

**Д.В. Умяров**

КБ «Вымпел»

**О.С. Хватов, Д.В. Литов, В.В. Гуляев**

ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СУДОВОГО ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ**

Большим прорывом в развитии дизель-электрических силовых установок стало их применение на круизных судах в 80-х годах прошлого века, благодаря развитию и возможности применения сложной силовой электроники. Силовая электроника позволила устанавливать частотные преобразователи и применять концепцию «силовой станции», делая тем самым процесс генерирования питания на борту более эффективным.

«Квин Элизабет 2» стала первым современным пассажирским и круизным судном, где концепция силовой станции была реализована путем использования силовой установки 95,5 Мегаватт. «Квин Элизабет 2» до сих пор задает тон современным и строящимся круизным судам по обоим вопросам: касательно концепции электрической силовой станции и касательно монтажа с низким уровнем шума и вибрации на борту круизных судов.

КПД пропульсивной установки судна с «чистым» электродвижением меньше, чем КПД судна с пропульсивной установкой с тепловым двигателем, работающим непосредственно на гребной винт. Так, например, при номинальном моменте на винте, КПД современной пропульсивной установки с электродвижением уменьшается примерно на 12% (в лучшем случае) по сравнению с пропульсивной установкой с тепловым двигателем [2,3,4].

Кроме того, на электроходах требуется применять дополнительное оборудование, входящее в состав ГЭУ[1], отрицательно влияющее на массогабаритные и стоимостные характеристики судна, – щиты электродвижения или секции электродвижения ГРЩ, мощные трансформаторы ГЭУ, ПЧ, гребные электродвигатели и их системы охлаждения. Причём это оборудование ЕЭС и ГЭУ требуется выбирать заведомо с завышенной мощностью, т.к. необходимо учитывать потери мощности в результате искажения питающей сети, возникающие при работе ПЧ. Управление ГЭУ должно производиться из ЦПУ (дополнительное помещение со своим оборудованием).

Тем не менее, существует целый ряд судов, для которых пропульсивная установка с электродвижением является наиболее подходящей в силу их режимов работы. К ним относятся такие суда, для которых основным режимом работы являются частые реверсы (ледоколы) или длительное движение малым ходом с маневрированием, при таких скоростях, когда нагрузка на главные двигатели недопустимо мала. К ним относятся гидрографы, траловые суда, укладчики, пассажирские суда.

Ниже следует сравнительная таблица состава оборудования, которое применяется на судах с тепловой пропульсивной установкой и с электродвижением (см. таблица 1).

**Сравнительный состав оборудования судна с тепловой пропульсивной установкой и судна с типовой электрической пропульсивной установкой**

| п/п | Наименование оборудования  | Судно с дизельной пропульсивной установкой                        | Судно с типовой электрической пропульсивной установкой                                       | Примечание  |
|-----|--|---|--|---|
| 1   | Главный двигатель  | +   | -  |   |
| 2   | ЦПУ  | Если класс автоматизации А2                                       | Обязательно  | РС. Ч.11, стр. 332, п. 17.5.1   |
| 3   | Валогенераторы   | -<br>При необходимости  | -  |   |
| 4   | Дизельгенераторы   | + Мощность ДГ обеспечивает мощность потребителей собственных нужд | + Мощность ДГ обеспечивает мощность электродвижения и мощность потребителей собственных нужд |   |
| 5   | Редуктор   | + Требуется если без винторулевой колонки                         | - В любом случае редуктор не требуется (с ВРК или без)                                       |   |
| 6   | Секции электродвижения в ГРЩ или отдельно стоящий щит электродвижения  | -   | + (масса, габариты, габариты помещения ПЭЖ или ЦПУ)  | Мощность (масса, габариты) коммутационно – защитной аппаратуры соответствует мощности пропульсивной установки |
| 7   | Трансформаторы ГЭУ   | -   | + Мощность трансформаторов ГЭУ соответствует мощности пропульсивной установки                | (масса, габариты)   |
| 8   | ПЧ   | -   | + Мощность ПЧ соответствует мощности пропульсивной установки                                 | (масса, габариты)   |
| 9   | Тормозные сопротивления  | -   | +  | (масса, габариты)   |
| 10  | Гребные электродвигатели   | -   | + Мощность ГЭД соответствует необходимой мощности на винте                                   | (масса, габариты)   |
| 11  | Система смазки и охлаждения ГЭУ  | -   | +  | (масса, габариты)   |
| 12  | Система ДАУ пропульсивной установкой   | +   | +  |   |
| 13  | ВРК  | + винт в насадке  | + колонка  |   |
| 14  | Дополнительные силовые кабельные трассы и соответствующие конструктивные мероприятия, обеспечивающие прокладку больших кабельных трасс | -   | +  | (масса, габариты)   |

Как видно из приведённой таблицы, судно с типовой пропульсивной электроустановкой имеет больший состав оборудования, что приводит к более высокой стоимости и ресурсоёмкости, как при проектировании и строительстве судна, так и при его эксплуатации.

Таким образом, основные недостатки судов с электродвижением заключаются в следующем:

1. Увеличивается состав оборудования.
2. Увеличивается стоимость судна.
3. Ухудшаются массогабаритные характеристики.

Однако, указанные недостатки могут быть скомпенсированы за счёт рационального размещения оборудования – не по горизонтали, а по вертикали – дизель генераторы размещаются на платформе, гребные электродвигатели под ними в трюме, т.к. связь не валовая линия, а кабель. Следовательно, судно должно быть более коротким – меньше стали, меньше вес корпуса.

Необходимо предусматривать помещение ЦПУ – основной пост управления ([1]: Ч.11, п. 17.5.1, стр. 332).

Низкий КПД ГЭУ – около 88% при номинальной мощности на гребном валу – это данные МВИ пр. 19910.

Из-за низкого КПД увеличиваются эксплуатационные расходы (топливо, смазка).

В результате искажений питающей сети преднамеренно завышается мощность генераторов ЭЭС и элементов, входящих в состав ГЭУ (трансформаторы, ПЧ, ГЭД, кабели), примерно на 10% ([1]: Ч.11, п.17.6.1.1 и п.17.6.1.3, стр. 332).

Неэффективное использование пропульсивной установки: ГЭУ используется во всех режимах судна, как то – ход с полной скоростью, где электродвижение не выгодно из-за низкого КПД ГЭУ – так и при ходе на частичных и маневровых режимах, где КПД ГЭУ значительно выше КПД тепловых двигателей и пропульсивная установка с электродвижением имеет преимущество.

Перечисленные недостатки пропульсивной системы на основе типовой ГЭУ послужили основанием для выполнения проработки судна с пропульсивной установкой получившей название «гибридной», т.е. включающей в свой состав дизельные главные двигатели с обратимыми валогенераторами (валогенераторы, которые могут работать в режиме двигателя).

Судно с пропульсивной гибридной установкой (ПГУ) сочетает в себе достоинства судна с пропульсивной установкой с тепловым двигателем и достоинства судна с пропульсивной установкой с электродвижением. В этом случае ГЭУ выступает в роли не основной, а вспомогательной пропульсивной установки.

Так, продолжительный ход судна с полной скоростью обеспечивается тепловыми ГД (дизели, работающие на валовую линию) с электропитанием общесудовых потребителей от собственных валогенераторов. В штормовых условиях осуществляется переход на вспомогательные ДГ, а ВГ отключаются. Продолжительная работа судна на малых ходах и при маневрировании, осуществляется на обратимых ВГ (вспомогательная ГЭУ), работающих в качестве гребных электродвигателей. Питание ГЭУ и общесудовых потребителей осуществляется от вспомогательных дизель-генераторов.

Так как работа на малых ходах и маневрировании осуществляется при малой мощности на гребном валу, то, следовательно, и мощность собственных ДГ, и мощность ГЭУ будет значительно меньше по сравнению с теми же установками, которые применяются в типовых гребных электрических установках и обеспечивающих полный ход судна.

Одним из «узких» мест в анализируемой пропульсивной системе с ПГУ является редуктор типа РТОРТИ, обеспечивающий передачу мощности от главного двигателя или обратимого валогенератора на гребной вал и её приём с гребного вала на валогенератор.

Опыт применения ДРА фирмы Wartsila имеется на судах проектов 00260, 00250 и др., где обратимый ВГ используется только в качестве аварийной установки, обеспечивающей ход судна в случае аварии ГД. Номенклатурный ряд таких дизель-редукторных агрегатов, их стоимость, а также стоимость такого комплекса подлежит уточнению. В настоящее время у авторов имеются данные только на пропульсивные установки с винтом регулируемого шага. Применение ПГУ позволяет отказаться от ВРШ и использовать винт фиксированного шага в насадке. Эффективная регулировка скорости вращения винта в режимах маневрирования на малых ходах обеспечивается системой электродвижения.

**Список литературы:**

- [1] Российский Морской Регистр Судоходства. – 2012.
- [2] Мелешкин Г.А. Переходные режимы судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1971.
- [3] Григорьев А.В., Улитовский Д.И., Глеклер Е.А. Результаты ходовых испытаний единой электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» // Судостроение, 2008. – №1. – С. 33–35.
- [4] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Топливная экономичность единой электростанции автономного объекта на базе двигателя внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Эксплуатация морского транспорта, 2013. – №1. – С. 47 – 50.