

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Н. Г. Родионов, канд. техн. наук, В. В. Коротков (Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», e-mail: k2kf@yandex.ru

УДК 621.125

В современном гражданском и Военно-Морском Флоте России используются самые разнообразные судовые энергетические установки (СЭУ) в зависимости от назначения судов и кораблей, установленной мощности, требуемой экономичности, надёжности, удобства в эксплуатации, ресурса и других технических характеристик. Экспертный анализ многочисленных публикаций в открытой печати по СЭУ различных типов дает общее представление о достигнутом уровне таких важных показателей СЭУ, как единичная мощность, КПД, удельная масса (таблица).

Наиболее экономичными СЭУ являются малооборотные дизельные установки, но они обладают большой удельной массой. Выпуск малооборотных дизелей (по лицензии датской компании MAN B&W Diesel A/S) в России в настоящее время отсутствует из-за закрытия их производства на Брянском машиностроительном заводе. Других заводов по производству мощных малооборотных дизелей в России нет.

Подавляющее большинство судов и кораблей (более 95%) оснащены дизельными

СЭУ. Как правило, на них используются дизели зарубежного производства, которые обладают существенно лучшими техническими и эксплуатационными характеристиками по сравнению с дизелями, выпускаемыми отечественной промышленностью. На крупных судах и кораблях ВМФ России используются паротурбинные, газотурбинные, ядерные энергетические установки (ПТУ, ГТУ, ЯЭУ), а также различные комбинированные СЭУ.

Как следует из анализа данных таблицы, наибольшую экономичность СЭУ можно обеспечить путём использования парогазовых установок (ПГУ). Теоретические основы работы ПГУ и доказательства их высокой эффективности были заложены впервые в СССР ещё в 60-е годы XX века.

В практике создания стационарных ТЭЦ и ГРЭС достигнуты высокие показатели ПГУ по экономичности, ресурсу, надёжности. В настоящее время в России разрешено строить ТЭЦ и ГРЭС, работающие на газе или жидком топливе, **только** с использованием технологий ПГУ. ГТУ, работающие по простому циклу, могут использоваться на электростанциях для

Ориентировочные уровни достигнутой эффективности СЭУ в СССР и в РФ

Принцип СЭУ	Тип СЭУ	Уровень единичной мощности, МВт	Номинальный КПД (нетто)*, %	Удельная масса ЭУ, кг/кВт
Дизельные (ДЭУ)	Малооборотные ДВС	14–30 (по лицензиям)	40–45	80–100
	Среднеоборотные ДВС	7–14	35–39	60–70
	Высокооборотные ДВС	0,7–1,5	25–32	1,5–7
Паротурбинные (ПТУ)	Главные с ГТЗА	10–50	32–37	50–60
	Вспомогательные	0,3–2	20–25	15–20
Газотурбинные (ГТУ)	СПК, СВП, форсажные	3–16	27–32	1,2–3
	Корабельные ГТУ	6–16	30–36	3–27
Ядерные (ЯЭУ)	Для надводных судов	16–55	23–32	68–220
	Для АПЛ	17,5–50	20–27	40–52
Парогазовые (ПГУ)	Для судов (типа го–го)	18,4	41	16
	Для кораблей	18,4–21,1	41–45	Нет данных
Стационарные ПГУ (справочно)	ПГУ на ТЭС России	90–495	47–59	12–15
	ПГУ 5-го поколения за рубежом	500–800	62–66	Менее 12

*КПД (нетто) приведен для условий работы паротурбинной установки (ПТУ) в конденсационном режиме.

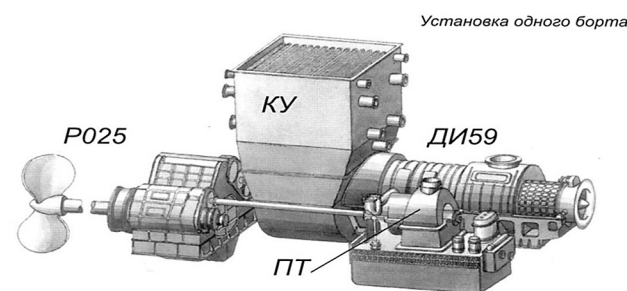
покрытия пиковых нагрузок. КПД (нетто) у ПГУ достигает 47–59% и более в конденсационном режиме работы. Технологии строительства и эксплуатации ПГУ на электростанциях отработаны до совершенства, работа ПГУ практически полностью автоматизирована, для её эксплуатации требуется минимальное количество обслуживающего персонала [1–3].

В отечественной судовой энергетике известны положительные примеры создания и применения ПГУ на судах и кораблях во время существования СССР. Ранее единственной в стране базой создания морских ГТУ был Южный турбинный завод и КБ «Машпроект» в Николаеве (Украина). С 2001 г. оно именуется НПКГ «Зоря — Машпроект». Предприятие с 1956 г. выпустило более 3000 различных ГТУ в линейке мощностей 3–25 МВт для нужд промышленности, транспортировки газа по газопроводам, а также для гражданского флота и ВМФ СССР. С 2014 г. после государственного переворота на Украине и разрыва контрактов между Украиной и Россией это предприятие больше не поставляет ГТУ и запасные части к ним.

Первая морская ПГУ М25 (рисунк) была создана в СССР для контейнеровоза класса го—го, пр. 1609 «Атлантика» — головное судно «Капитан Смирнов» [4]. Судно построено на Черноморском судостроительном заводе в Николаеве, сдано в эксплуатацию в 1979 г.

На двухвинтовом судне с винтами фиксированного шага (ВФШ) были установлены две ПГУ мощностью по 18,4 МВт на номинальном режиме. Мощность ГТУ при этом составляла 14,13 МВт, а мощность ПТУ — 4,27 МВт. Впервые в мире на данной СЭУ был применён газотурбинный реверс. Расход топлива в ПГУ удалось снизить на 20–25% по сравнению с простой ГТУ (с 297 до 238 г/(кВт·ч)). Контейнеровоз развивал скорость хода более 25 уз на номинальном режиме работы ПГУ.

В период 1978–1987 гг. было построено четыре контейнеровоза этого проекта. После развала СССР все контейнеровозы достались Украине и были приватизированы. В



Компоновочная схема ПГУ контейнеровоза «Капитан Смирнов»

конечном итоге владельцы продали их фирмам Global Container Lines и Marianna Shipbuilding Ltd. В 2001–2002 гг. три из них оказались в Индии на свалке металлолома, а один контейнеровоз «Владимир Васляев» поступил в распоряжение ВМС США. Американцы провели коренную модернизацию корабля, но оставили без изменений ПГУ. Этот модернизированный корабль используется ВМС США для сил быстрого реагирования.

Другой пример использования ПГУ, разработанной в 80-х годах XX века. Для ВМФ СССР были созданы маршевые ПГУ типа М21, которыми оснащались ракетные крейсера пр. 1164 «Атлант» [4]. Головной крейсер «Слава» (заложен на стапеле в 1976 г.) сдан флоту в 1983 г. Последующие крейсера этого проекта — «Москва», «Варяг», «Маршал Устинов». Маршевые ПГУ построены по схеме: 2ГТУ+2КУ+2ПТУ+2ВФШ. Мощность каждой маршевой ГТУ М70 7,35 МВт, каждой маршевой ПТУ — 3,68 МВт. Кроме маршевых ПГУ на крейсере в составе СЭУ установлено четыре форсажных ГТУ М90 мощностью по 14,7 МВт, снабженных реверсивными редукторами РГ54. Суммарная мощность СЭУ корабля составляла 80,96 МВт. Скорость хода — 32 уз.

После распада СССР Украина и, в частности, НПКГ «Зоря—Машпроект» активно сотрудничают с ВПК Китая, особенно в области развития военно-морского флота. Китаю был продан авианесущий крейсер «Варяг», проданы около 30 проектов и технологий по разработкам ГТУ и ПГУ для авианосцев и крупных кораблей по бросовым ценам, а также лицензии на производство ряда разработанных ГТУ. В настоящее время Украина является основным парт-

нёром Китая по сотрудничеству в сфере создания СЭУ для ВМФ Китая.

Требуемые решения в морском двигателестроении

В морском двигателестроении России наблюдается переломный момент в развитии отечественных СЭУ в связи с тем, что простые энергетические установки — ДЭУ, ПТУ, ГТУ, ЯЭУ — и существующие в настоя-

щее время комбинации таких установок (в основном ДЭУ+ГТУ)) достигли достаточно высокого уровня совершенства. Дальнейшее повышение их эффективности малоперспективно, даже при проведении обширного финансирования. Поэтому использование ПГУ в качестве морских СЭУ является исключительно перспективным направлением для существенного повышения их экономичности и мощности. Но для их создания и развития требуется решить ряд существующих проблем в отечественном машиностроении.

Следует особо отметить, что при развитии современных и перспективных СЭУ нельзя полагаться на заимствование и применение зарубежных образцов техники и технологий. Это показал негативный опыт взаимодействия со многими странами, наложения санкций на поставки высокотехнологичной продукции в РФ, ошибок руководства СССР в создании стратегически важных производств и предприятий только на Украине и т.п.

В первую очередь, в России необходимо обеспечить производство и выпуск морских реверсивных редукторов с переключением соединительных муфт в их конструкциях. Проектная и технологическая документация на изделия такого рода после распада СССР осталась на Украине, частично продана Украиной в Китай.

Можно ориентироваться на применение винтов регулируемого шага (ВРШ) для обеспечения реверса на судах. Однако в ряде проектов СЭУ это сложно реализовать (например, на уже построенных или модернизируемых судах), а также из-за меньшего КПД и надёжности работы ВРШ по сравнению с ВФШ. Поворотные колонки с гребными

винтами для обеспечения реверса невозможно применять на крупных судах.

На базе отечественного морского газотурбостроения следует освоить производство перспективных образцов ГТУ и ПГУ в широкой линейке мощностей порядка 3—40 МВт для их использования в составе СЭУ с наилучшими техническими характеристиками. Выбранный диапазон мощностей СЭУ обусловлен современными требованиями к энерговооружённости судов и кораблей различного класса и назначения. Для этой цели необходимо совершенствовать главное оборудование в составе ПГУ — газотурбинные установки. Создание высокоэффективных ПГУ приобретает особую актуальность для энерговооружения крупных кораблей. Потенциальные возможности у Объединённой двигателестроительной корпорации по созданию перспективных ПГУ для флота имеются [5]. В ПАО «НПО «Сатурн» созданы современные образцы газогенераторов авиационного типа с качественными техническими характеристиками, которые могут быть хорошо согласованы с создаваемыми силовыми турбинами высокого уровня экономичности и надёжности и адаптированы для работы в морских условиях.

Конструктивную схему ГТУ не следует насыщать различными теплообменными аппаратами для промежуточного охлаждения воздуха между КНД и КВД, а также регенеративными подогревателями воздуха перед камерой сгорания. Как показал опыт создания морских СЭУ ведущими компаниями — производителями ГТУ — GE и Rolls Royce, в составе ГТУ, как правило, нецелесообразно применять такого рода усложнения тепловой схемы [6]. Это связано с существенным увеличением гидравлического сопротивления проточной части ГТУ и ненадёжностью регенераторов, а также теплообменников для охлаждения воздуха. Уместно упомянуть негативный опыт с английскими эсминцами, которые были оснащены ГТУ типа WR21 (компании Rolls Royce) с развитыми теплообменными аппаратами для достижения высокого КПД ГТУ, как оказалось — ненадёжными при эксплуатации.

В конструктивных схемах ГТУ, предназначенных для морских ПГУ, нерационально применять газотурбинный реверс. Такое конструктивное решение изначально снижает развиваемую мощность и КПД ПГУ на 3% и более. Целесообразнее применять редукторы с реверсом, тем более, что редуктор обязательного имеется в составе энергетической установки ГТУ и/или ПГУ с традиционной компоновочной схемой.

Одно из направлений разработок перспективных СЭУ — создание полностью электрифицированной энергетической установки корабля, о чём свидетельствуют материалы по перспективам развития энергетических установок кораблей ВМС зарубежных стран [7]. СЭУ, выполняемые по таким компоновочным схемам, имеют ряд несомненных технических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с традиционными конструкторскими и технологическими решениями для судовых энергоустановок. Достоинства и недостатки СЭУ для полностью электрифицированных судов — с так называемой объединённой электроэнергетической системой — подробно анализируются в [7] и в других открытых источниках информации. Применение ПГУ в большой мере отвечает потребностям и возможностям создания полностью электрифицированных энергетических установок судов или кораблей. Однако в рамках настоящей статьи указанное перспективное направление развития СЭУ детально не рассматривается.

При использовании силовой установки для полностью электрифицированного судна или корабля редуктор в составе СЭУ не требуется. Реверс судна обеспечивается простым переключением электрических соединений на гребном электродвигателе, в результате которого направление вращения гребного винта (ВФШ) изменяется на противоположное.

Заключение. 1. Анализ сведений по достигнутому уровню основных показателей судовых энергетических установок показывает, что наибольшую экономичность СЭУ при приемлемых массогабаритных показателях можно обеспечить путем использования парогазовых установок.

2. При развитии современных и перспективных СЭУ нельзя полагаться на заимствование и применение зарубежных образцов техники и технологий. Наглядный пример тому — санкции на поставки высокотехнологичной продукции в РФ.

3. На базе отечественного морского газотурбостроения следует освоить производство перспективных ГТУ и ПТУ в широком диапазоне мощностей 3—40 МВт.

4. В ПАО «НПО «Сатурн» созданы современные образцы газогенераторов авиационного типа, которые, в совокупности с соответствующими силовыми турбинами, могут быть адаптированы для работы в морских условиях.

5. Не следует усложнять конструктивную схему ГТУ различными теплообменными аппаратами.

6. В конструктивных схемах ГТУ, предназначенных для морских ПГУ, неэкономично применять газотурбинный реверс. Целесообразнее применять редукторы с реверсом.

7. В России необходимо обеспечить производство и выпуск морских реверсивных редукторов.

8. Одно из перспективных направлений разработок СЭУ — создание полностью электрифицированной энергетической установки.

Литература

1. Зысин Л. В. Парогазовые и газотурбинные установки. СПб.: СПбГПИ, 2010.
2. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: МЭИ, 2002.
3. Родионов Н. Г. О потенциальных возможностях применения газовых турбин для судовых ПГУ // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы морской энергетики» (Санкт-Петербург, 16—17 фев. 2017 г.). СПб.: СПбГМТУ, 2017.
4. Бондин Ю. Н. НПКГ «Зоря — Машпроект». Николаев: Юг-Информ, 2006.
5. Буров М. Н. Создание базы морского газотурбостроения в России // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы морской энергетики» (Санкт-Петербург, 16—17 фев. 2017 г.). СПб.: СПбГМТУ, 2017.
6. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2007. № 1, 3.
7. Никитин В. С., Половинкин В. Н., Барановский В. В. Современное состояние и перспективы развития энергетических установок крупных кораблей ВМС зарубежных стран // Крыловский государственный центр. 2016. № 94 (378).