

ТРУДЫ

КРЫЛОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА

3(381) | 2017

TRANSACTIONS

OF THE KRYLOV STATE RESEARCH CENTRE



ISSN 2542-2324

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
SAINT-PETERSBURG

В.С. Никитин¹, В.Н. Половинкин¹, В.В. Барановский²

¹ ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург

² ВУНЦ ВМФ «ВМА», Санкт-Петербург

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются отечественные газотурбинные энергетические установки (ГТЭУ) крупных боевых надводных кораблей и вспомогательных судов, их достоинства и недостатки. Целью статьи является системное изложение краткой истории создания отечественных ГТЭУ, анализ их современного состояния, а также обоснование перспектив их развития и использования на современных боевых кораблях ВМФ РФ.

Материалы и методы. Изложены этапы зарождения и развития отечественных ГТЭУ крупных надводных кораблей, а также представлена эволюция газотурбинных двигателей (ГТД) четырех поколений. Отражена история зарождения теории и практики газотурбостроения. Перечислены ученые, которые внесли наиболее существенный вклад в развитие отечественного газотурбостроения. Выполнен системный анализ ГТЭУ кораблей основных классов довоенной постройки, отражены тактико-технические характеристики (ТТХ) этих кораблей. Обоснованы перспективы их дальнейшего развития. Особое внимание уделено исследованию развития ГТЭУ кораблей основных классов в послевоенное время, включая современный период развития ВМФ. Отражены ТТХ современных кораблей с ГТЭУ. Обоснованы оптимальные параметры и требования к основным элементам ГТЭУ применительно к кораблям океанской зоны и вспомогательным судам. Подробно исследованы конструктивные схемы ГТЭУ кораблей различных типов и классов, в том числе кораблей на подводных крыльях и на воздушной подушке. При изложении использован метод системного анализа и системного подхода, а также принцип исторической преемственности.

Основные результаты. Исследованы тенденции развития ГТЭУ, систематизированы их основные достоинства и недостатки, сформулированы требования к перспективным установкам, отражены наиболее перспективные конструкции основных элементов энергетических установок данного типа. Проанализированы технико-экономические характеристики современных и перспективных ГТЭУ. Предложены варианты решения проблемы дальнейшего развития отечественных ГТЭУ.

Заключение. Сформулированы научно обоснованные выводы и прогнозы дальнейшего развития ГТЭУ.

Ключевые слова: корабельные газотурбинные энергетические установки, газотурбинные двигатели, боевые корабли с газотурбинными установками, Южный турбинный завод, газотурбоагрегаты.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития отечественных газотурбинных энергетических установок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2017; 3(381): 75–90.

УДК 629.5.03-843.8.001.18

DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-75-90

SHIP POWERPLANTS

V.S. Nikitin¹, V.N. Polovinkin¹, V.V. Baranovsky²

¹ Krylov State Research Centre, Moskovskoe shosse 44, St. Petersburg, Russia

² ME & RC Kuznetsov Naval Academy, Ushakovskaya nab. 17/1, St. Petersburg, Russia

CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF RUSSIAN GAS TURBINES

Object and purpose of research. This study discusses Russian gas turbines of capital naval ships and auxiliary vessels, their advantages and drawbacks. The paper is intended to provide a systematic and concise history of Russian gas turbine developments, analyse their current status and to justify the prospects of their improvement and application on modern ships of the Russian Navy.

Materials and methods. The paper describes the inception and progress of Russian gas turbine technology for capital naval ships, as well as tackles the four generation of Russian gas turbines in their evolution, showing the origin and tracing the history of design and manufacturing of gas turbines. It enumerates the scientists who made the greatest contribution to the progress of Russian gas turbine developments. The paper provides a system analysis for the gas turbines of capital naval ships constructed before the World War II, reflecting the performance parameters of these ships. It justifies the prospects of gas turbine developments. Special emphasis is put onto the study progress of gas turbines for capital ships after the World War II, including the current status in the Russian Navy. The paper provides performance parameters of the modern ships with gas turbines, justifies optimal parameters and requirements to the main elements of gas turbines for ocean-going ships and auxiliary vessels, as well as provides a deep insight into the designs of gas turbines for the ships of different types and classes, including hydrofoils and ACVs. The study follows the method of system analysis and system approach, as well as the principle of historical succession.

Main results. The paper investigates the trends of gas turbine development, providing a systematic description of the main advantages and drawbacks, as well as formulating the requirements to future gas turbines and indicating the most promising designs for their main elements. It analyses the parameters of modern and future gas turbines from the technical and the economic standpoint, suggesting the ways of further improvement in Russian gas turbine technology.

Conclusion. The paper formulates the conclusions and predictions for future gas turbine developments, as well as justifies them scientifically.

Keywords: marine gas turbines, gas turbine propulsion, naval ships with gas turbines, *Yuzhny* turbine factory, gas turbine assemblies.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Nikitin V.S., Polovinkin V.N., Baranovsky V.V. Current status and development prospects of Russian gas turbines. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2017; 3(381): 75–90 (in Russian).

УДК 629.5.03-843.8.001.18

DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-75-

Основными преимуществами газотурбинных двигателей являются высокая экономичность (на нагрузках, близких к номинальной), большие агрегатные мощности при малых массе и габаритах (энергоемкость ГТД составляет 1000–3000 кВт/м³, 1000–2000 кВт/т), высокая маневренность и готовность к действию (приготовление к действию – 10–15 мин., время запуска – 120–180 с), приспособленность к автоматизации, высокая надежность, относительная простота конструкции и обслуживания, высокая технологичность, возможность агрегатного ремонта и др.

Эти преимущества позволили газотурбинным энергетическим установкам (ГТЭУ) занять достойное место (35–37%) в корабельной энергетике военных флотов различных стран мира.

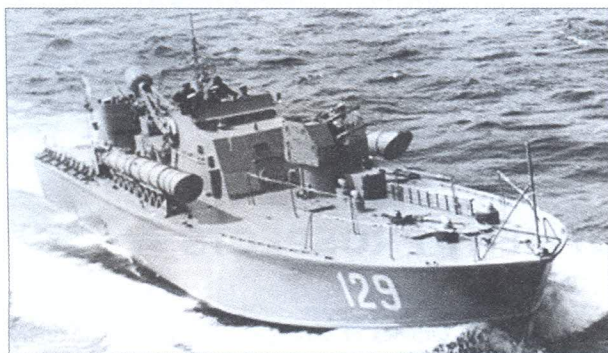


Рис. 1. Торпедный катер проекта 183
Fig. 1. Project 183 torpedo boat

В научных трудах Г.И. Зотикова был впервые системно изложен принципиально новый теоретический подход к сравнительной оценке циклов газотурбинных двигателей. В целом его труды по праву стали обоснованной программой создания первого отечественного корабельного ГТД. В 1931–1941 гг. под руководством Г.И. Зотикова начались работы по созданию турбины внутреннего сгорания опытной (ТВСО) – прообраза корабельного ГТД мощностью 3500 л.с. Двигатель создавался по циклу с промежуточным охлаждением и регенерацией. Степень повышения давления была принята равной 8, начальная температура газа 1173 °К (900 °С), компрессор центробежный, двухступенчатый, турбина одноступенчатая с диффузором, лопатки турбины охлаждались водой.

С учетом приобретенного опыта уже в 1948 г. был разработан технический проект газотурбинной энергетической установки ГТУ-42 мощностью 14 000 л.с., предназначенной для сторожевого корабля проекта 42.

В ходе создания ГТУ-42 был разработан универсальный осевой компрессор, при степени повышения давления, равной 4,5, имеющий КПД более 0,9. В дальнейшем этот компрессор использовался в качестве базовой модели для создания целого ряда компрессоров как для корабельных ГТД, так и для ГТД народнохозяйственного назначения.

В 1951 г. было разработано техническое задание на создание первой отечественной газотурбины

ной установки УГТУ-1. Для сокращения сроков разработки в качестве прототипа был выбран авиационный турбовинтовой двигатель конструкции С.А. Колосова. В 1952 г. межведомственная комиссия рекомендовала УГТУ-1 к установке на опытном торпедном катере проекта 183 (рис. 1).

ГТД М1, установленный на торпедном катере проекта 183ТК (1955 г.) в качестве ускорительного двигателя, имел мощность 4000 л.с., расход топлива 410 г/л.с.ч. и ресурс 100 ч.

Одновременно был спроектирован всережимный двигатель Д053 для установки М2 (рис. 2) с мощностью 15 000 л.с. и расходом топлива 260 г/л.с.ч.

Этот двигатель имел двухкаскадный турбокомпрессор, трубчато-кольцевую камеру сгорания, свободную силовую турбину, усовершенствованную топливную аппаратуру, улучшенную теплоизоляцию. Применение новых жаропрочных конструкционных материалов увеличило ресурс двигателя до 1000 ч.

В мае 1954 г. вышло постановление Совета Министров СССР о строительстве в г. Николаеве базы для проектирования и серийного выпуска газотурбинных двигателей и установок для кораблей ВМФ. В августе 1954 г. группа из 36 специалистов Казанского авиационного завода № 16 во главе с главным конструктором С.Д. Колосовым прибыла в Николаев на строящийся здесь Южно-турбинный завод (ЮТЗ). Главным конструктором завода и начальником вновь организованного специального конструкторского бюро по морским газотурбинным установкам (впоследствии НПП «Машпроект»), был утвержден С.Д. Колосов. В дальнейшем конструкторское бюро возглавляли Я.Х. Сорока, В.И. Романов и др.

Удивительно, насколько дальновидными оказались руководители ВМФ СССР и Министерства судостроительной промышленности Н.Г. Кузнецов и И.И. Носенко, принимавшие это решение. Мировой военный флот находился накануне технической революции в оснащении главных энергетических установок кораблей газотурбинными двигателями, и отечественные специалисты первыми оценили объективные перспективы ГТЭУ. Таким образом, СССР первым начал создавать серийные корабли с газотурбинными установками, и к началу 90-х годов прошлого столетия превосходил США как по количеству газотурбинных кораблей, так и по суммарной мощности ГТЭУ.

В 1954–1957 гг. на ЮТЗ были разработаны газотурбинные двигатели и установки М1 (4000 л.с.), М2 (15 000 л.с.), М3, М5 и др., которые устанавливались на торпедных катерах, ма-

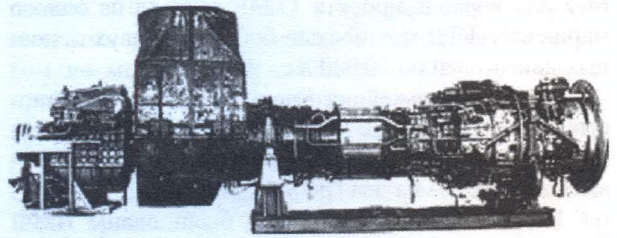


Рис. 2. Газотурбинная энергетическая установка М2
Fig. 2. M2 gas turbine

лых противолодочных кораблях, кораблях океанской зоны. Специально для крупных кораблей была разработана установка М3 (рис. 3) мощностью $2 \times 18\,000$ л.с.

Эти установки размещались на больших противолодочных кораблях (БПК) проекта 61: два двигателя по 18 000 л.с. объединялись посредством редуктора в единый агрегат мощностью 36 000 л.с., получивший индекс М3.

Два таких агрегата работали каждый на свой вал, развивая суммарную мощность 72 000 л.с. БПК пр. 61 (рис. 4, см. вклейку) были первыми в мире кораблями с всережимной главной газотурбинной установкой, работавшей как на максимальных, так и на экономических скоростях хода. Всего на Судостроительном заводе имени 61 коммунара в 1962–1973 гг. было построено 15 таких кораблей.

В 1970–80-х гг. еще пять газотурбинных кораблей было построено Судостроительным заводом имени 61 коммунара для ВМС Индии по проекту 61М.

В конце 1960 г. Судостроительный завод имени 61 коммунара приступил к строительству БПК пр. 1134Б (рис. 5, см. вклейку) с главными газотурбинными двигателями второго поколения и установками М5 общей мощностью 92 000 л.с. Агрегат

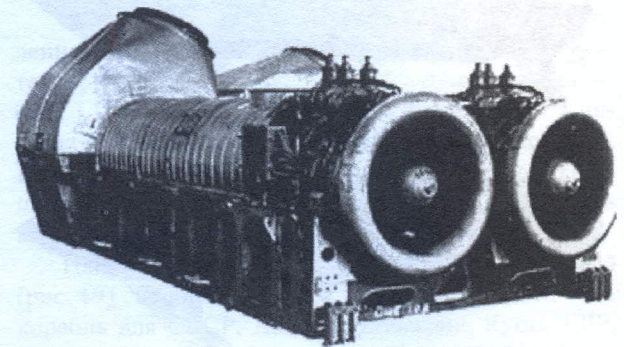


Рис. 3. Газотурбинная энергетическая установка М3
Fig. 3. M3 gas turbine

М-5 для корабля проекта 1134Б состоял из одного маршевого ГТД мощностью 6000 л.с. и двух основных двигателей по 20 000 л.с.

С целью дальнейшего повышения экономичности в этом агрегате применена межредукторная передача, обеспечивающая работу одним маршевым двигателем на два гребных винта.

Первые из БПК пр. 1134Б были сданы ВМФ в 1971 г. и 1973 г. Всего было построено 7 таких кораблей.

Следует подчеркнуть, что первый газотурбинный эсминец ВМС Великобритании «Шеффилд», оснащенный газотурбинными двигателями «Олимпус ТМ3В» фирмы «Роллс-Ройс» был сдан в феврале 1975 г., и только в сентябре 1975 г. ВМС СШАполнились первым эминцем «Спрюэнс» с ГТЭУ следующего состава: четыре газотурбинных двигателя «Дженерал Электрик» LM2500, работающие на два вала, мощностью 80 000 л.с. (59 655 кВт).

Следующим кораблем ВМС США с ГТЭУ стал эсминец типа «Кидд». Корабль имел две линии вала и был снабжен 4-мя газотурбинными установками «Дженерал Электрик» LM2500, мощностью 80 000 л.с.

На смену этим эсминцам в ВМС США поступили эскадренные миноносцы четвертого поколения типа «Арли Берк». Корабли имели две линии вала и были снабжены 4-мя газотурбинными установками «Дженерал Электрик» LM2500-30. Эсминцы типа «Арли Берк» (рис. 6, см. вклейку) составляют основу современного американского флота, строятся по заказу ВМС США с 1988 г. по настоящее время.

Подчеркнем, что у всех американских эсминцев схема ГТЭУ во многом соответствует отечественной установке МЗ.

В отечественном ВМФ для корабля проекта 1135 (рис. 7, см. вклейку) был создан агрегат М-7 в составе двух маршевых ГТД по 6000 л.с. и двух форсажных ГТД по 18 000 л.с.

В 1957 г. ускорительная газотурбинная установка М2 была поставлена на противолодочный корабль проекта 159.

К числу кораблей ВМФ с базовыми схемами ГТЭУ также можно отнести корабли, представленные на рис. 8–13 (рис. 9–13, см. вклейку).

На сторожевых кораблях проекта 11661К (типа «Гепард») установлена двухвальная дизель-газотурбинная энергоустановка (ДГТЭУ) М44 суммарной мощностью 33 000 л.с., построенная по схеме CODOG. В состав установки входят два маршевых ГТД ДО90, один дизельный двигатель, два редуктора РА28 и один Р044.

Особое место в развитии ГТЭУ имеет создание таких установок для кораблей на подводных крыльях и на воздушной подушке. В свое время были созданы и проверены в эксплуатации газотурбинные установки для пяти проектов кораблей и судов на подводных крыльях (КПК) водоизмещением от 100 до 1100 т. На КПК были применены базовые двигатели облегченной конструкции и легкие редукторы по схемам, требуемым для конкретных кораблей. Новым решением в газотурбинных установках для КПК является создание угловой редукторной передачи единичной мощностью до 20 000 л.с.

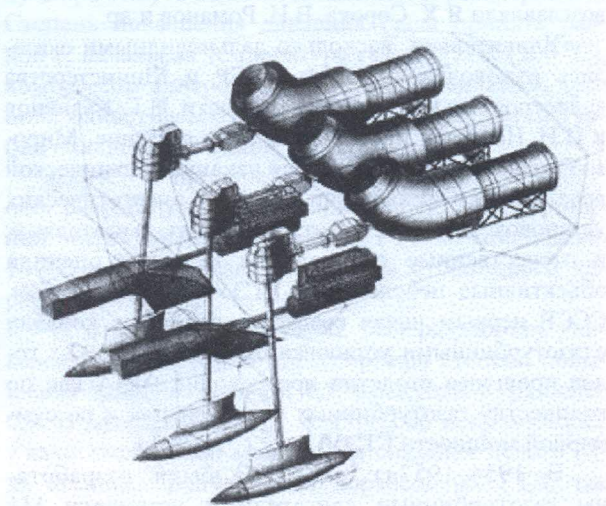
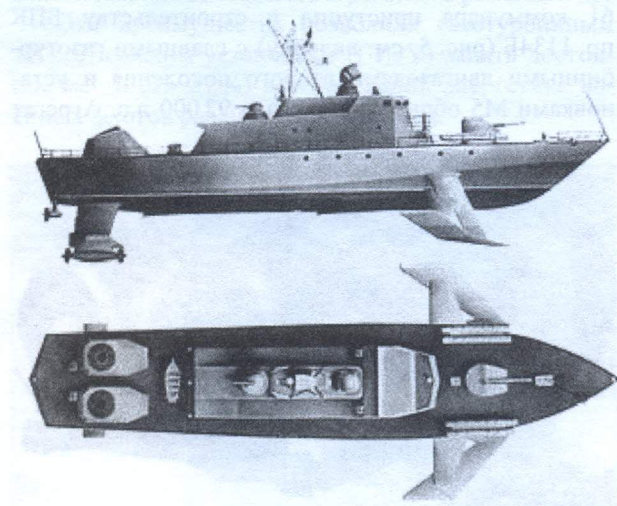


Рис. 8. Малые противолодочные корабли проектов 1141 и 11451 и их газотурбинные энергетические установки
Fig. 8. Small ASW ships (Projects 1141 and 11451) and their gas turbines

с погружением нижнего редуктора до 12 м. Такая передача применялась в двух вариантах – со стационарным положением нижнего редуктора и с разворотом его на 180° в неработающем состоянии. В ВМФ были созданы малые противолодочные корабли проекта «Сокол-2» с ГТЭУ М16 + М10×2.

Для кораблей на воздушной подушке (КВП) грузоподъемностью от 10–150 т и более, скоростью до 60 уз были созданы и проверены в эксплуатации ГТЭУ с базовыми двигателями облегченной конструкции и легкими редукторами.

Полученный опыт в проектировании и эксплуатации КВП предполагает разделение ГТЭУ КВП на тяговый и нагнетательный комплексы. Тяговый комплекс – газотурбинный двигатель мощностью до 10 000 л.с. и редуктор для работы на воздушный винт (располагаются на одной оси с воздушными винтами). Увеличение единичной мощности тягового комплекса, как правило, нецелесообразно из-за возрастания веса и габаритов газотурбинного двигателя и редуктора, располагающегося высоко над палубой.

Нагнетательный комплекс – газотурбинный двигатель и два редуктора для работы на два нагнетателя. Единичная мощность двигателя этого комплекса определяется характеристиками корабля.

В целом для КВП были созданы следующие установки:

- М35 – десантный корабль, пр. «Зубр» (рис. 14, см. вклейку);
- ДТ4 – корабль на воздушной подушке, пр. «Джейран» (рис. 15, см. вклейку);
- МТ70 – корабль на воздушной подушке, пр. «Кальмар» (рис. 16, см. вклейку);
- М34 – корабль на воздушной подушке, пр. «Омар» (рис. 17, см. вклейку);
- дизель-газотурбинная установка М10Д – ракетный корабль скеговой, проект «Сивуч» (рис. 18, см. вклейку).

В настоящее время для десантных кораблей на воздушной подушке типа «Зубр» и «Мурена» успешно ведется разработка российского двигателя «Агрегат ДКВП».

Отдельным направлением газотурбостроения в начальном периоде было создание для противолодочных кораблей проектов 204 и 35 газотурбокомпрессоров (ГТК) Д-2 (1960 г.) и Д-3 (1964 г.) мощностью 15 000–18 000 л.с. и ресурсом 2000 ч, подающих сжатый воздух от отдельно стоящих компрессоров в гидромотор.

В 1965–66 гг. началась разработка и установка второго поколения ГТД с повышенными экономич-

ностью (200–240 г/л.с.ч.) и маневренностью, улучшенными акустическими характеристиками, ресурсом не менее 10 000 ч. Особый вклад в решение проблемы создания и внедрения двигателей и агрегатов второго поколения внесли специалисты ВМФ и Министерства судостроительной промышленности И.А. Потапочкин, В.И. Николаев, Г.Г. Жаров, И.А. Сорокин, М.А. Богун, Б.В. Захаренко, В.П. Зинин, А.И. Айол, Л.З. Колтун, Г.А. Федяков и другие. Главный конструктор агрегатов для КВП Л.М. Тройнич был удостоен Государственной премии.

Для улучшения маневренности кораблей впервые в мире были решены проблемы создания высокотемпературных ГТД и газового реверса двигателей второго поколения. В целях увеличения дальности плавания кораблей созданы газотурбинные установки с применением в агрегатах маршевых двигателей для обеспечения экономичного режима на малых и боевом экономическом ходе и основных (ускорительных) двигателей для полных ходов.

В конце 60-х гг. прошлого столетия 1 ЦНИИ МО совместно с Военно-морской академией, НПП «Машпроект» и ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова был выполнен комплекс научно-исследовательских работ по определению путей дальнейшего совершенствования ГТД и ГТЭУ. Было доказано, что основным направлением улучшения всех основных характеристик является повышение параметров цикла и создание ряда унифицированных высокотемпературных ГТД третьего поколения. Предусматривалась разработка трех унифицированных двигателей мощностью 4000–5000 л.с., 10 000–12 000 л.с. и 20 000–24 000 л.с., при этом температура газа должна была составлять 1100–1200 °С, степень повышения давления 17–22, удельный расход топлива 170–180 г/л.с.ч. Эти параметры являются перспективными и в настоящее время.

Весомый вклад в создание ГТД третьего поколения внесли главные конструкторы В.И. Игнатенко, А.М. Агранович, Л.М. Тройнич, специалисты 1 ЦНИИ МО и ВМФ В.С. Князев, Н.А. Клименко, В.М. Лапшин, С.П. Кактыш, И.А. Сорокин, В.Н. Бараш, Л.В. Гандзиошин, сотрудники ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова В.В. Гартвиг, И.Г. Утянский, М.Л. Наринян.

Например, в 1970 г. для корабля проекта 1124 (рис. 19) водоизмещением 1000 т (построен 101 корабль для СССР, Алжира, Болгарии, Кубы, ГДР, Ливии и Югославии) была разработана ГТУ М8.

Были также созданы высокоэкономичные корабельные установки М7 (1971 г.) и М5 (1972 г.), в со-



Рис. 19. Малый противолодочный корабль проекта 1124

Fig. 19. Project 1124 small ASW ship

став которых входили независимые маршевые и форсажные двигатели различной мощности. Редукторные передачи обеспечивали количественное регулирование мощности: работу одного двигателя на два гребных винта и совместную работу маршевых и форсажных двигателей, что дало высокую экономичность установки на любых ходовых режимах.

В установках М5 и М7, не имеющих аналогов в мировой практике, впервые были внедрены реверсивные силовые турбины, быстродействующие шинно-пневматические муфты, двухскоростные редукторы и ряд других технических решений.

ГТУ М5 создана для применения в составе большого противолодочного корабля проекта 1134 «Беркут» (рис. 20) водоизмещением 7500 т (с 1972 г.



Рис. 20. Большой противолодочный корабль проекта 1134 «Беркут»

Fig. 20. Berkut large ASW ship (Project 1134)

построено 7 кораблей для России). Полная мощность установки $2 \times 46\,000$ л.с., маршевая мощность установки 2×6400 л.с., удельный расход топлива основного двигателя 220 г/л.с.ч, удельный расход топлива маршевого двигателя 250 г/л.с.ч., полная скорость корабля 32,6 уз, маршевая скорость 19,5 уз, расход топлива на полной скорости 628 кг/милю, расход топлива на маршевой скорости 153 кг/милю.

Двухвальная главная газо-газотурбинная энергетическая установка М9Б включает маршевый (ДО90) и форсажный (ДТ59) газотурбинные двигатели на каждом валу (суммарной мощностью 74 000 л.с.).

В целом для ВМФ СССР на ЮТЗ (г. Николаев) были созданы уникальные ГТД и ГТЭУ на их основе. Техничко-экономические характеристики газотурбинных установок, которые проектировал, изготавливал и поставлял для боевых надводных кораблей ЮТЗ, отражены в табл. 1.

В табл. 2–3 представлены газотурбинные корабли ВМФ СССР и характеристики их ГТЭУ.

Кроме этого, были созданы установки для ракетных крейсеров проекта 1164 (ГТУ М21 в составе ГТД М70 и М8КФ (рис. 21)), БПК проекта 1155 (ГТУ М9 в составе ГТД М62 и М8КФ), МПК проекта 1124М (ГТД М8М), ракетных кораблей проекта 1239 (ГТД М10).

Основным типом производимой для иностранных заказчиков установки являлась ГГТУ М7Н.1Э (дальнейшее развитие ГГТУ М7 сторожевых кораблей серии проекта 1135), включающая два форсажных ГТД ДТ59.1 мощностью по 19 500 л.с. и два маршевых ГТД ДС71 мощностью по 9000 л.с.

В Индии по проекту 15, разработанному Северным ПКБ, при активной технической помощи СССР,

Таблица 1. Техничко-экономические характеристики газотурбинных установок

Table 1. Technical & economic parameters of gas turbines

Водоизмещение корабля, т	450–10 400
Мощность установки, л.с.	4000–110 000
Удельный вес ГТУ, кг/л.с.	0,82–2,43
Время пуска ГТУ, с	120–180
Время набора мощности от холостого хода до номинальной, с	300
Время сброса мощности от номинальной до холостого хода, с	40–70
Время полного реверса, с	70–120
Ресурс до капитального ремонта, ч:	
▪ двигателей	20 000–30 000
▪ редукторов	50 000–60 000

а затем в России были построены три эскадренных миноносца типа Delhi, сданные военному флоту в 1997–2001 гг. Корабли оснащались ДГТУ из двух агрегатов М36Н, состоящих из двух ГТД ДТ50 максимальной мощностью 27 000 л.с. (долговременная – 23 100 л.с.) каждый и двух дизелей КVM-18. Для трех следующих индийских эсминцев проекта 15А (типа Kolkata), строящихся в настоящее время, разработана двухвальная газотурбинная установка М36Э. Она состоит из двух турбозубчатых агрегатов с двумя ГТД ДТ59 (в каждом агрегате), работающих на два вала через реверсивные редукторы РГ-54.

В последние годы в РФ проблеме создания отечественных ГТД и ГТЭУ уделяется особое внимание. Например, с этой целью в 1993 г. было образовано закрытое акционерное общество ЗАО «Турборус». В него вошли Рыбинское конструкторское бюро моторостроения (в настоящее время ОАО НПО «Сатурн»), Концерн НПО «Аврора» и ООО «Турбокон». В настоящее время ЗАО «Турборус» обслуживает ряд ГТЭУ надводных кораблей российских ВМФ и пограничной службы (береговой охраны).

Учитывая исключительную важность проблемы создания отечественных ГТЭУ, Главнокомандующий ВМФ утвердил «Концепцию создания и применения газотурбинных двигателей и агрегатов надводных кораблей ВМФ», согласно которой на отечественных предприятиях должен быть создан мощный ряд газотурбинных двигателей: М75РУ (рис. 22)

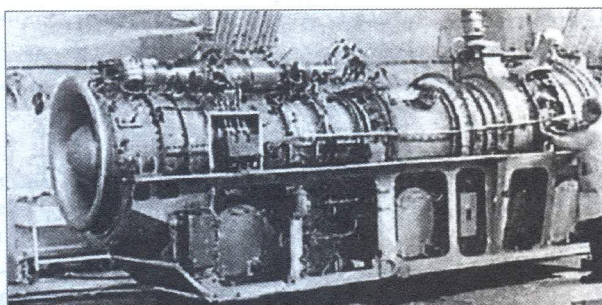


Рис. 21. Газотурбинный двигатель М8КФ

Fig. 21. M8KF gas turbine

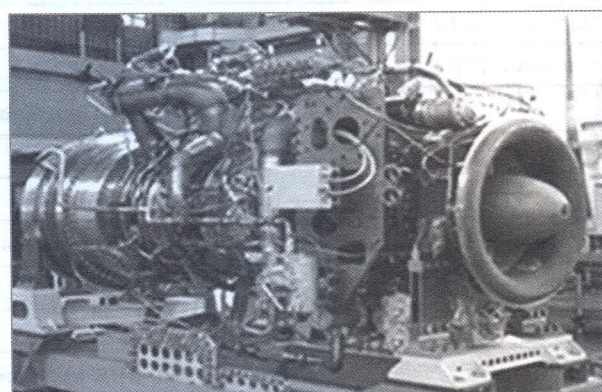


Рис. 22. Газотурбинный двигатель М75РУ

Fig. 22. M75RU gas turbine

Таблица 2. Газотурбинные корабли ВМФ СССР

Table 2. Soviet naval ships with gas turbines

Класс корабля	Наименование головного корабля	Номер проекта	Кол-во ед.	Годы постройки	Полное водоизмещение, т.	Общая мощность, л.с.	Скорость, уз.	Тип ГТУ
БПК	«Комсомолец Украины»	61	25	1959–1973	4460	72 000	35,5	2×М3
СКР	«Бдительный»	1135	22	1968–1981	3200	56 000	32	М7К
СКР	«Резвый»	1135М	11	1973–1981	3430	56 000	32	М7К
ПСКР	«Менжинский»	11351	8	1981–1993	3510	56 000	32	М7Н
БПК	«Николаев»	1134Б	7	1968–1979	8565	92 000	32	2×М5Е
БПК	«Удалой»	1155	12	1977–1991	7500	62 000	30	М9
БПК	«Адмирал Чабаненко»	11551	1	1990–1996	7500	75 000	31	М9Б
РКР	«Слава» («Москва»)	1164	4	1976–1994	11 280	110 000	32	М21
СКР	«Неустрасимый»	11540	1	1986–1990	4250	58 000	30	М27
БДК	«Иван Рогов»	1174	3	1973–1989	10 800	36 000	21	2×М12

Таблица 3. Технические характеристики газотурбинных двигателей кораблей ВМФ СССР

Table 3. Technical parameters of gas turbines applied on Soviet naval ships

Класс корабля, тип ГТД	Кол-во ГТД	Мощность ГТД, л.с.	Температура газа на входе в турбину, °С	Степень повышения давления	Удельный расход топлива, г/л.с.	КПД, %	Удельная масса ГТД, кг/л.с.	Ресурс ГТД до капитального ремонта, час	Положение ГТД
БПК «Комсомолец Украины», два агрегата МЗ									
всережимные ДЕ54	4	18 000	800	12	260	23,8	1,0	5000	I
СКР «Бдительный», «Резвый», агрегат М7К									
маршевые Д063	2	8500	850	10	230	27,5	1,1	15 000	II
основные ДК59	2	19 500	850	12	220	28,0	0,75	10 000	II
ПСКР «Менжинский», агрегат М7Н									
маршевые ДС71	2	8500	1150	18	190	32,5	0,53	20 000	III
основные ДТ59	2	19 500	900	12	210	29,5	0,72	10 000	II
БПК «Николаев», два агрегата М5Е									
маршевые Д063	2	7600	850	10	230	27,5	1,2	15 000	II
основные ДЕ59	4	19 200	900	12	210	29,5	0,7	10 000	II
БПК «Удалой», агрегат М9									
маршевые Д063	2	8500	850	10	230	27,5	1,1	15 000	II
основные ДТ59	2	22 500	900	12	210	29,5	0,61	10 000	II
БПК «Адмирал Чабаненко», агрегат М9Б									
маршевые Д090	2	15 000	1150	19,6	190	32,0	0,65	20 000	III
основные ДТ59	2	22 500	900	12	210	29,5	0,61	10 000	II
РКР «Слава» («Москва»), два агрегата М21									
маршевые ДС71	2	7000	1150	18	195	32,0	0,53	20 000	III
основные ДТ59	4	22 500	900	12	210	29,5	0,61	10 000	II
маршевые паровые	2	3000	–	–	180	34,0	–	–	–
СКР «Неустршимый», агрегат М27									
маршевые ДС71	2	9500	1150	18	190	32,0	0,53	20 000	III
основные Д090	2	19 500	1150	19,6	190	35,0	0,52	20 000	III
БДК «Иван Рогов», два агрегата М12									
всережимные ДК59	2	18 000	860	14	245	28,0	0,79	20 000	II
Перспективные корабли, двигатель М80									
Д080	–	39 000	1245	22	175	36,5	0,46	20 000	IV

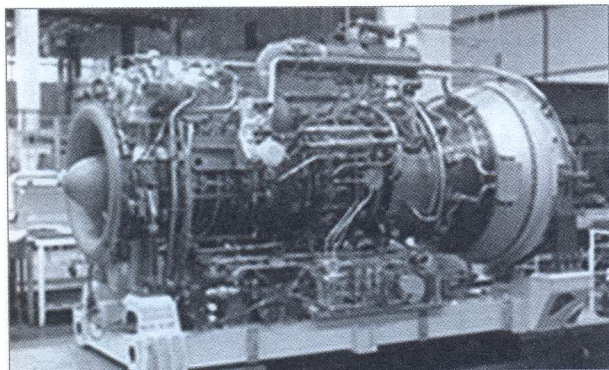


Рис. 23. Газотурбинный двигатель М70ФРУ

Fig. 23. M70FRU gas turbine

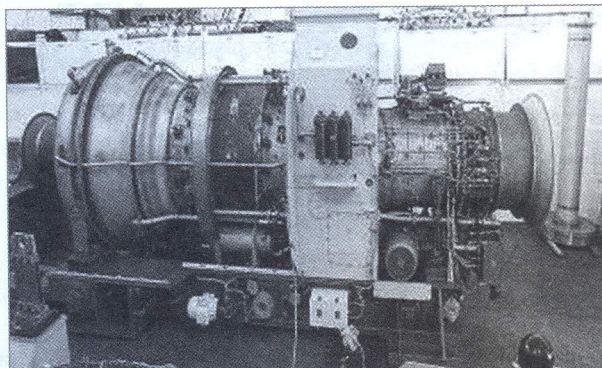


Рис. 24. Газотурбинный двигатель М90ФР

Fig. 24. M90FR gas turbine

мощностью 3650–5150 кВт и М70ФРУ (рис. 23) мощностью 8800–10 300 кВт, унифицированных с промышленным ГТД-4РМ разработки ОАО «НПО «Сатурн», а также ГТД М90ФР (рис. 24) мощностью 18 400–20 000 кВт в составе агрегата М55Р, разработанного ПАО «НПО «Сатурн».

Представленные выше отечественные газотурбинные двигатели обеспечивают потребности в энергетических установках кораблестроительной программы ВМФ России до 2050 г.

Основные характеристики ГТЭУ, разрабатываемых НПО «Сатурн» по заказу ВМФ РФ, отражены в табл. 4.

Сравнение характеристик отечественных корабельных двигателей М75РУ, М70ФРУ и М90ФР с иностранными двигателями-аналогами приведено

в табл. 5. В табл. 6 представлены характеристики зарубежных ГТД.

Выполненный анализ свидетельствует о том, что перспективные отечественные ГТД по своим характеристикам значительно уступают зарубежным аналогам. Исключение могут составлять создаваемые установки ДГТА М55Р.

В рамках ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на 2011–2020 гг.» ПАО «НПО «Сатурн» является головным исполнителем следующих ОКР:

- «Разработка технологии изготовления и испытаний ГТД неререверсивного исполнения с выводом вала «вперед» на базе ГТД М70ФРУ и агрегатов для десантных кораблей «Зубр», «Мурена»;

Таблица 4. Основные характеристики газотурбинных энергетических установок, разрабатываемых ПАО «НПО «Сатурн» по Федеральной целевой программе «Развитие оборонно-промышленного комплекса РФ на 2011–2020 гг.»

Table 4. The main parameters of gas turbines developed by JSC NPO Saturn under Federal Target Program Development of Russian military industry in 2011–2020

Тип двигателя	М70ФРУ	М75РУ	М90ФР
Мощность на максимальном режиме, кВт	10 300	5150	–
Мощность на номинальном режиме, кВт	8830	4400	20 240
Удельный расход топлива на максимальном режиме, кг/(кВт·ч)	0,234	0,258	–
Удельный расход топлива на номинальном режиме, кг/(кВт·ч)	0,242	0,269	0,231
Расход воздуха на входе в компрессор, кг/с	33,3	23,1	72
Ресурс (полный/межремонтный), ч	40 000/20 000	40 000/20 000	40 000/20 000

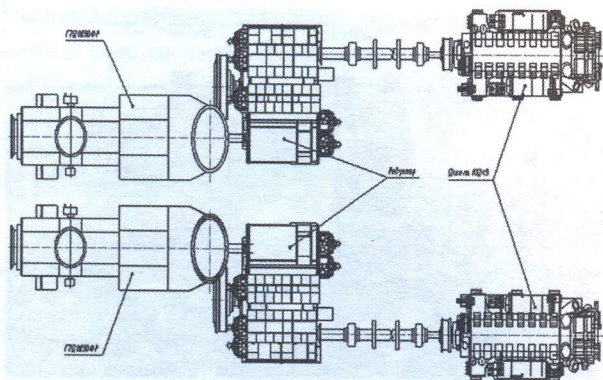


Рис. 25. Газо-газотурбинный агрегат М55Р

Fig. 25. M55R COGAG power plant

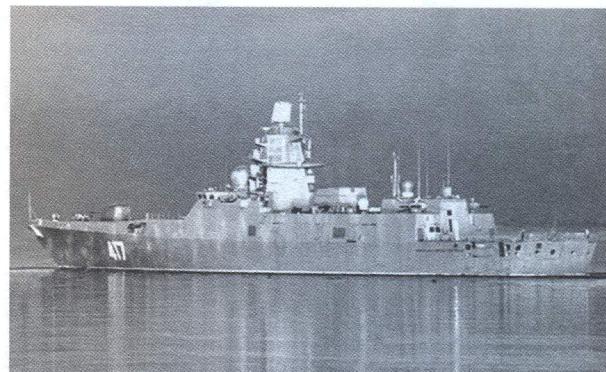


Рис. 26. Фрегат проекта 22350

Fig. 26. Project 22350 frigate

- «Разработка технологии изготовления и испытаний ГТД М90ФР для ДГТА М55Р фрегата проекта 22350 и СКР проекта 1135»;
- «Разработка технологии изготовления и испытаний ГТД реверсивного исполнения на базе М70ФРУ».

Двигатели М75РУ и М70ФРУ, предназначены как для модернизации главных энергетических установок существующих кораблей, так и для оснащения перспективных надводных кораблей ВМФ малого и среднего водоизмещения, а также кораблей с динамическими принципами поддержания.

Таблица 5. Сравнение корабельных двигателей М75РУ, М70ФРУ и М90ФР с иностранными двигателями-аналогами

Table 5. Russian marine gas turbines M75RU, M70FRU and M90FR vs similar foreign engines

Обозначение ГТД	М75РУ	М75	LM500	574KF	М70ФРУ	М70	М90ФР	LM1600	SM1A
Страна	Россия	Украина	США	США	Россия	Украина	Россия	США	Англия
Фирма	НПО «Сатурн»	НПО «Маш-проект»	GE	Алисон	НПО «Сатурн»	НПО «Маш-проект»	ЗАО «Турборус»	GE	RR
Мощность макс., л.с.	7000	5326	6085	8300	14 000	12 000	27 500	20 000	18 800
Масса ГТД, кг (* без учета массы рамы, кожухов и газоотвода)	2250*	1540*	905*	807*	2840*	2000*	14 320	3026*	15 960
Удельный расход топлива, кг/лс/ч	0,188	0,19	0,198	0,183	0,17	0,18	0,17	0,168	0,18
Габаритные размеры:									
▪ длина	2560	2300	2134	1872	3125	3300	3125	4886	7470
▪ ширина	1200	1400	914	984	1470	980	1470	2032	2290
▪ высота	1320	1500	984	2134	1500	1500	1500	2032	3350

Примечание: Освоение производства ГТД М90ФР в настоящее время реализуется на ПАО «НПО «Сатурн» в рамках государственного контракта с Минпромторгом. ЗАО «Турборус» может привлекаться к выполнению ремонтов и технического обслуживания.

Note: JSC NPO Saturn is currently mastering the manufacturing of M90FR gas turbines under the contract with Russian Ministry of Industry and Trade. JSC Turborus could provide assistance in repair and maintenance.

Агрегат М55Р (рис. 25) является дизель-газотурбинным (ДГТА) с раздельной работой дизеля или газотурбинного двигателя (по схеме CODOG). В состав ДГТА М55Р кроме газотурбинного двигателя М90ФР максимальной мощностью 27 500 л.с. входит дизель 10Д49 мощностью 5200 л.с. и редуктор РО55Р. ДГТА М55Р по комплексу характеристик в настоящее время является лучшей энергетической установкой из всех, применяемых на надводных кораблях ВМФ РФ, и практически не уступает анало-

гичным агрегатам, применяемым на кораблях ВМС стран НАТО.

Газотурбинный двигатель М90ФР предполагается использовать на кораблях водоизмещением более 2500 т, в частности для фрегатов пр. 22350 (рис. 26). Для кораблей водоизмещением более 6000 т может быть предложен агрегат с двумя М90ФР и реверсивным спаривающим редуктором РО47.

Кроме того, двигатель М90ФР может быть установлен на корветы нового пр. 20386 в составе

Таблица 6. Характеристики зарубежных судовых газотурбинных двигателей

Table 6. Parameters of foreign marine gas turbines

Характеристика	LM-1500	LM-2500	FT-4A-2	FT-4A-12	«Олимп «ТМ1»	«Олимп «ТМ3»	«Тайн»	«Гном» GN
Фирма (страна)	«Дженерал электрик» (США)	«Дженерал электрик» (США)	«Пратт энд Уитни» (США)	«Пратт энд Уитни» (США)	«Ролс- Ройс» (Англия)	«Ролс- Ройс» (Англия)	«Ролс- Ройс» (Англия)	«Ролс- Ройс» (Англия)
Мощность, кВт:								
▪ максимальная	10 300	18 768	18 768	20 600	17 660	20 000	3310	883
▪ номинальная	9200	16 340	15 456	17 958	14 270	15 890	2650	750
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	345–357	240–253	308–321	314–321	307–319	296–312	308–332	382–401
Температура воздуха наружного, °С	38	38	–	–	15	15	15	–
Степень повыш. давл. возд.	12	17	12	12	10,3	–	11,5	8,3
Температура газа перед ТВД, К	1213	1373	1116	–	1150	1280	1240	1170
Расход воздуха, кг/с	69,4	69,3	–	–	–	–	20	5,6
Число ступеней:								
КНД	–	–	8	–	5	7	6	–
КВД	17	16	7	–	7	7	У	10
ТВД	3	2	1	–	1	1	–	2
ТНД	–	–	2	–	1	1	–	–
ТВ	1	6	2	–	1	1	–	–
Масса ГТД, кг	3400	3850	6440	6440	24 850	20 850	860	160
Габариты, мм:								
▪ длина	5700	6780	7920	7900	6780	–	4350	1800
▪ ширина	2130	2130	1455	1430	3330	2440	1625	500
▪ высота	2440	2130	2182	2157	2800	3000	–	–

главной энергетической установки (ГЭУ) с частичным электродвижением типа CODLOG, с отдельной работой маршевых гребных электродвигателей (ГЭД) и форсажных ГТД.

Гипотетические варианты перспективных кораблей и судов с ГТЭУ различных классов и типов представлены в табл. 7.

Динамика развития корабельных ГТЭУ в последние десятилетия XX и в начале XXI века свидетельствует о том, что основными тенденциями стали снижение массогабаритных параметров установок, повышение экономичности, мощности, надежности, живучести и маневренности, а также снижение шумности. Однако использование ГТД в ГЭУ на всех ходовых режимах не является предпочтительным вариантом. Это связано с тем, что при снижении нагрузки (на скоростях экономического хода корабля затрачивали всего 20–30% потенциальной мощности ГЭУ) расход топлива ГТД резко возрастает, поэтому всережимные главные газотурбинные энергетические установки на низкооборотных режимах эксплуатировать нерационально. Логичным решением данной проблемы по-прежнему является создание комбинированных ГЭУ, например, ДГТЭУ. В состав комбинированных энергетических установок кораб-

лей ВМФ обычно входят две ЭУ: маршевая, обеспечивающая малый передний и задний ход корабля, и форсажная – для работы на повышенных оборотах переднего хода совместно с маршевыми установками или самостоятельно. Такие достоинства ГТД, как относительно большая удельная мощность, высокая экономичность на полной нагрузке, сравнительно быстрый запуск и набор мощности при любых температурных режимах, в сочетании с большим моторесурсом и высокой экономичностью дизеля позволили комбинировать их для достижения экономической работы ГЭУ в широком диапазоне нагрузок.

Перспективные корабли по классификации зарубежных ВМС будут оснащаться комбинированными главными энергетическими установками следующих типов: COGAG, CODAG, CODOG и COGLAG (дизель-электрогазотурбинная). В первую очередь следует обратить внимание на установки типа CODLAG (Combined Diesel Electric and Gas Turbine) и CODLOG (Combined Diesel Electric or Gas Turbine) – комбинированную дизель-газотурбинную гребную электрическую установку (КДЭГТЭУ). Это связано с тем, что наиболее перспективным направлением дальнейшего развития КЭУ многие специалисты считают переход на пол-

Таблица 7. Варианты кораблей, снабженных газотурбоагрегатами на базе газотурбинных двигателей М75РУ, М70ФРУ, М90ФР и Е70/8РД

Table 7. Variants of the ships with gas turbine power plants based on M75RU, M70FRU, M90FR and E70/8RD gas turbines

№ п/п	Объект применения газотурбинного агрегата	Используемый ГТД	Тип и мощность агрегата, л.с.
1	Патрульные катера со скоростью 50–55 уз	М75РУ	ГТА, ДГТА, 7000
2	Десантные катера	М70ФРУ	ГТА, 14 000
3	Десантные корабли на воздушной подушке (ДКВП)	М70ФРУ	ГТА, 14 000
4	Малые артиллерийские корабли	М75РУ, М70ФРУ	ДГТА, 7000, 14 000
5	Скеговые корабли на воздушной подушке (СКВП)	М90ФР	ГТА, 27 000
6	Корветы	М70ФРУ	ГТА, до 27 000
7	Фрегаты	М90ФР	ГТА, 27 000
8	Эсминцы	М70ФРУ + М90ФР	ГТА, до 40 000 и более
9	Авианосцы	М90ФР	ГТА, до 50 000 и более
10	Газовозы	Е70/8РД	ГТА, 20 000
11	Скоростные паромы	Е70/8РД	ГТА, 20 000
12	Скоростные пассажирские суда	Е70/8РД	ГТА, 10 000
13	Газотурбоэлектрогенераторы систем электродвижения и энергоснабжения объектов	Е70/8РД	до 8000 кВт

ное электродвижение. Основным отличием энергетической установки данного типа от других комбинированных дизельных, газотурбинных и дизель-газотурбинных ЭУ является то, что на режимах малых скоростей хода корабля работают два ГЭД, которые питаются от дизель-генераторов или турбогенераторов (одновременно вырабатывающих электроэнергию для всех корабельных нужд, включая оружие и вооружение).

Эволюция корабельной энергетики определяющим образом сказывается и на техническом облике кораблей. С внедрением на кораблях объединенной электроэнергетической системы нового поколения предусматривается обеспечить не только значительное улучшение ТТХ и технико-экономических показателей КЭУ, но и возможность применения на них оружия высокой энергии направленного действия (электромагнитной пушки, лазерного оружия), новых радиолокационных станций и электромагнитных катапульт на авианосцах и т.д.

В перспективе еще одним плюсом полного электродвижения может стать отказ от протяженных гребных валов. Начиная с 1992 г. в качестве ГЭД в практике судостроения начали широко применяться винто-рулевые комплексы (ВРК) с погруженным гребным двигателем, в которых ГЭД вынесен за пределы корпуса судна и размещен в подводной капсуле (коконе) с высокими гидродинамическими свойствами. Типовые ВРК строятся либо с одним упорным, либо с двумя соосными (тяговым и упорным) винтами. В России наибольшее распространение получили финские системы «Азипод» (Azipod – azimuthing podded propulsion system) с одним упорным винтом и ГЭД мощностью от 1500 до 4500 кВт. Главными достоинствами ВРК являются возможность разворота капсулы в горизонтальной плоскости на 360°, т.е. реверс направления вращения винта на 100%-ной мощности, сверхкороткий валопровод и возможность работы винта фиксированного шага на низких скоростях (до 0,1 от номинальной). В настоящее время учеными ФГУП «Крыловский государственный научный центр» ведутся успешные работы по созданию отечественных электрических ВРК.

Кроме того, на кораблях ВМФ постепенно начнут внедряться ЭУ нового поколения – объединенные электроэнергетические системы (ОЭЭС), которые постепенно будут вытеснять комбинированные ГЭУ кораблей.

Подводя итоги по проблеме развития отечественных корабельных ГТД, следует отметить, что возможности ОАО «Турборус» и других компаний, а также сложившаяся научная школа позволяют

Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)

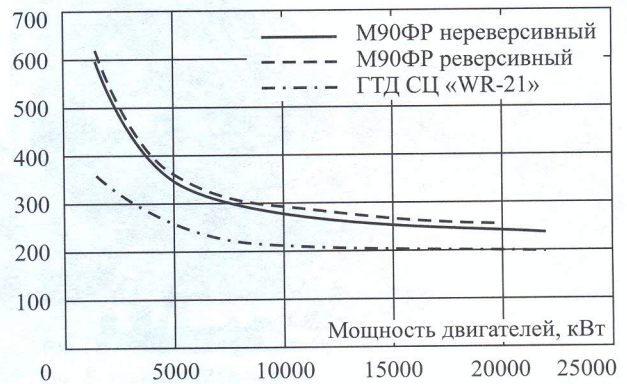


Рис. 27. Сравнение экономичности корабельных газотурбинных двигателей M90FR с газотурбинными двигателями сложного цикла WR-21 фирмы Rolls-Royce-Northrop Grumman

Fig. 27. Fuel efficiency: M90FR marine gas turbines vs Rolls-Royce-Northrop Grumman WR-21 complex-cycle gas turbine

надеяться на то, что в ближайшее время будут созданы ГТД, способные составить конкуренцию лучшим мировым аналогам типа WR-21 или MT-30. В настоящее время отечественные корабельные ГТД значительно уступают данным перспективным зарубежным образцам (рис. 27). Характеристики перспективного зарубежного ГТД MT-30 Rolls-Royce представлены в табл. 8.

Газотурбинный двигатель Rolls-Royce MT30 (рис. 28) является морской газовой турбиной (МТ) по

Таблица 8. Характеристики перспективного зарубежного газотурбинного двигателя MT-30 Rolls-Royce

Table 8. Parameters of a promising gas turbine Rolls-Royce MT-30

Длина/ширина/высота, м	8,600/3,953/4,139
Масса установки, т	22
Масса турбины, т	6,2
Коэффициент полезного действия, %	40
Удельный расход топлива на полной нагрузке, кг/кВт·ч	0,207
Мощность установки, кВт	36 000
Температура отработавших газов, °С	466
Частота вращения СТ, об/мин	3600

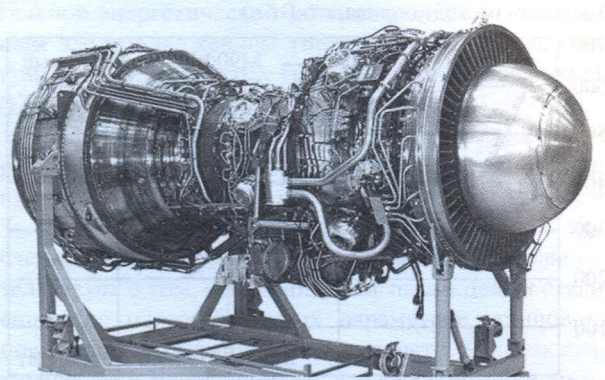


Рис. 28. Зарубежный перспективный газотурбинный двигатель МТ-30

Fig. 28. MT30 advanced gas turbine

образцу аэрокосмического двигателя Rolls-Royce Trent 800, который устанавливается на Boeing 777. Двигатель имеет максимальную мощность 40 000 кВт, минимальную эффективную мощность 25 000 кВт. Следовательно, МТ30 является морским вариантом ТРДД Trent 800 (рис. 29) авиалайнера Boeing 777.

Первоначально МТ30 был построен в отдельных модулях на той же производственной линии, что и аэрокосмические двигатели Rolls-Royce Trent в Дерби (Англия). Впоследствии сборку планировалось производить на заводе Rolls-Royce в Бристоле (Англия), где двигатели будут проходить тестирование. Концерн Rolls-Royce также сообщил, что двигатель МТ-30 будет состоять на вооружении ВМС США, Италии и других стран.

Например, данные ГТД в составе комбинированной ГЭУ устанавливаются на фрегате-тримаране

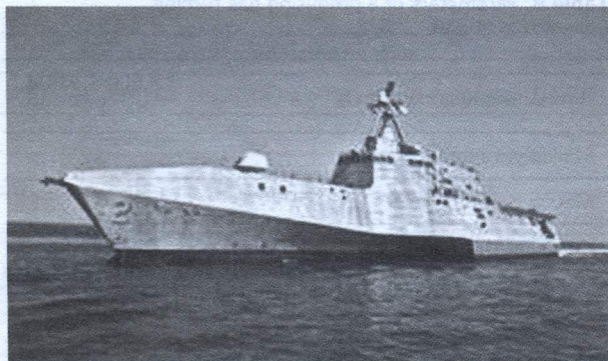


Рис. 30. Фрегат-тримаран «Коронадо» (Coronado) LCS-4

Fig. 30. USS Coronado (LCS-4) trimaran frigate

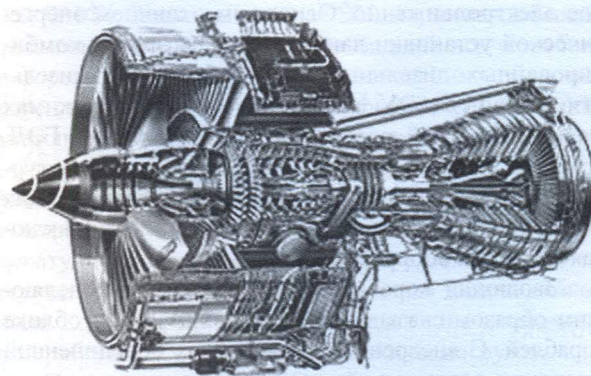


Рис. 29. Газотурбинный двигатель типа Trent-800 фирмы Rolls-Royce

Fig. 29. Rolls-Royce Trent-800 gas turbine

ВМС США «Коронадо» (Coronado) LCS-4 с водометными движителями (рис. 30). В качестве ГЭУ на корабле применяется четырехвальная ДГТУ с совместной работой двух ГТД компании Rolls-Royce МТ-30 и двух дизельных двигателей FM С-Р 16РА6В.

При обосновании перспектив создания конкурентоспособного отечественного ГТД следует учитывать два факта.

1. До настоящего времени полностью не решены проблемные вопросы, связанные с импортозамещением корабельных ГТД. Эти проблемы связаны, прежде всего, с освоением полного технологического производственного цикла ГТД М90ФР на предприятии ОАО «НПО «Сатурн».

2. До сих пор окончательно не сформулирована задача энергомашиностроителям по разработке перспективных корабельных ГТД 5 поколения, способных составить конкуренцию зарубежным аналогам типа WR-21 и/или МТ-30. Более того, не определен «вектор направленности» развития перспективных корабельных ГТД в плане обоснования их «облика» (например, не определены перспективы ГТД простого открытого цикла, ГТД сложного цикла и др.).

Скорее всего, в сложившейся ситуации следует исходить из того, что у российских энергомашиностроителей нет необходимости в разработке перспективного ГТД сложного цикла большой агрегатной мощности ценой значительных затрат и в обеспечении режимов движения кораблей на полной скорости хода, которые на практике, по мировому опыту, используются незначительное время (рис. 31). Например, основная доля времени ходовых режимов боевых кораблей может обеспечиваться существующими



Рис. 4. Большой противолодочный корабль проекта 61
Fig. 4. Project 61 large ASW ship

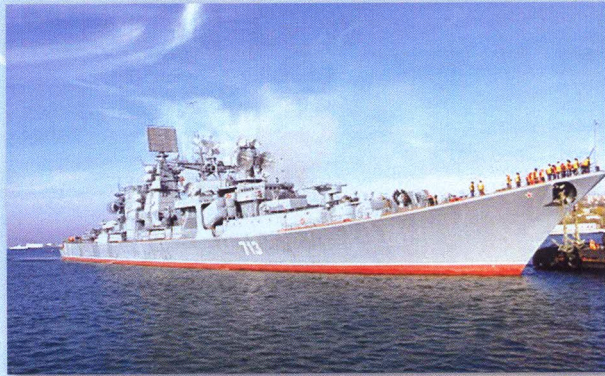


Рис. 5. Большой противолодочный корабль проекта 1134Б
Fig. 5. Project 1134B large ASW ship



Рис. 6. Эскадренные миноносцы типа «Арли Берк»
Fig. 6. Arleigh Burke-class destroyers



Рис. 7. Сторожевой корабль проекта 1135
Fig. 7. Project 1135 patrol ship



Рис. 9. Ракетный катер «Молния-1» с двумя газотурбинными установками М-15А
Fig. 9. Molniya-1 guided missile boat with two M-15A gas turbines

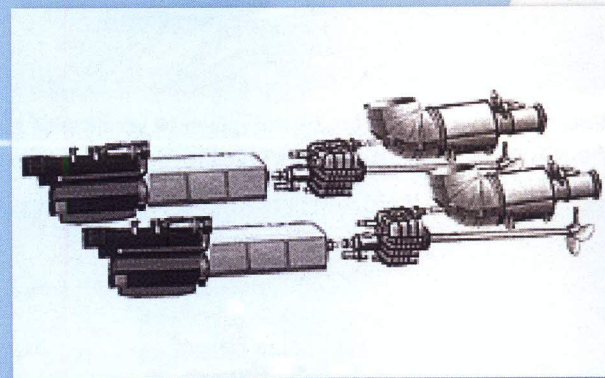




Рис. 10. Ракетный катер «Молния» с газотурбинной установкой M-15B
Fig. 10. Molniya guided missile boat with M-15B gas turbine

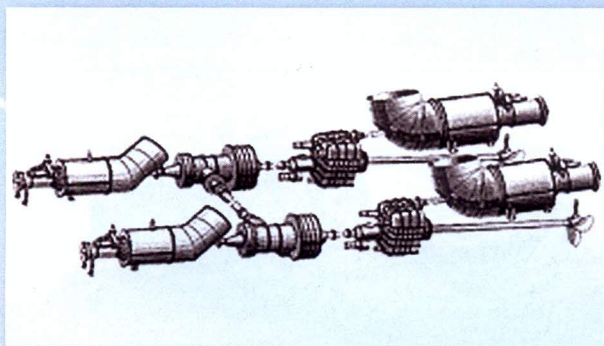


Рис. 11. Storozhevoy korably «Yastreb» s gazoturbinyan ustanovkoy M27
Fig. 11. Yastreb patrol ship with M27 gas turbine

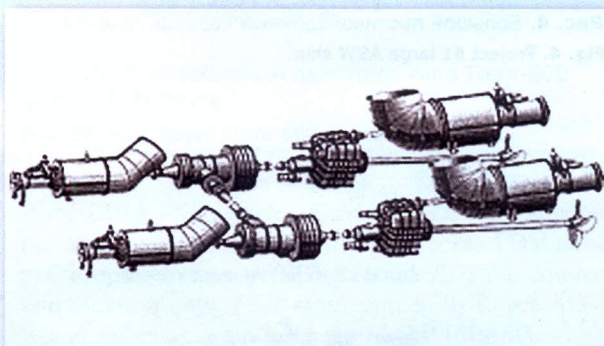


Рис. 12. Fregat «Talyvar» s gazoturbinyan ustanovkoy M7N1
Fig. 12. Talwar frigate with M7N1 gas turbine

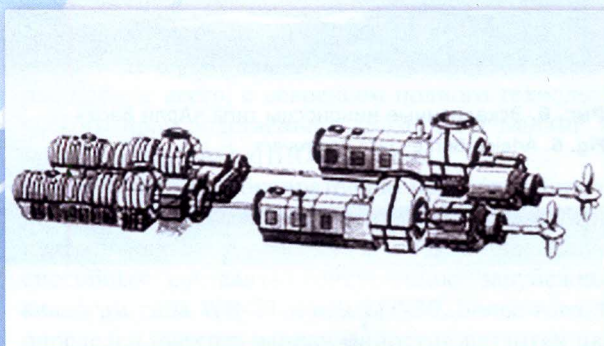
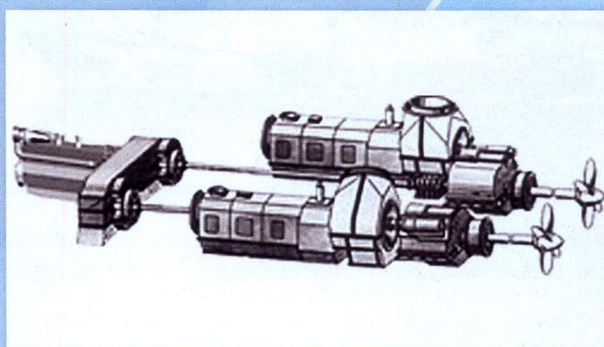


Рис. 13. Korvet «Gepard» s gazoturbinyan ustanovkoy M44
Fig. 13. Gepard corvette with M44 gas turbine



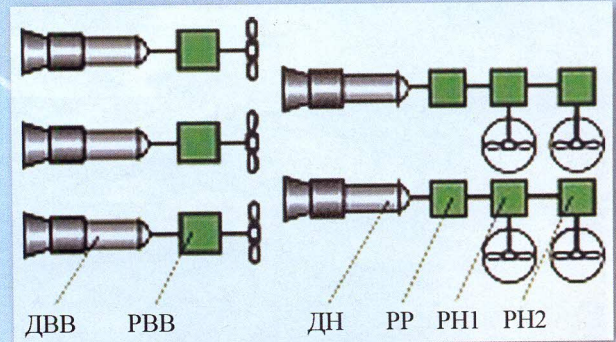


Рис. 14. Корабль на воздушной подушке «Зубр» с газотурбинной энергоустановкой М35:
 ДВВ – двигатель воздушного винта; РВВ – редуктор воздушного винта; ДН – двигатель нагнетателя;
 РР – раздаточный редуктор; РН1, РН2 – редуктор нагнетателя

Fig. 14. Zubr ACV with M35 gas turbine. Abbreviations: ДВВ – fan engine; РВВ – fan gearbox; ДН – blower engine;
 РР – distributing gearbox; РН1, РН2 – blower gearboxes

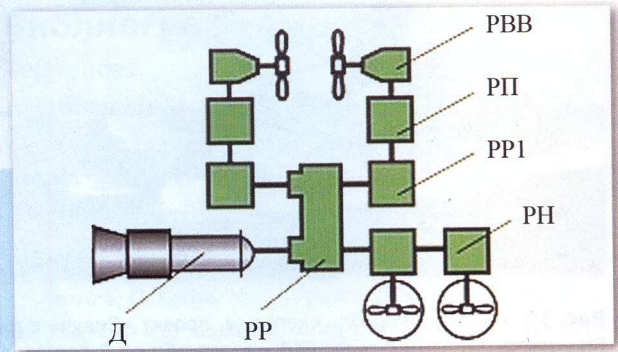


Рис. 15. Корабль на воздушной подушке «Джейран» с газотурбинной энергоустановкой ДТ4:
 Д – двигатель; РР, РР1 – раздаточный редуктор; РВВ – редуктор воздушного винта; РП – редукторная перекидка;
 РН – редуктор нагнетателя

Fig. 15. Jeyran ACV with DT4 gas turbine: Д – engine; РР, РР1 – distributing gearboxes; РВВ – fan gearbox;
 РП – gearbox cross-over; РН – blower gearbox

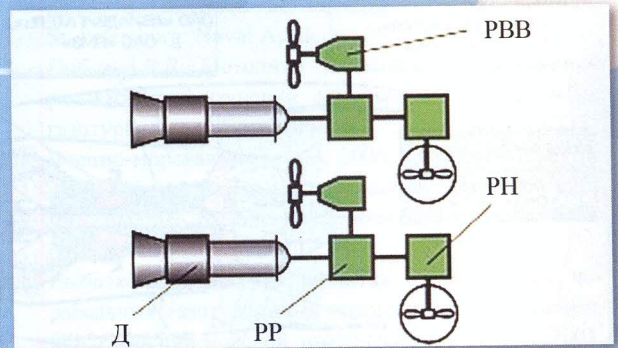
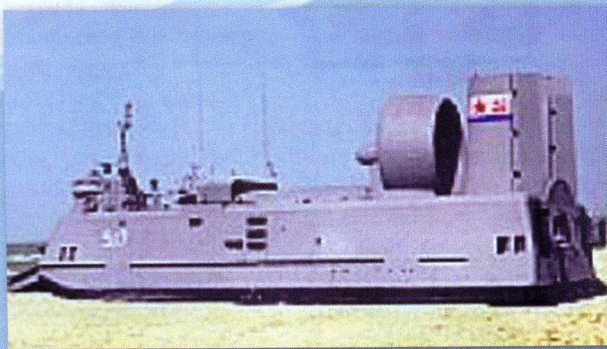


Рис. 16. Корабль на воздушной подушке «Кальмар» с газотурбинной энергоустановкой МТ70:
 Д – двигатель; РР – раздаточный редуктор; РВВ – редуктор воздушного винта; РН – редуктор нагнетателя

Fig. 16. Kalmar ACV with MT70 gas turbine:
 Д – engine; РР – distributing gearbox; РВВ – fan gearbox; РН – blower gearbox

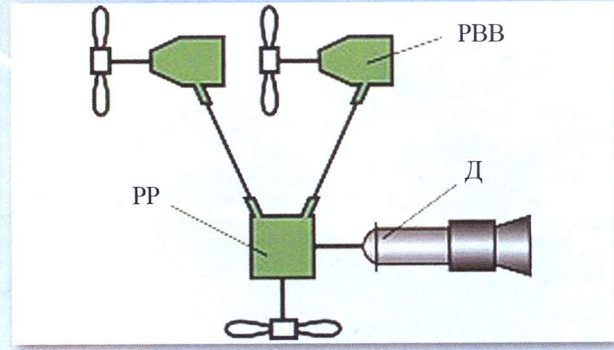


Рис. 17. Корабль на воздушной подушке «Омар» с газотурбинной энергоустановкой М34: Д – двигатель; PP – раздаточный редуктор; PBB – редуктор воздушного винта

Fig. 17. Omar ACV with M34 gas turbine: Д – engine; PP – distributing gearbox; PBB – fan gearbox

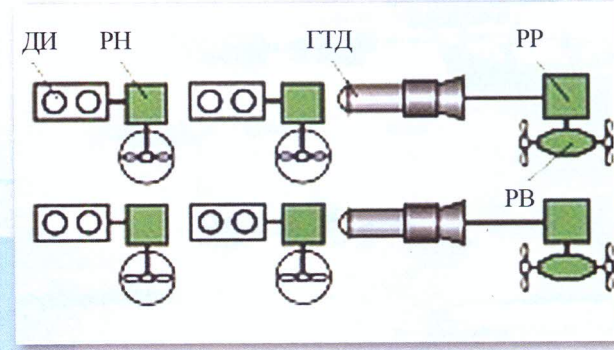


Рис. 18. Ракетный корабль скеговый, проект «Сивуч» с дизель-газотурбинной установкой М10Д: ДИ – дизель; РН – редуктор нагнетателя; ГТД – газотурбинный двигатель; PP – распределительный редуктор; PB – редуктор винта

Fig. 18. Sivuch-class guided missile skag vessel, with M10D CODAG power plant:

ДИ – diesel; РН – blower gearbox; ГТД – gas turbine; PP – distributing gearbox; PB – fan gearbox

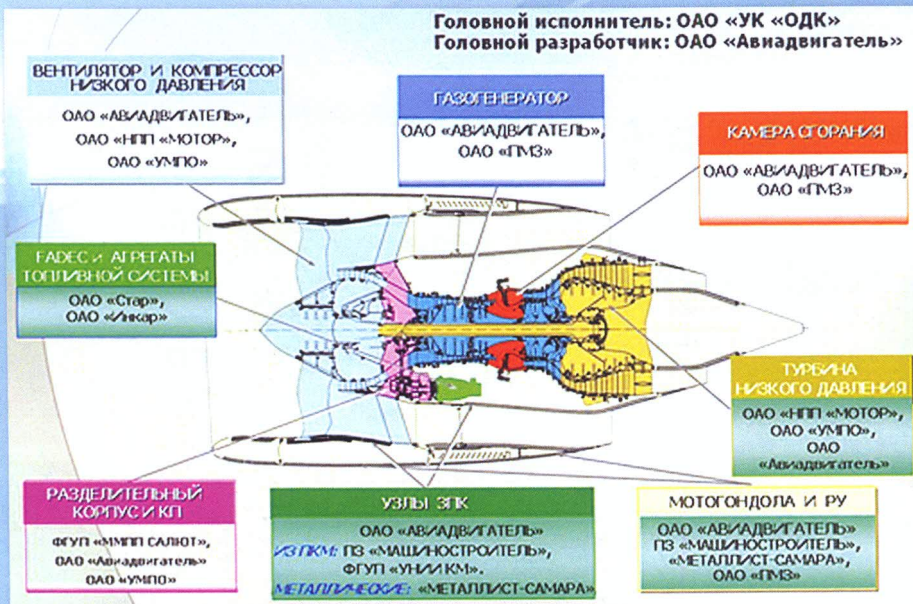


Рис. 33. Кооперация передовых производств по проекту создания семейства перспективных двигателей для гражданской авиации

Fig. 33. Cooperation between advanced enterprises to develop a family of innovative engines for commercial aircraft

Относительная длительность режимов, %

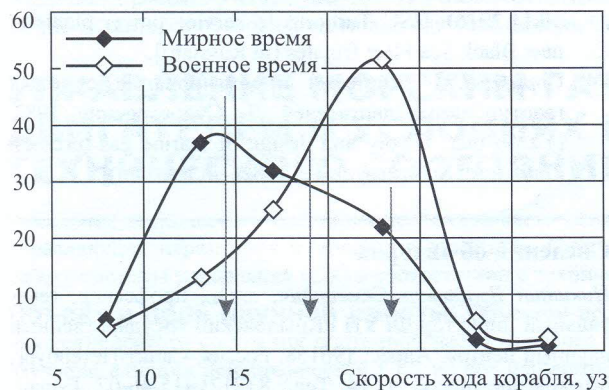


Рис. 31. Спектр скоростей использования боевых надводных кораблей

Fig. 31. Spectrum of operational speeds for naval surface ships

ющими и перспективными дизельными двигателями Коломенского завода при использовании их в качестве маршевых главных двигателей.

Для разработки перспективного ГТД необходимо учесть зарубежный опыт и использовать наиболее простой, относительно малозатратный и эффективный способ, например путем конвертации перспективных отечественных авиационных двигателей ПД-14 (рис. 32) и НК-93 в корабельные. Однако на первом этапе наиболее перспективные авиационные двигатели следует рассматривать как объекты трансфера критических технологий.

Для создания корабельного ГТД 5 поколения необходимо организовать эффективно действующую кооперацию передовых производств, например, по типу кооперации, образованной по проекту создания семейства перспективных двигателей для гражданской авиации (рис. 33, см. вклейку). Именно такая кооперация позволила создать в стране уникальные авиационные двигатели, которые по своим характеристикам превосходят иностранные аналоги.

В качестве первоочередных технологий, требующих разработки, можно отметить создание жаропрочных материалов и технологий их механической и тепловой обработки, литье крупногабаритных отливок из жаропрочных сплавов, легированных сталей и аустенитных чугунов методом литья по выплавляемым моделям, литье крупногабаритных турбинных лопаток методом направленной кристаллизации, изготовление малоэмиссионных кольцевых и форсажных камер сгорания, изготовление регулируемых реактивных сопел и т.д.



Рис. 32. Авиационный двигатель ПД-14

Fig. 32. APD14 aircraft engine

Библиографический список

References

1. Захаров И.Г., Арефьев Я.Д., Воронович Н.А., Лейкин О.Ю. Корабельные газотурбинные энергетические установки. [Электрон. ресурс] / Сайт издания «FlotProm – Морской ВПК». URL: <http://flotprom.ru/publications/science/engine/introduction/3/> (дата обращения: 25.11.2016) [I. Zakharov, Ya. Arefyev, N. Voronovich, O. Leikin. Marine gas turbines (in Russian)].
2. Рыбалко В.В. Надежность систем теплоснабжения промышленных предприятий. СПб.: СПбГТУ РП, 1999. [V. Rybalko. Reliability of industrial heat supply systems. St. Petersburg: State Technical University of Vegetable Polymers; 1999. (in Russian)].
3. Рыбалко В.В., Бабичев А.А. Корабельные газотурбинные энергетические установки. Организация разработки и эксплуатации: СПб.: Военно-морская академия, 2000. [V. Rybalko, A. Babichev. Marine gas turbines. Organization of development and operation. St. Petersburg: Naval Academy; 2000. (in Russian)].
4. Рыбалко В.В. Методики и алгоритмы выполнения расчетов при изучении дисциплины «Корабельные газотурбинные энергетические установки». СПб.: Военно-морская академия, 2000. [V. Rybalko. Marine gas turbines. Calculation procedures and algorithms for students. St. Petersburg: Naval Academy; 2000. (in Russian)].
5. Рыбалко В.В. История развития отечественных корабельных газотурбинных энергетических установок. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2003. [V. Rybalko. History of Russian marine gas turbines. St. Petersburg: Higher Naval Engineering School; 2003. (in Russian)].

6. Рыбалко В.В., Гончаров С.П. Корабельные комбинированные энергетические установки. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2003. [V. Rybalko, S. Goncharov. Combined marine power plants. St. Petersburg: Higher Naval Engineering School; 2003. (in Russian)].
7. Барановский В.В., Злобин В.Г., Пилипенко Н.Н., Рыбалко В.В. Корабельные энергетические установки. СПб.: Военно-морская академия, 2003. [V. Baranovsky, V. Zlobin, N. Pilipenko, V. Rybalko. Marine power plants. St. Petersburg: Naval Academy; 2003. (in Russian)].
8. Рыбалко В.В. Корабельные газотурбинные энергетические установки. Проблемы разработки и эксплуатации. СПб.: Военно-морской инженерный институт, 2003. [V. Rybalko. Marine gas turbines. Development and operation aspects. St. Petersburg: Higher Naval Engineering School; 2003. (in Russian)].
9. Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010. [L. Zysin. COGAS-types and gas turbine-based thermal power stations. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnical University; 2010. (in Russian)].
10. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 2002. [S. Tsanev, V. Burov, A. Remezov. Gas turbines and COGAS plants of thermal power stations. Moscow: Publishing House of Moscow Power Engineering Institute; 2002. (in Russian)].
11. Кириллов И.И. Газовые турбины и газотурбинные установки. М.: Машгиз, 1956. [I. Kirillov. Gas turbines and gas turbine-based plants. Moscow: Mashgiz; 1956. (in Russian)].
12. Стационарные газотурбинные установки. Л.: Машиностроение, 1989. [Stationary gas turbine-based plants. Leningrad: Mashinostroyeniye; 1989. (in Russian)].
13. Силовые установки новых фрегатов для ЧФ будет обслуживать компания «Турборус». [Электрон. ресурс] / Сайт ЗАО «Турборус». URL: http://www.turborus.com/?turborus_pid=4 (дата обращения: 30.11.2016). [JSC Turborus to service power plants of new Black Sea Fleet frigates (in Russian)].
14. Сорока Я.Х. Теория и проектирование судовых газотурбинных двигателей. Л.: Судостроение, 1982. [Ya. Soroka. Theory and design of marine gas turbines. Leningrad: Sudostroyeniye; 1982. (in Russian)].

Сведения об авторах

Никитин Владимир Семенович, д.т.н., профессор, генеральный директор ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 415-46-07. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Половинкин Валерий Николаевич, д.т.н., профессор, советник генерального директора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: 8 (812) 386-67-03. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Барановский Владимир Владимирович, д.т.н., профессор кафедры «Корабельные энергетические установки (не ядерные)» ВУНЦ ВМФ «ВМА». Адрес: 199034, Россия, Санкт-Петербург, Ушаковская наб., д. 17/1. Тел.: +7 (905) 255-25-46. E-mail: vunc-vmf@mil.ru.

About the authors

Nikitin, Vladimir S., D. Sc., Professor, Director General of Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-46-07. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Polovinkin, Valery N., D. Sc., Professor, Advisor of the Director General of Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 386-67-03. E-mail: krylov@krylov.spb.ru.

Baranovsky, Vladimir V., D. Sc., Professor, Ship Power Plants (non-atomic) Dept., ME & RC Kuznetsov Naval Academy. Address: nab. Ushakovskaya 17/1, St. Petersburg, Russia, post code 199034. Tel.: +7 905 255-25-46. E-mail: vunc-vmf@mil.ru.

Поступила / Received: 14.02.1

Принята в печать / Accepted: 10.03.1

© Коллектив авторов, 201