

УДК 621:313:3

DOI: 10.34670/AR.2020.86.82.037

Автоматические системы измерения и контроля в гребных электроустановках

Романовский Виктор Викторович

Доктор технических наук, профессор,
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова,
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7;
e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru

Лебедев Анатолий Иванович

Кандидат технических наук,
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова,
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7;
e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Евсин Алексей Николаевич

Аспирант,
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова,
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7;
e-mail: super.evs-17@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию современных автоматических систем измерения и контроля в гребных электроустановках. В процессе анализа особое внимание уделено автоматическим устройствам, которые позволяют оперативно отслеживать изменения в состоянии изоляции гребных электроустановок, а также контролировать температуру контактных соединений систем электроснабжения с целью оповещения обслуживающего персонала о возможной угрозе развития аварийной ситуации на судне. Достоинства таких схем состоят в том, что автоматизированные системы контроля изоляции могут значительно повысить уровень безопасности эксплуатации гребных электроустановок даже в самых сложных условиях. Эти схемы предусматривают решение следующих задач: измерение сопротивления изоляции сети относительно земли в процессе работы электрической установки; автоматическую сигнализацию при снижении сопротивления изоляции ниже заранее установленного предела; отключение сети или ее отдельных участков при аварийном состоянии изоляции, например при однофазном замыкании на землю. Сделан вывод о практической пользе и необходимости внедрения данных устройств на морские суда, а также острую необходимость развития автоматизации судов в целом.

Для цитирования в научных исследованиях

Романовский В.В., Лебедев А.И., Евсин А.Н. Автоматические системы измерения и контроля в гребных электроустановках // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Том 10. № 6А. С. 284-293. DOI: 10.34670/AR.2020.86.82.037

Ключевые слова

Гребная установка, контроль, измерение, ток, напряжение, автоматическая система, электроустановка.

Введение

Сегодня в мире большое внимание уделяется повышению качества продукции, что, в свою очередь, требует развития различных систем мониторинга и контроля [Дырдин, 2017]. Учитывая, что основу профессиональных знаний в науке и технике составляет измерительная информация, становится очевидной и вполне объяснимой потребность в обеспечении производства высокоэффективными методами и средствами измерения, контроля и управления, которые основаны на последних достижениях науки и техники в различных отраслях.

Наращивание мощностей судостроения в настоящее время вызывает необходимость усовершенствования способов измерения и контроля функционирования силовых агрегатов судов, гребных электроустановок, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий. Вместе с тем следует отметить, что время desktop-приложений, как и время локального решения задач управления технологическими процессами, быстро уходит в прошлое. Сегодня особую актуальность приобретает сетевое, корпоративное онлайн-управление и контроль, когда во внимание принимаются мнения заинтересованных участников и всем видны результаты совместной деятельности, что позволяет исключить случайный субъективный фактор. Эффективность такой стратегии в разы выше быстрых обратных связей [Коробко, 2015].

Внедрение автоматических систем измерения параметров

Вопрос внедрения эффективных систем автоматического контроля и измерения в гребных электроустановках может быть решен путем автоматизации судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) с использованием специальных устройств и систем защиты, регулирования и управления электрическим током, а также инструментов стабилизации напряжения и частоты генераторов; распределения активной и реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами; включения резервных и аварийных источников электроэнергии; автоматическим включением генераторов на параллельную работу; защиты генераторов, электрических якорей и СЭЭС от режимов, которые могут повредить это оборудование; переключения питания приемников; контроля работы СЭЭС; дистанционного управления СЭЭС.

Целесообразность внедрения и регулярного использования автоматизированного измерения и контроля при эксплуатации корабельных двигателей и электроустановок доказана опытом, полученным как зарубежными, так и отечественными учеными и инженерами.

Значительных достижений в данной сфере достигли такие исследователи, как А.П. Буйносов, С.Ю. Буряк и др. А.П. Фалендыш разработал и представил вниманию модель оценки

технического состояния гребных электроустановок. В основе этой модели лежит информационно-статистический метод контроля сложных систем. В.П. Ткаченко, Г.Г. Басов, С.Ю. Сапронова, А.Н. Воронько сделали значительный вклад в решение проблем определения в эксплуатации и удаленного контроля основных энергетических параметров валогенераторов.

Вместе с тем следует отметить, что зарубежный опыт пока еще превосходит отечественный.

Учитывая указанное, на основе исследования зарубежных и отечественных систем комплексной диагностики энергетических установок, изучения оборудования, используемого при этом, рассмотрения его основных параметров и характеристик проведем анализ современных автоматических систем измерения и контроля в гребных электроустановках.

Очевидно, что в рамках одной статьи не представляется возможным рассмотреть все автоматические системы измерения и контроля в гребных электроустановках, поэтому сосредоточим внимание на исследовании автоматических приборов, которые позволяют оперативно отслеживать изменения в состоянии изоляции гребных электроустановок и уведомлять обслуживающий персонал о возможной угрозе развития аварийной ситуации, а также средств контроля температуры контактных соединений в электроустановках систем электроснабжения.

Устройство автоматического контроля сопротивления изоляции

Под непрерывным (автоматическим) контролем изоляции сети понимают получение информации о ее состоянии, анализ этой информации с точки зрения безопасности и выработки в зависимости от результатов анализа соответствующего управляющего действия [Horton, 2017].

В настоящее время известно достаточно много различных схем устройств непрерывного контроля изоляции. Основные свойства и особенности этих схем определяются видом тока, проходящего по измерительной цепи, и реле, зависящего от сопротивления изоляции, а также емкости контролируемой сети.

Так, рассмотрим более подробно устройства, действующие по принципу использования выпрямленных токов контролируемой сети.

Схема устройств контроля сопротивления изоляции в исполнении фирмы «Калор-Емаг»

В устройствах контроля сопротивления изоляции, действующих по принципу использования выпрямленных токов контролируемой сети, применяются так называемые вентильные схемы, в которых необходимые для работы токи образуются с помощью трех вентилях, подключенных к фазам контролируемой сети [Aikhuele, Turan, 2018]. Приборы контроля изоляции, основанные на вентильных схемах, получили свое широкое распространение на флоте ФРГ в исполнении фирмы «Калор-Емаг» и «Сименс-Шукерт». Пример такого устройства приведен на рисунке 1.

Три полупроводниковых вентиля V подключаются к фазам А, В и С контролируемой сети через предохранительные опоры r_0 . Общая точка вентилях соединяется с землей через килоомметр PR и сигнальное реле K . Сопротивление $гд$ ограничивает ток в схеме контроля до безопасной границы. Оно должно быть гораздо больше всех остальных сопротивлений схемы. Мера сопротивления r_0 предназначена для ограничения тока в случае пробоя вентилях. Имея в схеме эти опоры, можно обойтись без плавких предохранителей. Соотношения сопротивлений r_0 и $гд$ можно выбирать самые разные. В практических же схемах целесообразно $гд$ принимать значительно больше r_0 , так как высокоомные резисторы имеют значительно больший разброс

по параметрам, если $g_d < g_0$, то это может привести к нежелательной асимметрии схемы.

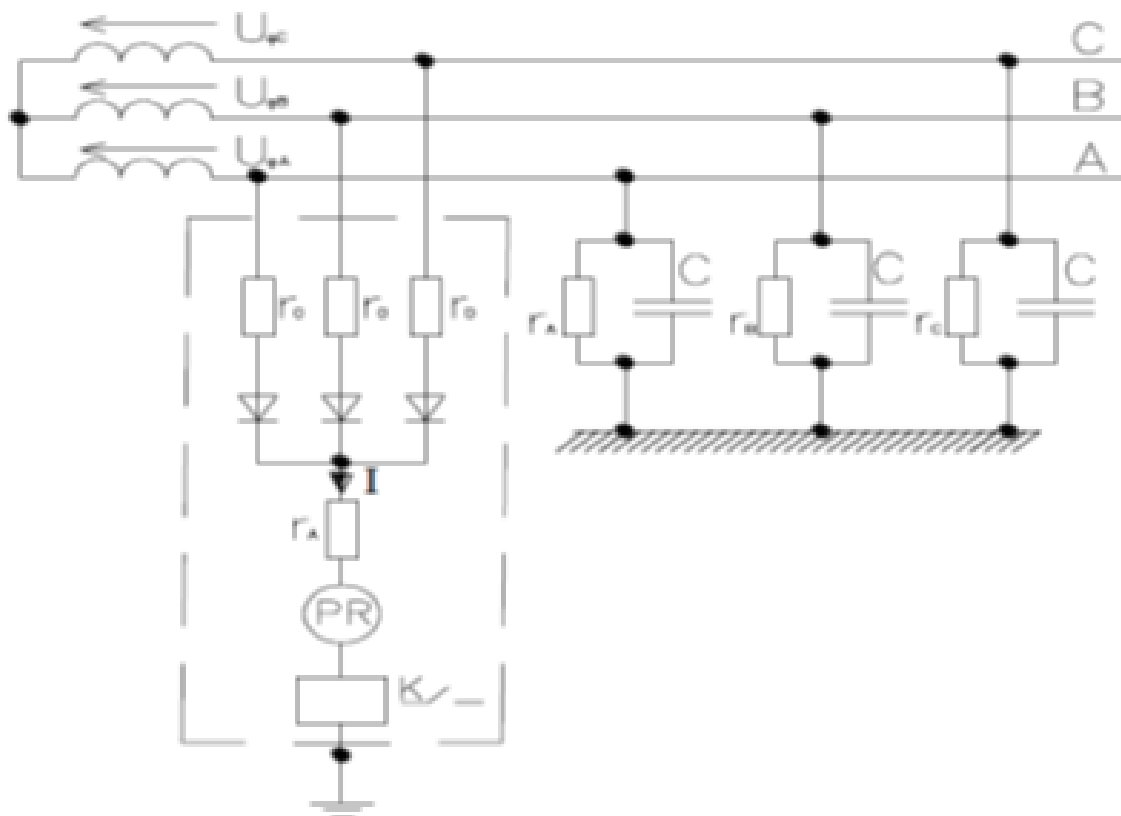


Рисунок 1. Принципиальная схема контроля сопротивления изоляции выпрямленным током контролируемой сети [How to choose a boat engine, 2003]

Обычно выбирают g_0 равным 5-10% g_d . Километр измеряет сопротивление изоляции сети относительно земли, а сигнальное реле приводит в действие световую или звуковую сигнализацию при снижении сопротивления изоляции ниже установленного предела.

Но, несмотря на многие преимущества вентильных схем, в настоящее время при устройстве гребных электроустановок практически не используются промышленные приборы непрерывного контроля сопротивления изоляции, построенные на таких схемах.

Чаще всего используются приборы, построенные на комбинированных схемах – сочетаниях вентильных с другими схемами (например, на токах нулевой последовательности). Несмотря на значительные усложнения, комбинированные схемы, как правило, не имеют преимуществ по сравнению с чистой вентильной схемой.

Главными недостатками таких схем являются прохождение через рамку прибора переменного тока, сложная зависимость работы измерительного тока от сопротивлений изоляции, зависимость работы от колебаний напряжения сети, отсутствие устройства сигнализации [Soleymani, 2015].

Значительный интерес с практической точки зрения вызывают устройства, действующие по принципу наложения на контролируемую сеть оперативного тока. При этом виде непрерывного контроля изоляции используют токи, создаваемые сторонними источниками энергии. В измерительной цепи таких схем, кроме тока источника энергии, проходит переменный ток, вызванный напряжением контролируемой сети. Для его ослабления применяются различные

фильтрующие опоры. В зависимости от рода фильтрующих сопротивлений, различают схемы с индуктивными и емкостными фильтрами.

Схема устройств контроля сопротивления изоляции в исполнении фирмы «Сименс-Шукерт».

В схеме с индуктивным фильтрующим устройством (рисунок 2) в качестве фильтра используют дроссель со стальным сердечником L , который должен представлять большое сопротивление переменному току, вызванному напряжением сети, и относительно малое – постоянному току, создаваемому напряжением постороннего источника.

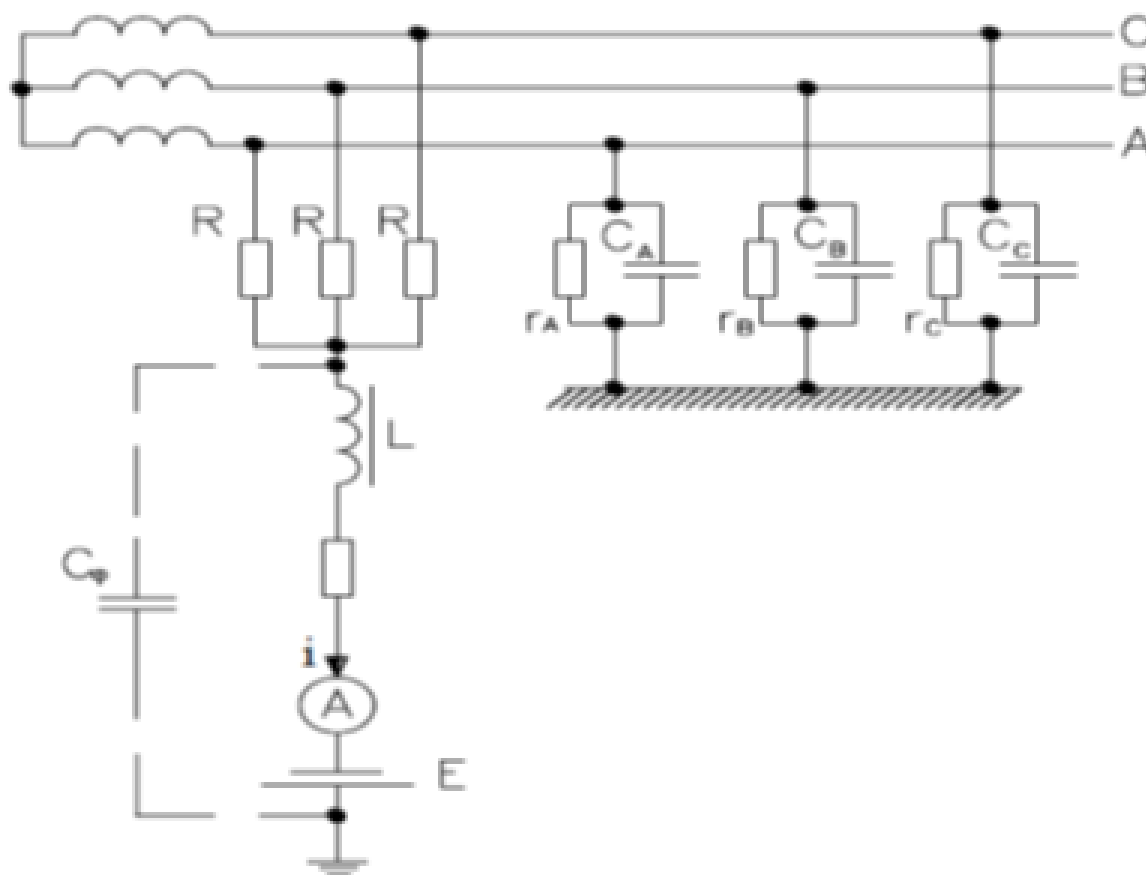


Рисунок 2 - Принципиальная схема контроля сопротивления изоляции, работающая на оперативном токе [Westin, 2012]

В такой схеме ток нагрузки i можно представить как состоящий из двух элементов: постоянного I_m , вызванного источником энергии, и переменного i_{\sim} , вызванного напряжением контролируемой сети, то есть $i = I_m + i_{\sim}$.

Переменную составляющую тока нагрузки i_{\sim} достаточно просто найти с помощью принципа наложения.

Активное сопротивление R при выполнении искусственной нулевой точки, предназначенной для присоединения схемы контроля к сети, может быть также заменено трехфазным дросселем. В этом дросселе выполняются отводы, благодаря которым схема контроля может быть легко использована для сетей с различными номинальными напряжениями. В противном случае такая схема по принципу действия абсолютно аналогична

схеме с резисторами.

В качестве фильтра может быть использована емкость конденсатора, подключенного параллельно нагрузке, который изображен на рисунке 2 пунктиром.

Таким образом, отметим, что автоматизированные системы контроля изоляции могут значительно повысить уровень безопасности эксплуатации гребных электроустановок даже в самых сложных условиях, а их целесообразный выбор представляет собой серьезную задачу для проектировщиков корабельного оборудования. Контроль сопротивления изоляции сети относительно земли в общем случае предполагает решение следующих задач: измерение сопротивления изоляции сети относительно земли в процессе работы электрической установки; автоматическую сигнализацию при снижении сопротивления изоляции ниже заранее установленного предела; отключение сети или ее отдельных участков при аварийном состоянии изоляции, например при однофазном замыкании на землю.

Устройство автоматизированного контроля температуры

Рассмотрим особенности применения устройств автоматизированного контроля температуры контактных соединений в электроустановках систем снабжения гребных установок. Главная цель указанных устройств – определять перегрев контактов с помощью указателей из сплава Cu-Al-Mn, которые обладают эффектами памяти формы (ЭПФ).

Исследования показали, что указатели из сплава с ЭПФ являются надежными для определения перегрева контактов, последние экспериментальные испытания таких устройств осуществлялись фирмой Ontario Gydro, Канада.

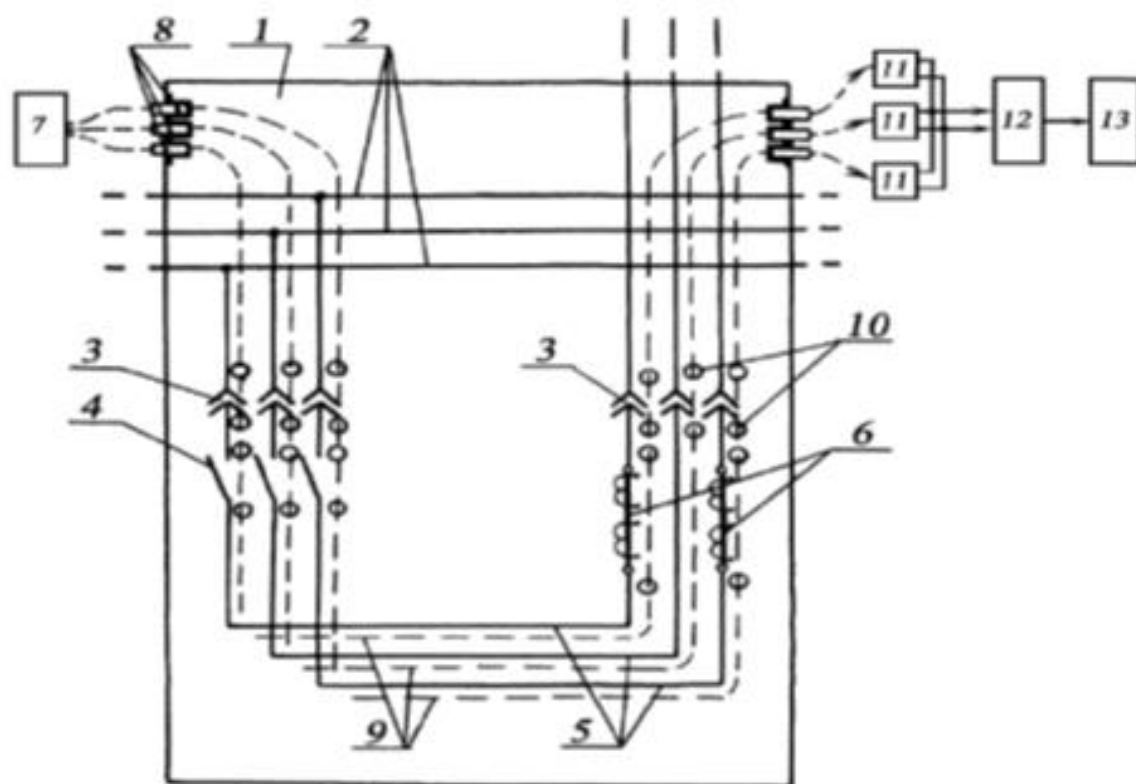
Техническая суть разработки приведена на рисунке 3.

Работает такое устройство следующим образом: при включении ячейки комплектного распределительного устройства i луч света распространяется вдоль световодов 9 (размещены на трех фазах), проходя через оптические муфты 10. При наличии светового луча на выходе всех трех световодов и на входе датчиков 11 сигнал на выходе последних отсутствует. При этом фотореле 12 и устройство 13 световой или звуковой сигнализации будут отключенными. Это свидетельствует о нормальном тепловом режиме работы всех контактных соединений в ячейке комплектного распределительного устройства.

При длительной эксплуатации ячейки комплектного распределительного устройства, в результате перепадов температуры и электродинамических нагрузок нормальный режим работы контактных узлов нарушается. Это приводит к ослаблению контактного давления, появлению оксидной пленки, росту переходного сопротивления и температуры контактного соединения. В этом случае при повышении температуры контактного соединения до $+35...+40^{\circ}\text{C}$ начинает работать термоупругий элемент. Увеличивая давление контактирующих поверхностей, он предотвращает преждевременный выход из строя контакта. При этом происходит замедление роста оксидной пленки и, соответственно, переходного сопротивления и температуры контактного узла.

Однако дальнейший рост оксидной пленки и температуры контакта будет все равно происходить. При достижении температуры 100°C срабатывает указатель контроля превышения допустимой температуры. При этом флажок указателя возвращается и, принимая вертикальное положение, заходит в поперечный разрез оптической муфты 10 и световода 9, перекрывая путь прохождения светового луча. Исчезновение светового луча на выходе одного или нескольких световодов приведет к появлению сигнала на выходе одного или нескольких датчиков 11,

включению фотореле 12 и устройства 13 световой или звуковой сигнализации. Последний оповещает обслуживающий персонал о появлении аварийного режима.



- 1- шкаф комплектного распределительного устройства;
 2- магистральные шины;
 3- разъем;
 4- выключатель;
 5- линейные шины;
 6- трансформаторы тока;
 7- источник света;

Рисунок 3 - Совмещенная электрическая схема шкафа распределительного устройства и функциональная схема устройства контроля температуры [Maintaining your canal boat..., 2010]

При необходимости (в случае отсутствия дежурного персонала) фотореле 12, кроме включения устройства 13 сигнализации, может отключать выключатель 4. Это полностью устраняет возможность разрушения контактных соединений. Устройство помогает также управлять давлением контакта и непрерывно контролировать превышение допустимой температуры с передачей сигнала на расстояние.

Заключение

Таким образом, нами были рассмотрены автоматические системы контроля и измерения параметров судового электрооборудования. В качестве примера представлены электрические схемы контроля сопротивления изоляции фирм «Сименс-Шукерт» и «Калор-Емаг». К общим недостаткам системы можно отнести прохождение через рамку прибора переменного тока, сложную зависимость работы измерительного тока от сопротивлений изоляции, зависимость работы от колебаний напряжения сети, а также отсутствие устройства сигнализации. Достоинства таких схем состоят в том, что автоматизированные системы контроля изоляции могут значительно повысить уровень безопасности эксплуатации гребных электроустановок даже в самых сложных условиях. Эти схемы предусматривают решение следующих задач: измерение сопротивления изоляции сети относительно земли в процессе работы электрической установки; автоматическую сигнализацию при снижении сопротивления изоляции ниже заранее установленного предела; отключение сети или ее отдельных участков при аварийном состоянии изоляции, например при однофазном замыкании на землю.

Данное исследование показало практическую пользу и необходимость внедрения данных устройств на морские суда, а также острую необходимость развития автоматизации судов в целом.

Библиография

1. Дырдин Н.С. Современное состояние и перспективы развития судостроительства и судовых электроэнергетических систем // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. 2017. № 3(20). С. 30-36.
2. Коробко Г.И. Электроснабжение общесудовых потребителей на судах с единой электроэнергетической системой // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2015. № 44. С. 320-329.
3. Aikhuele D.O., Turan F.M. A modified exponential score function for troubleshooting an improved locally made Offshore Patrol Boat engine // Journal of marine engineering and technology. 2018. No. 1. P. 52-58.
4. Horton S.L. Narrow Boat Engine Maintenance and Repair. Crowood, 2017. 160 p.
5. How to choose a boat engine // Popular mechanics. 2003. Vol. 180. P. 76-79.
6. Maintaining your canal boat: engines, gearboxes, electrics, plumbing, paintwork. Wokingham: Archant Specialist, 2010. 98 p.
7. Soleymani M. Sizing and energy management of a medium hybrid electric boat // Journal of marine science and technology. 2015. No. 4. P. 739-751.
8. Westin M. Replacing your boat's engine. London: Adlard Coles, 2012. 144 p.

Automatic measurement and control systems in electrical propulsion installations

Viktor V. Romanovskii

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
198035, 5/7 Dvinskaya st., Saint Petersburg, Russian Federation;
e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru

Anatolii I. Lebedev

PhD in Technical Sciences,
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
198035, 5/7 Dvinskaya st., Saint Petersburg, Russian Federation;
e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Aleksei N. Evsin

Postgraduate,
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
198035, 5/7 Dvinskaya st., Saint Petersburg, Russian Federation;
e-mail: super.evs-17@yandex.ru

Abstract

The article is devoted to the study of modern automatic measurement and control systems in electrical propulsion installations. In the course of the analysis, special attention was paid to automatic devices that allow to quickly monitor changes in the insulation state of electrical propulsion installations, as well as monitor the temperature of contact connections of power supply systems in order to notify the operating personnel about a possible threat of an emergency on the ship. The advantages of such schemes are that automated insulation monitoring systems can significantly increase the safety level of operation of electrical propulsion installations even in the most difficult conditions. These schemes provide for the solution of the following tasks: measuring the insulation resistance of the network relative to the ground during the operation of the electrical installation; automatic alarm when the insulation resistance drops below a predetermined limit; disconnection of the network or its individual sections in case of an emergency state of insulation, for example, with a single phase ground shorting. The authors conclude about the practical benefits and the need to implement these devices on sea vessels, as well as the urgent need to develop ship automation in general.

For citation

Romanovskii V.V., Lebedev A.I., Evsin A.N. (2020) Avtomaticheskie sistemy izmereniya i kontrolya v grebnykh elektroustanovkakh [Automatic measurement and control systems in electrical propulsion installations]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 10 (6A), pp. 284-293. DOI: 10.34670/AR.2020.86.82.037

Keywords

Propulsion installation, control, measurement, current, voltage, automatic system, electrical installation.

References

1. Aikhuele D.O., Turan F.M. (2018) A modified exponential score function for troubleshooting an improved locally made Offshore Patrol Boat engine. *Journal of marine engineering and technology*, 1, pp. 52-58.
2. Dyrdin N.S. (2017) Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sudostroitel'stva i sudovykh elektroenergeticheskikh sistem [Current state and development prospects of shipbuilding and ship electric power systems]. *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* [Bulletin of the State Marine University named

-
- after Admiral F.F. Ushakov], 3(20), pp. 30-36.
3. Horton S.L. (2017) *Narrow Boat Engine Maintenance and Repair*. Crowood.
 4. How to choose a boat engine (2003). *Popular mechanics*, 180, pp. 76-79.
 5. Korobko G.I. (2015) Elektrosnabzhenie obshchesudovykh potrebitel'ei na sudakh s edinoi elektroenergeticheskoi sistemoi [Consumer power supply on vessels with unified electric power systems]. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta* [Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport], 44, pp. 320-329.
 6. *Maintaining your canal boat: engines, gearboxes, electrics, plumbing, paint-work* (2010). Wokingham: Archant Specialist.
 7. Soleymani M. (2015) Sizing and energy management of a medium hybrid electric boat. *Journal of marine science and technology*, 4, pp. 739-751.
 8. Westin M. (2012) *Replacing your boat's engine*. London: Adlard Coles.