

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА СУДАХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ФЛОТА

### ANALYSIS OF POSSIBILITY AND EXPEDIENCY OF USING OF ELECTRICAL PROPULSION PLANTS ON SHIPS FOR AUXILIARY FLEET

*В статье приведены результаты сравнительного анализа технико-экономических и технико-эксплуатационных характеристик вариантов электроэнергетической установки (традиционной на базе главного дизеля и единой электроэнергетической системы) с системой электродвижения. Перечислены основные преимущества и недостатки вариантов для вспомогательного флота на примере лоцмейстерского судна. Приведены показатели экономичности, массы и габаритных размеров, стоимостные показатели. Сделан вывод о целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота.*

*The paper presents results of comprehensive analysis of technical-economical and technical-operational stats of electrical power installment's variants (traditional one based on main diesel engine and integrated electrical power system) with electrical propulsion plant. Main advantages and disadvantages of both variants are listed in relation to auxiliary fleet on the example of buoy tender. Indexes of efficiency, cost, mass and overall dimensions are specified. Conclude regarding expediency of using of electrical propulsion plants on ships for auxiliary fleet is made.*

*Ключевые слова: система электродвижения, единая электроэнергетическая система, традиционная электроэнергетическая установка, вспомогательный флот, главные размерения судна.*

*Key words: electric propulsion plant, integrated electric power system, traditional electric power installation, auxiliary fleet, ship main dimensions.*

**В** ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие системы электродвижения (СЭД) находят все более широкое применение на строящихся в России и за рубежом судах различного назначения [1–3]. По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами на базе дизельных двигателей с прямой передачей вращающего момента на винт СЭД имеют ряд достоинств, среди которых следует выделить:

- повышение маневренных характеристик судна;
- снижение эксплуатационных расходов;
- снижение сроков ремонтных работ;
- снижение вредных выбросов в атмосферу;
- повышение КПД энергетической установки в долевых режимах;
- возможность наиболее рационального размещения оборудования на судне;
- повышение надежности электроэнергетической установки (ЭЭУ).

Следует отметить, что по массогабаритным и стоимостным показателям единые электроэнергетические системы (ЕЭЭС) с СЭД существенно уступают традиционным установкам. В связи с этим важным вопросом при выборе типа ЭЭУ является технико-экономический анализ возможности применения СЭД на конкретном судне, в частности на судах вспомогательного флота, характеризующихся ограниченными главными размерениями [4].

Ниже приведен сравнительный анализ традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД применительно к лоцмейстерскому судну.

Традиционная ЭЭУ представлена на рис. 1. В состав ЭЭУ входят судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) и главная энергетическая установка (ГлЭУ) [5].

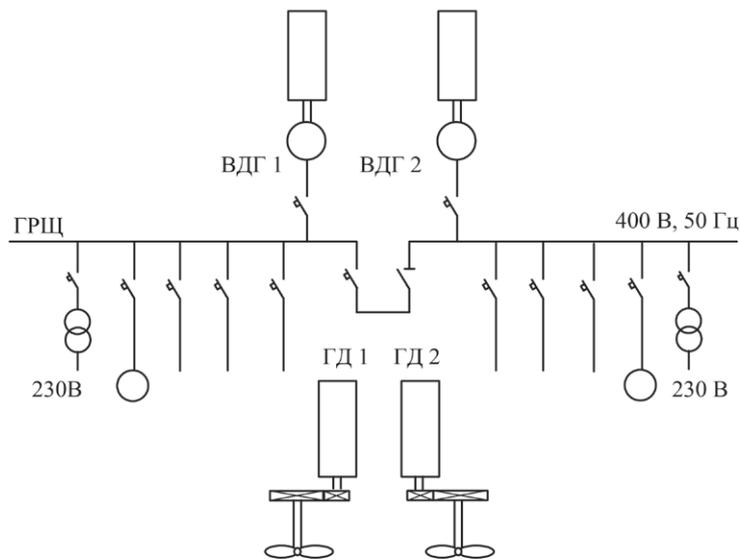


Рис. 1. Структурная схема традиционной ЭЭУ

СЭЭС состоит из двух судовых электростанций (СЭС): вспомогательной и аварийной.

В состав вспомогательной СЭС входят вспомогательные дизель-генераторы (ВДГ) и главный распределительный щит (ГРЩ). ЭЭС выполнена на напряжение 400 В. В состав аварийной — аварийный распределительный щит (АРЩ) и аварийный дизель-генератор (АДГ).

ГлЭУ состоит из двух среднеоборотных главных дизелей (ГД) и двух понижающих редукторов, соединенных с гребным валопроводом и винтом фиксированного шага (ВФШ) [6].

Расположение оборудования традиционной ЭЭУ представлено на рис. 2.

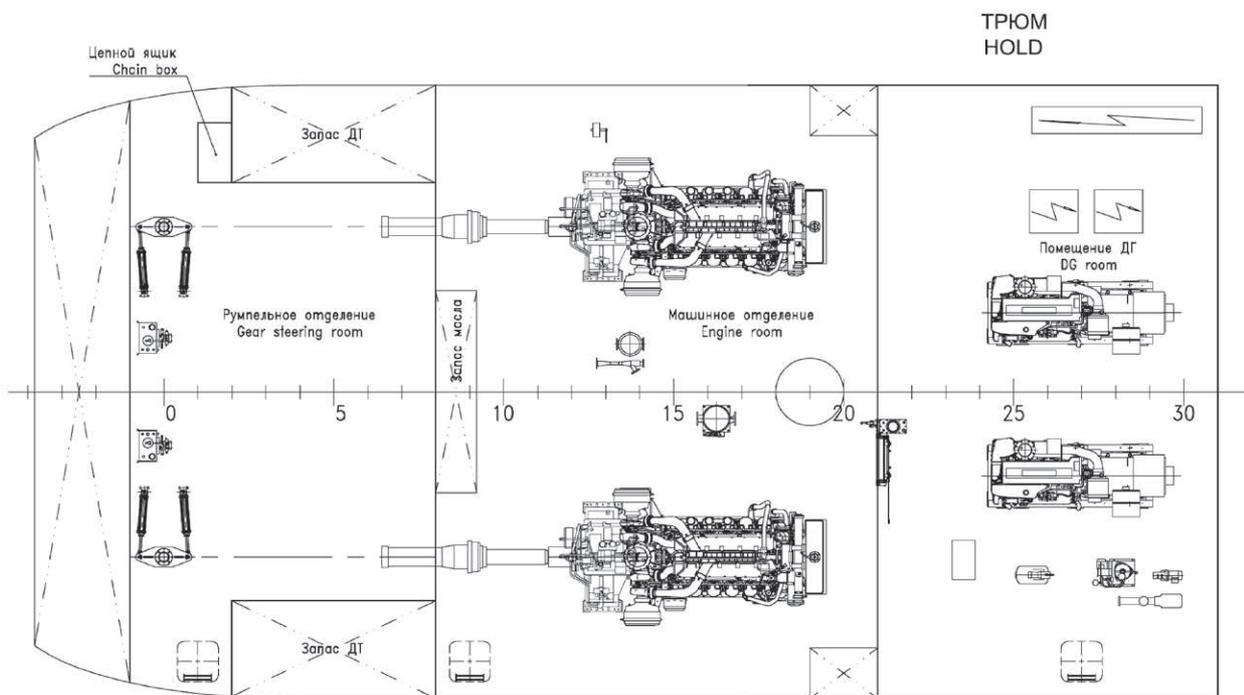


Рис. 2. Расположение оборудования традиционной ЭЭУ

Структурная схема ЭЭУ на базе ЕЭЭС с СЭД представлена на рис. 3.

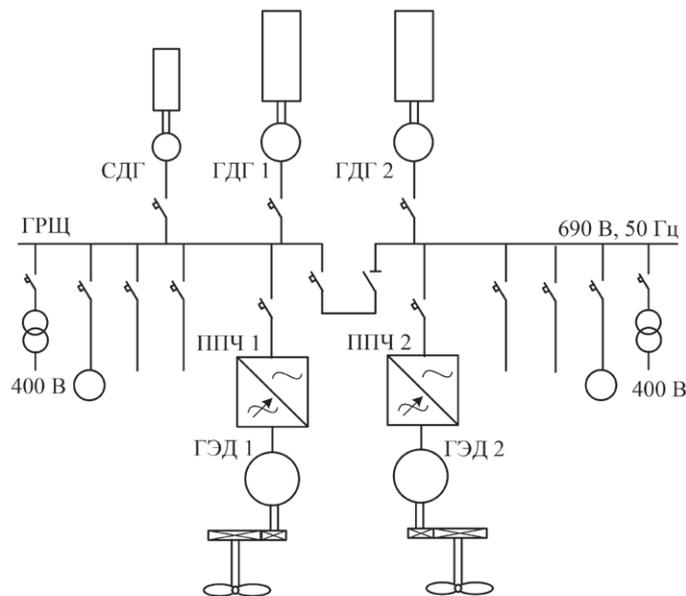


Рис. 3. Структурная схема ЕЭЭС с СЭД

ЕЭЭС состоит из двух судовых электростанций (СЭС): главной и аварийной.

В состав главной СЭС входят главные дизель-генераторы (ГДГ), стояночный ДГ, главный распределительный щит (ГРЩ) напряжением 690 В.

В состав СЭД входят два гребных электродвигателя (ГЭД), получающих питание от полупроводниковых преобразователей частоты (ППЧ). Гребные электродвигатели (ГЭД) посредством понижающих редукторов приводят в движение ВФШ.

ППЧ выполнен на базе активного выпрямителя и автономного инвертора. Особенность рассматриваемой СЭД заключается в том, что подключение гребного электропривода к ГРЩ осуществляется без применения силовых пропульсивных трансформаторов [7].

В качестве ГЭД возможно использовать среднеоборотный электродвигатель асинхронного или синхронного типа на постоянных магнитах с воздушно-водяным охлаждением.

Расположение оборудования ЕЭЭС с СЭД представлено на рис. 4.

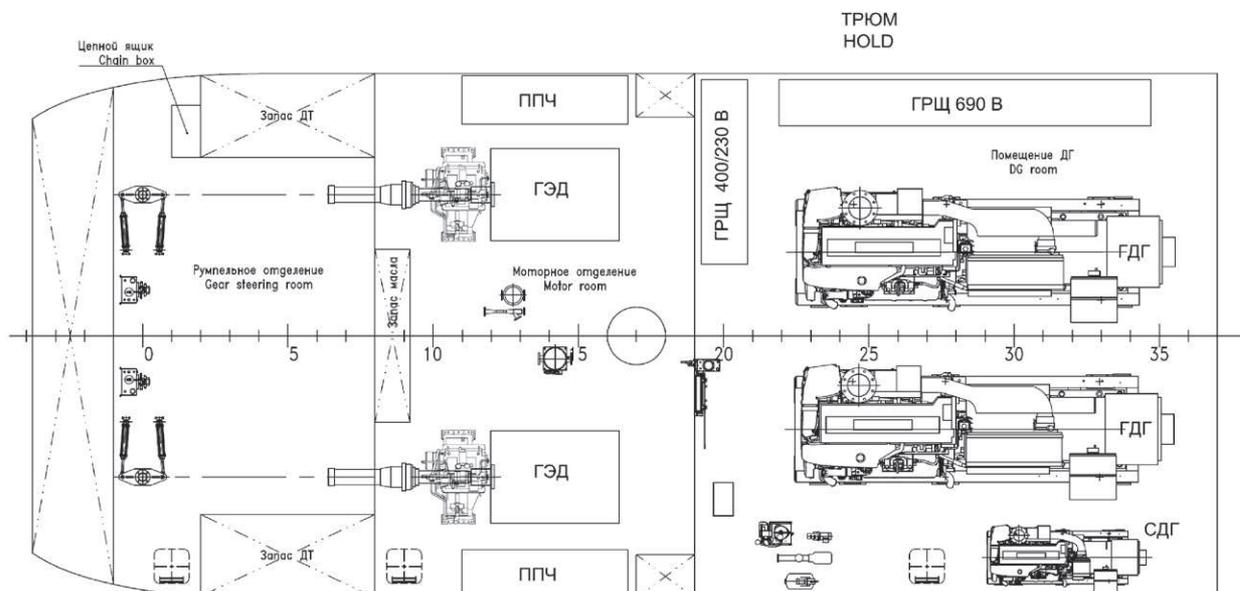


Рис. 4. Расположение оборудования ЕЭЭС с СЭД

При использовании ЕЭЭС с СЭД количество оборудования, устанавливаемого на судне, возрастает. Однако размещение оборудования ЕЭЭС с СЭД по помещениям судна более гибкое и рациональное.

Сравнительный анализ функциональных возможностей традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительный анализ функциональных возможностей ЭЭУ**

№	Наименование параметра	Значение	
		Традиционная ЭЭУ	ЕЭЭС с СЭД
1	Диапазон регулирования частоты вращения	От 30 до 100	От -100 до + 100
2	Перегрузочная способность по вращающему моменту	10 %	От 25 до 150 %
3	Реверс	За счет реверсирования ГД с применением торможения контрвоздухом и воздушного запуска в обратном направлении	Плавный, без ограничений
4	Количество пусков и реверсов пропульсивной установки	Ограничено количеством сжатого воздуха в пусковых баллонах ГД	Неограниченно
5	Вращающий момент при стоянке главного (гребного) двигателя	Отсутствует	Возможна стоянка под током с вращающим моментом до 100 % от номинала
6	Интенсивность разгона гребного винта	Низкая. Запуск ГД осуществляется сжатым воздухом. Разгон ГД ведется с постепенным увеличением вращающего момента	Высокая. Разгон ГЭД значительно быстрее, так как во всем диапазоне изменения частоты ГЭД работает с максимальным моментом
7	Интенсивность разгона судна	Низкая. Процесс набора мощности ГД ограничен	Высокая. Процесс набора мощности ГЭД не ограничен

По функциональным возможностям и регулировочным характеристикам СЭД имеет значительное преимущество перед традиционной ЭЭУ. У СЭД отсутствуют ограничения по минимальной частоте вращения, количеству пусков и реверсов ГЭД, а следовательно, значительно выше маневренные характеристики судна. У СЭД значительно выше перегрузочная способность по вращающему моменту. За счет возможности форсировки момента ГЭД суда с СЭД могут работать в ледовых условиях.

По предварительным расчетам увеличение стоимости при переходе от традиционной ЭЭУ к ЕЭЭС с СЭД может составить около 25–45 % в зависимости от типа выбранного оборудования и производителя.

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД приведен в табл. 3.

Таблица 3

**Сравнительный анализ массогабаритных характеристик ЭЭУ**

Наименование параметра	Значение	
	Традиционная ЭЭУ (%)	ЕЭЭС с СЭД (%)
Объем оборудования	100	160–180
Масса оборудования	100	150–170

Увеличение объема оборудования при переходе от традиционной ЭЭУ к ЕЭЭС с СЭД составит около 60–80 %, массы — около 50–70 %. Однако за счет возможности более гибкого размещения оборудования на судне данный недостаток может быть значительно снижен. Необходимо отметить, что за счет повышения КПД при использовании ЕЭЭС с СЭД возможно снижение объемов топливных танков до 20 %.

Благодаря работе дизеля с постоянством частоты вращения и изменению нагрузки в менее широком диапазоне износ цилиндропоршневой группы ГД в составе ЕЭЭС с СЭД ниже. Опыт эксплуатации показывает, что трудоемкость технического обслуживания на судах с ЕЭЭС с СЭД может быть снижена на 10 % по сравнению с традиционными установками.

Благодаря возможности резервирования силовых каналов и более высоким показателям безотказности электрических машин надежность ЕЭЭС с СЭД выше, чем у традиционных ЭЭУ. Более высокую надежность подтверждает отечественный и зарубежный опыт эксплуатации судов с СЭД [8; 9].

КПД традиционной ЭЭУ при передаче энергии от первичного двигателя к гребному винту в режиме полного хода составляет около 40 %, КПД ЕЭЭС с СЭД — около 37 %. Разница в КПД при номинальной нагрузке составляет не более 3 %.

Энергетические диаграммы традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД в режиме полного хода представлены на рис. 5.

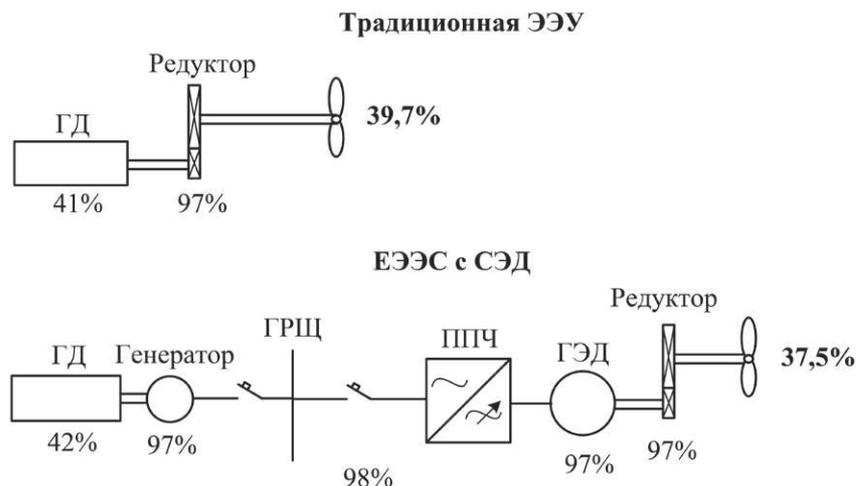


Рис. 5. Энергетические диаграммы традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД при номинальной нагрузке

Сравнительный анализ КПД традиционной ЭЭУ и ЕЭЭС с СЭД во всем диапазоне долевых нагрузок приведен в табл. 5.

Таблица 5

Сравнительный анализ КПД ЭЭУ

Нагрузка ГД	КПД	
	Традиционная ЭЭУ	ЕЭЭС с СЭД
100 %	37 %	36,5 %
80 %	39 %	37 %
60 %	34 %	35 %
40 %	30 %	33 %
20 %	Не может работать	34 %

В режиме долевой нагрузки КПД традиционной установки значительно снижается, в то время как на судах с ЕЭЭС с СЭД он остается практически неизменным. Это связано с тем, что при уменьшении нагрузки возможно отключение одного ДГ и работа оставшегося в режиме номиналь-

ной нагрузки. Кроме того, необходимо отметить, что ГД в ЕЭЭС с СЭД работают с постоянной частотой вращения на генератор и при снижении нагрузки их КПД в меньшей степени снижается, чем у ГД, работающих по винтовой характеристике на ВФШ [10; 11].

В зависимости от модели эксплуатации судна экономический эффект от применения ЕЭЭС с СЭД может отличаться. Снижение расходов на техническую эксплуатацию оборудования ЕЭЭС с СЭД может достигать 10 %. При использовании на лоцмейстерском судне ЕЭЭС с СЭД срок покрытия дополнительных расходов на установку оборудования не превышает 5–7 лет.

### Выводы

1. Основным недостатком ЕЭЭС с СЭД является увеличение стоимости оборудования ЭЭУ, которое может составить около 25–45 % в зависимости от типа выбранного оборудования и производителя.

2. ЕЭЭС с СЭД имеет более высокие показатели массы и габаритов, однако имеется возможность более гибкого и рационального размещения оборудования ЕЭЭС по помещениям судна, что частично компенсирует указанный недостаток.

3. По функциональным возможностям и регулировочным характеристикам СЭД имеет значительное преимущество перед традиционной ЭЭУ. У СЭД нет ограничений по минимальной частоте вращения, значительно проще реализуется реверс винта, выше перегрузочная способность по моменту.

4. СЭД по сравнению с традиционными ЭЭУ имеют несколько более высокую надежность, что подтверждает отечественный и зарубежный опыт эксплуатации судов.

5. КПД традиционной ЭЭУ при передаче энергии от первичного двигателя к гребному винту в режиме полного хода несколько хуже, составляет около 40 %, КПД ЕЭЭС с СЭД — 37 %, однако на долевых нагрузках КПД СЭД значительно превышает КПД традиционного пропульсивного комплекса ЭЭУ.

6. Трудоемкость технического обслуживания на судах с ЕЭЭС с СЭД может быть снижена на 10 % по сравнению с традиционными установками. Суммарные эксплуатационные расходы у ЕЭЭС с СЭД меньше, чем у традиционной ЭЭУ на 10 %, что позволяет окупить дополнительные расходы в течение 5–7 лет.

### Список литературы

1. Григорьев А. В. Комплексный подход при создании судовых электроэнергетических систем и установок / А. В. Григорьев, И. М. Васин, В. А. Хомяк // Судостроение. — 2008. — № 2. — С. 30–31.

2. Григорьев А. В. Перспективная судовая единая электроэнергетическая установка / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2008. — Вып. № 3 (53). — С. 68–70.

3. Григорьев А. В. Схемные решения перспективных низковольтных судовых систем электродвижения / А. В. Григорьев, В. В. Романовский, Р. Р. Зайнуллин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2010. — Вып. № 4 (62). — С. 76–78.

4. Опыт эксплуатации электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев [и др.] // Судостроение. — 2010. — № 6. — С. 29–31.

5. Григорьев А. В. Электроэнергетические установки танкеров-газовозов / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Судостроение. — 2010. — № 3. — С. 39–42.

6. Григорьев А. В. Опыт проектирования электроэнергетической установки грузопассажирского парома / А. В. Григорьев, Д. В. Умяров // Судостроение. — 2010. — № 2. — С. 29–31.

7. Григорьев А. В. Судовая система электродвижения нового поколения / А. В. Григорьев // Морской флот. — 2012. — № 2. — С. 38–40.

8. Григорьев А. В. Судовые многоканальные электроэнергетические установки / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: Тип. «Феникс», 2012. — Вып. № 4 (70). — С. 50–55.

9. Григорьев А. В. Системы электродвижения судов специального назначения / А. Григорьев, В. Гурьев // Информационный морской журнал. — 2013. — № 2 (20). — С. 120–122.

10. Григорьев А. В. Судовые комбинированные пропульсивные комплексы нового поколения / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // Морской вестник. — 2013. — Спецвып. 2 (11). — С. 49–50.

11. Григорьев А. В. Судовые системы электродвижения на базе кольцевых электродвигателей / А. В. Григорьев, Ю. А. Кулагин, С. М. Малышев // Морской вестник. — 2013. — Спецвып. 2 (11). — С. 60–61.