

**ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СУДОВЫХ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

# Судовые гибридные электростанции

---

Судовая гибридная электростанция позволяет значительно повысить эффективность эксплуатации морского судна, а также сократить вредные выбросы и тем самым обеспечить соответствие более высоким экологическим нормам. Современные технологические достижения сделали аккумуляторные гибридные решения доступными для более крупных морских судов. Однако стандартные подходы к проектированию подобных решений на данный момент находятся в активной стадии формирования для достижения надежной и эффективной работы.

Гибридные энергетические решения становятся все более распространенными в судовых электростанциях. Гибридные системы сочетают в себе разные источники энергии: дизельные и газовые двигатели, аккумуляторные батареи и даже энергию ветра/солнца. Комбинация таких источников электроэнергии и возможность их совместной работы в составе одной электростанции определяет тип и основные характеристики гибридной электростанции.

Одним из решений, которое набирает все большую популярность на морских судах, является комбинация аккумуляторных батарей большой емкости с дизель генераторами. Современные накопители электроэнергии способны обеспечить не только движение судна без вредных выбросов, но они также позволяют накапливать электроэнергию, когда работает традиционная силовая установка судна (например, дизель генераторы).

# Преимущества

---

## ПРЕИМУЩЕСТВА СУДОВОЙ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ

- позволяют снизить расход топлива при эксплуатации судна
- резко снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет снижения вредных выбросов
- обеспечить соответствие более строгим экологическим нормам

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

При питании от аккумуляторов суда могут выполнять повседневные операции, используя меньшее количество генераторов. На морских судах снабжения (OSV) аккумуляторная батарея может обеспечить мгновенное питание в случае отказа дизель генераторов при работе в критической зоне вблизи морской платформы. Система управления судовой электростанцией (PMS) контролирует уровень заряда аккумуляторной батареи и оптимизирует использование судовых дизель генераторов. Поэтому, когда например дизель генератору необходимо запуститься, он может работать с оптимальной мощностью (примерно 85% нагрузки) вместо, скажем, 40%.

Использование меньшего количества генераторов и более оптимальное использование дизельного двигателя в общем приводит к снижению расхода топлива. Использование аккумуляторных батарей также снижает износ дизельного двигателя и генераторных установок, таким образом уменьшая расходы на сервисное обслуживание. Аккумулятор также практически полностью исключает возможность обесточивания судна, что является очень важным для безопасности судоходства.

# Преимущества

---

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Использование меньшего количества дизельного топлива или других ископаемых видов топлива является очевидным преимуществом для окружающей среды, поскольку снижаются вредные выбросы. В эпоху растущей заботы об окружающей среде использование гибридной судовой электростанции также способствует улучшению имиджа судовладельца.

Также все больше и больше портов по всему миру вводят правила, запрещающие использование дизельного топлива в порту. В море также требуется работа без вредных выбросов в некоторых областях. Гибридные аккумуляторные электростанции позволяют судовладельцам соответствовать таким требованиям.

## ПРИМЕРЫ:

- Морские суда в водах Гонконга имеют строгие ограничения на выбросы при работе судовой энергетической установки.
- В своих открытых тендерах на OSV норвежская энергетическая компания Equinor (ранее Statoil) отдает приоритет судам, оснащенным технологическими решениями, которые приводят к снижению расхода топлива. В 2017 году компания заключила новые контракты на семь OSV, все из которых были оснащены аккумуляторными гибридными силовыми установками.

# Накопитель электроэнергии терминология

## Energy Storage Systems (ESS)

Система накопления и хранения электроэнергии

## Power Conversion Systems (PCS)

Система преобразования электроэнергии, например DC/AC.

## Battery Management System (BMS)

Электронная система, которая управляет заряд/разрядным процессом аккумуляторной батареи, отвечает за безопасность её работы, проводит мониторинг состояния батареи, оценку вторичных данных работоспособности.

## BMS makers

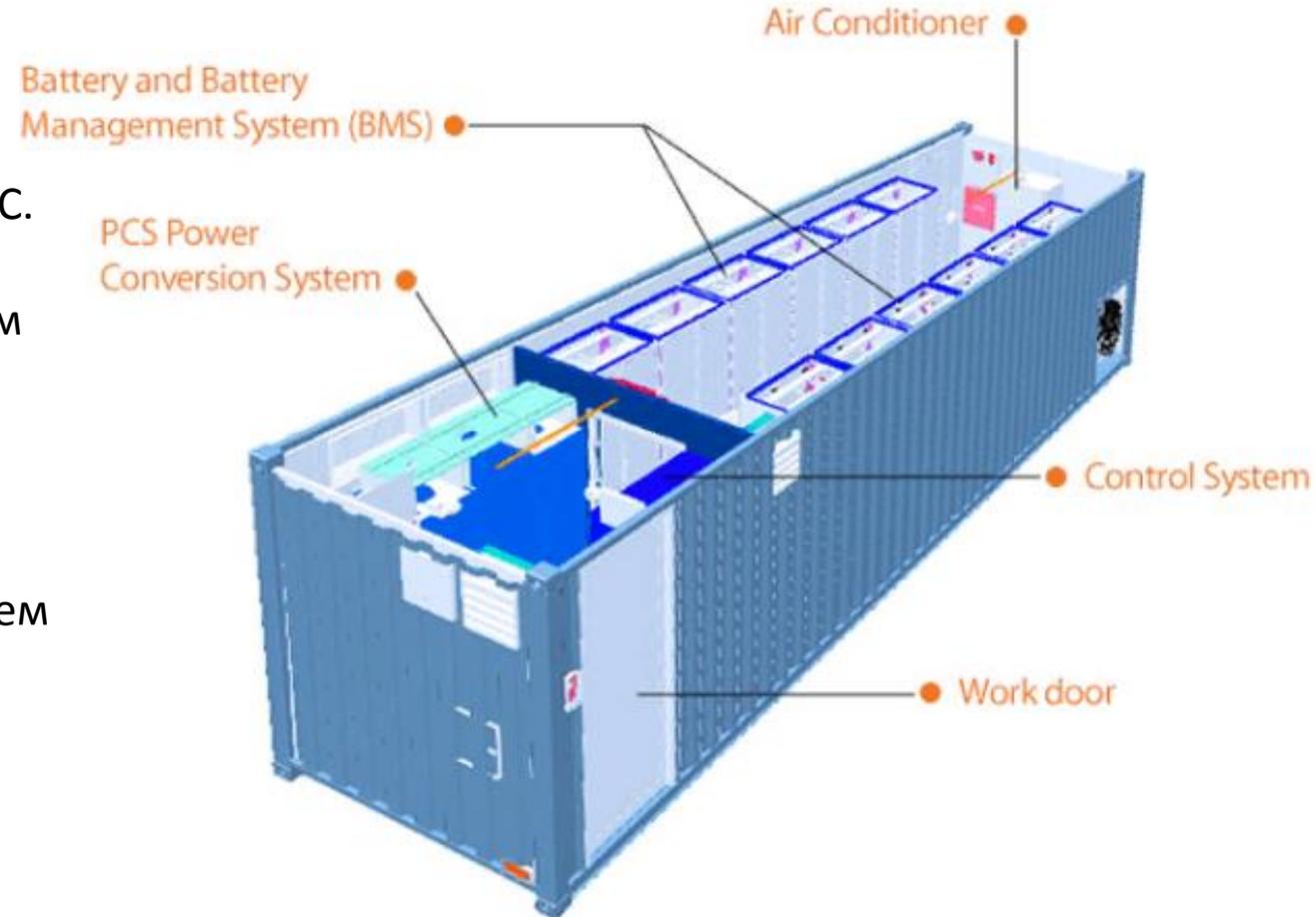
Компании производители аккумуляторных батарей и систем управления/контроля ими.

## Battery Control Unit (BCU)

Мастер система для управления батареями – модуль управления системами BMS и PCS;

## ESS makers

Компании-интеграторы объединяющие все выше перечисленные системы в конечное изделие.



# Пример производителя накопителей электроэнергии

---

Компания Faro Electric (Zhe Jiang) Co., Ltd. была основана в 2018 году. FR — высокотехнологичная компания, занимающаяся исследованиями и разработками, производством и продажей мегаваттных систем накопления электроэнергии. FR имеет возможность производить аккумуляторные накопители электроэнергии емкостью от 2.5 до 5.2 МВтч. Система накопления энергии широко используется в производстве электроэнергии, ее передаче, хранении, а также ее можно легко интегрировать в состав автономной электростанции малой мощности.

## Пример технических характеристик ESS:

Емкость: 5218 кВтч

Мощность заряда/разряда: 2.5 МВт

Напряжение DC: 1332В

Напряжение AC: 690В

Тип разъема AC: Dy11

Быстродействие:  $\leq 20$ мс

Режим работы: основной источник, снятие пиков мощности, накопитель для ветряных или солнечных электростанций

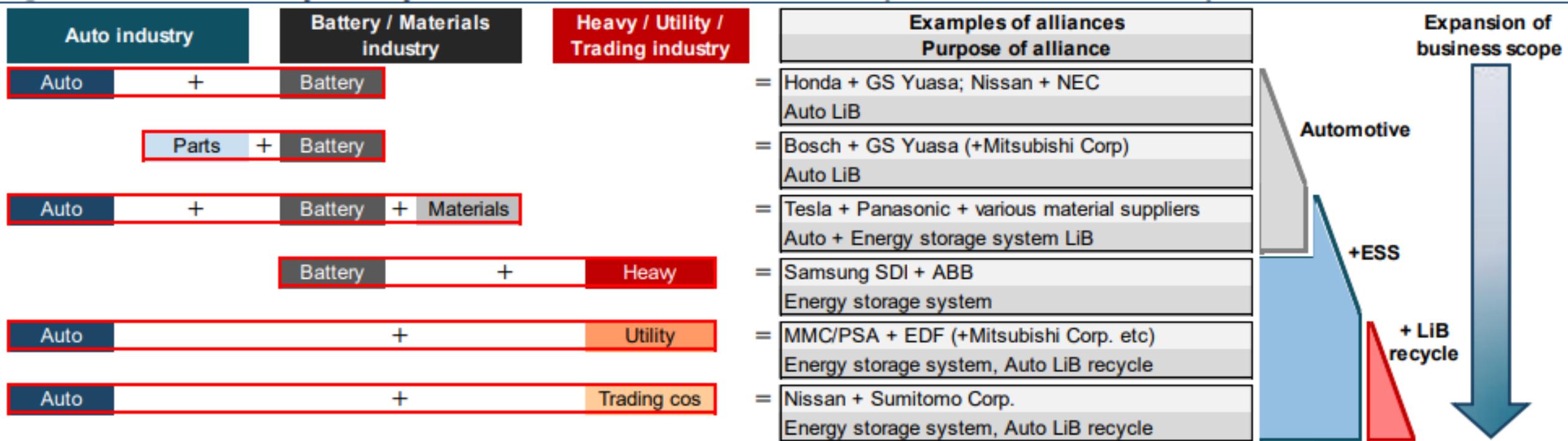
Коммуникационные интерфейсы: IEC 61850 + IEC104, Ethernet, RS485

Климат контроль: воздушное охлаждение и подогрев

Габариты: 12192\*2438\*2896мм



# Межотраслевой альянс связанный с аккумуляторными батареями



Source: Company data, Nikkan Kogyo Shimbun and other articles, Credit Suisse

# Использование накопителя электроэнергии

---

В судовой электростанции накопитель электроэнергии (аккумуляторная батарея) может использоваться как основной или вспомогательный источник:

## Основной источник



Основные потребности судна обеспечиваются аккумуляторной батареей. ДГ используются как вспомогательный источник.

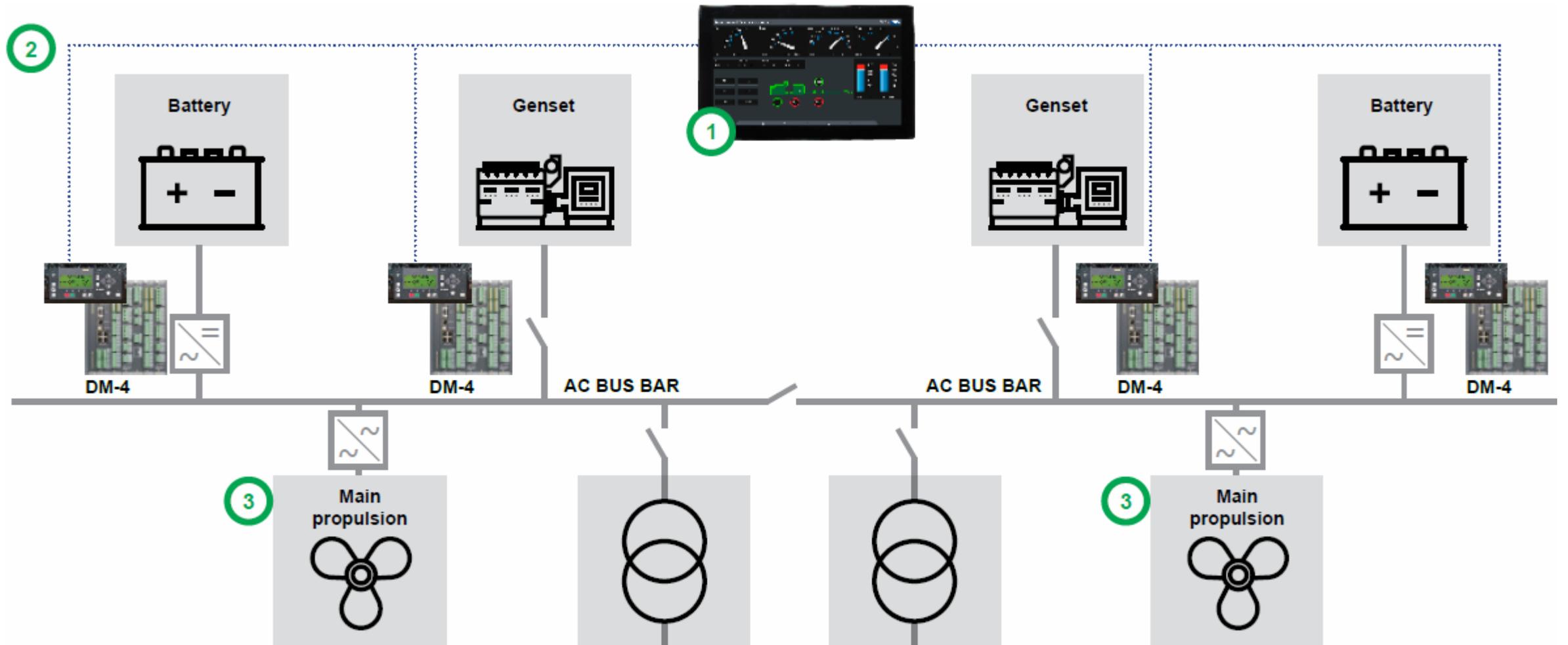
## Вспомогательный источник



Основные потребности судна обеспечиваются дизель генераторами. Аккумуляторная батарея используется для повышения эффективности работы ДГ.

# Судовая гибридная электростанция AC-bus

Система AC-bus представляет собой интеграцию накопителей электроэнергии в судовую электростанцию переменного тока:



# Судовая гибридная электростанция AC-bus

---

Такая система позволяет исключить обесточивание судна и сократить объем технического обслуживания генераторных агрегатов. Сочетание традиционных дизель генераторов с возможностью питания от аккумуляторной батареи также позволяет снизить вредные выбросы.

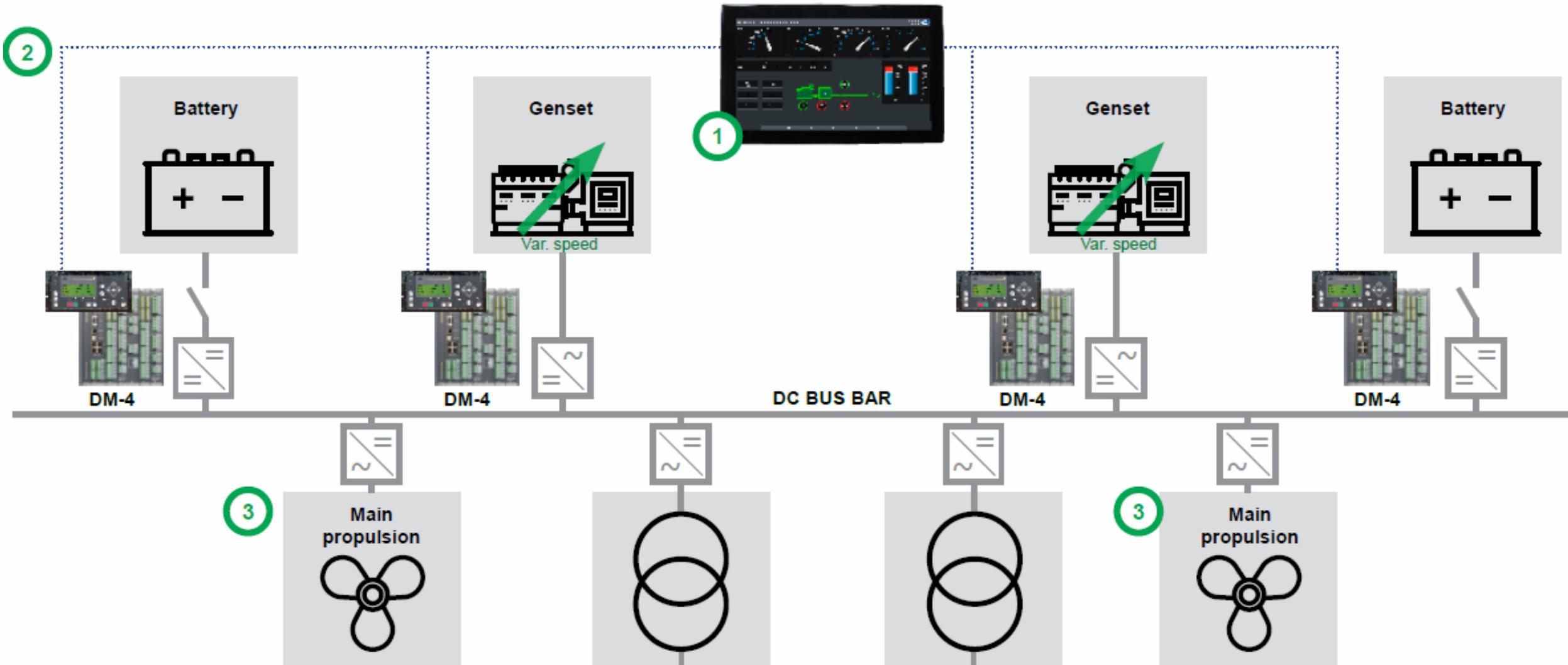
Данная система может быть использована для проектирования новых или модернизации находящихся в эксплуатации паромов. При организации быстрой зарядки аккумуляторных батарей во время погрузки/разгрузки парома позволяет обеспечивать все потребности судна во время перехода за счет питания от аккумуляторной батареи (включая электродвижение).

Особенности и преимущества:

- Предотвращение обесточивания судна
- Снижение расхода топлива за счет более оптимального использования ДГ
- Снижение расходов на сервисное обслуживание ДГ
- Уменьшение загрязняющих выбросов в окружающую среду
- Возможность использования данного решения для модернизации существующих судов

# Судовая гибридная электростанция DC-bus

Система DC-bus представляет собой судовую электростанцию постоянного тока:



# Судовая гибридная электростанция DC-bus

---

Данная система позволяет дизель генераторам работать с переменной скоростью для достижения оптимального расхода топлива, снижения вредных выбросов и шума по сравнению с работой на фиксированной частоте. Также система позволяет исключить обесточивание судовой электростанции. Система управления судовой электростанцией поддерживает необходимые интерфейсы для работы с инверторами ведущих производителей.

Также данная система позволяет исключить возможное негативное влияние нелинейных искажений формы кривой напряжения на всех судовых потребителей электроэнергии.

Особенности и преимущества:

- Возможность работы генераторных агрегатов с переменной частотой вращения
- Ограничение и уменьшение мощности подруливающего устройства
- Снижение расхода топлива за счет более оптимального использования ДГ
- Снижение расходов на сервисное обслуживание ДГ
- Уменьшение загрязняющих выбросов в окружающую среду
- Исключение негативного влияния высших гармоник тока и напряжения на судовых потребителей

# M/F Tycho Brahe - пример судовой гибридной электростанции

---

M/F Tycho Brahe - Датский паром модернизированный интеграцией аккумуляторных батарей в состав судовой электростанции, принадлежащий компании ForSea Ferries и курсирующий по паромному маршруту Хельсингёр–Хельсингборг (HH Ferry route) длиной порядка 5 км. Паром построен в 1991 году в Норвегии.

Судно способно довольно быстро разогнаться и замедляться до максимальной скорости 14 узлов.

В настоящее время судно принадлежит [Scandlines](#) A/S и эксплуатируется компанией ForSea (ранее Scandlines GmbH). Паром может перевозить порядка 1250 пассажиров, а также 260 грузовиков, 240 легковых автомобилей или 9 пассажирских вагонов одновременно.

Основные характеристики судна:

Длина: 111 м

Ширина: 28,2 м

Осадка: 5,7 м

Водоизмещение: 12 000 тонн

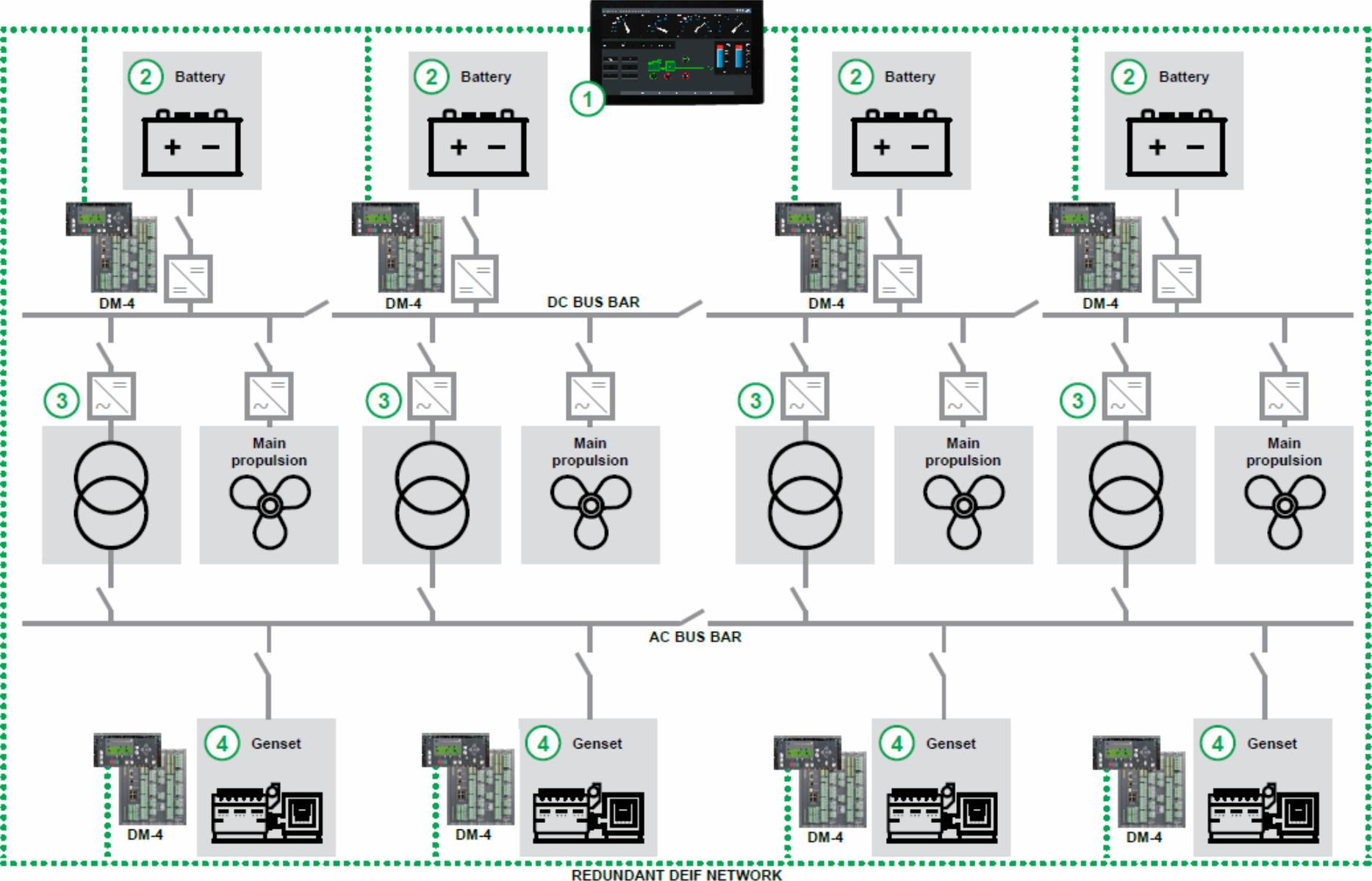
Судовая энергетическая установка: 4 подруливающих устройства мощностью 1,5 МВт каждый, литий-ионные аккумуляторные батареи общей емкостью 4,1 МВтч.

# M/F Tycho Brahe - пример судовой гибридной электростанции

---



# M/F Tycho Brahe - пример судовой гибридной электростанции



# M/F Tycho Brahe - пример судовой гибридной электростанции

---

У судна M/F Tycho Brahe есть однотипное судно M/S Aurora также модернизированное до гибридного. Два судна изначально использовали дизель генераторы как основной источник электроэнергии, но в 2017 году прошли модернизацию целью которой было использование аккумуляторных батарей в качестве основного источника для питания судовых потребителей и электродвижения судна.

Судовая электростанция имеет три режима работы:

1. Питание от аккумуляторных батарей
2. Параллельная работа дизель генераторов и аккумуляторных батарей
3. Питание от дизель генераторов и зарядка аккумуляторов

На каждом судне установлены аккумуляторные батареи емкостью 4.1 МВтч и весом 57 тонн, расположенные в контейнерах на верхней палубе судна. Всего установлено 640 литий ионных батарей. Данная емкость аккумуляторов приблизительно эквивалентна емкости порядка 70 современных электромобилей. Зарядка аккумуляторов производится во время погрузки/разгрузки судна автоматическим роботизированным зарядным устройством мощностью 10,5 МВт (10,5 кВ, 600 А) при стоянке в течение 6 минут в Дании и 9 минут в Швеции. Время автоматического подключения зарядного устройства не превышает 45 секунд. Быстрая зарядка потребовала необходимость установки на судне понижающего зарядного трансформатора. Каждый переход судна требует около 1175 кВтч электроэнергии и занимает порядка 20 минут. Полной зарядки аккумуляторных батарей хватает приблизительно на 3-4 перехода парома. В сутки судно в среднем производит порядка 45 переходов.

# M/F Tycho Brahe - пример судовой гибридной электростанции

---

Модернизация судовой электростанции позволила достичь следующих результатов:

- Снижение вредных выбросов CO<sub>2</sub> на 65%
- Экономия в год порядка 28 000 тон дизельного топлива при эксплуатации двух судов
- Повышение эффективности судовой энергетической установки на 25-30%
- Значительное снижение расходов на периодическое техническое обслуживание судовых дизель генераторов
- Возможность работы судовых дизель генераторов с оптимальной нагрузкой
- Значительное снижение шума и вибраций при работе судовой энергетической установки и как следствие более комфортные условия для пассажиров и обслуживающего персонала
- С каждого судна демонтированы два из четырех дизель генераторов Wärtsilä-Vasa 6R32E а оставшиеся два используются только в качестве вспомогательного источника электроэнергии
- Расчетный срок окупаемости расходов на модернизацию составляет приблизительно 8 лет при текущих уровнях цен на топливо
- Расчетный срок эксплуатации после модернизации 15 лет
- Расчетный срок службы аккумуляторных батарей порядка 5 лет. Далее проектом предусмотрена возможность их замены или восстановления.

# Паромы Scandlines на маршруте Гедсер-Росток:

**Scandlines** – паромная компания, управляющая паромными маршрутами [Редби–Путтгарден](#) и [Гедсер-Росток](#) между Данией и Германией. Scandlines владеет 7 паромными, 6 из которых являются гибридными паромными, что делает Scandlines владельцем крупнейшего в мире парка гибридных паромных. В обычный год Scandlines обслуживает более 41 500 рейсов, 7 миллионов пассажиров, 1,7 миллиона легковых автомобилей и около 700 000 грузовых единиц на своих двух маршрутах.

Name	Built	Tonnage	Passengers	Notes	Images
M/F Berlin	2012	22.319	1.300	Hybrid and rotor sail	 <i>Berlin before rotor sail</i>
M/F Copenhagen	2012	22.319	1.300	Hybrid and rotor sail	

# Паромы Scandlines на Рёдбю-Путгарден:

Name	Built	Tonnage	Passengers	Notes	Images
M/F Prins Richard	1997	14.621	1140	Hybrid	
M/F Prinsesse Benedicte	1997	14.621	1140	Hybrid	
M/F Schleswig-Holstein	1997	15.187	1200	Hybrid	
M/F Deutschland	1997	15.187	1200	Hybrid	

# Примеры проектов судов с гибридной электростанцией

Year ↕	Name ↕	Country ↕	Battery energy MWh ↕	Charge power MW ↕	Charger type ↕	Notes / Refs ↕
2015	<i>MV Ampere</i>	Norway	1	1.2	Gravity plug Pantograph	Car/passenger ferry <sup>[46][47]</sup>
2017	<i>Aditya</i>	India	0.05	0.03	Manual	75 passenger solar ferry <sup>[48]</sup>
2017	<i>MF Tycho Brahe</i>	Denmark/Sweden	4.16	11	Robot plug	HH Ferry route <sup>[49][50][51]</sup>
2017	<i>MF Aurora</i> <small>[no]</small>	Denmark/Sweden	4.16	11	Robot plug	HH Ferry route <sup>[49][50][51]</sup>
2017	<i>Elektra</i>	Finland	1		Gravity plug	Similar to Ampere <sup>[52][53]</sup>
2017		China	2.4			Coal ship <sup>[54]</sup>
2019	<i>E-ferry Ellen</i>	Denmark	4.2	4.4	Automatic plug	Car/passenger ferry <sup>[55][56]</sup>
2019	<i>Junlyu</i>	China				Sightseeing on Yangtze River in Wuhan <sup>[57][58]</sup>
2019	Herjólfur	Iceland	3	2.5	Robot plug	Sails a 6.5 NM route between Vestmannaeyjar and Landeyjahöfn.
2020	<i>Gee's Bend</i>	USA	0.27			15 Car / 132 passenger ferry <sup>[59]</sup>
2020	Gisas Power	Turkey	2.9			Tug <sup>[60]</sup>
2021	Bastø Electric	Norway	4.3	7.2		Moss–Horten, 200 cars <sup>[61]</sup>
2021	Grotte	Denmark	1.1		Plug	Car/passenger ferry <sup>[62]</sup>
2021	Sparky	New Zealand	2.8		Shore	Harbour tugboat, diesel hybrid <sup>[63][better source needed][64][65]</sup>
2022	Yangtze River Three Gorges 1 <sup>[66]</sup>	China	7.5			100 km Sightseeing on Yangtze River. <sup>[67]</sup> 1,300 passengers <sup>[68]</sup>

# Судовые гибридные электростанции

---

При использовании аккумуляторных батарей в составе судовых электростанций также возникают следующие сложности:

1. Высокая стоимость аккумуляторных батарей
2. Более сложная система управления судовой электростанцией
3. Требуется решение вопросов пожарной безопасности и охлаждения батарей
4. Требуется учет влияния установки аккумуляторов на остойчивость судна
5. Необходимость организации дорогостоящей инфраструктуры для быстрой зарядки аккумуляторов в месте стоянки судна

# Судовые гибридные электростанции

---

**Выводы:** Учитывая объективные преимущества гибридных электростанций, классификационные и руководящие органы, а также многие компании морского сектора уделяют особое внимание развитию данного направления судовой энергетики. Вот несколько примеров:

- IMO разработала первоначальную стратегию, направленную на сокращение выбросов парниковых газов на 50% от морских судов к 2050 г. по сравнению с 2008 г. Согласно этой стратегии, технологические инновации и глобальное внедрение альтернативных видов топлива и/или источников энергии для международных перевозок будут неотъемлемой частью для достижения данной цели.
- Технические комитеты при МЭК (IEC) в настоящее время работают над новыми стандартами для перспективных судовых энергетических установок включая гибридные.
- Норвегия объявила о планах перехода в ближайшие годы на полностью электрические или гибридные электрические суда для более чем 100 коротких паромных линий.

# Судовые гибридные электростанции

---

- Шведский оператор паромных линий Stena Line и порт Фредериксхавна подписали соглашение, по которому стороны берут на себя обязательства к 2030 году убрать с паромной линии Гётеборг-Фредериксхавн суда, работающие на ископаемом топливе. Вместо этого на маршруте будут работать два грузопассажирских парома класса Stena Elektra на аккумуляторных батареях емкостью 60-70 МВтч.
- Сингапурская судостроительная компания Sembcorp Marine сообщила о передаче заказчику – норвежскому оператору Norled второго грузопассажирского парома типа RoPax, оснащенного гибридной силовой установкой оригинальной конструкции. Еще одной особенностью судна является возможность подзарядки бортовых батарей не только во время стоянки в портах, но и непосредственно во время хода – за счет использования энергии набегающего потока воды. Работы по строительству третьего парома того же проекта Sembcorp Marine планирует завершить до конца 2022 года.