

6. Хачиян А. С. Сравнительная оценка выбросов двуоксида углерода различными двигателями / А. С. Хачиян // Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса: сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). – М., 2006. – С. 4–9.

7. Бармин И. В. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кулис. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 256 с.

8. Власов А. А. Придет ли природный газ на смену мазуту? [Электронный ресурс] / Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.korabel.ru/news/comments/prid\\_t\\_li\\_prirodniy\\_gaz\\_na\\_smenu\\_mazutu.htm](http://www.korabel.ru/news/comments/prid_t_li_prirodniy_gaz_na_smenu_mazutu.htm)

9. MSC 83/INF.3 «FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment», IMO, 2007.

**УДК 621.314**

**А. В. Григорьев,**  
канд. техн. наук,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**В. Ю. Колесниченко,**  
аспирант,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF MARINE DIESEL POWER PLANTS**

*Приведены опытные данные загрузки дизель-генераторных агрегатов нефтяного танкера. Показано, что данные агрегаты работают при переменной нагрузке, режим их работы необходимо оптимизировать. Важной задачей является сохранение постоянства частоты переменного напряжения при изменении нагрузок. Выполненный анализ загрузки основного и вспомогательных дизель-генераторов показал, что для большинства режимов их работы происходит либо перегрузка основного генератора, либо при параллельной работе нескольких генераторов их общая нагрузка снижается до 50 %. Анализ нагрузочных характеристик дизеля показал, что минимум расхода топлива приходится при его частичной нагрузке. В статье предложен метод повышения эффективности работы дизель-генераторных электростанций при переменной частоте вращения вала двигателя за счет стабилизации частоты электрической энергии до необходимого значения, реализованного в виде полупроводникового преобразователя частоты, состоящего из выпрямителя и инвертора напряжения. Экономия топлива в данном случае может достигать 20 %.*

*Given experimental data of load diesel-generator sets, oil tankers. Is shown that these units operate at variable load, the mode of operation must Opti-myzerowaste. An important task is to maintain the constancy of the frequency of the AC voltage when changing loads. The analysis of the loading of the main and auxiliary diesel generators showed that for most of their operation is either overload the main generator, or when the parallel operation of multiple generators of their total load is reduced to 50 %. Analysis of load characteristics of a diesel engine showed that the minimum fuel consumption accounts for partial load. A method of increasing the efficiency of diesel generator power at a variable frequency motor shaft rotation due to frequency stabilization of electric power to the required values, implemented as semiconductor frequency Converter consisting of a rectifier and voltage source inverter. Fuel economy in this case can reach 20 %.*

*Ключевые слова: дизель-генератор, электростанция, нагрузка, частота.*

*Key words: diesel-generator, power plant, load, frequency.*

**В** КАЧЕСТВЕ приводных двигателей электрических генераторов, используемых на судах для получения электроэнергии, применяются дизельные двигатели, паровые и газовые турбины. Применение последних в построении судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) является особенно актуальным на судах-газовозах, где перевозимый груз может быть использован как основной энергоноситель. Однако благодаря ряду достоинств, основными из которых для судовых электростанций является быстрый ввод в эксплуатацию и экономичность, наибольшее распространение на сегодняшний день получили дизельные двигатели.

Для обеспечения постоянства частоты переменного напряжения частота вращения вала двигателя при изменении нагрузки должна оставаться постоянной. При проектировании САЭС в целях экономии моторесурса и дорогостоящих горюче-смазочных материалов комплектацию дизель-генераторных агрегатов (ДГА) выбирают так, чтобы в наиболее продолжительных режимах работы судна загрузка ДГА составляла 70–80 % номинальной мощности [1], [2].

Для этого каждый из возможных эксплуатационных режимов работы судна приводят в специальной таблице нагрузок, отражающей количество приемников электрической энергии, их коэффициент загрузки и одновременности, а также суммарную мощность. Однако, как показывает опыт эксплуатации, нагрузка судовой электростанции может изменяться в достаточно широком диапазоне [3], [4].

На рис. 1 представлен график изменения нагрузки ДГА судна класса VLCC (Very Large Crude Carrier) «Ауасучо» 2013 г. постройки водоизмещением 320 тыс. т.

Судно предназначено для перевозки нефти и нефтепродуктов и работает на линии между Китаем и Венесуэлой, периодически делая заходы в нефтеразгрузочные терминалы портов Карибского бассейна.

Из рис. 1 видно, что нагрузка СЭЭС не является долевой и большую часть времени не превышает 60 % от номинальной мощности работающего ДГА. При параллельной работе ДГА работают с нагрузкой не более 45–50 %. Включение ДГА на параллельную работу вызвано необходимостью включения на длительный период времени приемника электроэнергии, соизмеримой с ДГА мощностью, в частности электропривода балластного насоса, или одновременного пуска нескольких мощных приемников: электропривода пожарного насоса, главного пускового компрессора и др.

Низкий коэффициент загрузки нескольких работающих ДГА может являться результатом «неудачного» выбора мощности генератора при проектировании судна. Для предотвращения подобных ситуаций электростанции некоторых судов данной серии («Genmar Vision», «Genmar Victory») при использовании менее энергоемких режимов эксплуатации оснащены вспомогательными ДГА меньшей мощности, что повышает стоимость СЭЭС [5], [6].

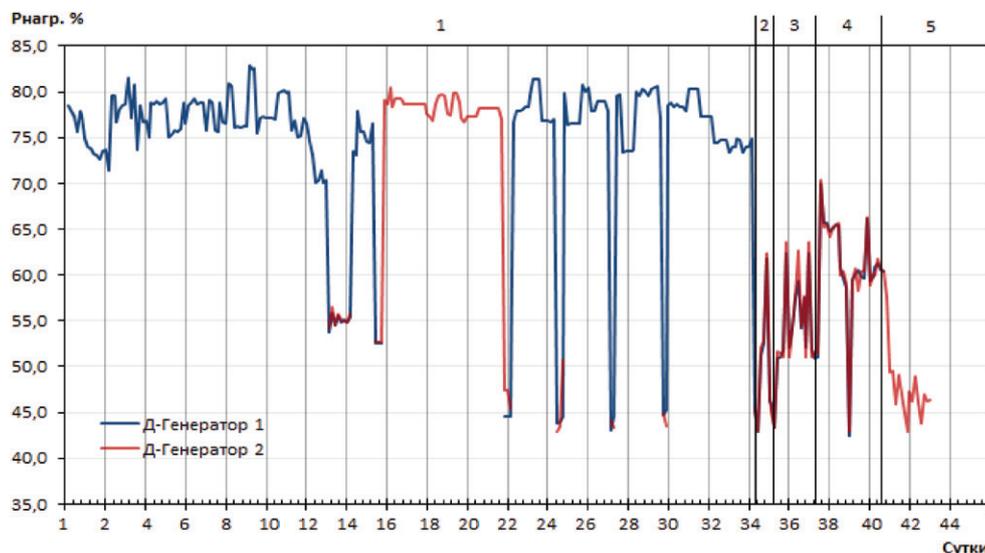


Рис. 1. График изменения нагрузки ДГА судна «Ауасучо» в различных режимах эксплуатации: 1 — ходовой; 2 — маневренный; 3 — выгрузка; 4 — работа балластных насосов; 5 — стоянка на якоре

На рис. 2 приведена однолинейная схема судовой электростанции, в состав которой входят два ДГА и турбогенератор мощностью 1200 кВт каждый, а также аварийный ДГА мощностью 315 кВт.

Работа ДГА на доленой нагрузке при постоянстве частоты вращения существенно повышает расход горюче-смазочных материалов, что видно из рис. 3, на котором представлен удельный расход топлива в функции нагрузки вспомогательного дизеля [7], [8].

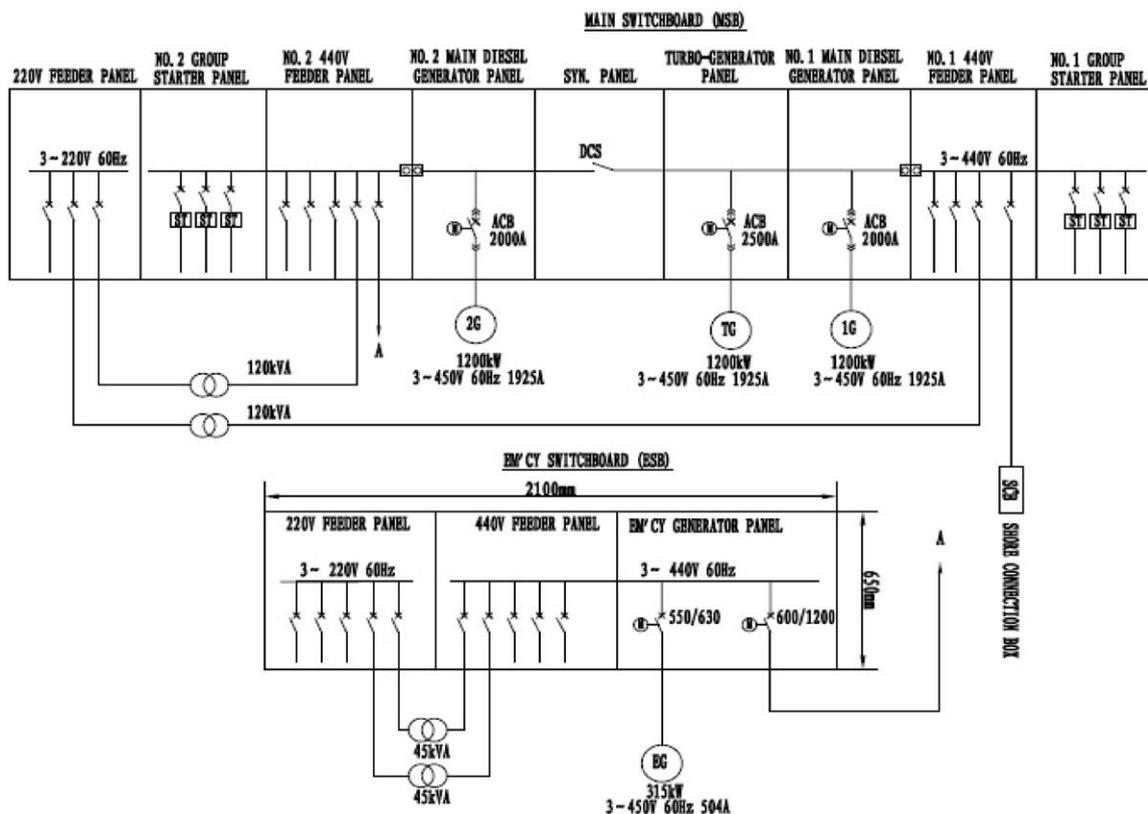


Рис. 2. Однолинейная схема СЭЭС т/х «Ayacucho»

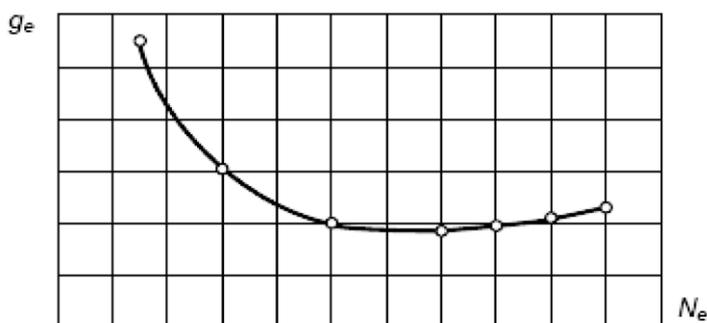


Рис. 3. Нагрузочная характеристика дизеля:  
 $g_e$  – удельный расход топлива;  $N_e$  – эффективная мощность

Анализ нагрузочной характеристики дизеля (рис. 3) показывает, что минимум расхода топлива приходится при нагрузке около 80% от номинальной [9]. В целях повышения эффективности судовой электростанции путем снижения расхода топлива перспективным является создание СЭЭС, в которой вспомогательный дизель работает с переменной частотой вращения в функции нагрузки. Оценить удельный эффективный расход топлива  $g_e$  в зависимости от нагрузки можно при помощи универсальной (многопараметровой) характеристики вспомогательного дизеля [10].

Семейство кривых на графике, представленном на рис. 4, отображается при различных значениях удельного эффективного расхода топлива  $g_e$ , которые являются минимальными внутри семейства и возрастают по мере удаления.

Штрихпунктирной линией на рисунке обозначен режим эксплуатации вспомогательного дизеля при наименьшем расходе топлива.

Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 4, показывает, что обеспечение оптимального расхода топлива вспомогательного дизеля, работающего при изменяющейся нагрузке, возможно регулированием его частоты вращения.

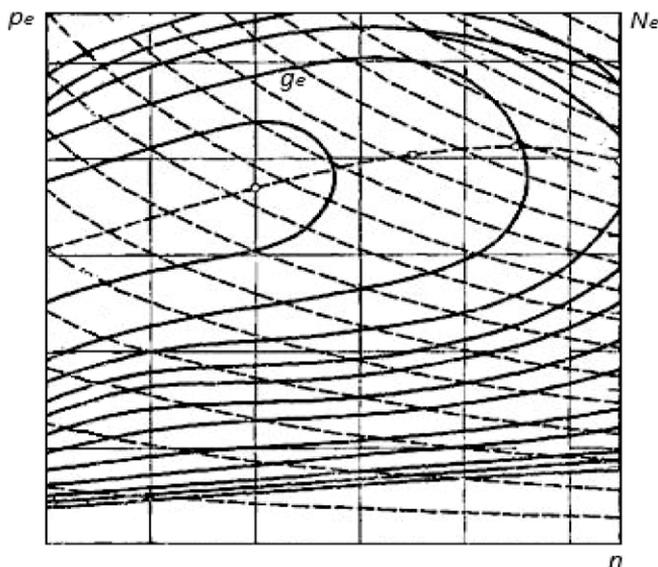


Рис. 4. Универсальная характеристика дизеля

Работа ДГА с переменной частотой вращения приводит к изменению частоты напряжения судовой сети. Для поддержания постоянства частоты в судовой сети можно использовать полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ) [11]. На рис. 5 приведена функциональная схема вентильного ДГА, работающего с переменной частотой вращения.

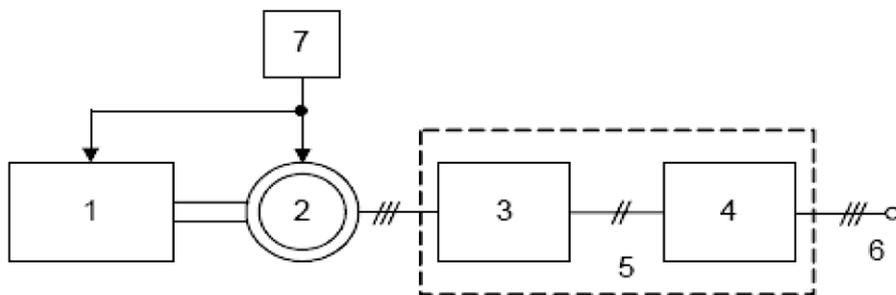


Рис. 5. Функциональная схема вентильного ДГА:

1 – вспомогательный дизель; 2 – генератор; 3 – выпрямитель; 4 – инвертор; 5 – ППЧ;  
6 – судовой сети; 7 – система управления частотой и напряжением

При изменении нагрузки в судовой сети меняется частота вращения вентильного ДГА. Постоянство частоты тока в судовой сети осуществляется за счет ППЧ, выполненного со звеном постоянного тока на базе активного выпрямителя 1 и автономного инвертора 2.

Как показал проведенный технико-экономический анализ, экономия топлива при использовании вентильных ДГА в составе современных СЭЭС может достигать 20% и более [12].

### Список литературы

1. *Алешков О. А.* Повышение топливной экономичности первичного дизеля в составе многофункционального энерготехнологического комплекса оптимизацией скоростного режима: автореферат дис. ... канд. техн. наук / О. А. Алешков. – Барнаул, 2009.
2. *Григорьев А. В.* Результаты ходовых испытаний единой электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев, Д. И. Улитовский, Е. А. Глеклер // Судостроение. – 2008. – № 1. – С. 33–35.
3. *Баранов А. П.* Современные и перспективные валогенераторные установки / А. П. Баранов, А. В. Григорьев, В. А. Петухов // Морской флот. – 2003. – № 3. – С. 28.
4. *Петухов В.* Совершенствование эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторных агрегатов / В. Петухов, А. Баранов, А. Григорьев // *Zeszyty naukowe NR 68*: сб. рецензированный. – ISSN 0209-2069. «*Obsługiwanie maszyn i urządzeń okrentowych*» («Обслуживание двигателей и судовых технических средств»). *Typografia i skład*. – *Dział Wydawnictw Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin*, 2003. – С. 359–366.
5. *Григорьев А. В.* К вопросу о повышении экономичности судовых и корабельных ДГА : сб. трудов научно-практического семинара по вопросам создания, боевой и повседневной эксплуатации электроэнергетики кораблей ВМФ, В 95047/ А. В. Григорьев. – СПб: ВМА им. адм. флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова. – 2004. – С. 40–43.
6. *Петухов В. А.* Анализ и оптимизация эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторов / В. А. Петухов, А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Эффективность работы энергетических установок и технических средств: междунар. сб. науч. тр. – Калининград: Изд. КГТУ, 2003. – С. 98–105.
7. *Григорьев А. В.* Эксплуатация судовых систем электроснабжения / А. В. Григорьев, А. В. Лемин. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009.
8. *Григорьев А. В.* Анализ нагрузки дизель-генераторов нефтехимовозов серии «AZOV SEA» в эксплуатационных режимах / А. В. Григорьев, А. А. Петров // Эксплуатация морского транспорта. – 2005. – Вып. 44. – С. 158–164.
9. *Григорьев А. В.* Результаты экспериментальных исследований работы ДГ с отрицательной неравномерностью скоростной характеристики / А. В. Григорьев, Г. А. Новоселов // Эксплуатация морского транспорта. – 2005. – Вып. 44. – С. 165–173.
10. *Григорьев А. В.* Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. – 2006. – № 1 (13) – С. 23–25.
11. *Григорьев А. В.* Исследование дизель-генератора, работающего с переменной частотой вращения, на компьютерной модели / А. В. Григорьев // Электросистемы. – 2006. – № 2 (14). – С. 17–19.
12. *Григорьев А. В.* Моделирование дизель-генераторных агрегатов с использованием результатов экспериментальных исследований / А. В. Григорьев, Р. И. Ивановский, Е. А. Глеклер // Компьютерное моделирование 2009: тр. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 109–113.