

ТРУДЫ

КРЫЛОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА

2(380) | 2017

TRANSACTIONS

OF THE KRYLOV STATE RESEARCH CENTRE



ISSN 2542-2324

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
SAINT-PETERSBURG

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

В.С. Никитин¹, В.Н. Половинкин², В.В. Барановский³

^{1,2} ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург

³ ВУНЦ ВМФ «ВМА», Санкт-Петербург

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Объект и цель научной работы. Объектом исследования являются отечественные дизельные энергетические установки (ДЭУ) боевых надводных кораблей, подводных лодок различных классов, вспомогательных судов. Цель статьи – сформулировать требования к перспективным образцам главных дизелей и дизель-генераторов, обозначить перспективы создания отечественных ДЭУ и их применения на современных боевых кораблях ВМФ РФ.

Материалы и методы. При изложении использованы методы системного анализа и системного подхода, а также принципы исторической преемственности и сравнимости аналогов (зарубежных и отечественных).

Основные результаты. Исследованы тенденции развития ДЭУ, главных дизелей и вспомогательных дизель-генераторов, систематизированы их основные достоинства и недостатки. Отражены наиболее перспективные конструкции основных элементов энергетических установок данного типа. Проанализированы технико-экономические характеристики современных и перспективных ДЭУ. Отражена проблема импортозамещения в отечественном дизелестроении.

Заключение. Предложены варианты дальнейшего развития отечественных ДЭУ. Обоснованы требования к основным элементам ДЭУ применительно к боевым надводным кораблям и неатомным подводным лодкам.

Ключевые слова: корабельные дизельные энергетические установки, дизель, дизель-генераторы, неатомные энергетические установки, боевые корабли с дизельными энергетическими установками.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития отечественных корабельных дизельных энергетических установок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2017; 2(380): 70–91.

УДК 629.5.03-843.6

DOI: 10.24937/2542-2324-2017-2-380-70-

SHIP POWERPLANTS

V.S. Nikitin¹, V.N. Polovinkin², V.V. Baranovsky³

^{1,2} Krylov State Research Centre, Moskovskoe shosse 44, St. Petersburg, Russia

³ ME & RC Kuznetsov Naval Academy, nab. Ushakovskaya 17/1, St. Petersburg, Russia

CURRENT STATUS AND FUTURE DEVELOPMENT PROSPECTS OF RUSSIAN MARINE DIESEL POWER PLANTS.

Object and purpose of research: This paper studies Russian diesel power plants of naval ships, submarines of various classes and auxiliary vessels. The paper is intended to formulate the requirements to advanced main diesels and diesel-generators to trace out the development prospects of Russian diesel power plants and their application aboard Russian naval ships.

Materials and methods: The study follows the methods of system analysis and system approach, as well as the principles of historical continuity and comparability of similar Russian and foreign marine diesel power plants.

Main results: The paper investigates the trends in development of marine diesel power plants, main diesels and auxiliary diesel-generators, systematizing their main advantages and disadvantages. It also discusses the most promising designs for the main components of these power plants, analyses technical and economic parameters of modern and advanced diesel power plants, as well as tackles the issue of import substitution in Russian diesel building.

Conclusion: The paper suggests further development variants for Russian diesel power plants, justifying the requirements to the main elements of diesel power plants intended for application aboard naval ships and conventional submarines.

Keywords: marine diesel power plants, diesel, diesel generators, conventional power plants, naval ships with diesel power plants.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Nikitin V.S., Polovinkin V.N., Baranovsky V.V. Current status and future development prospects of Russian marine diesel power plants. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2017; 2(380): 70–91. (in Russian)

УДК 629.5.03-843.6

DOI: 10.24937/2542-2324-2017-2-380-70-91

Выполненный анализ свидетельствует о том, что у российского машиностроения и кораблестроения имеются все потенциальные возможности по созданию перспективных судовых и корабельных как атомных, так и неатомных энергетических установок любого требующегося типа, предназначения и мощности. К основным видам неатомных энергоустановок (НЭУ), которые применяются и в перспективе будут применяться на кораблях, традиционно относят котлотурбинные (КТЭУ), дизельные (ДЭУ) и газотурбинные (ГТЭУ), а также их комбинированное сочетание. Перечень возможных вариантов корабельных комбинированных энергетических установок (ЭУ) включает в себя следующие схемные решения:

- дизель-дизельная (ДДЭУ);
- дизель-газотурбинная (ДГТЭУ);
- газо-газотурбинная (ГГТЭУ);
- дизель-электрическая газотурбинная (ДЭГТЭУ);
- газотурбинная – электрическая (ГТЭЭУ);
- котло-газотурбинная (КГТЭУ);
- атомно-котлотурбинная (АКТЭУ);
- атомно-газотурбинная (АГТЭУ).

Основу корабельных энергетических установок (КЭУ) составляют тепловые двигатели (ТД), которых в послевоенный период для ВМФ СССР было создано три поколения (табл. 1). Сегодня отечественное машиностроение работает над созданием отдельных образцов ТД четвертого поколения. Примером разрабатываемого двигателя может служить, например, дизель Д500К Коломенского завода.

Таблица 1. Поколения отечественных тепловых двигателей

Table 1. Generations of Russian thermal engines

Тип ЭУ	Тепловые двигатели		
	1 поколение (1945-1960 гг.)	2 поколение (1960-1975 гг.)	3 поколение (1975-1990 гг.)
ГТЭУ, ГТД	М2, М3 (КПД $\eta < 0,15$)	ДТ-59, М5, М7 ($\eta < 0,27$)	М75, М70, М90 ($\eta < 0,34$)
ДЭУ, дизели	37Д, 30Д, 40ДМ ($\eta < 0,37$), М50, М503 ($\eta < 0,37$), 47В-16 ($\eta < 0,36$)	Д42, Д43 ($\eta < 0,38$), М401А, М504 ($\eta < 0,38$), 61,58 ($\eta < 0,37$)	Д49, Д56 ($\eta < 0,40$), 470М, М507, ДРА510 ($\eta < 0,39$), 68, 86 ($\eta < 0,39$), ДМ21 ($\eta < 0,41$)
КТЭУ, главные котлы, ГТЗА	КВ-76, ТВ-8 ($\eta < 0,15$)	КВН-95, ТВ-12 ($\eta < 0,16$)	КВГ-3, ГТЗА-674 ($\eta < 0,18$)

К числу наиболее востребованных судовых и корабельных ЭУ следует в первую очередь отнести ДЭУ, даже с учетом далекой перспективы развития ВМФ и других морских транспортных средств. На рис. 1 представлено примерное распределение типов судовых энергетических установок (СЭУ) с середины XX до середины XXI в. Предпочтительные мощностные характеристики СЭУ будут определяться типом судов, их водоизмещением и назначением. Максимальная мощность ДЭУ для судов водоизмещением свыше 150–200 тыс. т может составлять 45–50 МВт и выше.

В настоящее время дизельному двигателю исполняется примерно 120 лет, однако он и на сегодняшний день является самой эффективной тепловой машиной. Коэффициент полезного действия (КПД) у дизеля даже без системы утилизации отходящего тепла составляет 45 % и выше, его значение при наличии комплексной системы утилизации может достигать 60 %. По этой причине дизели являются самыми востребованными ТД в мире. Например, только народному хозяйству России ежегодно требуется около 250 тысяч дизельных двигателей разных мощностных характеристик.

Вплоть до 1991 г. СССР входил в тесный клуб стран (США, Германия, Англия, Италия, Швейцария, Финляндия и Япония), имеющих развитое дизелестроение. Отечественное судовое, тепловозное и промышленное дизелестроение всегда являлось одной из наиболее наукоемких отраслей тяжелой промышленности, поэтому ее развитию соответствовала и научно-

производственная структура в виде «Союздизельмаша» Министерства тяжелого и транспортного машиностроения СССР, которая объединяла 14 крупных заводов, 3 института, самостоятельные конструкторские бюро турбокомпрессоров и дизелей. Сегодня наша страна, конечно, утратила позицию одного из лидеров мирового дизелестроения. Однако при должной поддержке на уровне государства и регионов отечественное дизелестроение может занять достойное место на мировом рынке.

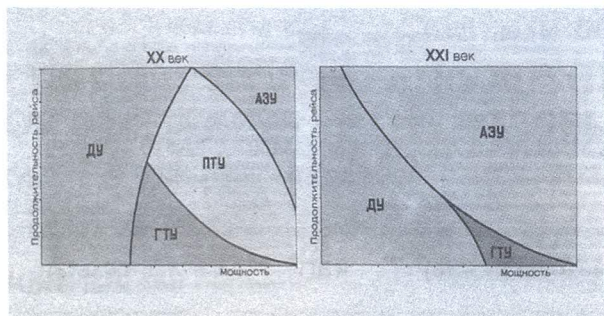
После введения европейских санкций в отношении России особо остро встал вопрос об оснащении новых кораблей Военно-Морского Флота двигателями отечественного производства.

ДЭУ получили наибольшее распространение на кораблях и судах ВМФ благодаря своим достоинствам, к которым, как правило, относят:

- высокую топливную экономичность дизельных двигателей в широком диапазоне нагрузок. Удельный расход топлива современных отечественных корабельных среднеоборотных двигателей на номинальной (номинальной) мощности составляет 0,166–0,179 кг/(кВт ч), а высокооборотных – 0,200–0,210 кг/(кВт ч). Этот показатель в 1,8–2,0 раза ниже по сравнению с КТЭУ, и в 1,2–1,9 раза – по сравнению с ГТЭУ. На нагрузках до 50 % от номинальной мощности экономичность дизельных двигателей практически не изменяется, в то время как у КТЭУ и ГТЭУ она резко снижается и становится хуже, чем у дизельных ЭУ в 2,0–2,5 и в 1,5–2,0 раза соответственно;
- относительно небольшой удельный расход воздуха – 6,3–8,4 кг/(кВт×ч). Это в 4,5 раз меньше, чем у ГТЭУ, что позволяет снизить массогабаритные характеристики воздухоприемных шахт и дымовых труб. Кроме этого, малое количество отработавших газов по сравнению с другими типами неатомных ЭУ способствует снижению тепловой заметности корабля;
- возможность работы с противодавлением на выпуске, что позволяет организовать газоотвод в борт корабля ниже или в район переменной ватерлинии. Такое конструктивное решение неприемлемо для кораблей с КТЭУ и ГТЭУ. Их газоотводы имеют большие размеры и должны располагаться на верхней палубе, площадь которой обычно является остродефицитной, так как она предназначена для размещения орудий и вооружения. Кроме того, выхлоп в ватерлинию уменьшает тепловую заметность корабля;

Рис. 1. Распределение типов судовых энергетических установок (ДУ – дизельные установки; ГТУ – газотурбинные установки; ПТУ – паротурбинные установки; АЭУ – атомные энергетические установки)

Fig. 1. Distribution of marine power plants by type (ДУ – diesels; ГТУ – gas turbines; ПТУ – steam turbines; АЭУ – nuclear)



- меньшую чувствительность к повышению температуры атмосферного воздуха (особенно по сравнению с ГТЭУ);
- высокие маневренные качества;
- готовность к немедленному действию и простота мер поддержания этой готовности;
- достаточно хорошую живучесть в условиях сильных сотрясений;
- высокую освоенность дизелей в производстве и, как следствие, сравнительно хорошие показатели надежности.

В тоже время ДЭУ присущи и недостатки. Например, к недостаткам ДЭУ следует отнести:

- относительно малую агрегатную мощность по сравнению с КТЭУ и ГТЭУ (для высокооборотных дизелей (ВОД) она не превышает 7400 кВт, а для среднеоборотных двигателей (СОД) – 26000 кВт) при значительно большей, по сравнению с газотурбинными двигателями, удельной массой (она составляет 1,9–11,6 кг/кВт ВОД и 9,0–21,0 кг/кВт для СОД);
- повышенные уровни шума и вибрации;
- высокую чувствительность к перегрузкам;
- резкое снижение допустимой мощности при уменьшении частоты вращения коленчатого вала;
- высокую стоимость дизельного топлива;
- повышенный расход смазочного масла, стоимость которого в 4,5 раз выше, чем у топлива;
- достаточно высокую сложность конструкции;
- неравномерность крутящего момента, наличие значительных крутильных колебаний на валу отбора мощности.

Несколько слов о вариантах и типах энергетических установок перспективных боевых кораблей и вспомогательных судов ВМФ. По мнению специалистов, на перспективных атомных подводных лодках (АПЛ) водоизмещением от 3500–4000 т и более будут устанавливаться ядерные энергетические установки (ЯЭУ) с моноблочными ядерными реакторами с увеличенной кампанией активной зоны, позволяющей эксплуатировать корабли на полный срок их службы без перезарядки реакторов. При этом следует учитывать, что на ближайшие годы водо-водяные реакторы останутся наиболее надежными и приемлемыми энергоисточниками для боевых кораблей. Однако представляются перспективными и целесообразными разработку высокотемпературных реакторов, в том числе с газовым теплоносителем. Возможны и другие

решения, направленные на создание установок замкнутого цикла, например, создание термоионных систем, в которых тепловая энергия ядерного реактора непосредственно преобразуется в электрическую с помощью термоионных твэлов и др.

По мнению академика Ф.М. Митенкова, на современном этапе становления ядерной энергетики не только определились базовые реакторы с водяным теплоносителем (ВВЭР, РБМК, PWR, BWR), но и получила практическое подтверждение идея расширенного воспроизводства в реакторах ядерного топлива, т. е. возможность организации такого нейтронно-физического процесса, при котором количество вновь образующихся делящихся изотопов существенно превышает количество разделившихся (коэффициент воспроизводства $K_B > 1$). Такие реакторы позволят создать двухкомпонентную структуру ядерной энергетики (реакторы-размножители и тепловые реакторы), при которой тепловые реакторы работают на избыточном ядерном топливе, нарабатываемом в реакторах-размножителях. Следует заметить, что реакторы-размножители эффективно могут использоваться не только для расширенного воспроизводства ядерного топлива, но и для утилизации оружейного плутония, выжигания долгоживущих компонентов отходов отработавшего топлива перед захоронением. В контексте будущего развития ядерной энергетики реакторы на быстрых нейтронах играют основную роль при решении проблемы топливного обеспечения с использованием как уран-плутониевого, так и торий-уранового замкнутых топливных циклов.

При меньшем водоизмещении предпочтительным направлением в развитии КЯЭУ является возвращение к идее размещения на подводных кораблях реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Такие КЯРУ могут быть успешно размещены на АПЛ водоизмещением около 2000 т и менее. Однако подробно проблема анализа перспектив развития транспортных АЭУ не представлена в данной публикации и является предметом отдельного повествования.

Отличительной особенностью перспективных кораблей может являться широкое внедрение единых электроэнергетических систем (ЕЭЭС). Такая ЕЭЭС предусматривает интеграцию комплексов корабельной энергетики и ЭЭС в единую систему с централизованным управлением и контролем. Применительно к атомным подводным лодкам схема реализации ЕЭЭС может быть следующей: электроэнергия, вырабатываемая атомным турбогенератором, преобразуется в электрическую энергию с необходимыми для всей номенклатуры корабельных потребителей параметрами (по току, напряжению и частоте, а также

трансформации переменного тока в постоянный ток и наоборот). Обязательными элементами такой системы являются накопители электрической энергии (ЭЭ) различной физической природы.

К перспективным КЭУ с электродвижением относятся:

- дизель-электрическая (ДЭЭУ);
- дизель-электрическая с аккумуляторными батареями (ДЭЭУ-П);
- котло-турбо-электрическая (КТЭЭУ);
- газо-турбо-электрическая (ГТЭЭУ);
- атомно-электрическая с ППУ (АЭЭУ);
- атомно-электрическая с ГНУ (АЭЭУ-Г).

На подводных кораблях водоизмещением от 500 до 3000 т по-прежнему будут устанавливаться НЭУ.

Современные ЭУ неатомных ПЛ принято разделять на:

- дизель-электрические ЭУ с аккумуляторными батареями (ДЭЭУ);
- ЭУ на основе двигателей с внешним подводом теплоты (ЭУ с ДВПТ);
- ЭУ на основе двигателей, работающих по замкнутому или полужамкнутому циклу (например, ЭУ с ДЗЦ);
- ЭУ на основе топливных элементов.

Для ЭУ подводных лодок с неатомной энергетикой возможны два основных направления развития. Первое – это совершенствование традиционных дизель-электрических энергетических установок (ДЭЭУ). В качестве перспективных могут рассматриваться обновленные дизель-электрические ПЛ с малозумными винтами фиксированного шага (или с водометными движителями), с одним главным гребным электродвигателем, мощными выпрямительными агрегатами, дизель-генераторами. В качестве привода генераторов целесообразно использовать форсированные легкие ВОД с частотой вращения от 1200 до 1800 об/мин и агрегатной мощностью от 700 до 1500 кВт, способные устойчиво работать при повышенных разряжении на всасывании и противодавлении на выпуске. Допускается установка СОД.

Дальнейшее совершенствование ЭУ неатомных ПЛ включает:

- повышение мощности и КПД электрических машин;
- совершенствование традиционных и разработка принципиально новых, обладающих высокой

удельной энергией и емкостью аккумуляторных батарей (АБ), например, серебряно-цинковых, никель-кадмиевых, никель-цинковых, натриевых и хлорно-литиевых аккумуляторов с удельной емкостью в 10–12 раз большей, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов;

- использование высокотемпературной сверхпроводимости и др.
- В США, Швеции и Великобритании в последние годы ведутся работы по созданию железно-литиевых АБ (ЖЛА). Главными требованиями, предъявляемыми к таким АБ, является:
- конструктивное исполнение их в герметичном контейнере;
- способность работать в экстремальных условиях размещения внутри прочного корпуса ПЛ;
- срок службы до 10 лет и более.

В ЖЛА литий применяется в виде сплава с алюминием, а в качестве электролита используется многокомпонентный эвтектический расплав (основа $LiCl$ и KCl). В Швеции проведены испытания литий-онил-хлоридных АБ. Среди возможных типов АБ для ДЭПЛ рассматриваются никель-алюминиевые и серебряно-железные.

В последнее время рассматриваются варианты размещения перспективных источников накопления ЭЭ, обладающих нулевой или даже положительной плавучестью вне прочного корпуса ПЛ.

Практическая реализация отмеченных выше мероприятий, позволяет создавать высокоэффективные мощные неатомные ЭУ, способные обеспечивать длительное нахождение ДЭПЛ под водой для решения поставленных задач.

Перспективны также разработки гибридных энергетических систем, в которых объединены высокоемкие, но маломощные источники тока (например, воздушно-цинковые элементы) и источники тока, способные к разряду большими токами, например, литий-ионные батареи или ионисторы. В этом случае при переменной нагрузке удастся извлечь энергию большую, чем суммарная энергия обоих источников тока, и при более высоком напряжении.

Вторая тенденция – создание принципиально новых энергетических установок подводных лодок, в том числе анаэробных или воздухонезависимых. Такие энергетические установки позволяют создавать неатомные ПЛ, которые по своим оперативнотактическим характеристикам и скрытности (в первую очередь – времени непрерывного нахождения под водой) сравнимы с АПЛ. Прежде всего,

это маломощные двигатели Стирлинга с внешним подводом тепла, которые можно использовать в подводном положении как для привода движителя, так и для подзарядки АБ.

Не менее перспективно использование в составе ЭУ неатомных ПЛ топливных элементов (ТЭ) – электрохимических преобразователей энергии с непосредственным превращением химической энергии в электрическую без каких-либо промежуточных этапов с КПД, достигающим 70 %.

Еще одним типом анаэробной ЭУ могут являться дизельные установки замкнутого типа. Если топливные элементы и двигатели Стирлинга могут обеспечить в основном экономический ход неатомной ПЛ, то дизели замкнутого цикла способны обеспечить весь спектр скоростей хода на полную автономность.

По мнению большинства специалистов, после 2030 г. применение воздухонезависимых энергетических установок (ВНЭУ) на неатомных ПЛ будет доминирующим во всех флотах мира, а до этого времени будут интенсивно развиваться «гибридные» энергетические установки, включающие в свой состав традиционную дизель-электрическую и вспомогательную ВНЭУ.

В целом перспективные направления развития ВНЭУ связаны с созданием:

- ЭУ на основе дизеля, работающего по замкнутому циклу (ДЗЦ);
- ЭУ на основе двигателя с внешним подводом тепла (ДВПТ);
- ЭУ на основе электрохимических генераторов (ЭХГ).

В настоящее время в западной Европе исследованием ДЗЦ продолжают заниматься следующие фирмы:

- Thyssen Nordsee Werke (TNSW, Германия);
- Carlton Deep Sea System (CDSS, Великобритания);
- Motoren and Turbinen Union (MTU, Германия);
- Rotterdamshe Droogdok Maatschappij (RDM, Нидерланды);
- GEC Marine (Великобритания).

К ДВПТ относят двигатели, работающие по замкнутому регенеративному циклу Стирлинга. Эти двигатели представляют собой поршневые двигатели с газообразным рабочим телом и замкнутым термодинамическим циклом, в котором циклические процессы сжатия и расширения происходят при различных уровнях температур.

Современным ДВПТ присущи следующие достоинства:

- высокий теоретический КПД;
- высокая удельная мощность; малые габариты и масса; возможность работы на дешевых сортах топлива;
- бесшумная работа; отсутствие вибрации;
- малая токсичность продуктов сгорания;
- отсутствие помех радиоприему.

При этом ЭУ с ДВПТ не лишены и недостатков, например, таких, как:

- более высокая стоимость, связанная главным образом с необходимостью применения дорогостоящих сталей и сплавов для изготовления теплообменников;
- повышенные требования к уплотнению двигателя с целью недопущения утечки рабочего газа при высоких давлениях и температурах в цилиндре;
- повышенный расход охлаждающей воды и необходимость применения радиаторов
- большой площади, т. к. основной теплоотвод осуществляется в охлаждающую воду;
- сложность системы регулирования;
- более высокие массогабаритные показатели и др.

Работы по созданию и совершенствованию двигателей Стирлинга ведутся в западноевропейских странах (Швеция, Германия, Великобритания, Нидерланды, Италия), а также в США и ряде других государств. Исследования процессов в ДВПТ проводятся крупнейшими зарубежными компаниями и научными центрами, такими, как United Stirling AB und Co (Швеция); N.V. Philips Co (Нидерланды); MAN-MWM (Германия); Ford Motor Co (США); General Motors Corp. (США); Mechanical Technology Incorp. (США); Solar Energy Research Institute (США); University of Wisconsin (США); University of Tokyo (Япония); Mitsubishi Electric Corp. (Япония); Ricardo (Великобритания) и др.

Однако ЭУ с ЭХГ является наиболее предпочтительной для неатомной ПЛ и имеет самые широкие перспективы. Эти установки имеют неоспоримые достоинства:

- высокое значение КПД (по данным различных источников – до 50–75 %);
- процесс генерирования электроэнергии – абсолютно бесшумный, что позволяет использовать такую установку при выполнении наиболее маломощных операций, которые до настоящего времени возможны только при использовании АБ;

- вследствие отсутствия в составе ЭУ узлов, совершающих вращательное или колебательное движения, и достаточно малого тепловыделения не нарушается скрытность ПЛ;
- высокое значение КПД ЭУ с ЭХГ обуславливает столь малое количество тепла, которое необходимо отводить от установки, что ПЛ, оборудованная такой ЭУ, может в процессе выполнения операции в течение срока до одних суток не использовать забортную охлаждающую воду;
- процесс преобразования энергии происходит при низкой температуре (60–90 °С);
- работа установки не зависит от глубины погружения ПЛ;
- система хорошо поддается управлению и контролю, отличается высокой ремонтпригодностью и большим сроком службы;
- абсолютная экологическая чистота.

Основой ВНЭУ на базе ЭХГ является, например, электрохимический модуль с полимерным электролитом. Каждый модуль помещается в прочном корпусе, куда под избыточным давлением подается газ, что позволяет выполнить контроль ЭУ в отключенном состоянии. Все модули устанавливаются на одной раме и могут быть соединены как последовательно, так и параллельно. Перспективными для широкого применения на кораблях ВМФ являются топливные элементы с полимерными топливными элементами. Кроме этого активно разрабатываются в последнее время направления по созданию твердооксидных ТЭ (ТОТЭ) зарубежными фирмами заняты созданием мощных инициальных стационарных установок выработки электроэнергии на основе карбонатных топливных элементов. Возможные типы топливных элементов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Типы топливных элементов**Table 2.** Types of fuel cells

Тип топливного элемента	Рабочая температура	Эффективность выработки электроэнергии	Тип топлива	Область применения
Топливные элементы на расплаве карбоната (РКТЭ)	550–700 °С	50–70 %	Большинство видов углеводородного топлива	Средние и большие установки
Топливные элементы на основе фосфорной кислоты (ФКТЭ)	100–220 °С	35–40 %	Чистый водород	Большие установки
Топливные элементы с мембраной обмена протонов (МОПТЭ)	30–100 °С	35–50 %	Чистый водород	Малые установки
Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ)	450–1000 °С	45–70 %	Большинство видов углеводородного топлива	Малые, средние и большие установки
Топливные элементы с прямым окислением метанола (ПОМТЭ)	20–90 °С	20–30 %	Метанол	Переносные установки
Щелочные топливные элементы (ЩТЭ)	50–200 °С	40–65 %	Чистый водород	Космические исследования
Полимерные электролитные топливные элементы (ПЭТЭ)	30–100 °С	35–50 %	Чистый водород	Малые установки

Оптимальной формой хранения кислорода на борту ПЛ являются ударозащищенные криогенные цистерны, где кислород находится в сжиженном состоянии.

Наиболее безопасным способом хранения водорода на борту ПЛ является его хранение в связанной форме металлгидрида в баллонах, расположенных в межбортном пространстве. Специальный состав металлов в сплаве может принять достаточно много водорода в свою решетчатую структуру, более чем это можно сконцентрировать в жидкой форме. Изоляция водорода при хранении на ПЛ в металлгидридном сплаве имеет огромное преимущество. Гидридное хранение водорода не нуждается в обслуживании и может быть организовано как вне, так и внутри прочного корпуса.

Для средне- и долгосрочной перспективы рассматривается еще один альтернативный вариант хранения водорода – в тонких угольных волокнах (в наноструктурах). В последние годы на этот способ возлагают большие надежды, т. к. при этом исключается необходимость в тяжелых и дорогих металлгидридных цистернах. Однако наиболее перспективным направлением является получение водорода на борту ПЛ посредством риформинга дизельного топлива. Такая технология, не имеющая аналогов в мировой практике, в настоящее время успешно разрабатывается специалистами ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

Примером успешного создания ПЛ с ЭХГ может являться немецкий подводный корабль проекта 212 (рис. 2, см. вклейку), его ЭУ включает в себя:

- дизельный двигатель MTU 8V183/396 1050 кВт (Siemens) – для плавания в режиме РДП, на поверхности и для зарядки АБ;
- электрический воздухонезависимый двигатель SINAVYCIS Permasin (Siemens) – электродвигатель постоянного тока со встроенным регулятором частоты на IGBT-электронике мощностью 1700 кВт. Предназначен для обеспечения экономичного хода. Приводится в действие энергетической установкой фирмы Howaldtswerke Deutsche Werft AG, состоящей из 9 протон-обменных топливных элементов Siemens SINAVYCIS PEM BZM34, включающих в себя цистерны с криогенным кислородом и ёмкости с гидридом металла (специальный сплав металла в соединении с водородом (все – вне прочного корпуса));
- 2 серебряно-цинковые АБ по 144 элемента.

Для кораблей противоминной обороны во всех странах мира альтернативы дизельному двигателю

и соответственно ДЭУ практически нет. Только дизель в маломощном исполнении как самый экономичный тепловой двигатель, способен обеспечить наибольшую дальность плавания кораблей ограниченного водоизмещения, высокую надежность в условиях сильных сотрясений, высокую приемистость и готовность к немедленному действию в сочетании с низкой тепловой, электромагнитной, акустической следностью тральщиков-искателей мин. Например, тральщик проекта 266М снабжен маломощными дизелями М-503Б-37, двумя дизельными генераторами ДГРА-200/1500, дизельным генератором ДГРА-100/1500.

Следовательно, корабли противоминной обороны водоизмещением от 100 до 1500 т и более будут преимущественно комплектоваться ДЭУ, в состав которых будут входить дизели в маломощном исполнении.

Боевые катера водоизмещением до 500 т, боевые корабли малого и среднего водоизмещения до 3000 т будут снабжаться ДЭУ, ГТЭУ, а также комбинированными ДТЭУ и ГТЭУ. Таким образом, в перспективе до 2030 г. на боевых катерах и кораблях водоизмещением до 3000 т будут применяться либо дизельные (в составе от 2 до 4 высоко- или среднеоборотных дизелей), либо комбинированные дизель-газотурбинные (в составе 1–2 ВОД или СОД и 1–2 ГТД) ЭУ как компромисс между экономичностью одних и высокой удельной мощностью при минимальной массе других.

На надводные корабли большого водоизмещения (фрегаты, эсминцы, крейсера, авианосцы) водоизмещением от 3000 до 40 000 т будут устанавливаться газотурбинные (ГТЭУ) и комбинированные газотурбинные ЭУ (ГТЭУ) различных конструкций. На кораблях водоизмещением до 100 000 т – ЯЭУ и КТЭУ.

Десантные корабли и вспомогательные корабли и суда обеспечения (военно-транспортные, спасательные, экспедиционные, гидрографические суда; плавбазы, танкеры, водолеи, буксиры, плавучие мастерские, транспорты боеприпасов; корабли береговой охраны и измерительных комплексов и т.п.), без которых невозможно эффективное выполнение задач ВМФ, в подавляющем большинстве будут использовать в качестве главных двигателей мощные (от 5000 до 20 000 кВт) экономичные со значительным техническим ресурсом среднеоборотные дизели. При недостатке агрегатной мощности на эти корабли и суда будут устанавливаться многомашинные (как правило, двухмашинные) ЭУ, на десантные катера и корабли на воздушной подушке – ГТЭУ.

Анализ данных по дизелям, установленным на кораблях и судах отечественного ВМФ, показывает,

что освоенные в производстве типы дизелей будут находиться в эксплуатации по крайней мере десять ближайших лет.

Перспективными направлениями совершенствования корабельных дизелей в настоящее время являются:

- рост форсировок рабочего процесса по среднему эффективному давлению (22–30 бар для четырехтактных и 18–19 бар для двухтактных дизелей), что обеспечивает существенное (в 2–3 раза) улучшение удельных мощностных показателей дизелей;
- радикальное снижение вредных выбросов за счет оптимизации физических процессов в цилиндре и регулировок;
- расширение номенклатуры применяемых видов топлива;
- применение особо эффективных систем автоматического контроля, управления и регулирования;
- поиск и применение эффективных смазочных масел.

Рост форсировок рабочего процесса перспективных дизелей требует увеличения давления наддува до 5–6 кг/см². Дизели с давлением наддува до 6 кг/см² условно относят к дизелям со сверхвысоким наддувом (ДВС СВН). Такие дизели имеются за рубежом (например, дизели фирм General Electric, Rolls Royce, General Motors, Westinghouse и др.). Они строятся малыми сериями и применяются в составе ЭУ перспективных надводных кораблей зарубежных ВМС. При этом конструкции дизелей должны допускать получение требуемой мощности за счет изменения как числа цилиндров от 4 до 20 в одном агрегате, так и объема самих цилиндров (уменьшение и увеличение диаметра поршня). В настоящее время в РФ создание ДВС СВН ведет только ОАО «Коломенский завод».

Принято, что высокий и сверхвысокий наддув при наличии топливной аппаратуры с электронным управлением и давлением впрыска более 200 МПа в свою очередь обеспечат высокий уровень форсировки с P_e до 4,0–5,0 МПа и $P_z = 15–20$ МПа при высокой топливной экономичности этих двигателей. Электронные регуляторы в сочетании с комбинированными камерами сгорания, оптимальными формами крышки цилиндра и объема в поршне позволят рационально организовать рабочий процесс и снизить содержание вредных веществ в отработавших газах, тем самым создать экологически безопасные, многотопливные (способные работать как на тяжелых топливах, так и на горючих газах, в том числе водороде) двигатели, адаптивные при использовании на разных кораблях и судах и в различных эксплуатационных условиях.

В целом энергетические установки с дизельными двигателями в настоящее время являются самыми экономичными по расходу органического топлива, и потому находят широкое применение в военных флотах всех стран мира. Например, на удовлетворение потребностей современного судостроения и кораблестроения зарубежных ВМС ориентированы практически все зарубежные ведущие дизель-строительные фирмы, такие как MTU, MAN и B&W (Германия), MaK, Caterpillar, Cummins, GME (США), Pielstick (Франция), Iveco (Италия), Wärtsilä (Финляндия), Sulzer (Швейцария), Mitsubishi, YANMAR и Daihatsu (Япония), Volvo Penta (Швеция), Guasco (Испания), ABC (Бельгия) и др.

В этой связи является обоснованным принятие Распоряжения Правительства РФ от 21 апреля 2011 г. № 710-р, которое утвердило Концепцию подпрограммы «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения». В рамках данной программы предприятиями велась разработка многоцелевого дизельного двигателя нового поколения размерности 26,5/31 (ЧН26,5/31) с цилиндровой мощностью 500 л.с. при частоте вращения 1000 об/мин. При этом предусматривалась разработка и создание типоразмерного ряда дизелей с агрегатными мощностями от 1000 л.с. (735 кВт) в рядном исполнении (ОАО «Пензадизельмаш») до 10 000 л.с. (7400 кВт) в V-образном исполнении (ОАО «Коломенский завод»), которые могут и должны быть использованы в качестве главных и вспомогательных энергетических установок кораблей и судов ВМФ, а также на предприятиях концерна «Росатом». К сожалению, данная проблема до настоящего времени не решена.

Дизелестроение – приоритетная отрасль российской промышленности, стимулирующая развитие ряда других отраслей, и в первую очередь, судостроения и военного кораблестроения. К сожалению, длительный кризис в этой отрасли, а также отсутствие к ней должного внимания со стороны руководства государства привели к уже необратимым последствиям: часть предприятий переключились на производство новой продукции, другие просто прекратили свое существование, а третьи пытаются выжить в конкурентной борьбе с иностранными компаниями.

В качестве примеров утраченных дизелестроительных производств можно привести: бывший завод Нобеля ОАО «Русский дизель» вместе со специальным конструкторским бюро дизелестроения (главные двухтактные средне-оборотные двигатели

собственной конструкции мощностью 3440, 4700 и 6305 кВт при $n = 640\text{--}900$ об/мин, двигатели по лицензии фирмы MAN мощностью 450–1800 кВт при $n = 900\text{--}1000$ об/мин и двигатели по лицензии фирмы SEMT Pielstick мощностью 2868–3330 кВт при $n = 520\text{--}550$ об/мин), а также построенный в 80–90-е гг. прошлого столетия ОАО «Ленинградский дизельный завод» (среднеоборотные двигатели по лицензии фирмы Wärtsilä мощностью 580–7380 кВт при $n = 720\text{--}1000$ об/мин. Кроме того, после развала СССР некоторые производства оказались за границей РФ.

В России в настоящее время образовалась свободная ниша на рынке мощных среднеоборотных дизелей для ВМФ, в том числе и в связи с утратой вышеперечисленных предприятий. Можно отметить, что такую продукцию выпускают только ОАО «РУМО» и ОАО «Коломенский завод». Однако у «Коломенского завода» приоритетным направлением являются выпуск тепловозных дизелей типа Д49. ВМФ в настоящее время в первую очередь требуются СОД в качестве главных двигателей агрегатной мощностью от 4500 до 12 000 кВт. В целом особенностью рынка среднеоборотных дизелей сегодня является отсутствие крупных серий, широкий ассортимент двигателей различного назначения, комплексная поставка дизеля и периферийных узлов, обеспечивающих его работу. Обеспечить стабильное производство и продажу двигателей в таких условиях возможно только при наличии типоразмерных рядов двигателей, созданных на базе модульной конструкции, обеспечивающей унификацию узлов не менее чем на 80–85 %.

В связи с уходом производителей в страны СНГ (например, на Украину – ОАО «Юждизельмаш», в Латвию – ОАО «Ригас Дизелис», и др.) подобное положение сложилось также и на рынке маломощных (до 100 кВт) высокооборотных судовых дизелей и дизель - генераторов. Сегодня в РФ только ОАО «Дагдизель» производит двигатели мощностью до 44 кВт. Однако параметры этих двигателей не изменились уже многие десятилетия.

В части экономичности, надежности, требуемой агрегатной мощности, показателей экологической безопасности практически ни один из выпускаемых в настоящее время судовых двигателей российского производства не отвечает в полной мере современным требованиям ВМФ, в то же время разработка целого мощностного ряда судовых дизелей для российского судостроения и кораблестроения крайне необходима. Важно в очередной раз подчеркнуть, что без

государственного вмешательства невозможно исправить положение в российском дизелестроении.

На сегодняшний момент в отечественном дизелестроении есть проблемы, которые характерны для большинства предприятий. Во-первых, оно нуждается в серьезной модернизации. Средний возраст оборудования, установленного на предприятиях машиностроительного комплекса, превышает 20 лет, а мощности в машиностроении загружены не более чем на 30 %.

Во-вторых, отечественному производителю становится все сложнее конкурировать с зарубежными производителями, которые делают крупные инвестиции в развитие отрасли и предлагают потребителям более совершенную продукцию. Важнейшая проблема, которая препятствует развитию отрасли – нехватка квалифицированных рабочих кадров.

Практически на всех дизелестроительных заводах объемы исследовательских и проектных работ по развитию и совершенствованию судовых двигателей значительно сократились или вообще отсутствуют. Многие годы практически неизменными остаются параметры производимых дизелей, отсутствуют новые технические решения по повышению надежности, мощности, улучшению показателей экономичности, автоматизации и контроля параметров двигателей и т.д.

Устаревшие технологии и отсутствие должного финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в целом не позволяют отечественному производителю предложить ВМФ и гражданскому судостроению современные качественные дизели. Например, российские дизели имеют среднее эффективное давление от 0,5 до 1 МПа, в то время как создаваемые сегодня за рубежом двигатели достигли 3 МПа и более. Такой уровень форсированности иностранных образцов был обеспечен в первую очередь с помощью высокого наддува, а также увеличения давления впрыска топлива.

Еще одна негативная черта отечественного дизелестроения – это короткий модельный ряд выпускаемых дизелей. Российские дизелестроительные заводы производят судовые двигатели в недопустимо узких диапазонах мощности и ориентированы на ограниченный круг потребителей. Например, 70 % дизелестроительных заводов выпускают, практически дублируя друг друга, дизели в диапазоне мощностей от 500 до 1500 кВт. Сегодня только три завода отрасли имеют более широкий мощностной диапазон, не покрывающий тем не менее в полной мере потребности военного кораблестроения и судостро-

ения. В тоже время практически все ведущие зарубежные фирмы, например, MTU, MAN и B&W (Германия), MaK, Caterpillar, Cummins, GME (США), Pielstick (Франция), Iveco (Италия), Wärtsilä (Финляндия), Sulzer (Швейцария), Mitsubishi, YANMAR и Daihatsu (Япония) и др. выпускают двигатели различной размерности в диапазоне мощностей от нескольких единиц до нескольких десятков тысяч кВт, образующих единые типоразмерные ряды, в которых объединены унифицированные по конструкции модификации (от нескольких десятков до нескольких сотен), отличающихся числом цилиндров, частотой вращения, уровнем форсирования, комплектацией и др. Это позволяет иностранному производителю, в отличие от отечественных компаний, существенно расширить номенклатуру разрабатываемых модификаций двигателей, поднять количественный выпуск и ускорить процесс разработки новых двигателей. Еще одна из серьезных проблем – активное проникновение на рынки России контрафактной продукции, поставляемой фирмами-посредниками.

В настоящее время в России судовые дизельные двигатели производят 10 предприятий, а также несколько десятков предприятий специализируется на производстве комплектующих. С точки зрения правового статуса практически все дизелестроительные предприятия акционированы в виде открытых акционерных обществ, которые на протяжении многих лет ведут обособленную деятельность, стараясь выжить в условиях общей стагнации промышленности. Это приводит к тому, что единой технической политики в развитии отечественного дизелестроения практически нет. Данная ситуация усугубляется еще и тем, что деятельность многих отечественных дизелестроительных фирм и их потребителей направлена не на создание новых конкурентоспособных двигателей и завоевание рынков, а на попытку производства устаревших лицензионных дизелей или на их закупки у иностранных производителей. Данная ситуация усугубляется ещё и тем фактом, что до 80 % элементов наиболее современных отечественных дизелей производятся за рубежом. Если российское дизелестроение будет и далее ориентироваться исключительно на покупку дорогих западных комплектующих, оно должно иметь в виду, что покупатель конечной продукции, в том числе и ВМФ, может найти более выгодные предложения у зарубежных партнеров, которые имеют с нами установившиеся контакты, например, в Китае.

Основными производителями дизельных двигателей судового, промышленного и тепловозного назначений в России сегодня являются

ПАО «Звезда» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Коломенский завод», ОАО «Брянский машиностроительный завод», ОАО «Пенздизельмаш» (управляющая компания – ЗАО «Трансмашхолдинг»), ОАО «Барнаултрансмаш», ОАО «Волжский дизель им. Мамини» (г. Балаково Саратовской обл.), ОАО «РУМЗ» (г. Нижний Новгород), ОАО «Дагдизель» (г. Капский), ООО «Уральский дизель-моторный завод» (г. Екатеринбург).

ПАО «Звезда» является единственным предприятием в России, разрабатывающим и производящим высокооборотные судовые дизельные двигатели мощностью более 500 кВт с минимальными весогабаритными показателями. За почти 60 лет дизелестроительной истории ПАО «Звезда» разработано и передано в эксплуатацию более 200 модификаций двигателей типоразмеров ЧН18/17 и ЧН16/17.

В настоящее время ПАО «Звезда» продолжает работу по обеспечению судовыми реверс-редукторными передачами, двигателями и дизель-генераторами перспективных кораблей Военно-Морского Флота – различных серий сторожевых, разведывательных, десантных и других кораблей (проект 20380 «Корвет», 21630 «Буян», 11711 «Иван Грозный», 21820 «Дюгонь» и др.).

Продукция ПАО «Звезда» представлена в табл. 3–6 и на рис. 3–4 (см. вклейки).

Накопленный опыт создания редукторов и имеющиеся на предприятии мощности позволили ПАО «Звезда» стать головным разработчиком реверс-редукторов для ВМФ. Так, разработана универсальная двухскоростная реверс-редукторная передача РРД120 для корвета проекта 20380 (рис. 5, см. вклейку). В процессе проведения работ по редуктору создана уникальная, не имеющая аналогов конструкция дисковых узлов включения. Ведутся работы по созданию реверс-редукторных передач для БДК проекта 11711, разведывательного судна проекта 18280.

В области реверс-редукторных передач ПАО «Звезда» готово разрабатывать реверс-редукторные передачи на мощность до 15 000 кВт, в том числе и для комбинированных дизель-газотурбинных установок, тем более что опыт такой разработки имеется (ДРА М510 для ракетных катеров пр.1241-1 «Молния»).

Сегодня на предприятии сохранена и поддерживается уникальная технология разработки и изготовления дизелей в маломощном исполнении. Одним из последних изделий этого типа является дизель М503М для тральщиков проектов 02668 и 1270 (рис. 6, см. вклейку).

Таблица 3. Дизели размерности 16/17

Table 3. Diesels of size 16/17

Модификация	Число цилиндров	Мощность, кВт (частота вращения, об/мин)	Области применения
Главные судовые двигатели и агрегаты гражданского назначения			
M532	42	2940 (2200)	Скоростные суда
M532A	42	1985 (1800)	Скоростные суда
ДРА-532А	42	2074 (1800)	Скоростное пассажирское судно «Олимпия»
M533	56	3676 (2000)	Катер таможенного контроля пр. 14232 «Меркурий»
M534	56	3675 (2000)	Скоростные суда
Главные судовые дизельные двигатели и агрегаты специального назначения			
M503A	42	2940 (2000)	Скоростной десантный катер пр. 11770 «Серна»
M503Б	42	1840 (1780)	Морской тральщик пр. 266М «Аквамарин»
M504A	56	3495 (1950)	Базовый тральщик пр. 1256 «Топаз»
M504Б	56	3675 (2000)	Пограничный сторожевой катер пр. 205П «Тарантул»
M510A	56	3530 (2000)	Ракетный катер пр. 1241.1 «Молния-1»
M517	56	4750 (2000)	Ракетный катер пр. 205ЭР
M520	56	3600 (2000)	Скоростной патрульный катер пр. 10410 «Светляк»
M520Б	56	3970 (2000)	Скоростной патрульный катер пр. 10310 «Мираж»
M507A	2×56	7355 (2000)	Десантный катер пр. 21820 «Дюгонь», МПК пр. 1124 «Альбатрос», МПК пр. 1234 «Овод», пограничный сторожевой корабль пр. 1241.2 «Молния-2»
M507Д	2×56	5882 (1750)	МАК пр. 21630 «Буян»
M511A	2×56	7355 (2000)	МПК пр. 1239 «Сивуч»
M521	2×56	6323 (2000)	МПК пр.1234Э «Овод-Э»

Таблица 4. Дизели размерности 18/20

Table 4. Diesels of size 18/20

Модификация	Число цилиндров	Мощность, кВт (частота вращения, об/мин)	Область применения
Главные судовые двигатели и агрегаты гражданского назначения			
M401A3	12	810 (1600)	Суда на подводных крыльях пр. 342 «Метеор», пр. 342М «Комета», пр. 352 «Восход-2»; суда с динамическими принципами поддержания – пр. 14200 «Линда», пр. 19591 «Баргузин», пр. 19590 «Дозор» и др.
M417A	12	810 (1600)	Модернизация СПК пр. 342 «Метеор»
M419A	12	890 (1600)	Пожарное судно пр. 16640 «Вьюн», СПК пр. 03521 «Восход-2М» и др.
M419Б	12	890 (1600)	Судно экологического контроля пр. 16220 «Эколог»
ДРА-210В	12	885 (1600)	Морской пассажирский теплоход пр. 10110 «Звезда»
M470	12	1100 (1600)	Морской патрульный катер пр. 18627 «Мустанг»
M470М	12	1100 (1600)	Морской патрульный катер пр. 18623 «Мустанг-2»
M470МК	12	1100 (1600)	Патрульный катер пр. 12150М «Мангуст»
M480	6	550 (1600)	Скоростные катера ВМФ и ПС ФСБ, быстроходные пассажирские речные и морские суда, патрульные и иные катера специального назначения, яхты малого и среднего водоизмещения
M482	12	810 (1600)	Пассажирское СПК пр. 23180 «Валдай 45Р»
ДРА470	12	1100 (1600)	Пассажирский катамаран пр. 23107 «Сокол»
ДРА470М	12	1100 (1600)	Морское судно экологического контроля пр. 23107Э «Россия»
ДРА473	12	1100 (1600)	Служебно-разъездной катер пр. 21600 «Буревестник», пограничный катер пр. 21600 «Хоста»
Главные судовые дизельные двигатели и агрегаты специального назначения			
M401Б	12		Пограничные катера пр. 14081 «Сайгак», пр. 1400«Гриф»
ДРА-210Б	12	810 (1600)	Базовый тральщик пр. 1265 «Яхонт»

Таблица 5. Дизель-генераторы ПАО «Звезда»**Table 5.** Diesel generators of JSC *Zvezda*

Модификация	Мощность, кВт	Максимальная мощность, кВт	Напряжение, В	Род тока	Частота, Гц	Масса, кг	Габариты (Д×Ш×В), мм
Дизель-генераторы надводного применения							
ДГАС-300	300	330	400	3-фазный	50	5300	4200×1300×1980
ДГАС-315	315	346,5	400	3-фазный	50	3900	3600×1077×1777
АСДГ-500/1-А	500	550	400/230	3-фазный	50	6200	4040×1455×1880
ДГАС-500/1МШ	500	550	400	3-фазный	50	7350	4535×1490×1900
ДГАС-600/1	600	600	400	3-фазный	50	7500	4350×1388×2215
Дизель-генераторы подводного применения							
АСДГ-600	600	600	400	3-фазный	50	7400	4350×1400×2200
АДГ-460	460	506	280/330	постоянный	-	5650	4115×1200×1393
АДГ-460/500	500	550	190/285/330	постоянный	-	5750	4115×1200×1393
АДГ-500/1П	500	550	400	3-фазный	50	6500	4200×1300×1980
АСДГ-500ППТ	500	550	400/180/330	постоянный	50	16750	6050×1410×2135
АСДГ-800/1	800	880	400	3-фазный	50	13500	4850×1680×2200

Таблица 6. Редукторное производство ПАО «Звезда»**Table 6.** Gearbox manufacturing at JSC *Zvezda*

Наименование	Обозначение	Максимальная мощность, кВт	Максимальная частота вращения, об/мин	Передаточное отношение	Сухая масса, кг
Планетарный редуктор	210В.34.901	883	1600	4,15	400
Планетарный редуктор	470.34.901	1100	1600	2,86	450
Реверс-редукторная передача	473.15.901	1100	1600	1–1,857	800
Реверс-редукторная передача	471.43.901	2074	1800	1,687	1100
Редукторная передача	РП6000	1850	600	3,04/12,26	18500
Реверс-редукторная передача	РРП6000	3825	1000	4,7	20800
Двухскоростная реверс-редукторная передача	РРД12000	8830	1100	6,3/4,6	26500
Электроредукторный агрегат	ЭРА13000	13000	1500	5/1	40500

Для дальнейшего развития дизельной продукции в обеспечение выполнения перспективных требований заказчика ПАО «Звезда» проводятся мероприятия глубокой модернизации производства, основными направлениями которой являются:

- переход на электронное управление процессом впрыска топлива;
- полное агрегатирование двигателя;
- замена материала ряда основных деталей;
- автоматизация систем контроля и управления с применением элементов диагностики и возможностью встраивания в интегрированную систему корабля.

В настоящее время ОАО «Коломенский завод» выпускает дизели на основе двух типоразмерных рядов – ЧН26/26 и ЧН30/38.

Рядные дизели ЧН30/38 с числом цилиндров 4–8 преимущественно используются как судовые для гражданского флота и кораблей ВМФ. Диапазон мощностей этих дизелей – 450–2800 кВт при частотах вращения 300–750 об/мин. Они имеют следующие характеристики:

- удельный эффективный расход топлива в условиях ISO 3046/1 178–185 г/кВт ч;
- среднее эффективное давление до 22 кг/см²;
- расход масла на угар 1 г/кВт ч;
- ресурс до первой переборки 15 000 часов;
- ресурс до капитального ремонта 75 000 часов;
- экологические характеристики соответствуют требованиям ISO 2000 и конвенции МАРПОЛ 73/78.

Дизели ЧН30/38 (рис. 7, 8, см. вклейку) имеют одно и двухступенчатый наддув, приспособлены для работы на тяжелых топливах и в условиях противодавлений. По своим параметрам эти двигатели незначительно уступают зарубежным аналогам для подводного флота.

За последние годы заводом создано новое поколение судовых рядных двигателей размерностью 30/38:

- в четырехцилиндровом исполнении (10Д42) – номинальной мощностью 450 кВт при 360 об/мин;
- в шестицилиндровом исполнении – номинальной мощностью 1500 кВт (30ДГ) и 1750 кВт (30ДГМ);
- в восьмицилиндровом исполнении (ЗДРА) – полной мощностью 1838 кВт при частоте вращения вала отбора мощности встроенного редуктора 250 об/мин.

Имеющийся научно-технический и производственный потенциал позволяет заводу предложить для проектирования новых судов и кораблей, а также для замены двигателей других фирм двигателями 30/38 с улучшенными технико-экономическими показателями в следующих исполнениях:

- в четырехцилиндровом (в диапазоне мощностей 450...1450 кВт);
- в шестицилиндровом (800...2170 кВт);
- в восьмицилиндровом (1150...2800 кВт).

Частота вращения коленчатого вала для всех исполнений составляет 300...750 об/мин. Разработаны также V-образные модификации дизелей этой размерности.

Двигатели ряда ЧН26/26 (рис. 9) – более широкого назначения. Применяются на различных локомотивах, судах, надводных кораблях и подводных лодках ВМФ, а также на буровых установках, тяжелых автомобилях, электростанциях. Число цилиндров – 4–6 в рядном исполнении и 8–20 в V-образном. Диапазон мощностей – 360–5000 кВт при частоте вращения 750–1100 об/мин. Характеристики двигателей семейства:

- расход топлива в условиях ISO 3046/1 190 г/кВт ч;
- расход масла на угар 0,8 г/кВт ч;
- среднее эффективное давление до 24 кг/см²;
- ресурс до первой переборки 12 000–32 000 часов;
- ресурс до капитального ремонта 64 000–100 000 часов;
- экологические показатели соответствуют требованиям европейских норм цикла ISO 8178-4.

Двигатели различных модификаций работают как на традиционном топливе, так и по газодизельному циклу, на сырой нефти и попутном газе. Кроме того, двигатель может работать на тяжелых топливах и рапсовом метиловом эфире, а также в качестве генератора синтезгаза.

Технические характеристики судовых дизелей размерности 26/26 отражены в табл. 7–9. Двигатели ЧН26/26 выпускаются в V-образном исполнении – 8, 12 и 16 цилиндров (рис. 10, см. вклейку). В зависимости от частоты вращения коленчатого вала (750 ... 1100 об/мин), числа цилиндров и форсировки по среднему эффективному давлению, двигатели охватывают диапазон мощностей от 588 до 4412 кВт.

Таблица 7. Двигатели типа Д49 8 ЧН26/26 и 8 ГДЧН26/26 (V-образное исполнение)

Table 7. Engines of type Д49 8 ЧН26/26 and 8 ГДЧН26/26 (V-shaped)

Тип дизеля/дизель-генератора (с дизелем модификации 8ЧН26/26)	Назначение и область применения	Диапазон мощностей Не кВт (л.с.)			
8ЧН26/26	судовые установки; дизель-генераторы, в том числе в составе судовых установок	588-2059(860-2800)			
Тип дизеля/ дизель-генератора (с дизелем модификации 8ЧН26/26)	Назначение и область применения	Диапазон Не кВт (л.с.)	Частота вращения об/мин	Удельный расход топлива по ISO 3046-1 г/кВт.ч (г/л.с.ч)	Удельный расход масла по ISO 3046-1 г/кВт.ч (г/л.с.ч)
22ДГМ	Судовой вспомогательный в составе энергетической установки	800 (1088)	1000	192,0 (141,0)	1,19 (0,873)
28 ДГ	Главная судовая энергетическая установка	1250 (1700)	1000	191,0 (140,4)	1,47 (1,08)

Таблица 8. 12ЧН26/26 и 12ГДЧН26/26 (V-образное исполнение)

Table 8. 12ЧН26/26 и 12ГДЧН26/26 (V-shaped)

Тип дизеля/дизель-генератора (с дизелем модификации 12ЧН26/26)	Назначение и область применения	Диапазон Не кВт (л.с.)	Масса дизель-генератора, кг
12ЧН26/26	судовые установки; дизель-генераторы, в том числе в составе судовых установок	1470-2500(2000-3400)	13600-14400

Таблица 9. 16ЧН26/26 и 16ГДЧН26/26 (V-образное исполнение)

Table 9. 16ЧН26/26 и 16ГДЧН26/26 (V-shaped)

Тип дизеля/дизель-генератора (с дизелем модификации 16ЧН26/26)	Назначение и область применения	Диапазон Не кВт (л.с.)	Масса дизель-генератора, кг		
16ЧН26/26	судовые установки; морские плавучие буровые платформы; дизель-генераторы	1470-3700(2000-5030)	25500		
Тип дизеля/ дизель-генератора (с дизелем модификации 16ЧН26/26)	Назначение и область применения	Диапазон Не кВт (л.с.)	Частота вращения об/мин	Удельный расход топлива по ISO 3046-1 г/кВт.ч (г/л.с.ч)	Удельный расход масла по ISO 3046-1 г/кВт.ч (г/л.с.ч)
10Д49	Главный судовой двигатель для работы на винт фиксированного шага через реверс-редукторную передачу в составе дизель- газотурбинного агрегата ДГТА (55MP)	3825 (5200)	1000	199,5 (146,7)	1,05 (0,78)
16Д49	Главный судовой двигатель для работы на винт фиксированного шага через реверс-редукторную передачу в составе дизель- дизельного агрегата 1ДДА 12000	4412 (6000)	1100	199 (146,3)	1,01 (0,74)

Таблица 10. Технические характеристики дизеля Д500К

Table 10. Technical parameters of diesel Д500К

Показатель	Перспективные западные конструкции	Предлагаемая конструкция 12ЧН 26, 5/31	Прогнозируемый показатель к 2012 г.
Агрегатная мощность, кВт (л.с.):			
Локомотивный	4412 (6000)	≤ 4412 (6000)	≤ 4412 (6000)
Судовой (ВМФ)	7200 (9792)	≤ 7352 (10000)	≤ 7352 (10000)
Атомная станция	6200 (8432)	6200 (8432)	6200 (8432)
Частота вращения, мин ⁻¹	900–1000	900–1000	900–1000
Степень формирования по рабочему процессу, МПа	2,08–2,65	2,58	2,7
Удельный расход топлива по ISO 3046-1 г/кВт ч	185–191	184–185	184–185
	195–198	–	–
	200–203	199–202	199–202
Удельный расход масла на угар, г/кВт ч	0,45–0,6	0,35–0,4	0,35–0,4
Удельная масса, кг/кВт	5,2–5,95	5,0–5,5	5,0–5,5
Ресурс до капитального ремонта, тыс. час	24–50	60	60

Начиная с 2007 г. на Коломенском заводе проводились опытно-конструкторская работа (ОКР) по созданию дизеля Д500К новой размерности 26,5/31 (ЧН26,5/31) с цилиндровой мощностью 500 л.с. при частоте вращения 1000 об/мин (табл. 10). Это весьма перспективный дизель для ВМФ (рис. 11, 12, см. вклейки).

Разработка дизеля ведется по генеральному плану ЗАО «Трансмашхолдинг», в соответствии с которым планируется создание типоразмерного ряда дизелей с агрегатными мощностями от 1000 л.с. в рядном исполнении на заводе «Пензадизельмаш» и до 10 000 л.с. в V-образном исполнении на Коломенском заводе.

В октябре 2008 г. на расширенных заседаниях научно-технического совета Трансмашхолдинга с участием всех заинтересованных организаций (предприятий) и потенциальных заказчиков успешно защищены технические проекты двигателей мощностью 10 000 л.с. в V-образном исполнении и 1000 л.с. в рядном исполнении.

Однако с учетом иностранных комплектующих данный дизель трудно назвать отечественным (рис. 13).

Для расширения парка ВОД с 1999 г. на ООО «Уральский дизель-моторный завод» (г. Екатеринбург) были развернуты работы по производству V-образного дизеля (6–12 цилиндров) размерностью 21/21, способного обеспечить потребные мощности от 500 до 2 тыс. кВт. В настоящее время предприятием на базе дизельного двигателя размерности 21/21 разработаны и серийно поставляются на корабли и суда ВМФ следующие модели дизель-генераторов: АДГ-630; АДГ-1000НК (боевые надводные корабли); АДГ-1000Б и АДГ-1000Я (на атомные подводные лодки).

Начиная с 1999 г. предприятием проводилась ОКР по созданию дизель-генератора АДГ-1600 для использования в составе энергетических установок перспективных проектов надводных кораблей и судов ВМФ (рис. 14, см. вклейку). В настоящее время налажен выпуск данного изделия.

ОАО «РУМО» (бывший дизельный завод «Двигатель Революции») – одно из старейших предприятий дизелестроения в России, на протяжении более 100 лет специализирующееся на производстве среднеоборотных судовых и стационарных дизелей, дизель-редукторных агрегатов и дизель-генераторов в диапазоне

мощностей от 240 до 1250 кВт и газовых двигателей в диапазоне мощностей от 500 до 1050 кВт.

В последние годы ОАО «РУМО» подготовило поставку агрегатов на базе двигателей ЧН22/28 и ЧН32/40 (рис. 15, см. вклейку) в интересах Минобороны России. Разработка и освоение производства двигателей ряда ЧН22/28 мощностью от 520 до 1250 кВт и ЧН32/40 мощностью от 2880 до 4000 кВт и агрегатов на их базе могут быть востребованы ВМФ.

Фирма «Барнаултрансмаш» разработала и серийно выпускает ВОД размерности 15/18 и 15/15, а также агрегаты на их базе:

- главный судовой дизельный двигатель ЗКД12Н-520Р с реверс-редуктором РР-600. Полная мощность двигателя составляет 500 л.с. при частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин;
- главные судовые двигатели типа ЗД6 (150 л.с., 1500 об/мин), ЗД6Н-235 (235 л.с., 1500 об/мин), ЗД12 (300 л.с.; 1500 об/мин). Эти двигатели (рис. 16, см. вклейку) поставляются с реверс-редуктором РР-300;
- дизель-генераторы мощностью 100, 200 и 315 кВт.

Кроме этого, фирма может производить двигатель ЗКД6СН-300 (300 л.с., 1500 об/мин), ЗКД12Н-520Р, а также модификации судовых дизелей ЗД23, ЗД29, ДУ-ЗД32 в 6-, 8-, 10-, 12-, 20-цилиндровом исполнении.

Предприятием «Волжский дизель им. Маминых» разработаны и серийно выпускаются СОД раз-

мерности 21/21 в рядном исполнении, а также дизель-реверс-редукторные судовые агрегаты единичной мощностью от 300 до 1200 кВт на базе двигателей 4ЧН 21/21, 6ЧН 21/21, 6ЧН 21/26, 8ЧН 21/26 (рис. 17, см. вклейку).










Кроме этого на базе реверс-редукторов НС300, НС400, НС600А, ГМС28.30 и дизелей типа ЧН15/19, ЧН19/21 предприятием разработано и подготовлено производство серии модернизированных серийных судовых агрегатов мощностью 250–550 кВт и судовых агрегатов с расширенным диапазоном мощности от 190 до 1000 кВт.

ОАО «Пензадизельмаш» обеспечивает своих потребителей дизель-генераторами типа Д50 и турбо-нагнетателями (турбокомпрессорами). Пензенским предприятием за всю его историю выпущено более 3000 единиц дизель-генераторов для судов морского и речного флота, установленных на 27 типах судов, в том числе на пассажирском лайнере «Шота Руставели» и научно-исследовательских судах «Академик Сергей Королев» и «Космонавт Юрий Гагарин».

Основными видами продукции предприятия являются судовые дизели 5ДГ50М, 6ДГ50М, турбокомпрессоры, запасные части к дизелям и турбокомпрессорам, изделиям по кооперации по заказам других производителей, водяные и масляные насосы, эластичные муфты и antivибраторы, валоповоротные механизмы, поршни и другие изделия для комплектации дизелей различных типоразмеров.

Рис. 13. Комплектующие элементы перспективного дизеля Д500К иностранного производства

Fig. 13. Imported accessories for advanced D500K diesel

Использование продукции ведущих зарубежных фирм		
Шатунные и коренные подшипники	→	Фирма Zollem BHW 
Поршни	→	Фирма Kolben Schmidt GmbH (Германия) 
Поршневые кольца	→	Фирма Federal Mogul (Goetze) (Германия) 
Турбокомпрессоры	→	Фирма ABB (Швейцария) 
Управляющие модули топливных насосов	→	Фирма Bosch (Австрия) 
Электронные микропроцессорные системы управления, датчики, кабели	→	Фирма Heinzmann (Германия) 
Блок цилиндров из чугуна с кутельграфитом	изготовление	Фирма SHW (Германия) 
Крышка цилиндров из чугуна с кутельграфитом	отливка	Фирма SHW (Германия) 
Коленчатый вал из легированной стали	штамповка	Фирма Schmidewerke (Германия) 

ОАО «Пензадизельмаш» выпускает судовые дизель-генераторы 5ДГ50М (модели: 5ДГ50М (рис. 18, см. вклейку), 5ДГ50М/660, 6ДГ50М, 6ДГ50М/700) мощностью 690–750 кВт, частота вращения коленчатого вала 750 об/мин, которые используются в качестве главных и вспомогательных двигателей морских и речных судов.

В настоящее время на заводе начата сборка первого опытного образца двигателя Д200. Семейство дизелей Д200 разработано специалистами завода в рамках федеральной программы развития дизелестроения в РФ. Модельный ряд дизелей Д200 будет состоять из 4-, 6-, 8-цилиндровых модификаций мощностью от 500 до 1500 кВт.

Новые двигатели предназначены для использования в судостроении, локомотивостроении, малой энергетике и позволят заводу существенно расширить рынок сбыта продукции.

Алтайским моторным заводом выпускаются дизель-редукторные агрегаты в диапазоне мощности 70–240 кВт. На базе 4-цилиндровых двигателей завод выпускает судовые дизельные двигатели обновленной модельной линейки Д-447 (рис. 19, см. вклейку) с двухклапанной головкой цилиндра и Д-3043 с четырехклапанной головкой цилиндра, оснащенные реверс-редукторами производства Hangzhou Advance Gearbox Group. На базе 6-цилиндровых производятся судовые дизельные двигатели обновленной модельной линейки Д-467 с двухклапанной головкой цилиндра и Д-3063 с четырехклапанной головкой цилиндра с реверс-редукторами производства Hangzhou Advance Gearbox Group.

ОАО «Завод Дагдизель» специализируется на выпуске ВОД и дизель-генераторов малой мощности (табл. 11–13).

Таблица 11. Дизели судовые главные: ЧСП8,5/11, ЧСП9,5/11, Ч9,5/11

Table 11. Main diesels for marine applications: ЧСП8,5/11, ЧСП9,5/11, Ч9,5/11

Показатели	Главные судовые дизели					
	«Каспий 30М» (4ЧСП8.5/11)	«Каспий 40» (4ЧСП9.5/11)	ДС25 (4ЧСП8.5/11)	ДС25М (4ЧСП9,5/11)	10Д6 (649,5/11-1)	10Д6М (649,5/11-1)
Мощность, кВт:						
номинальная	–	–	18,3	25,74	44,12	44,12
полная	25	30	–	–	–	–
Частота вращения, мин ⁻¹	1900	1900	1500	1800	1800	2100
Среднее эффективное давление, бар	6,6	6,4	6,4	6,1	6,5	5,4
Удельный расход, г/кВт·ч:						
топлива при номинальной (полной) мощности	273	254	269	250	263	249
масла на угар	3,13	2	1,77	1,22	1,84	1,3

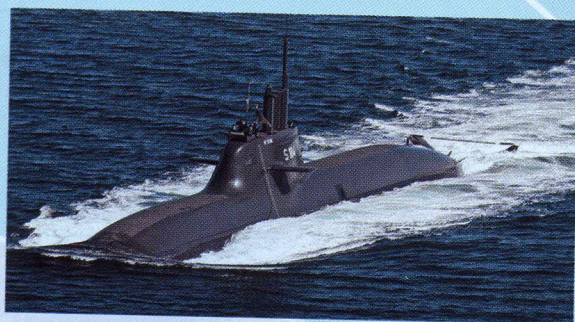


Рис. 2. Подводная лодка проекта 212А
Fig. 2. Submarine, Design 212A

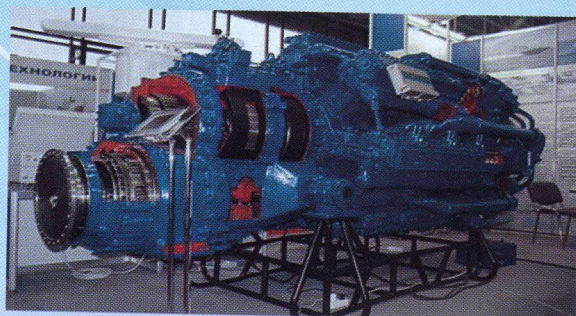


Рис. 3. Дизель ПАО «Звезда» серии М500 (М510)
Fig. 3. Diesels of JSC Zvezda, Series M500 (M510)

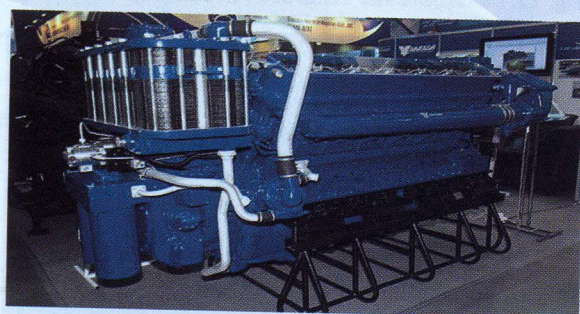


Рис. 4. Дизели ПАО «Звезда»
серии М50

Fig. 4. Diesels of JSC Zvezda,
Series M50

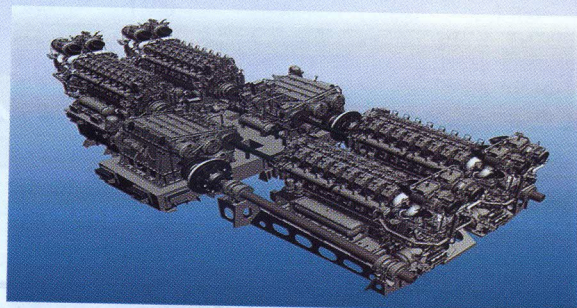


Рис. 5. Дизель-редукторный агрегат 1ДДА12000
(корвет пр. 20380)

Fig. 5. Geared diesel assembly 1DDA12000
(corvette, Design 20380)



Рис. 6. Тральщик проекта 12700 шифр «Александрит»
Fig. 6. Minesweeper, Design 12700 (Alexandrit class)

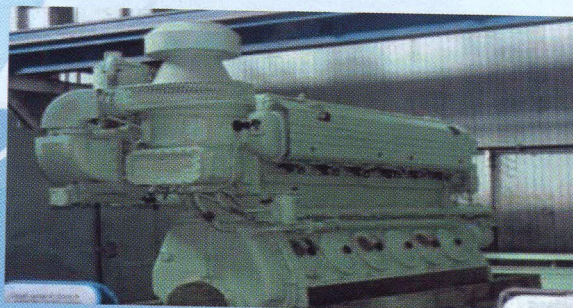


Рис. 7. Дизель 6 ЧН30/38
Fig. 7. Diesel 6 ЧН30/38

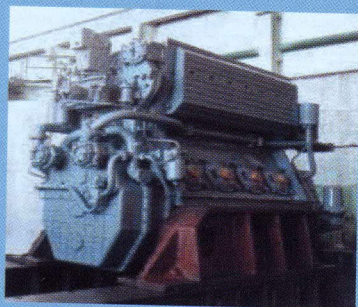


Рис. 8. Дизель 4 ЧН30/38
Fig. 8. Diesel 4 ЧН30/38

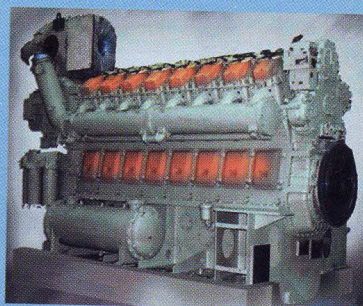


Рис. 9. Дизель 16 ЧН26/26
Fig. 9. Diesel 16 ЧН26/26

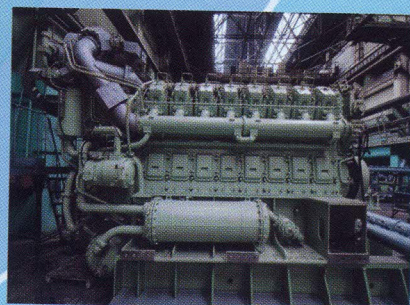


Рис. 10. Дизельный двигатель 16 Д49
Fig. 10. Diesel 16 Д49

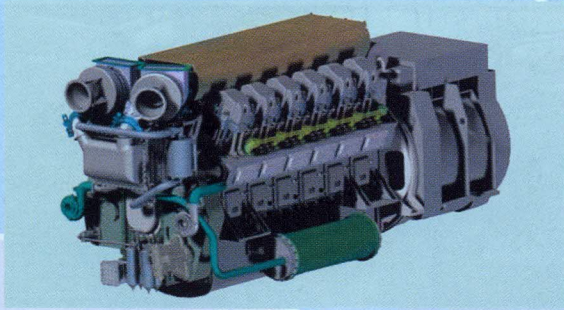


Рис. 11. Перспективный дизель Д500К
Fig. 11. Advanced diesel Д500К

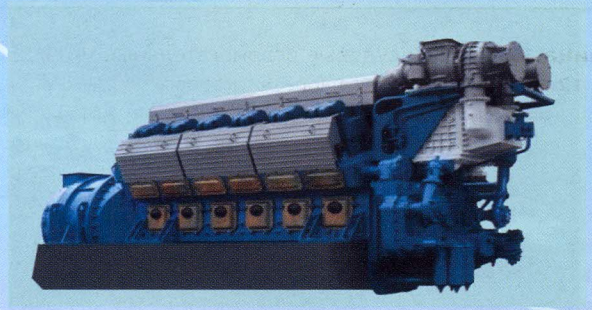


Рис. 12. Общий вид дизель-генератора 12ЛДГ500 (ЧН 26,5/31)
Fig. 12. Diesel generator 12ЛДГ500 (ЧН 26,5/31). General view

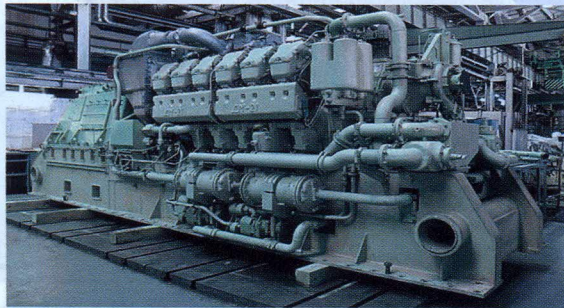


Рис. 14. Дизель-генератор АДГ-1600
Fig. 14. Diesel generator АДГ-1600

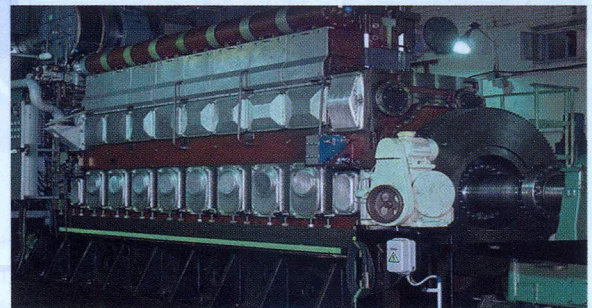


Рис. 15. Дизель размерности 32/40 ОАО «РУМО»
Fig. 15. Diesel of size 32/40, JSC RUMO

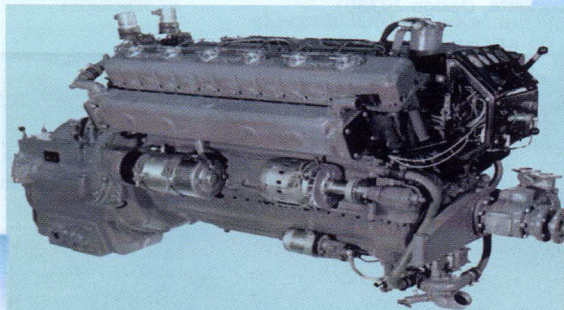


Рис. 16. Судовой дизель ЗКД12 (ЗД12)
Fig. 16. Marine diesel ЗКД12 (ЗД12)

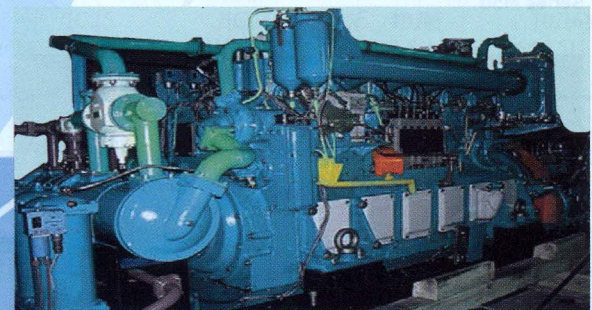


Рис. 17. Дизель-генератор ДГАС-315 завода «Волжский дизель им. Маминых»
Fig. 17. Diesel generator ДГАС-315, manufactured by Mamins Volga Diesel Plant (VDM)

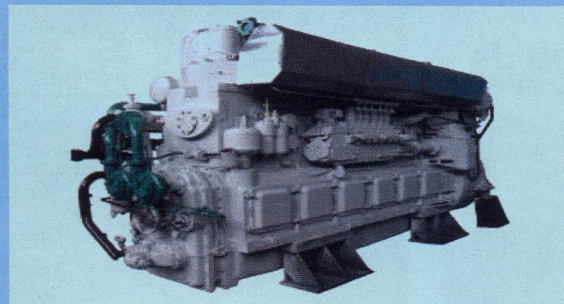


Рис. 18. Дизель-генераторы 5ДГ50М
Fig. 18. Diesel generators 5ДГ50М

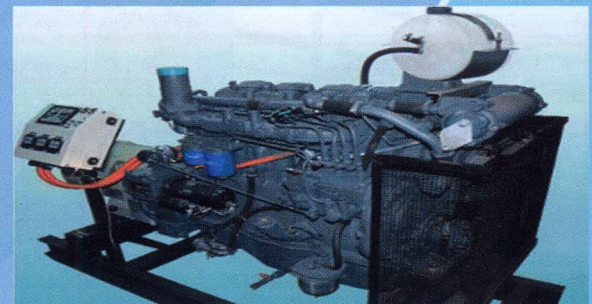


Рис. 19. Судовые дизели Д-447
Fig. 19. Marine diesels Д-447

Таблица 12. Дизели судовые вспомогательные 48,5/11, 49,5/11

Table 12. Auxiliary diesels for marine applications: 48,5/11, 49,5/11

Показатели	Вспомогательные судовые дизели					
	5Д2 (248,5/11)	5Д2М (249,5/11)	5Д4 (448,5/11)	5Д4М (449,5/11)	8Д6 (649,5/11)	8Д6М (649,5/11)
Мощность, кВт:						
номинальная	8,8	11	19,1	22,1	33,1	33,1
стандартная	9,28	11,7	20,25	23,2	34,6	35,05
Частота вращения, мин ⁻¹	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Удельный расход, г/кВт ч:						
топлива на номинальной мощности	272	245	260	238	260	238
топлива на стандартной мощности	258	231	245	226	247	222
масла на угар	1,5	1,36	1,5	1,36	1,9	1,3
Назначенный ресурс, тыс. ч.:						
до первой переборки	6	8	7	8	5,5	8
до капитального ремонта	16	24	16	24	14	24

Таблица 13. Дизель-генераторы судовые

Table 13. Marine diesel generators

Показатели	Дизель-генераторы судовые					
	ДГР1А16	ДГР1А16М	ДГП- 14/1500-1	ДГП14М	ДГП8/1500-1	ДГП8М*
Обозначение (марка):						
дизеля	5Д4	5Д4М	5Д4	5Д4М	5Д2	5Д2М
генератора	ОС-71-0М4М1001		П-62М		П-61М	
Мощность номинальная, кВт	16		13,5		7	8
Частота вращения, мин ⁻¹	1500		1500		1500	
Род тока	переменный, трехфазный		постоянный		постоянный	
Напряжение, В	230 или 400		115 или 230		115 или 230	
Частота тока, Гц	50		-		-	
Степень автоматизации по ГОСТ 14228—80	1		1		1	
Удельный расход, г/кВтч:						
топлива на номинальной мощности	314	284	324	290	339	335
масла на угар	1,6	1,5	2,7	1,5	2,4	2

В заключение следует отметить, что причин отставания отечественного дизелестроения много, очевидно лишь одно – низкий технический уровень. Общий застой в промышленности России в последние 25–30 лет особенно масштабно отразился на производстве дизельных двигателей и их комплектующих. Сегодня уровень производства практически всех отечественных двигателестроительных предприятий упал в несколько раз и достигает от 10 до 50 % от уровня конца 1980-х гг.

Вместе с тем стоимость судовых силовых энергетических установок может составлять от 10 до 35 % стоимости судна и, как правило, оценивается при составлении контракта на поставку. Поэтому вопросы конкуренции в судовом дизелестроении, даже с учетом различного рода затрат по продвижению продукции на рынок, представляются с экономической точки зрения важными и актуальными. Сегодня практически все ведущие мировые изготовители дизельных двигателей постоянно работают над улучшением привлекательности своего продуктового ряда и качества своей продукции, в то время как российское дизелестроение развивается со знаком минус.

Важнейшей проблемой современного двигателестроения является организация ремонта и сервисного обслуживания дизелей. До начала 90-х гг. прошлого столетия существовали системы дизельных ремонтных предприятий в составе ВМФ, Пограничной службы Федеральной службы безопасности (ПС ФСБ), Министерства путей сообщения, Министерство речного флота (МРФ). Заводы ВМФ располагались на территории от Прибалтики до Хабаровска, ПС ФСБ также имели несколько заводов, вплоть до находящегося до г. Корсаков. Основной базой МРФ и Министерства морского флота был завод в Тольятти.

Отдельной проблемой отрасли является сложившееся отставание российских предприятий по широкому спектру технологий для получения сложных заготовок дизельного производства, таких как литье из высокопрочных чугунов, стальное литье, биметаллическое литье и т.д.

В отечественном дизелестроении на сегодняшний день существует целый ряд комплектующих, которые вообще не производятся в России. Соответственно, потребители вынуждены импортировать технологии, что отражается на стоимости конечного продукта, обслуживания и ремонта техники, а в итоге негативно сказывается на конкурентоспособности отечественных разработок. Высокий технический уровень отечественных дизелей может быть обеспечен только при условии

ускоренного развития таких отраслей промышленности, как литейное производство, станкостроение, производство измерительной техники, автоматики, исполнительных устройств автоматики, электроники, электротехники. Эти отрасли в России, к сожалению, очень сильно отстали от западного уровня.

Библиографический список

Reference

1. Рыжов В.Н. Трудности создания корабельных двигателей и перспективы дизелестроения [Электрон. ресурс] / Сайт Ресурс Машиностроения. URL: http://www.i-mash.ru/news/nov_otrasl/66067-trudnosti-sozdaniya-korabelnykh-dvigatelej-i.html
2. Половинкин В.Н., Фомичев А.Б. Проблемы импортозамещения в отечественной экономике // Экспертный союз. 2014. № 2(12). С. 30–33.
3. Плавник П.Г., Лерман Е.Ю. Реверс-редукторное производство ОАО «Звезда» // Судостроение. 2014. № 2 (813). С. 34–36.
4. Плавник П.Г., Лерман Е.Ю. Российские высокооборотные дизели – сегодня и завтра // Двигателестроение. 2012. № 4. С. 3–7.
5. Лерман Е.Ю., Горшков В.Ф., Барановский В.В. Судовое дизелестроение: современное состояние и перспективы // Судостроение. 2004. № 3. С. 22–25.

Сведения об авторах

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

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

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

Authors' data

Nikitin Vladimir Semenovich, D.Sc., Professor, Director General of Krylov State Research Centre. Address: Moskovskoe shosse 44, St. Petersburg 196158, Russia. Tel.: 8 (812) 415-46-07.

Polovinkin Valery Nikolaevich, D.Sc., Professor, Advisor to Director General of Krylov State Research Centre.

Address: Moskovskoe shosse 44, St. Petersburg 196158, Russia. Tel.: 8 (812) 386-67-03.

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

Поступила: 08.02.17
Принята в печать: 24.04.17
© Коллектив авторов, 2017