

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.123:621.31

**А. В. Григорьев,
Р. Р. Зайнуллин,
С. М. Малышев**

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ГАЗОТУРБОГЕНЕРАТОРОВ НА МОРСКОМ ФЛОТЕ

В статье рассмотрены перспективы применения вентильных газотурбогенераторов на морском флоте. В настоящее время наиболее широкое применение в качестве судовых источников электроэнергии находят дизель-генераторные агрегаты (ДГА), в том числе за счет сравнительно высокой экономичности. Единичная мощность генераторных агрегатов на судах с электродвижением может превышать десятки мегаватт. На таких значительных мощностях целесообразность использования ДГА значительно снижается, что связано с их высокими массогабаритными показателями. В статье предлагается для привода генераторов использовать двухтопливные газотурбинные двигатели, способные работать как на газовом, так и на жидком топливе. Использование в составе газотурбогенераторных агрегатов (ГТА) полупроводниковых преобразователей частоты (ППЧ) позволит повысить экономичность путем регулирования двигателей по оптимальной с точки зрения расхода топлива характеристике. Частота и напряжение в этом случае будут поддерживаться постоянными с помощью ППЧ. Приведен состав и принцип действия вентильных ГТГА (ВГТГА) нового поколения.

Ключевые слова: генераторный агрегат, газотурбинный двигатель, вентильный генератор, полупроводниковый преобразователь частоты.

Введение

На судах морского флота наиболее широкое применение в качестве источников электроэнергии в настоящее время находят дизель-генераторные агрегаты (ДГА) [1], к достоинствам которых, прежде всего, следует отнести сравнительно высокую экономичность. Газовые турбодвигатели (ГТД) в связи с малым временем, необходимым для подготовки к пуску, и высокой удельной мощностью использовались в основном на кораблях Военно-морского флота [2].

Область применения газовых турбоэлектрогенераторных агрегатов (ГТГА) в составе энергетических установок объектов морской и береговой нефтегазодобычи в течение последних 15 – 20 лет увеличивается быстрыми темпами. Так, единичная мощность судовых генераторных агрегатов на современных судах с электродвижением может превышать десятки мегаватт. На таких значительных мощностях целесообразность использования ДГА значительно снижается, что связано с их низкими массогабаритными показателями. В этом случае наиболее оптимальным решением является применение в качестве приводных вспомогательных двигателей двухтопливных газовых турбоагрегатов, способных работать как на газовом, так и на жидком топливе.

Сравнительный анализ

дизельных и газотурбинных двигателей

Основными достоинствами ГТГА являются их компактность, малый вес, лучшие, чем у дизелей, виброшумовые характеристики, многотопливность, лёгкость запуска при низких температурах, возможность получения больших агрегатных мощностей в габаритах, позволяющих транспортировку железнодорожным и авиационным транспортом для установки или замены на судостроительном заводе или в порту.

Результаты сравнительного анализа типовых дизельных и газотурбинных двигателей, приведенного на основе данных ведущих мировых производителей, приведены на рис. 1.

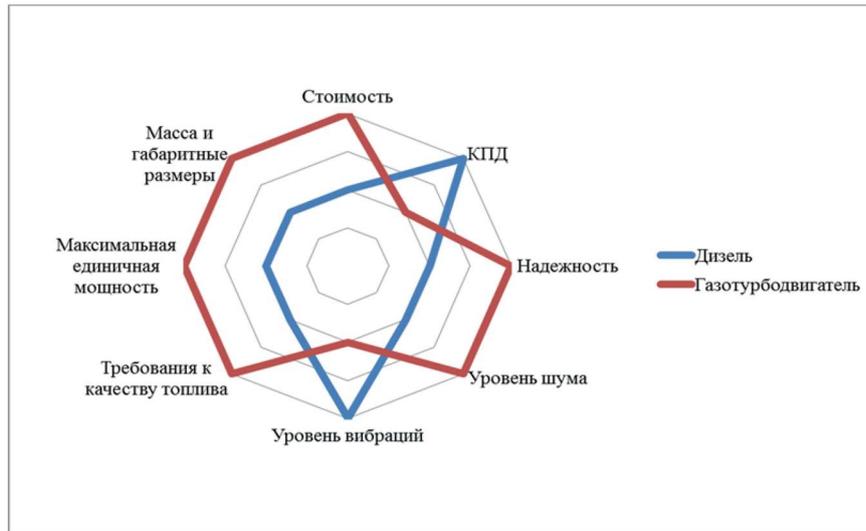


Рис. 1. Сравнительные диаграммы дизельных и газотурбинных двигателей

Перспективы применения газотурбогенераторов

Плавучие, прибрежные и береговые производства по переработке углеводородного сырья имеют, в основном, газотурбинную энергетику. Применение ГТГА обеспечивает возможность строительства автономных объектов, в том числе морских буровых платформ с установленной электрической мощностью до 100 ... 150 МВт. При этом единичная мощность ГТГА может достигать 35 МВт. ГТГА могут применяться в судовых системах электродвижения и электроснабжения круизных лайнеров, буровых судов и судов комплексной добычи, переработки транспортировки и хранения углеводородного сырья [3].

Потребность в российской морской газотурбинной энергетике велика, в том числе в связи с освоением месторождений углеводородного сырья в Арктике, на Дальнем Востоке России и в Сибири. Необходимо отметить, что строительство морских и приморских объектов с газотурбинными энергоустановками в настоящее время осуществляется исключительно с применением импортных ГТГА.

В последние годы наблюдается стремительный рост добычи природного газа в прибрежной морской зоне. Намечилась устойчивая тенденция увеличения объема перевозок природного газа морским транспортом, что привело к необходимости постройки и ввода в эксплуатацию новых специализированных судов, перевозящих газ в сжиженном состоянии, — танкеров-газовозов.

Ежегодные темпы роста продажи сжиженного природного газа (СПГ) более чем в 1,5 раза превышают аналогичный показатель трубопроводного газа. Диаграмма роста процентной доли СПГ в международной торговле природным газом приведена на рис. 2.

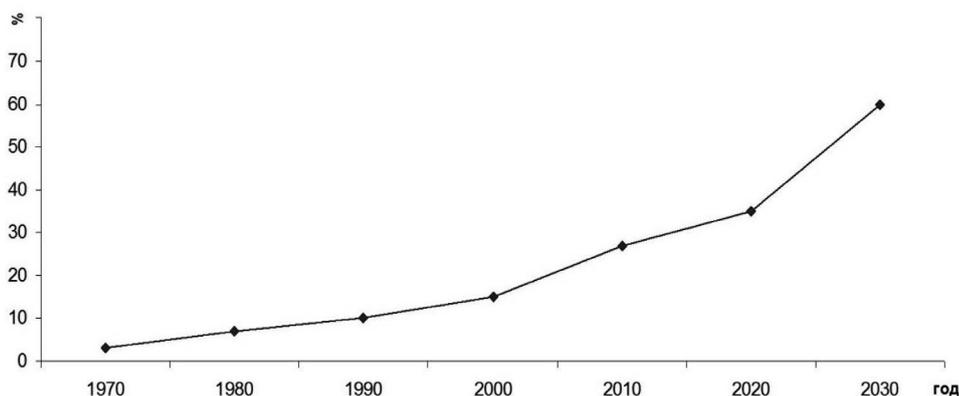


Рис. 2. Процентная часть СПГ в объеме международной торговли природным газом

Газовый турбоэлектрогенераторный агрегат традиционной конструкции

ГТГА традиционной конструкции, используемой на морских и береговых объектах, приведен на рис. 3. В его состав входит ГТД, синхронный генератор (СГ) и понижающий редуктор (Р). Редуктор необходим для понижения частоты вращения ГТД до номинальной частоты вращения электрогенератора.

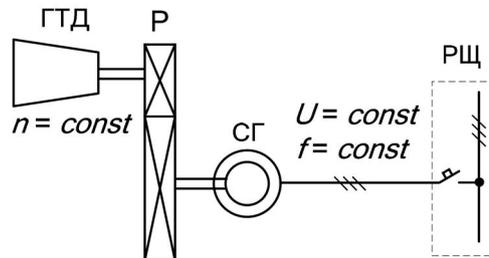


Рис. 3. Структурная схема традиционного ГТГА

Частота вращения СГ традиционной конструкции с явно выраженными полюсами не превышает 3000 мин^{-1} . Для согласования частоты вращения ГТД и генератора применяется понижающий редуктор. Наличие редуктора снижает КПД и надежность ГТГА, повышает его массогабаритные показатели. При этом ГТГА данного типа работают с постоянством частоты вращения, что значительно снижает его экономичность при работе на долевой нагрузке.

Вентильный газовый турбоэлектрогенераторный агрегат

Одним из перспективных научно-технических решений является применение в составе ГТГА вентильных турбоэлектрогенераторов (ВТГ) на базе высокооборотных синхронных электрогенераторов с возбуждением на постоянных магнитах, что позволяет исключить из состава ГТГА понижающий редуктор. СГ высокой мощности с постоянными магнитами ранее в судостроении и автономной электроэнергетике не применялись. Их использование позволяет повысить КПД и надежность установки, снизить эксплуатационные расходы, улучшить массогабаритные показатели [4].

Для получения напряжения стандартной величины (380 В, 690 В или 6300 В) и частоты (50 или 60 Гц) к выходу генератора подключается полупроводниковый преобразователь частоты (ППЧ), стабилизирующий параметры электроэнергии для выдачи в судовую сеть [5], [6]. Использование в составе ГТГА ППЧ позволит повысить экономичность, путем регулирования агрегатов по оптимальной с точки зрения расхода горюче-смазочных агрегатов характеристике [7] – [9]. Структурная схема ВТГА приведена на рис. 4.

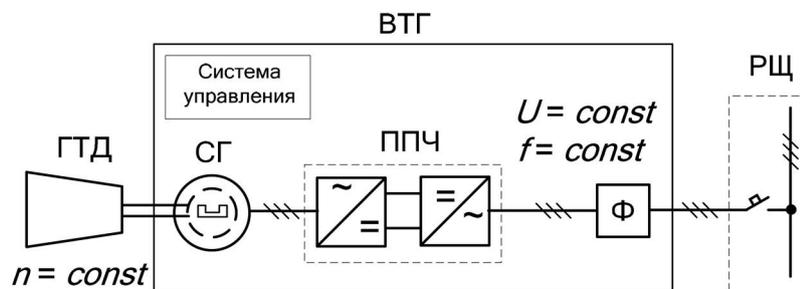


Рис. 4. Структурная схема ВТГА

Применение ВТГ позволяет существенно повысить технико-экономические показатели ГТГА и увеличить их функциональные возможности, в том числе:

- снизить массу и габаритные размеры агрегата;

- обеспечить возможность модульного исполнения ГТГА;
- обеспечить регулирование ГТГА по оптимальной характеристике с переменной частотой вращения, что значительно снижает расход топлива;
- реализовать режим длительной параллельной работы вентильного ГТГА с дизель-генераторными агрегатами [10];
- значительно упростить систему управления и регулирования ГТГА.

В составе ВТГ может использоваться обратимый ППЧ нового поколения на базе активного выпрямителя и автономного инвертора напряжения. Использование обратимого ППЧ позволяет реализовать работу ВТГ в режиме электропривода для стартерного запуска ГТД.

Выводы

1. В связи с активным применением в судостроении систем электродвижения и ростом мощности судовой электроэнергетической системы наиболее перспективным источником электроэнергии становится газовый турбогенераторный агрегат, способный работать как на мазуте, так и на газовом топливе.

2. ГТГА по ряду показателей превосходят судовые дизель-генераторные агрегаты, однако среди их недостатков следует отметить сравнительно низкую экономичность. Для повышения экономичности работы ГТГА целесообразно применять вентильные генераторы, что позволит регулировать частоту вращения агрегата по оптимальной с точки зрения расхода топлива характеристике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овсянников М. К.* Судовые дизельные установки: справочник / М. К. Овсянников, В. А. Петухов. — Л.: Судостроение, 1986. — 424 с.
2. *Вудворд Дж.* Морские газотурбинные установки / Дж. Вудворд; пер. с англ. — Л.: Судостроение, 1979. — 360 с.
3. *Григорьев А. В.* Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 40–46.
4. *Решетов С. А.* Электрооборудование воздушных судов / С. А. Решетов. — М.: Транспорт, 1991. — 319 с.
5. *Анисимов Я. Ф.* Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок / Я. Ф. Анисимов, Е. П. Васильев. — Л.: Судостроение, 1990.
6. *Качество электрической энергии на судах: справочник / под ред. В. В. Шейнихович.* — Л.: Судостроение, 1988.
7. *Григорьев А.* Судовой полупроводниковый преобразователь нового поколения на базе силовых модулей SKiiP / А. Григорьев, А. Колпаков, Ю. Кулагин, Р. Митрофанов // Силовая электроника. — 2010. — № 27. — С. 47–50.
8. *Григорьев А. В.* Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций / А. В. Григорьев, В. Ю. Колесниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 39–43.
9. *Григорьев А. В.* Анализ режимов эксплуатации судовых валогенераторных установок с преобразователями частоты и синхронными компенсаторами / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 164–171.
10. *Константинов В. Н.* Системы и устройства автоматизации судовых электроэнергетических установок. — 2-е изд., перераб. и доп. / В. Н. Константинов. — Л.: Судостроение, 1988. — 312 с.

OPPORTUNITIES OF INRODUCTION OF SHIP VALVE GAS TURBOGENERATORS IN MARINE FLEET

In the article opportunities of using of valve gas turbine generator aggregates in marine fleet are considered. Nowadays diesel-generator aggregates got the most widespread application as ship source of electrical energy,

including due to relatively high efficiency. Single power of generator aggregates on ships with electrical propulsion plants can exceed tens of megawatts. With such significant power feasibility of using of diesel-generator aggregates decreases greatly due to weight and mass parameters. The article offers to use bi fuel gas turbine engines for drive of generators, which can operate on gas and liquid types of fuel. Using of semiconductor frequency converters in gas turbine generator aggregates allows to increase efficiency due to regulating of engines by optimal curve of fuel consumption. In this case frequency and voltage will be supported constant by semiconductor frequency converter. Composition and operation principle of valve gas turbine generator aggregates of new generation are described.

Keywords: generator aggregate, gas turbine engine, valve generator, semiconductor frequency converter.

REFERENCES

1. Ovsyannikov, M. K., and V. A. Petuhov. *Sudovye dizelnye ustanovki*. Catalogue. L.: Sudostroenie, 1986.
2. Woodward, John B. *Marine gas turbines*. L.: Sudostroenie, 1979.
3. Grigoryev, A. V., and R. R. Zaynullin. "Analysis of possibility and expediency of using of electrical propulsion plants on ships for auxiliary fleet." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 5(27) (2014): 40–46.
4. Reshetov, S. A. *Elektrooborudovanie vozdukhnykh sudov*. M.: Transport, 1991.
5. Anisimov, Y. F., and E. P. Vasilyev. *Elektromagnitnaya sovmestimost' poluprovodnikovih preobrazovateley i sudovih elektroustanovok*. L.: Sudostroenie, 1990.
6. *Kachestvo elektricheskoy energii na sudah*: Catalogue / under edition of V.V. Sheynihovich. L.: Sudostroenie, 1988.
7. Grigoryev, A., A. Kolpakov, Y. Kulagin, and R. Mitrofanov. "Sudovoj poluprovodnikoviy preobrazovatel' novogo pokoleniya na baze silovykh modulej SKiiP." *Silovaya Elektronika* 27 (2010): 47–50.
8. Grigoryev, A. V., and V. Y. Kolesnichenko. "Improving the efficiency of marine diesel power plants." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 39–43.
9. Grigoryev, A. V., and R. R. Zaynullin. "Analysis of operation modes of ship shaft generator plants with frequency converters and synchronous compensators." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(31) (2015): 164–171.
10. Konstantinov, V. N. *Sistemi i ustroystva avtomatizatsii sudovih elektroenergeticheskikh ustanovok*. L.: Sudostroenie, 1988.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорьев Андрей Владимирович — кандидат технических наук, доцент.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
 2000iav@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru
 Зайнуллин Руслан Ринатович — соискатель.
 Научный руководитель:
 Григорьев Андрей Владимирович.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
 ruslan_z_86@mail.ru
 Малышев Сергей Михайлович — аспирант.
 Научный руководитель:
 Григорьев Андрей Владимирович.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»
 malyshevsergey@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grigoryev Andrey Vladimirovich — PhD, associate professor.
 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
 2000iav@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru
 Zaynullin Ruslan Rinatovich — applicant.
 Supervisor:
 Grigoryev Andrey Vladimirovich.
 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
 ruslan_z_86@mail.ru
 Malyshev Sergey Mihaylovich — postgraduate.
 Supervisor:
 Grigoryev Andrey Vladimirovich.
 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
 malyshevsergey@list.ru