

Военно-Морской Флот (ВМФ) России вступил в активную фазу обновления своего боевого состава. Основу его надводных сил в ближайшей и отдаленной перспективах будут составлять многоцелевые корабли классов «корвет» и «фрегат», которые строятся серийно на отечественных верфях, а также малые артиллерийские и малые ракетные корабли. Указанное направление развития флота подтверждается Государственной программой вооружения (ГПВ) 2018–2027 гг., предусматривающей серийное строительство кораблей относительно небольшого водоизмещения, а разработка и строительство кораблей классов «эскадренный миноносец» и «авианосец» переносятся в более отдаленную перспективу.

Смещение акцента в сторону серийного строительства относительно недорогих кораблей для поддержания вымпельного состава флота наблюдается не только в ВМФ РФ, но и в ВМС основных морских государств. Это связано с тенденцией устойчивого роста стоимости морского вооружения и, как следствие, удорожанием тонны водоизмещения кораблей, а также с постепенным сокращением военных бюджетов основных морских держав в связи с уходом в прошлое планов глобальной ракетно-ядерной войны [1].

В свою очередь, опыт применения надводных кораблей в миротворческих операциях ООН в Ливане, операциях по борьбе с пиратством, гуманитарных операциях в Ливии и Тунисе свидетельствует о том, что корабли нового поколения должны проектироваться с учетом их адаптации под решение многих новых задач, ранее им не свойственных [2]. Показательным примером создания перспективных многоцелевых кораблей с учетом решения новых задач является проектирование фрегатов пр. F125 ВМС Германии [3]. Эти корабли создаются с учетом условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки. В связи с этим к системам и механизмам фрегата предъявляются повышенные требования к надежности, живучести, долговечности и ремонтнопригодности. Основной целью разработчиков является ведение коэффициента оперативной готовности до 5000 ч в год (коэффициент оперативного напряжения $K_{он} = 0,57$) для каждого корабля и обеспечение ресурса главных двигателей до проведения капитального ремонта 30 000 ч. Интервал между доковыми ремонтами определен в пять лет. Предполагаемый срок службы фрегата пр. F125 – 30 лет.

Решение подобного рода задач кораблями относительно небольшого во-

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 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*

доизмещения предполагает расширение театра оперативного их использования далеко за пределы прибрежной или даже ближней морской зоны. Появляется серьезная мотивация у конструкторов по приданию многоцелевым кораблям высокой автономности, т. е. увеличения дальности плавания и обеспечения возможности длительного пребывания в районах выполнения задач без необходимости пополнения запасов и восстановления технической готовности в местах базирования, что не может не сказаться на облике энергетической установки.

Еще в середине прошлого века стало понятно, что корабельные паросиловые установки (ПСУ) подошли к максимуму своего эффективного развития, т. е. когда дальнейшее их совершенствование сопровождается ценой значительных затрат при незначительном полученном эффекте. И, несмотря на использование данного типа ЭУ на отдельных, сохраняющихся до сих пор в составе ВМФ кораблях, вряд ли следует ожидать использования ПСУ в перспективе.

Атомные ЭУ в силу высокой стоимости создания, эксплуатации (обеспечение ядерной безопасности и специальных условий базирования) и утилизации, а также значительных габаритов и массы на надводных кораблях имеют весьма ограниченное распространение. В зарубежных ВМС использование атомной ЭУ на надводных кораблях ограничивается только авианосцами ВМС США.

Энергетические установки современных и перспективных многоцелевых надводных кораблей представлены, как правило, дизельными и газотурбинными двигателями, входящими в состав дизель-дизельных или дизель-газотурбинных агрегатов, составляющих основу пропульсивных комплексов кораблей, а также используемых в качестве приводов электрических генераторов. Они не утратили потенциала своего совершенствования и по настоящее время, продолжают активно развиваться и используются на надводных кораблях практически всех классов.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Дизельные двигатели обладают самой высокой топливной экономичностью по сравнению со всеми остальными тепловыми двигателями, в отличие от газотурбинных двигателей их экономичность остается высокой во всем диапазоне нагрузок [4].

На производство корабельных дизелей ориентированы такие мировые производители, как MTU и MAN (Германия), SEMT Pielstick (Франция), Wärtsila (Финляндия), Sulzer (Швейцария), Mitsubishi (Япония), Caterpillar (США), Paxman-Valenta (Великобритания) и многие другие.

На надводных кораблях в подавляющем большинстве случаев используются высокооборотные ($1500 \leq n \leq 2500$ об/мин) и среднеоборотные дизели ($750 \leq n < 1500$ об/мин) с одной или двумя ступенями наддува. На сегодняшний день зарубежными производителями разработаны высокоэффективные корабельные дизели большой агрегатной мощности, позволяющей использовать их не только в качестве вспомогательных двигателей, но и в качестве главных в составе пропульсивной установки.

Так, например, фирмой MTU разработан мощный ряд высокооборотных дизелей (рис. 1). Указанные двигатели имеют удельный расход топлива в пределах 220–225 г/(кВт·ч), частоту вращения соответственно 2450, 1500 и 1300 об/мин, двухступенчатый регулируемый турбонаддув с промежуточным охлаждением воздуха, электронную систему подачи топлива Common Rail. Ресурс до капитального ремонта дизелей MTU ряда составляет не менее 50 000 ч, что свидетельствует о возможности их использования в качестве главных двигателей в составе пропульсивной установки на кораблях от ракетного (артиллерийского) катера (водоизмещением до 500 т) до фрегата включительно (водоизмещением до 8000 т).



Рис. 1. Семейство дизельных двигателей фирмы MTU (Германия)

Мировым лидером по производству корабельных среднеоборотных четырехтактных дизелей является концерн Wärtsilä, производящий двигатели в самом широком диапазоне мощностей. Так, например, четырехтактный дизельный двигатель Wärtsilä 31 (рис. 2), производство которого было недавно налажено финской компанией Wärtsilä Ship Power, попал в Книгу мировых рекордов Гиннеса и удостоился звания самого эффективного дизельного двигателя в мире [5]. Вес двигателя Wärtsilä 31 составляет от 56 до 85 т., длина – от 6 до 9 м при ширине порядка 3,5 м, т.е. двигатель имеет весьма существенные габариты и массу, ограничивающие его широкое использование на кораблях небольшого водоизмещения.

На кораблях классов «эскадренный миноносец» и «авианосец» ограничения по массе и габаритам для двигателей Wärtsilä не столь существенны, о чем свидетельствует опыт применения дизелей указанной фирмы на современных британских эсминцах типа 45 «HMS Daring» (2×Wärtsilä V12 VASA32 (2×2000 кВт)) и авианосцах типа «HMS Queen Elizabeth» (2×Wärtsilä V14 46F 2×9000 кВт и 2×Wärtsilä V16 46F 2×11000 кВт).



Рис. 2. Четырехтактный дизельный двигатель Wärtsilä 31

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

К сожалению, российское дизелестроение пока не может демонстрировать аналогичные успехи в силу длительного нахождения отрасли в кризисе. Неблагополучное состояние предприятий стало следствием долговременного развития следующих негативных факторов [6]:

- банкротства и перепрофилирования в процессе приватизации и после нее ряда дизелестроительных предприятий и ведущих организаций отраслевой науки;
- значительной изношенности основных производственных фондов;
- отсутствия прикладных научных исследований и опытно-конструкторских работ, определяющих прогресс в дизелестроении;
- ликвидации (как нерентабельных) опытно-конструкторских подразделений и производств на дизелестроительных заводах и др.

Отечественные дизелестроительные заводы производят дизельные двигатели в ограниченных диапазонах мощности и ориентированы на определенный круг потребителей.

Основными производителями корабельных дизельных двигателей в России являются ПАО «Звезда», ОАО «Коломенский завод» и ООО «Уральский дизель-моторный завод» (УДМЗ).

В стране образовалась свободная ниша на рынке мощных среднеоборотных дизелей для ВМФ, такую продукцию выпускает только ОАО «Коломенский завод», но его приоритетным направлением является выпуск тепловозных дизелей типа Д49. ВМФ в первую очередь требуются высокооборотные дизели агрегатной мощностью в диапазоне 700–6000 кВт и среднеоборотные дизели в качестве главных двигателей агрегатной мощностью от 4500 до 12000 кВт.

В начале 60-х гг. на заводе «Звезда» было освоено серийное производство принципиально новых сверхлегких, мощных звездообразных дизельных двигателей ЧН16/17, не имеющих аналогов в мире. В настоящее время ПАО «Звезда» производит легкие высокооборотные кора-

бельные дизельные двигатели и агрегаты размерности ЧН16/17 и ЧН18/20 в мощностном диапазоне 500–7400 кВт, а также дизель-генераторы на базе дизельных двигателей собственного производства мощностью 315–1000 кВт.

Например, корабельный дизель ЧН16/17 M507A (рис. 3) имеет габаритные размеры 7 × 1,82 × 2,49 м, а его масса составляет 17,1 т. На частоте 20 000 об/мин дизель развивает мощность 7350 кВт, при этом удельный расход топлива составляет 226–232 г/(кВт·ч). Удельная масса дизеля является минимальной среди всех возможных отечественных и зарубежных корабельных аналогов, и составляет ок. 2,5 кг/кВт.

При относительно минимальных габаритах и массе корабельных дизельных двигателей ПАО «Звезда» их существенными недостатками, по сравнению с зарубежными аналогами, являются крайне низкий ресурс, высокий расход топлива и сложность конструкции, что мешает широкому их внедрению на многоцелевых кораблях ВМФ. Ресурс до переборки современных дизелей этого предприятия не превышает 4000 ч, а ресурс до списания – не более 12 000 ч.

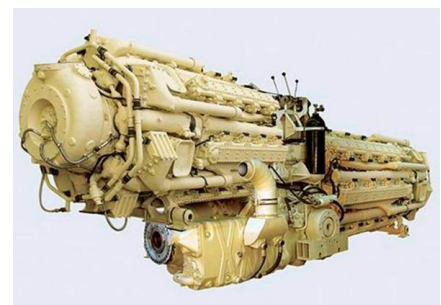


Рис. 3. Четырехтактный дизель ПАО «Звезда» M507A

Двигатели ПАО «Звезда» в настоящее время устанавливаются на малых ракетных и артиллерийских кораблях, тральщиках и катерах ВМФ, а также на кораблях и катерах Погранвойск ФСБ России.

АО «Коломенский завод» является разработчиком, изготовителем и поставщиком среднеоборотных дизельных двигателей. Основной его продукцией в последние годы стали четырехтактные среднеоборотные двигатели с га-

зотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха типа Д49 размерности ЧН26/26 (рис. 4). Семейство четырехтактных дизелей типа Д49 модульной конструкции с числом цилиндров от 8 до 20 на заводе разработано в начале 60-х гг. и выпускается до сих пор.



Рис. 4. Четырехтактный дизельный двигатель типа Д49

Для кораблей ВМФ двигатели ЧН26/26 выпускаются в 16-цилиндровом исполнении в двух модификациях: 10Д49 мощностью 3825 кВт при 1000 об/мин (для больших десантных кораблей пр. 11711 и фрегатов пр. 22350) и 16Д49 мощностью 4412 кВт при 1100 об/мин (для корветов пр. 20380 и пр. 20385).

Основные преимущества двигателей производства Коломенского завода – их надежность и высокая ремонтпригодность, которая обусловлена модульным принципом конструкции дизелей, подвесными коленчатым валом и цилиндропоршневым комплектом, что позволяет проводить текущие и капитальные ремонты на месте их установки. Немаловажными преимуществами являются топливная экономичность и меньшая, по сравнению с импортными аналогами, цена как самих двигателей, так и запасных частей, применяемых отечественных масел и оказываемых сервисных услуг.

На ООО «Уральский дизель-моторный завод» (УДМЗ) для ВМФ развернуты работы по производству V-образных дизелей в 6-, 8- и 12-цилиндровом исполнении размерностью 21/21 (ДМ-21), что частично компенсирует отсутствие современного серийного высокооборотного двигателя для ВМФ, способного обеспечить потребные мощности от 500 до 2000 кВт (рис. 5).



Рис. 5. Дизель-генератор АДГ-1600 с дизелем 12ДМ-21

Большой опыт по разработке и производству дизельных двигателей позволил заводу в 1990-х гг. взяться за создание автоматизированных дизель-генераторов кораблей и судов с неограниченным районом плавания. Дизель-генераторы производства УДМЗ АДГ-630 с дизелем 6ДМ-21 устанавливаются на современных корветах пр. 20380 и пр. 20385, а АДГ-1000 НК с дизелем 8ДМ-21 – на фрегатах пр. 22350 и больших десантных кораблях пр. 11711.

Для придания нового импульса развитию отечественного дизелестроения было принято Распоряжение Правительства РФ от 21 апреля 2011 г. № 710-р, утвердившее концепцию подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения». Позже было принято Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 336 «О внесении изменений в подпрограмму «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» Федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база» на 2007–2011 годы». Основная цель реализации ФЦП – создание типоразмерного ряда дизелей новой размерности, которая продиктована требованиями стратегического развития отраслей экономики России.

К сожалению, ФЦП в области дизелестроения до настоящего времени не реализована. Тем не менее в рамках данной программы на ОАО «Коломенский завод» ведутся опытно-конструкторские работы (ОКР) по созданию дизеля Д500 К (рис. 6) новой размерности 26,5/31 (ЧН26,5/31) с цилиндрической мощностью ~ 370 кВт (500 л.с.) при частоте вращения 1000 об/мин.

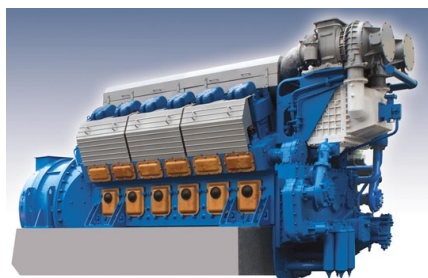


Рис. 6. Дизельный двигатель ЧН26,5/31 Д500К разработки ОАО «Коломенский завод»

Современный четырехтактный, комбинированный двигатель внутреннего сгорания размерностью 26,5/31 V-образный 12-, 16- и 20-цилиндрового исполнения с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха предназначен для широкого ряда промышленных изделий нового поколения, в том числе

тепловозов, надводных кораблей и судов, атомных электростанций.

В зависимости от числа цилиндров двигатели будут охватывать диапазон мощностей от 3500 до 7360 кВт, образующих типоразмерные ряды, в которых объединены унифицированные по конструкции модификации, отличающиеся числом цилиндров, уровнем форсирования, комплектацией и др.

На предприятии также разработали дизели нового поколения Д300 типоразмерного ряда ЧН26/28, которые можно применять для судостроения, локомотивостроения, в атомной и малой энергетике. Типоразмерный ряд двигателей Д300 создан для замены устаревших двигателей типа Д49. В конструкторском облике этого двигателя сохранены лучшие технические решения двигателя Д49.

Использование инновационных технологий, применение новейших разработок в создании двигателей типа Д500 и Д300 позволит удовлетворить современные требования к техническим, экологическим и экономическим показателям.

В рамках ФЦП на ООО «УДМЗ» создается также линейка дизелей ДМ-185 (проект «Энергодизель»). Контракт с Минпромторгом на разработку линейки дизелей мощностью 1000–3000 кВт для различных отраслей был подписан в 2012 г. В эту работу также инвестировал собственные средства машиностроительный холдинг «Синара-Транспортные Машины», куда входит УДМЗ.

Осознавая острую потребность в отечественных высокооборотных корабельных дизельных двигателях, по характеристиках, не уступающих лучшим зарубежным аналогам, в АО «ЦМКБ «Алмаз» были разработаны и выданы ООО «УДМЗ» технические задания в рамках составной части опытно-конструкторских работ (СЧ ОКР) по созданию автоматизированных дизель-генераторов АДГ-800 (800 кВт) и АДГ-1600 (1600 кВт) на основе дизелей серии ДМ-185, в счет строительной стоимости корвета пр. 20386.

После успешной разработки и проведения испытаний перспективные двигатели серии ДМ-185 (рис. 7) смогут покрывать мощностной диапазон в пределах 700–4800 кВт.



Рис. 7. Дизельный двигатель нового поколения ДМ-185 разработки ООО УДМЗ

Основным их предназначением станет замена относительно устаревших и менее надежных дизелей серии ДМ-21, а также использование в пропульсивных комплексах и в составе автоматизированных дизель-генераторов перспективных кораблей. Для реализации указанных целей на УДМЗ 12 июля 2018 г. был запущен сборочный цех и комплекс по выпуску высокооборотных дизелей нового поколения.

Ожидается, что такие двигатели не только не будут уступать ведущим мировым аналогам, но по ряду параметров будут иметь лучшие показатели, чем у прямых аналогов иностранных конкурентов. Двигателями серии ДМ-185 можно будет оснащать надводные корабли классов «корвет», «фрегат», а также дизель-электрические и атомные подводные лодки. Ресурс двигателя рассчитан на 70 000 часов без капитального ремонта.

В рамках реализации проекта на УДМЗ планируется создание полноценного семейства высокооборотных дизельных двигателей как в V-образном, так и в рядном исполнении, в частности: L6, L8, V12, V16, V20. Важно отметить, что в цехах предприятия установлено новейшее технологическое оборудование.

После организации опытного производства, начала и завершения испытаний опытных образцов завод сможет выйти на плановые мощности – 300 двигателей в год в ближайшей перспективе, а в среднесрочной перспективе ежегодно выпускать 500 моторов с учетом модернизации дизеля и форсировки по мощности до 6000 кВт.

После реализации проектов по разработке двигателей серий Д500 К (ОАО «Коломенский завод») и ДМ-185 (ООО УДМЗ), Россия сможет приблизиться к лучшим мировым аналогам зарубежных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизелей.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Создание корабельных газотурбинных установок началось в 20-х гг. XX в., использование на кораблях – с 50-х гг., а совершенствование продолжается и по настоящее время [3].

Быстрому внедрению газотурбинных двигателей (ГТД) на надводных кораблях способствовали их неоспоримые преимущества перед другими тепловыми двигателями, такие как:

- большая мощность в одном агрегате;
- компактность, малая масса (рис. 8);
- уравновешенность движущихся элементов;
- легкий и быстрый запуск, в том числе при низких температурах;
- хорошие тяговые характеристики;

- высокая приемистость и хорошая управляемость.

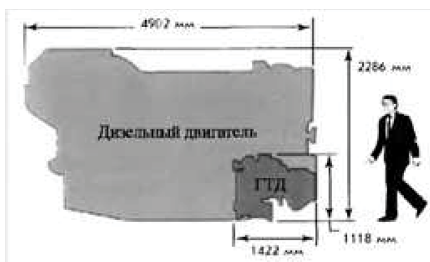


Рис. 8. Соотношение габаритов дизельного и газотурбинного двигателя одинаковой мощности

Основным недостатком морских ГТД первого и второго поколений была относительно низкая экономичность. Однако по мере их развития и совершенствования от поколения к поколению, эта проблема достаточно быстро преодолевалась, чему способствовало опережающее развитие технологически близких авиационных ГТД и перенос передовых технологий в морские двигатели. Следует отметить, что и в настоящее время морские ГТД простого открытого цикла 4-го и даже 5-го поколений уступают по экономичности современным дизельным двигателям, в особенности на частичных нагрузках (менее 70% от номинальной).

Мировыми зарубежными лидерами в области производства корабельных ГТД являются компании General Electric (GE, США) и Rolls-Royce (RR, Великобритания).

Самым популярным морским ГТД, используемым на кораблях ВМС 24 стран мира, является двигатель GE LM2500 агрегатной мощностью 18,4 МВт и КПД – 35,4%, разработанный в 1969 г. Первыми боевыми кораблями, на которых стал устанавливаться данный двигатель, были эсминцы серии Spruance, строившиеся для ВМС США в период с 1972 по 1983 г.

ГТД GE LM2500 представляет собой двухвальный двигатель простого открытого цикла, разработанный на базе авиационных двигателей GE TF39 и CF6–6. Данная модель является самой «опытной» высокоэффективной газовой турбиной в диапазоне мощности от 22 до 33 МВт. В настоящее время компанией GE отгружено около 2100 единиц ГТД, находящихся в разных точках мира. Газовая турбина LM2500 – одна из самых продаваемых уже более чем 40 лет и поддерживает репутацию самого надежного ГТД в своем классе. Семейство ГТД LM2500 продолжает развиваться (рис. 9).

Так, в период с 1991 по 1995 г. двигатель был доработан до модели GE LM2500+ мощностью 29 МВт и КПД 37,2%, а к 2005 г. – до модели GE LM2500+G4 мощностью 35,32 МВт и КПД 37,2%.

Газотурбинными двигателями семейства GE LM2500 оснащаются зарубежные корабли самого широкого спектра классов, в частности:

- фрегаты серии «Oliver Hazard Perry» (находились на вооружении 8 государств) и серии FREMM (ВМС Франции и Италии);
- эскадренные миноносцы серий «Spruance» (выведены из состава ВМС США), «Kidd» (выведены из состава ВМС США и проданы Тайваню), «Arleigh Burk» (ВМС США), а также серии «Kongo» и «Atago» (ВМС Японии);
- ракетные крейсера серии «Ticonderoga» (ВМС США);
- авианосцы «Cavour» (ВМС Италии) и «Principe de Asturias» (ВМС Испании) и др.

Анализируя развитие корабельных ГТД за рубежом, нельзя не упомянуть о разработке компанией Rolls-Royce двигателей типа WR-21 и MT30, которые следует соотносить к ГТД 5-го поколения.

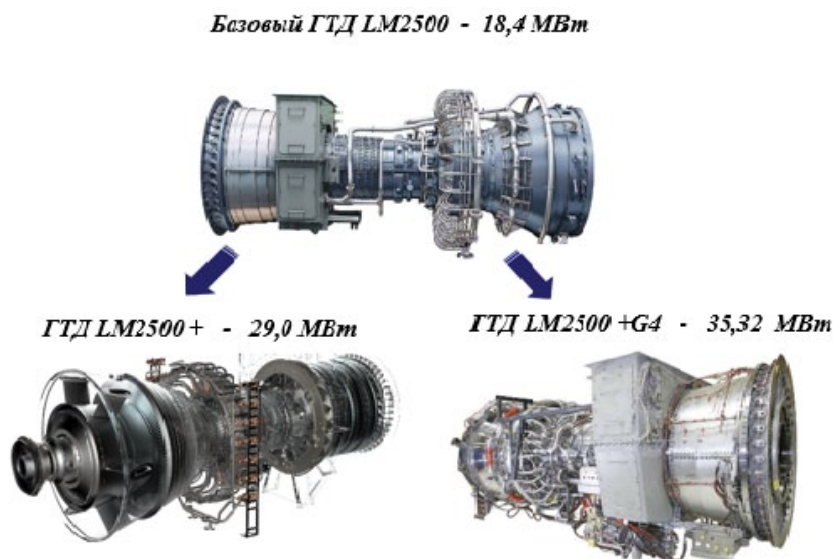


Рис. 9. Развитие семейства корабельных ГТД GE LM2500

Двигатель WR-21 (рис. 10) был разработан и произведен международным консорциумом, запущенным Northrop Grumman.

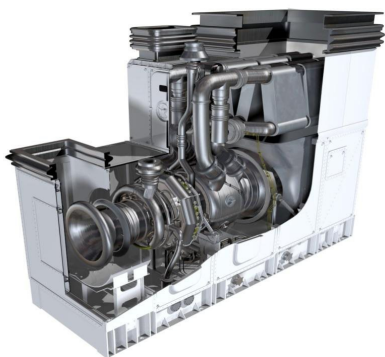


Рис. 10. ГТД WR-21 сложного цикла фирмы Rolls-Royce

Контракт на создание ГТД WR-21 был заключен в декабре 1991 г. с группой, возглавляемой фирмой Westinghouse. В эту группу входили: Westinghouse Marine Division – генеральный подрядчик и создатель агрегата, Rolls-Royce – проектирование ГТД и проведение ОКР, Allied-Signal – разработчик регенератора и охладителя, CAE Electronics – разработчик системы управления.

К 2004 г. были завершены разработка и испытания двигателя. Временные затраты на его создание составили порядка 15 лет, а финансовые – более 2,0 млрд. долл., что свидетельствует о сложности и трудоемкости проведенных работ. На сегодняшний день этот двигатель используется в составе ЭУ британских эсминцев пр. 45 серии «Daring» (в ВМС – 6 единиц).

ГТД WR-21 работает по сложному циклу с промежуточным охлаждением рабочего тела и регенерацией тепла уходящих газов (рис. 11) и обеспечивает порядка 30% экономии топлива на корабле по сравнению с ГТД простого открытого цикла. КПД двигателя продолжает оставаться высоким даже при существенном снижении нагрузки [7].

Такая экономичность обеспечивается поддержанием постоянной температуры рабочего тела перед рекуператором (регенератором) при снижении мощности ГТД за счет прикрытия соплового аппарата свободной силовой турбины. Промежуточный охладитель выполнен в виде компактного воздушно-жидкостного теплообменника, расположенного по периметру между компрессорами высокого и низкого давлений вокруг двигателя (см. рис. 11).

Так, на нагрузке ГТД порядка 30% КПД ГТД WR-21 составляет около 43%, что сопоставимо с дизельными двигателями, имеющими самую высокую термодинамическую эффективность [7–9].

Невзирая на колоссальные преимущества ГТД WR-21 в плане топливной экономичности по сравнению с ГТД простого открытого цикла, зарубежный опыт эксплуатации ЭМ УРО пр. 45 типа «Daring» при плавании кораблей в тропических условиях в Персидском заливе показал низкую надежность из-за выхода из строя регенераторов.

В настоящее время командование британских ВМС планирует модернизировать ЭУ эсминцев пр. 45 путем установки дополнительного дизель-генератора фирмы Wärtsilä мощностью ок.6,0 МВт с целью обеспечения воз-

можности плавания эсминцев в тропиках маршевыми ходами.

Вторым зарубежным корабельным ГТД 5-го поколения, считается самый мощный корабельный двигатель типа MT30 корпорации Rolls-Royce, агрегатной мощностью 36 МВт и КПД более 40%, находящийся широком применении на кораблях новых проектов ВМС Великобритании, США, Японии, Южной Кореи и Италии.

ГТД простого открытого цикла MT30 представляет собой морской вариант авиационного двигателя Trent 800 фирмы Rolls-Royce (рис. 12), разработанный для применения на боевых кораблях и торговых судах, где требуется высокая энергетическая плотность при компоновке с минимальными массогабаритными характеристиками стандартного промышленного двигателя мощностью не менее 25 МВт.

Компания Rolls-Royce начала разработку ГТД MT30 на инициативной основе в 2000 г., а производство и поставка нового двигателя начались с 2005 г., что свидетельствует о сжатых сроках проведения комплекса работ: НИР, ОКР, испытания, серийное производство. Финансовые затраты также составили существенно меньшую величину по сравнению с затратами на создание ГТД типа WR-21.

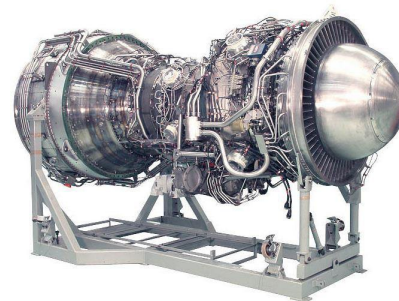
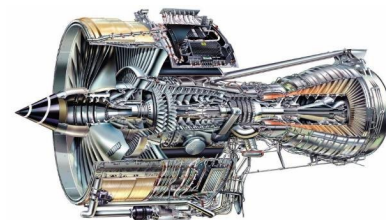


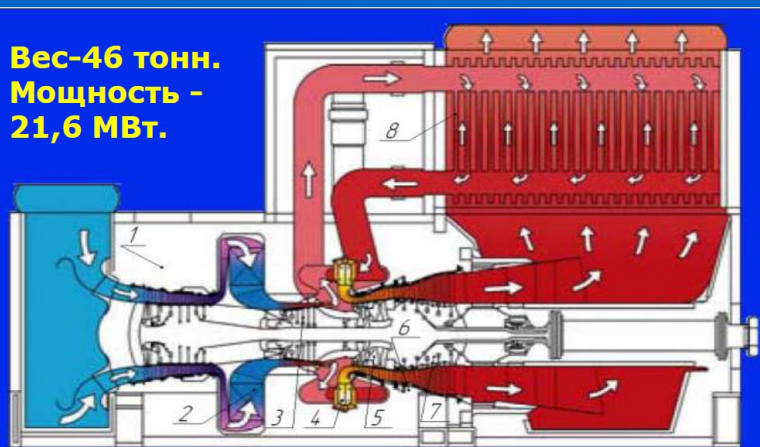
Рис. 12. Морской ГТД MT30 и авиационный ГТД Trent 800

ГТД MT30 имеет габариты 8,6×3,95×4,14 м, массу – 6,2 т (масса установки вместе с фундаментом и газоходами – 24 т), его КПД на полной нагрузке составляет 40,7%, при удельном расходе топлива – 0,207 кг/(кВт·ч).

Корабельные газотурбинные двигатели серии MT30 являются самыми мощными в мире, их отличают эффективность и надежность при лучшем соотношении мощности и массы. Данные двигатели используются на таких бое-

Конструктивная схема морского ГТД WR-21 сложного цикла (регенерация тепла + промежуточное охлаждение) (без учета электрогенератора, электродвигателя)

Вес-46 тонн.
Мощность - 21,6 МВт.



1 – КНД; 2 – отвод, подвод воздуха из промежуточного охладителя; 3 – КВД; 4 – 12 радиальных камер сгорания; 5 – ТВД; 6 – ТСД; 7 – ТНД; 8 – рекуператор

20

Рис. 11. Особенности конструктивного исполнения ГТД WR-21 сложного цикла компании Rolls-Royce

вых кораблях, как авианосцы британского флота «HMS Queen Elizabeth» и «HMS Prince of Wales», а также перспективные фрегаты серии 26 (Global Combat Ship), корабли береговой обороны ВМС США класса LCS (Littoral Combat Ship) «Freedom» и эсминцы DDG-1000 «Zumwalt», фрегаты ВМС Южной Кореи класса Daegu, новый многоцелевой универсальный десантный корабль ВМС Италии «Trieste», фрегаты серии 30FFM «Kumano» морских сил самообороны Японии.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

После 1990 г. и по настоящее время, когда ведущие мировые энергомашиностроительные корпорации достигли серьезных успехов в развитии и совершенствовании корабельных ГТД, в России решалась задача освоения и локализации производства морских ГТД на отечественных предприятиях, после потери базы газотурбостроения СПБ «Машпроект» и ПО «Зоря» в г. Николаеве (Украина) в связи с распадом СССР. Этот сложный процесс растянулся на период более 20 лет.

Отечественным энергомашиностроительным предприятием ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск) на базе унифицированного газогенератора ГТД-4 РМ (Е70/8 РД) была завершена разработка корабельных ГТД 4-го поколения типа М75РУ (ГСИ 2006 г.) и М70ФРУ (ГСИ 2008 г.), мощностью соответственно 5000 и 10 000 кВт (рис. 13). К 2018 г. также была завершена локализация производства ГТД М90ФР мощностью 20 000 кВт (см. рис. 14), который до этого времени создавался совместными усилиями между предприятиями России и Украины, соответственно на ПАО «ОДК-Сатурн» и ГП НПКГ «Зоря-Машпроект».

Локализация производства указанных двигателей на отечественном предприятии ознаменовало собой своеобразный этап освобождения отечественного ВМФ от иностранной зависимости, связанной с поставками ГТД и их комплектующих для надводных кораблей.

Развитие корабельных ГТД с начала их использования на кораблях от поколения к поколению осуществлялось в соответствии с ужесточением требований к силовой установке и обеспечивалось повышением параметров рабочего процесса, применением новых материалов, перспективных технологий и новых технических решений.

С учетом наличия в ВМС передовых морских держав ГТД, которые могут быть отнесены к двигателям 5-го поколения, проблема целесообразности их разработки для ВМФ РФ, как никогда,



Рис. 13. Семейство корабельных ГТД разработки ПАО «ОДК-Сатурн»

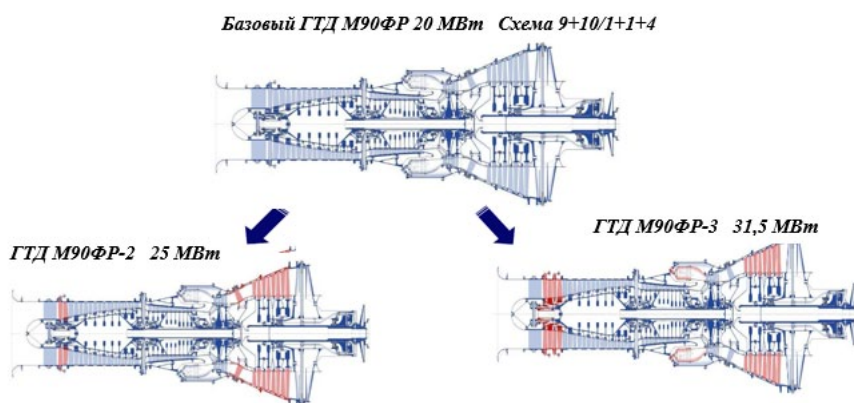


Рис. 14. Варианты совершенствования базового ГТД М90ФР

актуальна. К такой проблеме с пониманием подходят инженеры ПАО «ОДК-Сатурн», где ведутся работы по формированию научно-технического задела, необходимого для создания перспективных морских газотурбинных двигателей.

Совместно с отраслевыми институтами, в том числе ЦИАМ им. Баранова и «Крыловским государственным научным центром», выполнен ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по формированию облика морских газотурбинных двигателей 5-го поколения. По итогам этих работ выполнено предварительное проектирование в рамках НИР, разработано техническое задание и соответствующие предложения для федеральной целевой программы [10], а также в рамках ОКР «Динамика» разработана Программа создания морских ГТД.

ПАО «ОДК-Сатурн» рассматривает несколько вариантов разработки перспективного двигателя, один из них – развитие семейства морских ГТД на базе ГТД М90ФР или М70ФРУ по аналогии с развитием корабельного ГТД компании General Electric LM2500

[11, 12]. Так, путем добавления одной или двух нулевых ступеней компрессора низкого давления к базовому ГТД М90ФР и форсированием параметров рабочего тела можно создать линейку ГТД мощностью соответственно 25 и 31,5 МВт (до 34 МВт включительно) (рис. 14). Характеристики различных вариантов модернизации базового ГТД М90ФР представлены в таблице [табл. 1, 11, 12].

Существует еще одна, принципиально новая, концепция создания перспективного двигателя, также анонсированная ПАО «ОДК-Сатурн» [11, 12], озаглавленная как разработка перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью до 35 МВт (рис. 15). При ее реализации используются отдельные отработанные технологии по двигателю М70ФРУ, изделию 30 (авиационный двигатель для самолета 5-го поколения СУ-57) и ГТД-110 М.

Из анализа характеристик двигателя следует, что он не будет уступать разработанным зарубежным аналогам по агрегатной мощности и по КПД.

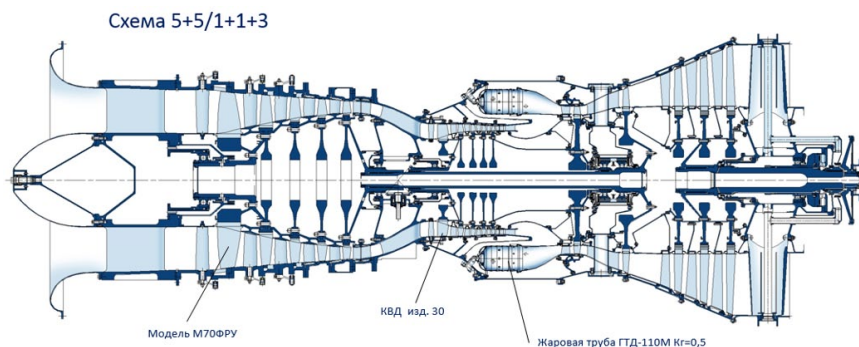


Рис. 15. Разрез перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 (проект ПАО «ОДК-Сатурн»)

Масса перспективного двигателя, без рамы и газоотвода, должна составить ок. 6,4 т, что практически в два раза меньше массы базового ГТД М90ФР (ок. 11,6 т).

Существенное снижение массы перспективного ГТД происходит за счет уменьшения числа ступеней КНД и КВД практически в два раза по сравнению с базовым двигателем, а также числа ступеней силовой турбины (схема двигателя 5+5/1+1+3), при улучшении его теплофизических характеристик. Габариты двигателя по сравнению с ГТД М90 ФР также снижены ($L = 4040$ мм, $D_{вх} = 1054$ мм, $D_{кв} = 1947$ мм, $D_{ст} = 1676$ мм).

Для разработки и создания такого двигателя одновременно с желанием ПАО «ОДК-Сатурн» и готовностью Минпромторга РФ финансировать проект в рамках реализации федеральной целевой программы необходимо консолидировать усилия многих организаций в области корабельной энергетики в понимании необходимости его разработки, в частности: НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ «ВМА», Главного штаба ВМФ и разработчиков боевых кораблей – проектно-конструкторских бюро.

В заключении настоящего обзора следует отметить, что ведущими зарубежными корпорациями разработаны эффективные корабельные высокооборотные и среднеоборотные дизельные двигатели высокой агрегатной мощности и моторесурса, что позволяет использовать их в качестве главных двигателей в составе пропульсивных установок и приводов генераторов многоцелевых надводных кораблей.

Для ВМФ РФ компаниями АО «Коломенский завод» и ООО «УДМЗ» ведутся опытно-конструкторские работы по созданию дизельных двигателей, по характеристикам не уступающим зарубежным аналогам.

Основной тенденцией в развитии корабельных газотурбинных двигателей является увеличение их агрегатной мощности путем форсирования разработанных и хорошо зарекомендовавшихся в эксплуатации двигателей, либо путем их конвертации из мощных, хорошо себя зарекомендовавших в эксплуатации авиационных двигателей.

В ПАО «ОДК-Сатурн» имеется научно-технический и производственный задел для форсирования разработки базового двигателя М90ФР мощностью соответственно 25 и 34 МВт или перспективного ГТД 5-го поколения мощностью 35 МВт и КПД более 40%, что позволит таким двигателям по характеристикам соответствовать уровню развития лучших мировых аналогов GE LM2500+G4 или RR MT30.

Для разработки и создания перспективных отечественных тепловых двигателей, по своим характеристикам не уступающих лучшим мировым аналогам, необходима консолидация усилий ведущих проектно-конструкторских бюро, научно-исследовательских организаций, таких как НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ «ВМА», Управления кораблестроения ВМФ, Крыловского государственного научного центра и др.

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. – С. 86–90.
3. Захаров И. Г., Арефьев Я. Д., Воронович Н. А. Научные проблемы корабельной энергетики. РАН. – Российская наука Военно-Морскому Флоту. – М., 1997. – С. 210–254.
4. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
5. Интернет ресурс: <https://www.wartsila.com/rus/home/02-06-2015-new-wartsila-31-engine-achieves-guinness-world-records-title-ru>.
6. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 336 «О внесении изменений в подпрограмму «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» на 2007 – 2011 годы».
7. Commander Colin R English Royal Navy. The WR-21 Intercooled Recuperated Gas Turbine Engine – Integration Into Future Warships. – Proceedings of the International Gas Turbine Congress, 2003, Tokyo, November 2–7.
8. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61; № 3. – С. 58–61.
9. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 62–70.
10. ОДК формирует научно-технический задел для создания морских двигателей 5-го поколения. – Интернет ресурс: <https://www.aviaport.ru/digest/2018/03/01/529125.html>.
11. Чутин П. В. Российский газотурбинный двигатель М90 ФР. – Доклад на секции НТО им. А. Н. Крылова, СПб., 21.03.2018 г.
12. Чутин П. В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на межотраслевой науч.-практ. конф. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018. ■