

DEVELOPMENT PROSPECTS FOR DOMESTIC PROPULSION SYSTEMS OF ARC7 LNG CARRIERS

D. S. Vatolin

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The relevance of this work stems from the increasing importance of the Northern Sea Route as a strategic artery for commercial shipping, particularly concerning the execution of fuel and energy projects in the Arctic. Since 2022, the reduced participation of foreign companies in these projects has highlighted the necessity of developing domestic key equipment for shipbuilding. This article assesses the prospects for developing and implementing propulsion systems for liquefied natural gas tankers in the Russian Federation. The aim is to identify the essential components of propulsion systems that must be created to successfully realize the construction of Arc7 ice-class gas carriers. To determine viable options for these power plants, a review of existing propulsion systems used on similar LNG carriers is conducted, suitable main engine types for implementation are considered, and potential analogues for the propulsion and steering system are examined separately. Finally, an assessment is made of their positive and negative characteristics, such as efficiency, maneuverability, and implementation prospects. The article also preliminarily identifies enterprises within the Russian Federation that could serve as potential suppliers of key equipment for newly developed marine power plants, many of which are already engaged in Arctic energy resource extraction and export projects.

Keywords: liquefied natural gas, LNG tanker, propulsion system, ship power plant, gas carrier construction technology, propeller-rudder hull, icebreaking capability, gas turbine engine, steam turbine plants, electric power systems.

For citation:

Vatolin, Dmitrii S. "Development prospects for domestic propulsion systems of ARC7 LNG carriers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 17.1 (2025): 148–155. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-148-155.

УДК 629.5

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОПУЛЬСИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ТАНКЕРОВ-ГАЗОВОЗОВ КЛАССА ARC7

Д. С. Ватолин

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность работы обусловлена важностью развития в последние годы Северного морского пути как стратегически значимой артерии торгового судоходства и в особенности реализации топливно-энергетических проектов в Арктике. Отмечается, что начиная с 2022 г. многие зарубежные компании не участвуют в подобных проектах, поэтому в сложившейся ситуации возникает необходимость создания отечественного ключевого оборудования в области судостроения. В обзорной статье рассмотрены вопросы перспектив разработки и реализации на территории Российской Федерации пропульсивных комплексов для танкеров, выполняющих транспортировку сжиженного природного газа. Целью данной работы является исследование недостающих элементов пропульсивных комплексов, которые необходимо создать для успешной реализации проекта по постройке судна-газовоза ледового класса Arc7. Для определения возможных вариантов реализации подобных энергетических установок выполнен обзор существующих пропульсивных комплексов, применяемых на аналогичных танкерах-метановозах, рассмотрены приемлемые для реализации типы главных двигателей, а также отдельно рассмотрены возможные аналоги движительно-рулевого

комплекса. Выполнена оценка их положительных и отрицательных характеристик, таких как коэффициент полезного действия, маневренность и перспективность реализации. Также в статье указаны предприятия, способные выступить в качестве потенциальных поставщиков ключевого оборудования для вновь создаваемых судовых энергетических установок, причем все они находятся на территории Российской Федерации и большая их часть вовлечена в реализацию арктических проектов по добыче и экспорту энергоносителей.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, СПГ-танкер, пропульсивный комплекс, судовая энергетическая установка, технология постройки газозовозов, винторулевой корпус, ледопродоходимость, газотурбинные двигатель, паротурбинные установки, единые электроэнергетические системы.

Для цитирования:

Ватолин Д. С. Перспективы развития отечественных пропульсивных комплексов для танкеров-газовозов класса ARC7 / Д. С. Ватолин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 148–155. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-148-155. — EDN IVBWNM.

Введение (Introduction)

В 2019 г. ССК «Звезда» и Samsung Heavy Industries Co. Ltd. (SHI) подписали контракт о совместной постройке 15 судов-газовозов класса Arc7 для проекта «Арктик СПГ-2». Заказчиками газозовозов являются ПАО «Совкомфлот» и его совместное предприятие с ПАО «Новатек» — ООО «СМАРТ СПГ». Головное судно будет принадлежать ПАО «Совкомфлот», 14 серийных танкеров — «СМАРТ СПГ».

Одним из наиболее важных элементов СПГ-танкера, который предстоит разработать, является пропульсивный комплекс. К сожалению, последние отечественные исследования в большей степени посвящены корабельным силовым установкам [1]–[3] и в гораздо меньшей — энергетическим установкам гражданских судов [4], [5].

Целью данной статьи является выявление недостающих элементов пропульсивных комплексов, которые необходимо создать для успешной реализации проекта по постройке судна-газовоза. Для этого необходимо выполнить обзор существующих пропульсивных комплексов для газозовозов класса Arc7, определить их эффективность и возможность реализации на территории РФ, а также выявить недостающие элементы для разработки наиболее перспективных вариантов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Обзор существующих пропульсивных комплексов. В соответствии с первоначальной договоренностью между ССК «Звезда» и SHI строительство газозовозов должно было начинаться с изготовления блоков на южнокорейской верфи, транспортировки и сборки в г. Большой Камень с последующей поэтапной передачей технологии постройки от SHI к ССК «Звезда» (рис. 1). В октябре 2021 г. первый корпус судна был доставлен в ССК «Звезда» для финальной достройки. В 2022 г. на территории верфи находилось пять корпусов в разной степени готовности. Тогда же в 2022 г. SHI приостановили свое участие в проекте без расторжения контракта, сославшись на форс-мажорные обстоятельства. После продолжительных переговоров ССК «Звезда» в одностороннем порядке расторгла контракт с SHI на строительство оставшихся десяти танкеров. Помимо этого из проекта вышли американская корпорация General Electric, которая через совместное предприятие с НК «Роснефть» — ООО «Завод ВРК Сапфир» — поставляла винторулевые колонки (ВРК) и немецкий производитель MAN Energy Solutions SE (MAN), поставлявший двухтопливные дизель-генераторы.

На головном судне «Алексей Косыгин» в начале 2025 г. были проведены швартовные и ходовые испытания в открытом море. Первое серийное судно «Петр Столыпин» должно быть передано заказчику в первом квартале 2025 г. Второе серийное судно «Сергей Витте» спущено на воду, но не оборудовано грузовой системой, так как французская компания Gaz Transport & Technigaz (GTT) выдала лицензию на грузовые системы только для двух судов, прежде чем выйти из проекта. В третьем и четвертом серийных судах существует проблема отсутствия грузовой системы и пропульсивного комплекса.

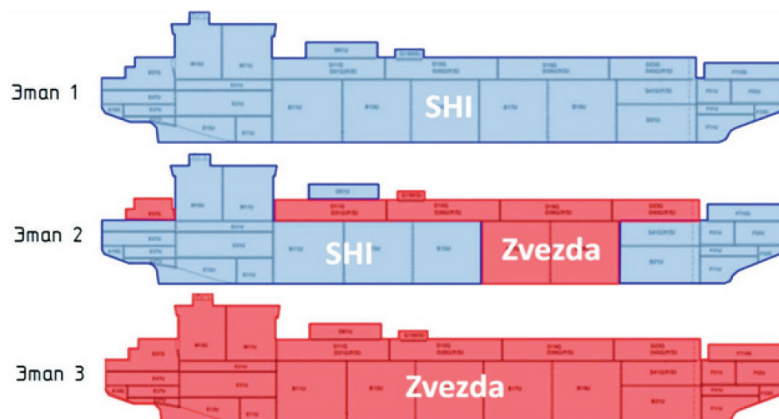


Рис. 1. Поэтапный план передачи технологии постройки судов-газовозов от SHI к ССК «Звезда»
(<https://www.nevainter.com/upload/materials/2021/korea/Samsung%20Heavy%20Industries.pdf>:
дата обращения 05.02.2025)

Указанные обстоятельства отразились на сроках запуска проекта по сжижению и отгрузке природного газа «Арктик СПГ-2»: в декабре 2023 г. была запущена первая технологическая линия по производству СПГ, в апреле 2024 г. завод был остановлен ввиду отсутствия возможности транспортировки груза его покупателям. Это связано с тем, что помимо увеличившихся сроков сдачи газозовов на ССК «Звезда», на неопределенный срок отложена передача шести СПГ-танкеров класса Arc7, построенных на верфи Hanwha Ocean Co., Ltd. (бывшая Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering (DSME)). Компания «Новатек» уведомила клиентов о форс-мажорных обстоятельствах по поставкам сжиженного газа данного проекта.

Выход из российских проектов поставщиков ключевого оборудования (грузовых систем, пропульсивных комплексов и т. д.), а также отсутствие возможности постройки судов-газовозов за рубежом обуславливают необходимость срочной реализации отечественного СПГ-танкера ледового класса Arc7. Реализацией этого проекта занимаются «Крыловский государственный научный центр» (КГЦН) и подразделение Росатома «Атомэнергомаш». Все существующие в настоящее время проекты танкеров-газовозов класса Arc7 оборудованы высоковольтными электроэнергетическими системами (ЭЭС), питаемыми от главных дизель-генераторов и приводящими в действие ВРК (принципиальная схема пропульсивного комплекса приведена на рис. 2).

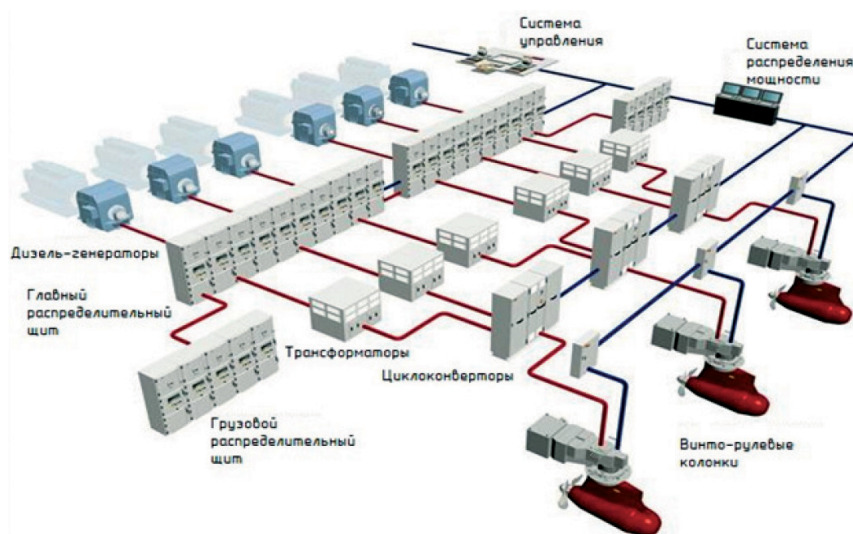


Рис. 2. Принципиальная схема ЭЭС современного арктического танкера-газовоза
(https://www.j-l-a.com/press_releases/abb-wins-order-for-arctic-ice-going-lng-carriers/:
дата обращения 05.02.2025)

Первое поколение газозовов усиленного ледового класса, построенных Hanwha Ocean Co., Ltd, оборудованы тремя ВРК Azipod суммарной мощностью 45 МВт. Второе поколение газозовов класса Arc7, строящееся на этой же верфи, оборудовано также тремя ВРК Azipod суммарной мощностью 51 МВт. Первое поколение арктических газозовов, строящихся на SHI/ССК «Звезда», оснащены тремя ВРК Seajet Pod суммарной мощностью 45 МВт. КПД данных комплексов составляет ~41 % [6].

Данная система электродвижения обеспечивает судам высокую маневренность и ледопроездимость. В условиях тяжелой ледовой обстановки судно имеет возможность развернуться кормой вперед и продолжать движение по заданному курсу за счет специально спроектированной кормовой оконечности и затягивания колотого льда рулевыми колонками под корпус судна. Классический вариант винторулевого корпуса не обладает такими качествами, поэтому существует высокая вероятность повреждения балера руля от наваливания ледовой массы. Кроме того, ледовые сжатия оказывают большее влияние на скорости проводки крупнотоннажных судов с традиционным пропульсивным комплексом, в то время как для крупнотоннажных ледокольно-транспортных судов, оборудованных ВРК, влияние ледовых сжатий будет сопоставимым, а при использовании заднего хода в тяжелых льдах — даже существенно меньшим по сравнению с плаванием под проводкой ледоколов [7].

Варианты движительной части пропульсивного комплекса, доступные для реализации на территории РФ. Совместное предприятие ПАО «Роснефть» и GE ООО «Сапфир» создавалось для сборки и обслуживания (но не производства) электрических ВРК Seajet Pod, поэтому после выхода GE из проекта предприятие лишилось ключевых технологий, необходимых в производстве. По этой причине в рамках ОКР ЭДРК по заказу Минпромторга была создана электрическая колонка меньшей мощности, что позволило специалистам АЭМ и Крыловского государственного научного центра (КГНЦ) проработать несколько вариантов движительно-рулевого комплекса (ДРК) — рис. 3.

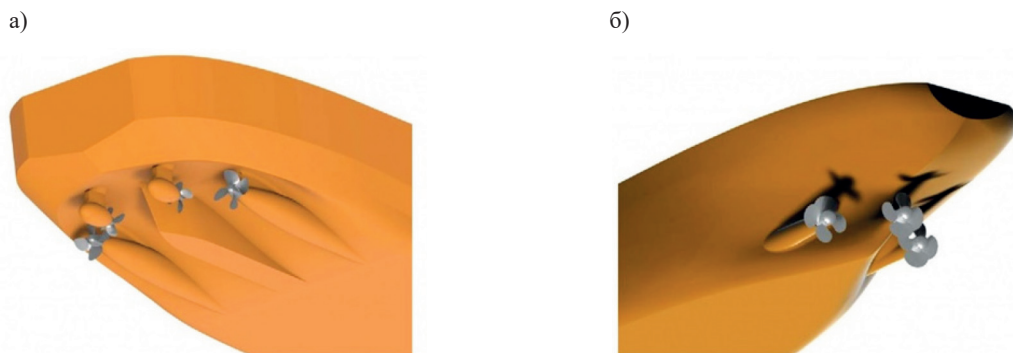


Рис. 3. Варианты винторулевого комплекса:

- а — вариант 1 — комбинированный (две бортовых валопины с ВФШ и две ВРК);
б — вариант 2 — конвенциональный (три валопины с ВФШ и рулевое устройство)
(<https://dzen.ru/a/ZD1a43T4MEPzxvwU>: дата обращения 05.02.2025)

Вариант 1 — комбинированный: два центральных ВРК мощностью ~7,5 МВт в сочетании с двумя бортовыми гребными электродвигателями (ГЭД), оснащенными винтами фиксированного шага (ВФШ) мощностью ~21 МВт.

Вариант 2 — конвенциональный: три гребных электродвигателя оснащенных ВФШ. Однако этот вариант выглядит малоперспективным, так как его ледопроездимость вряд ли сможет обеспечивать круглогодичную навигацию в Арктике без сопровождения атомных ледоколов (а/л), строительство которых в настоящее время замедлилось из-за санкций.

Следует отметить, что также существует полностью локализованное в РФ предприятие по производству ВРК АО «ЦС «Звездочка», которое производит механические винторулевые комплексы с максимальной заявленной мощностью 9 МВт, что в некоторой степени увеличивает возможности комбинирования пропульсивных комплексов.

Единая электроэнергетическая система (ЭЭС) может быть представлена ЦНИИ судовой электротехники и технологии (ЦНИИ СЭТ). Данная система [8] была разработана в рамках импортозамещения при создании головного а/л пр. 22220 «Арктика». В качестве поставщиков гребных электродвигателей (ГЭД) и валовиний с винтом фиксированного шага (ВФШ) можно рассматривать ООО «Русэлпром» и АЭМ-Пропульсия.

Варианты приводов генераторов для единой ЭЭС. Реализация газозовозов с двухтопливными дизельными двигателями на территории РФ на сегодняшний день крайне маловероятна, так как такие производители, как Wartsila и MAN, прервали сотрудничество с российскими компаниями, а альтернатива в виде китайских лицензионных двигателей возможна, но нет гарантии, что Китай сможет производить их серийно. Поэтому необходима проработка альтернативных приводов для генераторов.

Одним из возможных вариантов является применение комбинированной газопаротурбинной установки (рис. 4), в которой отработавшие газы от главного газотурбинного двигателя, приводящего в действие генератор, идут в утилизационный котел, который производит пар для турбогенератора. КПД подобных установок составляет ~38 % [6].

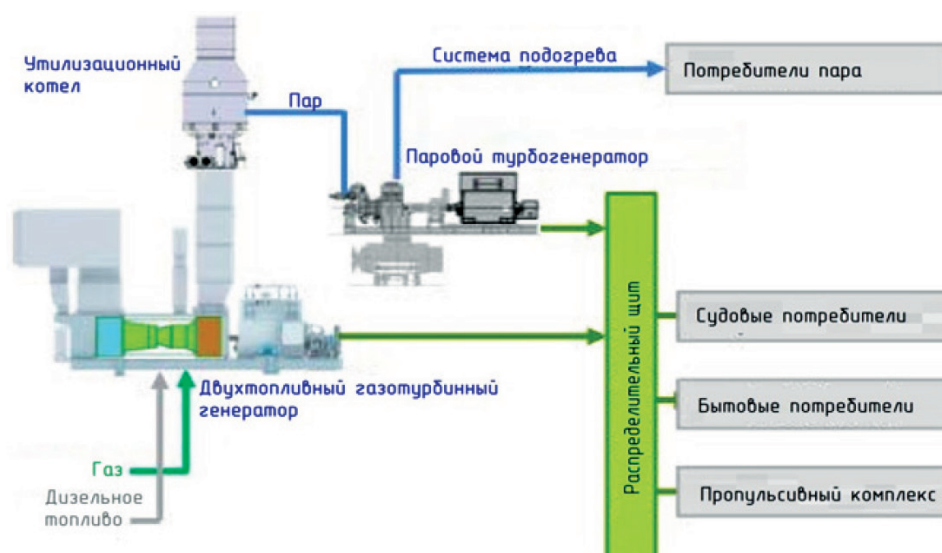


Рис. 4. Комбинированная газопаротурбинная установка
(<https://www.mdpi.com/2411-9660/8/4/66>: дата обращения 05.02.2025)

Наиболее близким по требуемым характеристикам к отечественным судовым газотурбинным двигателям (ГТД) является М90ФР мощностью до 20 МВт, разработанный ОАО «НПО «Сатурн» ПАО «ОДК-Сатурн» [9]. Среди существенных недостатков данного двигателя следует отметить его относительно малый моторесурс — всего 40000 ч, который, вероятно, может быть увеличен за счет уменьшения уровня форсированности двигателя, а также реализации более оптимальных технических решений.

Разработчиками утилизационного турбогенератора могут выступить либо Калужский турбинный завод, либо ПАО «Кировский завод», являющиеся поставщиками главных турбо-генераторов (ГТГ) для отечественных атомных ледоколов. Разработчиком утилизационного котла может выступить АО «Специальное конструкторское бюро котлостроения» («СКБК»).

Помимо эффективности положительным качеством установок данного типа является их компактность. Китайская судостроительная верфь Hudong-Zhonghua Shipbuilding (Group) Co. Ltd. (HZ) получила одобрение American Bureau of Shipping (ABS) для дизайн-проекта СПГ-танкера грузоместимостью 178 000 м³. Объем новой грузовой системы на 4 000 м³ больше, чем у аналогичных судов при идентичных основных размерениях, за счет применения системы COGES (COmbined Gas turbine Electric and Steam) от GE. Также специалисты GE заявляют о том,

что для их системы предусмотрены более низкие операционные расходы по сравнению с дизельными установками.

Однако газотурбогенераторы являются маршевыми двигателями и имеют достаточную надежность только при длительной эксплуатации на постоянной мощности, в то время как основным режимом работы газозова арктического класса является постоянное изменение мощности при активном маневрировании во время ледовой навигации. При таких условиях эксплуатации надежность и моторесурс ГТД резко снижаются. По этой причине наиболее вероятным источником электроэнергии являются главные турбогенераторы (ГТГ) типа ПТУ-72, разработанные для атомных ледоколов, работающих при следующих параметрах слабо перегретого пара: давление — 3,4 МПа, температура — 285 °С [10]. Для данного типа паротурбинных установок АО «СКБК» могут предоставить котлы типа КВГ2МД, производящие пар со следующими параметрами: давление — 3,4 МПа, температура — 300 °С. Примерная схема предлагаемого пропульсивного комплекса приведена на рис. 5.

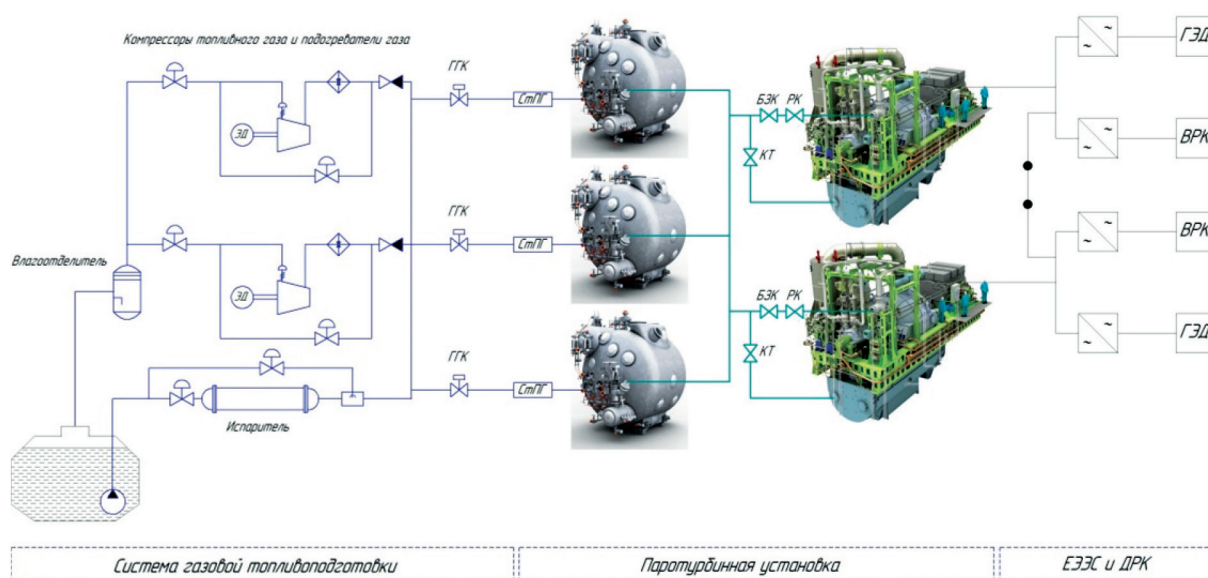


Рис. 5. Пропульсивный комплекс для газозова класса Arc7 на базе ПТУ-72:

СтПГ — станция подготовки газа; ГГК — главный газовый клапан;

БЗК — быстрозапорный клапан; РК — регулирующий клапан; КТ — клапан травления

Суммарная мощность двух ГТГ ПТУ-72 составляет 72 МВт при необходимой мощности ЭЭС проектируемого судна 61,9 МВт (данная мощность предварительно принята по аналогии с существующими газозовами Arc7). Мощность данной ПТУ может быть снижена по аналогии с ГТГ642, разработанными для линейных АЛ пр. 1052 «Арктика» и затем установленными в деформированном варианте под индексом ГТГ642Т на мелкосидящих а/л «Таймыр» и «Вайгач» [11].

Опыт деформировки ПТУ показал, что подобные модификации влекут за собой увеличение скорости эрозионного износа последних ступеней паровой турбины, однако не столь критичного, так как ГТГ642Т находятся в эксплуатации в течение уже почти 35 лет без необходимости замены рабочих лопаток или соплового аппарата. На разработку и реализацию ПТУ пониженной мощности уйдет ~2–3 года, что вполне приемлемо в создавшейся ситуации. Недостатком этого варианта является его низкая экономичность. Ввиду заниженных начальных параметров пара в ПТУ, общий КПД пропульсивного комплекса будет на уровне а/л — ~20 % [10]. По предварительным расчетам, ПТУ будет потреблять около 300 т/ч слабоперегретого пара на максимальной мощности и для того, чтобы удовлетворить потребности судна в паре, потребуется три котла КВГ2МД производительностью 119 т/ч.

Основные характеристики рассмотренных пропульсивных комплексов сведены в следующую таблицу:

Перспективные пропульсивные комплексы

Тип пропульсивного комплекса	КПД	Маневренность	Недостающие элементы	Перспективность реализации
Двухтопливный дизель-генератор в составе ЕЭЭС	До 41 %	Высокая	Главный двухтопливный дизель-генератор	Низкая
Газопаротурбинная установка в составе ЕЭЭС	До 38 %	Низкая	Утилизационный турбогенератор, утилизационный котел	Средняя
ПТУ в составе ЕЭЭС	До 20 %	Высокая	Дефорсированная ПТУ-72	Высокая

Как показывает проведенный анализ, в отсутствии дизель-генераторных установок основной проблемой является поиск компромисса между маневренностью и эффективностью пропульсивного комплекса.

Заключение (Conclusion)

Наиболее перспективной альтернативой недостающим пропульсивным комплексам является паротурбинная установка в составе единой ЭЭС на базе ПТУ-72. Однако КПД данной энергетической установки крайне низок (составляет всего 20 %). Возможным вариантом является постройка судна с опытным пропульсивным комплексом на базе газопаротурбинной установки. Полученный на головном судне опыт эксплуатации комбинированных двигателей позволит в значительной мере повысить возможности конструирования и реализации современных отечественных судовых энергетических установок. Для определения конфигурации движительно-рулевого комплекса необходимо проведение дополнительных модельных испытаний с различными комбинациями ГЭД и ВРК, на основании которых можно определить наиболее перспективный вариант в оптимальном соотношении ресурсозатратность / ледопроходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шляхтенко А. В. Тенденции эволюционного развития схемного исполнения энергетических установок многоцелевых надводных кораблей / А. В. Шляхтенко, И. Г. Захаров, В. В. Барановский // Морской вестник. — 2021. — № 3(79). — С. 43–53. — EDN KMHUUR.
2. Половинкин В. Н. Оценка целесообразности и способов разработки и создания корабельного газотурбинного двигателя 5-го поколения / В. Н. Половинкин, В. В. Барановский, Д. Ю. Колодяжный // Судостроение. — 2019. — № 1(842). — С. 11–31. — EDN CAROPZ.
3. Кузнецов Р. В. Обобщение и оценка вариантов перспективных газотурбинных агрегатов и их редукторных передач для нужд отечественного судостроения / Р. В. Кузнецов // Судостроение. — 2022. — № 3(862). — С. 49–52. — EDN PAEZZK.
4. Афанасьева С. Ю. Применение аккумуляторных систем в качестве основного источника энергии на судах / С. Ю. Афанасьева, А. В. Кошелев, П. В. Чернев // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2024. — № 4(410). — С. 149–162. — EDN JCUVXB.
5. Доржиева Б. С. Главные турбогенераторы для судовых электроэнергетических систем / Б. С. Доржиева, В. Н. Железняк, А. Б. Раднаев // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2023. — № S1. — С. 118–123. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-2-S-I-118-123. — EDN JFARMF.
6. Kissas N. A Comparative Techno-Economic Analysis of TFDE, ME-GI and X-DF Propulsion Systems for LNG Carriers. Case study for Alternative Multi-Annual Operational Profiles. / N. Kissas, Ch. Papaleonidas, D. Foulfias, D. Lyridis // IAME Conference, Athens, Greece. — 2019. — Vol. 362. — Pp. 1–25.
7. Штрек А. А. Проектные вопросы маневренности и ходкости при ледовых сжатиях перспективных крупнотоннажных судов арктического плавания / А. А. Штрек // Морской вестник. — 2013. — № 4(48). — С. 090–093. — EDN SDUTAJ.

8. Вершинин В. И. Алгоритм управления гребным электроприводом универсального атомного ледокола проекта 22220 / В. И. Вершинин, С. В. Махонин, В. А. Паршиков, В. А. Хомяк // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2017. — № 4(382). — С. 95–102. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-4-382-95-102. — EDN YMBWHP.

9. Никитин В. С. Современное состояние и перспективы развития отечественных газотурбинных энергетических установок / В. С. Никитин, В. Н. Половинкин, В. В. Барановский // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2017. — № 3(381). — С. 75–90. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-75-90. — EDN ZFUXOR.

10. Кудинович И. В. Ядерные энергетические установки перспективных объектов морской техники гражданского назначения / И. В. Кудинович, А. Ж. Сутеева, В. Г. Хорошев // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — № 4(386). — С. 95–106. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-95-106. — EDN VNJZUG.

11. Болгаров С. П. Особенности АЭУ для перспективных ледоколов / С. П. Болгаров, А. В. Воронцов, Л. П. Седаков // Судостроение. — 2003. — № 6(751). — С. 27–31. — EDN HVGJER.

REFERENCES

1. Shlyakhtenko, A. V., I. G. Zakharov and V. V. Baranovskiy. “Tendentsii evolyutsionnogo razvitiya skhemnogo ispolneniya energeticheskikh ustanovok mnogotselevykh nadvodnykh korablye.” *Morskoy vestnik* 3(79) (2021): 43–53.

2. Polovinkin, V. N., V. V. Baranovskiy and D. Yu. Kolodyazhnyy. “Estimating feasibility and development methods of shipboard gas-turbine motor of 5th generation.” *Shipbuilding* 1(842) (2019): 11–31.

3. Kuznetsov, R. V. “Generalization and estimation of prospective gas-turbine units and their reduction gear for the needs of domestic shipbuilding.” *Shipbuilding* 3(862) (2022): 49–52.

4. Afanas'eva, S. Yu., A. V. Koshelev and P. V. Chernev. “Application of storage batteries as primary power source for ships.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 4(410) (2024): 149–162.

5. Dorzhieva, B. S., V. N. Zheleznyak and A. B. Radnaev. “Main turbogenerators for marine electric power systems.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 1 (2023): 118–123. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-2-S-I-118-123.

6. Kissas N., Ch. Papaleonidas, D. Fouflias and D. Lyridis “A Comparative Techno-Economic Analysis of TFDE, ME-GI and X-DF Propulsion Systems for LNG Carriers. Case study for Alternative Multi-Annual Operational Profiles.” *IAME Conference, Athens, Greece* 362 (2019): 1–25.

7. Shtrek, A. A. “Proektnye voprosy manevrennosti i khodkosti pri ledovykh szhatyakh perspektivnykh krupnotonnazhnykh sudov arkticheskogo plavaniya.” *Morskoy vestnik* 4(48) (2013): 090–093.

8. Vershinin, V. I., S. V. Makhonin, V. A. Parshikov and V. A. Khomyak. “Control algorithm for electric propulsion drive of Project 22220 multi-purpose nuclear icebreaker.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 4(382) (2017): 95–102. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-4-382-95-102.

9. Nikitin, V. S., V. N. Polovinkin and V. V. Baranovskiy. “Current status and development prospects of Russian gas turbines.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 3(381) (2017): 75–90. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-75-90.

10. Kudinovich, I. V., A. Zh. Suteeva and V. G. Khoroshev. “Nuclear power plants for advanced civil marine technology.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 4(386) (2018): 95–106. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-95-106.

11. Bolgarov, S. P., A. V. Vorontsov and L. P. Sedakov. “Particulars of NPP for prospective icebreakers.” *Shipbuilding* 6(751) (2003): 27–31.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ватолин Дмитрий Сергеевич —
кандидат технических наук,
Государственный университет морского
и речного флота им. адм. С. О. Макарова
198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: vatolinds@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vatolin, Dmitrii S. — PhD,
Admiral Makarov State university of maritime
and inland shipping
Dvinskaya 5/7, St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: vatolinds@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 14 января 2025 г.

Received: Jan. 14, 2025.