массовых долях), являются следующие:

- В территориальных водах ЕС, исключительных экономических зонах и зонах контроля за загрязнением (за исключением Зон эмиссионного контроля) содержание серы в топливе ограничено максимально допустимым значением на уровне 1,50% для пассажирских судов, включая паромы и круизные суда, осуществляющие регулярные рейсы, прибывающие в какой-либо порт ЕС или отправляющиеся из него.
- С 1 января 2010 года суда на причале в порту ЕС должны использовать топливо с максимально допустимым содержанием серы 0,10%, за исключением судов, которые, согласно опубликованным расписаниям, должны находиться на причале менее двух часов.



Рисунок 11. Зоны эмиссионного контроля (ECA) на 2016 год.

Источник: DNV.



Рисунок 12. График сокращения выбросов серы.

С 2015 года предельно допустимый уровень содержания серы в Зонах эмиссионного контроля составил 0,10%. В 2020 году общемировое предельно допустимое значение будет снижено до 0,50%.

Директива Европейского парламента 2009/30/ЕС ограничила содержание серы в топливе, используемом судами внутреннего плавания, до максимально допустимого значения 0,0010% (10 мг/кг) с 1 января 2011 года. Обзор законодательных документов ЕС за 2012/33/ЕС включает в себя последние положения Приложения VI МАРПОЛ и предусматривает следующее дополнительное условие:

- Топливо с содержанием серы более 3,50% будет разрешено использовать только для продажи и использования судами, оснащенными утвержденной замкнутой системой очистки выхлопных газов (то есть без сброса промывочной воды за борт).

3.4 Регламенты Калифорнии в отношении выбросов серы

Совет по чистоте воздуха Калифорнии (ARB) определил регион, простирающийся до 24 морских миль от береговой линии Калифорнии или от береговой линии островов Чаннел за береговой линией южной Калифорнии, в котором допускается использование только дистиллятного топлива с максимальным содержанием серы в соответствии с его маркой. По состоянию на 1 января 2014 года максимально допустимое содержание серы составляет 0,10%.

В ARB проводится пересмотр требований в связи с окончанием действия мер, результатом которого должно стать принятие решения о возможности использования смесей сверхнизкосернистого нефтяного топлива (ULSFO) и скрубберов. Эти виды низкосернистого топлива и технологии разрешено применять в других Зонах эмиссионного контроля, и пересмотр предполагает оценку того, будут ли в них достигнуты те же самые результаты в отношении выбросов, что и текущие нормы Калифорнии, применяющиеся к топливу для океанских судов. Оценку планируется проводить до 2018 года (принятие решения все еще ожидается в момент публикации).

3.5 Переход с остаточного на дистиллятное топливо

Поскольку большинство судов по-прежнему работает на тяжелом дизельном топливе (высокосернистом топливе), многие суда будут переходить на другое топливо при входе в Зону эмиссионного контроля или при выходе из нее, если для достижения соответствия не используются утвержденные эквивалентные меры (например, технология борьбы с выбросами). Начиная с 2015 года, прежде чем войти в Зону эмиссионного контроля, судно должно перейти на остаточного топлива, содержащего максимально допустимое количество серы (3,50%), на дистиллятное топливо с максимально допустимым содержанием серы 0,10%. И наоборот, после выхода из Зоны эмиссионного контроля, как правило, желательно вернуться к использованию остаточного топлива, что позволит снизить затраты на топливо, если не планируется скорое возвращение в Зону эмиссионного контроля. Согласно этим требованиям, переход должен производиться во время плавания при приближении к границам Зоны эмиссионного контроля или при выходе за ее границы.

Большинство операторов имеет опыт перехода с остаточного на дистиллятное топливо и обратно. На рынке сегодня имеются автоматические системы смены топлива; однако процесс может быть выполнен и вручную. Подробные процедуры необходимо внедрять в практику работы судна и надлежащим образом документировать, а экипаж должен быть ознакомлен с порядком действий. Недостаточное знание этого порядка может привести к остановке двигателя или повреждению его деталей. Для получения подробных инструкций по процедуре смены топлива прежде всего следует ознакомиться с рекомендациями производителя оборудования.

3.5.1 Общие положения

Чтобы избежать проблем с совместимостью (таких как оседание асфальтенов в резервуарах, снижение вязкости тяжелого дизельного топлива при разбавлении его судовым газойлем или наличие в судовом газойле высокого содержания серы), рекомендуется не возвращать смесь остаточного и дистиллятного топлива в расходные резервуары с дистиллятным или дизельным топливом.

Для поддержания температуры судового газойля настоятельно рекомендуется установить специальные охладители.

Когда двухтактный двигатель должен работать на низкосернистом топливе в течение длительного периода времени, многие производители двигателей рекомендуют заменить цилиндрическое смазочное масло с высоким TBN на масло с TBN 40 или еще меньшим значением. Следует также учитывать скорость подачи цилиндрического масла и соблюдать все рекомендации производителя двигателя. При использовании низкосернистого дистиллятного топлива работа двухтактных двигателей на масле с высоким TBN, если скорость подачи высока, может привести к быстрому накоплению нагара на головке поршня, что, в свою очередь, может привести к ее чрезмерному износу.

Существует также несколько технических соображений и проблем, связанных со сменой топлива. В их число входят:

- Температурный градиент
- Изменения вязкости
- Несовместимость
- Смазочные свойства
- Показатели хладнотекучести
- Фильтрация
- Контроль потребления топлива

3.5.2 Температурный градиент

Чтобы оборудование для впрыска топлива работало должным образом, не рекомендуется превышать максимальный температурный градиент при смене топлива. Как правило, производители двигателей рекомендуют использовать градиент не более 2 °C в минуту. Быстрые изменения температуры топлива повысят вероятность неисправности насоса и заклинивания механизмов. По причинам, указанным выше, предпочтительно использовать автоматическую систему смены топлива, способную поддерживать правильный температурный градиент в течение всего процесса смены. Автоматизация этого процесса также помогает свести к минимуму объем работы экипажа и риск операционных ошибок, которые могут привести к загрязнению газойля, находящегося в топливном баке, тяжелым дизельным топливом.

3.5.3 Изменения вязкости

Как правило, оптимальная эксплуатационная вязкость топлива в топливном насосе двигателя находится в диапазоне 10–20 мм²/с (сСт), хотя исключительно важно обеспечить выполнение требований в отношении каждого двигателя.

Для достижения оптимальной вязкости остаточного топлива может потребоваться его нагрев до температуры свыше 100 °C. Однако дистиллятное топливо имеет значительно более низкую вязкость, чем остаточные виды топлива, обычно в диапазоне от 2,0 до 11,0 мм²/с (сСт) при 40 °C и, в силу этого, не должно сильно нагреваться, вместо этого может потребоваться охлаждение.

Рекомендованная производителями двигателей минимальная вязкость топлива на входе в топливный насос двигателя составляет от 2,0 до 3,0 мм²/с (сСт). Топливо со слишком низкой степенью вязкости может вызвать чрезмерный переток в топливных насосах двигателя, что приведет к падению давления. Это, в свою очередь, может привести к проблемам при запуске и работе двигателя во время повышенных нагрузок. Недостаточная вязкость может также привести к заклиниванию топливного насоса и преждевременному износу деталей вследствие истончения смазочного слоя топлива. В дополнение к насосам, установленным на двигателе, необходимо также учитывать работу насосов в системе подачи топлива. Минимальная вязкость для них также приближается к 2 сСт, при меньшей вязкости повышается риск чрезмерного износа или заклинивания механизмов.

Для соответствия минимальным требованиям изготовителя оборудования, дистиллятное топливо должно иметь достаточную вязкость. При необходимости можно использовать охладители разного рода, которые помогут предотвратить снижение вязкости топлива. Кроме того, заблаговременное отключение систем подачи пара и спутникового обогрева поможет снизить температуру топлива при его смене.

В свою очередь, при переходе на остаточное топливо с дистиллятного необходимо обеспечить достаточно высокую температуру топлива для достижения им требуемой вязкости на входе в топливный насос. Для облегчения этого процесса можно использовать систему спутникового и парового обогрева в трубопроводе, однако следует избегать нагревания дистиллята.

3.5.4 Несовместимость

Как описано выше, процедура смены топлива требует достаточного времени, в течение которого будет использоваться смесь двух очень разных видов горючего. Риск несовместимости между остаточным топливом и низкосернистыми дистиллятами считается выше, чем риск, который обычно связан со смешиванием различных видов остаточного топлива. Добавление дистиллята может привести к оседанию асфальтенов в остаточном топливе в виде тяжелого осадка (Рисунок 13). Результатом может явиться засорение фильтра и, в наиболее тяжелых случаях, недостаточное поступление топлива в двигатель и, соответственно, отключение двигателя. Другой связанной с этим проблемой бывает заклинивание топливного насоса высокого давления из-за отложений в плунжерной паре.



Рисунок 13. В сепаратор подавались нестабильные виды топлива.

Несовместимость видов топлива не может быть однозначно спрогнозирована и не зависит от процесса подготовки топлива, поэтому испытание на совместимость имеет первостепенное значение. Испытания могут проводиться либо на борту во время бункеровки, либо с привлечением независимой лаборатории.

3.5.5 Смазывающие свойства

Смазывающие свойства представляют собой способность дистиллята смазывать поверхности, которые находятся в движении относительно друг друга. Дистилляты с содержанием серы менее 0,05% могут иметь незначительные смазывающие свойства. Результатом может стать заклинивание топливного насоса. Чтобы поддерживать вязкость и смазывающие свойства судового газойля на приемлемых уровнях при любых условиях, необходимо установить охладители. Для поддержания надлежащих значений температуры охладители должны иметь автоматическое управление.

3.5.6 Свойства при низких температурах

Дистилляты действительно характеризуются низкой вязкостью. Однако они могут различаться по своим химическим свойствам и значительно варьироваться в плане хладнотекучести, например, вязкость при низких температурах может влиять на их способность проходить через насос.

Показатели хладнотекучести оцениваются в соответствии с:

- Температурой застывания – самой низкой температурой, при которой топливо способно протекать через насос.
- Температурой помутнения топлива – температурой, при которой растворенные частицы осаждаются и придают топливу мутноватый вид.

- Предельной температурой фильтруемости на холодном фильтре – самой низкой температурой, при которой топливо будет проходить через фильтр при определенных условиях.

Показатели фильтруемости дистиллята на холодном фильтре в основном зависят от содержания в нем воска и способности длинных парафиновых углеводородных цепочек осажаться в виде кристаллов воска.

Суда, работающие в холодных зонах, должны использовать дистилляты со спецификациями качества для холодного времени года, чтобы избежать осаждения воска в резервуарах при хранении топлива. Также рекомендуется нагревать дистиллят до проведения сепарации, стараясь избежать осаждения воска в системе подготовки топлива.

3.5.7 Фильтрация

На фильтрацию также влияет эффект промывания фильтра дизельным топливом при смене вида топлива, так как накопившийся внутри трубопровода осадок принудительно подается на фильтр.

3.5.8 Контроль потребления топлива

Частая смена топлива делает измерение потребления тяжелого дизельного топлива и судового газойля крайне важным. Установка специальных расходомеров для альтернативных видов топлива повышает точность измерений. Массовые расходомеры предпочтительнее объемных, поскольку они позволяют провести прямое измерение в единицах массы, на которые не влияют изменения плотности.

3.6 Использование скрубберов вместо смены топлива

Скруббер представляет собой систему очистки выхлопных газов, которая позволяет уменьшить количество выбросов оксидов серы. Использование скруббера (Рисунок 14) позволяет владельцу судна использовать высокосернистое тяжелое дизельное топливо в Зонах эмиссионного контроля вместо низкосернистого судового газойля, соблюдая при этом правила Международной морской организации, касающиеся выбросов серы. Этот метод закреплен на законодательном уровне в положениях IMO.



Рисунок 14 Система Alfa Laval PureSOx.

Скрубберы, установленные в выхлопной трубе, уменьшают количество выбросов оксидов серы.

К тому моменту, когда требования Директивы об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе до 0,50% вступят в силу в 2020 году, использование скрубберов может быть привлекательной для судовладельцев альтернативой, если они хотят продолжать использовать менее дорогое тяжелое дизельное топливо, не нарушая при этом закон. Согласно DNV GL (2016), первоначальные инвестиции в скрубберы будут окупаться в течение первых шести лет, в зависимости от типа судна и осуществляемых операций.



4 Подготовка нефтяного топлива – современный подход

Требования к подготовке топлива на борту судна сегодня резко отличаются от тех, что действовали десять лет назад. На смену использованию только одного вида топлива пришла концепция применения нескольких его видов, а для регулирования выбросов серы были введены более строгие правила. Как мы отметим в этой главе, многие аспекты современных систем подготовки топлива должны быть адаптированы и оптимизированы для текущих и будущих условий.

4.1 Современная Линия топливоподготовки Alfa Laval

Современный подход к системам подготовки топлива ориентируется, в первую очередь, на следующие моменты:

- Энергоэффективность
- Качество топлива
- Соблюдение природоохранного законодательства
- Защита двигателя

Были определены пять различных областей в плане оптимизации подготовки топлива:

- Оптимизация конфигурации топливной системы
- Оптимизация оборудования и системы подачи
- Мониторинг и автоматизация системы
- Управление несколькими видами топлива
- Восстановление топлива из отходов нефтепродуктов

Современная Линия топливоподготовки Alfa Laval представляет собой комплексное решение для минимизации энергопотребления и максимальной защиты от воздействия каталитических частиц. Это не отдельный продукт, а комплексный и систематический подход, основанный на нескольких ключевых продуктах и знаниях Alfa Laval. В нем используется синергия движения «на малых ходах» и новаторские технологии для увеличения как общей эффективности использования энергии, так и эффективности сепарации.

Ниже приведен краткий обзор современной Линии топливоподготовки. В данном обзоре кратко изложены различные цели, решения и результаты по каждой части процесса подготовки топлива.

4.1.1 Оптимальная конфигурация топливной системы

При замене однопаливных систем многопаливными необходимы специальные решения для обеспечения безопасной работы с соблюдением всех требований. В частности, необходимо создать и внедрить в практику работы многопаливные системы, до минимума снижающие риск несовместимости разных видов топлива. См. Таблицу 2.

Решение	Результат	Ссылка
Структура современной многопаливной системы	<ul style="list-style-type: none"> • Нефтяное топливо разных типов хранится и подготавливается отдельно • Снижение рисков 	стр. 26–27

Таблица 2. Оптимальная конфигурация топливной системы

4.1.2 Оптимизация оборудования и системы подачи

Использование оборудования на базе новейших технологий имеет решающее значение для выполнения всех нормативных требований. Оборудование на базе устаревшей технологии часто потребляет больше энергии, обеспечивая при этом такую же точно производительность; кроме того, эффективность сепарации с использованием прежних технологий, как правило, ниже, а контроль процесса недостаточно точен. Один из аспектов, в частности, затрагивает оптимизацию подачи топлива в соответствии с фактической нагрузкой двигателя. Это, в свою очередь, увеличивает эффективность сепарации и снижает энергопотребление. См. Таблицу 3.

Решение	Результат	Ссылка
Технология Alcar™ в основе высокоскоростных сепараторов	<ul style="list-style-type: none"> • Позволяет измерить содержание воды на выходе нефтепродукта • Обеспечивает гибкость • Очищает топливо, имеющее различную плотность 	страница 28
Модуль подготовки топлива FCM One	<ul style="list-style-type: none"> • Подготавливает топливо в точном соответствии со спецификациями двигателя • Может создавать топливные смеси • Управляет переходом с одного вида топлива на другое 	страница 32
FlowSync™ с использованием частотно-регулируемого привода для корректировки расхода насоса с учетом фактической нагрузки двигателя	<ul style="list-style-type: none"> • Снижает потребление энергии насосом, подогревателем и сепаратором • Обеспечивает более эффективную сепарацию и более тщательное удаление частиц благодаря тому, что топливо остается в сепараторе в течение более длительного времени 	страница 29
Высокотемпературная сепарация	<ul style="list-style-type: none"> • Эффективно использует тепловую энергию • Поддерживает эффективность очистки • Сохраняет пропускную способность 	страница 30

Таблица 3. Оптимизация оборудования и системы подачи

4.1.3 Мониторинг и автоматизация системы

Правильно разработанная система управления установкой для подготовки топлива может предотвратить нежелательные последствия и предоставить ценную информацию для обеспечения ее надежной работы. См. Таблицу 4.

Решение	Результат	Ссылка
Контроль потребления топлива с помощью модуля FCM One	<ul style="list-style-type: none"> • Позволяет точно измерить потребление топлива • Предоставляет данные для оптимизации системы подготовки топлива • Позволяет обнаружить потери топлива на ранней стадии 	страницы 32–33
Фильтр с размером ячейки 10 мкм на горячей стороне	<ul style="list-style-type: none"> • Уменьшает износ двигателя • Поддерживает оптимальное состояние потока топлива, подаваемого в двигатель 	страница 34

Таблица 4. Мониторинг и автоматизация системы

4.1.4 Управление использованием нескольких видов топлива

Управление использованием нескольких видов топлива позволяет точно контролировать смешивание и смену топлива, а также регистрировать данные, связанные с ними. Это обеспечивает безопасную работу двигателя и предотвращает нарушение требований законодательства. См. Таблицу 5.

Решение	Результат	Ссылка
ACS: Смена топлива	<ul style="list-style-type: none"> • Снижает потребление дистиллята • Оптимизирует состав топлива • Обеспечивает безопасную смену топлива • Точно соответствует целевым показателям содержания серы 	страница 30
Модуль FCM One: Электронный журнал учета топлива	<ul style="list-style-type: none"> • Регистрирует смену топлива • Автоматически обеспечивает проставление отметки времени и данных GPS • Формирует документацию по всем видам работы путем ее распечатки или безопасного экспорта данных в электронном виде 	страницы 32–33

Таблица 5. Управление несколькими видами топлива

4.1.5 Восстановление топлива из отходов нефтепродуктов

Восстановление топлива из отходов нефтепродуктов способствует существенной экономии в плане общей стоимости топлива, а также переработки отходов топлива. До 1% потребляемого судном бункерного топлива, которое обычно оказывается потеряно, повторно используется в качестве восстановленного топлива. См. Таблицу 6.

Решение	Результат	Ссылка
Система PureDry	<ul style="list-style-type: none"> • Повторное использование отходов нефтепродуктов в качестве восстановленного топлива • Сокращение количества отходов для переработки, хранения и захоронения на 98% 	страница 30

Таблица 6. Восстановление топлива из отходов нефтепродуктов

4.2 Рабочие параметры

На эффективность сепарации влияют различные рабочие параметры. К ним относятся расход топлива и температура, которые контролируют как вязкость, так и плотность топлива.

Непрерывное управление расходом представляет собой простой и эффективный способ обеспечения оптимальной производительности сепарации. Поскольку суда не всегда работают с максимальной допустимой непрерывной нагрузкой и развивают расчетную скорость хода, имеется возможность снизить расход и повысить эффективность сепарации. Судоходным компаниям рекомендуется полностью использовать установленную пропускную способность сепаратора и параллельно использовать резервные сепараторы. Иногда устанавливается и должно использоваться ручное управление расходом топлива.

4.2.1 Движение «на малых ходах» способствует более эффективной сепарации

Движение «на малых ходах» относится к практике эксплуатации трансокеанских грузовых судов, особенно контейнерных судов, на скорости, которая значительно ниже их максимальной скорости. Как правило, сепаратор для нефтяного топлива имеет конфигурацию, обеспечивающую 100%-й расход топлива плюс постоянные значения для различных диапазонов. Однако двигатели судов сегодня редко работают со 100%-й нагрузкой. Уменьшение расхода топлива сепаратора по отношению к расходу топлива двигателя приведет к повышению эффективности сепаратора, поскольку топливо будет оставаться в сепараторе дольше. Поэтому за счет автоматического управления расходом с учетом фактического потребления топлива появляется значительный потенциал для повышения эффективности сепарации.

4.2.2 Управление подачей топлива в сепаратор

Контроль расхода топлива в сепараторе необходим для достижения желаемого результата сепарации. Для поддержания максимально возможной эффективности сепарации расход топлива в сепараторе должен поддерживаться на низком и стабильном уровне. Расход можно контролировать двумя способами:

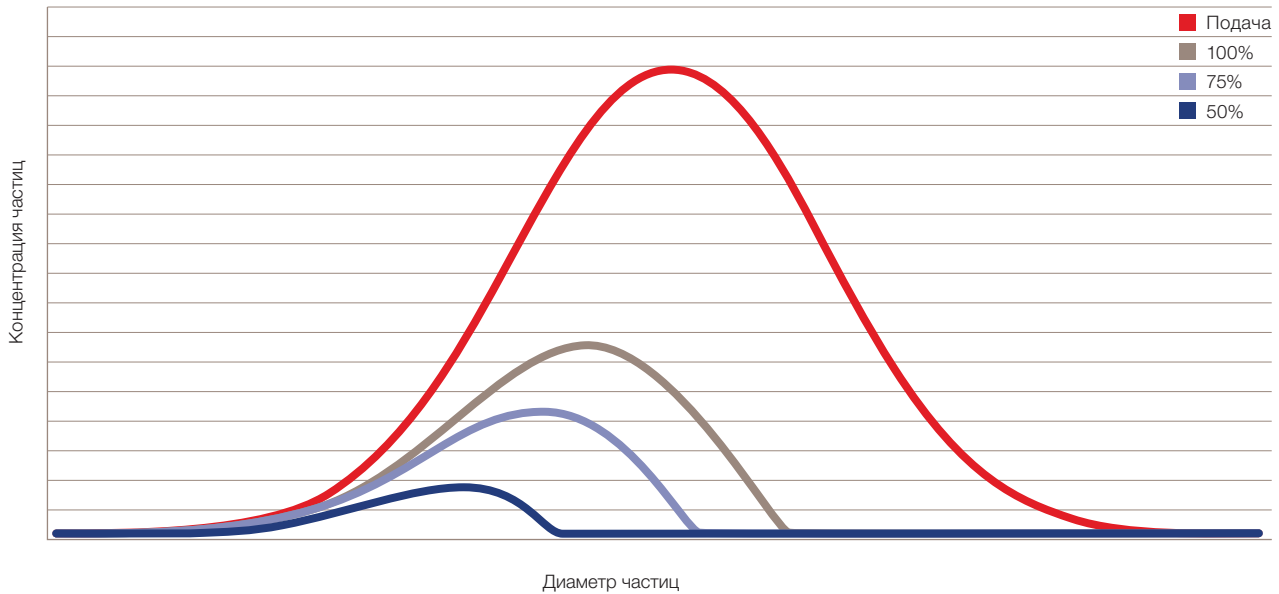
- *С помощью регулятора фиксированного расхода*

При регулировании фиксированного расхода перед сепаратором устанавливается клапан регулирования расхода. Когда он перекрывается и давление превышает значение, определяемое пружинным клапаном, этот клапан открывается, и нефтепродукт возвращается в отстойный танк. Это простое решение, но не самое энергоэффективное, поскольку часть нефтепродукта закачивается обратно в отстойник.

- *Переменный расход*

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) можно использовать для управления скоростью двигателя подающего насоса, что позволяет регулировать скорость подачи в соответствии с фактической нагрузкой двигателя. В отличие от регулирования фиксированного расхода, при котором поток перекрывается, использование переменного расхода снижает энергопотребление как питающего насоса, так и сепаратора. Изменение расхода в случае двигателя, работающего на 75% от своей нагрузки, увеличивает эффективность сепарации (Рисунок 15).

Влияние FlowSync на эффективность сепарации

**Рисунок 15. Влияние расхода на эффективность сепарации.**

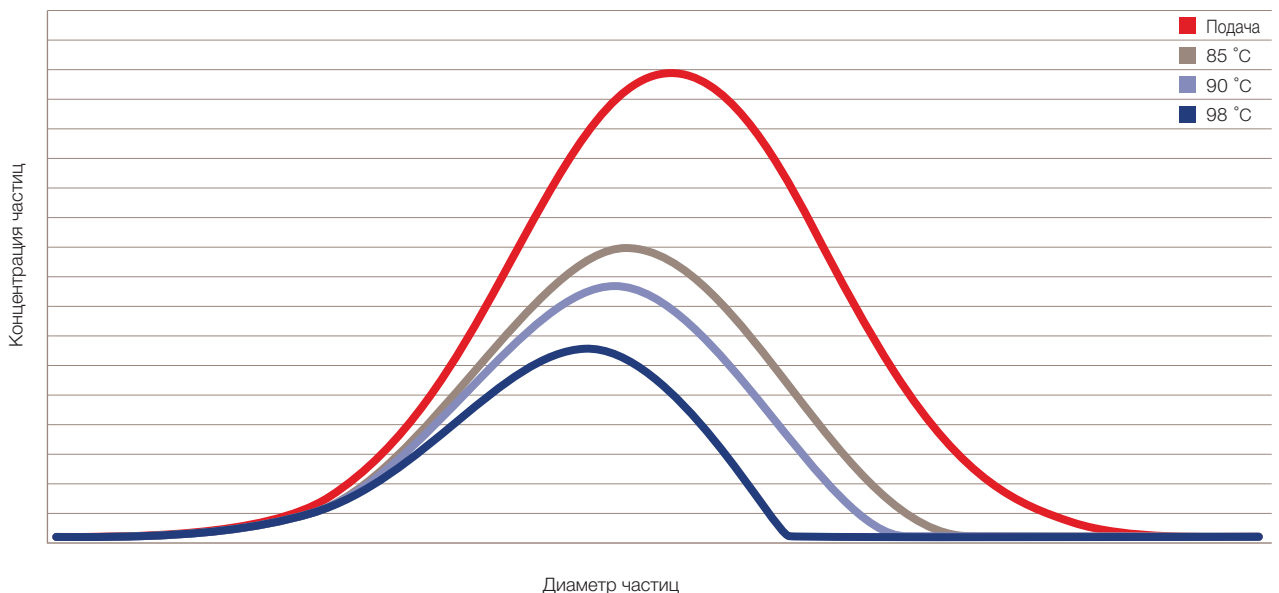
Эффективность сепарации, продемонстрированная за счет изменения концентрации частиц после сепарации, когда расход уменьшается со 100% до 75% и 50% от максимально рекомендуемой мощности. Красная кривая представляет собой концентрацию частиц на входе в сепаратор.

4.2.3 Температура

Другим параметром, который может быть изменен для повышения эффективности сепарации, является вязкость нефтепродукта. По мере увеличения температуры топлива его вязкость уменьшается. Если температура снижается до 90 °С, расход топлива должен снизиться до 72% от номинального расхода, чтобы поддерживать эффективность сепарации на том же уровне, который может быть достигнут при 98 °С. При 85 °С расход необходимо снизить до 50%.

На Рисунке 16 показано, что происходит с эффективностью сепарации, если температура снижается, а расход остается неизменным. Может показаться естественным рассматривать эффективность сепарации топлива при температурах выше 98 °С вследствие потенциального повышения эффективности за счет увеличения температуры сепарации. Тем не менее текущий предел на уровне 98 °С является оптимальным вариантом по соображениям безопасности.

Влияние температуры на эффективность сепарации

**Рисунок 16. Влияние температуры на эффективность сепарации.**

Красная кривая показывает концентрацию частиц в подаваемом нефтепродукте, в то время как другие кривые указывают на концентрацию частиц на выходе из сепаратора при температуре сепарации 85 °С, 90 °С и 98 °С.

4.3 Конструкция топливной системы

Уже более 25 лет назад судоходная отрасль адаптировала бортовые системы для работы на тяжелом дизельном топливе. Были приложены дополнительные усилия для включения вспомогательных двигателей, работающих на тяжелом топливе. Это снизило затраты, а также упростило конфигурацию топливной системы. Природоохранное законодательство предъявляет дополнительные требования к проектированию и конфигурации топливной системы, когда суда больше не могут работать на тяжелом дизельном топливе в Зонах эмиссионного контроля. Со вступлением в силу в 2020 году ограничений на содержание серы в судовом топливе на уровне 0,50% ожидается увеличение использования флотского мазута и других смесей на основе дистиллятов и остаточного топлива. Однако чистые дистилляты, такие как судовая газойль, по-прежнему будут использоваться в Зонах эмиссионного контроля.

4.3.1 Однотопливная система

В случае системы подготовки топлива для судна, работающего на одном типе топлива, рекомендуется использование двух сепараторов (Рисунок 17). При работе на полную мощность одного из сепараторов, как правило, достаточно для подачи топлива в расходной танк; другой сепаратор обычно остается в режиме ожидания. Эта простая и эффективная система подходит для судов, использующих только один вид топлива в течение очень длительных периодов времени, когда редко требуется переход на другой вид топлива.

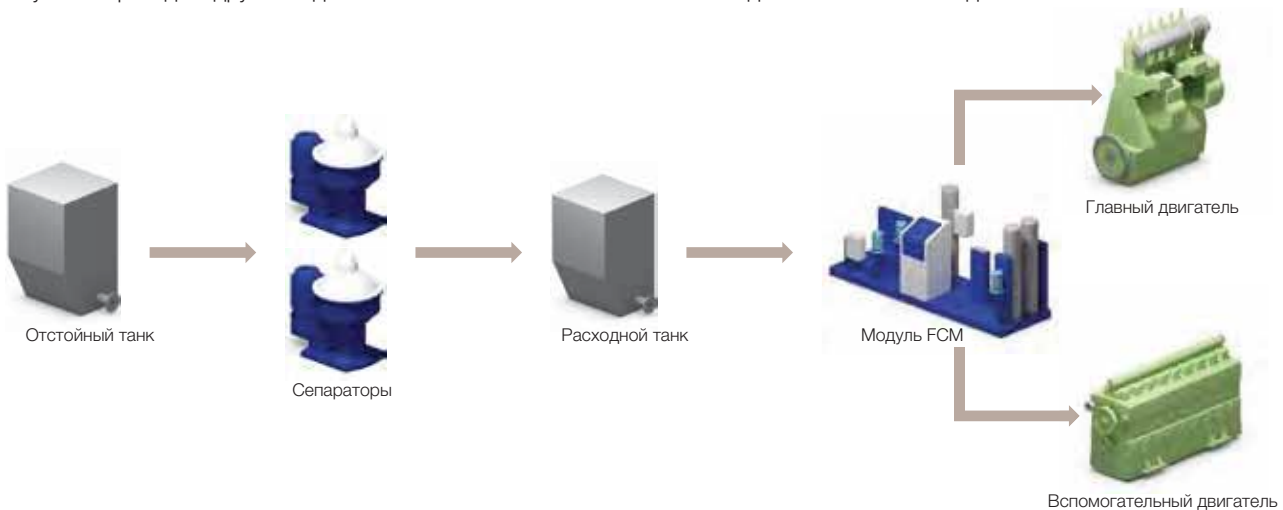


Рисунок 17. Конфигурация однотопливной системы подготовки.

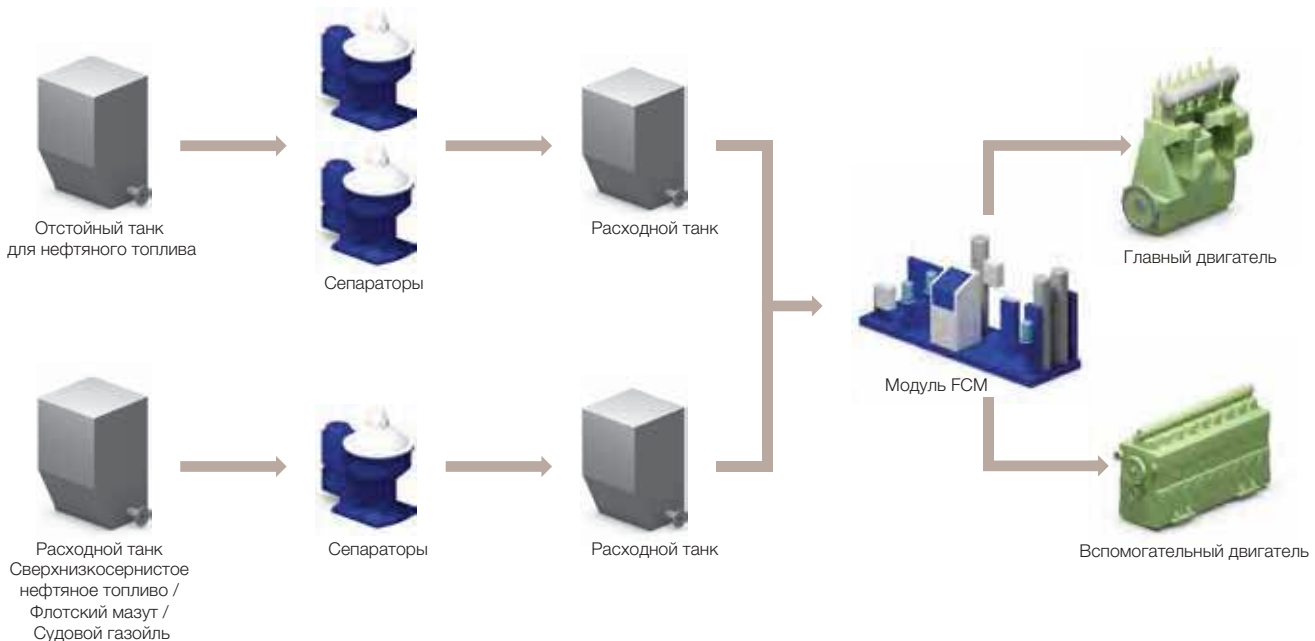


Рисунок 18. Конфигурация топливной системы для судов, работающих на нескольких видах топлива.

4.3.2 Многотопливные системы

Системы для тяжелого дизельного топлива, сверхнизкосернистого нефтяного топлива (ULSFO) и дистиллятов должны оставаться отдельными, не допускающими смешения топлива; это снижает риск загрязнения одного топлива другим, что нередко приводит к возникновению проблем совместимости видов топлива и нарушения норм, принятых в Зонах эмиссионного контроля. Фактически, если содержание серы в топливе, используемом в Зоне эмиссионного контроля, очень близко к предельно допустимому значению, применение даже небольшого количества тяжелого дизельного топлива может рассматриваться как несоблюдение требований. Во избежание подобных проблем необходимо четко разделять виды топлива по всей топливной линии.

Более того, полное дублирование топливной линии (Рисунок 18) дает дополнительные преимущества судоходной компании с точки зрения снижения эксплуатационных расходов и повышения гибкости. Отдельные расходные резервуары позволяют управлять сменой топлива по ходу движения нефтепродукта, что приводит к значительному ускорению процедуры и сокращению использования дорогостоящего легкого топлива. Кроме того, отдельные бустерные системы для главных и вспомогательных двигателей позволяют экипажу самостоятельно управлять двигателями с использованием соответствующего топлива. Дополнительный трубопровод также помогает экипажу работать с большей гибкостью, используя различные виды топлива для вспомогательных двигателей.

4.3.3. Важность очистки тяжелого дизельного топлива, флотского мазута и судового газойля в разных сепараторах

Использование существующих сепараторов, в которых очищается тяжелое дизельное топливо, для очистки судового газойля создает некоторые проблемы. Случайное смешивание топлива с более высоким содержанием серы и судового газойля даже в небольших количествах может привести к образованию топлива, отклоняющегося от спецификаций, и вызвать множество проблем. Чтобы предотвратить эти проблемы, систему необходимо очистить, пропуская судовую газойль по трубам до тех пор, пока система не будет очищена от высокого уровня содержания серы. И это вновь оказывается источником ряда проблем при подготовке топлива.

- Проблема несовместимости: не рекомендуется смешивать флотский мазут, судовую газойль и тяжелое дизельное топливо. Это нередко приводит к серьезным сбоям при работе с топливом, если тяжелое дизельное топливо становится неустойчивым и в нем начинает образовываться большое количество осадка, который очень сложно устранить; в тяжелых случаях вся топливная система может засориться.
- Неспособность определить соответствие ограничениям на содержание серы, установленным в МАРПОЛ: без отправки образцов в лабораторию на анализ невозможно определить, соответствует ли флотский мазут требованиям к предельно допустимому уровню содержания серы, установленному в МАРПОЛ, и может ли он быть отправлен в резервуар для хранения. Такой анализ требует времени, и на практике это не самый подходящий вариант для большинства судоходных компаний.

4.3.4 Конструкция резервуара

Наклонные днища резервуара облегчают сбор и удаление каталитических частиц, твердой фракции и воды, предотвращая их перемешивание с топливом в штормовую погоду. Перепускная труба между расходным танком и отстойным танком направляет нефтепродукт обратно в отстойный танк при снижении нагрузки на двигатель. Перепускная труба в днище расходного танка отводит топливо с наивысшей концентрацией каталитических частиц, не допуская его попадание в двигатель.

4.3.5 Переход на другой вид топлива

Смена топлива при вхождении в Зону эмиссионного контроля является неотъемлемой частью концепции управления несколькими видами топлива, обеспечивая их плавную смену и предотвращая смешивание (Рисунок 19). Расположение переключателя вблизи двигателя помогает соблюсти технику безопасности и минимизирует количество высокосернистого топлива в трубопроводе при переходе с тяжелого дизельного топлива на дистиллят. Помимо этого, использование данных GPS, предоставленных системой контроля, также помогает соблюсти правила в отношении выбросов серы, так как гарантирует, что смена топлива произойдет до входа в Зону эмиссионного контроля.

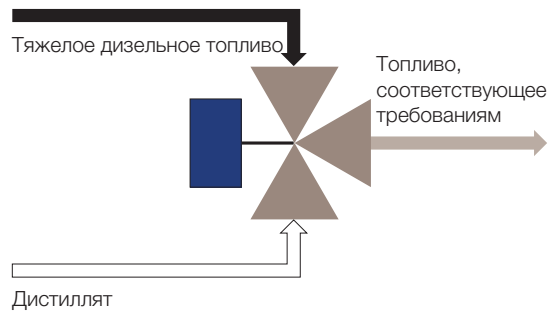


Рисунок 19. Смена топлива при вхождении в Зону эмиссионного контроля.

4.4 Технические решения

Портфолио Alfa Laval включает в себя высокоэффективные установки для подготовки топлива, образующие законченную цепочку его переработки. Проблема современных судов заключается в том, что система подготовки топлива часто работает на полную мощность, даже если судно идет «на малых ходах». За счет объединения отдельных видов оборудования в линию подготовки топлива и адаптации к фактической нагрузке двигателя процесс подготовки топлива может выполняться гораздо более эффективным способом. Уменьшение расхода топлива в сепараторах при умеренной скорости судна не только экономит энергию, но и снижает риск попадания каталитических частиц в двигатель. В этом разделе описываются некоторые технологии Alfa Laval и способы применения этих технологий для оптимизации работы судна за счет интеллектуальных решений.

4.4.1 Технология Alcar™

В начале 1970-х годов во время нефтяного кризиса нефтеперерабатывающие заводы были вынуждены извлекать все большее количество легкой фракции из сырой нефти для повышения своей рентабельности. Для этого были разработаны различные методы перегонки, что привело к снижению качества и повышению плотности тяжелого дизельного топлива, сделав его практически неподходящим для обработки с помощью обычных очистителей. Показатели плотности и вязкости топлива стали слишком высокими, и в результате производители сепараторов были вынуждены разрабатывать усовершенствованные методы разделения фракций. Предел плотности для старых обычных сепараторов Alfa Laval составлял 991 кг/м³ и 600 сСт; однако плотность имеющихся на сегодняшний день продуктов составляет 1000 кг/м³ или еще выше. В ответ Alfa Laval приступила к перепроектированию сепараторов для обработки продуктов с более высокой плотностью. В разработанном компанией решении Alcar (Рисунок 20) предел плотности для новых сепараторов был увеличен до 1010 кг/м³, а предел вязкости был установлен на уровне 700 сСт.



Рисунок 20. Сепарационная система на базе технологии Alcar™.

Конструкция сепаратора

Сепараторы выполняют две основные функции:

- очистка – разделение двух жидкостей разной плотности (топлива и воды)
- осветление – отделение твердой фазы от жидкости (в отношении судовых видов топлива твердая фаза представляет собой, прежде всего, каталитические частицы)

Внутри сепаратора барабан вращается очень быстро, используя для работы центробежную силу. При использовании обычных технологий для очистки топлива в барабан помещается гравитационный диск, служащий границей между топливом и водой. Когда барабан вращается, сепаратор непрерывно сбрасывает воду. Гравитационный диск должен соответствовать плотности и вязкости топлива, но более тяжелые виды топлива представляют определенную проблему и, как отмечено выше, обычные сепараторы ограничены плотностью до 991 кг/м³ при 15 °С. Следовательно, в обычном устройстве очиститель обычно устанавливается после второго сепаратора, предназначенного для осветления топлива.

При использовании технологии Alcar в гравитационном диске больше нет необходимости, а сепаратор способен обрабатывать более плотные виды топлива (до 1010 кг/м³ при 15 °С) с большей степенью вязкости. Диски предназначены для работы с более широким диапазоном видов топлива без дополнительной регулировки. При работе сепараторы этого типа используются как осветлители, но при необходимости автоматически контролируют содержание воды и сливают ее через выпускной клапан. Сепараторы на базе технологии Alcar также более энергоэффективны, чем обычные разработки.

Управление клапаном слива воды

Когда возникает необходимость, клапан слива воды следует открывать, чтобы слить воду. Чтобы понять, когда следует открыть клапан, требуется постоянно контролировать полный расход топлива на выходе чистого продукта. Как только обнаруживается повышенный уровень воды, блок управления инициирует либо слив, либо сброс твердой фазы, в зависимости от ситуации. Датчик воды контролирует содержание воды в топливе, измеряя проводимость топлива на выходе. С технической точки зрения, датчик выступает в качестве конденсатора. Электрическая емкость изменяется в зависимости от диэлектрической проницаемости жидкости, и между диэлектрической проницаемостью воды и топлива существует значительная разница. Поэтому изменения проводимости очень точно отражают изменения в содержании воды. Содержание воды измеряется с учетом ее наличия как в свободном состоянии, так и в виде эмульсии. Чем выше это значение, тем больше воды содержится в топливе. Топливо имеет диэлектрическую проницаемость приблизительно от 4 до 6, а вода – примерно от 90 до 95. Это означает, что даже небольшое количество воды резко увеличит значение проводимости и тем самым указывает на присутствие в топливе воды.

Процесс

Alcar представляет собой единственную технологию сепарации на современном рынке, которая позволяет непрерывно измерять содержание воды в чистом топливе на выходе из сепаратора. На основе этого измерения автоматически регулируется поверхность раздела топливо/вода в барабане сепаратора. Это позволяет сепарировать разные виды топлива плотностью до 1010 кг/м³, не меняя гравитационные диски, как это требуется в случае использования обычных сепараторов.

Потери топлива при применении технологии Alcar весьма незначительны. Это происходит из-за того, что в момент прострела подача топлива перекрывается и топливо вытесняется водой из барабана сепаратора.

4.4.2 FlowSync™ – оптимизация энергопотребления и расхода топлива

На сегодняшний момент нефтепродукт может подаваться в сепараторы в максимально допустимом объеме в любое время. Во время движения «на малых ходах» это означает, что количество топлива, которое должно быть пропущено через сепаратор, больше, чем объем топлива, которое должен получить двигатель из расходного резервуара. Поэтому происходит весьма значительная рециркуляция топлива.

Использование системы управления насосами FlowSync на топливной линии (Рисунок 21) позволяет отрегулировать расход топлива в сепараторах до фактической нагрузки двигателя.

Когда скорость подачи топлива в сепараторы снижается, разделение фракций становится более эффективным, при этом меньше энергии потребляется как подающими насосами, так и самими сепараторами.

Эффективность сепарации увеличивается, потому что топливо в барабане сепаратора остается дольше, что позволяет отделять частицы с более низкой скоростью осаждения из нефтепродукта.

Также имеется возможность использовать онлайн-симулятор производительности FlowSync (Рисунок 22), который позволяет операторам устанавливать несколько переменных для индикативного измерения потенциальной экономии энергии, которая может быть достигнута путем оптимизации скорости подачи.

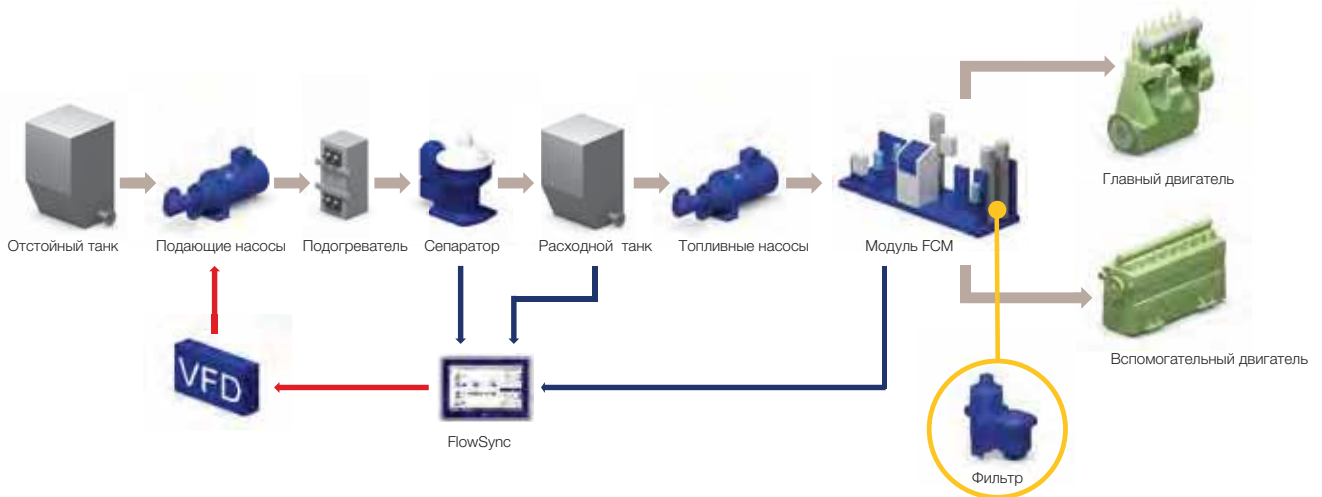


Рисунок 21. Топливная Линия, созданная для управления скоростью подачи топлива в сепараторы. FlowSync управляет скоростью расхода топлива, сопоставляя скорость подающего насоса с фактической нагрузкой двигателя.

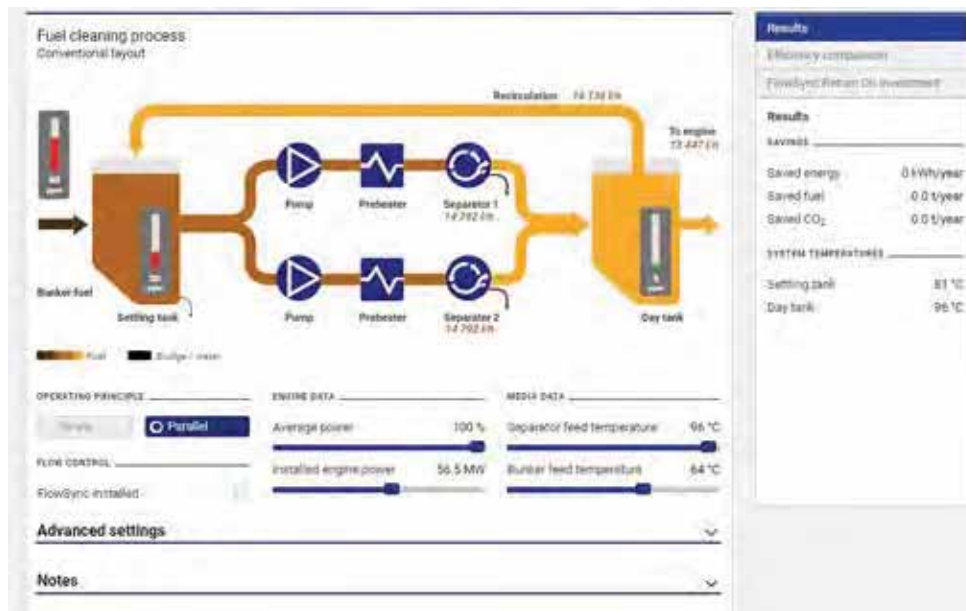


Рисунок 22. Интерфейс симулятора производительности FlowSync. Симулятор позволяет операторам моделировать экономию энергии за счет управления скоростью подачи топлива.

4.4.3 Высокотемпературная сепарация

Степень вязкости топлива сильно зависит от его температуры. Чем выше температура, тем меньше вязкость; чем меньше вязкость, тем выше эффективность сепарации.

Тяжелое дизельное топливо, как правило, нагревается до 98 °С, что предотвращает закипание воды.

Также важно отметить, что дистилляты имеют более низкую температуру вспышки, чем тяжелое дизельное топливо. Поэтому чрезмерное повышение температуры может создать взрывоопасную атмосферу. Однако дистилляты, как правило, имеют значительно меньшую вязкость, чем тяжелое топливо, поэтому при их сепарации высокая температура не требуется.

4.4.4 PureDry – энергоэффективность и восстановление топлива

Во время подготовки и очистки топлива некоторое его количество теряется в виде шлама. Исходя из опыта, потери нефтяного топлива оцениваются в пределах 1% от общего потребления бункерного топлива на судне. Источниками восстанавливаемого топлива являются:

- Отходы, образующиеся при непрерывной обратной промывке фильтров с аванкамерой
- Отходы, образующиеся на дне отстойных и расходных танков, на комингсах резервуаров и в перемычках
- Протечки в топливоподающих насосах
- Отходы топлива в каплесборниках под насосами для перекачки топлива и т. д.
- Утечки из труб
- Разливы топлива
- Отходы нефтепродуктов в топливных фильтрах

Для эффективного восстановления топлива его отходы из этих источников необходимо собирать в отдельном резервуаре и не смешивать с утекшим смазочным маслом, гидравлическим маслом и другими видами масел, которые нельзя использовать в составе восстановленного топлива. Система PureDry, разработанная Alfa Laval (Рисунок 23), позволяет обрабатывать отходы топлива в резервуаре, непрерывно отделяя воду и твердую фракцию, восстанавливая тем самым ту часть топлива, которую можно будет использовать повторно. В результате на выходе из системы обычно можно получить:

- Воду с содержанием топлива <1000 ppm
- Топливо с содержанием воды <5%
- Сверхсухую твердую фракцию (обычно 15–25 кг сверхсухого вещества в сутки)

Восстановленное топливо возвращается обратно в отстойный танк для повторного использования (Рисунок 24). Отделенная вода направляется в танк трюмных вод для дальнейшей обработки. Твердая фракция может выгружаться как твердые отходы и утилизироваться таким же образом, как и обтирочный материал и использованные фильтровальные картриджи. Система PureDry способна очищать топливо плотностью до 991 кг/3 (при 15 °С).

4.4.5 ACS – автоматизированная система перехода на другой вид топлива

Сжигание дистиллятного топлива в дизельных двигателях имеет некоторые значимые моменты, которые могут повлиять на работу системы впрыска двигателя, насосы и другое оборудование. Первое, с чем приходится столкнуться, это вязкость топлива при впрыске, которая влияет на смазочную способность деталей системы впрыска топлива. Далее, поскольку температура впрыска дистиллятного топлива намного ниже, чем температура тяжелого дизельного топлива, перепад температур обуславливает появление второй проблемы: внезапное изменение температуры может стать причиной термического удара внутри системы впрыска.

Чтобы решить эти проблемы и поддерживать правильные параметры топлива в точке впрыска важно, чтобы модуль подачи топлива позволял управлять переходом на другой вид топлива простым и безопасным способом, путем регулирования диапазона температур внутри системы, а также поддерживал правильную температуру легкого топлива в точке впрыска.



Рисунок 23. Система PureDry производства Alfa Laval.

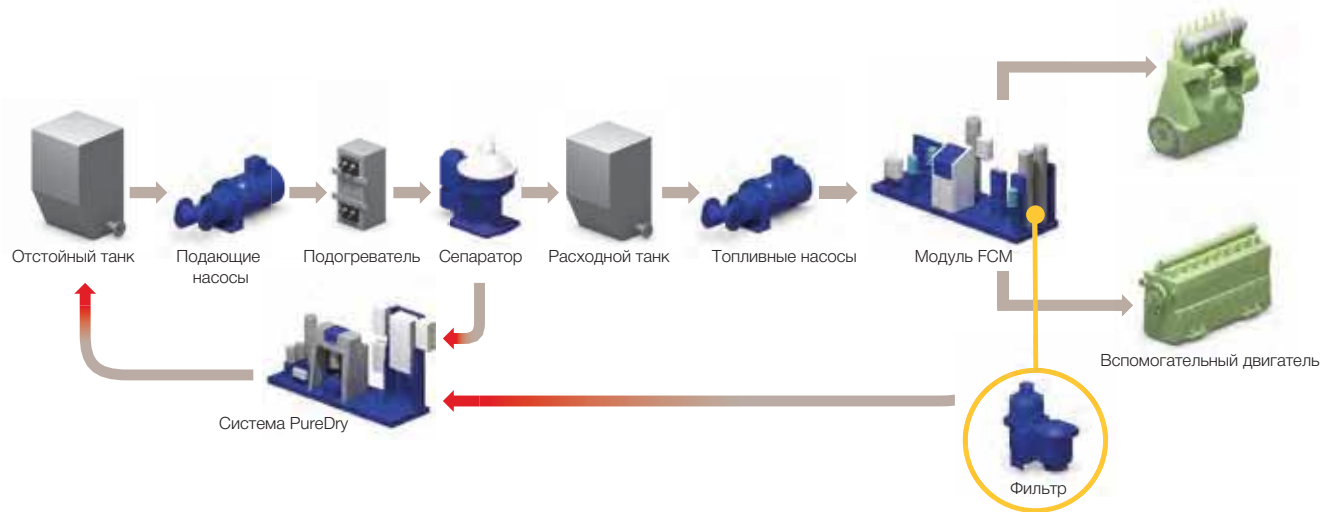


Рисунок 24. Топливная линия со встроенной системой PureDry.

PureDry восстанавливает топливо из отходов за счет его разделения на топливо для вторичного использования, воду и сверхсухую фракцию. Восстановленное топливо возвращается обратно в отстойный танк для повторного использования.



Рисунок 25. Автоматизированная система перехода на другой вид топлива Alfa Laval.

Автоматизированная система перехода на другой вид топлива Alfa Laval (ACS) представляет собой надежную, полностью автоматическую систему, которая облегчает переход на другой вид топлива независимо от его качества, поддерживая вязкость топлива в пределах, установленных производителями двигателей (Рисунок 25). Встроенная в ступень высокого давления, система ACS позволяет объединить нагреватели с системой параллельного охлаждения.

ACS позволяет:

- Контролировать переход от высокой температуры впрыска тяжелого дизельного топлива к низкой температуре впрыска дистиллятного топлива, сохраняя температурный градиент в пределах рекомендованного производителем диапазона.
- Поддерживать температуру дистиллятного топлива и его вязкость в пределах значений, установленных производителем двигателей.

ACS сконфигурирована для работы с любой системой подачи топлива и может быть легко установлена в качестве устройства для модернизации всей системы.

4.4.6 Модуль подготовки топлива FCM One

Подготовка топлива заключается в обработке тяжелого топлива с помощью бустерной системы для обеспечения давления, температуры, вязкости и нормы расхода, указанных производителями дизельных двигателей. Эти параметры имеют важное значение для эффективной работы двигателя. Вследствие этого сохранение данных параметров важно как для обеспечения эффективности энергопотребления, так и для сокращения выбросов.

Сегодня подготовка топлива охватывает гораздо больше, чем очистка тяжелого дизельного топлива, особенно на морских судах. Законодательство, регулирующее выбросы, вынуждает судовладельцев использовать более легкие и более дорогие виды топлива и дистилляты, в то время как цены на топливо заставляют прибегать к остаточному топливу. В настоящее время большинство судов работают на двух или более видах топлива, что создает проблемы с эксплуатацией оборудования и безопасностью при переходе с одного вида топлива на другое.

Различные суда решают эти проблемы по-разному, поэтому, хотя на некоторых судах могут иметься двигатели с одинаковыми характеристиками, к их бустерным системам могут применяться различные требования.

Модуль FCM One производства Alfa Laval (Рисунок 26) представляет собой модернизированный вариант оригинального модуля подготовки топлива, разработанного Alfa Laval, который обеспечивает новый уровень функциональности. Модуль FCM One позволяет подготовить топливо в точном соответствии с параметрами двигателя; помимо этого, он оснащен встроенной автоматикой, которая позволяет настраивать его для работы с несколькими видами топлива (до четырех различных видов топлива на одном судне), смешивать топливо в определенном соотношении массовых долей и управлять автоматической сменой топлива, предотвращая смешивание его несовместимых видов.

4.4.7 Электронный журнал учета топлива для обеспечения соответствия требованиям

Конструкция специально разработанной системы, а также функции автоматического мониторинга и регистрации помогают обеспечивать соответствие судов экологическим нормам согласно требованиям Международной морской организации, Совета по чистоте воздуха Калифорнии (ARB) и директивам ЕС относительно содержания серы в топливе. Помимо технических решений очень важную роль играет знание законодательства и порядка работы в определенных ситуациях. Например, важно знать критерии проверки и последствия несоблюдения упомянутых выше требований, а также то, как технологическая неисправность может повлиять на способность судна соответствовать всем нормам. Технические решения, подобные описанным в Таблице 7, могут помочь владельцам судов и судоходным компаниям избежать штрафов за несоблюдение требований.

FCM One обеспечивает защищенную цифровую регистрацию данных, которая может помочь владельцам судов документировать процессы и демонстрировать их соответствие законодательству.



Рисунок 26. Модуль FCM One производства Alfa Laval.

Смешивание	Смена	Информация о бункерном топливе	Сигнал GPS
% Топлива 1	Положение клапана управления 1	Номер товарной накладной на бункерное топливо	Широта
% Топлива 2	Положение клапана управления 2	Марка нефтяного топлива	Долгота
Содержание серы	Содержание серы	Содержание серы	Время UTC/GMT
Расход топлива	Вязкость	Номер аналитического отчета	
Вязкость	Температура	№ образца печати МАРПОЛ	
Температура		Количество загруженного топлива	

Таблица 7. Входные данные для электронного журнала учета топлива.

4.4.8 Топливные фильтры Moatti – Защита двигателя

Топливный фильтр Moatti производства Alfa Laval (Рисунок 27) является последним компонентом системы подготовки топлива, позволяющим захватывать и удалять большую часть оставшихся частиц, и устанавливается непосредственно перед двигателем.



Рисунок 27. Топливный фильтр Moatti производства Alfa Laval.

В соответствии с текущими рекомендациями система Moatti использует фильтр с размером ячейки 10 мкм, установленный в системе рециркуляции топлива, на горячей стороне. Для обеспечения лучшей защиты двигателя фильтр следует устанавливать как можно ближе к нему.

Топливный фильтр Moatti оснащен функцией непрерывной автоматической обратной промывки и аванкамерой, при этом для управления процессом обратной промывки используется фильтрованное топливо. В отличие от последовательных систем обратной промывки, в которых для очистки фильтрующего элемента используется воздух, система Moatti не подвержена образованию термического осадка.

Кроме того, в фильтре Moatti используется аванкамера для последующей обработки топлива, что позволяет топливу, используемому для обратной промывки, постоянно освобождаться от загрязняющих примесей. В отличие от некоторых других систем, в которых на этом этапе используются одноразовые картриджи, фильтр Moatti не предполагает использования дополнительных расходных материалов.

Топливо, использовавшееся для обратной промывки, повторно фильтруется перед рециркуляцией в системе и не требует дополнительной обработки.

4.4.9 2Touch – Контроль очистки топлива

В целях оптимизации оборудования для очистки топлива необходимо использовать новейшие технологии и соответствующие знания. Сегодня информационные технологии предоставляют огромные возможности для оптимизации производительности установки с точки зрения энергоэффективности и повышения качества топлива. В сочетании с разработанной Alfa Laval системой управления 2Touch помогает операторам контролировать процесс сепарации.

В 2Touch, разработанном Alfa Laval, используется цветная сенсорная панель (Рисунок 28). Она позволяет вводить данные конфигурации системы, настраивать и калибровать компоненты системы, регистрировать аварийные сигналы, предоставляя средства для обработки значений параметров, необходимых для системной диагностики технологии и оптимизации процессов, сохранения процессов и инструкций, а также выполнения множества других функций.

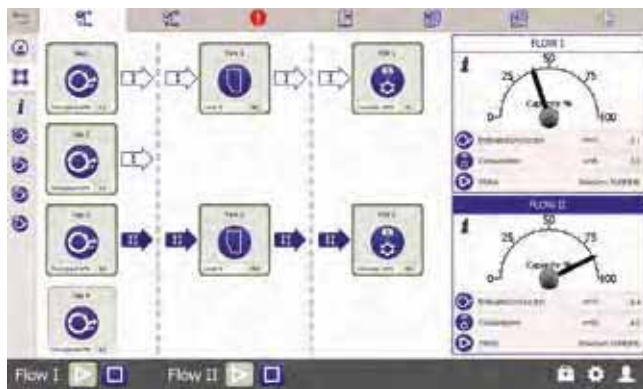


Рисунок 28. 2Touch Alfa Laval.

4.5 Современная Линия топливоподготовки

Концепция современной Линии топливоподготовки объединяет все отдельные компоненты цепочки подготовки топлива, оптимизированные для снижения энергопотребления, повышения эффективности и обеспечения безопасности работы.

Ядром системы подготовки топлива являются сепараторы Alcar™ благодаря их гибкости при работе с различными видами топлива, отличающимися по плотности. Поскольку плотность тяжелого дизельного топлива значительно варьируется при сочетании с различными низкосернистыми смесями, важно поддерживать высокую эффективность сепарации при работе с разными видами топлива.

Если двигатели не работают на полную мощность, как часто бывает, FlowSync снижает расход топлива в сепараторах и соотносит его с фактической нагрузкой двигателя. При этом потребление энергии снижается, а эффективность работы сепаратора возрастает, поскольку топливо более длительное время остается в барабане сепаратора. FlowSync гарантирует, что расходный танк всегда заполнен с небольшим избытком для обеспечения рециркуляции.

В качестве бустерной системы FCM One задает параметры топлива, необходимые для оптимальной эффективности двигателя с точки зрения температуры, вязкости, давления, расхода и защиты от воздействия каталитических частиц. Данный модуль также обеспечивает плавный переход с одного вида топлива на другой при работе с несколькими видами, например, при входе в Зону эмиссионного контроля или выходе из нее.

Перед поступлением топлива в двигатель оно пропускается через топливный фильтр. Фильтр Moatti представляет собой автоматическую систему обратной промывки, которая защищает двигатель от зольных примесей и других крупных твердых частиц. Частицы выпадают в осадок на дне фильтра.



Затем система PureDry обрабатывает отходы топлива из сепараторов, фильтров, расходных танков и других источников. Эта трехфазная система позволяет отделить топливо от воды, при этом сверхсухая твердая фракция скапливается в нижней части установки. Восстановленная топливная фаза затем возвращается обратно в отстойный танк и снова проходит процесс очистки.

Для дополнительной безопасности модуль контроля каталитических частиц отслеживает их уровень в разных зонах вдоль всей цепочки подготовки топлива. Во время качки, вызванной штормом, большая концентрация осажденных частиц в расходном танке может смешиваться с топливом и вместе с ним поступать в двигатель. В таком случае система может переключаться на другое, более чистое топливо.

На Рисунке 29 показана одна из возможных конфигураций современной Линии топливоподготовки, объединяющей в себе основные элементы, описанные в этой брошюре.

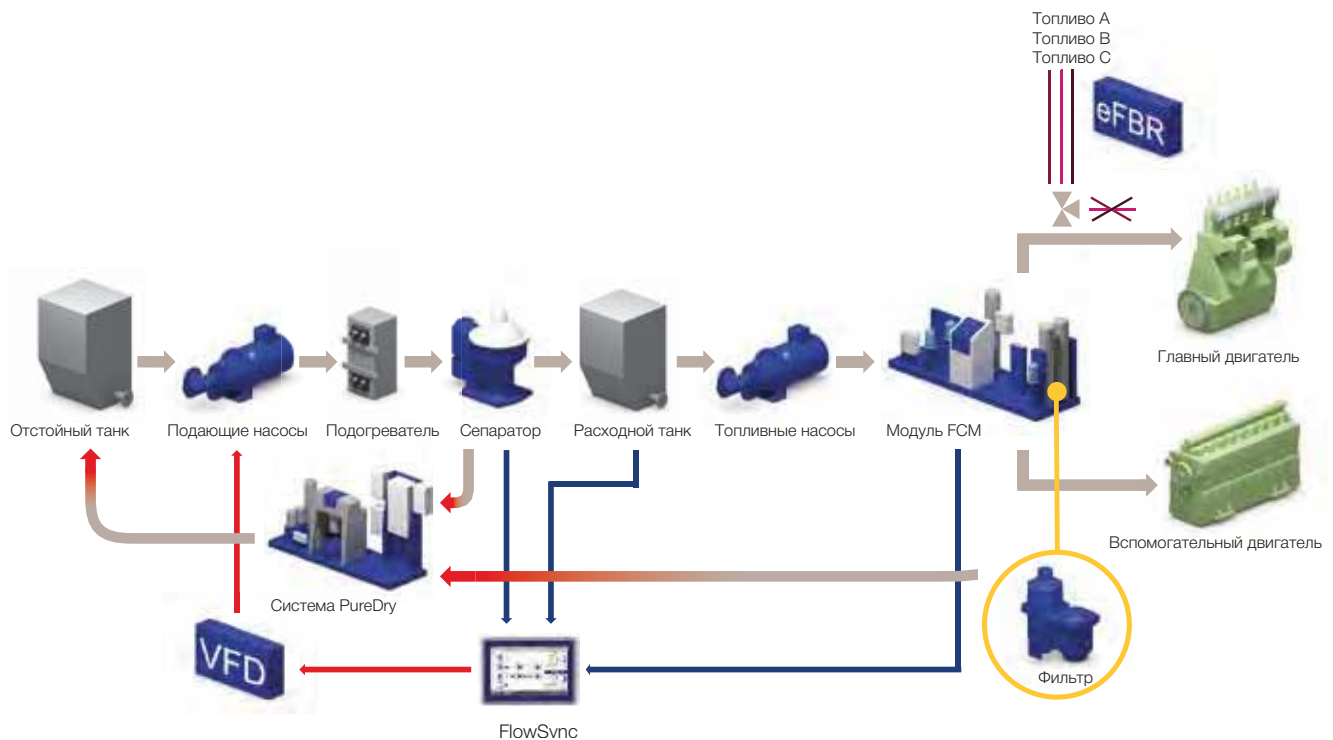
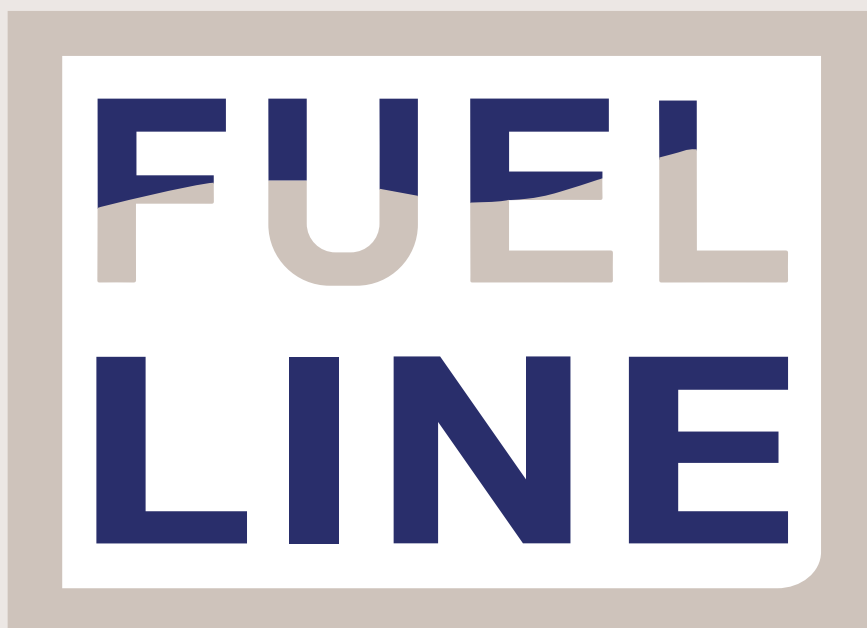


Рисунок 29. Типичная конфигурация современной Линии топливоподготовки Alfa Laval.



5 Список сокращений

Сокращение	Описание
ACS	Автоматизированная система перехода на другой вид топлива
APA	Антверпен-Роттердам-Амстердам
(C)ARB	Совет по чистоте воздуха Калифорнии
CP	Сертифицированная производительность
CIMAC	Международный совет по двигателям внутреннего сгорания
ECA	Зона эмиссионного контроля
eFRB	Электронный журнал учета топлива
FAME	Метилвый эфир жирных кислот (биодизель)
FCM	Модуль подготовки топлива
HDME	Зона эмиссионного контроля над содержанием серы в тяжелом и дистиллятном судовом топливе
HFO	Тяжелое дизельное топливо
HVO	Гидроочищенные растительные масла
IMO	Международная морская организация
ISO	Международная организация по стандартизации
LPG	Сжиженный природный газ
LNG	Сжиженный нефтяной газ
MARPOL	Международная конвенция по предотвращению загрязнения вод с судов
MCR	Максимальная допустимая непрерывная нагрузка
MDO	Флотский мазут – смесь дистиллятов и остаточного нефтяного топлива
MEP	Среднее эффективное давление
MPEC	Комитет по защите морской среды
MGO	Судовой газойль – дистиллят, практически не содержащий серы
MRC	Максимальная рекомендуемая производительность
ULSFO	Сверхнизкосернистое нефтяное топливо
VFD	Частотно-регулируемый привод
VLSFO	Низкосернистое нефтяное топливо



Использованная литература

1. Alfa Laval AB, "Alcap", EPS012-I-1 V1.*
2. Alfa Laval AB, BP Marine Ltd, MAN B&W Diesel A/S, "Marine diesel engines, catalytic fines and a new standard to ensure safe operation" («Морские дизельные двигатели, каталитические частицы и новый стандарт для обеспечения безопасной эксплуатации»), 2007.*
3. Alfa Laval AB, DNVPS, "Fuel treatment course" («Курс по подготовке топлива»), EPS002-E-1 V3, 2013.*
4. CE Delft, Assessment of Fuel Oil Availability – Final Report («Оценка доступности нефтяного топлива – Окончательный отчет»), 2016.
5. CIMAC, "Guideline for the Operation of Marine Engines on Low Sulphur Distillate Diesel" («Руководство по эксплуатации морских двигателей на низкосернистом дизельном дистилляте»), 2013.
6. CIMAC, Документ № 51, "Onboard Fuel Oil Cleaning, the ever-neglected process – How to restrain increasing Cat-fine damages in two-stroke Marine Engines" («Очистка нефтяного топлива на борту судна, процесс, о котором постоянно забывают – Как не допустить увеличения масштабов ущерба для двухтактных морских двигателей, вызванного каталитическими частицами»), 2013.
7. DNV GL, Global Sulphur Cap 2020 – Guidance paper (Директива об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе 2020 – Руководство), 2016.
8. Директива Европейского союза 1999/32/ЕС.
9. Директива Европейского союза 2005/33/ЕС.
10. Директива Европейского союза 2009/30/ЕС.
11. Директива Европейского союза 2012/33/ЕС.
12. IBIA, "Signals hinting at 2020 entry into force of 0.50% global sulphur cap" («Признаки того, что в 2020 году должно вступить в силу ограничение максимального содержания серы в судовом топливе до 0,50%), 2016.
13. Приложение VI, МАРПОЛ (ИМО).
14. IMO, IMO sets 2020 date for ships to comply with low sulphur fuel oil requirement («ИМО, ИМО утверждает 2020 год в качестве даты перехода судов на низкосернистое нефтяное топливо в соответствии с ее требованиями»), пресс-конференция от 28.10.2016 г.
15. ISO 8217:2012 Нефтепродукты – Топлива (класс F) – Спецификации на судовые топлива.
16. Сервисный бюллетень MAN D&T SL2016-615/JFH, "Fuel Oil Backflushing Filter" («Топливный фильтр с обратной промывкой»).
17. Сервисный бюллетень MAN D&T SL2017-638/DOJA, "Cleaning of Heavy Fuel Oil and Maximum 0.10% Sulphur Fuels – How to remove cat fines" («Очистка тяжелого нефтяного топлива и топлива с максимальным содержанием серы в пределах 0,10% – Как удалить каталитические частицы»).
18. Сервисный бюллетень MAN D&T SL2017-640/LNW, "Heavy Fuel Oil Cleaning – Removal of abrasive particles" («Очистка тяжелого нефтяного топлива – Удаление абразивных частиц»).
19. Outlook for Marine Bunkers and Fuel Oil to 2035 («Перспективы использования морских бункерных топлив и нефтяного топлива до 2035 года»), Marine and Energy Consulting Ltd.
20. Platts, "The IMO's 2020 global sulphur cap – What a 2020 sulphur-constrained world means for shipping lines, refiners and bunker suppliers" («Директива ИМО об ограничении максимального содержания серы в судовом топливе-2020. Что будет представлять собой мир в 2020 году после вступления в силу ограничений на содержание серы для судоходных компаний, нефтепереработчиков и поставщиков бункерного топлива»), 2016 год.
21. Технический бюллетень Wärtsilä RT-140 29/11/2012.*

* Онлайн-версия документа недоступна.

Коротко о компании Alfa Laval

Компания Alfa Laval является ведущим мировым поставщиком специализированных продуктов и инженерных решений.

С помощью наших технологий, оборудования и обслуживания мы помогаем заказчикам оптимизировать их производственные процессы. Последовательно и постоянно.

Наши решения позволяют заказчикам нагревать и охлаждать, разделять и транспортировать масла, воду, химикаты, напитки, продукты питания, крахмал и фармацевтические препараты.

Мы тесно работаем с нашими заказчиками почти в 100 странах и помогаем им занимать лидирующие позиции в бизнесе.

Контактные данные компании Alfa Laval

Контактная информация для всех стран постоянно обновляется на нашем веб-сайте. Для получения информации посетите сайт www.alfalaval.com.