

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.24143/2073-1574-2021-2-75-81
УДК 621.314.1

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А. С. Бордюг

*Керченский государственный морской технологический университет,
Керчь, Российская Федерация*

В настоящее время технология точечных датчиков применяется в наземных энергосистемах, она имеет значительный потенциал при реализации новых и эффективных решений для мониторинга и защиты морских электрических систем. Данные технологии снижают уровни риска, связанные с морским исполнением электрических систем, за счет предоставления комплексных функций мониторинга и защиты, которые выигрывают от распределенного характера измерительной системы. Рассматривается система, которая состоит из устройства сбора информации, использующего оптическое волокно для сбора нескольких измерений с распределенного пассивного массива датчиков, соединенных по длине волокна, длина которого может достигать 100 км (применимо для любых морских систем). Проиллюстрированы варианты использования системы распределенного мониторинга и защиты в морских электрических системах. Отмечено, что в современных морских системах применяются полностью электрические силовые установки, в соответствии с которыми электроэнергия распределяется между судовыми силовыми установками и другими потребителями. Доказано, что распределение электроэнергии необходимо для повышения эффективности, управляемости, гибкости и стоимости системы. Применение новых систем с зональной архитектурой, использующих постоянный ток, появление батарей и других форм хранения электроэнергии, а также исследования таких технологий, как сверхпроводящие кабели, увеличивает важность получения информации о работоспособности системы и своевременное и безопасное реагирование на сбой и повреждения в системе.

Ключевые слова: измерения, судно, электрические системы, мониторинг, защита, оптоволокно.

Для цитирования: Бордюг А. С. Применение технологии распределенного оптического контроля в судовых электроэнергетических системах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 75–81. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-2-75-81.

Введение

В последние годы на судах были подтверждены случаи обесточивания (Blackout) с полной потерей электроэнергии [1], которые были вызваны электрическими неисправностями в энергосистеме судна и не устранены своевременно. Необходим целостный подход к мониторингу и защите электрооборудования судна. Техничко-экономический подход к данной проблеме требует унифицированного контроля с получением высококачественных данных в режиме реального времени от структурированной энергосистемы при одновременном сокращении затрат на контрольно-измерительные приборы и общие расходы на систему мониторинга и защиты. При объединении судовых систем для измерения электрического тока, напряжения и температурных параметров оптическая измерительная система способна применять интегрированные приборы, обеспечивающие улучшенную видимость и отклонение состояния сложной электрической си-

стемы. Появляется возможность для разработки и использования улучшенных, а в некоторых случаях новых функций мониторинга и защиты. Существующие методы не всегда могут подходить для реализации поставленных целей, например медленное время отклика при обнаружении и локализации неисправностей в определенных случаях. Использование распределенной информационно-измерительной системы, представленной в настоящей работе, может способствовать решению подобных проблем.

Обзор технологии распределенного оптического контроля

Современные морские системы часто включают в себя оптоволоконные сети, используемые в качестве линий связи и управления. В распределенной системе оптического контроля, описанной в настоящей статье, можно использовать волокна оптоволоконной сети в качестве датчиков, которые могут измерять параметры, необходимые операторам и информационно-измерительным системам, что позволяет удовлетворить потребности в оборудовании с меньшей стоимостью, а также улучшает и унифицирует морские электрические приборы [2].

Распределенная оптическая информационно-измерительная система включает в себя блок опроса с распределенными датчиками на основе оптоволоконных брэгговских решеток, размещенных в различных местах внутри волокна. Поскольку в этой технологии напрямую используется оптоволокно, она полностью пассивна и не требует источника питания или оборудования связи в каждом месте расположения датчиков. Оптоволокно со встроенными в него датчиками может эффективно рассматриваться как единый распределенный аналоговый датчик и может предоставлять требуемые данные высокоэффективным и безопасным способом. Для измерения напряжения и тока оптоволоконные датчики на брэгговских решетках можно комбинировать с пьезоэлектрическими преобразователями [3]. Пьезоэлектрический преобразователь передает напряжение на оптоволоконный датчик на брэгговских решетках прямо пропорционально входному напряжению (рис. 1, *а*). Комбинируя многослойный преобразователь с трансформатором тока, можно создать встроенный датчик тока (рис. 1, *б*). Современные пьезоэлементы (рис. 1, *в*) обладают исключительной чувствительностью и подходят для комбинирования с поясами Роговского.

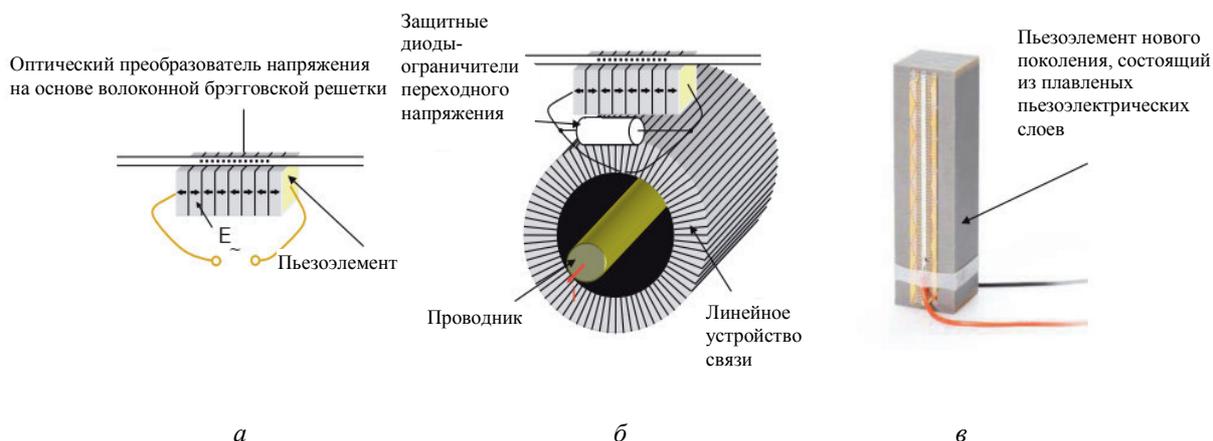


Рис. 1. Элементы, применяемые в технологии распределенного оптического контроля:
а – оптический преобразователь напряжения, состоящий из волоконной брэгговской решетки и пьезоэлемента; *б* – гибридный датчик тока с линейным устройством связи;
в – высокочувствительный пьезоэлемент нового поколения

Информационно-измерительная система представлена на рис. 2, *а* с одним непрерывным волокном, проходящим между датчиками. Волокно проходит вдоль кабеля энергосистемы между узлами, с датчиками, проиллюстрированными на каждом конце линии (1–3). Теоретически датчики могут быть размещены в любом месте вдоль линии волокна.

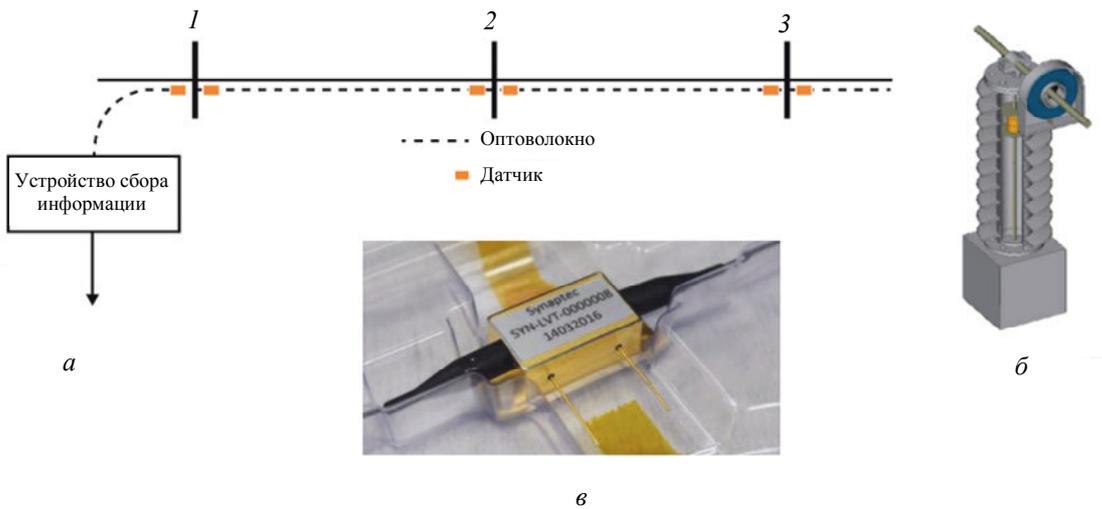


Рис. 2. Пример информационно-измерительной системы:
 а – централизованный многопараметрический распределенный электрический контроль; б – модель комплектного устройства измерения напряжения и тока;
 в – линейный датчик (с оптоволоконном)

Изначально применялась концептуальная модель для комбинированного устройства измерения напряжения и тока с использованием пьезоэлектрических датчиков напряжения на основе брэгговской решетки для установки в наружных электрических сетях (рис. 2, б).

Принцип действия информационно-измерительной системы представлен на рис. 3, где каждый оптоволоконный датчик на брэгговских решетках при опросе устройством сбора информации (широкополосным источником света) отражается от определенного элемента спектра.

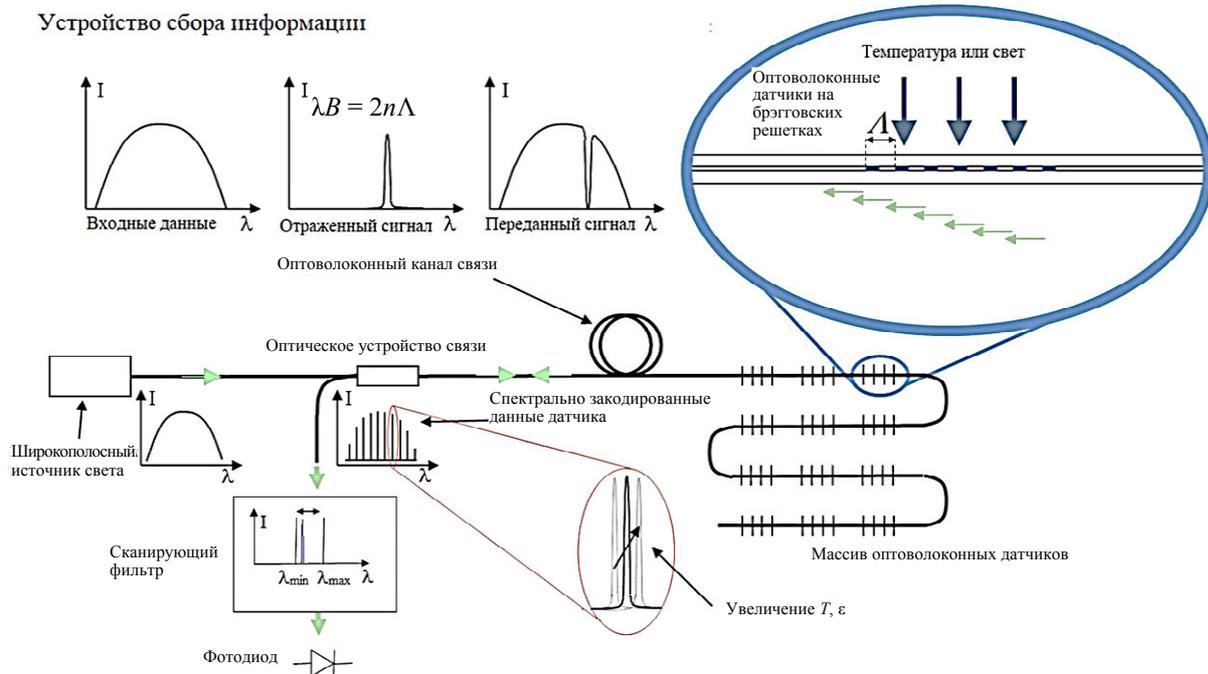


Рис. 3. Основные компоненты информационно-измерительной системы

Длина волны отраженного света модулируется в ответ на пятно, оказываемое на оптоволоконный датчик, и устройство сбора информации может определить параметр измерения, например ток, полученный через систему датчиков, представленную на рис 1, б. Устройство

сбора информации выполняет обработку информации благодаря известным характеристикам отражения каждого отдельного датчика и преобразования амплитудно-модулированных отражений в параметр измерения в месте расположения датчика с использованием соответствующих алгоритмов. Оптический метод измерений устраняет необходимость в цифровой связи между точками измерения, узкие места в полосе пропускания, и способствует созданию эффективной и надежной унифицированной сети для всех электрических (и механических) параметров.

Применение оптической информационно-измерительной системы в электрических сетях

Типичная архитектура судовой электроэнергетической системы приведена на рис. 4.

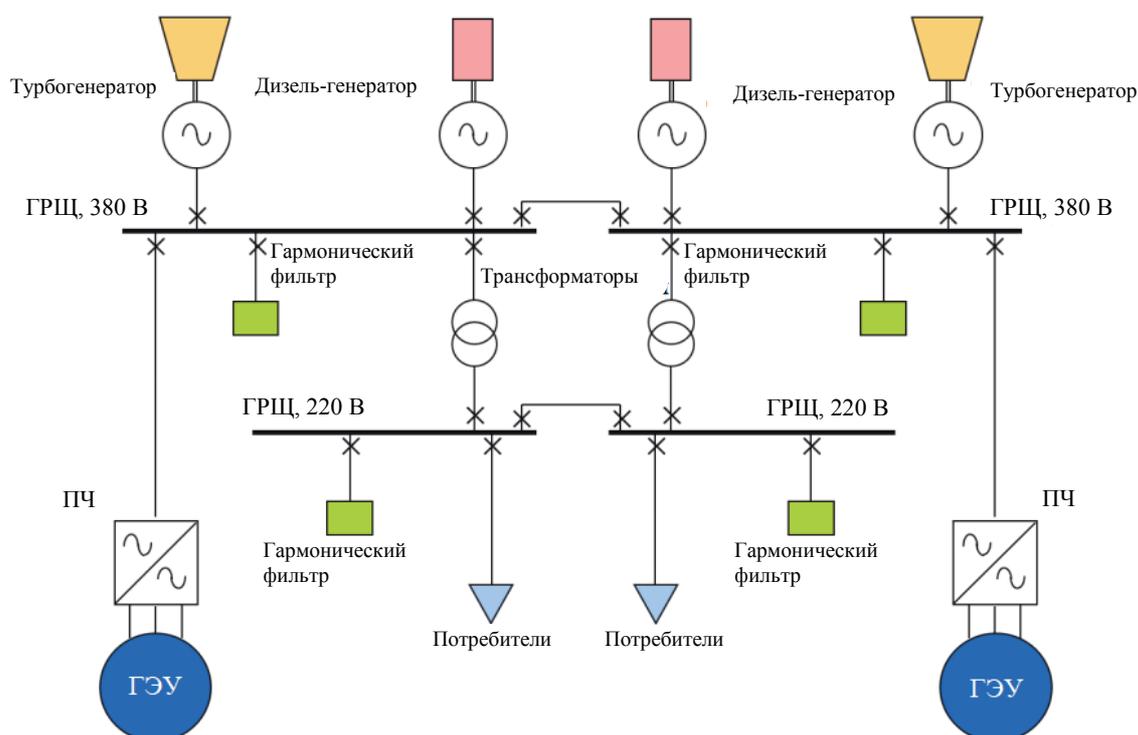


Рис. 4. Архитектура судовой электроэнергетической системы: ПЧ – преобразователь частоты; ГРЩ – главный распределительный щит; ГЭУ – гребная электрическая установка

Если установить датчики в местах, представленных на рис. 5, то можно реализовать функции мониторинга и защиты.

Согласно рис. 5 датчики 1–3 и 5–7 могут быть опрошены информационно-измерительной системой, которая может обеспечить функцию дифференциальной защиты для распределительной сети, используя векторную сумму или простое направленное сравнение всех токов, входящих и выходящих из ГРЩ. Выходные сигналы датчиков 3 и 4, а также 7 и 8 могут использоваться для защиты трансформатора с относительно простым дифференциальным алгоритмом, основанным на сравнении величины и/или фазы токов в каждой фазе. Это позволит обеспечить быструю, точную и отличительную защиту больших участков системы централизованно. Остальные датчики распределены по системе 220 В (не приведены на рис. 5), они предназначены обеспечить максимальную токовую или дифференциальную защиту различных линий и другого оборудования в системе.

Основным преимуществом схемы является быстрая защита, не требующая большинства настроек, кроме настройки пороговых значений, связанных с функцией дифференциальной защиты. Еще одним преимуществом является то, что дифференциальные системы нечувствительны к уровням неисправности. Как упоминалось ранее, распределенная информационно-измерительная система является пассивной и не требует специального коммуникационного оборудования и нескольких защитных реле, поэтому с экономической точки зрения система рентабельна.

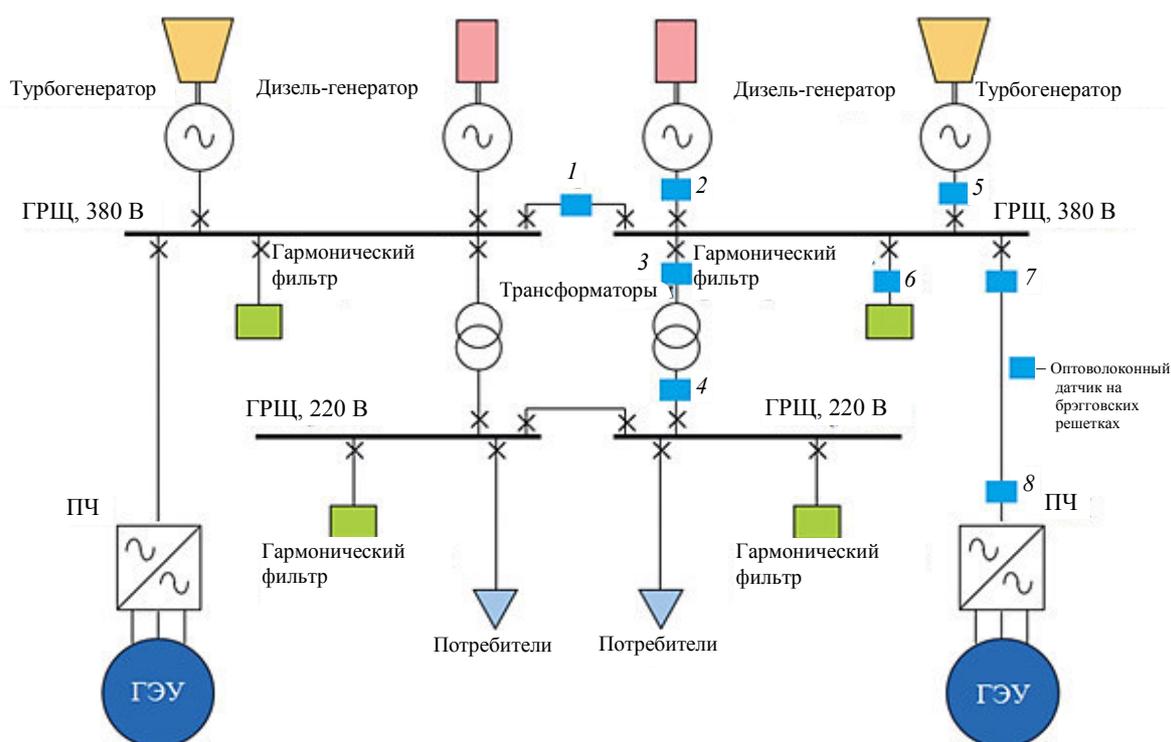


Рис. 5. Архитектура судовой электроэнергетической системы с применением информационно-измерительной системы с оптоволоконными датчиками (1–7) на брэгговских решетках

После заранее заданной временной задержки, в течение которой должно было быть выполнено отключение «основного» автоматического выключателя в случае наличия дифференциальных токов, на соответствующий автоматический выключатель смежной зоны (селективный) для обеспечения защиты от короткого замыкания будут подаваться сигналы отключения.

В случае если произошла неисправность в цепи трансформатора (рис. 5), связанная с датчиками 3 и 4, и по прошествии времени, в течение которого автоматический выключатель на датчике 3 должен был отключиться, ток все еще протекает через датчик 3, то при соответствующем алгоритме автоматические выключатели на датчиках 1, 2 и 5 могут получить команду на размыкание, тем самым устраняя неисправность посредством операций селективного выключения. Алгоритмы управления для реализации таких функционалов относительно просты. Наличие синхронизированных измерений напряжения и тока по всей электроэнергетической системе дает возможность обнаруживать неисправности с большой точностью. Короткие расстояния сетей, применяемые в морских электрических системах, могут увеличивать сложность задач, но применение алгоритмов, например многосторонний импеданс, адаптированы и улучшены для возможности выполнения нескольких измерений, применяемых в качестве входных данных.

Дополнительно данную информационно-измерительную систему можно применять для комплексного измерения сопротивления между двумя узлами цепи или двухполюсника для гармонического сигнала (электрический импеданс). Достигается это путем контроля тока, входящего и выходящего из оборудования, и расчета падения напряжения между точками. Однако необходимо учесть компенсации температур и других параметров, которые могут влиять на импеданс. Любое существенное изменение измеренного импеданса может указывать на развивающуюся проблему (например, разрушение изоляции, большие переходные сопротивления или нагрев внутри оборудования) и может использоваться в качестве входного сигнала для функций мониторинга состояния судовой системы или установки и для предупреждения обслуживающего персонала о любых потенциальных проблемах, развивающихся в начальной стадии.

Заключение

Рассмотрена информационно-измерительная система с применением оптоволоконных датчиков на брэгговских решетках, выполняемая измерение напряжений и токов. Достоинством данной системы является снижение различных рисков, улучшение реакции системы на сбои в электрических схемах. Все эти функции способствуют повышению надежности и безопасности судна. Надежность системы возможно улучшить за счет введения избыточности в виде дублирующих датчиков, дублирующих устройств опроса, проверки датчиков с обоих «концов» оптоволоконна. Предложенная технология в настоящее время ориентирована на береговые энергетические системы, однако обоснована ее применимость и к морским электрическим системам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сметюх Н. П., Черный С. Г., Ениватов В. В., Бордюг А. С. Скалярное многофакторное оценивание диагностических характеристик судовых энергетических систем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. № 12 (557). С. 15–19.
2. Catastrophic failure of a capacitor and explosion in an 11kV harmonic filter on board the passenger cruise vessel RMS Queen Mary 2 // Marine Accident Investigation Board Safety Bulletin 4/2010. URL: http://marengine.com/ufiles/703-Capacitor_explosion.pdf (дата обращения: 15.01.2021).
3. Варжель С. В. Волоконные брэгговские решетки. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2015. 65 с.

Статья поступила в редакцию 25.01.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Александр Сергеевич Бордюг – канд. техн. наук; доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; Керченский государственный морской технологический университет; Россия, 298309, Керчь; alexander.bordyug@mail.ru.



APPLICATION OF DISTRIBUTED OPTICAL CONTROL TECHNOLOGY IN SHIP POWER SYSTEMS

A. S. Bordyug

*Kerch State Maritime Technological University,
Kerch, Russian Federation*

Abstract. The article considers the point sensor technology for onshore power systems, which has a significant potential in providing new and effective solutions for monitoring and protecting marine electrical systems. These technologies can reduce the risk levels associated with marine electrical systems by providing comprehensive monitoring and protection functions that benefit from the distributed nature of the metering system. There has been described a system that consists of a data collecting device with optical fiber to collect multiple readings from a distributed passive array of sensors connected along a fiber length up to 100 km (applicable for any marine systems). There have been illustrated the variants of distributed monitoring and protection system in marine electrical systems. It has been stated that in the advanced marine systems there are used all-electric propulsion systems that distribute electricity between the ship's propulsion plants and other consumers. The power distribution has been proved necessary to rise efficiency, controllability, flexibility and cost of the system. Application of the new DC systems with zoned architecture, the emergence of batteries and other forms of power storage, and studying the superconducting cables and machines add to the importance of having knowledge of system operability and timely and safe response to failures and damages of the system.

Key words: measurements, ship, electrical systems, monitoring, protection, optical fiber.

For citation: Bordyug A. S. Application of distributed optical control technology in ship power systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;2:75-81. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-2-75-81.

REFERENCES

1. Smetiukh N. P., Chernyi S. G., Enivatov V. V., Bordiug A. S. Skaliarnoe mnogofaktornoe otsenivanie diagnosticheskikh kharakteristik sudovykh energeticheskikh sistem [Scalar multifactorial assessment of diagnostic characteristics of ship power systems]. *Avtomatizatsiia, telemekhanizatsiia i sviaz' v neftianoi promyshlennosti*, 2019, no. 12 (557), pp. 15-19.
2. *Catastrophic failure of a capacitor and explosion in an 11kV harmonic filter on board the passenger cruise vessel RMS Queen Mary 2*. Marine Accident Investigation Board Safety Bulletin 4/2010. Available at: http://marengine.com/ufiles/703-Capacitor_explosion.pdf (accessed: 15.01.2021).
3. Varzhel' S. V. *Volokonnye breggovskie reshetki* [Fiber Bragg lattices]. Saint-Petersburg, Izd-vo Un-ta ITMO, 2015. 65 p.

The article submitted to the editors 25.01.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander S. Bordyug – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Ship Power Supply and Automation; Kerch State Maritime Technological University; Russia, 298309, Kerch; alexander.bordyug@mail.ru.

