

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-139-149

A UNIFIED ELECTRIC POWER SYSTEM AND ELECTRIC PROPULSION SYSTEM OF THE PASSENGER SHIP “KNYAGINYA OLGA” TRIALS RESULTS

A. V. Grigoryev^{1,2}, S. V. Vorobyev³

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 experience and results of dock and sea trials of the unified electric power system with electric propulsion system of the passenger ship “Knyaginya Olga”, which is the first river vessel where the electric power system with electric propulsion system is installed, are discussed in the paper. A feature of the electric propulsion system is the use of a semiconductor frequency converter based on an active rectifier. There has been no experience in testing electric power system with electric propulsion system and azimuth thrusters for ships of this type in Russia. The procedures of checking the electric power quality in the ship power mains, the stability of the autonomous and parallel operation of diesel generators, the distribution of active and reactive loads are considered; when testing the electric propulsion system, the transient processes of acceleration, deceleration and reverse of the electric propulsion system are oscillographied by turning the azimuth thruster, the time of transient processes is measured. Successfully carried out tests have confirmed the compliance of the developed unified electric power system with electric propulsion system with the customer’s requirements and the rules of the Russian River Register. In all operating modes of the vessel, the unified electric power system with electric propulsion system operates steadily, no oscillations of reactive and active power between the main diesel-generators and the electric propulsion plant are observed. The coefficient of non-sinusoidal shape of the voltage curve in the process of testing the unified electric power system with electric propulsion system does not exceed 6.5 %. It should be noted that frequency converter with the active rectifier connected directly to the main switchboard is used as part of the electric propulsion system. Significant scientific and technical experience has been gained in developing programs and test methods and conducting mooring and sea trials of the unified electric power system with electric propulsion system with azimuth thruster and frequency converter based on the active rectifier.

Keywords: electric power system, electric propulsion system, electric propulsion plant, main diesel-generator, semiconductor frequency converter, active rectifier, power quality, transient process, dock trials, sea trials.

For citation:

Grigoryev, Andrey V., and Semen V. Vorobyev. “A unified electric power system and electric propulsion system of the passenger ship “Knyaginya Olga” trials results.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.1 (2021): 139–149. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-139-14.

УДК 629.12.621.31

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО СУДНА «КНЯГИНЯ ОЛЬГА»

А. В. Григорьев^{1,2}, С. В. Воробьев³

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

В статье рассмотрен опыт и результаты проведения швартовных и ходовых испытаний единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) с системой электродвижения (СЭД) круизного судна «Княгиня Ольга» —

первого речного судна, на котором установлена ЕЭЭС с СЭД. Особенностью СЭД является применение полупроводникового преобразователя частоты на базе активного выпрямителя. Опыт проведения испытаний ЕЭЭС с СЭД и винто-рулевыми колонками судов данного типа в России отсутствовал. Рассмотрены выполняемые в процессе проведения испытаний ЕЭЭС процедуры проверки качества электроэнергии в судовой сети, устойчивости автономной и параллельной работы дизель-генераторов, распределения активной и реактивной нагрузки; при проведении испытаний СЭД осциллографировались переходные процессы разгона, торможения и реверса СЭД путем разворота винто-рулевой колонки, измерялось время переходных процессов. Успешно проведенные испытания подтвердили соответствие разработанной ЕЭЭС с СЭД требованиям заказчика и правилам Российского речного регистра. Во всех режимах эксплуатации судна ЕЭЭС с СЭД работает устойчиво, качаний реактивной и активной мощности между ГДГ и ГЭУ не наблюдалось. Коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения в процессе проведения испытаний ЕЭЭС с СЭД не превышал 6,5 %. При этом следует отметить, что в составе СЭД применялся полупроводниковый преобразователь частоты (ППЧ) с активным выпрямителем, подключенным напрямую к главному распределительному щиту. Получен значительный научно-технический опыт разработки программ и методик испытаний и проведения швартовных и ходовых испытаний ЕЭЭС с СЭД переменного тока с винто-рулевыми колонками и ППЧ на базе активного выпрямителя.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, система электродвижения, гребная электроустановка, главный дизель-генератор, полупроводниковый преобразователь частоты, активный выпрямитель, качество электроэнергии, переходный процесс, швартовные испытания, ходовые испытания.

Для цитирования:

Григорьев А. В. Результаты испытаний единой электроэнергетической системы и системы электродвижения пассажирского судна «Княгиня Ольга» / А. В. Григорьев, С. В. Воробьев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 139–149. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-139-14.

Введение (Introduction)

В последнее десятилетие на судах различного назначения получили широкое использование судовые системы электродвижения (СЭД) [1]–[5]. Практически на всех судах с СЭД, введенных в эксплуатацию в последние годы в нашей стране, применяется СЭД с традиционным типом полупроводникового преобразователя (ППЧ), выполненным по типу *неуправляемый выпрямитель — автономный инвертор* [6]–[10]. Для повышения качества электроэнергии в судовой сети данные ППЧ подключаются к главному распределительному щиту посредством трехобмоточных трансформаторов [11]–[14]. Накоплен достаточный опыт настройки и проведения испытаний СЭД с ППЧ традиционного типа [15]–[18].

Пассажирское судно «Княгиня Ольга» (пр. PV09) является первым в современной России речным судном с СЭД переменного тока и единой электроэнергетической системой (ЕЭЭС). При этом необходимо отметить, что в составе СЭД применяется ППЧ нового поколения, выполненный на базе активного выпрямителя, который позволяет отказаться от применения трехобмоточных пропульсивных преобразователей. Круизное судно «Княгиня Ольга» смешанного *река-море* плавания предназначено для туристических прогулок и пассажирского отдыха.

Круизные суда, по сравнению с пассажирскими, отличаются большими габаритами и развиваемой скоростью до 18–22 уз и более. Речные пассажирские суда обладают высокой маневренностью, позволяющей безопасно проходить по узким устьям рек и заходить в любые порты. Надводный габарит судна обеспечивает возможность прохода под мостами рек, что особенно актуально в Москве и Санкт-Петербурге. Для обеспечения высокой маневренности при прохождении узостей, каналов и шлюзов речные круизные суда снабжены подруливающими устройствами. Проект пассажирского дизель-электрохода PV09 разработан Морским инженерным бюро. Чертеж пассажирского судна «Княгиня Ольга» дан на рис. 1.

Проект PV09 представляет собой четырехпалубное судно, из которых три палубы являются жилыми и одна — прогулочная, со средним расположением двухъярусной надстройки и носовым расположением рулевой рубки. Отличительной особенностью судна является вертикальный

форштевень, что позволяет увеличить быстроходность судна. Визуальная модель судна «Княгиня Ольга» приведена на рис. 2.

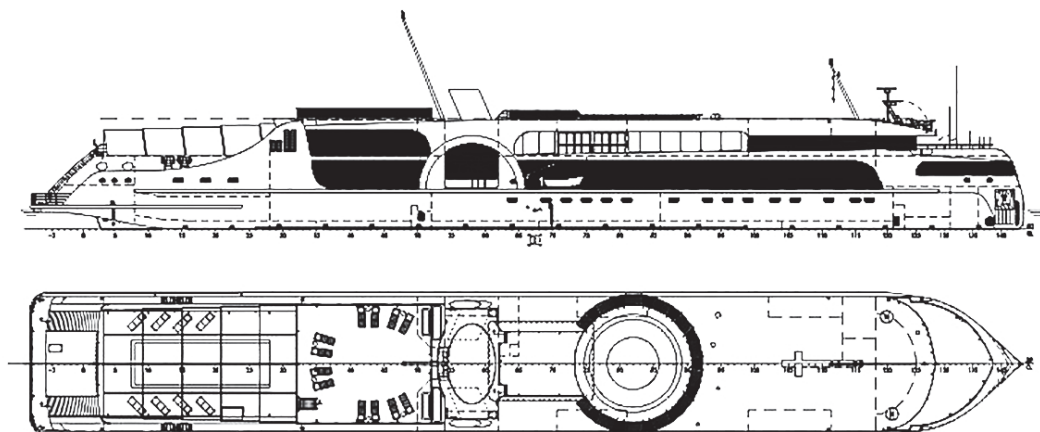


Рис. 1. Чертеж круизного судна «Княгиня Ольга»



Рис. 2. Визуальная модель круизного судна «Княгиня Ольга»
(Источник заимствования — сайт проектанта)

Технические характеристики пассажирского судна пр. PV09 «Княгиня Ольга» приведены в таблице.

Технические характеристики судна «Княгиня Ольга»

Основные характеристики	Значения
Длина габаритная, м	95,88
Ширина габаритная (с учетом привальных брусев), м	13,80
Высота борта, м	3,80
Осадка, м	1,80
Водоизмещение, т	1860
Автономность, сут	10
Пассажировместимость, чел.	36
Мощность главных ДГ, кВт	4 × 830
Винто-рулевой комплекс	2 × ВРК
Носовое подруливающее устройство, кВт	1 × 110
Численность экипажа, чел.	33
Скорость максимальная, км/ч	23,8
Класс Российского речного регистра	М-ПР

Фотография судна при прохождении судном канала приведена на рис. 3.



Рис. 3. Пассажирское судно «Княгиня Ольга»
(Источник заимствования — сайт проектанта)

Основные режимы эксплуатации судна: ходовой, маневренный (швартовный), аварийный, стоянка с пассажирами, стоянка без пассажиров.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В качестве судовой электроэнергетической установки на пассажирском судне «Княгиня Ольга» применяется ЕЭЭС с СЭД. Структурная схема единой электроэнергетической установки пассажирского дизель-электрического судна «Княгиня Ольга» представлена на рис. 4.

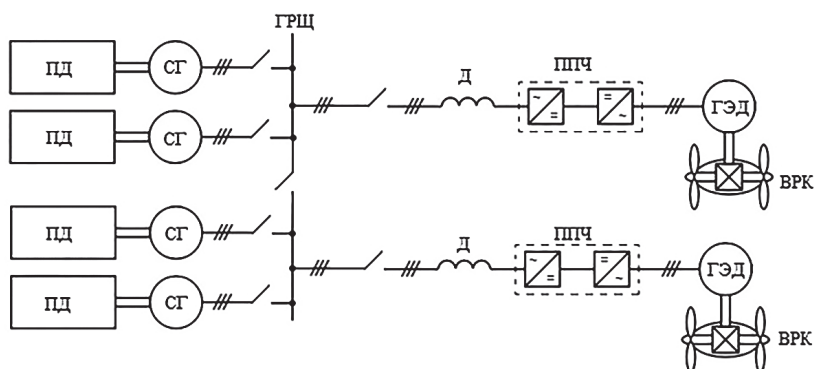


Рис. 4. ЕЭЭС с СЭД пассажирского судна «Княгиня Ольга»:
ПД — приводной дизель; СГ — синхронный генератор;
ГРЩ — главный распределительный щит; Д — дроссель;
ППЧ — полупроводниковый преобразователь частоты;
ГЭД — гребной электродвигатель;
ВРК — механическая двухвинтовая винто-рулевая колонка

В состав ЕЭЭС входят четыре ГДГ, состоящих из приводных дизелей и синхронных генераторов и ГРЩ, а также аварийная СЭС. В состав СЭД входят две ГЭУ, состоящие из полупроводниковых преобразователей частоты (ППЧ), ГЭД и двухвинтовых ВРК.

В качестве главных источников электроэнергии применяются четыре трехфазных синхронных генератора мощностью по 830 кВт, частотой 50 Гц, напряжением 690 В, с приводом от дизельного двигателя. На судне установлен аварийный дизель-генератор мощностью 70 кВт, который входит в состав аварийной СЭС. В качестве гребного электродвигателя используется асинхронный ГЭД мощностью 1000 кВт, напряжением 690 В, частотой 50 Гц (рис. 5, а). Для регулирования частоты

вращения асинхронного ГЭД используется полупроводниковый-преобразователь частоты (ППЧ) со звеном постоянного тока (рис. 5, з). ППЧ выполнен на базе активного выпрямителя, что позволяет без применения трансформаторов напрямую подключаться к ГРЩ (рис. 5, в).

В качестве движителя на судне установлены две механические ВРК фирмы Schottel (рис. 5, б), мощностью по 1100 кВт каждая. Двухвинтовая технология ВРК снижает нагрузку на каждый гребной винт, тем самым повышая эффективность и КПД.

а)



б)



в)



г)



Рис. 5. Оборудование гребной электрической установки:

а — гребной электродвигатель; б — винто-рулевая колонка;

в — главный распределительный щит; г — полупроводниковый преобразователь частоты

(Источник заимствования — из личного архива А. В. Григорьева)

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

По просьбе судостроительного завода АО «НПП «Электродвижение судов» с привлечением ведущих специалистов факультета энергетики в ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова были разработаны программа и методика и проведены испытания ЕЭЭС с СЭД пассажирского судна пр. РВ09 «Княгиня Ольга».

Целью испытаний являлась проверка основных режимов эксплуатации ЕЭЭС с СЭД на соответствие требованиям Заказчика и Российского речного регистра. В ходе проведения испытаний были проведены следующие мероприятия:

1. Измерение и анализ параметров электроэнергии на ГРЩ в установившихся и переходных процессах при автономной и параллельной работе ГДГ.
2. Проверка работоспособности ЕЭЭС с ГЭУ во всех режимах эксплуатации судна.
3. Измерение и анализ переходных процессов в ГЭУ при разгоне, реверсе и торможении судна.

4. Измерение и анализ переходных процессов в ГЭУ при остановке одного из работающих ГДГ.
5. Анализ соответствия полученных результатов требованиям Правил Российского речного регистра.

При проведении измерений использовалось следующее электроизмерительное оборудование:

- анализатор качества электропитания трехфазной сети FLUKE 435;
- ноутбук Lenovo X230 IS/NR9-XZYAZ;
- мультиметр FLUKE 175 S/N 258304064;
- штатные судовые щитовые приборы, расположенные на ГРЩ;
- виртуальные средства отображения информации, расположенные в рулевой рубке.

Схема подключения и фотография переносного электроизмерительного комплекса FLUKE 435 во время проведения испытаний приведена на рис. 6.

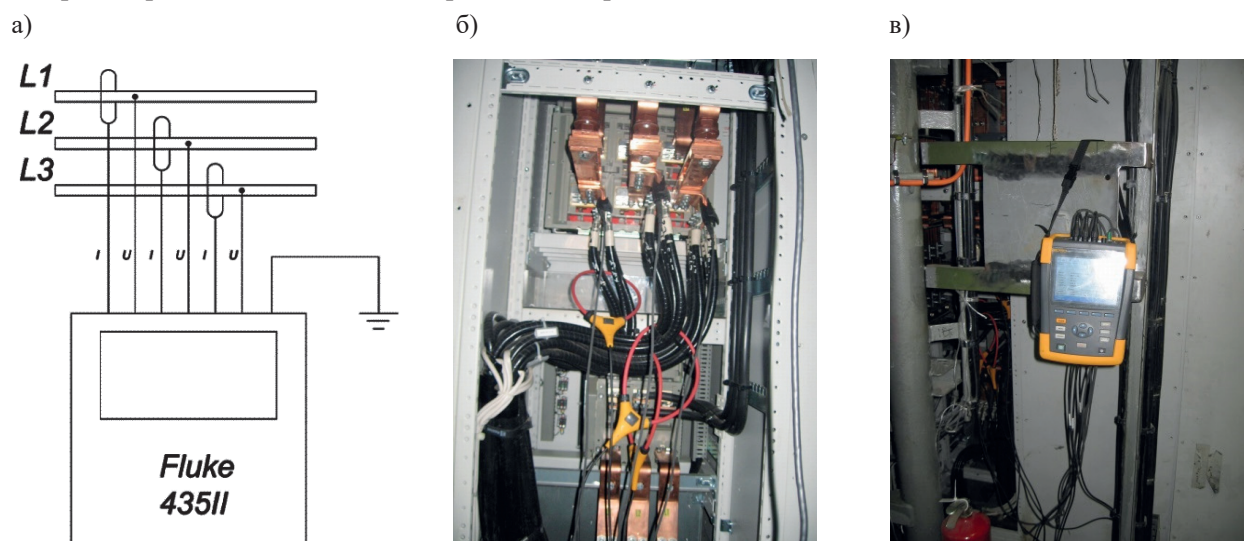


Рис. 6. Схема подключения (а), фотография подключения переносного электроизмерительного комплекса FLUKE 435 (б) и фотография переносного электроизмерительного комплекса FLUKE 435 (в)
(Источник заимствования фотографий — из личного архива А. В. Григорьева)

При проведении испытаний фиксировались следующие электротехнические величины:

- напряжение в сети 690 В на ГРЩ;
- сила тока генератора и ГЭД;
- активная и реактивная мощности ГГ и ГЭД;
- коэффициент мощности ГГ;
- коэффициент гармонических искажений напряжения (THD_U , %).

СЭД испытывались при автономной и параллельной работе ГДГ. При измерениях проводилась оценка качества переходных процессов, отклонения напряжения и частоты от номинальной величины, измерялся коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения. При проведении испытаний СЭД выполнялись следующие виды проверки: плавность разгона и торможения ГЭД, отсутствие провала напряжения на ГРЩ, отсутствие колебательных процессов в установившихся режимах работы ГЭУ.

В процессе испытания производилось осциллографирование установившихся и переходных процессов в каждой ГЭУ. Переходный процесс разгона ГЭД по швартовной характеристике до полного хода судна и одновременный реверс двух ВРК с дальнейшим остановом ГЭУ представлен на рис. 7, откуда видно, что при разгоне ГЭД идет кратковременное увеличение тока, набор мощности происходит плавно. Мощность одного ГЭД достигает 420 кВт. Провал напряжения не превышал 676 В. При развороте двух ВРК на полном ходу происходят незначительные колебания мощности ГЭУ, связанные с гидродинамическими процессам работы ВФШ в потоке воды. При переключке

рукоятки управления из положения «Стоп» в положение «Полных ход» разгон ГЭД по швартовной характеристике происходит плавно. Незначительные пульсации тока ГЭД не превышают допустимых значений.

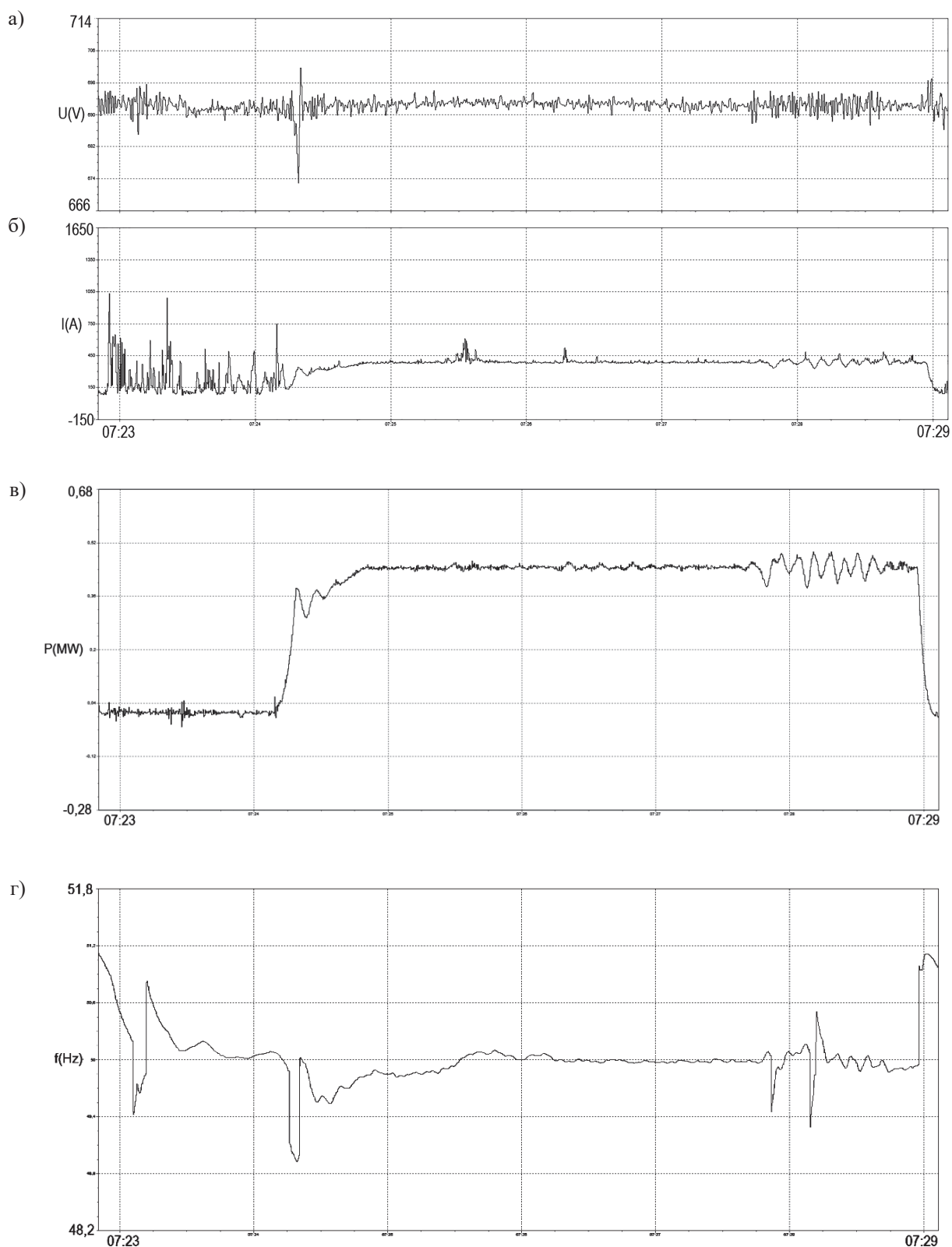


Рис. 7. Переходные процессы разгона и реверса ГЭД
путем одновременного разворота двух ВРК на 180°
в режиме «Стоп — Полный ход — Реверс двух ВРК при параллельной работе двух ГДГ»:
а — напряжение, В; б — ток ГЭУ, А; в — мощность ГЭУ, кВт; г — частота сети

Мощность ГЭУ ограничивается количеством работающих ГДГ, перегрузка ГДГ при переключке рукоятки управления из положения «Стоп» в положение «Полный ход» не наблюдается. При одновременном развороте ВРК из режима «Полный ход» и максимальной скорости судна перегрузка ГДГ не происходит за счет снижения мощности ГЭУ в переходном режиме. Незначительные пульсации мощности ГЭУ происходят в связи с гидромеханическими процессами взаимодействия потоков воды с гребным винтом. Отклонений частоты и напряжения за допустимые РРР пределы во всех переходных процессах при проведении испытаний ГЭУ не наблюдалось. Коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения в процессе проведения испытаний ЕЭЭС с ГЭУ не превышал 6,5 %.

При последовательном отключении в режиме полного хода судна одного, двух и трех параллельно работающих ГДГ происходит ограничение (снижение) мощности ГЭУ, в результате чего обесточивания и перегрузки ГДГ не происходит.

Выводы (Summary)

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Впервые в Российской Федерации успешно проведены ходовые испытания первого речного круизного судна с ЕЭЭС и СЭД переменного тока. Результаты швартовных и ходовых испытаний ЕЭЭС с СЭД подтвердили соответствие полученных характеристик требованиям Российского речного регистра и технического задания заказчика.
2. Проведенные испытания показали, что во всех режимах эксплуатации судна ЕЭЭС с СЭД работает устойчиво, качаний реактивной и активной мощности между ГДГ и ГЭУ не наблюдалось.
3. Коэффициент несинусоидальности формы кривой напряжения в процессе проведения испытаний ЕЭЭС с СЭД не превышал 6,5 %. При этом следует отметить, что в составе СЭД применялся ППЧ с активным выпрямителем, подключенным напрямую к ГРЩ.
4. Получен значительный научно-технический опыт разработки программ и методик испытания и проведения швартовных и ходовых испытаний ЕЭЭС с СЭД переменного тока с винто-рулевыми колонками и ППЧ на базе активного выпрямителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарьенков А. Б. Гребные электрические установки: учеб. пособие / А. Б. Дарьенков [и др.]. — Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Р. Е. Алексеева, 2014. — 219 с.
2. Вершинин В. И. Создание систем электродвижения для судов различного назначения / В. И. Вершинин, С. В. Махонин, В. А. Паршиков, В. А. Хомяк // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2019. — № 1 (387). — С. 107–122. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-107-122.
3. Гельвер Ф. А. Гребная электроэнергетическая установка с общими шинами постоянного тока / Ф. А. Гельвер // Судостроение. — 2018. — № 2 (839). — С. 22–27.
4. Романовский В. В. Перспективы развития систем электродвижения / В. В. Романовский, Б. В. Никифоров, А. М. Макаров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10 — № 3. — С. 586–596. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-586-596.
5. Хватов О. С. Судовая пропульсивная гибридная установка / О. С. Хватов, И. А. Тарпанов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 35. — С. 337–340.
6. Росин Е. И. Автоматизированные гребные электрические установки. Движение судна и его главная установка: текст лекции ЛЭТИ / Е. И. Росин. — Л., 1986. — 48 с.
7. Быков А. С. Гребные электрические установки атомных ледоколов / А. С. Быков, В. В. Башаев. — СПб.: Элмор 2004. — 319 с.
8. 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.

9. Doerry N. History and the status of electric ship propulsion, integrated power systems, and future trends in the US Navy / N. Doerry, J. Amy, C. Krolick // *Proceedings of the IEEE*. — 2015. — Vol. 103. — Is. 12. — Pp. 2243–2251. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2494159.

10. Chan C. C. Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: Architectures and modeling / C. C. Chan, A. Bouscayrol, K. Chen // *IEEE transactions on vehicular technology*. — 2009. — Vol. 59. — Is. 2. — Pp. 589–598. DOI: 10.1109/TVT.2009.2033605.

11. Chen J. S. Energy efficiency comparison between hydraulic hybrid and hybrid electric vehicles / J. S. Chen // *Energies*. — 2015. — Vol. 8. — Is. 6. — Pp. 4697–4723. DOI: 10.3390/en8064697.

12. Малышев В. А. Расчет и выбор тормозных резисторов гребной электрической установки танкера ледового класса / В. А. Малышев, В. С. Иванов, В. С. Соловей // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2016. — № 5 (39). — С. 172–184. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-172-184.

13. 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.

14. Григорьев А. В. Перспективы применения статических источников электроэнергии на судах с системами электродвижения / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин, С. М. Малышев // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 202–213. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-202-213.

15. Григорьев А. В. Целесообразность применения СЭД на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, В. И. Штрамбранд, Р. Р. Зайнуллин // *Морской флот*. — 2014. — № 4. — С. 38–40.

16. Григорьев А. В. Судовая система электродвижения нового поколения / А. В. Григорьев // *Морской флот*. — 2012. — № 2. — С. 38–40.

17. Григорьев А. В. Анализ тормозных режимов гребных электрических установках / А. В. Григорьев, А. С. Быков // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2010. — № 3 (61). — С. 62–66.

18. Григорьев А. В. Опыт проектирования и результаты испытаний единой электроэнергетической установки судна «Вайгач» / А. В. Григорьев // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. — 2008. — № 4. — С. 28–31.

19. Григорьев А. В. Схемные решения перспективных низковольтных судовых систем электродвижения / А. В. Григорьев, В. В. Романовский, Р. Р. Зайнуллин // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2010. — № 4 (62). — С. 76–78.

20. Григорьев А. В. Перспективная судовая единая электроэнергетическая установка / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер // *Эксплуатация морского транспорта выпуск*. — 2008. — № 3 (53). — С. 68–70.

21. Григорьев А. В. Опыт эксплуатации электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А. В. Григорьев [и др.] // *Судостроение*. — 2010. — № 6 (793). — С. 29–30.

REFERENCES

1. Dar'enzov, A. B., G. M. Miryasov, V. G. Titov, M. N. Okhotnikov, and D. V. Umyarov. *Grebnye elektricheskie ustanovki. Uchebnoe posobie*. Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. R. E. Alekseeva, 2014.

2. Vershinin, Viktor I., Sergey V. Makhonin, Vladimir A. Parshikov, and Valentin A. Khomyak. "Development of electric propulsion systems for ships of various types." *Transactions of the Krylov State Research Centre* 1(387) (2019): 107–122. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-387-107-122.

3. Gelfer, F. A. "Shipboard electric propulsion plants with common DC buses." *Sudostroenie* 2(839) (2018): 22–27.

4. Romanovsky, Viktor V., Boris V. Nikiforov and Arsenii M. Makarov. "Prospects for the development of electromotive systems." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 586–596. DOI 10.21821/2309-5180-2018-10-3-586-596.

5. Khvatov, O. S., and I. A. Tarpanov. "Ship propulsion hybrid installation." *Bulletin of VSAWT* 35 (2013): 337–340.

6. Rosin, E. I. *Avtomatizirovannye grebnye elektricheskie ustanovki. Dvizhenie sudna i ego glavnaya ustanovka*. L., 1986.
7. Bykov, A. S., and V. V. Bashaev. *Grebnye elektricheskie ustanovki atomnykh ledokolov*. SPb.: «Elmor», 2004.
8. 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 admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 169–181. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-169-181.
9. Doerry, Norbert, John Amy, and Cy Krolick. “History and the status of electric ship propulsion, integrated power systems, and future trends in the US Navy.” *Proceedings of the IEEE* 103.12 (2015): 2243–2251. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2494159.
10. Chan, Ching Chuen, Alain Bouscayrol, and Keyu Chen. “Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: Architectures and modeling.” *IEEE transactions on vehicular technology* 59.2 (2009): 589–598. DOI: 10.1109/TVT.2009.2033605.
11. Chen, Jia-Shiun. “Energy efficiency comparison between hydraulic hybrid and hybrid electric vehicles.” *Energies* 8.6 (2015): 4697–4723. DOI: 10.3390/en8064697.
12. Malyshev, Vladimir Alekseevich, Vladimir Sergeevich Ivanov, and Valery Sergeevich Solovey. “Calculation and selection of brake resistors, electric propeller the installation of the tanker.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 172–184. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-172-1844.
13. Grigor’ev, A. V., and R. R. Zajnullin. “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.
14. Grigoryev, Andrey V., Ruslan R. Zaynullin, and Sergei M. Malyshev. “Perspectives of using the static electric power sources on ships with electric propulsion plants.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.1 (2020): 202–213. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-202-213.
15. Grigor’ev, A. V., V. I. Shtrambrand, and R. R. Zainullin. “Tselesoobraznost’ primeneniya SED na sudakh vspomogatel’nogo flota.” *Morskoi flot* 4 (2014): 38–40.
16. Grigor’ev, A. V. “Sudovaya sistema elektrodvizheniya novogo pokoleniya.” *Morskoi flot* 2 (2012): 38–40.
17. Grigoryev, A. V., and A. S. Bikov. “Analysis of braking modes of electric propulsion plants.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(61) (2010): 62–66.
18. Grigor’ev, A. V. “Opyt proektirovaniya i rezul’taty ispytaniy edinoi elektroenergeticheskoi ustanovki sudna «Vaigach».” *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika* 4 (2008): 28–31.
19. Grigorev, A. V., V. V. Romanov’skiy, and R. R. Zaynullin. “Circuit solutions of long range low-voltage ship electrical propulsion plants.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(62) (2010): 76–78.
20. Grigoriev, A. V., and E. A. Gleckler. “Next-generation integrated electrical power system.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(53) (2008): 68–70.
21. Grigoryev, A. V., E. A. Glekler, A. I. Livshyts, and D. I. Ulitovsky. “Surveying ship “Vaygach” power-plant operational experience.” *Shipbuilding* 6(793) (2010): 29–30.

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, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 5
e-mail: a.grigorev@eds-marine.ru,
kaf_saees@gumrf.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, 197376,
Russian Federation
e-mail: a.grigorev@eds-marine.ru,
kaf_saees@gumrf.ru

Воробьев Семен Валентинович —
ведущий инженер
АО «НПЦ «Электродвижение судов»
197341, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Фермское шоссе, 12, лит. Е, оф. 178
e-mail: kit85mail@yandex.ru

Vorobyev, Semen V. —
Lead engineer
JSC “RPC “Ship electric propulsion”
12 Fermskoe shosse Str., let. E, office 178,
St. Petersburg, 197341, Russian Federation
e-mail: kit85mail@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 24 января 2021 г.

Received: January 24, 2021.