

Анализ проектных характеристик грузовых судов с полностью аккумуляторной энергетической установкой

М.В. Цыварев^{1,2}, К.Д. Овчинников¹

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия;

² «ЭМПЕРИУМ», Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Применение полностью аккумуляторной энергетической установки позволяет обеспечить полноценное выполнение современных экологических требований, что делает создание таких судов очень перспективным.

Цель — проанализировать существующие проекты полностью аккумуляторных грузовых судов и выявить ключевые особенности их разработки.

Методы. Сбор и анализ базы данных, состоящей из 13 проектов грузовых судов с полностью аккумуляторной энергетической установкой. Анализ архитектурно-конструктивного типа судов с классической дизельной энергетической установкой и с полностью аккумуляторной энергетической установкой.

Результаты. Согласно анализу литературы, интерес к проектированию аккумуляторных судов растет. Рассмотренные в работе проекты судов отличаются значительной вариативностью, что говорит об отсутствии единого подхода к проектированию аккумуляторных судов. Применение полностью аккумуляторной энергетической установки является одним из путей к развитию безэкипажного судоходства. Аккумуляторные системы обычно располагаются не внутри корпуса судна, а снаружи в съемных двадцатифутовых контейнерах.

Выводы. Полностью аккумуляторные грузовые суда демонстрируют значительный потенциал для трансформации морского транспорта в направлении экологической устойчивости. Результаты исследования подтверждают возможность их эффективного применения в сегменте фидерных перевозок, где требования к автономности и грузоподъемности сочетаются с жесткими экологическими стандартами. Ключевыми факторами

успешного внедрения являются совершенствование аккумуляторных технологий, развитие портовой инфраструктуры для быстрой зарядки и стандартизация проектных решений.

Ключевые слова: водный транспорт; грузовые суда; аккумуляторная энергетическая установка; проектные характеристики судов; фидерные перевозки; безэкипажное судовождение; экологические требования ИМО; сравнительный анализ.

КАК ЦИТИРОВАТЬ

Цыварев М.В., Овчинников К.Д. Анализ проектных характеристик грузовых судов с полностью аккумуляторной энергетической установкой // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 4. С. X. DOI: 10.52899/24141437_2025_04_XX EDN: ZYZXZG

Рукопись получена: 03.10.2025

Рукопись одобрена: 06.10.2025

Опубликована online: 31.10.2025

Analysis of design characteristics of battery-powered cargo ships

Mark V. Tsyvarev^{1,2}, Kirill D. Ovchinnikov¹

¹ Saint Petersburg State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia;

² Emperium, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The use of a fully battery-powered power plant ensures full compliance with modern environmental requirements, making the development of such vessels very promising.

AIM: To analyze existing projects of fully battery-powered cargo ships and identify the key features of their development.

METHODS: Collection and analysis of a database of 13 cargo vessel designs with all-battery propulsion. Analysis of the architectural and structural design of vessels with conventional diesel propulsion and all-battery propulsion.

RESULTS: According to a literature review, interest in the design of battery-powered vessels is growing. The vessel designs reviewed in this paper are characterized by significant variability, indicating the lack of a unified approach to battery-powered vessel design. The use of a fully battery-powered propulsion system is one path to the development of unmanned shipping. Battery systems are typically located externally in removable twenty-foot containers rather than within the vessel's hull.

CONCLUSIONS: All-battery cargo ships demonstrate significant potential for transforming maritime transport towards environmental sustainability. The study's results confirm their potential for effective use in feeder shipping, where demands for autonomy and cargo capacity combine with stringent environmental standards. Key factors for successful implementation include improved battery technology, the development of port infrastructure for fast charging, and the standardization of design solutions.

Keywords: water transport; cargo ships; battery energy storage system; ship design characteristics; feeder transportation; unmanned ship navigation; IMO environmental regulations; comparative analysis.

TO CITE THIS ARTICLE

Tsyvarev MV, Ovchinnikov KD. Analysis of design characteristics of battery-powered cargo ships. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*. 2025;4(4):X-XX. DOI: 10.52899/24141437_2025_04_XX EDN: ZYZXZG

Submitted: 03.10.2025

Accepted: 06.10.2025

Published online: 31.10.2025

ВВЕДЕНИЕ

Создание грузовых судов с полностью электрической энергетической установкой находится в фокусе внимания современной морской техники. Это связано с ужесточением международных экологических норм, таких как ИМО 2020 [1] (ограничение содержания серы в судовом топливе до 0,5%) и Стратегией Международной морской организации ИМО от 2023 г. [2] (достижение «нулевых» выбросов примерно к 2050 г., учитывая национальные обстоятельства). Кроме того, установлены зоны контроля выбросов, где допустимое содержание оксидов серы (SO_x) и азота (NO_x) снижено до 0,1%, что, в связи с введением штрафов, делает применение традиционных дизельных установок экономически невыгодным.

Аккумуляторные суда позволяют полностью исключить выбросы вредных веществ при эксплуатации, что особенно актуально для портовых городов и охраняемых акваторий. Перспективное ужесточение норм СИ (Carbon Intensity Indicator) и ЕЕХИ (Energy Efficiency Existing Ship Index) будет стимулировать переход на альтернативные энергетические установки, включая аккумуляторные системы. Однако их внедрение требует пересмотра проектных характеристик судна, чтобы компенсировать изменения, вызванные использованием нового вида энергетической установки, сохранив дальность хода.

Внедрение полностью аккумуляторных энергетических установок в грузовом судоходстве сопряжено с рядом существенных технологических ограничений, требующих глубокой научной проработки. Ключевой проблемой остается низкая удельная энергоемкость современных аккумуляторных систем по сравнению с традиционными углеводородными энергоносителями. Например, если для литий-ионных батарей этот показатель не превышает 300 Вт·ч/кг, то для судового дизельного топлива он достигает 12 000 Вт·ч/кг [3]. Такое принципиальное отличие приводит к необходимости размещения на борту значительных по массе и объему аккумуляторных батарей, что в свою очередь существенно сокращает полезную грузоподъемность судна и требует пересмотра традиционных подходов к проектированию корпусных конструкций.

Поскольку данный тип судов является новым, в их проектировании сохраняется весома степень неопределенности. Различные компании экспериментируют с архитектурой судов и

типами аккумуляторных систем. Цель данной работы — проанализировать существующие проекты и выявить ключевые особенности их разработки.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно ряду исследований, использование полностью аккумуляторной энергетической установки позволяет на ~100% декарбонизировать судно в процессе его эксплуатации. В связи с этим наблюдается довольно большой интерес к исследованию возможности применения аккумуляторов в качестве единственного источника энергии на судне.

В работах [4, 5] рассматриваются архитектурные и компонентные решения полностью электрических судов, включая системы генерации, распределения и управления электроэнергией, а также силовые приводы на основе мощной преобразовательной техники. Подчеркивается ключевая роль силовой электроники как технологической основы интеграции энергетических систем.

Экономические аспекты внедрения электрических судов детально анализируются в исследованиях [6, 7]. Показано, что на коротких и средних маршрутах электрические суда демонстрируют конкурентоспособность за счет снижения эксплуатационных расходов, несмотря на более высокие первоначальные инвестиции. На протяженных маршрутах преимущество сохраняется за судами с традиционными видами топлива.

Анализ экологической эффективности электрических судов с применением метода оценки жизненного цикла выполнен в публикации [3]. Установлено, что использование аккумуляторных систем способствует существенному сокращению выбросов углекислого газа, оксидов азота и серы, однако итоговый экологический эффект определяется структурой генерации электроэнергии.

Вопросы оптимизации проектирования корпусов и энергетических установок для высокоскоростных электрических судов рассмотрены в работах [8–10]. Особое внимание уделено поиску баланса между модульностью конструкции и гидродинамическим совершенством, а также применению оптимизационных алгоритмов для расчета параметров систем хранения энергии.

Возможности модернизации существующих судов с

использованием альтернативных видов топлива и технологий декарбонизации, таких как аммиак, метанол, аккумуляторные системы и системы улавливания углекислого газа, проанализированы в исследовании [11].

Перспективы внедрения аккумуляторных систем в Российской Федерации, в особенности для портовых буксиров и судов речного плавания, освещены в работе [12]. Отмечается потенциал снижения вредных выбросов в акваториях портов и необходимость развития соответствующей инфраструктуры.

Таким образом, следует заключить, что рассматриваемая тема актуальна. Однако в указанных выше работах не затронута тема начальных стадий проектирования судов, оборудованных только аккумуляторной системой хранения энергии. Анализу проектных характеристик существующих судов для последующей разработки алгоритмов начальных стадий и посвящена работа.

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВЫХ СУДОВ С ПОЛНОСТЬЮ АККУМУЛЯТОРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Для анализа проектных характеристик судов с полностью аккумуляторной энергетической установкой была собрана база данных [13–23]. База данных включает 13 проектов грузовых судов: 10 контейнеровозов, 2 балкера и 1 танкер-бункеровщик.

Выборка охватывает полностью аккумуляторные грузовые суда, выявленные на момент проведения исследования (2025). Суда с гибридной энергетической установкой сознательно исключены из анализа для сохранения однородности сравнительных параметров.

Технические характеристики судов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Тактико-технические характеристики полностью аккумуляторных грузовых судов

№	Название	Тип судна	Loa	Lpp	B	T	DWT	TEU
1	Yara Birkeland	Контейнеровоз	80	72,4	14,8	6,3	3400	12
2	Asahi	Танкер	62	58,6	10,3	4,15	1300	–
3	Greenwater 01	Контейнеровоз	119,8	113,2	23,6	5,5	8261	70
4	PortLiner EC52	Контейнеровоз	52	49,1	6,7	2	425	30
5	PortLiner EC110	Контейнеровоз	110	104	11,45	3,8	3080	28

6	PortLiner EC135	Контейнеровоз	135	127,6	14,5	4,25	5250	44
7	Den Bosch Max Groen	Контейнеровоз	90	85,1	11,45	4,1	2045	13
8	Chuanchuan Yangtze River 001	Балкер	77,6	73,3	13,6	5,04	3 000	
9	Zhongtian Dianyun 001	Балкер	49,8	47,1	10,6	3,1	1 000	–
10	Jiangxi 740TEU	Контейнеровоз	127,8	120,8	21,6	6,2	10 000	74
11	Hubei 120TEU	Контейнеровоз	84	79,4	13,75	2,4	1650	12
12	ReVolt	Контейнеровоз	60,23	57,23	14,5	5,02	1250	10
13	Alphenaar	Контейнеровоз	90	79,4	10,5	3,6	1883	10

Продолжение таблицы 1

№	Название	E	N	v _{max}	R	n _{ЭК}	Fr	Страна
1	Yara Birkeland	8000	180 0	13	30	0	0,4 9	Норвегия
2	Asahi	3480	600	11	64, 2	5	0,4 6	Япония
3	Greenwater 01	50 00 0	180 0	10, 5	205	н/ д	0,3 2	Китай
4	PortLiner EC52	1680	112	9	135	н/ д	0,4 1	Нидерланды
5	PortLiner EC110	6720	480	10, 2	143	н/ д	0,3 2	Нидерланды
6	PortLiner EC135	10000	100 0	12, 5	320	5	0,3 5	Нидерланды
7	Den Bosch Max Groen	н/д	460	10, 7	н/д	н/ д	0,3 7	Нидерланды
8	Chuanchuan Yangtze River 001	2322	480	10	162	н/ д	0,3 7	Китай
9	Zhongtian Dianyun 001	1458	204	7	31	н/ д	0,3 3	Китай
1	Jiangxi	19 00	175	11,	н/д	0	0,3	Китай

0	740TEU	0	0	5			3	
1 1	Hubei 120TEU	н/д	400	9,7	95	0	0,3 5	Китай
1 2	ReVolt	3000	320	6	100	0	0,2 5	Норвегия
1 3	Alphenaar	2000	500	10, 5	64, 8	н/ д	0,3 8	Нидерланды

Примечание. н/д — нет данных. L_{OA} — максимальная длина судна, м; L_{pp} — длина между перпендикулярами, м; B — ширина судна, м; T — осадка по – конструктивной ватерлинии, м; DWT — дедвейт, т; $TEU_{пр}$ — проектное количество грузовых 20-футовых контейнеров, шт.; $TEU_{ст}$ — количество грузовых 20-футовых контейнеров в пересчете на стандартную массу 14 т, шт.; E — энергоемкость аккумуляторов, кВт·ч; N — мощность главного двигателя, кВт; v_{max} — максимальная скорость, уз; R — дальность плавания, морские мили; $пэк$ — количество экипажа, чел.; Fr — число Фруда.

В результате обработки собранной базы данных получены эмпирические зависимости, которые могут быть использованы для расчета основных элементов судна в первом приближении.

Максимальная длина в функции дедвейта (рис. 1) может быть выражена следующей формулой:

$$L_{OA} = 6,0802DWT^{0,3376}.$$

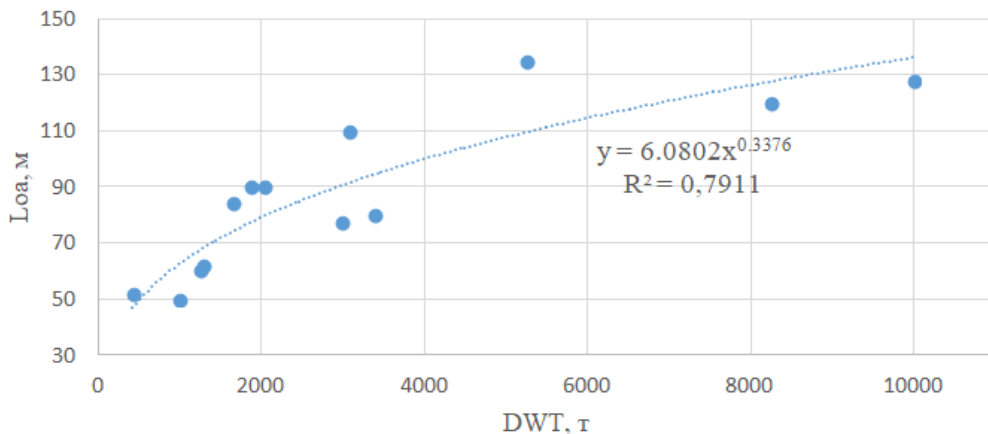


Рис. 1. График максимальной длины в функции дедвейта.

Отношение длины к ширине L/B увеличивается по мере увеличения L_{OA} от 4,15 до 9,6. Среднее значение по всей базе

данных равно $L/B=6,63$, для расчета может быть использована формула:

$$\frac{L_{OA}}{B} = 0,0268L_{OA} + 4,2867.$$

Отношение ширины к осадке B/T увеличивается по мере увеличения L_{OA} от 2,4 до 5,7. Среднее значение по всей базе данных равно $B/T=3,29$. Указанное отношение может быть вычислено согласно:

$$\frac{B}{T} = 0,0069L_{OA} + 2,6936.$$

Количество членов экипажа на грузовых судах с полностью аккумуляторной энергетической установкой варьируется в зависимости от уровня автономности и проектных решений. В полностью автономных судах, таких как *Yara Birkeland* (Норвегия), экипаж отсутствует, а управление осуществляется дистанционно или через системы искусственного интеллекта. Однако многие проекты сохраняют сокращенный экипаж от 3 до 8 человек для контроля систем безопасности, погрузочно-разгрузочных операций и решения нештатных ситуаций. Для сравнения: классические фидерные суда аналогичного размера (например, дизельные контейнеровозы на 500–1000 TEU) обычно имеют экипаж из 10–15 человек. Разница обусловлена автоматизацией энергоустановок, упрощением обслуживания батарей и снижением потребности в вахтенном персонале. При этом законодательные нормы (например, требования ИМО) и уровень доверия к автономным технологиям остаются ключевыми факторами при определении численности экипажа.

Для анализа грузместимости и грузоподъемности рассматриваемых судов был введен параметр TEU_{ст}, показывающий количество двадцатифутовых контейнеров массой 14 т, возможных для установки на судно. Иными словами, количество $TEU_{ст} \approx DWT/14$. Данные, представленные в табл. 1, показывают два сценария:

1. Для большинства проектов (*Greenwater 01*, проекты *PortLiner* и др.) значение TEU_{ст} существенно ниже проектного TEU. Это подтверждает исходную гипотезу о том, что классический объемный подход завышает реальные возможности судна. В этих случаях именно TEU_{ст} является реальным ограничивающим фактором при планировании загрузки.

2. Для некоторых судов (например, Yara Birkeland, Den Bosch Max Groen) наблюдается обратная картина: TEUст превышает TEU. Это указывает на иной компромисс в проектировании: судно предназначено не под максимальное количество контейнеров, а под перевозку более тяжелых грузов. В данном случае ограничивающим фактором выступает уже не масса, а объем.

С целью оценки гидродинамической эффективности и режимов движения исследуемых судов в рамках настоящей работы выполнен расчет числа Фруда (Fr) для каждого объекта. Большинство анализируемых судов эксплуатируются в критическом режиме при числах Фруда Fr от 0,25 до 0,46, что типично для фидерных контейнеровозов.

Следует отметить, что в рассматриваемых данных отсутствует водоизмещение судна, т. к. эти данные оказались недоступны для получения.

Применение аккумуляторных систем в качестве единственного источника питания на судне позволяет быстрее и проще перейти к изучению возможности внедрения безэкипажного судоходства. Например, пять судов из рассмотренной базы данных (Yara Birkeland, Greenwater 01, Jiangxi 740TEU, Hubei 120TEU, ReVolt) в той или иной степени автоматизированы и являются безэкипажными.

АНАЛИЗ КОМПОНОВКИ КОНТЕЙНЕРНОГО СУДНА С АККУМУЛЯТОРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Рассмотрим на примере контейнеровоза Yara Birkeland компоновку судна с полностью аккумуляторной энергетической установкой. Его принципиальная схема, изображенная на рис. 2 и 3 [24, 25], демонстрирует характерные особенности данного типа судов.

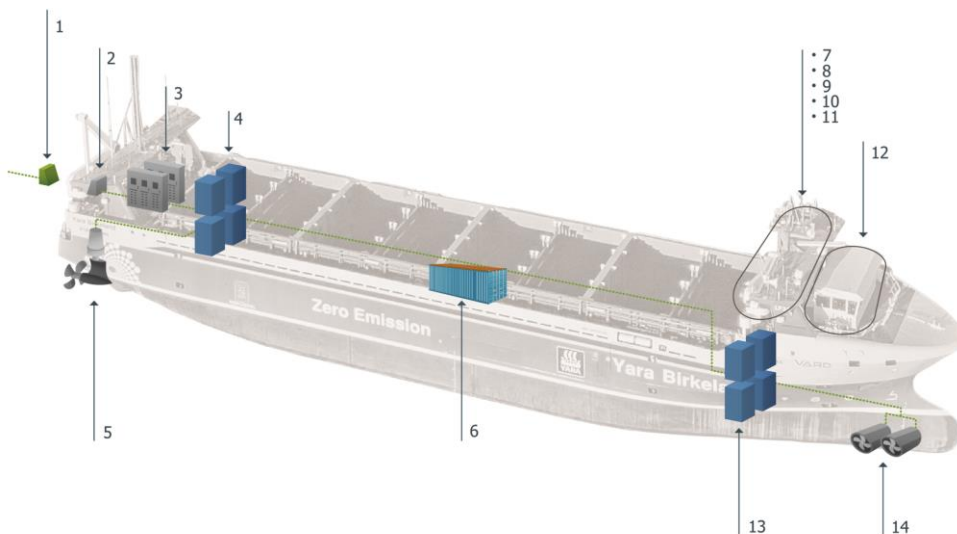


Рис. 2. Принципиальная компоновка грузового судна с полностью аккумуляторной энергетической установкой (проект Yara Birkeland): 1 — блок автоматического берегового подключения постоянного тока; 2 — блок автоматического судового подключения постоянного тока; 3 — главный распределительный щит; 4 — кормовой блок аккумуляторных батарей; 5 — 2×900 кВт электрические азиподы (диаметр винта 2,2 м); 6 — грузовой отсек на 120 TEU; 7 — радар; 8 — лидар; 9 — AIS; 10 — блок камер для обзора; 11 — блок инфракрасных камер для обзора; 12 — временный пост управления (удаляется при автономной работе судна); 13 — носовой блок аккумуляторных батарей; 14 — 2×700 кВт туннельное подруливающее устройство (диаметр винта 1,75 м).

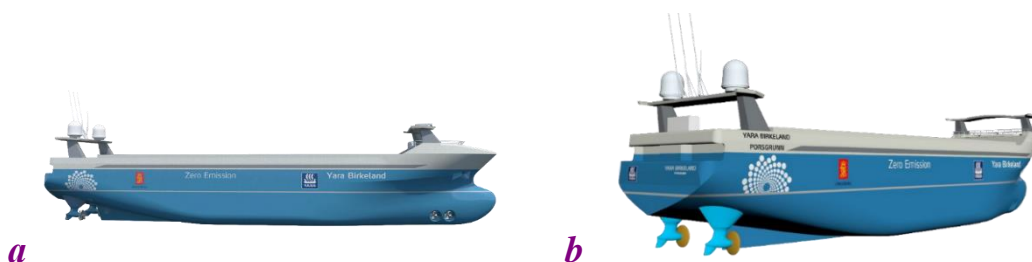


Рис. 3. Трехмерные модели судна Yara Birkeland: а — вид сбоку, б — изометрия.

Архитектурно-конструктивный тип контейнеровоза «Yara Birkeland» определяется его назначением для безэкипажной перевозки генеральных грузов в прибрежной акватории.

Судно относится к классу контейнеровозов. Его архитектура характеризуется полным отсутствием надстройки, что является следствием реализации концепции автономного судовождения. Навигационное и радиолокационное оборудование размещено на открытых фундаментах в носовой и кормовой оконечностях. Носовая часть корпуса оборудована бульбом, кормовая оконечность — транцевая.

Конструкция корпуса выполнена из стали. Грузовая палуба оснащена контейнерными направляющими; другие грузовые устройства отсутствуют.

Главная энергетическая установка является полностью аккумуляторной. Движительно-рулевой комплекс включает две кормовые винто-рулевые колонки мощностью 900 кВт каждая. Для повышения маневренности судно оборудовано двумя носовыми подруливающими устройствами мощностью 700 кВт каждое.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ КЛАССИЧЕСКОГО КОНТЕЙНЕРНОГО СУДНА И СУДНА С АККУМУЛЯТОРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Сравнительный анализ чертежей общего расположения (рис. 4) [26] аккумуляторного контейнеровоза Yara Birkeland и дизельного контейнеровоза проекта CONO FEEDER 200 выявляет существенные различия в архитектурно-конструктивных решениях, обусловленных применением различных типов энергоустановок. Следует отметить, что выбор более релевантного референсного объекта с идентичными размерениями невозможен из-за отсутствия данных по таким проектам. Однако стоит отметить, что проект CONO FEEDER 200 выполнен по типовым архитектурно-конструктивным решениям для классических фидерных контейнеровозов. Учитывая указанное ограничение, анализ проводился между объектами с разницей в длине 10 м (80 м против 90 м) при сохранении принципиальной возможности сопоставления архитектурных решений благодаря схожести функционального назначения и эксплуатационных характеристик судов.

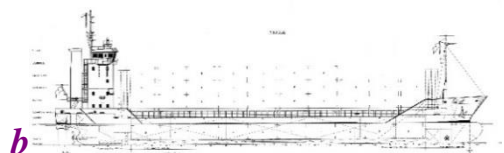


Рис. 4. Боковой вид общего расположения: *a* — судна Yara Birkeland; *b* — судна CONO FEEDER 200.

Компоновка аккумуляторного судна характеризуется отсутствием надстройки, за исключением фундаментов под мачтовое оборудование и телеметрию, а также временной рубкой, требуемой лишь для настройки всех систем при ходовых испытаниях, что связано с автоматизированным управлением и отсутствием необходимости в помещениях для экипажа.

Важным отличием является применение на Yara Birkeland азиподной движительной системы с полноповоротными гондолами, в то время как CONO FEEDER 200 использует традиционную вальную схему с гребным винтом фиксированного шага и рулевым устройством. Кроме того, аккумуляторное судно оснащено более мощным подруливающим устройством в носовой оконечности (два устройства по 700 кВт против одного 265 кВт на дизельном судне), что обеспечивает повышенную маневренность. Мощность главного двигателя при этом одинаковая и составляет 1800 кВт.

Существенно различается высота борта: у Yara Birkeland этот показатель составляет 14,8 м против 9,85 м у аналога.

Анализ грузовых помещений показывает, что, хотя номинальная вместимость Yara Birkeland составляет 120 TEU против 205 TEU у CONO FEEDER 200, фактическое полезное пространство может дополнительно сокращаться на 10–15% резервированием зон для размещения дополнительных аккумуляторных контейнеров при желании увеличить автономность. Несмотря на то, что номинальная контейнеровместимость полностью аккумуляторного контейнеровоза Yara Birkeland в 1,7 раза уступает аналогичному параметру дизельного контейнеровоза CONO FEEDER 200, его дедвейт превышает показатель традиционного судна на 600 т. Данное соотношение демонстрирует принципиально иной подход к проектированию: аккумуляторное судно спроектировано для перевозки более тяжелых грузов при сохранении эксплуатационных характеристик. Указанное превосходство по грузоподъемности позволяет утверждать, что фактическая масса перевозимых грузов может быть сопоставима или превышать аналогичный показатель дизельного судна, несмотря на различия в контейнеровместимости.

ВАРИАНТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Наиболее распространенными зонами размещения аккумуляторных батарей являются носовая часть между форпиком и грузовым отсеком, а также кормовая часть позади грузового отсека. Такое расположение обусловлено требованиями к распределению масс и необходимостью обеспечения минимальной длины силовых кабельных трасс между батареями и движительно-рулевым комплексом.

Стоит отметить, что на современных грузовых судах с полностью аккумуляторной энергетической установкой зачастую большая часть аккумуляторов располагается не внутри корпуса, а в съемных двадцатифутовых контейнерах. Это позволяет осуществлять быструю «зарядку» в порту, однако данная технология эффективна только на коротких маршрутах с развитой портовой инфраструктурой. Использование указанного решения позволяет оператору судна маневрировать плечом маршрута за счет объема перевозимого груза. Изображение примера аккумуляторного блок-контейнера компании SKOON представлено на рис. 5 [6].



Рис. 5. Аккумуляторный блок-контейнер фирмы SKOON.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе получены следующие результаты:

- к применению аккумуляторных систем, в том числе в виде

полностью аккумуляторных энергетических установок, растет интерес, поскольку такое решение позволяет обеспечить выполнение экологических требований, включая нормы ИМО 2020, СII и EEXI;

- рассмотренные в работе проекты судов отличаются значительной вариативностью, что говорит о том, что единого подхода к проектированию судов с полностью аккумуляторными энергетическими установками еще не разработано. Однако анализ проектных характеристик показывает, что рассматриваемые суда близки к фидерным контейнеровозам;
- применение полностью аккумуляторной установки является путем к безэкипажности, которая, в свою очередь, оказывает влияние на экстерьер судна;
- аккумуляторные системы, обычно, располагаются не внутри корпуса судна, а снаружи в съемных двадцатифутовых контейнерах.

•

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. М.В. Цыварев — сбор информации о существующих проектах судов, проведение анализа их проектных характеристик; К.Д. Овчинников — анализ результатов, верификация расчетов. Авторы одобрили версию для публикации, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. IMO 2020: Consistent Implementation of MARPOL Annex VI. London: International Maritime Organization (IMO), 2019.
2. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. London: International Maritime Organization (IMO), 2023.
3. Jeong B., Jeon H., Kim S., et al. Evaluation of the Lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8, N. 8. P. 580. doi: 10.3390/jmse8080580 EDN: CBTVCG
4. Sulligoi G., Vicenzutti A., Menis R. All-Electric Ship Design: From Electrical Propulsion to Integrated Electrical and Electronic Power Systems // IEEE Transactions on Transportation Electrification. 2016. Vol. 2, N. 4. P. 507–521. doi: 10.1109/TTE.2016.2598078
5. Jabari H., Shafiei-Ghazani A., Jabari F., Salarkheili S. A Review on Propulsion Drive Trains of Electric Ships: Structures, Challenges and Opportunities // Journal of Energy Management and Technology. 2024. Vol. 9, N. 1. P. 1–15. doi: 10.1109/ICTEM60690.2024.10631988
6. Ivanov G. All-Electric Cargo Ships Data Analysis and Efficiency vs Fuel Ships Comparison // International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. 2022. Vol. 7, N. 1. P. 1–10. doi: 10.12962/j25481479.v7i1.12379 EDN: NECJY
7. Kortsari A., Mitropoulos L., Heinemann T., et al. Evaluating the Economic Performance of a Pure Electric and Diesel Vessel: The Case of E-ferry in Denmark // Transactions on Maritime Science. 2022. Vol. 11, N. 1. P. 125–136. doi:

- 10.7225/toms.v11.n01.008 EDN: WIJWDY
8. Priftis A., Boulougouris E., Theotokatos G., Wang H. Trade-off between modularity and optimisation in the hydrodynamic design of high-speed electric ferries. In: Proceedings of the International Conference on Ships and Offshore Structures ICSOS 2020. Glasgow, 2020. P. 150–160.
 9. Ritari A., Mouratidis P., Tammi K. Design Optimization of Battery-Electric Marine Vessels via Geometric Programming // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 84512–84524. doi: 10.1109/access.2023.3297219 EDN: VINCWW
 10. Zin Aung M., Boulougouris E., Nazemian A. Development of Design Configurator Tool for Rapid Initial Design of Fast Zero-Emission Battery-Electric Vessels // Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility. Glasgow, 2025. P. 745–759. doi: 10.1007/978-3-031-89444-2_63
 11. Kondratenko A.A., Zhang M., Tavakoli S., Altarriba E., Hirdaris S. Existing technologies and scientific advancements to decarbonize shipping by retrofitting // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. Vol. 200. Art. 115430. doi: 10.1016/j.rser.2025.115430 EDN: ARJAXM
 12. Афанасьева С.Ю., Кошелев А.В., Чернев П.В. Применение аккумуляторных систем в качестве основного источника энергии на судах // Труды Крыловского государственного научного центра. 2024. Т. 410, № 4. С. 45–53. EDN: JCUVXB
 13. China first 120TEU pure electric inland boxship finished sea trial // Xinde Marine News. 2022. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.xindemarinenews.com/en/shipbuilding/2022/0922/42017.html>
 14. Company announces the Greenwater 01, the largest electric freighter in the world // Inспенet. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://inspenet.com/en/noticias/the-greenwater-01-the-electric-freighter>
 15. Den Bosch Max Groen // Concordia Damen. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://concordiadamen.com/recent-deliveries/den-bosch-max-groen>
 16. Equipped with CORNEX batteries! China's first 3,000-ton

- rechargeable oil-to-electricity cargo ship launched // CORNEX. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: https://cornexbattery.com/en/Index/news_detail/id/1273.html
17. First emission-free inland shipping vessel on energy containers in service // Port of Rotterdam. 2022. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/first-emission-free-inland-shipping-vessel-on-energy-containers-in-service>
18. PortLiner EC110 and EC135 // PortLiner. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.portliner.nl/ships/ec110-ec135>
19. PortLiner EC52 // PortLiner. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.portliner.nl/ships/ec52>
20. Ship Showcases Eco-Friendly Tech Innovation // NauticalVoice. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://nauticalvoice.com/tech-innovation-chinas-first-electric-container-ships/10111>
21. Tvetе H. The next Revolt // DNV GL Maritime Impact. 2014. Vol. 12, No. 3. P. 22–25.
22. World's first pure battery electric tanker "Asahi" completed // e5 Lab. 2022. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: https://e5ship.com/wp-content/uploads/2022/06/2022-03-31_jp.pdf
23. Yara Birkeland // Yara International. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit>
24. El buque portacontenedores Yara Birkeland alimentado por un sistema de baterías de Leclanché // Sector Marítimo. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: https://sectormaritimo.es/el-buque-portacontenedores-yara-birkeland-alimentado-por-un-sistema-de-baterias-de-lechance/amp?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera
25. Enova Norway to support YARA for the building of the world's first electric and autonomous container ship // VesselFinder. 2023. [internet] Дата обращения: 08.09.2025. Режим доступа: <https://www.vesselfinder.com/news/10340-Enova-Norway-to->

support-YARA-for-the-building-of-the-worlds-first-electric-and-autonomous-container-ship?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

26. Significant Small Ships of 2021 / The Royal Institution of Naval Architects (RINA). London: RINA, 2021.

REFERENCES

1. *International Maritime Organization. IMO 2020: Consistent Implementation of MARPOL Annex VI.* London: IMO; 2019.
2. *International Maritime Organization. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.* London: IMO; 2023.
3. Jeong B, Jeon H, Kim S, et al. Evaluation of the Lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity. *J Mar Sci Eng.* 2020;8(8):580. doi:10.3390/jmse8080580 EDN: CBTVCG
4. Sulligoi G, Vicenzutti A, Menis R. All-Electric Ship Design: From Electrical Propulsion to Integrated Electrical and Electronic Power Systems. *IEEE Trans Transp Electrif.* 2016;2(4):507–521. doi:10.1109/TTE.2016.2598078
5. Jabari H, Shafiei-Ghazani A, Jabari F, Salarkheili S. A Review on Propulsion Drive Trains of Electric Ships: Structures, Challenges and Opportunities. *J Energy Manag Technol.* 2024;9(1):1–15. doi:10.1109/ICTEM60690.2024.10631988
6. Ivanov G. All-Electric Cargo Ships Data Analysis and Efficiency vs Fuel Ships Comparison. *Int J Mar Eng Innov Res.* 2022;7(1):1–10. doi:10.12962/j25481479.v7i1.12379 EDN: NECJY
7. Kortsari A, Mitropoulos L, Heinemann T, et al. Evaluating the Economic Performance of a Pure Electric and Diesel Vessel: The Case of E-ferry in Denmark. *Trans Marit Sci.* 2022;11(1):125–136. doi:10.7225/toms.v11.n01.008 EDN: WIJWDY
8. Priftis A, Boulougouris E, Theotokatos G, Wang H. Trade-off between modularity and optimisation in the hydrodynamic design of high-speed electric ferries. In: *Proceedings of the International Conference on Ships and Offshore Structures ICSOS 2020.* Glasgow; 2020:150-160.
9. Ritari A, Mouratidis P, Tammi K. Design Optimization of Battery-Electric Marine Vessels via Geometric Programming. *IEEE Access.* 2023;11:84512–84524.

doi:10.1109/ACCESS.2023.3297219 EDN: VINCWW

10. Zin Aung M, Boulougouris E, Nazemian A. Development of Design Configurator Tool for Rapid Initial Design of Fast Zero-Emission Battery-Electric Vessels. In: *Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility*. Glasgow; 2025:745–759. doi:10.1007/978-3-031-89444-2_63
11. Kondratenko AA, Zhang M, Tavakoli S, Altarriba E, Hirdaris S. Existing technologies and scientific advancements to decarbonize shipping by retrofitting. *Renew Sustain Energy Rev*. 2025;200:115430. doi:10.1016/j.rser.2025.115430 EDN: ARJAXM
12. Afanasyeva SY, Koshelev AV, Chernev PV. Application of battery systems as the main source of energy on ships. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. 2024;410(4):45–53. EDN: JCUVXB
13. China first 120TEU pure electric inland boxship finished sea trial. Xinde Marine News. 2022. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://www.xindemarinenews.com/en/shipbuilding/2022/0922/42017.html>
14. Company announces the Greenwater 01, the largest electric freighter in the world. Inspenet. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://inspenet.com/en/noticias/the-greenwater-01-the-electric-freighter>
15. Den Bosch Max Groen. Concordia Damen. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://concordiadamen.com/recent-deliveries/den-bosch-max-groen>
16. Equipped with CORNEX batteries! China's first 3,000-ton rechargeable oil-to-electricity cargo ship launched. CORNEX. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: https://cornexbattery.com/en/Index/news_detail/id/1273.html
17. First emission-free inland shipping vessel on energy containers in service. Port of Rotterdam. 2022. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/first-emission-free-inland-shipping-vessel-on-energy-containers-in-service>
18. PortLiner EC110 and EC135. PortLiner. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from:

- <https://www.portliner.nl/ships/ec110-ec135>
19. PortLiner EC52. PortLiner. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://www.portliner.nl/ships/ec52>
 20. Ship Showcases Eco-Friendly Tech Innovation. NauticalVoice. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://nauticalvoice.com/tech-innovation-chinas-first-electric-container-ships/10111>
 21. Tvetе H. The next Revolt. *DNV GL Marit Impact*. 2014;12(3):22–25.
 22. World's first pure battery electric tanker "Asahi" completed. e5 Lab. 2022. Accessed: September 8, 2025. Available from: https://e5ship.com/wp-content/uploads/2022/06/2022-03-31_jp.pdf
 23. Yara Birkeland. Yara International. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit>
 24. El buque portacontenedores Yara Birkeland alimentado por un sistema de baterías de Leclanché. Sector Marítimo. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: https://sectormaritimo.es/el-buque-portacontenedores-yara-birkeland-alimentado-por-un-sistema-de-baterias-de-lechance/amp?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera
 25. Enova Norway to support YARA for the building of the world's first electric and autonomous container ship. VesselFinder. 2023. Accessed: September 8, 2025. Available from: https://www.vesselfinder.com/news/10340-Enova-Norway-to-support-YARA-for-the-building-of-the-worlds-first-electric-and-autonomous-container-ship?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera
 26. *Significant Small Ships of 2021. The Royal Institution of Naval Architects (RINA)*. London: RINA; 2021.

ОБ АВТОРАХ

AUTHORS INFO

<p>* Цыварев Владимирович; Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д. 3;</p>	<p>* Mark V. Tsyvarev; address: 3 Lotsmanskaya st, Saint Petersburg, Russia, 190121; ORCID: 0000-0003-3642-9784; eLibrary SPIN: 9626-</p>
---	--

ORCID: 0000-0003-3642-9784; eLibrary SPIN: 9626-1970; e-mail: m.tsyvarev@mail.ru	1970; e-mail: m.tsyvarev@mail.ru
Овчинников Кирилл Дмитриевич , канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0001-8753-6243; eLibrary SPIN: 3204-7727; e-mail: ovchinnikov_kd@mail.ru	Kirill D. Ovchinnikov , Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; ORCID: 0000-0001-8753-6243; eLibrary SPIN: 3204-7727; e-mail: ovchinnikov_kd@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author