

EXPERIENCE OF DESIGNING AND TESTING THE FIRST NATIVE SHIPBOARD VALVE DIESEL-GENERATOR

A. V. Grigoryev^{1,2}, S. M. Malyshev^{2,3}, R. R. Zaynullin³

¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation,

² — Saint Petersburg Electrotechnical University, St. Petersburg, Russian Federation

³ — JSC “RPC “Ship electric propulsion”, St. Petersburg, Russian Federation

The most wide spread sources of electric power for modern ships are diesel-generator sets, operating with constancy of rotation speed. Load of diesel-generator changes in wide range in different ship functioning modes. It is noted that diesel-generator operation at a constant speed with low load has a number of shortcomings such as increasing the fuel and lubricant consumption, decreasing the efficiency and the drive motor resource. The problem solution is connected with increasing the diesel-generators quantity in electric power plant or with changing their functioning mode. In the first case the capital expenditures and the equipment maintenance costs increase. In the second case it's necessary to realize the valve mode of diesel-generator functioning. The valve diesel-generator can operate with variable rotation speed in function of load that decreases the fuel consumption and increases the drive motor resource. Realization of valve mode of a diesel-generator operation with variable rotation speed is able in case of using it jointly with semiconductor converter which is necessary to stabilize the electrical parameters (voltage and frequency) in shipboard electric power network when the valve diesel-generator operates with variable rotation speed. Applying the valve diesel-generators in electric power plants permits to use the generator sets of equal rated power and decrease their total quantity. For decreasing the rated power and, therefore, the cost of electric power plants equipment, it is possible to implement two functioning modes of diesel-generator in electric power plant: the traditional mode with constant rotation speed with loads close to the rated value, and the valve mode with decreased rotation speed at low load. The experience of designing and testing the first native shipboard valve diesel-generator with variable rotation speed, realized on the dump scow «Silnaya» of HB600 project, is considered. The results of the experimental researches of different functioning modes of electric power plant with valve diesel-generators are presented. The results of the experimental researches confirm expediency to use the valve diesel-generator with variable rotation speed in the autonomous electric power systems with distribution on alternating current and in the integrated electric power systems with distribution on direct current.

Keywords: scow, shipboard electric power plant, structural diagram, generator set, diesel-generator, variable rotation speed, valve generator, semiconductor converter, electric power quality, experimental research.

For citation:

Grigoryev, Andrey V., Sergei M. Malyshev, and Ruslan R. Zaynullin. “Experience of designing and testing the first native shipboard valve diesel-generator.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 766–775. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-766-775.

УДК 621.315:621.3.025

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ ПЕРВОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО СУДОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

А. В. Григорьев^{1,2}, С. М. Малышев^{2,3}, Р. Р. Зайнуллин³

¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — АО «НПЦ «Электродвижение судов», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Основными источниками электроэнергии на современных судах являются дизель-генераторные агрегаты, работающие с постоянной частотой вращения. В разных режимах эксплуатации судна нагрузка на дизель-генераторах изменяется в широком диапазоне. Отмечается, что работа дизель-гене-

ратора с постоянной частотой вращения на долевой нагрузке имеет ряд недостатков, к которым следует отнести увеличение расхода горюче-смазочных материалов, снижение КПД и ресурса приводного двигателя. Решение проблемы связано с увеличением количества дизель-генераторов в составе судовой электростанции или изменением их режима эксплуатации. В первом случае увеличивается стоимость оборудования и эксплуатационные расходы, во втором — необходимо реализовать вентильный режим работы дизель-генератора. Вентильный дизель-генератор может работать с переменной частотой вращения в функции изменения нагрузки, что снижает удельный расход топлива и увеличивает моточасовой ресурс приводного дизеля. Реализация вентильного режима эксплуатации дизель-генератора с переменной частотой вращения возможна при комплектации его полупроводниковым преобразователем, который необходим для стабилизации электрических параметров (напряжения и частоты) в судовой сети при переменной частоте вращения вентильного дизель-генератора. Применение в составе судовых электростанций вентильных дизель-генераторов позволяет использовать генераторные агрегаты одинаковой мощности, при этом можно сократить их количество. Для уменьшения мощности, а, соответственно, и стоимости судовых электростанций возможна реализация двух режимов эксплуатации дизель-генератора: традиционного — с постоянством частоты вращения при нагрузке, близкой к номинальной, и вентильного — с пониженной частотой вращения дизель-генератора на долевой нагрузке. Рассмотрен опыт проектирования и испытаний первого отечественного судового дизель-генератора переменной частоты вращения, реализованного на грунтоотвозной шаланде «Сильная» пр. НВ600. Представлены результаты экспериментальных исследований различных режимов эксплуатации судовой электростанции с вентильными дизель-генераторами. Результаты экспериментальных исследований подтверждают, что вентильный дизель-генератор переменной частоты вращения целесообразно применять как в автономных судовых электростанциях с распределением электроэнергии на переменном токе, так и в единых электроэнергетических системах с распределением электроэнергии на постоянном токе.

Ключевые слова: шаланда, судовая электростанция, структурная схема, генераторный агрегат, дизель-генератор, переменная частота вращения, вентильный генератор, полупроводниковый преобразователь, качество электроэнергии, экспериментальные исследования.

Для цитирования:

Григорьев А. В. Опыт проектирования и испытания первого отечественного судового вентильного дизель-генератора / А. В. Григорьев, С. М. Малышев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 766–775. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-766-775.

Введение (Introduction)

Основным источником электроэнергии на современных судах являются дизель-генераторы (ДГ), работающие с постоянной частотой вращения. Нагрузка на судовую электростанцию (СЭС) изменяется в широком диапазоне в разных режимах эксплуатации судна, что приводит к изменению нагрузки на ДГ. Работа ДГ с постоянной частотой вращения при работе на долевой нагрузке имеет ряд недостатков, к которым следует отнести увеличение расхода горюче-смазочных материалов, снижение КПД и ресурса приводного дизеля [1]–[3]. Решение проблемы связано с увеличением количества ДГ в составе СЭС или изменением их режима эксплуатации. В первом случае увеличивается стоимость оборудования и эксплуатационные расходы, во втором — необходимо реализовать вентильный режим работы ДГ. Вентильный ДГ может работать с переменной частотой вращения в функции изменения нагрузки. Для стабилизации электрических параметров (напряжения и частоты) в судовой сети при переменной частоте вращения вентильного ДГ применяется полупроводниковый преобразователь (ПП) [4]–[6].

В статье рассмотрен опыт создания и испытаний судового вентильного ДГ с переменной частотой вращения. Вентильный ДГ переменной частоты вращения впервые установлен на отечественном судне (грунтоотвозной шаланде «Сильная» проекта НВ600). ДГ прошел швартовые и ходовые испытания и успешно предъявлен Российскому морскому регистру судоходства (далее — РС). Одним из результатов испытаний вентильного ДГ явилось введение РС в «Правила классификации и постройки морских судов, 2019 г.» новой гл. 23 «Специальные требования к вентильным генераторным агрегатам», разработанной при непосредственном участии АО «НПЦ «Электродвижение судов».

Методы и материалы (Methods and Materials)

В 2018 г. на Онежском судостроительно-судоремонтном заводе (г. Петрозаводск) завершено строительство самоходной грунтоотвозной шаланды «Сильная» пр. НВ600 (рис. 1). Судно построено по заказу ФГУП «Росморпорт», головной проектант судна — ЗАО «Спецсудопроект».



Рис. 1. Самоходная грунтоотвозная шаланда «Сильная», пр. НВ600

Основные характеристики судна:

длина габаритная 56,1 м;
ширина 11,2 м;
водоизмещение 1606 т;
валовая вместимость 835 т;
объем грунтового трюма 600 м³;
скорость хода 6,5 уз;
экипаж 3 чел.;
автономность по запасам 5 сут.

Схема общего расположения самоходной грунтоотвозной шаланды пр. НВ600 приведена на рис. 2.

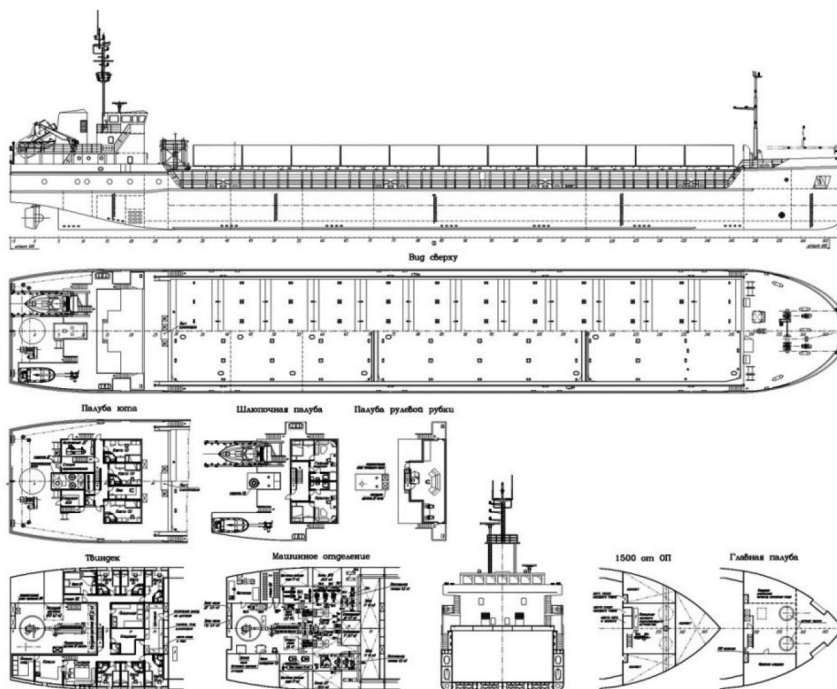


Рис. 2. Схема общего расположения самоходной грунтоотвозной шаланды пр. НВ600

Основными режимами эксплуатации судна являются: стоянка без погрузки, стоянка с погрузкой, маневрирование, ходовой и аварийный. Движение шаланды обеспечивают два главных дизеля мощностью 369 кВт с частотой вращения 1800 мин^{-1} , работающие на полноповоротные механические винторулевые колонки с винтом фиксированного шага. Частота вращения винта — 600 мин^{-1} .

В состав судовой электростанции (СЭС) входит два вспомогательных дизель-генератора (ДГ), мощностью 100 кВт каждый (рис. 3), с номинальной частотой вращения 1500 мин^{-1} , главный распределительный щит (ГРЩ) переменного тока напряжением 400 (230) В, частотой 50 Гц, два понижающих трансформатора напряжением 400/230 В [3].



Рис. 3. Вспомогательный судовой дизель-генератор

Проведенные испытания СЭС на первом судне данной серии показали, что при стоянке и ходовом режиме нагрузка на ДГ уменьшается до 10–15 кВт и более. Длительная работа ДГ с долевой нагрузкой приводит к повышенному расходу горюче-смазочных материалов и недопустима при снижении нагрузки менее 10 %. Традиционное решение проблемы связано с установкой дополнительного ДГ меньшей мощности [7]–[9].

Исполнитель работ АО «НПП «Электродвижение судов» предложил заказчику — ФГУП «Росморпорт» — на базе ранее установленных штатных ДГ реализовать вентильный режим эксплуатации путем снижения частоты вращения вспомогательного ДГ при работе на долевой нагрузке и установки полупроводникового преобразователя (ПП) для поддержания постоянных параметров электроэнергии в судовой сети. Снижение частоты вращения позволит обеспечить продолжительную работу приводного двигателя на малой нагрузке и уменьшить расход горюче-смазочных материалов [5]. В результате проведенного сравнительного технико-экономического анализа заказчиком, в лице Управления развития и строительства флота ФГУП «Росморпорт» (нач. В. И. Штрамбранд), предпочтение было отдано второму варианту с реализацией в составе СЭС вентильного ДГ. Схемное решение СЭС с вентильными ДГ рассмотрено в публикации [1]. На завершающем этапе строительства судна была проведена модернизация СЭС с целью реализации вентильного ДГ на базе штатного агрегата путем дополнительной установки ПП, состоящей из двух полупроводниковых модулей (выпрямитель / инвертор), входного и выходного фильтра (рис. 4).

Дополнительно в процессе модернизации СЭС была проведена доработка ГРЩ и системы регулирования частоты вращения приводного дизеля. Секция вентильного ДГ ГРЩ приведена на рис. 5.



Рис. 4. Полупроводниковые модули (справа) и фильтры (слева)



Рис. 5. Секция вентильного ДГ в составе ГРЩ

СЭС с вентильными ДГ работает следующим образом. При работе вспомогательного ДГ с нагрузкой в диапазоне 30–100 % от номинальной величины генератор напрямую подключен к ГРЩ. ДГ при этом работает с номинальной частотой вращения (1500 мин^{-1}). При снижении нагрузки на ДГ до 30 % (30 кВт) и менее осуществляется подключение ПП, и вспомогательный ДГ переходит на работу с пониженной частотой вращения (1250 мин^{-1}). При снижении частоты вращения вспомогательного ДГ пропорционально снижается частота электрического тока и незначительно уменьшается напряжение на выходе генератора [10]–[12].

Стабилизацию выходных параметров электроэнергии в судовой сети, в соответствии с требованиями РС, осуществляет ПП. В случае увеличения нагрузки в судовой сети повышается частота вращения ДГ до номинального значения (1500 мин^{-1}), происходит отключение ПП и генератор напрямую подключается к ГРЩ. Применение ПП не меняет схему построения СЭС. Переход с номинальной частоты вращения ДГ на пониженную частоту производится без изменения схемы генерирования электроэнергии. Снижение надежности СЭС не происходит в связи с тем,

что в случае отказа ПП ДГ может работать с номинальной частотой и напрямую подключается к шинам ГРЩ. Процессы переключения режимов эксплуатации ДГ происходят автоматически без обесточивания судна. Применение ПП не требует дополнительного технического обслуживания со стороны экипажа судна и расходов на эксплуатацию.

В ходе проведения швартовых и ходовых испытаний грунтоотвозной шаланды «Сильная» пр. НВ600 были выполнены экспериментальные исследования основных режимов эксплуатации СЭС с вентильными ДГ.

Основные задачи при проведении экспериментальных исследований:

- проверка перехода вентильного ДГ с номинальной частоты вращения на минимальную и обратно;
- проверка поддержания постоянства напряжения и частоты в судовой сети при работе вентильного ДГ на пониженной частоте вращения при плавном изменении нагрузки;
- проверка поддержания постоянства напряжения и частоты в судовой сети при прямом включении судового асинхронного электропривода на номинальной и пониженной частоте вращения;
- проверка перехода с режима прямого подключения генератора на ГРЩ к вентильному режиму работы посредством включения и отключения ПП.

Схема СЭС с указанием точек подключения электроизмерительных приборов для осциллографирования установившихся и переходных процессов представлена на рис. 6.

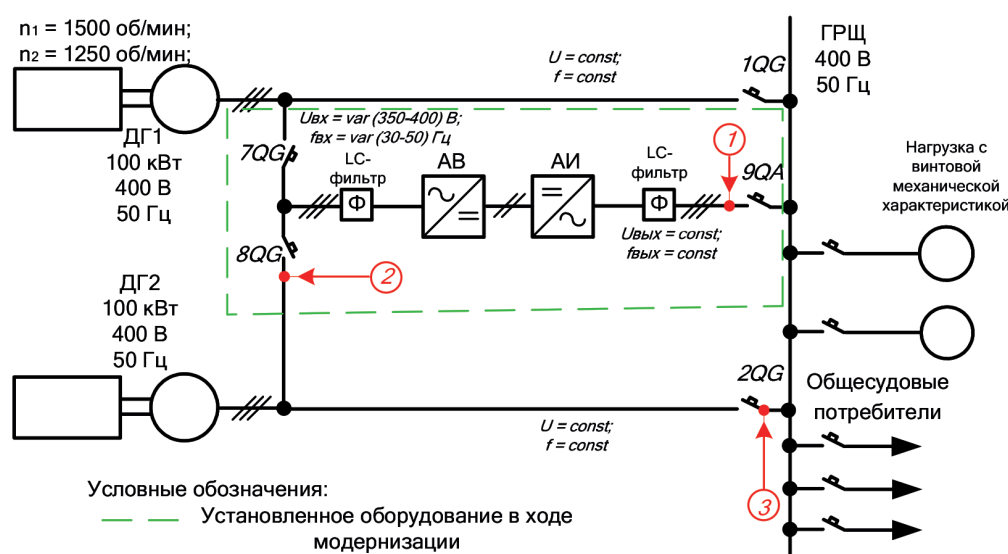


Рис. 6. Схема СЭС с вентильным ДГ грунтоотвозной шаланды «Сильная» пр. НВ600 с указанием точек для осциллографирования:

ДГ — дизель-генератор; АВ — активный выпрямитель; АИ — автономный инвертор; ГРЩ — главный распределительный щит; Φ — фильтр

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

Экспериментальные исследования СЭС с вентильными ДГ на грунтоотвозной шаланде проекта НВ600 проводились с использованием электронного осциллографа с функциями анализатора качества электроэнергии Fluke 435. При проведении экспериментальных исследований выполнялись измерения мгновенных значений параметров электроэнергии и коэффициента несинусоидальности формы кривой напряжения (THD). Видеокадры измерений комплексом Fluke 435 в процессе проведения экспериментальных исследований электрических параметров судовой сети представлены на рис. 7.

Электрические измерения проводились при работе вентильного ДГ при различных значениях нагрузки на ГРЩ и частоты вращения вентильного ДГ. Мгновенные значения напряжения при минимальной частоте вращения ДГ с разной нагрузкой приведены на рис. 8.

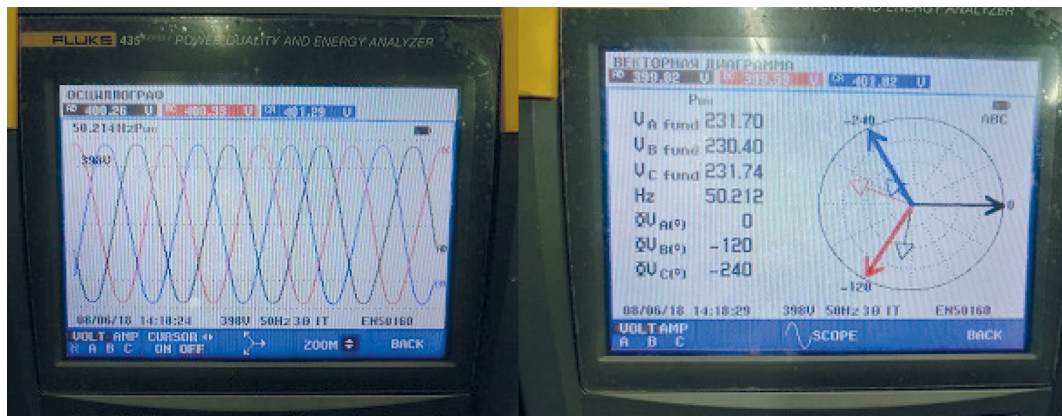


Рис. 7. Видеокадры измерений комплексом Fluke 435 электрических параметров судовой сети в процессе проведения экспериментальных исследований

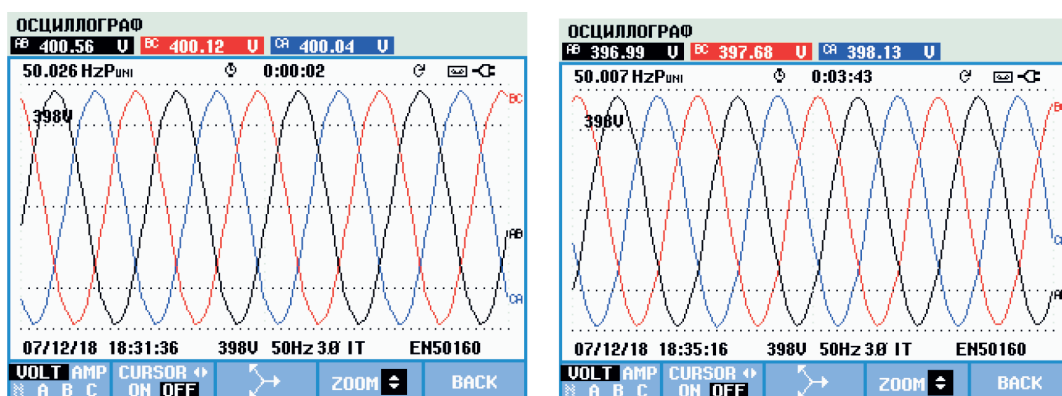


Рис. 8. Мгновенные значения напряжения на ГРЩ при $n_{\text{ДГ}} = 1250 \text{ мин}^{-1}$ и $P_{\text{сэс}} = 2 \text{ кВт}$; $P_{\text{сэс}} = 38 \text{ кВт}$

В ходе проведения экспериментальных исследований выполнялись непрерывные измерения коэффициента несинусоидальности формы кривой напряжения и тока (THD) в судовой сети при работе вентильного ДГ в установившемся режиме при частоте вращения $n = 1250$ и 1500 мин^{-1} и изменении нагрузки от 2 до 38 кВт. Значение коэффициента несинусоидальности формы кривой напряжения и тока (THD), измеренное в процессе проведения экспериментальных исследований, приведено на рис. 9.

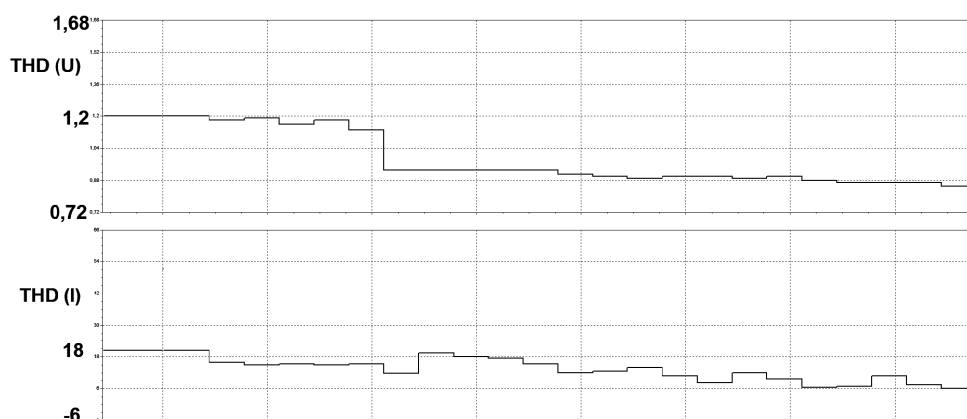


Рис. 9. Значение коэффициента несинусоидальности формы кривой напряжения THD на шинах ГРЩ при работе вентильного ДГ с переменными частотой вращения и нагрузкой

Результаты экспериментальных исследований показали, что при изменении частоты вращения вентильных ДГ с 1250 до 1500 мин⁻¹ и нагрузки от нуля до номинальной величины значения напряжения и частоты тока на шинах ГРЩ оставались постоянными, равными, соответственно, 395–400 В и 50 Гц. Значение коэффициента несинусоидальности формы кривой напряжения (*THD*) на шинах ГРЩ во всех режимах эксплуатации вентильного ДГ не превышало 1,2 %. Таким образом, вентильный ДГ переменной частоты вращения целесообразно применять как в автономных СЭС с распределением электроэнергии на переменном токе, так и на судах с распределением электроэнергии на постоянном токе в единых судовых электроэнергетических системах [13]–[15].

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования и испытаний можно сделать следующие выводы:

1. На грунтоотвозной шаланде «Сильная» пр. НВ600В впервые в отечественном судостроении успешно внедрена СЭС с вентильными ДГ переменной частоты вращения переменного тока. Для реализации вентильных ДГ был дополнительно установлен ПП, фильтры, проведена настройка системы регулирования частоты вращения приводного дизеля и модернизация ГРЩ.

2. Применение вентильных ДГ в составе СЭС позволяет уменьшить количество генераторных агрегатов, повысит их экономичность и моторесурс. В разработанной СЭС на базе вентильных ДГ возможна реализация при автономной и параллельной работе как традиционного способа регулирования приводного дизеля с поддержанием постоянства частоты вращения, так и оптимального регулирования частоты вращения в функции изменения нагрузки.

3. Проведенные швартовные и ходовые испытания показали, что вентильный ДГ во всех режимах эксплуатации СЭС работает устойчиво, переход на вентильный режим эксплуатации ДГ и обратно происходит без обесточивания и изменения значений напряжения и частоты.

4. В установившихся режимах работы вентильных ДГ во всем диапазоне изменения частоты вращения и нагрузки параметры электроэнергии (напряжение и частота тока) на шинах ГРЩ поддерживаются постоянными. Качество вырабатываемой электроэнергии при работе вентильного ДГ соответствует требованиям РС. Коэффициент несинусоидальных искажений формы кривой напряжения *THD* при работе вентильного ДГ на судовую сеть не превышал 1,2 % во всех режимах эксплуатации.

5. Одним из результатов успешных испытаний вентильного ДГ явилось введение РС в «Правила классификации и постройки морских судов» (ред. 2019 г.) новой гл. 23 «Специальные требования к вентильным генераторным агрегатам».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А. В. Судовая электростанция с вентильными дизель-генераторами переменной частоты вращения / А. В. Григорьев, С. М. Малышев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 193–201. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-193-201.

2. Григорьев А. В. Первый отечественный судовой вентильный дизель-генераторный агрегат переменного тока / А. Григорьев, В. Фатов, С. Малышев // Морской флот. — 2018. — № 5 (1539). — С. 40–42.

3. Куколев А. А. Классификационные требования, предъявляемые к судовым дизель-генераторам / А. А. Куколев // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2017. — № 2 (19). — С. 24–26.

4. 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.

5. Бурмакин О. А. Имитационная модель судовой электростанции / О. А. Бурмакин, М. П. Шилов, Ю. С. Малышев, С. В. Попов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2016. — № 48. — С. 273–280.

6. Вишнеvский Л. В. Включение синхронных генераторов в многоагрегатную судовую электростанцию / Л. В. Вишнеvский [и др.] // Электромашиностроение и электрооборудование. — 2007. — № 68. — С. 26–29.
7. Григорьев А. В. Перспективы внедрения вентильных газотурбогенераторов на морском флоте / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин, С. М. Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова — 2016. — № 1 (35). — С. 165–169. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-165-169.
8. Коробко Г. И. Разработка и моделирование дизель-генератора с изменяемой частотой вращения в судовой единой электроэнергетической системе / Г. И. Коробко, О. С. Хватов, И. Г. Коробко // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2017. — № 1. — С. 55–61.
9. Григорьев А. В. Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. — 2006. — № 1 (13). — С. 23–25.
10. Сугаков В. Г. Внешняя форсировка систем возбуждения судовых синхронных генераторов / В. Г. Сугаков [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2015. — № 3. — С. 103–111.
11. Алаев А. В. Распределение реактивной мощности при параллельной работе судовых синхронных генераторов / А. В. Алаев, П. А. Дараган, Р. А. Байбаков // Эксплуатация морского транспорта. — 2016. — № 2 (79). — С. 70–74.
12. Романовский В. В. Анализ схемных решений гребных электрических установок с распределенной шиной постоянного тока / В. В. Романовский, В. А. Малышев, А. С. Бежик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 169–181. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-169-181.
13. Baldi F. Optimal load allocation of complex ship power plants / F. Baldi, F. Ahlgren, F. Melino, C. Gabriellii, K. Andersson // Energy Conversion and Management. — 2016. — Vol. 124. — Pp. 344–356. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.009.
14. Ancona M. A. Efficiency improvement on a cruise ship: Load allocation optimization / M. A. Ancona [et al.] // Energy Conversion and Management. — 2018. — Vol. 164. — Pp. 42–58. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.02.080
15. Zahedia B. Optimized efficiency of all-electric ships by dc hybrid power systems / B. Zahedia, L. E. Norum, K. B. Ludvigsen // Journal of Power Sources. — 2014. — Vol. 255. — Pp. 341–354. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.031.

REFERENCES

1. Grigoryev, Andrey V., Sergei M. Malyshev, and Ruslan R. Zaynullin. “Ship electric power plant with valve diesel-generators of variable rotation speed.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 193–201. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-193-201.
2. Grigoryev, A., V. Fatov, and S. Malyshev. “Perviy otechestvenniy sudovoy ventilniy dizel-generatorniy agregat peremennogo toka.” *Morskoy flot* 5(1539) (2018): 40–42.
3. Kukolev, A. “Classification societies requirements for diesel generators.” *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 2(19) (2017): 24–26.
4. Grigoryev, A. V., and V.Yu. 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.
5. Burmakin, O. A., M. P. Shilov, Y. S. Malyshev, and S.V. Popov. “A ship power plant simulation model.” *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta* 48 (2016): 273–280.
6. Vishnevskii, L. V., A. M. Veretennik, I.P. Kozyrev, and I.E. Voitetskii. “Vkluychenie sinkhronnykh generatorov v mnogoagregatnuyu sudovuyu elektro-stantsiyu.” *Elektromashinostroenie i elektrooborudovanie* 68 (2007): 26–29.
7. Grigoryev, Andrey Vladimirovich, Ruslan Rinatovich Zaynullin, and Sergey Mihaylovich Malyshev. “Opportunities of introduction of ship valve gas turbogenerators in marine fleet.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(35) (2016): 165–169. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-165-169.
8. Korobko, G. I., O. S. Khvatov, and I. G. Korobko “Designing and modelling of variable speed diesel generators for ship unified electric power systems.” *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* 1 (2017): 55–61.

9. Grigoryev, A. V. “Optimalnaya regulirovochnaya kharakteristika dizel-generatornogo agregata.” *Elektrosistemy* 1(13) (2006): 23–25.

10. Sugakov, V. G., O. S. Khvatov, Y. S. Malyshev, A. A. Toshchev, and I. V. Sychushkin. “External boost of excitation systems of marine synchronous generators.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 3 (2015): 103–111.

11. Alaev, V. V., P. A. Daragan, and R.A. Baibakov. “Distribution of reactive power of ship synchronous generators.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(79) (2016): 70–74.

12. Romanovskiy, Victor V., Vladimir A. Malishev, and Artem S. Bezhik. “Special structure of the electrical propulsion plant with DC-grid system.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 11.1 (2019): 169–181. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-169-181.

13. Baldi, Francesco, Fredrik Ahlgren, Francesco Melino, Cecilia Gabrielli, and Karin Andersson. “Optimal load allocation of complex ship power plants.” *Energy Conversion and Management* 124 (2016): 344–356. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.009.

14. Ancona, Maria Alessandra, F. Baldi, M. Bianchi, L. Branchini, F. Melino, A. Peretto, and J. Rosati. “Efficiency improvement on a cruise ship: Load allocation optimization.” *Energy Conversion and Management* 164 (2018): 42–58. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.02.080.

15. Zahedi, Bijan, Lars E. Norum, and Kristine B. Ludvigsen. “Optimized efficiency of all-electric ships by DC hybrid power systems.” *Journal of power sources* 255 (2014): 341–354. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.031.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Григорьев Андрей Владимирович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 5
e-mail: a.grigorev@eds-marine.ru,
kaf_saees@gumrf.ru
Малышев Сергей Михайлович —
ассистент, начальник отдела
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 5
АО «НПЦ «Электродвижение судов»
197341, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Фермское шоссе, 12, лит. Е, оф. 178
e-mail: malyshevsergey@list.ru
Зайнуллин Руслан Ринатович —
начальник отдела
АО «НПЦ «Электродвижение судов»
197341, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Фермское шоссе, 12, лит. Е, оф. 178
e-mail: zaynullin@eds-marine.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grigoryev, Andrey V. —
PhD, Associate Professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
Saint Petersburg Electrotechnical University
5 Professora Popova Str., St. Petersburg, 197022,
Russian Federation
e-mail: a.grigorev@eds-marine.ru,
kaf_saees@gumrf.ru
Malyshev, Sergei M. —
Assistant, Head of Department
Saint Petersburg Electrotechnical University
5 Professora Popova Str., St. Petersburg, 197022,
Russian Federation
JSC “RPC “Ship electric propulsion”
12 Fermskoe shosse Str., let. E, office 178, St.
Petersburg, 197341, Russian Federation
e-mail: malyshevsergey@list.ru
Zaynullin, Ruslan R. —
Head of Department
JSC “RPC “Ship electric propulsion”
12 Fermskoe shosse Str., let. E, office 178,
St. Petersburg, 197341, Russian Federation
e-mail: zaynullin@eds-marine.ru

Статья поступила в редакцию 17 июля 2019 г.

Received: July 17, 2019.