

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-193-201

SHIP ELECTRIC POWER PLANT WITH VALVE DIESEL-GENERATORS OF VARIABLE ROTATION SPEED

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

Diesel-generators of autonomous ship electric power plants operating on the regulatory characteristic with constancy of rotation speed are considered. It is confirmed that using of diesel-generators at a constant speed in a wide range of loads variations has a number of negative consequences. The selection of the quantity and rated power of diesel-generators under the condition of ensuring their operation with a load close to the rated value in all modes of the vessel operation is highly difficult and almost unrealizable in practice. It is proved that the traditional way to solve the problem is to increase the number of diesel-generators or use of generators of different rated power leads to an increase in the cost of equipment and the deterioration of mass and dimensions parameters. It is noted that the modern solution of the problem is connected with the regulation of a diesel-generator according to the optimum characteristic in terms of fuel and lubricants consumption, when the rotation speed changes as a function of the load. The implementation of the diesel-generator operation with variable speed is possible when the generator is equipped with a semiconductor converter and the valve mode of operation is implemented. The using of valve diesel-generators as part of the ship electric power plant allows to use generator sets of the same power and to reduce their quantity. It is advisable for reducing the rated power and, accordingly, the semiconductor converter cost, to implement two modes of diesel-generator's operation: the traditional mode with a constant rotation speed at a load close to the rated and the valve mode with variable rotation speed. It is fundamentally new to realize the mode of the parallel operation of two diesel-generators, one of which can operate in the traditional mode, and the second one in the mode of the valve generator. The results of experimental studies of diesel-generator operation with variable rotation speed are presented in the paper and a structural diagram of the ship electric power plant with valve diesel-generators of a new generation is proposed.

Keywords: generator set, diesel-generator, variable rotation speed, valve generators, ship electric power plant, semiconductor converters, quality of electric power, fuel consumption, experimental studies, structural diagram.

For citation:

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.

УДК 621.315:621.3.025

СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВЕНТИЛЬНЫМИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

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 «НППЦ «Электродвижение судов», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрены дизель-генераторы (ДГ) в автономных судовых электростанциях (СЭС), работающие по регуляторной характеристике с постоянством частоты вращения. Подтверждено, что эксплуатация ДГ при постоянной частоте вращения в широком диапазоне изменения нагрузок имеет ряд негативных по-

следствий. Выбор количества и мощности ДГ СЭС при условии обеспечения их работы с нагрузкой, близкой к номинальной во всех режимах эксплуатации судна, является весьма сложной и на практике практически нереализуемой задачей. Доказано, что традиционным способом решения проблемы является увеличение количества ДГ или использование генераторов разной мощности, что приводит к увеличению стоимости оборудования и снижению массо-габаритных показателей. Отмечается, что современное решение проблемы связано с регулированием ДГ по оптимальной (с точки зрения расхода горюче-смазочных материалов) характеристике, когда частота вращения изменяется в функции нагрузки. Реализация работы ДГ с переменной частотой вращения возможна при комплектации генератора полупроводниковым преобразователем (ПП) и реализации вентильного режима эксплуатации. Использование в составе СЭС вентильных ДГ позволяет использовать генераторные агрегаты одинаковой мощности, при этом сократить их количество. Целесообразно для уменьшения мощности, а, соответственно, и стоимости ПП реализовать два режима эксплуатации ДГ: традиционный — с постоянством частоты вращения при нагрузке, близкой к номинальной, и вентильный — с изменяющейся частотой вращения ДГ. Принципиально по-новому целесообразно реализовать и режим параллельной работы двух ДГ, один из которых может работать в режиме традиционного, а второй — в режиме вентильного генератора. В статье представлены результаты экспериментальных исследований работы ДГ с переменной частотой вращения и предложена структурная схема СЭС с вентильными ДГ нового поколения.

Ключевые слова: генераторный агрегат, дизель-генератор, переменная частота вращения, вентильные генераторы, судовая электростанция, полупроводниковые преобразователи, качество электроэнергии, расход топлива, экспериментальные исследования, структурная схема.

Для цитирования:

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.

Введение (Introduction)

Назначением судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) является производство электроэнергии во всех режимах эксплуатации судна. Основным источником электроэнергии на современных судах остаются генераторные агрегаты (ГА) и, прежде всего, дизель-генераторы (ДГ). На стадии технического проектирования морские конструкторские бюро производят выбор количества и мощности ГА. Основной целью при проектировании СЭЭС является снижение строительной стоимости оборудования и уменьшение расхода горюче-смазочных материалов при эксплуатации судна. При этом предпринимается попытка обеспечить работу ДГ в наиболее экономичном диапазоне нагрузки от 40 до 90 % во всех режимах эксплуатации судна, при минимальном их количестве, которое определяется требованиями международных классификационных обществ¹.

Обоснование и выбор количества и мощности ГА при проектировании СЭЭС является многокритериальной задачей. Мощность судовых приемников, работающих в конкретный момент времени, зависит от многих факторов, в том числе от режима эксплуатации судна. На судах с автономной электростанцией одним из режимов эксплуатации является стояночный режим у причала или при стоянке на якорю, когда нагрузка приемников электроэнергии снижается до минимума. Данный режим на многих судах является довольно продолжительным, и для питания общесудовых приемников электроэнергии в составе судовой электростанции (СЭС) используется стояночный ДГ, мощность которого значительно меньше мощности вспомогательных агрегатов, что способствует увеличению количества ГА.

Традиционное решение задачи компоновки СЭЭС путем выбора минимального количества ДГ, работающих с постоянной частотой вращения и нагрузкой, близкой к номинальной, при изменении режима эксплуатации судна является трудно реализуемым [1]. В связи с этим в статье рассматривается возможность применения в СЭС вентильных ДГ, работающих с переменной частотой вращения при изменении нагрузки. Создание и внедрение СЭС на базе вентильных ДГ позволит уменьшить количество ГА, в частности отказаться от применения стояночных ДГ, зна-

¹ Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XI. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2019. 230 с.

чительно уменьшить расход горюче-смазочных материалов и по-новому подойти к решению проблемы выбора количества и мощности ГА и комплектации СЭЭС [2].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Типовая автономная СЭС состоит из нескольких одинаковых по мощности вспомогательных и одного стояночного ДГ. Традиционная структурная схема автономной СЭС с двумя вспомогательными и одним стояночным ДГ представлена на рис. 1.

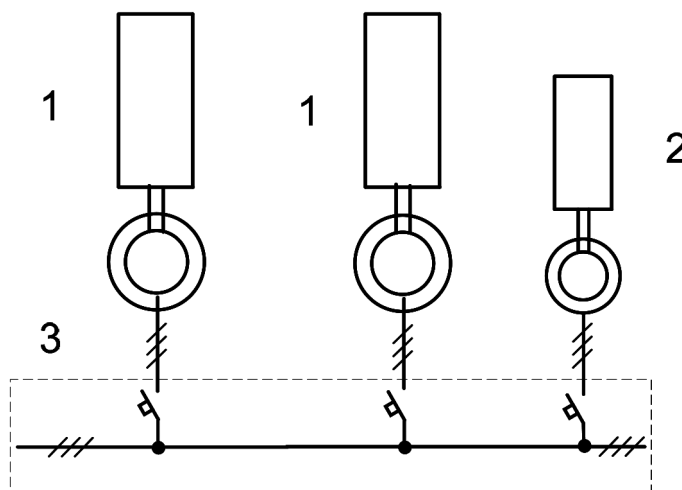


Рис. 1. Структурная схема автономной СЭС традиционной комплектации:
1 — вспомогательные дизель-генераторы; 2 — стояночный дизель-генератор;
3 — главный распределительный щит

В ходовых режимах эксплуатации судна электроэнергию вырабатывают вспомогательные ДГ, при стоянке судна — стояночный дизель-генератор. При изменении режима эксплуатации судна возможна как одиночная, так и параллельная работа ДГ [3]. Основным недостатком СЭС традиционной комплектации является увеличение количества ДГ за счет необходимости применения стояночного ДГ, вследствие чего повышается стоимость оборудования и ухудшаются его массогабаритные показатели. Кроме того, при изменении мощности судовых приемников электроэнергии сложно обеспечить нагрузку ДГ, близкой к номинальной, что значительно повышает расход горюче-смазочных материалов. При этом стояночный ДГ не может обеспечивать потребности судна в ходовом режиме, а работа вспомогательных ДГ не только не экономична, но и при снижении нагрузки более чем на 30 % от номинальной величины недопустима. Решение данной проблемы связано со снижением частоты вращения ДГ при уменьшении нагрузки, что позволит не только снизить расход горюче-смазочных материалов, но и обеспечить работу приводного двигателя на нагрузке, близкой к долевой, без ограничения по времени эксплуатации [4]. Большинство приемников электроэнергии рассчитаны на питание от сети с постоянными параметрами частоты и напряжения.

До настоящего времени задача поддержания постоянства частоты в электрической сети при питании от ДГ решалась путем поддержания постоянства частоты вращения вспомогательного приводного дизеля в любом эксплуатационном режиме с учетом степени неравномерности регулирования в пределах 2–3 %. Опыт эксплуатации автономных СЭС показывает, что значительную часть времени ДГ работают на режимах с долевой нагрузкой или нагрузкой, близкой к холостому ходу. Работа ДГ на долевых нагрузках при постоянстве частоты вращения имеет ряд отрицательных моментов, среди которых можно отметить существенное увеличение удельного расхода топлива и масла, снижение ресурса подшипников и деталей цилиндропоршневой группы.

Уменьшение частоты вращения приводного дизеля при снижении нагрузки и переход к эксплуатации ДГ по оптимальной с точки зрения расхода горюче-смазочных материалов характеристике позволит решить данную проблему [5].

В связи с появлением и интенсивным внедрением новых типов полупроводниковых преобразователей электроэнергии на запираемых вентилях появилась возможность принципиально по-новому решать проблему поддержания постоянства частоты в автономной электрической сети. ДГ при этом может работать с переменной частотой вращения, в то время как частота в электрической сети будет поддерживаться постоянной с помощью ПП. В этом случае отпадает необходимость эксплуатации ДГ по регуляторной характеристике с поддержанием постоянства частоты вращения по всем диапазонам изменения нагрузки. ДГ целесообразно эксплуатировать по оптимальной характеристике, где в качестве критерия оптимальности выбирается условие минимального удельного расхода горюче-смазочных материалов [6].

На ДГ фирмы *Caterpillar* модели 3406 (рис. 2) в ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова проведены экспериментальные исследования работы приводного дизеля с переменной частотой вращения. Номинальные параметры вспомогательного дизеля: мощность $N_e = 309$ кВт, номинальная частота вращения $n = 1500$ об/мин [7].



Рис. 2. Вспомогательный ДГ фирмы *Caterpillar* (модель 3406)

При проведении исследований с помощью электронного флоуметра определялся удельный расход топлива вспомогательного дизеля при изменении нагрузки в диапазоне от номинальной величины до холостого хода. Частота вращения при этом уменьшалась в диапазоне от номинальной до 80 % от номинальной величины. Экспериментальные зависимости изменения удельного расхода топлива вспомогательного дизеля ДГА от частоты вращения при различной нагрузке приведены на рис. 3.

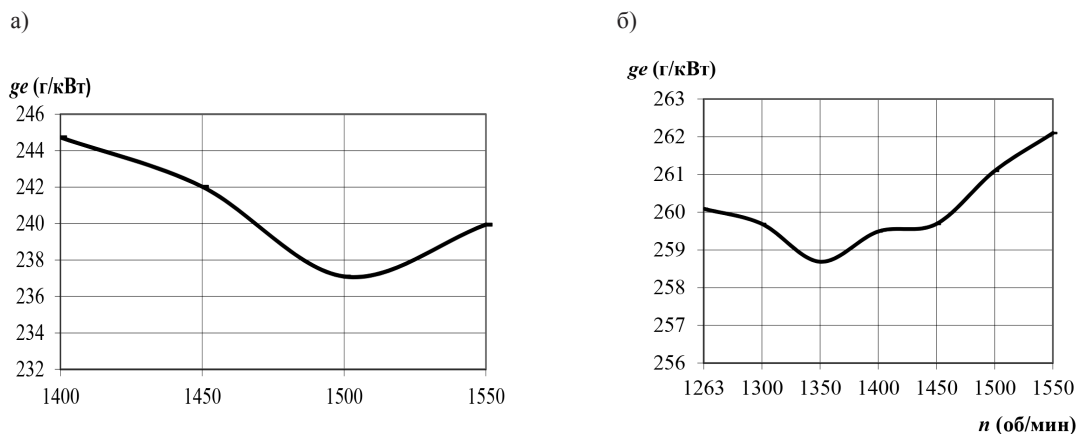


Рис. 3. Изменение удельного расхода топлива ДГА Cat 3406 в зависимости от частоты вращения:
а — при 80 %-й нагрузке; б — при 35 %-й нагрузке

Из рис. 3 видно, что на долевых нагрузках и нагрузке, близкой к холостому ходу, оптимальная частота вращения ДГА, при которой удельный расход топлива минимален, значительно меньше номинальной частоты. С увеличением нагрузки точка минимума удельного расхода топлива смещается в область более высоких частот, а при нагрузке, превышающей 80 % от номинальной, оптимальная частота вращения ДГА становится равной номинальной.

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований построена оптимальная с точки зрения расхода горюче-смазочных материалов характеристика изменения частоты вращения ДГА в функции изменения нагрузки, которая приведена рис. 4.

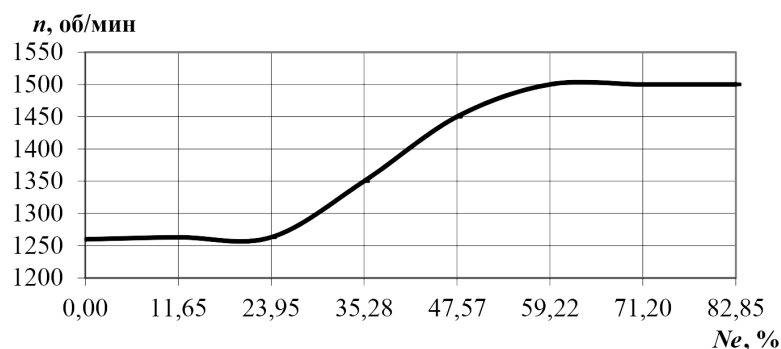


Рис. 4. Оптимальная характеристика изменения частоты вращения ДГ в функции изменения нагрузки

При уменьшении нагрузки ДГ до 60 % и менее от номинальной величины целесообразно снижать частоту вращения вспомогательного дизеля с целью экономии горюче-смазочных материалов. При работе ДГ с нагрузкой менее 30 % оптимальная частота вращения составляет 80–85 % от номинальной величины. Зависимость изменения разности удельного расхода топлива при эксплуатации ДГ по регуляторной и оптимальной характеристике приведена на рис. 5.

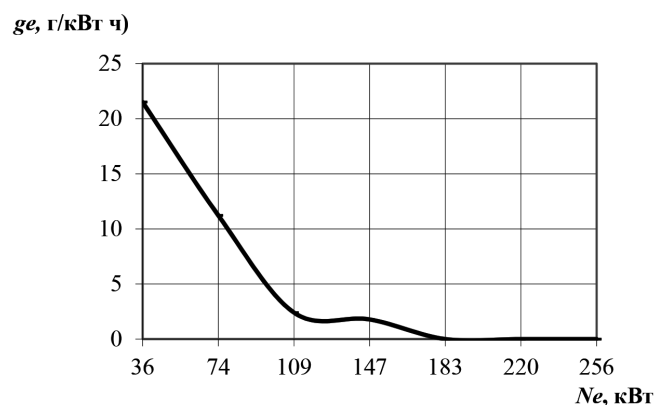


Рис. 5. Разность удельного расхода топлива при эксплуатации ДГ Cat 3406 по регуляторной и оптимальной характеристике

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

Результаты экспериментальных исследований показали, работа ДГ с переменной частотой вращения в функции изменения нагрузки позволит уменьшить удельный расход топлива на 10–20 % при работе на долевой нагрузке. Кроме того, при снижении частоты вращения работа дизеля при долевой нагрузке не ограничивается по времени. Рекомендуемое снижение частоты вращения не превышает 15–20 % от номинальной величины, что реализуемо на серийных ДГ. Снижение частоты вращения ДГ приводит к изменению частоты тока и напряжения в судовой сети. Стабилизировать параметры электроэнергии в судовой сети при переменной частоте вращения ДГ можно

путем применения современных полупроводниковых преобразователей электроэнергии на полностью управляемых вентилях.

На основе поведенного анализа и результатов экспериментальных исследований разработана структурная схема СЭС нового поколения с применением вентильных ДГ, представленная на рис. 6.

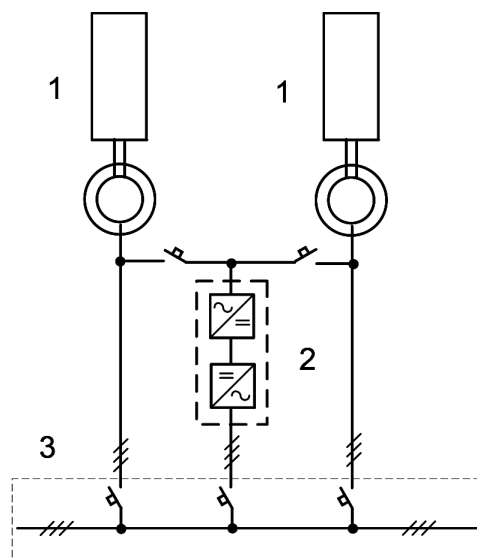


Рис. 6. Структурная схема автономной СЭС с вентильным ДГ:
1 — вспомогательные дизель-генераторы; 2 — полупроводниковый преобразователь;
3 — главный распределительный щит

Параллельная работа ДГ в данной СЭС может осуществляться традиционным способом с распределением нагрузки пропорционально мощностям ДГ или принципиально новым способом, когда один ДГ работает с номинальной частотой вращения с нагрузкой, близкой к номинальной, а второй — в режиме вентильного ДГ с изменением частоты вращения в функции изменения нагрузки [10], [11].

Новый принцип поддержания постоянства напряжения и частоты требует корректировки текстов Правил Российского морского регистра судоходства ввиду следующих причин:

- частота вращения приводного двигателя вентильного ДГ может изменяться в широком диапазоне, а стабилизация частоты напряжения при этом обеспечивается за счет ПП;
- напряжение генератора вентильного ДГ может изменяться в широком диапазоне либо генератор может не иметь обмотки возбуждения, а стабилизация напряжения при этом обеспечивается за счет ПП.

В 2018 г. АО «НПЦ «Электродвижение судов» при участии ведущих специалистов ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова и СПбГЭТУ «ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина)» была проведена научно-исследовательская работа (НИР) «Разработка проекта требований Регистра судоходства к судовым вентильным генераторным агрегатам, работающим с переменной частотой вращения», в рамках которой разработаны предложения для внесения в тексты «Правил классификации и постройки морских судов» и «Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов» Регистра судоходства.

Ожидаемый эффект от применения вентильных ДГ в составе СЭС состоит в следующем:

- снижение массы и габаритов оборудования СЭС за счет уменьшения количества ДГ;
- снижение удельного расхода горюче-смазочных материалов за счет работы ДГ по оптимальной характеристике;
- повышение КПД ДГ при работе на долевых нагрузках до 25 %;
- повышение ресурса и надежности приводных дизелей ДГ;
- снижение количества отказов и повышение надежности СЭС.

Сравнение автономных СЭС традиционной комплектации с СЭС нового поколения на базе вентильных ДГ представлено в следующей таблице:

Наименование параметра	Традиционная СЭС	СЭС с вентильными ДГ
Частота вращения ДГ	Постоянна во всем диапазоне изменения нагрузки	Постоянна в диапазоне изменения нагрузки от 60 до 100 % от номинальной величины и снижается с уменьшением нагрузки менее 60 %
КПД ДГ	Значительно снижается при уменьшении нагрузки	КПД меняется не значительно во всем диапазоне изменения нагрузки
Стояночный ДГ	Необходимо использовать	Отсутствует необходимость применения стояночного ДГ
Ресурс и надежность работы ДГ	Значительно снижается ресурс и надежность приводного дизеля при работе на долевой нагрузке	Ресурс и надежность приводного дизеля ДГ при работе на долевой нагрузке не снижается

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время судовые ДГ в автономных СЭС работают с постоянной частотой вращения во всем диапазоне изменения нагрузки, вплоть до нагрузки, близкой к холостому ходу, что значительно снижает их экономичность и ресурс.

2. Комплектация СЭС дизель-генераторами традиционного типа, работающими с постоянной частотой вращения, требует применения генераторов разной мощности или увеличения их количества, что не всегда решает проблему низкой экономичности работы приводных дизелей на долевой нагрузке [12], [13].

3. Переход от эксплуатации ДГ по регуляторной характеристике к регулированию с изменением частоты вращения в функции нагрузки позволит значительно снизить расход горюче-смазочных материалов и обеспечит возможность длительной работы приводных дизелей на долевой нагрузке и нагрузке, близкой к холостому ходу.

4. Применение вентильных ДГ в составе автономных СЭС позволит уменьшить количество генераторных агрегатов, повысит их экономичность и ресурс. В 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 нагрузки.

5. В связи с внедрением вентильных ГА в состав СЭС целесообразно произвести корректировку текстов правил регистра судоходства в части требований к составу, структуре и режимам эксплуатации судовых источников электроэнергии и ввести дополнительные термины и определения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Вишневский Л. В. Включение синхронных генераторов в многоагрегатную судовую электростанцию / Л. В. Вишневский, А. М. Веретенник, И. П. Козырев, И. Е. Войтецкий // Электромашиностроение и электрооборудование. — 2007. — № 68. — С. 26–29.

5. 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.

6. 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.

7. Григорьев А. В. Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. — 2006. — № 1 (13). — С. 23–25.

8. Сугаков В. Г. Внешняя форсировка систем возбуждения судовых синхронных генераторов / В. Г. Сугаков, О. С. Хватов, Ю. С. Малышев [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2015. — № 3. — С. 103–111.

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

10. 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.

11. Baldi F. Optimal load allocation of complex ship power plants / F. Baldi, F. Ahlgren, F. Melino, C. Gabrielli, K. Andersson // Energy Conversion and Management. — 2016. — Vol. 124. — Pp. 344–356. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.009.

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

13. 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. Kukolev, A. “Classification societies requirements for diesel generators.” *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admiral F.F. Ushakova* 2(19) (2017): 24–26.

2. Grigoryev, A. V., and V. Yu. Kolesnichenko “Improving the efficiency of marine diesel power plants.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova* 6(28) (2014): 39–43.

3. 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.

4. Vishnevskii, L. V., A. M. Veretennik, I. P. Kozyrev, and I. E. Voitetskii. “Vkluchenie sinkhronnykh generatorov v mnogoagregatnyy sudovyy elektrostantsiyu.” *Elektromashinostroyeniye i elektrooborudovaniye* 68 (2007): 26–29.

5. 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 admiral S.O. Makarova* 1(35) (2016): 165–169. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-165-169.

6. 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.

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

8. 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.

9. Grigoryev, A., V. Fatov, and S. Malyshev. “Perviy otechestvenniy sudovoy ventilniy dizel-generatorniy agregat peremennogo toka.” *Morskoy flot* 5(1539) (2018): 40–42.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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 30 января 2019 г.

Received: January 30, 2019.