

Министерство образования, науки и молодежи Республики Крым
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Керченский государственный морской технологический университет»

САМЧУК АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

Номинация: «Технические науки»

**«Принципы построения системы автоматического проектирования
энергетической установки с улучшенными эксплуатационными и
экологическими характеристиками судов рыбопромыслового флота
Республики Крым»**

Научная работа
для участия в конкурсе
на соискание премии
Республики Крым «За научные
достижения в сфере приоритетных
направлений развития Крыма»
курсанта 6 курса
морского факультета

г. Керчь, 2022 г.

РЕФЕРАТ

В работе рассмотрены основные направления по повышению эксплуатационной, экологической и экономической эффективности работы судовой энергетической установки рыбопромыслового судна. Эти направления сформулированы на основе анализа современного состояния флота республики Крым. Выявлены особенности работы главного и вспомогательного энергетического оборудования рыбопромыслового судна при разных видах промысла и при различных режимах работы. В качестве решения одного из мероприятий автором предложена модель оптимального энергоиспользования работы судовой энергетической установки; рассмотрена задача оптимизации характеристик подсистем дизельной энергетической установки на примере СРТМ проекта 502Э; решена задача оптимизации конфигурации нагрузки преобразователей энергии СЭУ на примере СРТМ проекта 502Э, который активно эксплуатируется в Азово-Черноморском бассейне.

Ключевые слова: эксплуатационные и экологические характеристики, СЭУ рыбопромыслового судна, расход топлива, оптимизация работы

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА.....	5
1.1 Обзор условий эксплуатации СЭУ при различных видах промысла	5
1.2 Обзор существующих схем СЭУ рыбопромысловых судов	11
1.3 Анализ распределения потоков энергии СЭУ	16
Выводы по разделу 1.....	19
2 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭУ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА.....	20
2.1 Повышение эффективности СЭУ	20
2.2 Критерий энергосбережения.....	21
2.3 Критерий экологической эффективности.....	23
2.4 Способы и технические решения повышения эффективного использования судового топлива	24
Выводы по разделу 2.....	26
3 ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА.....	27
3.1 Модель оптимального энергоиспользования работы судовой энергетической установки.....	27
3.2 Решение задачи оптимизации конфигурации нагрузки преобразователей энергии СЭУ на примере СРТМ проекта 502Э.....	28
3.2 Задача повышения эффективности эксплуатации судовой энергетической установки на примере СРТМ проекта 502Э	33
Выводы по разделу 3.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39

ВВЕДЕНИЕ

Рыбная промышленность является одной из важнейших отраслей экономики Республики Крым. Во второй половине XX столетия собственный рыбопромысловый флот Крыма вел промысел во всем мировом океане, принося значительную прибыль государству. На данный момент численность рыболовецких судов значительно сократилась. В основном это средние и малые траулеры, работающие в акватории Азово-Черноморского бассейна. Средний возраст таких судов превышает 25 лет. Поэтому современное состояние рыбопромыслового флота Республики Крым требует его полного обновления согласно прогнозу социально-экономического развития России до 2036 года. Данная задача невозможна без осуществления научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новых судов и их оборудования. Преимуществами новых рыбопромысловых судов должны стать сокращение удельного потребления топлива, автоматизация технологических операций по добыче гидробионтов, использование более производительных судовых промысловых комплексов, повышение надежности судовых энергетических установок.

Целью данной работы является разработка основных принципов построения системы автоматизированного проектирования энергетической установки с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками судов рыбопромыслового флота Республики Крым.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих вспомогательных задач:

- обзор условий эксплуатации СЭУ при различных видах промысла;
- обзор существующих схем СЭУ рыбопромысловых судов;
- анализ распределения потоков энергии СЭУ;
- анализ основных направлений повышения эксплуатационной и экологической эффективности СЭУ;
- разработка оптимизационной модели работы судовой энергетической установки;
- решение задачи оптимизации конфигурации нагрузки преобразователей энергии СЭУ на примере СРТМ проекта 502Э.

Работа выполняется в рамках Госбюджетной НИР (РФ) «Повышение эффективности энергетического оборудования и систем», АААА-А19-119051690012-9. 2019/2022.

1 ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДА

1.1 Обзор условий эксплуатации СЭУ при различных видах промысла

У рыбопромысловых судов основным производственным процессом является добыча гидробионтов, для обеспечения которого необходима работа как главной энергетической установки, так и вспомогательных механизмов. В Азово-Черноморском бассейне основными видами промысла являются траловый (рис.1 а) и кошельковый лов рыбы (рис. 1 б), каждый из которых отличается выполняемыми операциями. Так, при траловом лове движение судна не останавливается при подъеме орудия лова с уловом. На промысловое грузоподъемное оборудование со стороны грузовой системы воздействуют нестационарные нагрузки, связанные с изменением параметров груза, ваера, трала. При таком лове на промысле одинаково задействованы, как главные, так и вспомогательные двигатели, грузоподъемные механизмы.

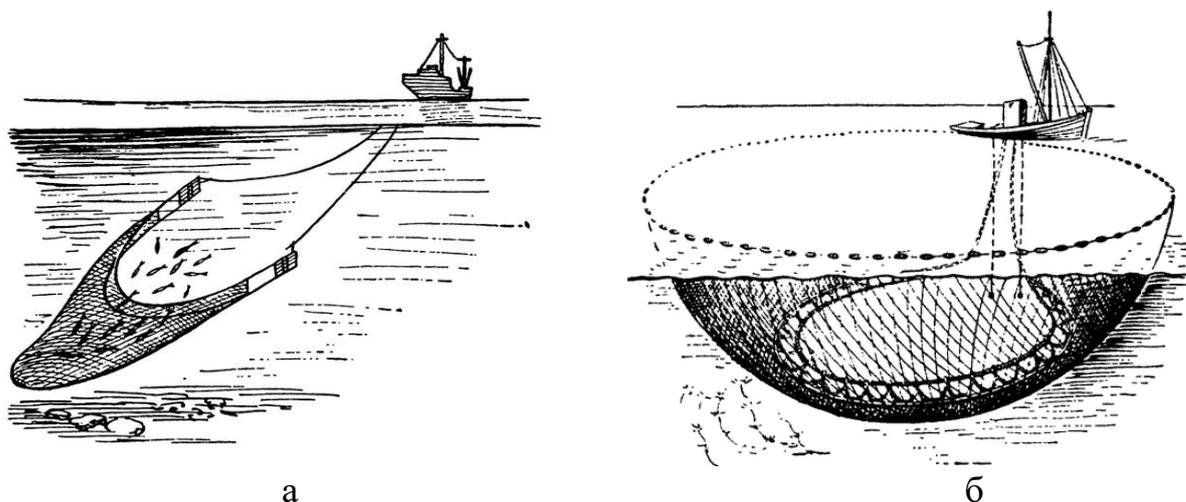


Рисунок 2 - Схема промысла рыбы: а – траловый лов; б – кошельковый лов

Кошельковый лов условно можно разделить на три этапа: замет, кошелькования, выливка улова. При замете в производственном процессе задействованы главные двигатели (обеспечивают безостановочное движение судна для выметывания невода по окружности вокруг косяка рыбы) и лебедки, собственно выметывающие невод. При кошельковании судно в основном не движется (исключение составляют случаи корректировки положения судна относительно невода), т.е. главные двигатели работают на малых долевых нагрузках. Основными механизмами, задействованными при кошельковании, являются вспомогательные двигатели и промысловое грузоподъемное оборудование. Особенностью процесса кошелькования также является переменность нагружения механизмов, вследствие изменения параметров невода (масса, форма, сопротивление, переход из водной среды в воздушную);

параметров ваера и жгута невода, наматываемых на барабан (изменение длины, сечения, массы, сопротивления, переход из водной среды в воздушную), что в совокупности влияет на появление нестационарных нагрузок на вспомогательное оборудование, даже на установившихся режимах работы. В процессе выливки улова также задействованы вспомогательные дизель-генераторы, обеспечивающие работу механизмов (рыбонасосов и лебедок).

Особые условия работы рыбопромысловых судов определяют специфику эксплуатации их энергетических установок. К числу основных факторов, от которых зависят режимы эксплуатации установок, относятся: назначение и тип судна, тип установки и назначение двигателя (главный, вспомогательный).

Суда, предназначенные для тралового лова рыбы, имеют два основных режима: свободный ход и траление. Работа двигателей судов, ведущих дрейферный лов, характеризуется большим числом переменных режимов. Свои особенности имеют режимы эксплуатации двигателей сейнеров, осуществляющих кошельковый лов, китобойных и других промысловых судов. На характер работы двигателей судов одинакового назначения влияет принятая схема промыслового устройства. Например, режимы двигателей траулеров с бортовой и кормовой промысловыми схемами различаются количеством маневров. Величина нагрузки на двигатель при тралении определяется рядом факторов: типом и размерами трала и распорных средств; длиной вытравленных ваеров и глубиной моря, характером грунта, метеорологическими условиями, необходимой скоростью траления и т. д.

Таким образом, от типа и назначения судна зависят необходимые скорости его движения и величина тяги, которые должен развивать движитель при работе с орудиями лова. На судах с разными энергетическими установками требования в отношении скорости и тяги могут обеспечиваться при различных режимах эксплуатации. Например, на двух одинаковых траулерах, один из которых оборудован обычным винтом фиксированного шага (ВФШ), а другой - ВРШ, режимы эксплуатации установок будут неодинаковыми.

В настоящем разделе не представляется возможным, описать все многообразие режимов и условий эксплуатации энергетических установок рыбопромысловых судов. Основное внимание уделено характеристике установившихся и переходных режимов для важнейших видов промысла (траловый, кошельковый и дрейферный) применительно к находящимся в эксплуатации типам судов.

Таблица 1 – Режимы работы главных двигателей промысловых судов за год эксплуатации

Показатели режимов эксплуатации	Тип судна				
	ППР	БМРТ	СРТР, СРТ		СРТМ
			Траловый лов	Дрифтерный лов	
1. Годовая отработка двигателя, ч	6800-7500	4500-6000	5800-6300	2500-3000	5700-6500
Полный ход	2100-2500	2000-2600	2900-3100	1500-1800	2800-3000
Средний	300-400	300-400	400-450	500-600	350-500
Малый	1000-1100	700-1000	300-350	500-600	250-400
Траление	3400-3500	1500-2000	2200-2400	-	2300-2600
2. Мощность двигателя, % от номинальной, на режимах					
Полный ход	90-100	95-100	100	100	100
Средний	35-45	30-45	28-37	28-37	30-37
Малый	7-10	11-18	10-14	10-14	12-16
Траление	30-60	40-75	50-90	-	55-80
3. Частота вращения двигателя, % от номинальной, на режимах					
Полный ход	95-100	95-100	100	100	100
Средний	70-75	70-75	70-75	70-75	70-75
Малый	50-55	50-55	50-55	50-55	50-55
Траление	60-80	50-80	70-85	70-90	-
4. Количество перемен режимов за год, тыс.					
Пуск	50	600/50	2500/100	30-38	2500/1000
Реверс	-	30/-	250/-	100-150/-	250/-

Траловый лов. Основным установившимся режимам работы энергетических установок траулеров соответствуют определенные режимы работы судна: переходов на промысел и обратно; переходов в районе промысла; буксировки трала. Кроме того, для траулеров характерна работа на неустановившихся режимах, связанных со спуском и подъемом трала, занимающая значительную долю времени рейса.

При переходах на промысел и обратно пропульсивная установка судна работает на номинальном или близком к нему режиме. Переходы из одного района промысла в другой могут совершаться при пониженной скорости хода и мощности главных двигателей до 50% от номинальной. На судах с двухмашинной дизель-редукторной или дизель-электрической установкой один из двигателей при этом может быть выведен из действия.

Режимы траления у промыслово-производственных рефрижераторов и океанских траулеров занимают около половины общего времени работы установки за рейс, а иногда и несколько больше. У траулеров, ведущих промысел в ближайшем море, режимы траления за счет сокращения времени переходов имеют еще больший удельный вес до 80%. Частота вращения и нагрузка двигателя на тралении изменяются в широких пределах у разных типов судов. Суда типа ППР ведут промысел при недогруженных главных двигателях: их мощность на тралении составляет 30-60% от номинальной. У

БМРТ главные двигатели загружены выше на 40-75%, а при тралении против ветра - до 100 % номинальной мощности. Частота вращения двигателя на тралении зависит от схемы энергетической установки. На РТМ типа «Атлантик» она поддерживается на номинальном уровне.

В связи с наличием генератора переменного тока, отбирающего часть мощности пропульсивной установки. На типичных судах частота вращения главных двигателей снижается до 70-80% от номинальной. У судов с ВРШ такое снижение необходимо для обеспечения экономичной работы пропульсивной установки.

Некоторые данные, характеризующие удельный вес различных режимов эксплуатации главных двигателей и соответствующую: этим режимам нагрузки, приведены в таблице 1.

Переменные режимы во время спуска и подъема трала будут рассмотрены на примере ППР типа «Грумонт». Работа главного двигателя на БМРТ, конструкцией которых также предусмотрена кормовая схема траления, не отличается от описанной ниже. Во время спуска трала двигатель работает на малом ходу (рис. 3). Перед травлением ход увеличивают до среднего. Примерно через минуту начинают травление ваеров на режиме, близком к полному ходу. Продолжительность травления ваеров составляет 6 мин при длине 600 м.

Перед подъемом трала ход судна замедляют до самого малого. Выборку ваеров производят на малом ходу за 12 мин. (при той же длине). Перед выборкой последних 100 м. ход судна на 1,5-2 мин несколько увеличивают для того, чтобы сконцентрировать рыбу трале, а затем снова снижают до самого малого. На этом режиме при минимальной частоте вращения дизеля происходит выборка трала.

В среднем за рейс продолжительностью 120 суток имеет место 9-10 тыс. перемен режимов. На судне с ВРШ реверсы двигателем полностью исключаются, а число пусков измеряется единицами. Пуски двигателя производятся только после остановок, связанных с необходимостью дрейфа судна и передачи грузов в море.

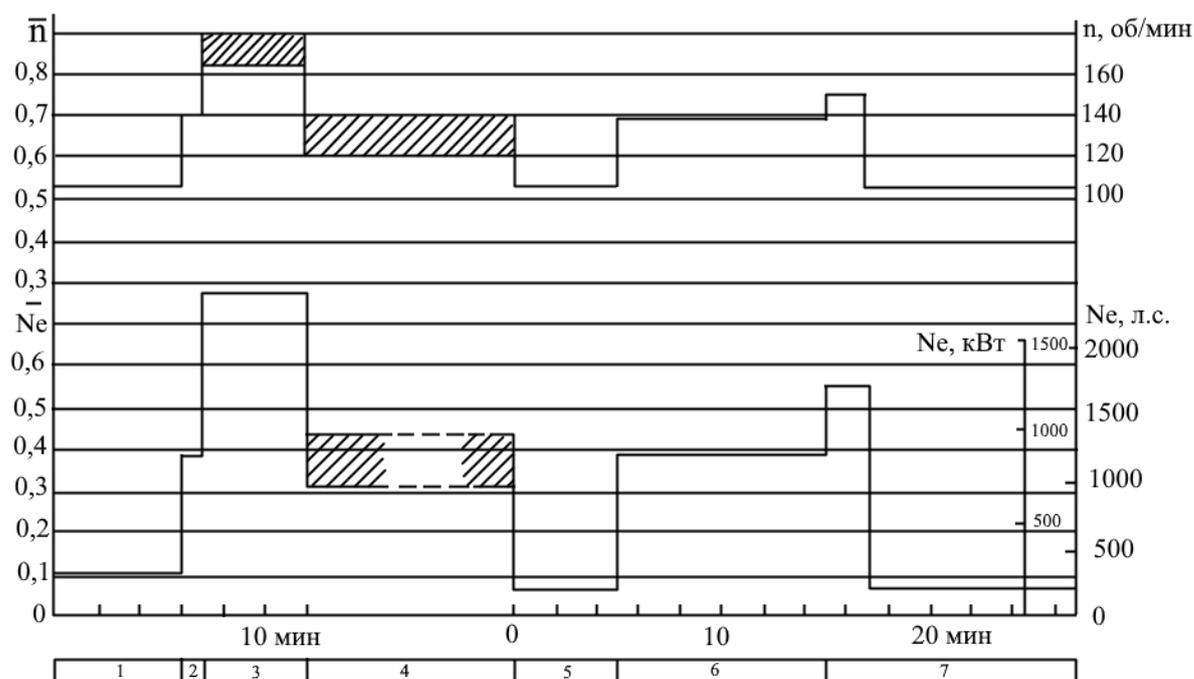


Рисунок 3 – Режимы эксплуатации главного двигателя ППР типа «Грумант» траловом промысле: 1 – спуск трала; 2 – спуск досок; 3 – травление ваеров; 4 – траление (1-2 ч.); 5 – подготовка; 6 – выборка ваеров; 7 – выборка трала

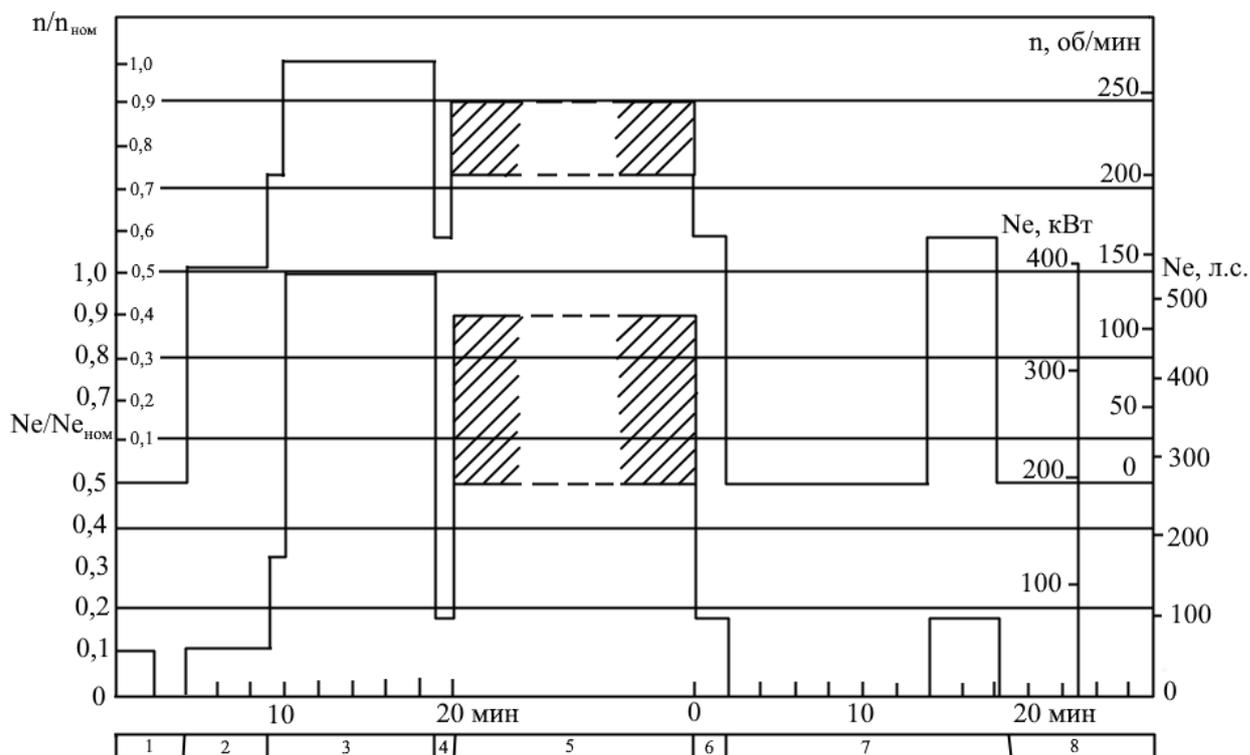


Рисунок 4 – Режимы эксплуатации главного двигателя СРТР типа «Океан» на траловом промысле: 1 – спуск трала; 2 – траление кабелей и досок; 3 – травление ваеров; 4 – взятие ваеров на стопор; 5 – траление (1-2 ч.); 6 – отдача ваеров со стопора; 7 – выборка ваеров; 8 – выборка трала

Операции по подъему - спуску трала, а следовательно, и режимы работы двигателя при бортовой и при кормовой схемах траления несколько различаются. Они рассмотрены ниже на примере бортового траулера типа «Океан» (рис. 4). Выбрасывание трала за борт производится при остановленном двигателе во время дрейфа судна. Чтобы отойти от трала, дают малый ход; при этом травят кабели и отдают со стопоров траловые доски. Судно идет сначала средним, затем полным ходом, совершая циркуляцию в сторону рабочего борта. После окончания травления ваеров дают малый ход, ваера берутся на стопор. Общая продолжительность спуска трала составляет в среднем 20 мин.

Траление продолжается 1,5-2 ч со скоростью 3-4 уз. Двигатель при этом вращается с частотой 200-240 об/мин и развивает эффективную мощность 190-367 кВт (270-500 л. с.). По окончании траления ход уменьшают до малого, судно совершает циркуляцию в сторону рабочего борта.

Когда траулер оказывается в положении лагом к ветру, главный двигатель останавливают, ваера отдают со стопоров и выбирают. После отрыва трала от грунта судну дают малый ход, чтобы предотвратить уход рыбы из трала. Затем двигатель вторично останавливают и все остальные операции (окончание выборки трала на палубу) производят во время дрейфа судна. Общая продолжительность подъема трала составляет 25-30 мин.

В целом за один цикл спуска - подъема трала происходит около 18 перемен режимов, из них две остановки двигателя с последующим пуском. В некоторых случаях после остановки двигателя дают реверс, чтобы ускорить гашение инерции судна. За рейс продолжительностью 120 суток выполняют около 9 тыс. перемен режимов, из них примерно 1000 пусков двигателя и 100 реверсов. На траулерах с ВРШ число пусков сокращается более чем в два раза, а реверсы исключаются полностью.

Кошельковый лов. Для кошелькового лова характерным является режим полного хода судна, совершающего циркуляцию в процессе постановки кошелькового невода. Чтобы предотвратить уход рыбы из кошелька, постановку невода выполняют на режиме максимальной мощности главного двигателя. Поскольку замет кошелькового невода длится 4-7 мин, такой режим не представляет опасности для главного двигателя, так как тепловые нагрузки его деталей не успевают существенно измениться.

В конце замета, когда судно опишет круг, ход сбавляют до малого, а затем двигатель останавливают. Судно ставят рабочим бортом к неводу, после чего выполняют кошелькование, выбирают невод и выливают улов. Эти операции продолжаются 1-10 ч в зависимости от величины улова. При выборке невода периодически необходимо пускать главный двигатель, чтобы избежать затягивания судна в кошелок. Количество пусков зависит от направления и силы ветра и течения; в среднем их бывает 20-30. Нередки случаи, когда судно не может избежать заноса в невод. Попавшее в кошелок судно отбуксировывают другими судами.

Анализ работы главных двигателей на кошельковом промысле показал, что структура их режимов изменяется в очень широких пределах в зависимости от промысловой и гидрометеорологической обстановки. Ухудшение промысловой обстановки увеличивает продолжительность работы главного двигателя на полном ходу из-за необходимости поиска скопления рыб. По данным хронометража, главные двигатели судов типа СРТМ в условиях кошелькового промысла в Черном море работают на полном ходу 25-45 %, на среднем 2-5 %, на малом ходу и маневрах 10-60% общей продолжительности рейса. Относительное время дрейфа судна с неработающим главным двигателем составляет 15-40%.

Сопоставление описанных режимов работы двигателей говорит о том, что каждому виду промысла соответствуют специфические условия. Наиболее интенсивно по времени используются двигатели судов, ведущих траловый лов. При этом имеют место как переменные, так и установившиеся режимы, причем последние иногда характеризуются нагрузками, близкими к максимально допустимым. На дрейферном лове, наоборот, двигатель значительное время вообще не работает, но остальной период времени длительно эксплуатируется на переменных режимах. На кошельковом лове доля переменных режимов не столь значительна, но имеют место кратковременные перегрузки дизеля.

1.2 Обзор существующих схем СЭУ рыбопромысловых судов

Принципиальные схемы дизельных энергетических установок рыбопромысловых судов чрезвычайно разнообразны. Их можно классифицировать по нескольким признакам.

В зависимости от состава и назначения элементов энергетические установки могут быть разделены на следующие типы:

- с отдельными пропульсивной установкой и электроэнергетической системой;
- с отбором мощности от пропульсивной установки для целей, не связанных с движением судна;
- с единой энергетической системой.

В первом случае пропульсивная установка служит только для привода гребного винта, а электроэнергетическая установка обеспечивает электрической энергией судовую сеть.

В установках второго типа часть механической энергии главных двигателей преобразуется в электрическую, но основным источником электрической энергии, как и в установках первого типа, служит автономная судовая электростанция.

В установках, относящихся к третьему типу, все источники энергии объединены в общую систему.

На промысловых судах получили распространение все три типа энергетических установок.

По числу гребных валов и соответственно по числу винтов пропульсивные установки могут быть одно-, двух- и трехвальными. Преимущественное применение на промысловых судах получили одновальные установки. Двухвальные и тем более трехвальные ухудшают пропульсивные качества, а также требуют большой ширины машинного отделения; это приводит к большим потерям полезного объема трюмов. Трехвальные установки на промысловых судах распространения не получили.

По типу движителя различают установки с гребными винтами фиксированного (ВФШ) и регулируемого (ВРШ) шага. Тип движителя является одним из основных признаков классификации, так как он влияет не только на характеристики установки, но и на ее схему и конструкцию. В связи с применением ВРШ изменение скорости вращения гребного вала уже не обязательно для регулирования хода судна.

Установки с ВРШ можно разделить на установки с изменяемой и с постоянной частотой вращения. По способу передачи энергии от дизеля к гребному винту все установки делятся на три группы: с прямой передачей; дизель-редукторные; дизель-электрические.

В настоящее время наиболее распространены установки с прямой передачей, которая определяет необходимость применения малооборотных дизелей. Высокий моторесурс таких машин и простота обслуживания делают этот тип установки особенно привлекательным для эксплуатационника. Малые, средние и большие траулеры, а также промыслово-производственные рефрижераторы.

Сейчас ВРШ является наиболее распространенным типом движителя и устанавливается на средних и больших траулерах и промыслово-производственных рефрижераторах. Практически добывающий флот пополняется только судами с ВРШ. Широкое применение винтов этого типа представляет собой одно из основных направлений технической политики в области совершенствования флота.

Установки с прямой передачей (рис. 5) могут иметь валогенератор для отбора мощности. Валогенератор приводится через ременную или какую-либо другую передачу от валопровода либо от переднего конца коленчатого вала двигателя. В последние годы наблюдается тенденция применения непосредственного привода генератора без повышения частоты вращения. Генератор получается крупногабаритный; конструктивно он располагается на линии вала или соединяется посредством разобщительной муфты с передним концом коленчатого вала.

Применяют также установки с обратимой электромашинной на валопроводе. На переходах она работает в режиме электродвигателя, получая энергию от вспомогательных дизель-генераторов. На промысле в режиме генератора она же обеспечивает работу траловой лебедки или других потребителей.

Дизель-редукторные установки обычно оборудуются винтом регулируемого шага и имеют генератор отбора мощности, приводимый от ведомой шестерни редуктора через повышающую передачу (мультипликатор). В установках промысловых судов редуктор не только служит средством понижения частоты вращения гребного винта, позволяющим установить средне- и высокооборотные дизели. Применение редуктора обеспечивает простоту и удобство отбора мощности, а также возможность привода гребного винта от нескольких двигателей. По числу двигателей дизель-редукторные установки делятся на одно-, двух-, трехмашинные и т. д. Дизели в этих установках имеют равные или различные мощности. В 1950-х годах западноевропейские специалисты считали перспективной двухмашинную дизель-редукторную установку с дизелями одной размерности, но разной мощности. Она получила название «отец и сын». Однако наиболее распространены двух-машинные дизель-редукторные установки с одинаковыми двигателями.

Валогенераторы дизель-редукторных установок могут быть постоянного и переменного тока. Последние целесообразно использовать в установках с ВРШ, работающих при постоянной частоте вращения гребного вала.

Род тока является основным признаком классификации дизель-электрических установок. Существуют схемы, в которых гребная электрическая установка и судовая электростанция автономны. Как правило, дизель-генераторы гребной установки дают постоянный ток, а электростанции - переменный. По этому принципу работают установки китобойных судов типа «Мирный». Возможны также варианты с отбором части механической или электрической энергии от главных дизель-генераторов для целей, не связанных с обеспечением хода судна. Конструктивно отбор механической энергии может быть выполнен путем присоединения второго (вспомогательного) генератора к главному дизель-генератору. Отбор электрической энергии осуществляется либо непосредственно от шин щита электродвижения, либо путем отключения главного дизель-генератора от этих шин и соединения его со щитом электростанции. Оба варианта возможны в случае использования переменного тока для гребной установки и электростанции. Если применяются оба вида тока, то отбор мощности от главных дизель-генераторов производится через специальный преобразователь.

Наиболее полно использованы преимущества дизель-электрической установки на судах с едиными электроэнергетическими системами, как, например, на траулерах типа «Север» и консервном траулере-рыбозаводе типа «Наталья Ковшова». Установленные на них дизель-генераторы не делятся на главные и вспомогательные. Вырабатываемая ими энергия в зависимости от режима эксплуатации судна распределяется между гребной электрической установкой и другими потребителями.

Кроме описанных основных признаков, дизель-электрические установки можно классифицировать по типам первичных двигателей, по напряжению, конструкции и исполнению гребных двигателей. Одним из наиболее важных параметров двигателей является их частота вращения (средне- и высокооборотные дизели).

Напряжение гребных двигателей постоянного тока обычно находится в пределах 200-1000 В. В установках переменного тока, как правило, напряжение составляет 400 В, однако при наличии мощного гребного двигателя оно может быть значительно увеличено с целью снижения веса и габаритов коммутационной аппаратуры и кабелей. Например, в установках траулера типа «Наталья Ковшова» напряжение доведено до 2000 В.

Гребные электродвигатели постоянного тока выполняются одно- или двухъякорными. В последнем случае повышается живучесть установки. Двигатели переменного тока могут выполняться сдвоенными, т. е. состоять из электрически самостоятельных машин, расположенных на одном валу и имеющих общий корпус. Такая конструкция улучшает характеристики работы установки на переходных режимах (пуск, реверс).

Гребные двигатели переменного тока обычно синхронные с асинхронным пуском. Реже применяют асинхронные машины с фазным ротором.

Помимо рассмотренных выше генераторов и потребителей механической и электрической энергии, в состав судовой энергетической установки входят генераторы тепловой энергии, носителями которой являются вода и пар.

На некоторых типах судов (главным образом малых размерений) паровая котельная установка отсутствует. Помещения отапливаются электрогрелками или горячей надой от водогрейного котла. Иногда (например, на сельдяных траулерах длиной 49 м с главным дизелем 8NVD-48AU промыслового флота ГДР) паровая котельная установка может отсутствовать и на более крупных судах.

Тем не менее наличие вспомогательного парового котла является неотъемлемым признаком современной энергетической установки. Следует отметить, что утилизационные котлы не нашли применения на траулерах, так как использование тепла отработавших газов для получения пара нужных параметров сопряжено с трудностями из-за постоянно меняющихся режимов работы главных двигателей на промысле. В качестве вспомогательных на траулерах обычно служат водотрубные котлы с автоматизированным режимом питания и горения. Применяют также огнетрубные котлы. Производительность котлов зависит от типа судна и состава потребителей пара и меняется от 300 (СРТР «Океан») до 4500 кг/ч (ППР «Рембрандт»). Рабочее давление относительно небольшое - в пределах от 0,3 до 1,2 МПа (3-12 кгс/см²). На большинстве типов судов котельная установка состоит из одного агрегата, по два котла установлено лишь на БМРТ отечественной постройки и консервных траулерах.

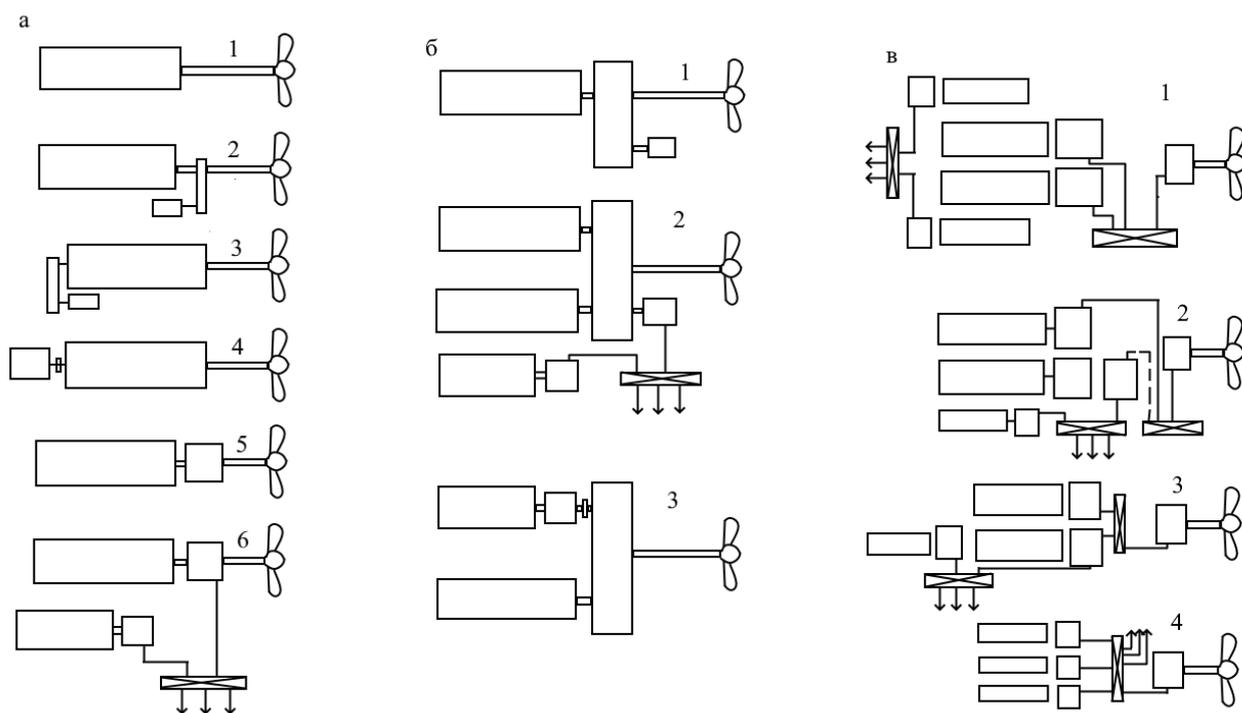


Рисунок 5 – Схемы энергетических установок: а – с прямой передачей: 1 – без валогенераора; 2 – с приводом генератора от валопровода через передачу; 3 – с приводом от переднего конца коленчатого вала через передачу; 4 – с приводом генератора от коленвала; 5 – с валогенератором, встроенным в линию валопровода; 6 – с обратимой электромашинной на валопроводе; б – дизель-редукторные установки: 1 – одномашинная с валогенератором; 2 – двухмашинная с дизелями равной мощности и обратимой электромашинной; 3 – двухмашинная с дизелями разной мощности («отец и сын»); в – дизель-электрические установки: 1 – с автономной гребной установкой и электростанцией; 2 – с отбором механической энергии от главного дизель-генератора; 3 – с отбором электрической энергии от главного дизель-генератора; 4 – единая электроэнергетическая установка

1.3 Анализ распределения потоков энергии СЭУ

Судовая энергетическая установка (СЭУ) промыслового судна (рис. 6) обеспечивает функционирование судна по прямому назначению – перевозку жидких грузов, работу других подсистем судна, жизнедеятельность экипажа, оказывает определяющее влияние на безопасность и эффективность эксплуатации промыслового судна.

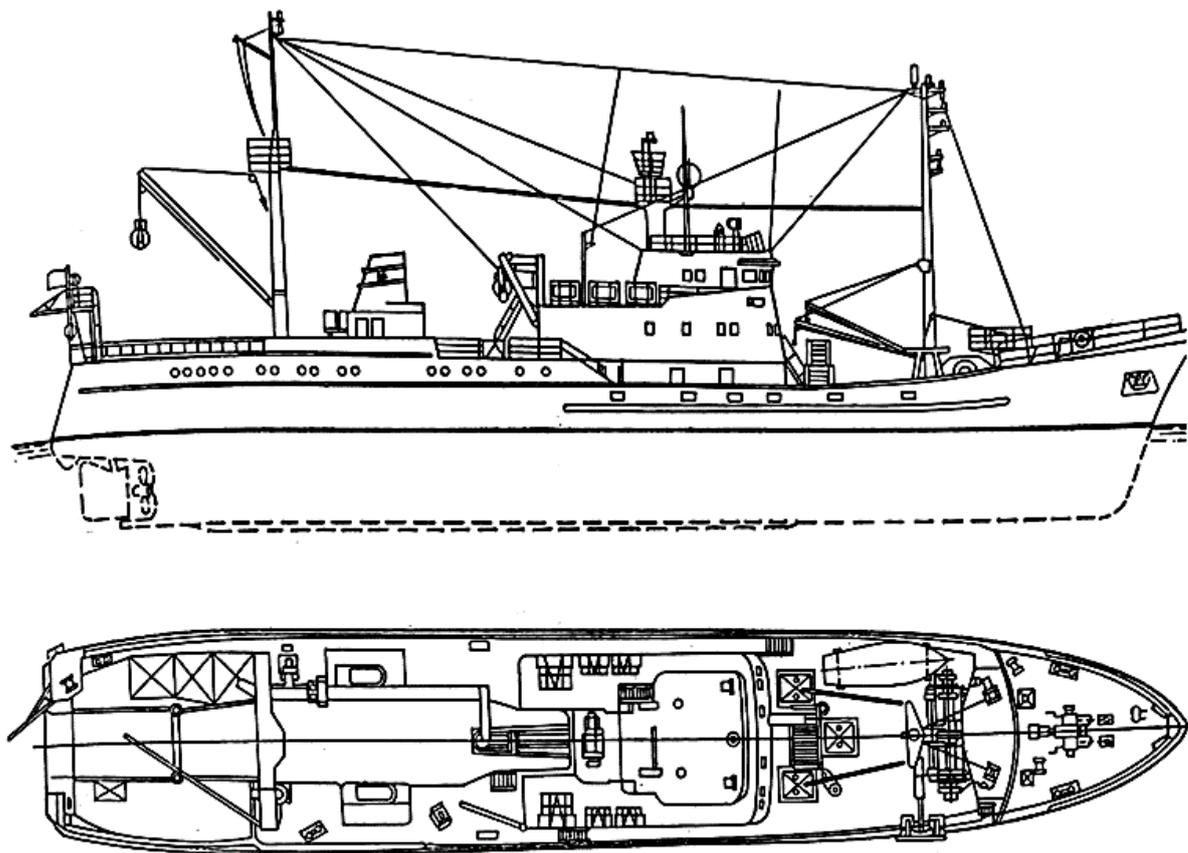


Рисунок 6 – Промысловое судно типа «Василий Яковенко»

Все расчеты, выполненные в ходе исследований, базируются на основе технической документации судна, статистической информации из судового и машинного журналов. Существует несколько характерных режимов работы промыслового судна: переход в грузу и балласте, стоянка в порту (на рейде), траление. Для каждого из них характерны свои особенности распределения видов энергии. На основании информации, полученной из вахтенных журналов, выполнен анализ режимов нагружения ГД за рейс $N = F = f(t)$ на различных режимах работы.

Из рис. 7 видно, что 38 % времени рейса ГД работал на режимах нагружения близких к оптимальному, характеризующихся минимальным удельным эффективным расходом топлива g_e и минимальным удельным расходом моторесурса. Отсутствовали предпосылки к перегрузке отдельных цилиндров и двигателя в целом.

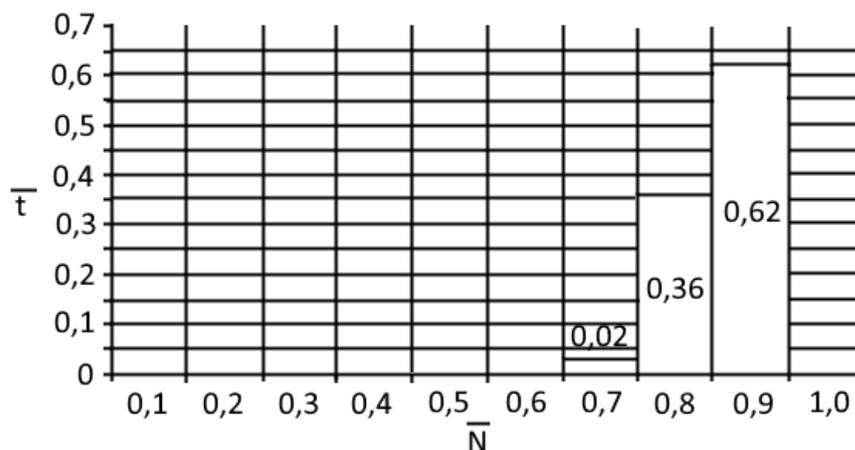


Рисунок 7 – Распределение нагрузки ГД за рейс

Судовые потребители электроэнергии разделяются на основные и второстепенные. К основным относится оборудование, обеспечивающее движение и управление судном, безопасность мореплавания и борьбу за живучесть. Второстепенными потребителями являются системы вентиляции и жизнеобеспечения, палубные механизмы, грузовые устройства, системы гидравлики, система инертного газа, системы пароэнергетического комплекса. На судах рассматриваемой серии количество электроприводов составляет 60 единиц, общая мощность потребителей электроэнергии – порядка 650 кВт.

На основании анализа нагружения судового оборудования в различных режимах работы судна представлены схемы распределения потоков электроэнергии по потребителям.

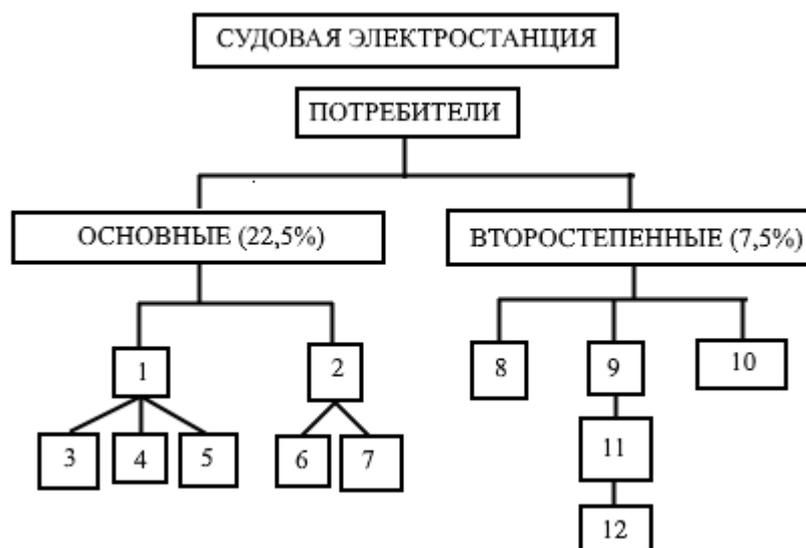


Рисунок 8 – Распределение потоков энергии на переходе



Рисунок 9 – Распределение потоков энергии при тралении

Методика расчетов распределения потоков энергии на выбранном режиме судна

По данным рассчитываем коэффициент выработки электроэнергии (КВЭ):

$$\text{КВЭ} = \frac{N_{\text{сум}}}{N_{\text{ген}}} = \frac{421,3}{495,0} = 0,84,$$

где $N_{\text{сум}}$ – мощность на шинах главного распределительного щита (ГРЩ), принимается равной суммарной мощности потребителей, находящихся в работе в данных условиях, и не учитывает реактивной составляющей; $N_{\text{ген}}$ – суммарная номинальная мощность генераторов, параллельно работающих на шины ГРЩ.

Коэффициент использования СЭС ($\text{КИ}_{\text{сэс}}$) рассчитывается по формуле:

$$\text{КИ}_{\text{сэс}} = \frac{N_{\text{сум}}}{N_{\text{сэс}}} = \frac{421,3}{650} = 0,64.$$

Коэффициент технического использования (КТИ) элемента или коэффициент использования энергии потребителем рассчитан для каждого потребителя (группы однотипных потребителей) по следующей формуле:

$$\text{КТИ} = \frac{N_{\text{потр}}}{N_{\text{сумм}}} = \frac{N_{\text{потр}}}{N_{\text{сум}}},$$

где $N_{\text{потр}}$ – мощность потребителя; $N_{\text{сумм}}$ – мощность, вырабатываемая СЭС в данных условиях (принимается численно равной $N_{\text{сум}}$, без учета потерь при передаче электроэнергии от ГРЩ к потребителю).

Случайность процессов потребления всех видов энергии на судах данного типа определяется рядом факторов, таких как заданный бюджет ходового времени, количество улова, время траления.

В общем случае задачи системы ТИ формируются следующим образом:

– выбор наиболее выгодных режимов работы судов и их энергокомплексов;

– использование оптимальных методов контроля, регулирования и управления, позволяющих с помощью соответствующих технических средств обеспечить поддержание заданных эксплуатационных характеристик элементов судовых энергокомплексов;

– поиск путей рационального использования энергоносителей;

– разработка нормативов, положений и правил, способствующих решению ТИ с наименьшими затратами.

Для решения поставленных задач необходимо иметь более полную информацию об условиях эксплуатации судов, что позволит сформировать характерные в конкретных условиях показатели потребления всех видов энергии. Использование методов имитационного и математического моделирования дает возможность с достаточной вероятностью прогнозировать распределение энергопотоков, режимы работы элементов энергокомплекса и потребления энергоносителей.

Выводы по разделу 1

Проанализировав сложившееся состояние рыбопромыслового флота Республики Крым, целесообразно выделить следующие направления повышения эксплуатационной и экологической эффективности энергетических установок таких судов:

- при проектировании структурных схем энергетической установки учитывать анализ использования и надежности существующих маломерных и среднетоннажных судов Республики Крым;

- применение методов оптимизации для оценки работы СЭУ при проектировании, модернизации и эксплуатации;

- необходимо выработать современные требования по объемам и графику технического обслуживания флота;

- выработать практические рекомендации по улучшению использования топлив для СЭУ;

- переход на более экологические виды топлива;

- ужесточение контроля за соблюдением экологическим норм для рыбопромысловых судов.

2 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭУ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА

2.1 Повышение эффективности СЭУ

Повышение эффективности работы СЭУ может быть достигнуто следующими основными способами:

1) обеспечением постоянного во времени эксплуатации исправного состояния двигателей и других судовых технических средств судна, параметры рабочего процесса и технического состояния которых регламентированы технической документацией изготовителя. Особое внимание при этом следует уделить поддержанию исправного технического состояния топливной аппаратуры потребителей топлива;

2) обеспечением постоянного во времени эксплуатации исправного состояния движительно-рулевого комплекса;

3) выбором судоводителем при осуществлении рейса таких режимов работы ГД, которые обеспечивают минимально возможный расход топлива в данных эксплуатационных условиях, то есть при данной глубине судового хода, извилистости фарватера, путевой обстановке, ограничениях на скорость движения, накладываемых местными правилами плавания, давлением ветра и волнением водной поверхности;

4) исключением из работы ненужных в данный период времени судовых потребителей энергии, прежде всего электрической;

5) введением в действие резервов энергосбережения, из которых наиболее пригодны для реализации мероприятия по утилизации на судне вторичной теплоты, то есть теплоты сгоревшего топлива, не преобразованной в работу при осуществлении рабочего процесса главных и вспомогательных двигателей, не переданную теплоносителю в автономных и утилизационных котлах, вырабатываемую холодильными машинами и другими объектами СЭУ.

Источниками вторичной теплоты на судах являются выпускные газы двигателей, наддувочный воздух, охлаждающая вода (жидкость) главных и вспомогательных двигателей, холодильных машин, систем кондиционирования воздуха и охлаждения трюмов (на рефрижераторных судах). В комплексных системах могут быть задействованы несколько источников в различных сочетаниях. Выпускные газы ГД и дизель-генераторов (ДГ), имеющие температуру 250 – 450 °С, относят к источникам высокопотенциальной теплоты, а охлаждающую воду с температурой 60 – 90 °С – к источникам низкопотенциальной теплоты.

2.2 Критерий энергосбережения

Комитет ИМО по защите морской среды (КЗМС) на своей 59-ой сессии (13– 17 июля 2009 г.) признал необходимость разработки конструктивного индекса энергетической эффективности (в подлиннике документа ИМО МЕРС.1/Circ. 681 от 17 августа 2009 г. Energy Efficiency Design Index обозначен EEDI) для новых судов с целью стимулирования инноваций и внедрения достижений технического прогресса в отношении всех элементов судна и оценки энергетической эффективности судна (Energy Efficiency) на стадии его проектирования. КЗМС, стремясь обеспечить возможность использования формулы для определения EEDI применительно ко всем категориям судов, в том числе путем введения в формулу EEDI технических параметров, согласовал применение временного руководства для расчета EEDI.

В обобщенном виде формула для определения EEDI, рекомендованная КЗМС, может быть представлена так:

$$EEDI = \frac{\text{Проектное значение расхода топлива всеми судовыми потребителями}}{\text{Полезная мощность судна, предусмотренная проектом судна}} f_{CO_2},$$

где f_{CO_2} — фактор приведения расхода топлива к выбросам CO_2 .

КЗМС на указанной выше сессии предложил также для использования на добровольных началах индикатор эксплуатационной энергетической эффективности EEOI, который определяется по следующей формуле:

$$EEOI = \frac{M_{CO_2}}{\text{транспортная работа}},$$

где M_{CO_2} — масса выброшенного в атмосферу углекислого газа в результате сжигания топлива на судне, т:

$$M_{CO_2} = \sum_j FC_j \cdot C_{Fj},$$

где FC — расход топлива судном за j -ый (FC_j) рейс или период эксплуатации, например, за день главными и вспомогательными двигателями, котлом и инсинератором, т.

C_{Fj} — безразмерный фактор приведения расхода топлива к эмиссии CO_2 , зависящий от содержания углерода в топливе.

Транспортная работа рассчитывается с помощью уравнения:

$$\text{Транспортная работа} = \sum_i (m_{cargo,i} \cdot D_i),$$

где $m_{cargo,i}$ — перевезенный груз или выполненная работа (число контейнеров или пассажиров), или валовая вместимость для пассажирских судов, т; D — расстояние, соответствующее выполненной работе по перевозке груза или пассажиров, морские мили/

Анализ формул для определения EEDI и EEOI показывает, что слова «энергетическая эффективность» применительно к EEDI и EEOI в том смысле как, скажем, трактует ее Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ, в статье 2 которого указано:

«3) энергосбережение — реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг);

4) энергетическая эффективность — характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю;», не могут быть применены.

Более правильно называть EEDI индексом выброса парникового газа CO_2 или индексом эффективности расходования топлива на судне, либо индексом выбросов парникового газа CO_2 , одновременно характеризующим эффективность использования топлива для преобразования его энергии в транспортную работу, но не индексом энергетической эффективности.

Индекс EEOI может быть использован для оценки выбросов парникового газа CO_2 без адаптации к условиям эксплуатации судов на ВВП РФ. Однако этот параметр правильнее называть показателем выбросов (эмиссии) CO_2 , связанных с топливоиспользованием на судне, но не индексом эксплуатационной энергетической эффективности, и применять для оценки контролирующими органами загрязнения судами окружающей среды парниковым газом.

Индексы EEDI и EEOI являются размерными величинами, вследствие чего их нормирование вызывает определенные трудности в связи с отсутствием эталона.

Таким образом, разработка методик определения энергетической эффективности судов, с одной стороны, отвечающих духу и букве законодательства Российской Федерации, а с другой стороны – необходимых для целей управления и диагностирования СЭУ, представляет собой важную и актуальную задачу.

2.3 Критерий экологической эффективности

Понятие «экологическая эффективность» не было определено, а методика расчета экологической эффективности до 2010 г. не была создана ни в масштабах отрасли, ни в масштабах страны. Применительно к загрязнению водной среды с судов отчасти это объясняется тем, что законодательством Российской Федерации не допускается сброс во внутренние водные пути неочищенных нефтесодержащих вод и неочищенных и необеззараженных сточных вод, а также мусора. Если добавить к этому редкую практику установки на судах внутреннего плавания фильтрующего оборудования для нефтесодержащих вод, сигнализатора, системы сброса очищенных нефтесодержащих вод, автоматических устройств, прекращающих сброс нефтесодержащих вод при превышении нормативного значения содержания нефти в сбросе (правила Российского Морского Регистра требуют установки перечисленного оборудования в случае, когда сборная цистерна нефтесодержащих вод не обеспечивает необходимой автономности плавания по условиям экологической безопасности), то действительность выглядит так: нефтесодержащие воды, нефтяные остатки и осадки, мусор в водную среду не сбрасываются, а лишь накапливаются в специальных емкостях на судне и по мере возможности сдаются на специализированные внесудовые водоохранные средства. Правила Российского Морского Регистра требуют установки на судах с экипажем станции очистки и обеззараживания сточных вод только в том случае, когда сточно-фановая система судна и предусмотренная на судне сборная цистерна для сточных вод не обеспечивают необходимую автономность плавания по условиям экологической безопасности. Следовательно, и в этом случае сброс неочищенных и необеззараженных сточных вод в водную среду отсутствует.

Несмотря на позитивные решения в отношении загрязнения водной среды, воздушная среда (атмосфера) загрязняется с судов твердыми частицами, окислами азота NO_x , оксидом углерода CO, суммарными углеводородами CH, парниковым газом CO_2 как результат эксплуатации судовых дизелей, котла и печи инсинератора, и это загрязнение тем больше, чем меньше на судне уделяется внимание регулировке рабочего процесса и нейтрализации выпускных газов дизелей, улавливанию частиц несгоревшего топлива и твердых включений топлива в выпускных трубопроводах котлов и инсинераторов.

Правила Российского Морского Регистра нормируют содержание в выпускных газах NO_x , CH, CO и дымность выпускных (отработавших) газов, но воздушная среда в той или иной степени все равно загрязняется при работе дизелей, котлов и инсинераторов. Считается, что при соответствии выбросов в выпускных газах дизелей установленным нормам загрязнение атмосферы настолько незначительно, что и бороться с этим не нужно, так как предотвратить этот процесс невозможно.

2.4 Способы и технические решения повышения эффективного использования судового топлива

Основными направлениями по снижению затрат на топливно-энергетические ресурсы являются [1-3]:

- различные способы снижения расхода топлива;
- уменьшение затрат на приобретение топлива;
- сокращение непроизводительных простоев судна.

Эти направления носят чисто эксплуатационный характер и хорошо внедрены в современное судоходство. Однако, не стоит забывать и об экологических факторах в применении судового топлива. На рисунке 10 представлены технические решения и мероприятия, которые целесообразно применять как при эксплуатации судовой энергетической установки, так и при ее проектировании и модернизации.

Для оценки энергетической эффективности СЭУ следует решить задачу R обеспечения максимального пропульсивного КПД на определенных участках измерения скорости хода судна, а также необходимо одновременное управление W частотой вращения и шагом винта, в случае применения винта фиксированного шага. Такую задачу запишем в виде:

$$R: V(N_{eГД}, N_{eДГ}, H, n, g_{eГД}, g_{eДГ}) \rightarrow \max \eta_{ПК} \Rightarrow W,$$

где $g_{eГД}, g_{eДГ}$ – удельный расход топлива главных и вспомогательных двигателей.

Если же для каждой заданной скорости судна $v_i \in V, i = 1, \dots, m$ и $V = \{v_1, \dots, v_m\}$, существует такая некоторая точка a_1 , что существует, по сути, оптимум, т.е. оператором, который позволяет, исходя из условия минимума расхода топлива $\int_{t_j}^{t_{j+1}} (g_{ei} - a_i) dt \rightarrow 0$, найти условия, которые оказывают влияние на H и n . Нахождение значений этих условий и поддержание их при любых режимах работы, обеспечит функционирование СЭУ в режиме минимального расхода топлива.

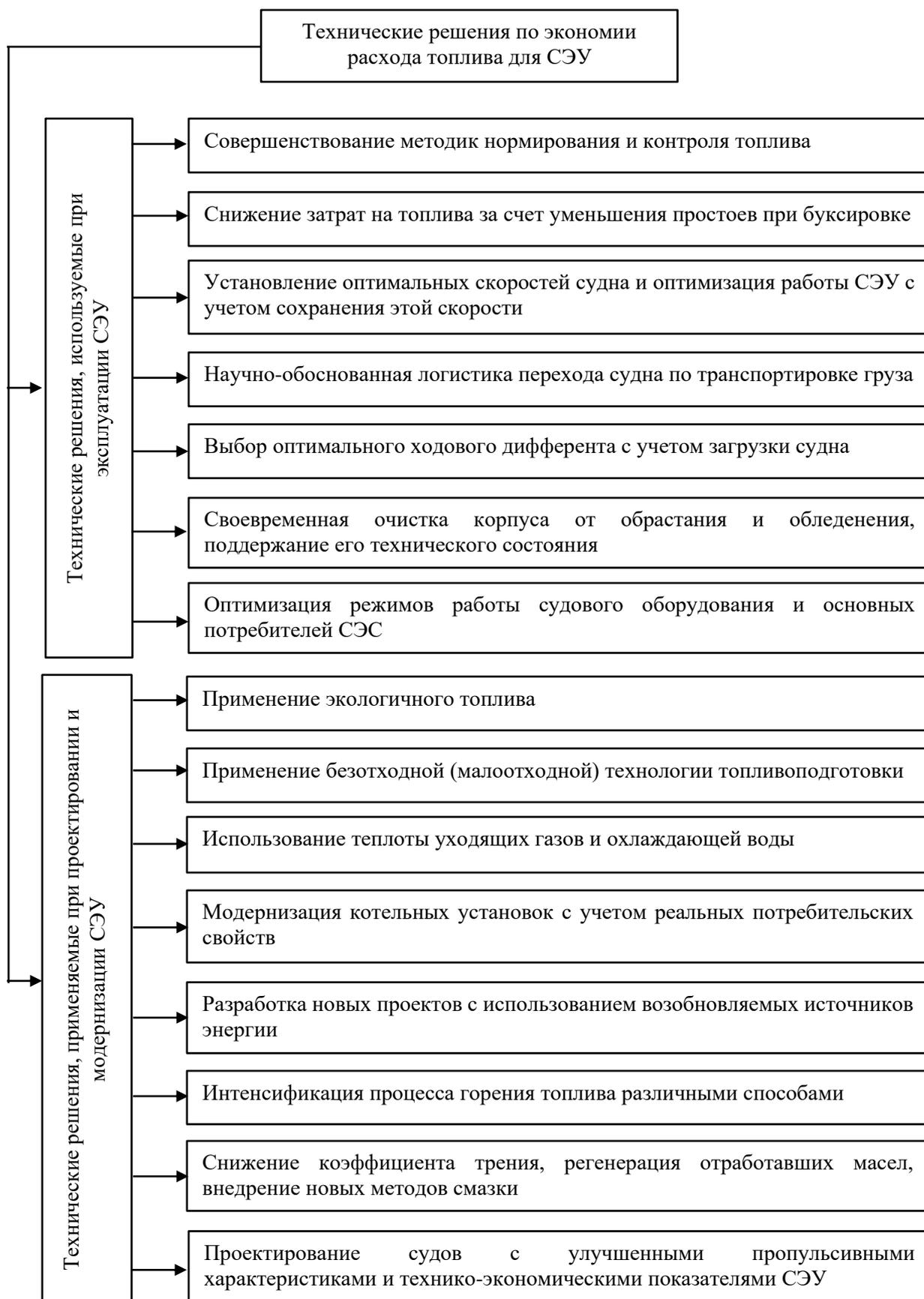


Рисунок 10 – Классификационная схема способов и технических решений повышения эффективного использования судового топлива

Выводы по разделу 2

Выделены направления повышения эффективности судовой энергетической установки рыбопромыслового судна. Для этих целей рассмотрены критерии энергосбережения и экологической эффективности.

Одним из направлений повышения экологической безопасности, энергетической и экономической эффективности при эксплуатации судовой энергетической установки является снижение расхода топлива. Существует ряд технических и логистических подходов для решения этой задачи. Однако, с учетом необходимого обновления флота, будет целесообразно сделать это уже на стадии проектирования судовой энергетической установки, выбрав оптимальный вариант.

3 ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА

3.1 Модель оптимального энергоиспользования работы судовой энергетической установки

Применительно к решению задач повышения эффективности судовых технических средств в качестве цели может рассматриваться повышение энергоэффективности, что напрямую связано с расходом топлива судовой энергетической установкой.

Для рыбопромыслового судна характерны режимы работы СЭУ как на промысле, так и на переходах на промысел и обратно. Все это должно учитываться при оптимизации работы энергетической установки, исходя из минимума энергоемкости транспортной работы судна

$$\mathcal{E} = (z_{ГД} \cdot B_{ГД} \cdot N_{ГД}^Д \cdot Q_{нГД} + z_{ВДГ} \cdot B_{ВДГ} \cdot N_{ВДГ}^Д \cdot Q_{нВДГ} + z_K \cdot B_K \cdot Q_{нК} - z_B \cdot b_{ГД} \cdot N_B^Д \cdot Q_{нГД} - z_Y \cdot Q_Y - z_{др} \cdot Q_{др}) \cdot G \cdot v \rightarrow \min$$

где $z_{ГД}$, $z_{ВДГ}$, z_K , z_B , z_Y и $z_{др}$ – число работающих на долевом режиме главных двигателей, вспомогательных двигателей, автономных котлов, валогенераторов, утилизационных котлов и других устройств, использующих вторичные ресурсы соответственно;

$N_{ГД}^Д$, $N_{ВДГ}^Д$ и $N_B^Д$ – долевая мощность главного и вспомогательного двигателей, агрегатная мощность валогенератора;

$B_{ГД}$, $B_{ВДГ}$ и B_K – долевой часовой расход топлива главного и вспомогательного двигателей, часовой расход топлива автономного котла;

$Q_{нГД}$, $Q_{нВДГ}$ и $Q_{нК}$ – низшая удельная теплота сгорания топлива, используемого главным и вспомогательными двигателями, вспомогательным котлом;

Q_Y и $Q_{др}$ – теплопроизводительность утилизационных котлов и других утилизирующих устройств в ходовом режиме;

$b_{ГД}$ – долевой удельный расход топлива главным двигателем на долевом режиме;

G – масса перевозимого груза;

v – скорость движения судна.

Варьируемыми величинами при расчете энергоемкости являются:

– число работающих главных и вспомогательных элементов судовой энергетической установки, автономных и утилизационных котлов, валогенераторов и других утилизирующих устройств) в пределах их количества в составе СЭУ;

– долевая мощность главного и вспомогательных двигателей при работе их на различных режимах и характеристиках;

– долевые удельный и часовой расход топлива при работе главного и вспомогательных двигателей на различных режимах и характеристиках.

При этом необходимо учитывать структуру установки, потребности в тепло- и электроэнергии, возможности их (мощности и теплоты) получения на долевых режимах работы главного и вспомогательного двигателей и конкретные эксплуатационные условия (техническое состояние судна, движительного комплекса, его загрузка, навигационные и климатические условия). Причем, эксплуатационные условия учитываются выбором соответствующих скоростных характеристик элементов главного энергетического комплекса.

Обоснованный таким образом режим работы судовой энергетической установки называется режимом оптимального энергоиспользования.

3.2 Решение задачи оптимизации конфигурации нагрузки преобразователей энергии СЭУ на примере СРТМ проекта 502Э

Метод, представленный в этом исследовании, нацелен на то, чтобы быть применимым к большинству судовых энергетических систем промысловых судов, доступных сегодня. Конфигурация системы, представленная на рисунке 11, рассматривается как достаточно общая по сравнению со стандартной практикой в современной судостроительной отрасли.

Таким образом, задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} & f(x) \\ & g_{\text{ЭКВ}}(x) = b_{\text{ЭКВ}} \\ & g_{\text{НЭК}}(x) < b_{\text{НЭК}} \\ & x_i \\ & 0 \leq x_i \leq 1 \end{aligned}$$

Функция определяется как:

$$f_j = \Gamma D_1 + D\Gamma_{1-4},$$

где каждый из элементов рассчитывается:

$$m_i = \frac{\lambda_i MCR_i n_i}{\eta_i \lambda_i LHV_{fuel}},$$

где LHV - топливо соответствует судовому топливу, принятому равным 40,7 МДж/кг

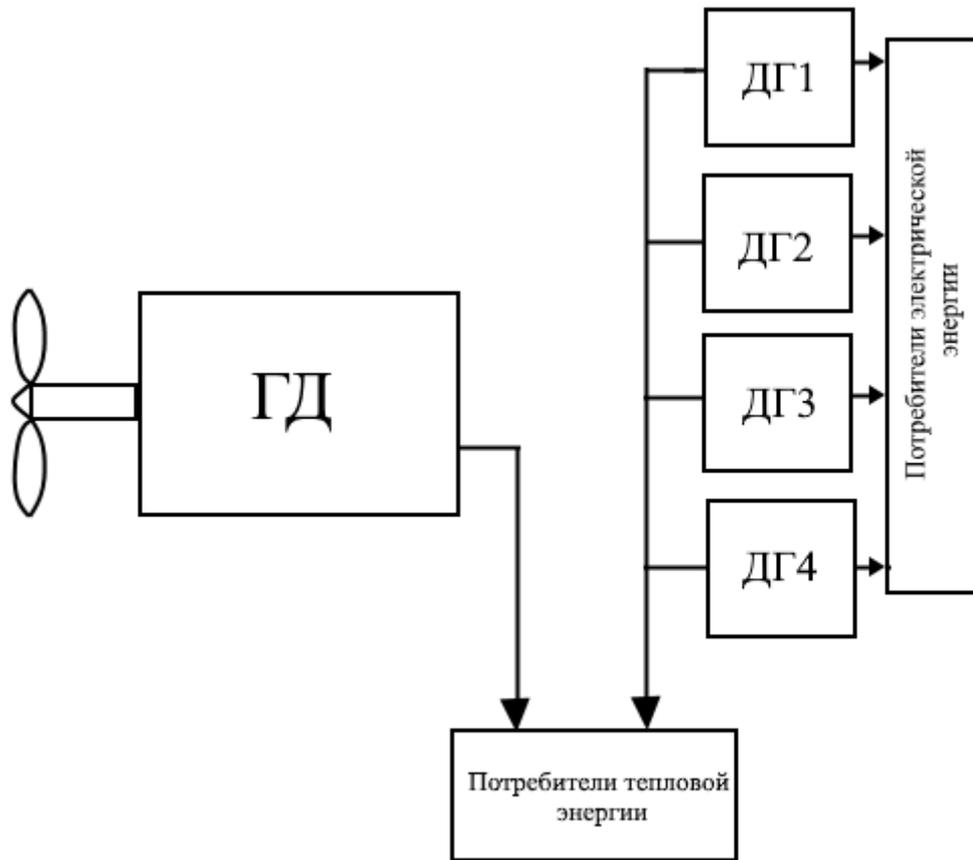


Рисунок 11 – Конфигурация СЭУ судна проекта 502

Условия нелинейного равенства представляют собой требование, чтобы система могла удовлетворить совокупность потребностей в механической энергии от двух гребного винта и потребности в электроэнергии:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{проп}} = \sum_i N_i \rightarrow \text{проп} \eta_i \rightarrow \text{проп} \\ N_{\text{эл}} = \sum_i N_i \rightarrow \text{эл} \eta_i \rightarrow \text{эл} \end{array} \right.$$

Условия нелинейного неравенства представляют собой требование, чтобы каждый из двигателей системы не были загружены выше максимальной нагрузки и ниже минимальной нагрузки.

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{ГД1,мин}} n_{\text{ГД1}} \leq N_{\text{ГД1} \rightarrow \text{проп}} + N_{\text{ГД1} \rightarrow \text{эл}} \leq N_{\text{ГД1,макс}} n_{\text{ГД1}} \\ N_{\text{ДГ1-4,мин}} n_{\text{ДГ1-4}} \leq N_{\text{ДГ1-4} \rightarrow \text{проп}} + N_{\text{ДГ1-4} \rightarrow \text{эл}} \leq N_{\text{ДГ1-4,макс}} n_{\text{ДГ1-4}} \end{array} \right.$$

Последнее из условий неравенства требует, чтобы сумма доступного тепла от двигателей и тепла, была больше, чем общая потребность в тепле.

$$Q_{ГД1} + Q_{ДГ1-4} \geq Q_{п.}$$

Эффективность дизельных двигателей, как главных, так и вспомогательных, рассчитывается с использованием 2й степени полиномиальные регрессии, основанные на данных производителей двигателей. КПД двигателя:

$$n_{двиг} = 1,05 f_{корр} N_2(\lambda),$$

где λ представляет собой нагрузку двигателя

Потоки отработанного тепла как от ГД, так и от ДГ необходимо моделировать на борту. так как, значения, предоставляемые производителями двигателей, часто не учитывают сохранение энергии двигателей. Поэтому используется следующий метод для обновления значений, предоставленных производителями, чтобы получить согласованные потоки выходной энергии от двигателей.

Исходя из нагрузки двигателя, расход воздуха через цилиндры можно рассчитать по уравнению:

$$m_{возд} = \eta_{об} \frac{p_{ca}}{R_{возд} T_{ca}} V_{ц} n_{двиг} N_{ц},$$

где $n_{двиг}$ представляет собой объемный КПД, p_{ca} представляет собой давление наддувочного воздуха и рассчитывается как функция нагрузки двигателя на основе полиномиальной регрессии измеренных данных, полученных от бортовых систем сигнализации; T_{ca} представляет собой температуру наддувочного воздуха, которая обычно регулируется системой управления системой охлаждения до значения примерно 50-60°C; $V_{ц}$ представляет собой максимальный объем цилиндра, $\eta_{об}$ обороты двигателя и $N_{ц}$ количество цилиндров.

Судно для исследования представляет собой средний рыболовный траулер морозильный типа «Василий Яковенко», совершающий лов рыбы донным или пелагическими тралами и кошельковым неводом; заморозка улова в неразделанном виде; частичная разделка продуктов.

Судно построено в 1985 году на СЗ «Ленинская кузница». Длина 54,8 м, ширина 9,8. Водоизмещение 820 т.

Энергетическая установка представлена на рисунке 11.

В ее состав входит: главный двигатель 8NVD48A2U мощностью 852 кВт, 4-е дизель генератора 6ЧН18/22 мощностью 165 кВт

В соответствии с методологией, представленной в разделе, КПД и потоки отработанного тепла главного и вспомогательных двигателей судна изменяются в зависимости от нагрузки двигателя, как показано на рисунке 12 и рисунке 13

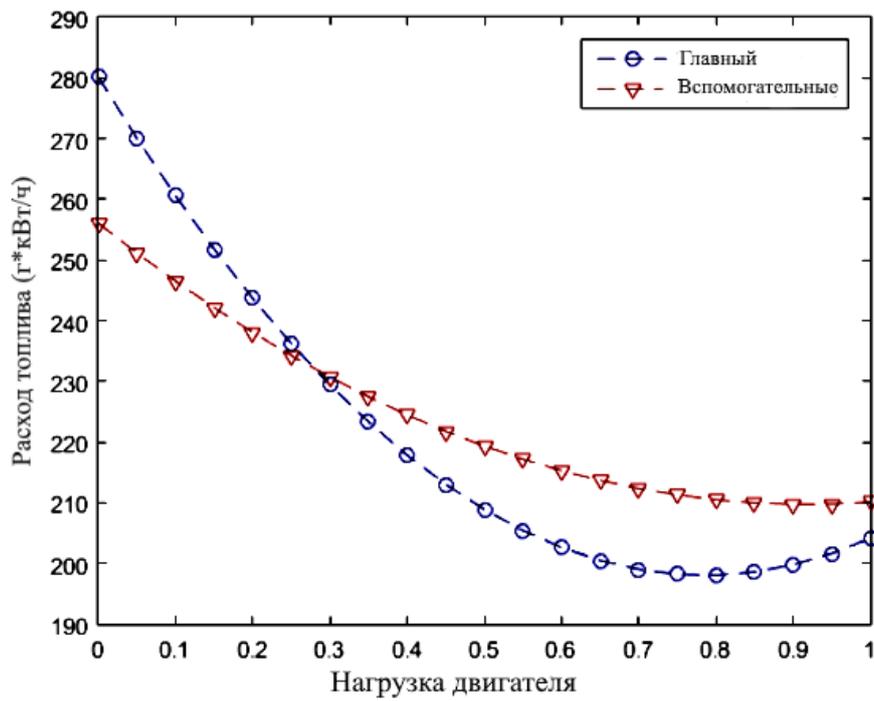
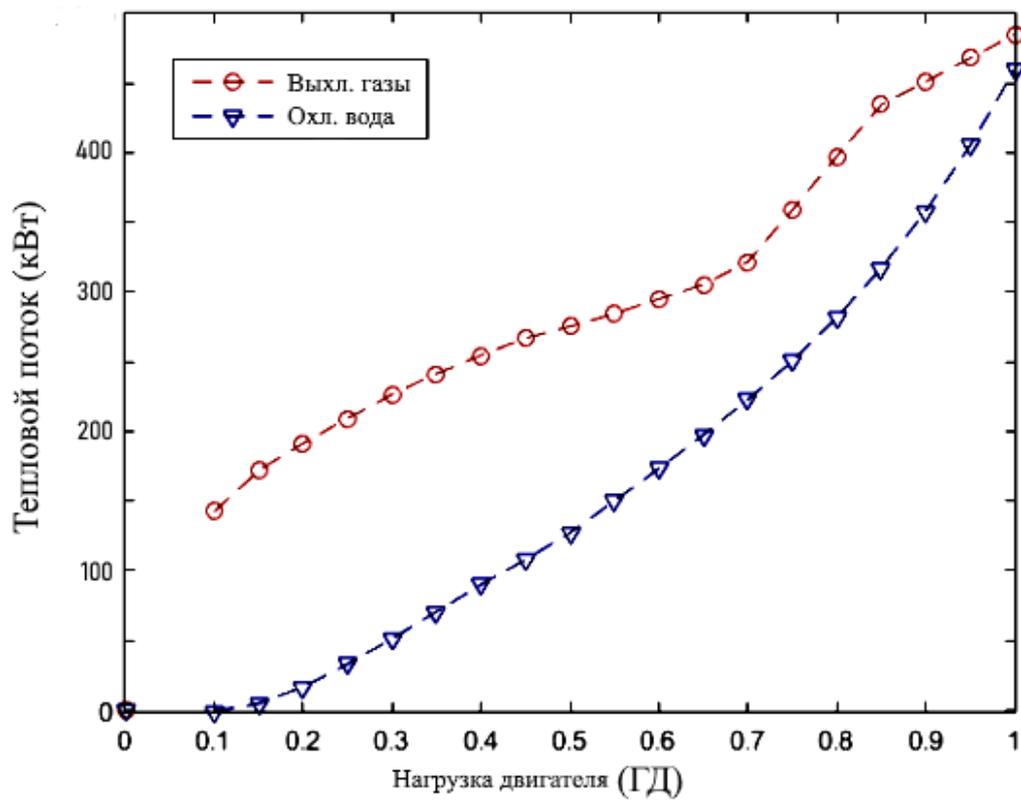


Рисунок 12 – Эффективность работы главного и вспомогательного двигателей



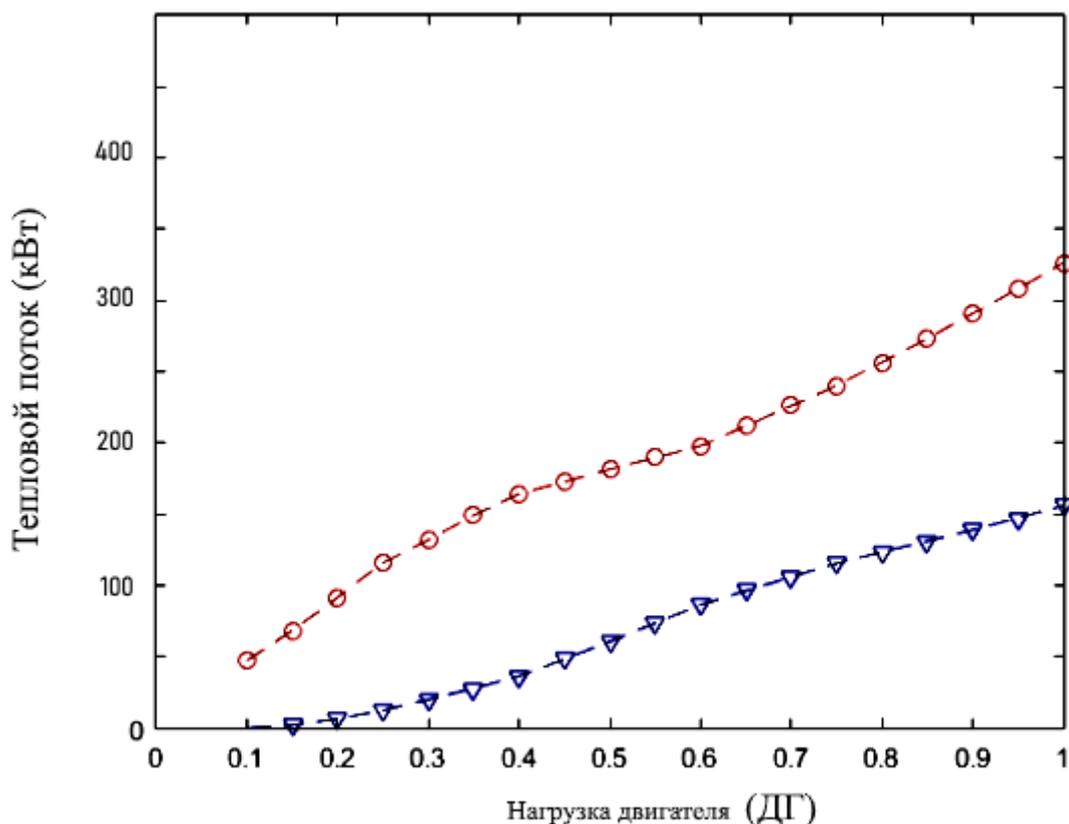


Рисунок 13 – Тепловые потоки ГД и ДГ

Для тестирования применения вышеупомянутого метода к рассматриваемому судну необходимо обеспечить эволюцию потребности на борту в двигательной установке, вспомогательной мощности и вспомогательном тепле. Это было определено на основе данных, полученных от бортовой системы мониторинга.

Учитывая, что как главные, так и вспомогательные двигатели на борту выбранного судна часто работают при малой нагрузке и, следовательно, в неоптимальных условиях, возможность повышения эффективности системы за счет установки валогенератора, подключенного к главному двигателю был исследован. Это дало бы большую свободу в использовании системы выработки электроэнергии, поскольку любой двигатель мог бы обеспечивать мощность для любых потребностей. Однако это происходит за счет увеличения потерь преобразования в электрических компонентах. Гибридная двигательная установка, предлагаемая для модернизации на выбранном судне, показана на рисунке 14.

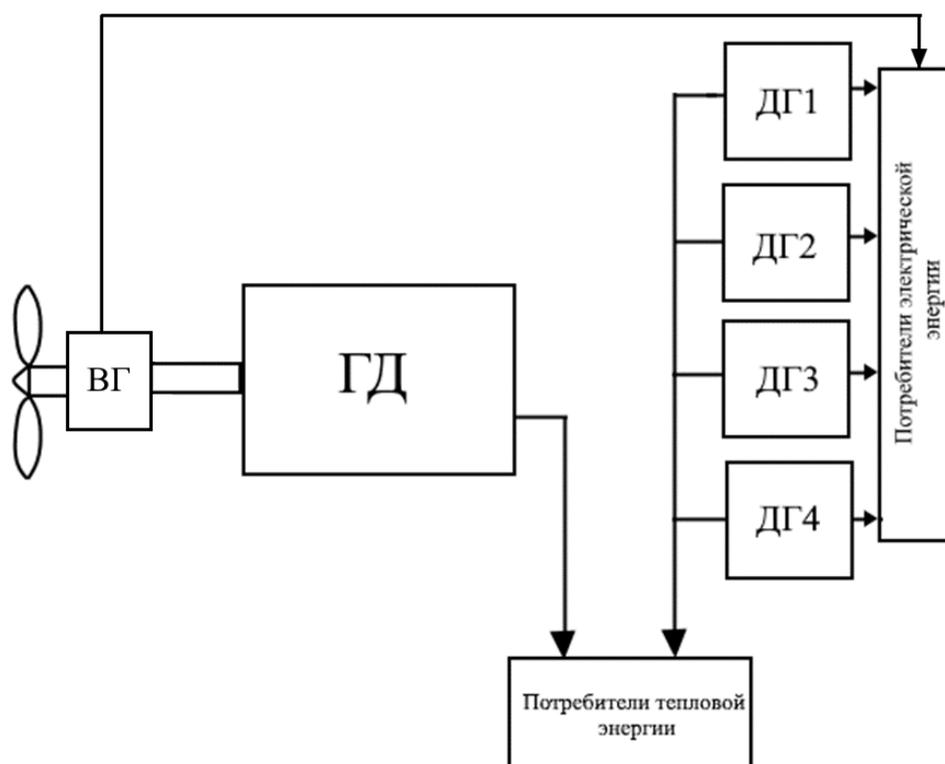


Рисунок 14 – СЭУ судна с валогенератором

На практике такая гибридная установка для данного судна позволит сэкономить от 2% до 5% топлива за счет установки валогенератора по сравнению с базовой СЭУ.

3.2 Задача повышения эффективности эксплуатации судовой энергетической установки на примере СРТМ проекта 502Э

При постановке задачи оптимизации характеристик подсистем дизельной энергетической установки необходимо разработать модели многокритериальной и многопараметрической оптимизации параметров СЭУ, для которой необходимо определить набор независимых параметров, а также условий, определяющих допустимые значения, принимаемые переменными.

Решение задачи оптимизации энергетических показателей судна основано на системе подходе. Качество работы СЭУ характеризуется совокупностью показателей (критериев) качества, влияющих на энергоэффективность работы системы. Как было рассмотрено выше, совокупность этих показателей качества системы может быть записана в виде вектора

$$\mathcal{E} = \{z_k, B_k, N_k, Q_k, b_{ГД}\}.$$

Величина \mathcal{E} является энергозатратами, или обобщенным показателем качества главной энергетической установки судна, для которой критерием

качества является целевая функция системы. Целевая функция параметрической оптимизации энергетических показателей для СЭУ СРТМ проекта 502Э с набором переменных, влияющих на эффективность работы системы и вектор переменных, может быть выражена следующей функцией

$$\Phi = \min f\left(\sum_{i=1}^k z_i \cdot B_i \cdot N_i^D \cdot Q_i + z_B \cdot b_{ГД} \cdot N_B^D \cdot Q_{нГД}\right).$$

При этом, при расчете Φ , варьируемыми величинами являются:

- долевая мощность главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного двигателя, валогенератора;
- долевой часовой расход топлива главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного двигателя;
- долевой удельный расход топлива главного двигателя в ходовом режиме.

Тогда задача оптимизации заключается в обобщении минимальных энергозатрат СЭУ при определенных состояниях ее показателей

$$\Phi = \min \begin{cases} f(N_{ГД}) = \min f(N_{ГДk}) \\ f(N_{ВДГ}) = \min f(N_{ВДГk}) \\ f(N_{АДГ}) = \min f(N_{АДГk}) \\ f(N_B) = \min f(N_{Bk}) \\ f(B_{ГД}) = \min f(B_{ГДk}) \\ f(B_{ВДГ}) = \min f(B_{ВДГk}) \\ f(B_{АДГ}) = \min f(B_{АДГk}) \\ f(b_{ГД}) = \min f(b_{ГДk}) \end{cases}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности главного двигателя

$$f(N_{ГД}) = \min f(N_{ГДk})$$

$$N_{ГД} = \{N_{ГДk} \in N_{ГД} | N_{ГД_{\min i}} < N_{ГДk} < N_{ГД_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности вспомогательного дизель-генератора

$$f(N_{ВДГ}) = \min f(N_{ВДГk})$$

$$N_{ВДГ} = \{N_{ВДГk} \in N_{ВДГ} | N_{ВДГ_{\min i}} < N_{ВДГk} < N_{ВДГ_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности аварийного двигателя

$$f(N_{\text{АДГ}}) = \min f(N_{\text{АДГ}k})$$

$$N_{\text{АДГ}} = \{N_{\text{АДГ}k} \in N_{\text{АДГ}} | N_{\text{АДГ}_{\min i}} < N_{\text{АДГ}k} < N_{\text{АДГ}} | N_{\text{АДГ}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого мощности валогенератора

$$f(N_{\text{В}}) = \min f(N_{\text{В}k})$$

$$N_{\text{В}} = \{N_{\text{В}k} \in N_{\text{В}} | N_{\text{В}_{\min i}} < N_{\text{В}k} < N_{\text{В}} | N_{\text{В}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода главным двигателем

$$f(B_{\text{ГД}}) = \min f(B_{\text{ГД}k})$$

$$B_{\text{ГД}} = \{B_{\text{ГД}k} \in B_{\text{ГД}} | B_{\text{ГД}_{\min i}} < B_{\text{ГД}k} < B_{\text{ГД}} | B_{\text{ГД}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода вспомогательным дизель-генератором

$$f(B_{\text{ВДГ}}) = \min f(B_{\text{ВДГ}k})$$

$$B_{\text{ВДГ}} = \{B_{\text{ВДГ}k} \in B_{\text{ВДГ}} | B_{\text{ВДГ}_{\min i}} < B_{\text{ВДГ}k} < B_{\text{ВДГ}} | B_{\text{ВДГ}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода аварийным двигателем

$$f(B_{\text{АДГ}}) = \min f(B_{\text{АДГ}k})$$

$$B_{\text{АДГ}} = \{B_{\text{АДГ}k} \in B_{\text{АДГ}} | B_{\text{АДГ}_{\min i}} < B_{\text{АДГ}k} < B_{\text{АДГ}} | B_{\text{АДГ}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого удельного расхода главным двигателем в ходовом режиме

$$f(b_{\text{ГД}}) = \min f(b_{\text{ГД}k})$$

$$b_{\text{ГД}} = \{b_{\text{ГД}k} \in b_{\text{ГД}} | b_{\text{ГД}_{\min i}} < b_{\text{ГД}k} < b_{\text{ГД}} | b_{\text{ГД}_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования выбрана судовая энергетическая установка среднего рыболовного морозильного траулера типа «Василий Яковенко», проекта 502Э. Как было показано выше, наиболее оптимальная конфигурация СЭУ включает в себя один главный двигатель, четыре дизель-генератора, один аварийный двигатель и валогенератор.

В таблице 2 приведены показатели качества оптимизируемой СЭУ в ходовом режиме работы

Таблица 2 – Показатели качества СЭУ

Название элемента СЭУ	Количество, шт.	Мощность, кВт	Долевой часовой расход, кг/ч	Теплота сгорания топлива, кДж/кг	Долевой удельный расход топлива, кг/кВт·ч
Главный двигатель	1	852	110,9	42700	0,224
Дизель-генератор	4	165	51	42800	-
Валогенератор	1	150	35	42800	-

Условиями достижения оптимума полученной целевой функции для такого проекта судов будут следующие ограничения

$$\left\{ \begin{array}{l} 724 < N_{ГД} < 766 \\ 140 < N_{ВДГ} < 148 \\ 122 < N_{В} < 135 \\ 105 < B_{ГД} < 111 \\ 48 < B_{ВДГ} < 51 \\ 0,200 < b_{ГД} < 0,224 \end{array} \right.$$

Так как полученная модель оптимизации характеристик подсистем дизельной энергетической установки является многопараметрической и многокритериальной, то для ее решения требуется разработка программного продукта, что и является направлением для дальнейших исследований. Однако, рассмотренные и полученные модели могут быть основополагающими принципами построения системы автоматического проектирования энергетической установки с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками судов рыбопромыслового флота Республики Крым

Выводы по разделу 3

При выборе оптимального режима работы судовой энергетической установки необходимо учитывать структуру установки, потребности в тепло- и электроэнергии, возможности получения мощности и теплоты на долевых режимах работы главного и вспомогательного двигателей и конкретные эксплуатационные условия (техническое состояние судна, движительного комплекса, его загрузка, навигационные и климатические условия).

Решенная задача оптимизации конфигурации нагрузки преобразователей энергии СЭУ на примере СРТМ проекта 502Э, который активно эксплуатируется в Азово-Черноморском бассейне показала, что на практике такая гибридная установка для данного судна позволит сэкономить от 2% до 5% топлива за счет установки валогенератора по сравнению с базовой СЭУ.

Были предложены принципы проектирования судовой энергетической установки на основе оптимизации характеристик подсистем дизельной энергетической установки на примере СРТМ проекта 502Э.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбопромысловый флот республики Крым требует значительной модернизации и обновления для повышения эксплуатационной, экологической и экономической эффективности. Такое улучшение возможно лишь при комплексном подходе к проблеме по всем перспективным направлениям. К таким основным направлениям можно отнести:

- создание и совершенствование методов и принципов расчета и проектирования оптимальных схем энергетических установок с учетом динамического расчета механизмов;

- создание современных требований и методов по объему и графику технического обслуживания флота за счет безразборной диагностики судового оборудования;

- использование экологических видов топлива и современных методов его обработки.

Разработка и эксплуатация высокоэффективных технических систем и технологических процессов невозможна без оптимального согласования существенного количества функциональных параметров, влияющих на эффективность энергетических систем. Основной задачей повышения эффективности судовой энергетической установки рыбопромыслового судна является разработка виртуальных моделей, описывающих комплекс свойств и характеристик подобных систем. Это позволит осуществить поиск альтернативных проектных и эксплуатационных вариантов, являющихся наилучшим по тем или иным критериям для принятия конечного решения. Такой подход позволяет существенно сократить сроки и стоимость создания новых судовых технических средств, повысить их эксплуатационную и экологическую эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пахомов Ю. А., Коробков Ю. П. [и др.]. Топливо и топливные системы судовых дизелей— М.: Консультант, 2004. – 496 с.
2. Возницкий И. В. Аварии судовых двигателей внутреннего сгорания — М.: Морской транспорт, 2015. – 242 с.
3. Дейнего Ю.Г. Эксплуатация судовых энергетических установок, механизмов и систем. Практические советы и рекомендации / Ю.Г. Дейнего. - М.: Моркнига, 2012. - 240 с.
4. Международный (зарубежный) стандарт. DIN ISO 8217 Petroleum products - Fuels (class F) - Specifications of marine fuels (ISO 8217:2012) Нефтепродукты - Топливо (класс F) - Спецификации морского топлива (ISO 8217:2012), дата принятия 01 декабря 2013
5. Пимошенко А. П. Справочник судового механика по теплотехнике / А. П. Пимошенко, И. Ф. Кошелев, Г. А. Попов, В. Л. Тарасов. – Л. : Судостроение, 1987. – 480 с.
6. Циулин, В. А. Использование вязких топлив в дизелях судов флота рыбной промышленности : производственно-практическое издание / В. А. Циулин, О. С. Можаяев. - М. : Агропромиздат, 1986. - 96 с.
7. Возницкий И. В. Практика использования морских топлив на судах / И. В. Возницкий. – С.-Петербург, 2006. – 123 с.
8. Гулин, Е. И. Справочник по горюче-смазочным материалам в судовой технике: справочное издание / Е. И. Гулин, В. А. Сомов , И. М. Чечот. - Л.: Судостроение, 1981. - 318 с.
9. Уханов А. П. Теоретическая оценка влияния дизельного смесового топлива на износ плунжерных пар ТНВД / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов, Г.А. Окунев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. — 2011. — № 2 (14). — С. 115–119.
10. Орешенков А. В. Трибологические характеристики горюче-смазочных материалов / А. В. Орешенков, Н. Н. Гришин, С. Е. Степанова // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. — 2017. — № 2. — С. 23–25.
11. Белоусов Е. В. Топливные системы современных судовых дизелей: учеб. пособие / Е. В. Белоусов. — 3-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 256 с.
12. Кацман Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна. М. Транспорт, 1987. – 223 с.
13. Левшин Г.Ф., Васильчук Л.Н. Сдаточные испытания энергетических установок рыбопромысловых судов. М. Пищевая промышленность, 1975. – 280 с.