

Начало XXI в. характеризуется интенсивным изменением в военном кораблестроении, кардинально меняется облик надводных кораблей, расширяется спектр решаемых ими задач, приоритетное развитие получают ракетные системы с унифицированными вертикальными пусковыми установками, существенный скачок происходит в развитии радиоэлектронного вооружения и средств радиоэлектронной борьбы [1, 2]. По мере эволюционного развития оружия и вооружения кораблей происходит совершенствование и развитие корабельных тепловых двигателей и энергетических установок (ЭУ), созданных на их основе. Конструкторы переосмысливают идеологию обоснования облика ЭУ (т.е. типа, состава и схемного исполнения) и архитектуры ее комплектования при размещении внутри корпуса корабля.

Наряду с развитием и совершенствованием корабельных тепловых двигателей в последние десятилетия параллельно происходило развитие и совершенствование корабельных ЭУ. Отходили в прошлое устаревшие типы ЭУ, совершенствовались тепловые схемы, оптимизировался состав тепловых двигателей, входящих в структуру ЭУ. Так, с начала 60-х – 70-х гг. прошлого века морально устаревшие паросиловые ЭУ, доминировавшие на боевых кораблях дальней морской и океанской зон, начали постепенно замещаться новым типом возрождающейся корабельной энергетики – газотурбинными установками (ГТУ).

### ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Появление надежных корабельных газотурбинных двигателей (ГТД), приспособленных к работе в морских условиях, позволило в значительной степени улучшить маневренные и массогабаритные характеристики ЭУ. Однако комплектование главных энергетических установок (ГЭУ) только лишь ГТД за рубежом происходило не сразу. Это связано с тем, что на скоростях экономического хода корабль затрачивает всего 20–30% мощности ГЭУ от номинальной, что приводит к снижению нагрузки работающих ГТД более чем на 50% и, как следствие, к значительному увеличению расхода топлива (рис. 1). По этой причине использование всережимных ГТУ установок на маршевых ходах было бы нерационально. Логичным решением данной проблемы стало создание комбинированных ГЭУ. Такие достоинства ГТД, как относительно большая удельная мощность, высокая экономичность на полной нагрузке, быстрый запуск и набор мощности, в сочетании с большим моторесурсом и высокой экономичностью дизеля, позволили комби-

## ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СХЕМНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МНОГОЦЕЛЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

**А.В. Шляхтенко**, д-р техн. наук, проф., ген. директор,  
**И.Г. Захаров**, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по перспективному проектированию,  
**В.В. Барановский**, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам,  
 АО «ЦМКБ «Алмаз»,  
 контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

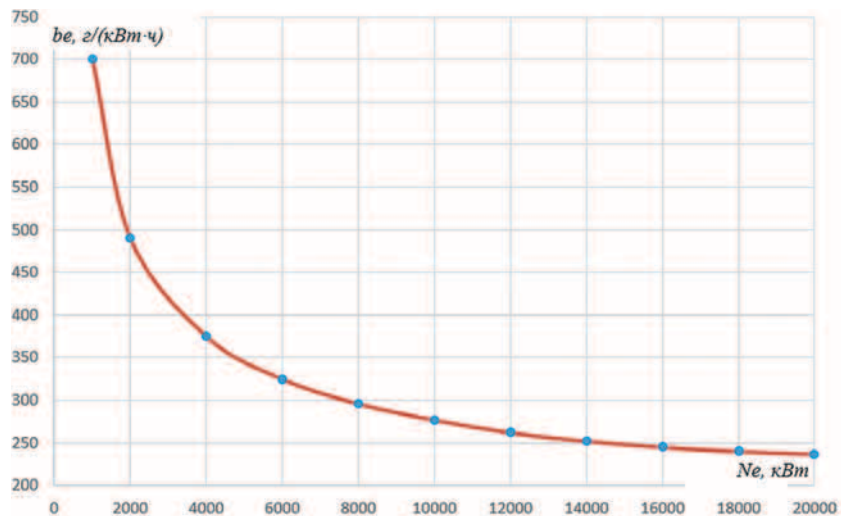


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90 ФР в зависимости от нагрузки

нировать их для достижения экономической работы ГЭУ в широком диапазоне нагрузок.

Первые ГТД относительно небольшой агрегатной мощности, использовались в комбинированных ЭУ (т.е. в комбинации, как правило, дизеля и газовой турбины) кораблей класса не старше фрегата.

Система CODAG (англ. COmbined Diesel And Gas turbine) впервые в мире была разработана в Германии для фре-

гатов серии F120 «Köln» (водоизмещение – 2750 т, 1961–1964 гг. Здесь и далее указано время постройки. – Прим. авт.). В состав ГЭУ фрегата входили 2×ГТД фирмы Brown Boveri & Cie (ныне – ABB, Швейцария) мощностью 2×8832 кВт и четыре 16-цилиндровых дизельных двигателя фирмы MAN, мощностью 4×2208 кВт. Таким образом, через редуктор обеспечивалась совместная работа двух дизельных двигателей и одного ГТД на одну линию вала.

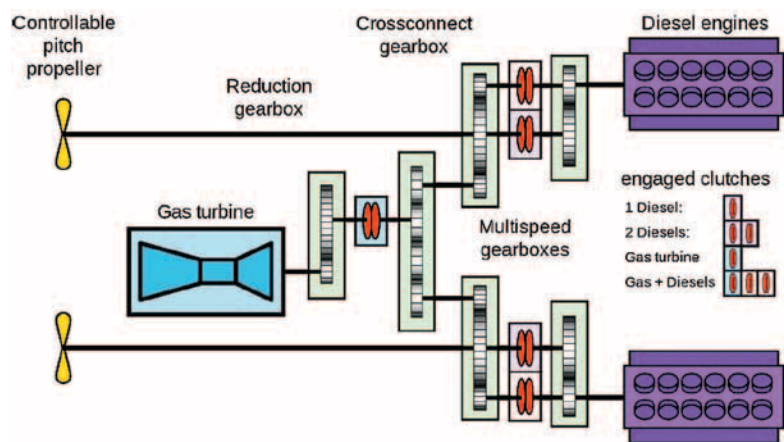


Рис. 2. Принципиальная схема ГЭУ CODAG современных фрегатов типа «Fridtjof Nansen»

Обеспечение совместной работы дизеля и газовой турбины на один гребной винт представляет собой сложную задачу из-за их различных принципов управления, а также существенного различия их нагрузочных характеристик (изменения мощности двигателя в зависимости от частоты вращения). Для решения указанной проблемы конструкторы применяют специальные многоскоростные редукторы или гидротрансформаторы.

Например, у современных фрегатов типа «Fridtjof Nansen» ВМС Норвегии (водоизмещение – 5290 т, 2003–2011 гг.) с ЭУ типа CODAG (рис. 2) передаточное число дизельного двигателя изменяется от 1: 7,7 в режиме «дизель–винт» до 1: 5,3 в режиме «дизель+ газовая турбина–винт». Некоторые корабли имеют даже три различных передаточных числа для дизельных двигателей – по одному для маршевых ходов, с одним и двумя дизелями, а третье – для включения газовой турбины.

Более простым, по сравнению с системой CODAG, является схемное исполнение ГЭУ с раздельной работой дизеля и газовой турбины CODOG (англ. Combined Diesel Or Gas turbine), которое позволяет соединять дизели с редукторной передачей с фиксированным передаточным числом на валу, но отключает дизельные двигатели при включении турбины.

Схемы ГЭУ CODOG (рис. 3) были использованы конструкторами на многих кораблях, например, на таких, как:

- фрегаты ВМС Германии серии F122 «Vremen» (водоизмещение – 3750 т, 1979–1990 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизеля MTU 20V956 TB92 мощностью 2×3,8 МВт и 2 ГТД GE LM2500 мощностью 2×15,0 МВт) и серии F123 «Brandenburg» (водоизмещение – 4490 т, 1992–1996 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизеля MTU 20V956 TB92 мощностью 2×3820 кВт и 2 ГТД GE LM-2500 SA-ML мощностью 2×19,0 МВт;
- фрегаты ВМС Франции «Georges Leagues» (водоизмещение – 4500 т, 1974–1990 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизе-

ля SEMT Pielstick 16PA6-V280 мощностью 2×3878 МВт и 2 ГТД RR Olympus TM3B мощностью 2×19,388 МВт;

- фрегаты ВМС Италии «Lupo» (водоизмещение – 2500 т, 1976–1980 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Fiat LM2500 Plus TAG мощностью 2×18,5 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste GMT A230–20 мощностью 2×5,8 МВт) и «Maestrale» (водоизмещение – 3040 т, 1979–1985 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×18,380 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste BL-230–20-DVM, 2×4,044 кВт;
- фрегаты морских сил самообороны Японии «Abukuma» (водоизмещение – 2500 т, 1989–1993 гг.). В составе ГЭУ: 2 ГТД Kawasaki-RR SM1A и 2 дизеля Mitsubishi S12U MTK);
- эсминцы ВМС Италии «Luigi Durand» (водоизмещение – 5560 т, 1988–1993 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×20,5 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste BL-230–20-DVM, 2×4,968 кВт;
- эсминцы ВМС Франции типа «Horizon» (водоизмещение – 7770 т, 2002–2009 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×20,5 МВт, 2 дизеля SEMT Pielstick 16PA6-3TC мощностью 2×4,320 кВт.

Таким образом, начальный этап внедрения ГТД в корабельную энергетику (1960–1970-х гг.) за рубежом ознаменовался использованием комбинированных установок со схемным исполнением CODAG и CODOG. Все они были экономичнее всережимных паротурбинных установок, имели меньшие массогабаритные характеристики и обладали лучшей маневренностью.

Данный тип схемного исполнения достаточно хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации, не потерял своей актуальности и используется конструкторами на современных кораблях по настоящее время. Популяризации использования дизель-газотурбинных ЭУ

за рубежом способствовали разработка и создание эффективных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизельных двигателей достаточно высокой агрегатной мощности (7–10 МВт и более) с моторесурсом, обеспечивающим эксплуатацию их в течение всего жизненного цикла корабля без сложных и трудоемких ремонтов, а также создание эффективных, более мощных, чем дизельные двигатели, ГТД с малой удельной массой и габаритами.

Как исключение из правил, в начальный период внедрения на флотах ГТД на британских кораблях использовались установки типа COSAG (англ. COmbined Steam And Gas turbine), которыми оснащались фрегаты типа «Tribal» (1961 г. постройки) и эсминцы типа «County» (1962 г.). Соотношение мощности ПСУ и ГТУ в ГЭУ составляло 1:1, что явилось следствием требований Адмиралтейства к комбинированным ЭУ британских кораблей того времени. Такие установки просуществовали недолго и впоследствии нигде не использовались.

Внедрение же чисто газо-газотурбинных ЭУ в зарубежную корабельную энергетику на кораблях классов «фрегат» и старше началось немного позднее – в конце 60-х – середине 70-х гг., с появлением ГТД большой мощности, таких как RR Sprey SM1A (14 МВт), RR Olympus TM1 A, TM2 A, TM3B (17,6 × 20,6 МВт) и GE LM2500 (18,4 МВт). В указанный период стало возможным использовать ГТД на кораблях большего водоизмещения в составе газо-газотурбинных комбинированных ГЭУ (в комбинации маршевых и форсажных ГТД) или в составе газо-газотурбинных всережимных ГЭУ (в комбинации ГТД одинаковой мощности).

В британских ВМС изначально получили развитие схемные решения типа COGOG (англ. COmbined Gas turbine Or Gas turbine) (рис. 4) с раздельной работой маршевых и форсажных ГТД. Данный тип ГЭУ использовался на фрегатах пр. 21 «Amazon» (водоизмещение – 3250 т, 1969–1978 гг.), где в качестве маршевых применялись

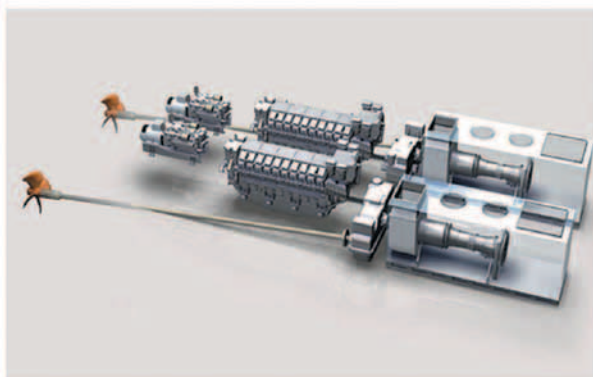
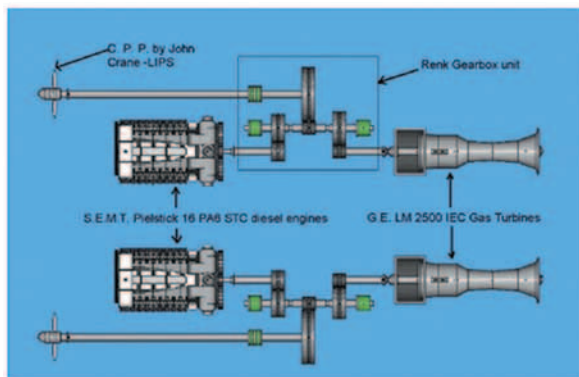


Рис. 3. Схема ГЭУ CODOG фрегатов ВМС Германии серии F122 «Vremen», эсминцев Франции серии F70 «Georges Leagues» и др.

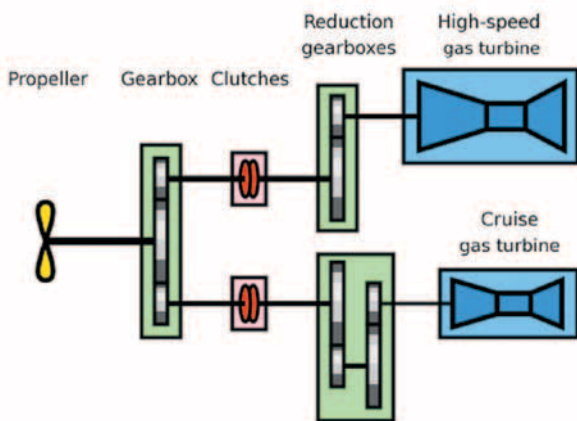


Рис. 4. Схемное решение ЭУ с разделной работой маршевых и форсажных ГТД – COGAG

ГТД 2×RR Type-RM1C (2×3,1 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×18,4 МВт), а также на 1-й и 2-й сериях фрегатов пр. 22 типа «Broadsword» (водоизмещение – 4500–4800 т, 1974–1988 гг.), где в качестве маршевых использовались ГТД 2×RR Type-RM1C (2×4,9 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×19,9 МВт).

Аналогичная схема COGAG использовалась на британских эсминцах пр. 42 серии «Sheffield» (водоизмещение – 4350–5350 т, 1971–1985 гг.), где в качестве маршевых применялись ГТД 2×RR Type-RM1C (2×3,0 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×18,8 МВт), а также на эсминцах морских сил самообороны Японии типа «Hatsuyuki» (водоизмещение – 3050 т, 1979–1987 гг.) с аналогичным составом главных двигателей (2×Kawasaki Type-RM1C и 2×Kawasaki Olympus TM3B), построенных по лицензии компанией Kawasaki.

Позже на фрегатах пр. 22 типа «Broadsword» 3-й серии (водоизмещение – 5300 т, 1982–1990 гг.) британскими конструкторами было принято схемное решение COGAG (англ. Combined Gas turbine And Gas turbine) с совместной работой маршевых ГТД 2×RR Type-RM3C (2×3,57 МВт) и форсажных ГТД 2×RR Spey SM1A (2×13,8 МВт) (рис. 5, а). Такое решение дало возможность

применить форсажные двигатели другого типа (Spey SM1A) с меньшей мощностью, что позволило без снижения скорости полного хода корабля уменьшить габариты и массу ГЭУ.

В ВМС США ГТД типа GE LM2500 (18,4 МВт) конструкторы активно стали использовать в составе газогорючего ГЭУ надводных кораблей со схемным исполнением COGAG в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности (рис. 5, б).

Первым кораблем, на котором использовалось данное техническое решение, стал эскадренный миноносец УРО «Spruance» (водоизмещение – 8040 т, 1972–1983 гг.). Впоследствии схемное исполнение COGAG в виде «спарки» двух ГТД GE LM2500 распространилось практически на все надводные корабли дальней морской и океанской зоны ВМС США: фрегаты «Oliver Hazard Perry», эскадренные миноносцы «Kidd», ракетные крейсера «Ticonderoga», эскадренные миноносцы «Arleigh Burk», большинство из которых находится в составе ВМС и поныне.

Причиной популярности такой схемы в ВМС США (т.е. использования в составе ГЭУ однотипных ГТД GE LM2500) стало стремление конструкторов к унификации основного оборудования ЭУ, которое, в отличие от ВМС других государств, доминировало над стремлением к минимизации расхода

топлива кораблями на маршевых ходах.

Схемные решения COGAG в виде «спарки» двух лицензионных ГТД 2×LM2500 (2×18,4 МВт) получили также распространение на эскадренных миноносцах морских сил самообороны Японии типа «Kongo» (водоизмещение – 9580 т, 1990–1998 гг., 4 ед.) и «Atago» (водоизмещение – 10000 т, 2004–2008 гг., 2 ед.).

Схемное исполнение ГЭУ COGAG с разделением двигателей по мощности на маршевые и форсажные также активно используется на японских эсминцах:

- серии «Hatakaze» (водоизмещение – 5500 т, 1983–1988 гг.), где в качестве маршевых используются лицензионные ГТД 2×Rolls-Royce Spey SM1A (2×9800 кВт), а в качестве форсажных – лицензионные ГТД Rolls-Royce Olympus TM3B (2×18180 кВт);
- серии «Murasame» (водоизмещение – 6100 т, 1993–2002 гг., всего 9 ед.), «Takanami» (водоизмещение – 4650 т, 2000–2006 гг., всего 5 ед.) и «Akizuki» (водоизмещение – 6800 т, 2009–2014 гг., 4 ед.), где в качестве маршевых двигателей используются лицензионные ГТД 2×Spey SM1 C (2×13,8 МВт), а в качестве форсажных – лицензионные ГТД 2×LM2500 (2×16,2 МВт).

Схемное решение COGAG в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности нашло широкое применение также за рубежом на кораблях относительно крупного водоизмещения, таких как эсминцы-вертолетоносцы и авианосцы. Такое решение является обоснованным в силу того, что на скоростях экономического хода нагрузка на работающих двигателях составит более 50% от номинальной, что обеспечит им приемлемую экономичность.

Впервые ГЭУ в виде «спарки» были установлены на британских авианосцах «Invincible» (водоизмещение – 20800 т, 1973–1985 гг., 3 ед.), где в качестве главных двигателей использовались 4×ГТД RR Olympus TM3B мощностью 4×17,9 МВт.

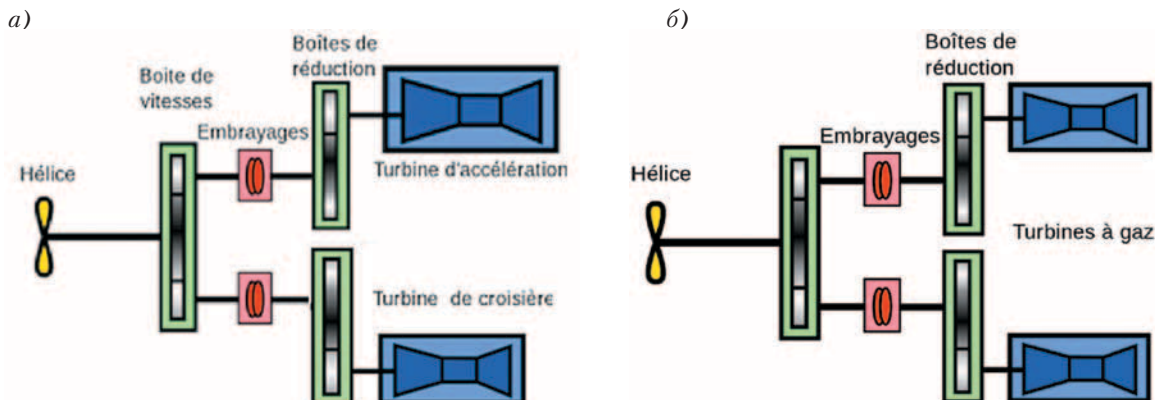


Рис. 5. Схемное решение с совместной работой ГТД – COGAG: а – маршевого и форсажного ГТД; б – ГТД одинаковой мощности – «спарка»

На авианосцах ВМС Италии «Giuseppe Garibaldi» (водоизмещение – 14150 т, 1981–1985 гг.) и «Cavour» (водоизмещение – 33000 т, 2001–2008 гг.) также используются схемные решения ЭУ COGAG в виде «спарки» лицензионных ГТД General Electric/Avio LM2500 (4×15 100 кВт на «Giuseppe Garibaldi» и 4×22000 кВт на «Cavour»).

Аналогичные схемы ГЭУ используются на японских эскадренных миноносцах-вертолетоносцах серии «Нууга» (водоизмещение – 19000 т, 2006–2011 гг., 2 ед.) и 22DDH «Izumo» (водоизмещение – 27 000 т, 2011–2017 гг., 2 ед.). На этих кораблях тоже применяются «спарки» лицензионных ГТД 2×LM2500 (2×18 400 кВт на «Нууга» и 2×20 600 кВт на «Izumo»).

Таким образом, активное внедрение ГТД на кораблях в начале 60-х – середине 70-х гг. послужило своего рода революционным шагом в развитии корабельной энергетики. В этот период появляются принципиально новые типы ЭУ, изменяются подходы к архитектуре комплектования «облика» ЭУ, повсеместное распространение получают новые схемные исполнения ГЭУ такие, как CODAG, CODOG, COGOG и COGAG, большинство из которых сохраняют актуальность и по настоящее время.

Конец 90-х – начало 2000-х гг. символизирует очередной этап эволюционного развития корабельных ЭУ. Схемы с прямодействующей передачей крутящего момента от теплового двигателя через редуктор на винт начинают утрачивать свою актуальность, все активнее их заменяет электродвижение. Тепловые двигатели, т. е. дизели и газотурбинные двигатели, начинают выступать промежуточным звеном, т. е. выполняют роль приводов электрогенераторов, а непосредственную передачу крутящего момента на винт осуществляют гребные электродвигатели (ГЭД).

Многоцелевыми кораблями, на которых впервые были установлены ГЭД, явилась серия британских фрегатов (всего 12 ед.) пр. 23 типа «Duke» постройки 1990–2002 гг., с компоновочной схемой ЭУ CODLAG (англ. COmbined Diesel-eLectric And Gas turbine) (рис. 6).

ЭУ корабля включает: два ГТУ 2×Rolls-Royce Spey SM1 C, мощностью 2×23,0 МВт, четыре дизель-генератора Paxman Valenta 12CM, мощностью 4×1,5 МВт и два гребных электродвигателя ГЭС, мощностью 2×3,0 МВт, работающих на два винта регулируемого шага.

Данная специфическая схема ЭУ была разработана специально для фрегатов данного типа (названных фрегатами ПЛО XXI в.) и на других боевых кораблях до этого не применялась. При проектировании корабля одним из основных требований было обеспечение

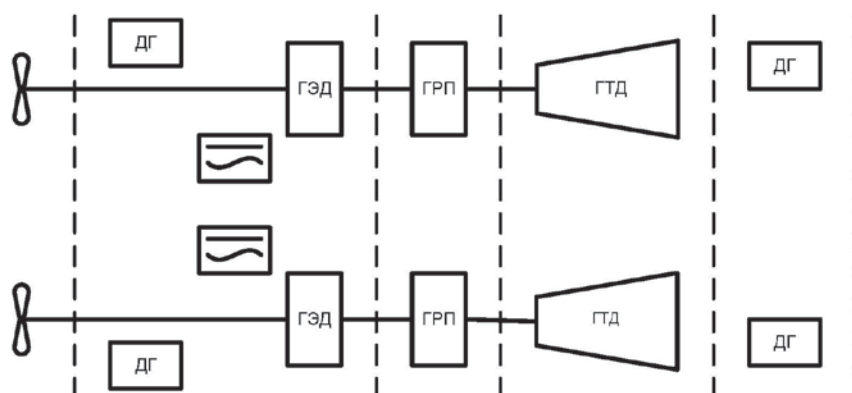


Рис. 6. Схема компоновки ЭУ фрегата пр. 23 британских ВМС

малой шумности силовой установки, особенно при выполнении фрегатом поисковых задач при работе с развернутой буксируемой гидроакустической станцией (ГАС) на скоростях хода 12–15 уз.

Другими словами, придание фрегатам многоцелевого характера в плане решения новых задач ПЛО побудило конструкторов при обосновании облика ЭУ решать компромиссную задачу минимизации акустического шума на поисковых режимах в ущерб топливной экономичности и массогабаритным характеристикам ЭУ. При этом на экономическом ходу корабля более чем вдвое возросли потери при передаче энергии от первичного источника к гребному винту, что стало следствием использования устаревших на то время технологий силового оборудования. А увеличение габаритов и массы ЭУ произошло в силу появления в системе новых элементов: гребных электродвигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии.

В настоящее время подход к электроэнергетическим системам изменился благодаря появлению новых технологий, позволяющих значительно снизить массогабаритные характеристики электротехнического оборудования и повысить КПД при передаче мощности. Одна

из них – технология производства твердотельных полупроводников, используемых в силовом электрооборудовании [3, 4]. В электромашиностроении, при производстве электродвигателей или генераторов, применяются также технологии конструкционных материалов (постоянные магниты с полем большой индуктивности и высокотемпературные сверхпроводники), которые предоставляют возможности значительного увеличения удельной мощности и КПД корабельной энергетической установки.

Важным этапом в формировании архитектуры облика ЭУ перспективных многоцелевых кораблей в период конца 90-х – начала 2000-х гг. послужила также минимизация ГТД в составе комбинированных ЭУ. Такое компромиссное решение, как может показаться в ущерб структурной надежности ГЭУ, стало следствием значительной затесненности помещений корабля воздухоподводящими и газовыхлопными патрубками газотурбинных двигателей (рис. 7), что особенно критично для кораблей относительно небольшого водоизмещения.

Как видно на рис. 7, воздухоприемники и газовыхлопные трубы главных дизельных двигателей и дизель-генераторов выглядят «тонкими нитями»,

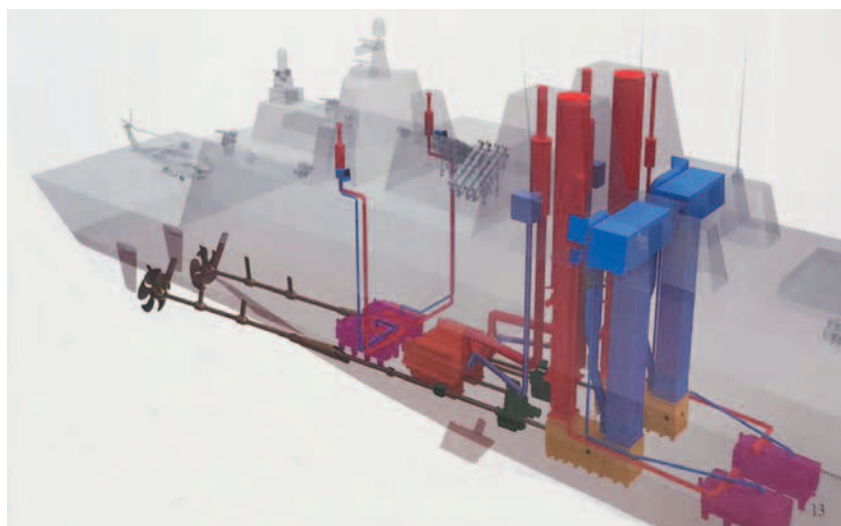


Рис. 7. Газовыхлопные и воздухоподводящие патрубки корабля с дизель-газотурбинной ЭУ

по сравнению с аналогичными трубами ГТД. По этой причине все корабли схемного исполнения COGOG или COGAG с несколькими ГТД в составе ГЭУ имеют сильно развитую воздухоподводящую и газовыхлопную части, которые мешает размещению полезной нагрузки.

Первыми кораблями, где в состав ГЭУ был включен всего один ГТД большой мощности, стали фрегаты ВМС Германии серии F124 типа «Sachsen» (водоизмещение – 5690 т, 1999–2006 гг., 3 ед.). ГЭУ фрегатов «Sachsen» схемного исполнения CODAG (рис. 8) в своем составе включает один ГТД GE LM2500 PF/MLG, мощностью 1×23 515 кВт и два дизеля MTU 20V1163 TB93, мощностью 2×7400 кВт.

Аналогичная схема ГЭУ была использована на норвежских фрегатах типа «Fridtjof Nansen», строившихся в этот же период времени.

Характерной особенностью кораблей серии F124 стало возвращение к схемному исполнению ГЭУ типа CODAG после первичного ее использования на фрегатах серии F120 «Köln» (1958–1964 гг.) и перерыва в использовании данных схем в связи с переходом к более простым схемам COGOG на фрегатах серий F122 и F123.

Другой особенностью данного схемного исполнения, с учетом наличия в составе ГЭУ единственного форсажного двигателя, явилась разработка конструктивной схемы редуктора с возможностью обеспечения работы ГТД на обе линии вала, т. е. произошло, своего рода, заимствование идеи по применению межредукторной перекидки (МРП), впервые использованной в начале 70-х гг. прошлого столетия на кораблях ВМФ СССР.

К настоящему времени схемное исполнение ЭУ CODAG (см. рис. 8) немецких фрегатов F124 получило дальнейшее развитие в связи с переходом от прямодействующих дизельных двигателей, работающих через редуктор на линию вала, к гребным электродвигателям, т. е. от схем CODAG и CODOG на следующей серии фрегатов F125 был осуществлен переход к схемным решениям CODLAG (рис. 9) [5].

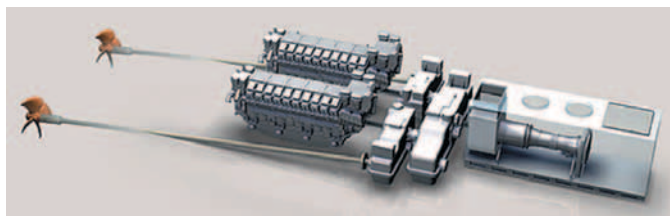
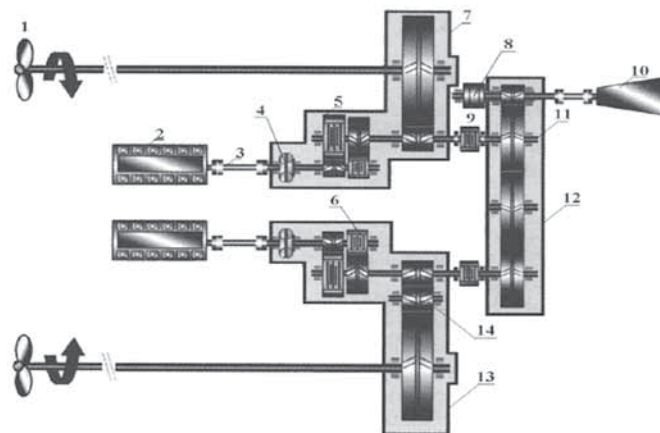


Рис. 8. Схема ГЭУ CODAG фрегатов серии F124 ВМС Германии

1 – винт регулируемого шага; 2 – дизель MTU 20V1163TB96; 3 – гибкий соединительный вал; 4 – гидродинамическая муфта; 5 – многодисковая муфта первой ступени ГРП (полного хода); 6 – многодисковая муфта первой ступени ГРП (экономического хода); 7 – ГРП левого борта; 8 – автоматическая самосинхронизирующаяся скользящая муфта ГТУ; 9 – муфта промежуточного вала; 10 – ГТУ LM2500; 11 – промежуточный вал; 12 – соединительная (замыкающая) зубчатая передача; 13 – ГРП правого борта; 14 – промежуточное (паразитное) зубчатое колесо

На других многоцелевых европейских фрегатах тех же лет постройки стало использоваться более простое схемное исполнение CODLOG, также с одним форсажным ГТД в составе ГЭУ.

К принятию такого технического решения конструкторов, очевидно, побудил положительный опыт использования британских фрегатов пр. 23 «Duke» при выполнении поисковых задач ПЛО.

Данное схемное решение на сегодняшний день, по сути, является воплощением пика совершенства эволюционного развития зарубежной корабельной энергетики. Такими установками оснащаются все перспективные европейские фрегаты: FREMM (Frigates Europeenne Multi-Mission) – ВМС Франции и Италии, пр.26 «Global Combat Ship» – ВМС Великобритании и проекта F125 – ВМС Германии.

На фрегатах FREMM (ВМС Франции и Италии) в составе ЭУ исполь-

зуется 1×ГТД GE/Avio LM2500+G4, на немецких фрегатах серии F125 установлен 1×ГТД GE LM2500+, а на британском фрегате пр. 26–1×ГТД RR MT30.

В дизель-электрическом режиме корабли могут развивать ход до 16 уз с помощью двух ГЭД (немецкий фрегат серии F125 – до 20 уз), что закрывает около 65% потребностей типовых ходовых режимов, включая малозумные противолодочные операции. Под ГЭД обеспечивается максимальная дальность плавания кораблей: 6000 миль FREMM и 7000 миль «Global Combat Ship».

Особенностью итальянских фрегатов FREMM и немецких серии F125 является использование схемного исполнения ЭУ с совместной работой ГЭД и ГТД (типа CODLAG), а особенностью французских фрегатов FREMM и британского пр. 26 – использование схемного исполнения ЭУ с раздельной работой ГЭД и ГТД (типа CODLOG).

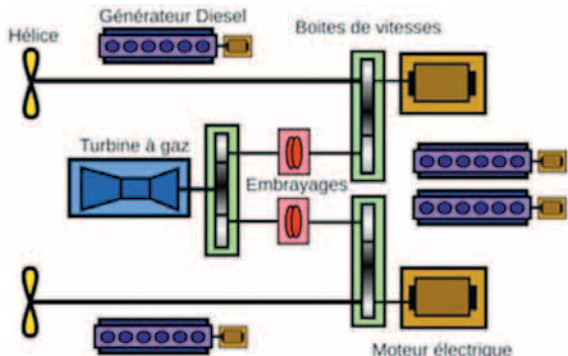
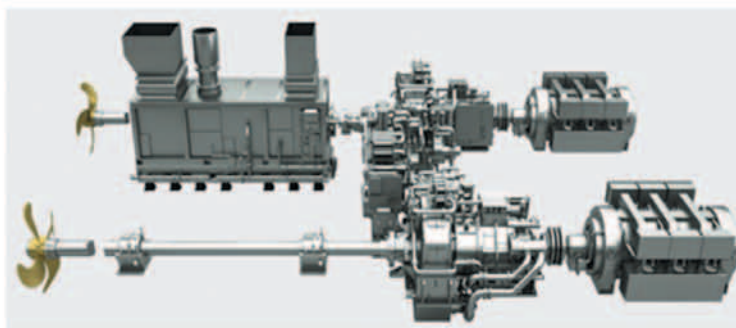


Рис. 9. Схемное исполнение CODLAG (CODLOG) европейских фрегатов



Особый интерес представляет собой ЭУ новых японских эсминцев классов «Asahi» (водоизмещение – 6800 т, 2015–2018 гг.; всего 2 ед.) и «Maya» (водоизмещение – 10250 т, 2017–2021 гг., всего 2 ед.). При обосновании облика ЭУ этих проектов учитывалась возможность размещения таких перспективных видов оружия, как лазеры точечной обороны и системы электромагнитного рельсового оружия, для чего было принято решение об использовании на кораблях гибридной энергетической установки типа COGLAG (англ. COmbined Gas turbine eLectric And Gas turbine).

Главная энергетическая установка (одного эшелона) представляет собой «спарку» главного ГТД GE LM2500–30 (18,4 МВт) через редуктор с электродвигателем/генератором (рис. 10). Данная «спарка» скомбинирована с двумя газотурбогенераторами, расположенными в каждом машинном отделении.

На маршевых ходах движение корабля осуществляется от работающих одного или двух (в зависимости от скорости хода корабля) газотурбогенераторов, питающих электродвигатели/генераторы, работающие в режиме ГЭД. На полных ходах – наоборот, движение корабля осуществляется от главных ГТД, при этом электродвигатели/генераторы переводятся в режим генераторов электроэнергии и питают электрическую сеть корабля, а газотурбогенераторы могут выводиться из действия. Вводятся и подключаются для питания электрической сети газотурбогенераторы при работающем главном ГТД только лишь по необходимости, в случаях необходимости питания энергоемких потребителей оружия и вооружения.

Такая гибридная ЭУ на боевых надводных кораблях применяется впервые, хотя подобные технические решения находят применение на морских судах [6], например, на судне «MS Goblin». Применение гибридных систем позволяет экономить до 12,5% топлива.

Несмотря на широкое распространение за рубежом на перспективных многоцелевых кораблях дальней морской зоны частичного электродвижения (CODLOG и CODLAG), на отдельных боевых кораблях более крупного водоизмещения в начале нынешнего века были внедрены схемы ЭУ с полным электродвижением, т. е. объединенные энергетические системы (IPS – Integrated Power System). Такие системы были использованы на британских эскадренных миноносцах пр. 45 типа «Daring» (водоизмещение – 8700 т, 2003–2013 гг.; всего 6 ед.), британских авианосцах типа «HMS Queen Elizabeth» (водоизмещение – 65000 т, 2009–2019 гг.; всего 2 ед.) и на эсминцах ВМС США DD (X) типа «Zumwalt» (водоизмещение –

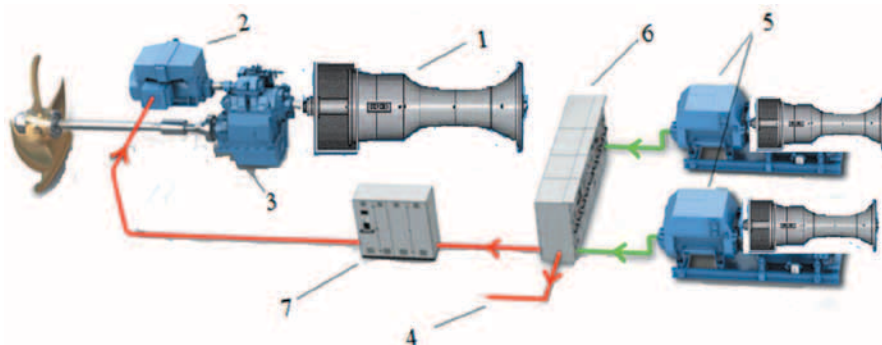


Рис. 10. Схема гибридной ЭУ COGLAG эсминцев «Asahi» и «Maya»  
1 – главный ГТД GE LM2500–30; 2 – электродвигатель/генератор; 3 – редуктор; 4 – корабельная электросеть; 5 – газотурбогенераторы; 6 – коммутатор; 7 – конвертор

14500 т, 2011 г. – по настоящее время; всего 3 ед.).

Следует отметить, что энергетические системы IPS за рубежом повсеместно используются на универсальных десантных кораблях, таких, как например, «Mistral» и судах специального назначения, но все они выходят за рамки настоящего рассмотрения в силу серьезных различий в целевом предназначении по сравнению с многоцелевыми боевыми кораблями.

Объединенная энергетическая система (IPS) эскадренного миноносца пр.45 типа «Daring» включает: два газотурбогенератора мощностью 2×21000 кВт и два резервных дизель-генератора мощностью 2×2000 кВт. В качестве приводов газотурбогенераторов используются ГТД сложного цикла RR WR-21 мощностью 2×24680 кВт, а в ка-

честве привода электрогенераторов на корабле используются ГТД RR MT30, мощностью 2×36,0 МВт.

Объединенная энергетическая система (IPS) британских авианосцев серии «HMS Queen Elizabeth» в своем составе включает (рис. 12): два газотурбогенератора с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36,0 МВт и четыре дизель-генератора фирмы Wartsila мощностью соответственно 2×Wartsila V1446F 2×9000 кВт и 2×Wartsila V1646F 2×11000 кВт. На корабле используются ГЭД, аналогичные ГЭД эсминцев пр. 45 типа «Daring», т. е. четыре асинхронных двигателя фирмы Alstom мощностью 4×20000 кВт.

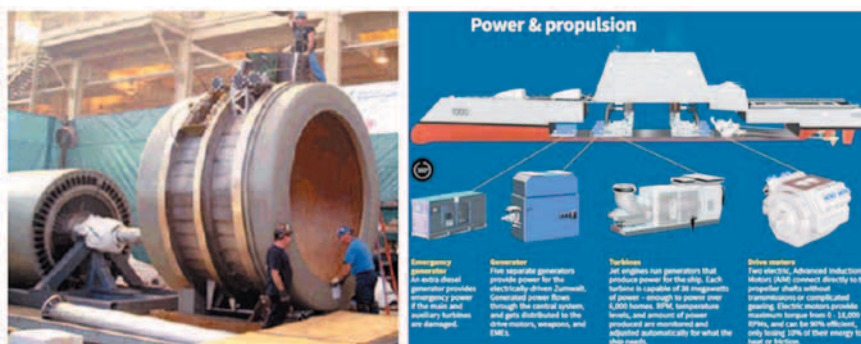


Рис. 11. Корабельный ВТСП электродвигатель мощностью 36,5 МВт для эсминца «Zumwalt»

честве приводов дизель-генераторов используются дизели Wartsila 12V200.

В электроэнергетической системе для движения используется повышенное напряжение 4160 В, а для приводов винтов фиксированного шага применены два 15-фазных асинхронных ГЭД фирмы Alstom мощностью по 2×20000 кВт при 180 об/мин. Общекорабельная сеть распределения электроэнергии рассчитана на напряжение 440 В при частоте тока 60 Гц.

Эскадренные миноносцы УРО DD (X) типа «Zumwalt» также оснащаются ГЭД мощностью 2×36,5 МВт, разработанными компанией «American Super

Conductor», где уже используются обмотки из высокотемпературных сверхпроводников, прошедшие в 2009 г. успешные испытания (рис. 11).  
В качестве привода электрогенераторов на корабле используются ГТД RR MT30, мощностью 2×36,0 МВт.  
Объединенная энергетическая система (IPS) британских авианосцев серии «HMS Queen Elizabeth» в своем составе включает (рис. 12): два газотурбогенератора с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36,0 МВт и четыре дизель-генератора фирмы Wartsila мощностью соответственно 2×Wartsila V1446F 2×9000 кВт и 2×Wartsila V1646F 2×11000 кВт. На корабле используются ГЭД, аналогичные ГЭД эсминцев пр. 45 типа «Daring», т. е. четыре асинхронных двигателя фирмы Alstom мощностью 4×20000 кВт.

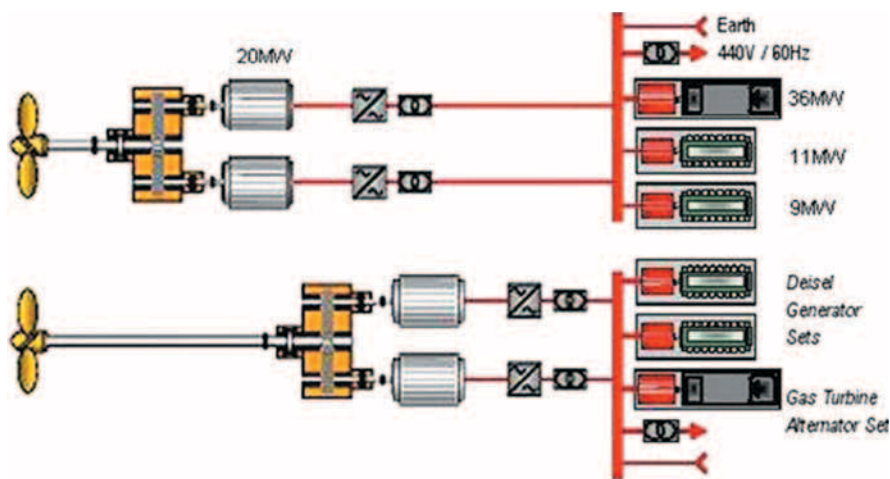


Рис. 12. Структурная схема IPS британских авианосцев типа «HMS Queen Elizabeth»

повышенные габариты и масса за счет массы ГЭД, генераторов электроэнергии и частотных преобразователей. Кроме того, отсутствие на корабле энергоемких потребителей оружия, по мощности соизмеримых с мощностью ГЭУ, также снижает потребность использования системы IPS, так как маломощные маршевые хода можно обеспечить за счет использования более дешевой и менее массивной системы частичного электродвижения.

Рассмотренные выше особенности эволюционного развития зарубежных энергетических установок за последние более чем 50 лет касались в основном многоцелевых кораблей относительно большого водоизмещения – более 3000 т. Популярность использования на таких кораблях в последние два десятилетия систем электродвижения была обусловлена следующими преимуществами: низким уровнем шума, плавным изменением скорости хода корабля и частоты вращения гребного винта, простотой и быстротой осуществления реверса, возможностью перекрестного включения гребных электродвигателей, большей свободой размещения на корабле генераторов электроэнергии.

Что касается эволюционного развития ЭУ кораблей ближней морской зоны – корветов водоизмещением менее 3000 т, то здесь в архитектуре ЭУ сохранялся определенный консерватизм, выражающийся в использовании, как правило, дизельных ЭУ.

Так, для достижения скоростей полного хода 24–26 уз, которой достаточно для решения задач в прибрежных и ближних морских зонах, как правило, используются дизель-дизельные ЭУ схемного исполнения CODAD (англ. Combined Diesel And Diesel). С учетом ограниченности водоизмещений кораблей указанного класса предпочтительнее отдавалось более легким высокооборотным дизелям ( $n > 1500$  об/мин). На кораблях более ранней постройки,

до 1980-х гг., как правило, использовались два дизельных двигателя в составе одного редукторного агрегата (рис. 13).

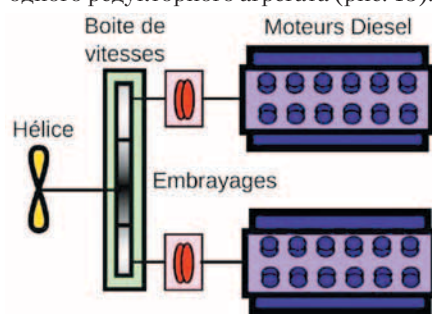


Рис. 13. Схемное исполнение ГЭУ с совместной работой двух дизельных двигателей в составе одного агрегата – CODAD

Редукторный агрегат обеспечивал работу на линию вала любого из двигателей или обоих вместе. Преимущество подобного технического решения перед простым использованием одного, более крупного двигателя с той же общей выходной мощностью заключается в том, что дизельные двигатели имеют несколько лучший удельный расход топлива при мощности в диапазоне от 75 до 85%, чем при мощности 50% и ниже. А использование двух высокооборотных двигателей, даже с немного большим редуктором, дает преимущество в массе и габаритах по сравнению с использованием одного среднеоборотного двигателя.

Однако с появлением высокоэффективных дизельных двигателей большой агрегатной мощности конструкторы стали использовать однодвигательные дизельные агрегаты. Так, например, на корветах ВМС ФРГ серии K130 «Braunschweig» (водоизмещение – 1840 т, 2006–2013 гг., 5 ед.) ГЭУ представлена двумя дизельными двигателями фирмы 2×MTU 20V 1163 TB93 мощностью по 2×7500 кВт.

На корветах ВМС Китая пр. 056 (водоизмещение – от 1300 до 1800 т, в зависимости от модификации, построено 72 ед. с 2012 г. по настоящее время ГЭУ

представлена двумя дизельными двигателями фирмы 2×S. E. M. T. Pielstick 16PA6STC.

Несмотря на оснащение подавляющего большинства зарубежных корветов дизельными ЭУ, с начала 80-х гг. на отдельных кораблях конструкторы начинают применять дизель-газотурбинные установки типа CODOG с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей. Так, например, на шведских корветах серии «Stockholm» (2 ед., 1984–1985 гг., модернизированы в 1999–2000 гг.) используется трехвальная дизель-ГТУ, состоящая из двух дизелей MTU 2×1920 кВт и одного ГТД Allied Signal, мощностью 1×4715 кВт. Такой тип комбинированных ЭУ, как правило, используется на катерах и кораблях малого водоизмещения, где главные двигатели не связаны между собой механической или термодинамической связью, а работают каждый на свою линию вала.

На современных шведских корветах, построенных по стелс-технологиям серии «Visby» (водоизмещение – 640 т, 1999–2015 гг., 5 ед.), стала использоваться классическая ЭУ CODOG с механической связью между двигателями. Маршевая часть ГЭУ состоит из двух дизелей MTU 16V 2000 N90 мощностью 2×1300 кВт, а форсажная часть состоит из четырех газовых турбин TF 50A разработки компании Vericor Power Systems совместно с Honeywell Engines and Systems, мощностью 4×4000 кВт. На один вал через редуктор Cincinnati MA-107 SBS работают дизель и две газовые турбины. Газовые турбины и дизельные двигатели имеют очень компактные габаритные размеры и массу, соответственно 1395×890×1040 мм, 710 кг и 2920×1400×1290 мм и 4170 кг.

Особо следует выделить ЭУ малых многоцелевых боевых кораблей прибрежной зоны ВМС США, или Littoral Combat Ship (LCS), проектирование которых началось в начале 2000-х гг. Американский флот имеет два типа LCS с существенными конструктивными отличиями – «Freedom» (LCS-1, подрядчик – компания Lockheed Martin) и «Independence» (LCS-2, подрядчик – General Dynamics).

На кораблях LCS-1 «Freedom» (водоизмещение – 3140 т, 2005 – настоящее время, 9 ед., строится еще 5 ед.) используется схема CODOG, с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей, где двигатели не связаны между собой механической связью, а работают каждый на свой водометный движитель производства компании Rolls-Royce. В качестве форсажных двигателей используются два ГТД RR MT30 мощностью 2×36000 кВт, а в качестве маршевых двигателей – два дизеля Colt Pielstick 16PA6B мощностью 2×6700 кВт.

На кораблях LCS-2 «Independence» (водоизмещение – 2780 т, постройки 2006 – настоящее время, 5 ед., всего планируется построить 12 ед.) также используется схема CODOG, с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей. Двигатели так же, как и на LCS-1, не связаны между собой механической связью и работают каждый на свой водометный движитель производства компании Wartsila (2×Wartsila LJ160E и 2×Wartsila LJ150E). В качестве форсажных двигателей используются два ГТД GE LM2500 мощностью 2×21700 кВт, а в качестве маршевых двигателей – два дизеля MTU 20V8000 M90 мощностью 2×9000 кВт.

Таким образом, в настоящее время корабельная энергетика в развитых зарубежных странах переживает бум своего развития. Разработка и создание высокоэффективных дизельных и газотурбинных двигателей большой агрегатной мощности, а также современного силового электротехнического оборудования позволило конструкторам переосмыслить устоявшиеся взгляды в формировании облика ЭУ. Были созданы принципиально новые по типу, составу и схемному исполнению корабельные ЭУ, воплощающие в себе передовые технологии в области корабельного энергомашиностроения и электротехники.

## ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

Отечественный опыт появления и внедрения на кораблях газотурбинной энергетике имеет определенные отличия от зарубежного.

Постановлением Совета Министров СССР № 848–363 сс от 7 мая 1954 г. в г. Николаеве на Южном турбинном заводе (ЮТЗ) было создана база для проектирования и серийного выпуска судовых ГТУ и образования в составе завода Специального конструкторского бюро газотурбинных установок (СКБ ГУ). С указанной даты начинается история отечественного корабельного газотурбостроения. В 1961 г. СКБ было выведено из состава ЮТЗ и получило название Союзное конструкторское бюро (СПБ) «Машпроект».

С 1954 по 1960 г. на базе авиационного двигателя ТРДВ-1 были выпущены первые отечественные ГТД М1, М3, Д2 и Д3, которые использовались в составе ускорительных двигателей в дополнение к основным дизельным двигателям на катерах. Их ресурс не превышал 1000 ч, и по этой причине они на кораблях широкого распространения не получили.

Первыми, относительно надежными, корабельными ГТД с ресурсом в 3000 ч, стали двигатели второго поколения М3, которые использовались в составе агрегата М3 в виде «спарки»

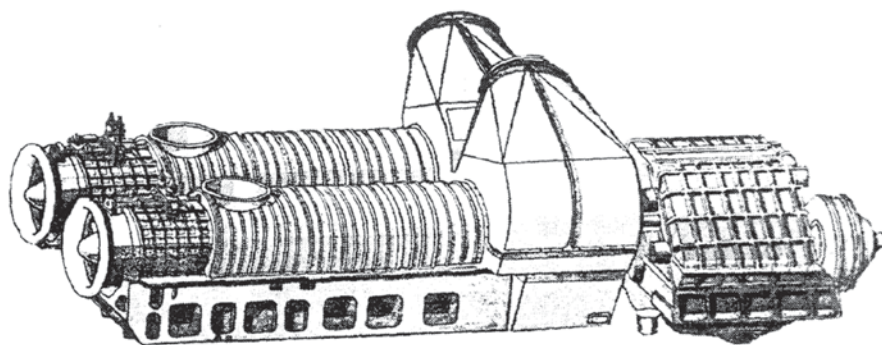


Рис. 14. Газотурбинный агрегат М3 БПК пр. 61 («спарка» 2 ГТД М3 на одном редукторе)

двух ГТД (рис. 14) одинаковой мощности (2×13250 кВт).

Впервые агрегаты М3 были установлены в 1961 г. на БПК пр. 61 «Комсомолец Украины», что практически на 12 лет раньше использования газотурбинной установки на первом британском фрегате «Amazon» приблизительно такого же водоизмещения. Впоследствии, к 1966 г., конструкторами ресурс ГТД М3 был доведен до 6000 ч.

Таким образом, с начала 60-х гг. прошлого столетия был дан старт серийному строительству отечественных кораблей дальней морской зоны, оснащаемых ГТУ в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности (COGAG).

Учитывая особенность ГТД, обусловленную невысокой экономичностью на частичных нагрузках, с 1965 г. в СПБ «Машпроект» начались проработки газотурбинных агрегатов М5 (рис. 15) и М7 (рис. 16) для противолодочных кораблей «Беркут» пр. 1134Б (водоизмещение – 8500 т, 1968–1979 гг., всего 8 ед.) и «Буревестник» пр. 1135, (водоизмещение – 3200 т, 1968–1981 гг., всего 32 ед.) со схемным исполнением COGAG, где маршевые и форсажные

двигатели стали значительно различаться по мощности.

Маршевые двигатели относительно небольшой мощности предназначались для обеспечения основного временного диапазона ходовых режимов кораблей – маршевых ходов, при отключенных форсажных двигателях. При таком режиме передвижения нагрузка двигателей составляла более 60–70% от номинальной, что обеспечивало кораблю относительно неплохую топливную экономичность. Скорости полного хода корабля обеспечивались совместной работой маршевых и форсажных двигателей.

В состав агрегата М5 (см. рис. 15) входили: один маршевый двигатель ДС-71 мощностью 1×5500 кВт и два форсажных двигателя ДН-59 мощностью 2×16900 кВт. На кораблях пр. 1134 Б устанавливалось два агрегата М5.

В состав агрегата М7 входили: два маршевых двигателя М-62, мощностью 2×3680 кВт и два форсажных двигателя ДК-59 мощностью 2×13250 кВт.

В агрегатах М7 конструкторы пошли еще дальше: впервые в мире была внедрена межредукторная перекидка (МРП), обеспечивающая работу одного

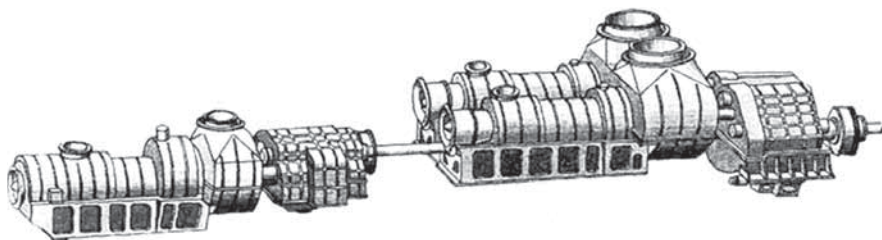


Рис. 15. Газотурбинный агрегат М5 БПК пр. 1134-Б «Беркут»

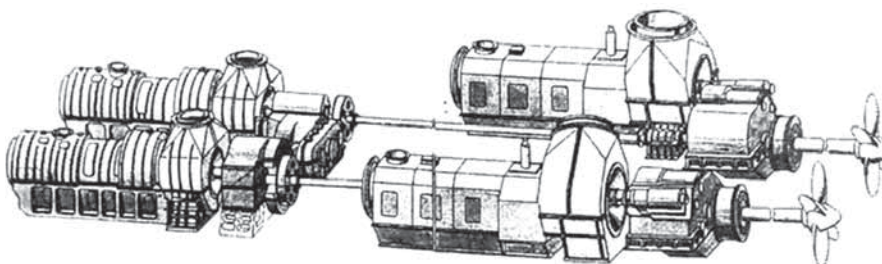


Рис. 16. Газотурбинный агрегат М7 СКР пр. 1135 «Буревестник»



маршевого двигателя на две линии вала (см. рис. 16). Такое техническое решение позволяло кораблям осуществлять поисковые малощумные режимы подводной лодки на достаточно малых ходах с высокой экономичностью ЭУ за счет работы одного двигателя на большой нагрузке.

За относительно короткий период, с 1971 по 1985 г., научно-производственным объединением СПБ «Машпроект» был создан мощностной ряд высокоэкономичных газотурбинных двигателей третьего поколения, соответственно: М75 мощностью 3680 кВт (5000 л.с.); М70 мощностью 7360 кВт (10000 л.с.) и М90 мощностью 14 720 кВт (20 000 л.с.), которые с середины 70-х гг. начали активно внедряться на надводных кораблях дальней морской и океанской зоны.

Дальнейшим развитием агрегата М5 стала разработка агрегата М21 для ракетных крейсеров пр. 1164 «Атлант» (водоизмещение – 11 490 т, 1976–1993 гг., всего 4 ед.). По схемному исполнению ГЭУ агрегаты М21 не отличались от агрегатов М5 за исключением того, что маршевые двигатели оснащались паровым утилизационным контуром (ТУК), пар от которого поступал к паровой турбине мощностью ~ 1470 кВт (2000 л.с.), подключенной к редуктору маршевого двигателя, обеспечивающего их совместную работу.

В состав агрегата М21 входили: один маршевый двигатель М70 с ТУК, мощностью 1×7355 кВт и два форсажных двигателя М90 мощностью 2×14 700 кВт. Сообразно используемому составу основного оборудования, схемное исполнение ГЭУ должно классифицироваться как COGAS (англ. COmbined Gas And Steam turbine, название морских комбинированных силовых установок, включающих газовые и паровые турбины, последние приводятся в действие паром, генерируемым от использования тепла выхлопных газов газовых турбин). Практика эксплуатации кораблей показала низкую надежность паросилового блока такой схемы, и агрегаты, по сути, эксплуатировались в режиме схемного исполнения COGAG (с совместной работой маршевых и форсажных ГТД).

Дальнейшим развитием агрегата М7 с МРП стала разработка агрегата М9 для БПК пр.1155 (водоизмещение – 7620 т, 1977–1991 гг., всего 12 ед.). В состав агрегата М9 входили: два маршевых двигателя М70 мощностью 2×6620 кВт и два форсажных двигателя ДТ59 мощностью 2×16560 кВт. Следующим шагом в развитии агрегата М9 стало создание агрегата М9 Н многоцелевого фрегата пр. 1155.1 «Адмирал Чебаненко» (водоизмещение – 8320 т, 1990–1998 гг., 1 ед.). В состав агрегата М9 Н с МРП входили два маршевых двигателя М70, мощнос-

тью 2×6620 кВт и два форсажных двигателя М90, мощностью 2×18 580 кВт.

Нельзя не отметить активную работу в этот период АО «ЦМКБ «Алмаз» по внедрению газотурбинной энергетики на кораблях относительно небольшого водоизмещения. Специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» было выдано техническое задание СПБ «Машпроект» на разработку следующих газотурбинных агрегатов:

- ДТ4 – для кораблей на воздушной подушке «Джейран» (постройки 1970–1985 гг.);
- МТ70 – для кораблей на воздушной подушке «Кальмар» (постройки 1972–1977 гг.);
- М34 – для кораблей на воздушной подушке «Омар» (постройки 1976–1980 гг.);
- М10 – для кораблей на подводных крыльях «Ураган» (постройки 1972–1980 гг.) и корабля на воздушной подушке «Сивуч» (постройки 1984–1997 гг.);
- М35 – для кораблей на воздушной подушке «Зубр» (постройки 1980–2014 гг.);
- М15 – для ракетных катеров «Молния» (постройки 1977–1986 гг.).

Проекты указанных кораблей представляли собой опытно-конструкторские разработки (ОКР) АО «ЦМКБ «Алмаз», а создание газотурбинных агрегатов входило в составные части соответствующих ОКР. Поэтому сопровождение разработки и создания агрегатов специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» осуществлялось практически на всех этапах, от рождения технической и до сдачи объектов заказчику.

Особо следует отметить разработку агрегата М15 (рис. 17) для ракетных катеров пр.1241.1 «Молния» (водоизмещение – 469 т, 1979–1996 гг., всего построено более 80 ед. кораблей различных модификаций), уникального по компактности, маневренности и мощности, где также была реализована техническая идея межредукторной перекидки.

В состав агрегата М15 входили ГТД третьего поколения, в частности: два маршевых двигателя М75 мощностью 2×3680 кВт и два форсажных двигателя М70 мощностью 2×8830 кВт.

Кроме того, благодаря усилиям АО «ЦМКБ «Алмаз», в начале 1980-х гг. впервые в отечественном ВМФ была создана классическая дизель-газотурбинная ЭУ с обеспечением совместной работы дизеля и газовой турбины на одну линию вала схемного исполнения CODAG. Она предназначалась для ракетных катеров проектов 12411, 12418, 12421 и состояла из двух форсажных ГТД М70 мощностью 2×8830 кВт и двух маршевых дизельных агрегатов М-510 мощностью 2×2940 кВт (каждый из дизельных агрегатов состоял из дизеля М-504 с двухскоростным редуктором и гидротрансформатора, предназначенного для совместной работы дизеля и газовой турбины).

Аналогичные установки за рубежом, как было отмечено выше, впервые были созданы для европейских фрегатов еще в начале 1960-х гг. Причина столь позднего развития дизель-газотурбинной энергетики на кораблях ВМФ состоит в том, что у нас вплоть до начала XXI в. не были разработаны эффективные высокооборотные и среднеоборотные дизельные двигатели для использования на кораблях классов: корвет, фрегат и эсминец. Дизельные энергетические установки завода «Звезда», изначально занимавшие доминирующее положение на торпедных и ракетных катерах, малых ракетных кораблях, противолодочных кораблях и тральщиках, обладали незначительным ресурсом до переборки (не более 2000–3000 ч), причем переборка могла осуществляться только в заводских цеховых условиях, что для флота представляет сильное неудобство. Поэтому создание эффективных высокооборотных и среднеоборотных дизелей большой агрегатной мощности и моторесурса для внедрения на многоцелевых боевых кораблях является первоочередной задачей для отечественного корабельного энергомашиностроения.

В силу осознания такой необходимости, специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» в 1992 г. были разработаны и выданы промышленности технические задания на дизель-газотурбинный агрегат М55 Р для проектируемого корабля «Гром» схемного исполнения CODOG. В состав агрегата включались:

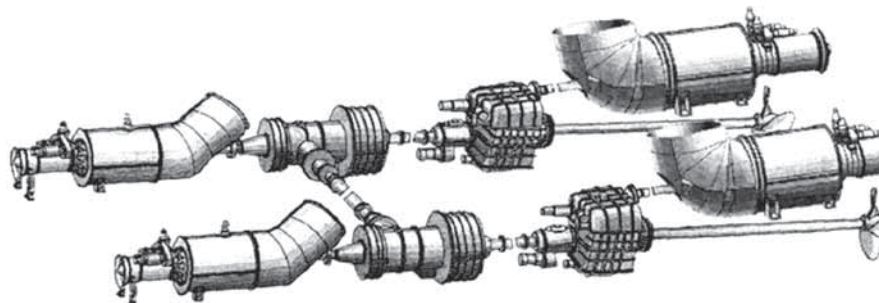


Рис. 17. Газотурбинный агрегат М15 ракетного катера пр. 1241.1 «Молния»

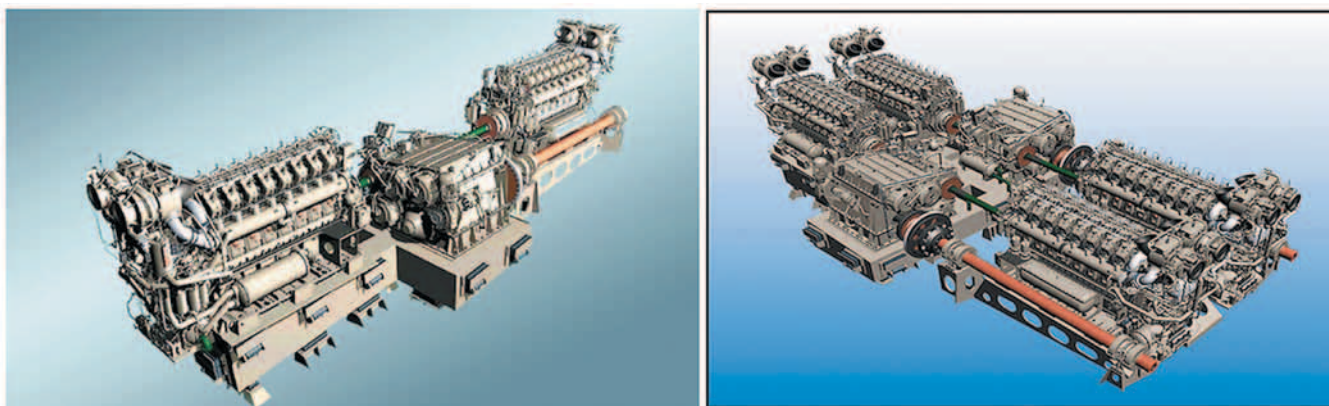


Рис. 18. Дизель-дизельный агрегат 1 ДДА 12000

ГТД 4-го поколения М90 ФР мощностью 20200 кВт, главный дизель 10 Д49 (16ЧН 26/26) мощностью 3825 кВт, реверсивный редуктор РО-55 и системы управления. К 2002 г. были созданы и прошли предварительные испытания ГТД М90 ФР, редуктор РО-55 и дизель 10 Д49. Главным исполнителем ОКР было ООО «Турборус». В дальнейшем, в связи с прекращением строительства корабля «Гром», все работы по созданию агрегата М55 Р АО «ЦМКБ «Алмаз» были переданы АО «Северное ПКБ» для использования на фрегате пр. 22350. Агрегат М55 Р стал первым полноценным дизель-газотурбинным агрегатом, по характеристикам не уступающим мировым аналогам.

Позднее АО «ЦМКБ «Алмаз» были разработаны многоцелевые корветы проектов 20380 и 20885 с использованием дизель-дизельной ЭУ схемного исполнения CODAD. В 2001 г. бюро было выдано техническое задание ОА «Коломенский завод» на разработку дизель-дизельного агрегата 1 ДДА 12000 для кораблей пр. 20380. Работы были начаты в 2001 г. и завершены в 2006 г.

Дизель-дизельный агрегат 1 ДДА 12000 (рис. 18) полной мощностью 12000 л.с. (8832 кВт) предназначен для использования в составе главной ЭУ кораблей последнего поколения класса корвет для работы на гребной винт фиксированного или регулируемого шага. Агрегат укомплектован двумя современными дизелями 16 Д49 (16ЧН 26/26) мощностью по 6000 л.с. (4412 кВт), каждый из которых имеет двухскоростную редукторную передачу, обеспечивающую совместную и отдельную работу дизелей со звукоизолирующей композитной муфтой, локальную систему управления, защиты и контроля, построенную на микропроцессорной базе. Микропроцессорная система управления позволяет выравнять нагрузку по дизелям, осуществлять режимы реверса и отключать, при необходимости, один из дизелей.

При разработке корвета пр. 20385 было принято решение об использовании в составе ГЭУ импортных комп-

лекующих производства ФРГ, в частности, главных дизельных двигателей 16V 1163 ТВ93 мощностью 5920 кВт, редукторов фирмы «Renk», валопроводов и винтов регулируемого шага фирмы «Andritz Hidro».

По техническим требованиям бюро были изготовлены главные двигатели, редукторы, валопроводы и винты регулируемого шага (ВРШ). Однако после введения санкций к России в 2014 г. все работы были прекращены, и корветы пр. 20385 были перепроектированы под использование агрегатов 1 ДДА 12000, а ВРШ и валопроводы для кораблей данной серии при активном участии бюро были разработаны для производства в России.

По мере роста водоизмещения многоцелевых корветов, обусловленного переносом зоны их ответственности далеко за пределы ближней морской зоны, перед конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» встала задача по наращиванию мощности ГЭУ. Так, например, для обеспечения скоростей хода 24–26 уз кораблей водоизмещением 2400–2800 т, мощность ГЭУ должна составлять 18000–24000 кВт. По указанной причине на корветах проектов 20380 и 20385 применены форсированные дизель-дизельные ЭУ.

Ужесточение требований к тактико-техническим характеристикам кораблей, увеличение их водоизмещения и скорости полного хода до 30 уз и более приводит к необходимости значительного увеличения мощности ГЭУ. Обеспечение таких требований возможно только при включении в состав ГЭУ ГТД. Для решения этой задачи конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» при проектировании перспективного корвета пр. 20386 «Меркурий» впервые в истории отечественного ВМФ было обосновано применение дизель-газотурбинной ЭУ с частичным электродвижением, схемного исполнения CODLOG. Были разработаны и выданы ПАО «ОДК-Сатурн» технические задания на составную часть опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР) по созданию газотурбинного агрегата МА3 (рис. 19), в состав которого входят: два ГТД 4-го поколения М90 ФР в капоте, мощностью 2×20200 кВт, а также редукторный комплекс 6 РП производства ПАО «Звезда».

Для создания системы электродвижения корабля НПС СЭС (г. Санкт-Петербург) были выданы технические задания на СЧ ОКР по разработке гребных электродвигателей АДР-1600–8 мощностью 2×1600 кВт, а ООО «Уральский дизель-моторный завод» – технические задания

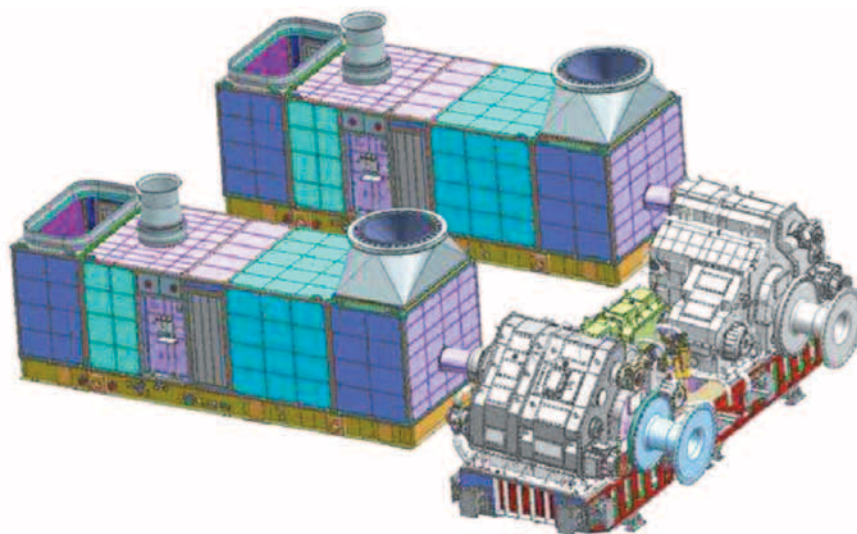


Рис. 19. Газотурбинный агрегат МА3

на СЧ ОКР по разработке дизель-генераторов ДГАС-1600 и ДГАС-800 на основе дизельных двигателей нового поколения 12 ДМ-185 и 8 ДМ-185. Ожидается, что все работы по созданию агрегата МАЗ, гребных электродвигателей и дизель-генераторов будут завершены в текущем году и изделия будут отгружены на ПАО «Судостроительный завод «Северная верфь» для монтажа внутри корпуса корабля.

Разработанная АО «ЦМКБ «Алмаз» ЭУ корвета пр. 20386 схемного исполнения CODLOG (рис. 20) по основным техническим характеристикам не только не уступает лучшим мировым аналогам (фрегатам серий FREMM, F-125 и 26 «Global Combat Ship»), символизирующим пик развития корабельной энергетики, но и является первым мировым аналогом среди многоцелевых боевых кораблей относительно небольшого водоизмещения класса корвет, где удалось реализовать идею дизель-электрической передачи крутящего момента на винт на маршевых ходах. Водоизмещение соответствующих зарубежных аналогов в 2 раза и более превышает водоизмещение корвета «Меркурий».

Особенностью схемного исполнения ЭУ корвета «Меркурий» является наличие в составе редукторного комплекса 6 РП межредукторной перекидки, обеспечивающей работу любого ГЭД либо любого ГТД на обе линии вала, что повышает надежность, живучесть и экономичность энергетической установки. Единственное отличие ЭУ от указанных выше западных аналогов состоит в использовании двух ГТД вместо одного, как это принято на зарубежных кораблях. Такое решение является следствием отсутствия на сегодняшний день отечественных корабельных ГТД высокой агрегатной мощности – до 35 МВт и более таких, как западные аналоги GE LM2500+G4 или RR MT30. В остальном, в плане схемного исполнения ЭУ и принятых технических решений по типу, составу, характеристикам основного оборудования и степени автоматизации, можно утверждать, что с созданием ЭУ корвета «Меркурий» мы подтверждаем статус передовой морской державы в области кораблестроения и корабельной энергетики.

Нельзя не отметить, что усилия ученых, конструкторов и инженеров АО «ЦМКБ «Алмаз» направлены на оснащение проектируемых кораблей передовым оружием, вооружением и техникой. Благодаря этим усилиям ВМФ РФ остается конкурентным ведущим морским державам не только по боеспособности кораблей, но и в плане соответствия лучшим мировым аналогам внедряемой на кораблях энергетики.

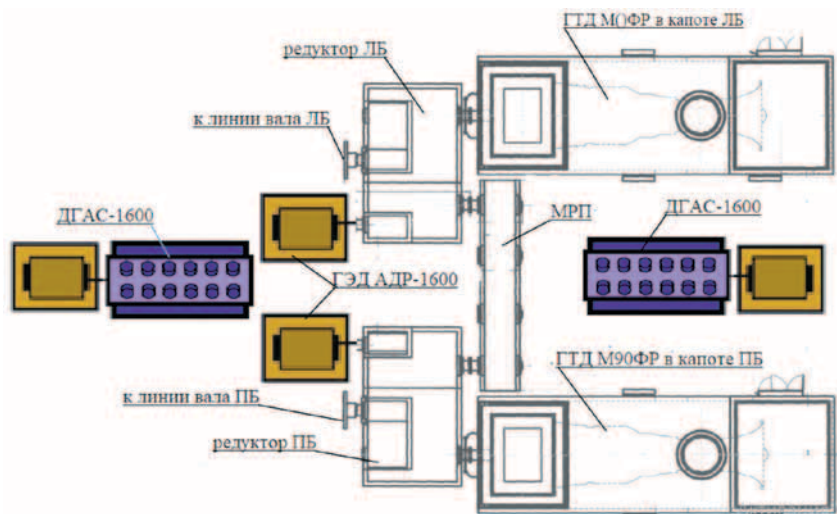


Рис. 20. Структурная схема энергетической установки схемного исполнения CODLOG корвета «Меркурий»

За последние более чем 50 лет в АО «ЦМКБ «Алмаз» была проделана огромная работа по внедрению на кораблях ВМФ ГТД, появившихся в конце 50-х – начале 60-х гг., и агрегатов, созданных на их основе. Благодаря разработкам бюро на боевых кораблях появились первые комбинированные дизель-газотурбинные ЭУ, получившие широкое распространение на зарубежных флотах. Венцом развития корабельной энергетики стало создание перспективной установки с частичным электродвижением схемного исполнения CODLOG для корвета «Меркурий», которая по своим технико-экономическим характеристикам несколько не уступает мировым аналогам.

В заключение, характеризуя тенденции развития схемного исполнения ЭУ многоцелевых надводных кораблей, следует отметить, что в начале XXI в. кардинально изменились устоявшиеся с начала 70-х – середины 80-х гг. взгляды конструкторов на формирование облика ЭУ. Канули в прошлое устаревшие газо-газотурбинные ЭУ схемного исполнения COGAG, маршевая часть ЭУ стала замещаться исключительно дизельными двигателями взамен ранее устанавливаемых газотурбинных. Более того, в обеспечение малощумных поисковых режимов ЭУ, при решении кораблем задач ПЛО, вместо прямодействующих приводов от дизеля (через редуктор) на винт повсеместно стали использовать дизель-электрические приводы, где дизели используются в качестве приводов генераторов, а передача крутящего момента на винт осуществляется за счет гребных электродвигателей. На современных и перспективных кораблях наблюдается абсолютное доминирование ЭУ схемного исполнения CODLOG или CODLAG.

Явно проявляющейся тенденцией в архитектуре схемного исполне-

ния ЭУ многоцелевых кораблей стала минимизация количества устанавливаемых форсажных ГТД. На перспективных фрегатах серий FREMM, F-125 и пр. 26 используется только один ГТД агрегатной мощностью 35 МВт и более. Причиной, побуждающей конструкторов кардинально пересмотреть взгляды по формированию облика корабельных ЭУ, стало создание компактных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизельных двигателей большой агрегатной мощности и значительного моторесурса, обеспечивающего их использование в течение всего жизненного цикла корабля, а также создание мощных и компактных корабельных ГТД 5-го поколения, которые отличаются эффективностью и надежностью при лучшем соотношении мощности и массы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров И.Г., Шляхтенко А.В. Корветы: Концептуальное проектирование. – СПб.: ООО «Береста», 2012. – 228 с.
2. Шляхтенко А.В., Захаров И.Г. Тенденции развития многоцелевых кораблей океанской зоны // Национальная оборона. – 2019. – № 7 (июль). – С. 86–90.
3. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61 и № 3. – С. 58–61.
4. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 62–70.
5. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
6. Barcellos R. The hybrid propulsion system as an alternative for offshore vessels servicing and supporting remote oil field operations. – In: Proceedings of the annual offshore technology conference, 2013, vol. 3. ■