

УДК 629.12.03

Специализированные судовые энергетические установки

Е.Б. Гильмияров, В.В. Цветков

Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра судовых энергетических установок

Аннотация. Приведены результаты исследований, позволяющие оптимизировать структуру энергетической установки для судов ярусного лова.

Abstract. This paper contains research results which allow optimizing longliners power plant composition.

1. Введение

Под специализированными СЭУ подразумеваются энергетические установки, создаваемые для конкретных типов судов, что приводит к качественному повышению эффективности их эксплуатации в заданных эксплуатационных условиях.

До настоящего времени считалось, что специализация СЭУ проявляется в следующих областях:

- в создании специализированных пропульсивных комплексов;
- в применении специализированных типов двигателей;
- в использовании специализированных источников энергии.

Например, благодаря появлению на флоте газотурбинных двигателей (ГТД), стало возможным создание судов с динамическими принципами поддержания (ДПП): экранопланов, судов на подводных крыльях (СПК) или на воздушной подушке (СВП). Однако уникальные характеристики судов с ДПП возможно использовать только в очень ограниченной области, т.к. требуемая для них мощность существенно превосходит аналогичный показатель современных СДВС, используемых на судах сопоставимой грузоподъемности.

2. Первые специализированные СЭУ

История появления специализированных энергетических установок насчитывает несколько столетий. В 1730 г. доктор Джон Ален предложил использовать для движения судна **оригинальный пропульсивный комплекс**, использующий реактивный принцип движения, что привело к появлению водометных движителей (hydrojets / waterjets). В соответствии с его проектом, судно должно было двигаться благодаря периодическому закачиванию и выбросу воды из кормовых сопел, для чего предполагалось использовать пароатмосферный насос Савери. В 1787 г. Джеймс Рамсей из Мэриленда (James Rumsey of Maryland) построил пароход, использующий избыточное давление пара для практического осуществления реактивного принципа движения. Во время демонстрации на р. Потомак (Potomac) судно, движущееся благодаря пару, выпускаемому под давлением из специальных кормовых сопел, развило скорость в 3 узла.

Первую попытку в применении в СЭУ **специализированного двигателя** сделал американский инженер шведского происхождения Джон Эрикссон (John Ericsson), построивший в 1853 г. колесный пароход "Ericsson" с двигателем, изобретенным в 1812 г. шотландским священником Стирлингом (Stirling). Попытка оказалась неудачной, т.к. несмотря на то, что теоретический КПД двигателя Стирлинга многократно превосходил эффективность парового двигателя, использование в качестве рабочего тела горячего воздуха не позволяло реализовать все преимущества цикла Стирлинга, т.к. воздух является хорошим изолирующим материалом с малой удельной теплоемкостью. После ряда испытаний Эрикссон понял, что для обеспечения необходимой экономичности двигатель должен работать на давлениях, недоступных для технологий XIX века. Промышленное производство двигателей Стирлинга, работающих на давлениях от 50 до 200 бар с использованием в качестве теплоносителя водорода и гелия, стало возможным только во второй половине XX века, например, Stirling Engine V4-275R Mk III.

Первую относительно удачную попытку создания **специализированного источника энергии** (топлива), ориентированного на применение только для подводного флота, предпринял Гельмут Вальтер (Hellmuth Walter). В 1930 г. началась разработка двигателя, использующего специальное топливо, точнее источник кислорода для горения топлива, – перекись водорода (H_2O_2), которая в результате разложения выделяла кислород и перегретый (до $930^{\circ}C$) пар. Перекись водорода позволяла обеспечить максимальную скорость и автономность ПЛ, т.к. для воспламенения нефтяного топлива ГД (дизеля, а затем газовой турбины), не требовала поступления кислорода извне.

В результате получалась парогазотурбинная установка (ПГТУ), вес которой был несопоставимо меньше веса дизелей. Основным недостатком нового двигателя стал слишком высокий уровень расхода перекиси водорода на милю пути, почти в 25 раз превышающий расход жидкого топлива основным двигателем судна, что практически лишало парогазовую турбину ее массогабаритных преимуществ. Кроме того, обнаружилось, что пыль, ржавчина, щелочи, и другие примеси резко ускоряют разложение перекиси водорода и создают опасность взрыва. Выход был найден в том, что для хранения перекиси водорода применили эластичные емкости из синтетического материала.

Несмотря на то, что экспериментальная ПЛ Вальтера в 1942 г. поставила рекорд скорости подводного хода (26.5 узлов, ок. 49 км/час), первый опыт применения специального источника энергии (окислитель + топливо), закончился неудачно, т.е. особые свойства перекиси водорода оказались неприемлемыми для практического использования ПГТУ. В 1946 г., у причала, без видимых причин, взорвалась ПЛ U1407 (серия XVIIВ), вошедшая в состав Британских ВМС под именем HMS "Meteorite", а 15 мая 1959 г., при проведении ходовых испытаний в Балтийском море взорвалась ПЛ Советского Союза С-99 (проект 617 на базе серии XXVI). Последующий анализ аварий показал, что основной причиной аварий стали протечки высоко летучей перекиси водорода в судовые магистрали, не предназначенные для ее применения.

3. Специализированный пропульсивный комплекс

Современный этап развития водометных пропульсивных комплексов стал возможен благодаря освоению в 70-х годах XX в. технологий строительства военных и гражданских судов на подводных крыльях (СПК). Первоначально в качестве движителей на СПК применяли гребные винты, но по мере увеличения водоизмещения и их скорости гребные винты оказались "тормозом" в реализации скоростных возможностей этих кораблей. Тогда кораблестроители и вспомнили о водометном движителе. Технологической базой привода водометных насосов СПК, в основном осевого типа, стали ГТД и высокооборотные дизели (ВОД), массовое производство которых началось во второй половине XX века.

Появление на флоте СПК способствовало созданию новых типов судов с динамическими типами поддержания (ДПП) – судов на воздушной подушке (СВП) и экранопланов (ЭКП). Типовая скорость современных судов с водометными движителями находится в пределах от 35 до 50 узлов. Суда с большей скоростью строятся по специальным проектам.

На военном флоте водометы устанавливаются на патрульных катерах с подводными крыльями и, в качестве форсажных движителей, на водоизмещающих десантных судах. В последнее время ведутся работы по созданию комбинированных пропульсивных комплексов фрегатов, включающих винторулевую группу для экономичного хода и водомет для обеспечения максимального (боевого) хода.

На гражданском флоте водометные движители наиболее широко применяются на речном флоте и скоростных морских паромных переправах Гонконга, Японии, Ла-Манша, Канарских островов, Саудовской Аравии и Индонезии. В 1995 г. пассажирский паром-катамаран с четырьмя водометными движителями типа Kamewa 63SII, был построен для Австралии (пассажиров – 331, экипаж – 6 чел., скорость до 42.5 узлов) (*Rolls – Royse Fact sheet*, 2002).

Основные преимущества водометных пропульсивных комплексов:

- минимальное количество движущихся частей и снижение уровня шумности и вибрации;
- уникальная маневренность судна и возможность работы на мелководье;
- отсутствие проблем с кавитацией при движении на высоких скоростях.

К числу главных недостатков водометных движителей относятся:

- возможность засорения водозаборника и заклинивания лопастей насоса;
- необходимость индивидуального проектирования водометной установки.

В настоящее время ведущими производителями водометных движителей являются фирмы Boeing, Wärtsilä, Rolls-Royce (подразделение Kamewa). Диапазон мощностей выпускаемых в настоящее время водометных движителей от 50 до 10 000 кВт (*Rolls – Royse Fact sheet*, 2002).

4. Специализированный двигатель

В настоящее время под специализированным двигателем понимается двигатель, конструкция которого предназначена для особых условий применения. Увеличение в конце XX в. массовых морских перевозок сжиженного газа поставило перед судостроением задачу создания двигателей с лучшими экономическими и массогабаритными показателями для замены паротурбинных СЭУ, способных работать на топливе, в избытке имеющемся на газозаводе, что существенно сокращает объемы, занимаемые на судне запасами жидкого топлива. Решение поставленной задачи было найдено путем создания двухтопливных ДВС.

Жидкое топливо подается в цилиндр через совмещенную форсунку с двумя иглами. Первая используется при работе двигателя на жидком топливе, вторая – для подачи "зажигающей" порции дизельного топлива, играющего роль воспламенителя рабочего тела при работе двигателя на газе. Часть форсунки, предназначенная для работы двигателя только на жидком топливе, выполнена по стандартной схеме с иглой, нагруженной пружиной. Игла "зажигающей" части форсунки управляется электроникой, а топливо поступает из аккумуляторной системы, куда оно нагнетается топливным насосом высокого давления.

Газ подается к впускному патрубку на крышке цилиндра под давлением 4-6 атм. Во избежание детонации и пропусков вспышек в цилиндрах соотношение "топливо-воздух" постоянно контролируется электронным блоком управления, а подача газа дозируется специальным клапаном. При неожиданном прекращении подачи газа двигатель, не снижая мощности, автоматически переключается на жидкое топливо. При работе двухтопливного двигателя на тяжелом топливе и газе необходимо использовать различные сорта масла, для чего необходимо произвести небольшую модернизацию двигателя. При работе двигателя на легком топливе и газе используется один сорт масла.

Запускается и останавливается двигатель на жидком топливе. При пуске двигателя через "зажигающую" часть форсунки подается незначительный объем топлива, не превышающий 1 % от цикловой подачи при его работе на жидком топливе. Двигатель разгоняется до частоты вращения около 60 % от номинального значения и, после того, как электронная система управления зафиксирует вспышки во всех цилиндрах, начинается плавное увеличение подачи в цилиндры газового топлива, достаточного для выхода на номинальную частоту вращения. Перевод двигателя с одного вида топлива на другой осуществляется при нагрузках не более 80 % от номинала, путем постепенного увеличения (снижения) количества подаваемого газового топлива.

После создания нового типа СДВС началась замена паротурбинных СЭУ, работающих на газе, на четырёхтактные двухтопливные дизеля, а прямой передачи на винт – на электрическую. В 2004 г. французская компания "Gaz de France" заказала два судна для перевозки сжиженного газа. В качестве источника пропульсивной мощности была выбрана ГЭУ общей мощностью 39.9 МВт с электрической передачей мощности на винт, включающая три главных 12 цилиндровых двигателя W50DF и один вспомогательный 6 цилиндровый двигатель такого же класса. На начало 2005 г. это были самые большие суда данного типа в мире (*Barend Thijssen*, 2004), а всего в мире эксплуатировались около 150 газозовозов. К окончанию 2006 г. в строй должны были войти ещё 60 судов (*Понов*, 2005).

Кроме газозовозов, двухтопливные двигатели могут применяться на платформах по добыче нефти, на которых газ является попутным сырьём, что, однако, требует решения ряда технологических проблем. В настоящее время двухтопливные двигатели нашли применение на парамах и судах внутреннего плавания, для которых проблемы хранения больших запасов топлива не имеют принципиального значения, а определяющим является менее токсичный состав выхлопных газов. Примером такого судна может являться балтийский паром Тихо Браге ("Tycho Brahe"), с энергетической установкой из 4-х двухтопливных дизелей Wärtsilä 6R32 и электрической передачей мощности на винт (*Laurilehto*, 2001).

Модельный ряд двухтопливных двигателей производимых фирмы Wärtsilä включает 8 типоразмеров и охватывает диапазон мощностей от 1.6 до 16 МВт, с соответствующим эффективным КПД от 44 до 48 % (W32 DF – W50 DF).

5. Специализированный источник энергии

Во второй половине XX в. основное направление развития **специализированных источников энергии** было связано с **ядерными паро-производящими установками** (ЯППУ), обеспечивающими максимально достижимую автономность и мощность ядерной энергетической установки (ЯЭУ) при минимальной численности экипажа машинного отделения (авианосцы, АПЛ).

В настоящее время развитие **специализированной энергетики** связывается с применением **топливно-водородных элементов** (ТВЭЛ, fuel cell battery), позволяющих напрямую получать электроэнергию для движения судна с помощью каталитической реакции кислорода и водорода в среде электролита. Первая такая ПЛ U212A, головная в серии из 4 ед., была спущена на воду в Киле в августе 2002 г. После почти годичных испытаний (с апреля 2003 г. до марта 2004 г.) ПЛ с электрохимическим генератором (ЭХГ), состоящим из 16 топливных элементов мощностью по 25 кВт, была принята в апреле 2004 г. на вооружение немецкого подводного флота под наименованием U 31.

Наиболее существенным преимуществом новых энергетических установок стала их практическая бесшумность, высокий КПД достигающий 75 % и подводная автономность ПЛ в течение 15-20 дней, что при средней скорости подводного хода U 31 в 7 узлов позволяет пройти под водой все Балтийское море. Для сравнения: одна из самых совершенных дизель-электрических отечественных подводных лодок (проект Амур 1650) имеет дальность подводного хода 650 миль и время пребывания под водой до 9 суток (*Ефимов*, 2001).

Применение ЭХГ на транспортном флоте ограничивается их низкими массогабаритными показателями, значительно уступающими уровню современных тепловых машин, что, однако, не распространяется на подводный флот, где ТВЭЛы просто заняли место аккумуляторов подводного хода. Контракты на закупку ПЛ нового типа заключили десятки стран мира, в том числе Греция, Израиль, Индия, Бразилия и Австралия. Возможности современных вариантов применения топливно-водородной энергетики, начиная от мотоциклов фирмы Intelligence Energy под названием ENV до электростанций мощностью 100 МВт, демонстрировались на выставке "Fuel Cell Expo", проходившей в Токио 26-27 января 2006 г.

6. Особенности современного подхода к специализации СЭУ

Очевидный положительный эффект от применения специализированных пропульсивных комплексов и двигателей поставил перед судостроением задачу разработки оптимальных методов выбора структуры СЭУ. Это направление стало более приоритетным, чем создание новых способов преобразования энергии или совершенствование технологий производства известных типов судовых двигателей.

Решение поставленной задачи требует анализа всего производственного цикла судна, включая характерные режимы работы СЭУ, и определения **критериев**, которые являются **"определяющими"** для данного типа судна. Примерами "определяющих" критериев являются максимизация автономности, что требует применения ЯППУ, или критерий максимизации КПД двигателя, что приводит к выбору малооборотного дизеля в качестве основной энергетической установки судна.

Таким образом, особенности комплектации специализированной СЭУ связаны с выбором вариантов, у которых **"определяющие" критерии имеют наилучшие значения**, а остальные показатели могут соответствовать относительно невысоким значениям. При таком подходе специализированное судно будет иметь наилучшие характеристики для заданной области применения.

На современном этапе развития судостроения применяется **индивидуальный подход к комплектации энергетических установок** с использованием наиболее распространенных источников энергии. Работы по выбору комплектации СЭУ в зависимости от назначения судна, района плавания, заданных производственных характеристик ведутся в настоящее время всеми ведущими двигателестроительными фирмами.

Дизелестроительные фирмы не желают терять свои позиции на рынке первичных двигателей для пропульсивных комплексов и судовых электростанций и поэтому активно участвуют в таких исследованиях. В частности, ряд дизелестроительных фирм предлагают готовые пропульсивные комплексы со своим двигателем, включая механизм передачи мощности на винт и систему управления движителем. Например, фирма MAN B&W предлагает заказчику двигатель в комплекте с обслуживающими системами, редукторами, валопроводами, движителями и системами управления, согласованными между собой. Под конкретный заказ фирма поставляет пропульсивную установку с четырехтактными дизелями мощностью 800-3920 кВт и двухтактными мощностью 2600-12640 кВт, в которой все составляющие уже согласованы друг с другом.

Непосредственную связь принципа выбора дизельного двигателя с типом судна и его заданными характеристиками можно проследить по рекомендуемой фирмой MAN B&W таблице для выбора комплектации СЭУ для достаточно узкой группы контейнеровозов, разделенных по скоростям, размерам корпуса (проходимость каналов), количеству перевозимых контейнеров (*Propulsion Trends...*, 2000).

Таблица 1. Рекомендации фирмы MAN B&W по выбору ГД для контейнеровоза

	Вместимость в контейнерах			
	1500	2000	2500	3000
Дедвейт, т	20000	26000	31000	37000
Длина общая, м	175	185	200	220
Длина между перпендикулярами, м	165	175	190	210
Ширина, м	28	30	30	32
Осадка, м	10	11.5	11.5	12
Коэффициент полноты	0.60	0.59	0.62	0.62
Скорость судна, узлы	19.5	20.0	21.0	22.0
Мощность ГД, кВт	12300	14800	19800	25200
Варианты ГД: – 1	6S60MC-C	5L70MC-C	7L70MC-C	6K90MC-C
– 2	7S60MC	7S60MC-C	7S70MC-C	7K80MC-C
– 3	5L70MC-C	6S70MC-C	6L80MC	8K80MC-C

Аналогичные исследования по выбору комплектации СЭУ провела фирма Wärtsilä (Levander, 2003) для судна типа Ро-Ро со следующими характеристиками: валовая вместимость 20000 т.; длина общая 190 м; длина между перпендикулярами 175 м; ширина корпуса 12.2 м; осадка по КВЛ 7.5 м; кают для водителей 12; кают для экипажа 18; общая длина дорожек для автотранспорта 2800 м; дедвейт 12000 т.; пропульсивная мощность около 12000 кВт; эксплуатационная скорость 18 узлов; мощность носового подруливающего устройства 1200 кВт, кормового 700 кВт. Были рассмотрены все аспекты эксплуатации данного судна для заданной обслуживаемой линии, вплоть до влияния расположения СЭУ на скорость выгрузки в порту. При анализе учитывались расходы на амортизацию, на горюче-смазочные материалы (ГСМ), затраты на обслуживание СЭУ, включая установку и обслуживание селективного катализатора. Наиболее эффективными оказались три варианта комплектации СЭУ:

– дизель-электрическая с одним типоразмером цилиндра для трех среднеоборотных дизеле (СОД) различной мощности;

– дизель-редукторная с двумя СОД с отбором мощности на ВГ и двумя ВДГ;

– дизель-редукторная с одним СОД с отбором мощности на ВГ и двумя ВДГ.

В последнем, окончательном варианте, были рассмотрены возможности применения специальных приспособлений для уменьшения высоты МКО.

Достаточно интересный подход предлагают специалисты фирм Volvo Penta и Caterpillar к выбору четырёхтактного высокооборотного дизеля (ВОД) с рядным или V-образным расположением цилиндров. Они утверждают, что применительно к конкретным условиям эксплуатации наиболее важным критерием оптимальной комплектации СЭУ является доля времени работы двигателя при полной подаче топлива и частоте вращения, близкой к номинальному значению. Фирмы устанавливают пять режимов эксплуатации, для которых производится настройка и комплектация поставляемого двигателя. Например, при выборе двигателя Volvo Penta D12 для пропульсивной установки судна его максимальная мощность и частота вращения назначаются в зависимости от режима эксплуатации:

– для непрерывной работы двигателя на полной мощности (класс эксплуатации 1) – 220 кВт при 1800 об/мин;

– для работы двигателя на полной мощности в течение 1 часа из 12 (класс эксплуатации 4) – 478 кВт при 2300 об/мин. При этом следует учитывать, что между периодами полной нагрузки частота вращения двигателя должна снижаться не менее чем на 10 % от ее установленного значения.

Для двигателей фирмы Caterpillar кроме этого учитывается количество топлива, потребляемого двигателем, в долях от того количества, которое он израсходовал бы на номинальной мощности. Данный критерий выбора ГД получил название фактор нагрузки (load factor).

По существу на СДВС был перенесён опыт применения электродвигателей повторно-кратковременного режима, применяемых для снижения затрат на установку избыточной мощности, относительно редко используемой в эксплуатации. Подход к комплектации СЭУ в соответствии с концепцией "фактора нагрузки" позволяет выбрать двигатель для судна с известным или заданным режимом пиковых нагрузок ГД: патрульный катер, яхта, прогулочная лодка.

7. Особенности специализации СЭУ на рыбопромысловом флоте

Основной спецификой рыболовных судов является **двойное назначение энергетической установки**: обеспечение хода судна и технологических режимов лова и переработки рыбы. Для транспортных судов понятие "цикличность производственного режима" в принципе не применимо, а 90-95 % эксплуатационного времени ГД транспортов работают на режимах экономичного хода, т.е. на уровнях мощности в 75-85 % от номинального значения.

Наличие у рыбопромысловых судов двух эксплуатационных режимов: ходового и промыслового, требует специального подхода к выбору состава энергетической установки. Специфика эксплуатации СЭУ траулеров исследована достаточно подробно и нашла отражение в массовом применении валогенераторов и винтов регулируемого шага, достаточно редко используемых на транспортном флоте.

В последние годы интенсивное развитие получил относительно новый класс рыболовных судов – **ярусоловы**, эксплуатационные режимы которых существенно отличаются от режимов эксплуатации СЭУ типовых судов тралового флота. Типичным ярусоловом является судно со следующими характеристиками: длина около 50 м; производительность морозильных аппаратов 10-15 т/сутки или установка для охлаждения трюма; требуемая пропульсивная мощность около 1000 кВт; экипаж 20-25 человек; оборудование ярусного лова на 40-50 тыс. крючков/сутки. Наиболее распространенный вариант комплектации пропульсивного комплекса ярусолова: в качестве движителя применяется винт регулируемого шага (ВРШ), дизель-редукторный агрегат (ДРА) без отбора мощности с высокооборотным дизелем мощностью 900-1100 кВт, два вспомогательных дизель-генератора по 200-400 кВт.

Кроме того, на ярусоловах встречаются СЭУ с отбором мощности на гидравлические приводы промышленного оборудования, СЭУ с отбором мощности на валогенератор, гребные электрические установки и ДРА с электродвигателем подкрутки, у которых движение судна на промысле обеспечивается электродвигателем, получающим питание от электростанции, а на переходе – главным двигателем.

Многообразие вариантов комплектации пропульсивного комплекса ярусолова говорит об отсутствии единого подхода к выбору типа СЭУ для судов ярусного лова (Гильмияров, 2004) и требует качественного, в том числе и сравнительного, анализа опыта их эксплуатации.

8. Анализ эксплуатационных режимов судов ярусного лова

В основу проводимых исследований положен сравнительный анализ эксплуатационных режимов судов тралового лова пр.502ЭМ, оснащенных морозильными агрегатами, и ярусоловов, переоборудованных из траулеров того же проекта. Состав пропульсивного комплекса пр.502ЭМ: СОД (736 кВт, 375 об/мин) с прямой передачей на ВРШ с переменной частотой вращения, состав электростанции – 4 ВДГ (по 150 кВт).

Источником исходных данных стали вахтенные журналы судов:

- ярусный лов: "Ореховск", "Олекминск", "Козлово";
- траловый лов: "Ореховск" (до переоборудования), "Минькино",

из которых были сделаны выборки типовых режимов работы СЭУ, отражающих специфику промысла для данного вида лова, начиная от выхода из порта до возвращения в него.

Выборка данных производилась для разных времён года и разной промысловой обстановки:

- ноябрь-январь, июнь-июль (1999 г.),
- май-июль, ноябрь (2002 г.),
- февраль-март, июль-август (2003 г.),
- март-август, ноябрь (2004 г.).

Для определения статистической взаимосвязи мощности СЭУ с частотой ее повторяемости были сформированы два массива исходных данных с дискретностью в 1 час: 2568 часов для тралового вида лова (107 суток), 7056 часов для ярусного вида лова (297 суток). На рис. 1 приведены гистограммы, полученные в результате обработки исходных данных.

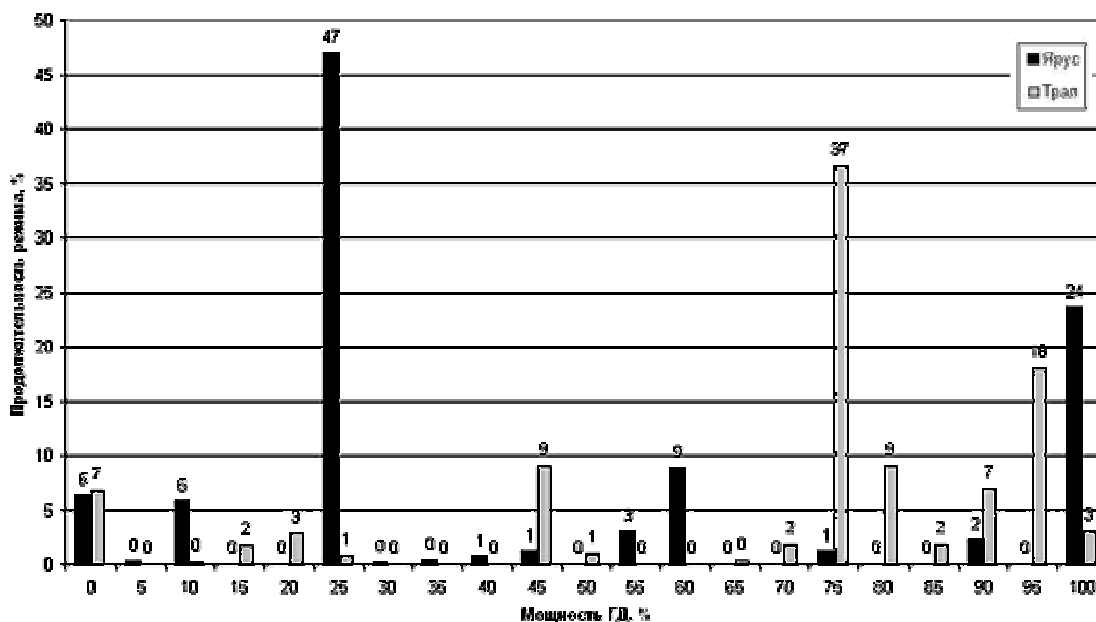


Рис. 1. Сравнительные гистограммы использования мощности ГД для судов тралового и ярусного видов лова

Анализ полученных гистограмм позволяет утверждать:

Для судна с ярусным видом лова и заморозкой на борту характерны следующие эксплуатационные режимы работы пропульсивного комплекса:

- 47 % времени ГД работает на мощности 25-30 % от номинала (выборка яруса);
- 12 % времени ГД работает на мощности 55-60 % от номинала (постановка яруса);

- 24 % времени ГД работает на мощности 90-100 % от номинала (переходы от одного порядка яруса к другому, переходы на промысел и обратно).

При этом потребляемая мощность электростанции на технологические и общесудовые нужды составляет около 25 % от номинальной пропульсивной мощности.

Для судна с траловым видом лова и заморозкой на борту характерны следующие эксплуатационные режимы работы пропульсивного комплекса:

- 78 % времени ГД работает на мощности 70-100 % от номинала (ход с тралом и переходы на промысел);
- 10 % времени ГД работает на мощности 45-50 % от номинала (постановка – подъём трала).

Наличие на режиме траления двух "пиков" в районе 75 % и 95 % мощности ГД обусловлено применением тралов различных проектов. Колебания нагрузки вокруг этих "пиков" происходят из-за влияния погодных условий, т.к. буксировка трала должна осуществляться на одной глубине, при требовании поддержания одинаковой скорости траулера как при его движении по ветру, так и против ветра.

Для обоих видов лова характерны следующие общие режимы работы СЭУ:

- до 7 % времени стоянка в море, связанная с работой с транспортом и бункеровкой на промысле, включая время для проведения обслуживания и ремонта ГД;
- до 6 % времени ГД работает на мощности 10-20 % от номинала (поиск рыбы и работа с транспортом).

Таким образом, после замены промыслового вооружения с трала на ярус производственный режим СЭУ значительно изменился. Наиболее наглядно это проявилось в "зеркальном" изменении среднесуточного распределения нагрузки на ГД. Так, длительность работы ГД в производственном цикле траулера на "высокой" нагрузке первоначально составляла от 2 до 6 часов, а на "низкой" нагрузке от 1 до 1.5 часов. После переоборудования траулера в ярусник, длительность работы ГД на "высокой" нагрузке уменьшилась до 1-3 часов, а на "низкой" возросла до 4-8 часов.

Выбор судна для переоборудования без учета специфики эксплуатационных режимов ярусолова привел к тому, что замена промыслового вооружения при сохранении исходного состава СЭУ привела к значительному росту длительности работы ГД в зоне малых нагрузок, что для дизеля является крайне неблагоприятным эксплуатационным режимом.

Несколько улучшить режим работы ГД ярусолова с морозильными агрегатами позволяет применение в составе СЭУ валогенератора, что подтверждается анализом эксплуатационных режимов ярусолова "Вега", переоборудованного из траулера пр.503. Состав пропульсивного комплекса судна: СОД (970 кВт, 425 об/мин) с редукторной передачей на ВРШ и отбором мощности на валогенератор переменного тока (300 кВт), электростанция – 3 ВДГ по 150 кВт.

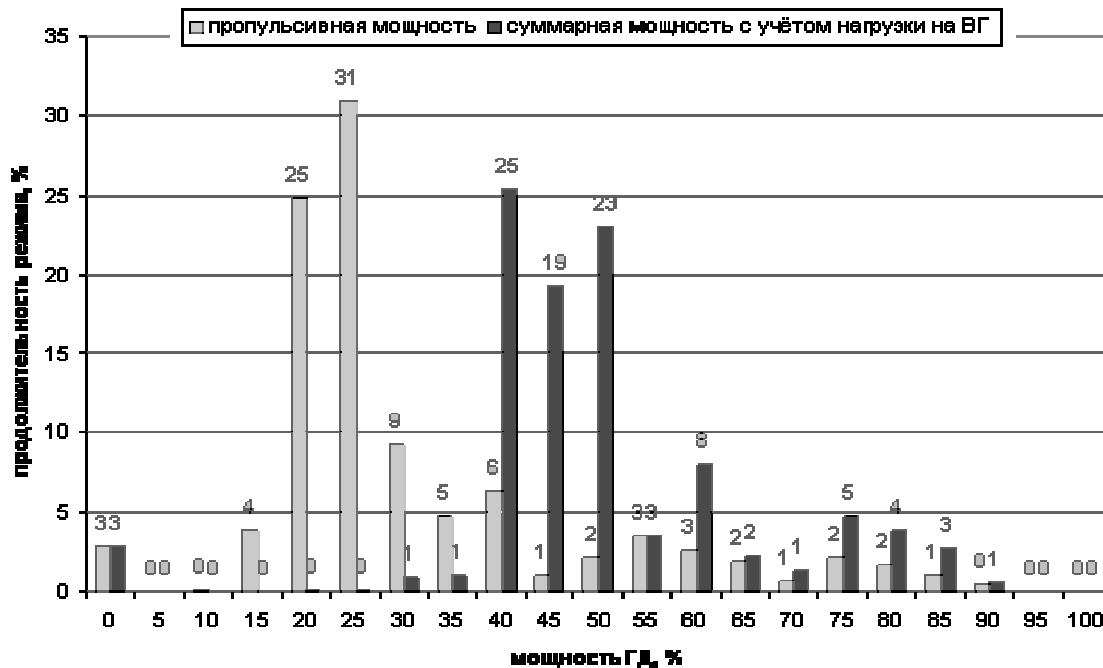


Рис. 2. Сравнительные гистограммы использования мощности ГД для судна ярусного лова (пр.503, "Вега") с учетом мощности отбираемой на валогенератор и без него

Для анализа эксплуатационных режимов ГД с учетом нагрузки, отбираемой валогенератором, был использован массив исходных данных в 3600 часов (150 суток), полученный из машинных журналов за периоды: июль-октябрь 2004 г. и январь-март 2005 г.

Гистограммы, полученные в результате обработки исходных данных, приведены на рис. 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Для указанных типов ярусоловов доля времени ходовых режимов с потребностью в пропульсивной мощности от 10 до 30 % от мощности ГД примерно одинакова (52.7-69 %), но применение валогенератора на судне с морозильными агрегатами позволяет увеличить загрузку ГД на 25 %. В этом случае нагрузка общесудовых и технологических потребителей электроэнергии переводится на валогенератор, а количество ВДГ, входящих в состав СЭС, может быть сокращено до допустимого минимума.

Интересный результат получен при сравнительном анализе эксплуатации ГД на мощностях свыше 70 % от номинала. Для "Веги" длительность работы на высоких уровнях мощности составила около 12 % от общего бюджета эксплуатационного времени, что оказалось почти в 2 раза ниже, чем у ярусоловов пр.502ЭМ. В первую очередь это может быть связано с тем, что промысел "Веги" ведется в непосредственной близости от порта базирования, т.е. коротким плечом доставки груза, но нельзя исключить и роль опыта штурманского состава при работе с ярусом в качестве орудия лова (меньше "перебежек" для поиска рыбы и "пробных" постановок).

Немаловажное значение в выборе структуры пропульсивного комплекса отводится специфике работы судна и всех его составляющих. Например, одинаковое значение максимальной пропульсивной мощности для ярусолова и траулера обусловит применение различных гребных винтов, спроектированных для свободного хода и для хода "с возом", а гребной винт транспортного судна, ориентированный на обеспечение максимальной эффективности полного переднего хода, существенно отличается от гребного винта рыболовного судна, предназначенного для работы на малых ходах. Аналогично, распределение нагрузки по времени для ГД ярусника и военного фрегата примерно одинаково (Барановский, 2004), но различие в абсолютных значениях максимальной скорости обуславливает не только разный состав СЭУ, но и различный подход к конструированию корпуса судна. Немаловажное значение при выборе структуры СЭУ и пропульсивного комплекса ярусолова играет способ сохранения улова на борту – охлаждение или заморозка.

Необходимо отметить, что, по сравнению со специально спроектированными судами, пропульсивная мощность, необходимая при выборке яруса, у рассмотренных типов ярусоловов, переоборудованных из траулеров, является несколько завышенной, т.к. двигатели траулеров проектировались для обеспечения полного переднего хода, а программы управления ГД не рассчитывались на новые эксплуатационные режимы. В частности, это связано с повышением доли работы ГД на малых ходах и необходимостью качественной стабилизации на них частоты вращения валогенератора (пр.503).

9. Заключение

Проведённый выше анализ позволяет утверждать, что для судов ярусного лова предпочтительно индивидуальное формирование выбора состава СЭУ, ходовые режимы которого не только существенно отличаются от судов тралового флота, но и зависят от зоны промысла и предполагаемых производственных характеристик судна. В первом приближении, критерием выбора состава СЭУ судна ярусного лова может быть типовой "энергетический спектр", характерный для обеспечения основных эксплуатационных режимов выбранного типа судна.

Основной особенностью энергетического спектра судна ярусного лова является продолжительные малые хода для выборки яруса (0-2 узла). С другой стороны, его окончательный вид будет определяться способом сохранения улова на борту. Так, длительность малых ходов может быть около 25 % от общего нахождения судна в море для судна, доставляющего свежую рыбу в порт, или до 70 % для судна с морозильными аппаратами и разделкой рыбы на борту судна. При этом длительность режимов полного хода будет около 50 % и 10-20 % соответственно. Кроме того, способ сохранения улова на борту судна определяет потребность в обеспечении энергией технологических нужд (морозильных аппаратов, оборудования для разделки рыбы и т. д.), что приводит к изменению потребности в энергии на хранение и переработку свежей или замороженной рыбы, оцениваемой в 10-25 % от пропульсивной мощности полного хода.

В любом случае для ярусолова можно сделать вывод о целесообразности дробления мощности СЭУ между несколькими двигателями с отбором мощности на технологические и внутрисудовые нужды. Например, это может быть ГЭУ с электрической передачей мощности к двигателю и единой энергосистемой или СЭУ с редукторной передачей с электрическим или гидравлическим отбором мощности.

В качестве СЭУ, ориентированной на использование электродвижения, можно предложить энергоустановку с гребным электродвигателем мощностью 1000-1100 кВт, у которой в качестве первичных двигателей используются два дизеля разной мощности 450-550 кВт и 100 кВт и газовая турбина полного хода мощностью 500-600 кВт.

Наличие нескольких первичных двигателей позволяет использовать на основных эксплуатационных режимах одну, максимум – две, машины. Такой режим эксплуатации ГД позволяет поставить вопрос о преимущественной ориентации СЭУ ярусоловов на применение морских ГТД, т.к. в данном случае индивидуальная выработка моторесурса каждой газовой турбины снижается в 2-3 раза, что доводит моторесурс ГТУ до уровня, сопоставимого с дизельной СЭУ.

При этом следует отметить, что применение двигателей ПВ (повторно-кратковременного) режима, рекомендуемых фирмами Volvo Penta и Caterpillar, в данном случае нецелесообразно. Появление концепции "**фактора нагрузки**" стало результатом востребованности СЭУ, кратковременно обеспечивающих "пиковую" нагрузку для режима форсированного хода. Как правило, решение этой задачи связывалось с установкой дополнительных источников энергии. Предложенная концепция обеспечения "пиковых" нагрузок связана с введением в конструкцию ДВС некоторых изменений и была апробирована на двигателях мощностью от 70 до 2500 кВт.

Для судов ярусного лова задача выбора типа СЭУ диаметрально противоположна. Анализ режимов эксплуатации ярусоловов показывает, что для них необходимо обеспечивать наиболее эффективную работу СЭУ в зоне малых нагрузок, но при этом потребность в максимальной мощности для обеспечения полного хода требуется в течение нескольких суток подряд, на что не рассчитаны двигатели ПВ режима.

Проведенный выше анализ позволяет утверждать, что для выбора структуры СЭУ целесообразно сформировать новое понятие – "**фактор неполной нагрузки (underload factor)**" который должен характеризовать специфику эксплуатационных режимов судов ярусного лова. Решение задачи неполного использования мощности ГД за счёт изменения конструкции первичного двигателя невозможно, поэтому для её решения необходимо найти оптимальный подход к выбору составляющих частей СЭУ.

Литература

- Barend Thijssen.** Dual-fuel diesel engines for LNG carriers. *Wärtsilä Marine news*, N 1, p.32, 2004.
- Laurilehto M.** Gas fuelled engine for marine application. *Wärtsilä Marine news*, N 1, p.7, 2001.
- Levander O.** Novel machinery concepts for RoRo vessels. *Wärtsilä Marine news*, N 1, p.10, 2003.
- Propulsion Trends in Container Vessels. MAN & B&W. [Электронный ресурс]: режим доступа: <http://www.mandiesel.com/files/news/files0761/Propulsion%20container.pdf>, 2000.
- Rolls – Royce Fact sheet, Kamewa Waterjets, A – series, FF – series, S – series. [Электронный ресурс]: режим доступа: http://www.rolls-royce.com/marine/downloads/propulsion/awj_fact.pdf, 2002.
- Барановский В.В.** Обоснование выбора главных энергетических установок на стадии исследовательского проектирования кораблей. *Судостроение*, № 3, с.25, 2004.
- Гильмияров Е.** Особенности энергетических установок судов ярусного лова. *Вестник МГТУ*, т.7, № 1, с.23, 2004.
- Ефимов А.В.** Неатомная подводная лодка четвёртого поколения Амур 1650. *Судостроение*, № 2, с.106, 2001.
- Попов Н.** Наступление на газ. *Морской флот*, № 2, с.18, 2005.