

УДК 629.12; 629.12.066

Применение на судах электроэнергетических систем с распределенной шиной постоянного тока

А. С. Бежик, А. К. Лебедев, В. В. Романовский*, А. Б. Власов

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,
г. Санкт-Петербург, Россия;

e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-2446>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
14.10.2024;

получена
после доработки
18.11.2024;

принята
к публикации
18.11.2024

Ключевые слова:

гребная электрическая
установка,
Azipod,
техническое
обслуживание,
поиск неисправностей,
методы испытаний

Эксплуатация судов при плавании по Северному морскому пути сопряжена с многочисленными рисками, определяющими повышенные требования к надежности гребной установки. В связи с этим актуально использование судовых электрических сетей, базирующихся на распределении электроэнергии постоянного тока (ПТ), работа которых дает ряд преимуществ в сравнении с системами распределения переменного тока. Проведение технического контроля импортного судового оборудования ввиду недостатка информации, получаемой от зарубежных производителей, является актуальной потребностью. На примере гребной электрической установки с оборудованием типа Azipod описаны способы оценки технического состояния гребного электрического двигателя, защиты вала от паразитных напряжений и токов, способных ускорить разрушение подшипников. Рассмотрены способы поиска неисправностей полупроводниковых элементов, входящих в состав преобразователя частоты. Представлены вероятные ошибки в работе системы контроля положения гондолы. Определены возможности дистанционной оценки технического состояния системы. Цель работы – разработка этапов технического контроля и оценка полученных параметров для выработки экспертных решений об эксплуатационной надежности и перспективах дальнейшей работы оборудования и элементов в системах гребных электрических установок типа Azipod, актуальных на многочисленных судах.

Для цитирования

Бежик А. С. и др. Применение на судах электроэнергетических систем с распределенной шиной постоянного тока. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 4. С. 534–546. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-4-534-546>.

Application of DC distributed bus bar power systems on ships

Artem S. Bezhik, Alexander K. Lebedev, Viktor V. Romanovsky*, Anatoly B. Vlasov

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia;

e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-2446>

Article info

Received
14.10.2024;

received
in revised form
18.11.2024;

accepted
18.11.2024

Key words:

electric propulsion
system,
Azipod,
maintenance,
troubleshooting,
test methods

Abstract

Operation of vessels sailing along the Northern Sea Route is associated with numerous risks that determine increased requirements for the reliability of the propulsion system. In this regard, it is important to use ship electrical networks based on the distribution of direct current (DC) electricity, the operation of which provides a number of advantages in comparison with AC distribution systems. Conducting technical control of imported ship equipment due to the lack of information received from foreign manufacturers is an urgent need. Using the example of a propulsion electric plant with Azipod-type equipment, methods for assessing the technical condition of the propulsion electric motor, protecting the shaft from parasitic voltages and currents that can accelerate the destruction of bearings have been described. Methods for troubleshooting semiconductor elements included in the frequency converter have been considered. Probable errors in the operation of the nacelle position monitoring system have been presented. The possibilities of remote assessment of the technical condition of the system have been determined. The aim of the work is to develop stages of technical control and evaluation of the obtained parameters for the development of expert decisions on the operational reliability and prospects for further operation of equipment and elements in Azipod-type propulsion electric systems relevant on numerous vessels.

For citation

Bezhik, A. S. et al. 2024. Application of DC distributed bus bar power systems on ships. *Vestnik of MSTU*, 27(4), pp. 534–546. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-4-534-546>.

Введение

Эксплуатация судов при плавании по Северному морскому пути сопряжена с многочисленными рисками, определяющими повышенные требования к надежности гребной установки (Баранов и др., 2015; Романовский и др., 2013; 2019). В связи с этим актуально использование электрических сетей, базирующихся на распределении электроэнергии постоянного тока (ПТ), работа которых дает ряд преимуществ в сравнении с системами распределения переменного тока.

Электрическая шина постоянного тока (ШПТ) применяется для распределения электроэнергии, которая была предварительно преобразована на выходе первоначального источника. Выполняться это может либо напрямую в системе питания, либо через специальный двунаправленный преобразователь, который корректирует уровень напряжения до необходимой величины на вторичной шине (рис. 1). Внедрение данной технологии в электрические системы судов актуально благодаря ее способности обеспечивать гибкое управление потоками электроэнергии и механизмами движения. Использование ПТ для главной распределительной шины (ГРШ) упрощает процесс синхронизации генераторов, что ведет к снижению затрат на оборудование и делает эксплуатацию плавсоставом более надежной.

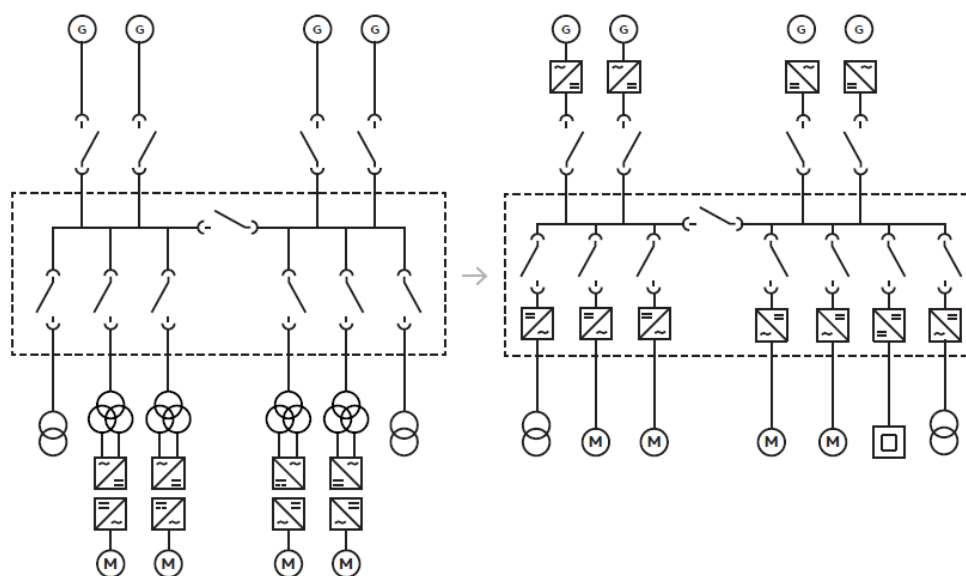


Рис. 1. Переход от единой электроэнергетической системы с основной шиной переменного тока к единой электроэнергетической системе с основной шиной постоянного тока

Fig. 1. Transition from a unified power system with an AC main bus to a unified power system with a DC main bus

На судах, использующих переменный ток для распределения электроэнергии, для управления работой гребного электрического двигателя (ГЭД) применяются преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Однако на тех судах, где используется ШПТ, достаточно применение только инверторов, при этом обходясь без выпрямителей. Это не только способствует более эффективной эксплуатации доступного пространства, но и снижает негативное воздействие электрических компонентов друг на друга, такое как всплески тока и скачки напряжения.

Для оптимизации качества электроэнергии, необходимой различным устройствам (например, измерительное оборудование и автоматизированные системы), применяют пассивные LC - или LCL -фильтры непосредственно перед инверторами.

Электрическая система с ШПТ на постоянном токе обеспечивает адаптивный подход к объединению различных источников энергии, включая валогенераторы, генераторы с регулируемой частотой вращения, аккумуляторы, суперконденсаторы и топливные ячейки.

Внедрение активных систем накопления электроэнергии (СНЭ) в судовых электросетях может эффективно способствовать уменьшению потребления топлива при использовании запасенной в динамических режимах электроэнергии.

Использование системы с ШПТ дает возможность эффективно работать с ДГ, чья частота вращения может изменяться в зависимости от нагрузки, что в свою очередь способствует снижению потребления топлива в сравнении с устройствами, работающими при постоянной частоте вращения. Благодаря тому, что частота вращения ротора генератора не определяет частоту тока в электросети, обеспечивается возможность

настройки генератора под конкретные требования различных типов двигателей без необходимости применения редукторов или механизмов.

Применение системы распределения постоянного тока в судовых электросетях способствует уменьшению размеров и веса трансформаторов. Также использование систем с высокочастотными преобразователями позволяет отказаться от силовых многообмоточных трансформаторов гребных электрических установок (ГЭУ), применяемых для улучшения параметров потребляемой ГЭД электроэнергии. Это не только освобождает пространство и сокращает использование материалов, но и способствует снижению потерь энергии за счет уменьшения количества коммутаций в системе.

В судовых электрических системах с ШПТ возможно применение электрооборудования мощностью до 30 МВт, а величина напряжения сети может достигать 1 000 В, что в свою очередь позволяет уменьшить сечение питающих кабелей в сравнении с электрическими системами напряжением до 690 В переменного тока (Власов и др., 2024; Баранов и др., 2015; Романовский, 2015; Романовский и др., 2019).

Единые электроэнергетические системы (ЕЭЭС) с ШПТ предпочтительны для следующих типов судов:

- суда, где СНЭ выступают главными или единственными источниками электрической энергии, к которым могут относиться маломерные и безэкипажные суда;
- суда с гребными электрическими двигателями (ГЭД). К ним относятся: береговые сервисные суда, снабженцы, многоцелевые суда обеспечения, научно-исследовательские суда.

Таким образом, системы распределения электроэнергии постоянного тока позволяют:

- добиться снижения расхода топлива среднескоростными ДГ до 20 % и высокоскоростными ДГ до 40 %, работающими на долевых режимах нагрузки с соответствующим изменением частоты вращения;
- уменьшить уровень шума на 30 % при долевых режимах нагрузки ДГ;
- добиться уменьшения расхода меди на производство электропровода на 35 % при применении шинопровода вместо кабелей и на 40 % при более высокой величине напряжения электрической сети.

При использовании СНЭ в составе ЕЭЭС с ШПТ возможно:

- улучшить выходные параметры ЭЭС, так как за счет частичной компенсации нагрузки быстродействующими СНЭ уменьшение колебаний тока нагрузки может достигать 30 %, колебаний напряжения – 5 %;
- уменьшить потребление топлива до 40 % в динамических режимах путем отбора электроэнергии от ГЭД в процессе торможения и реверса с последующим применением для частичной компенсации нагрузки на ДГ;
- создать суда с гибридными ЭЭС, где СНЭ – дополнительный источник электрической энергии, и полностью электрифицированные суда, где СНЭ – основной источник электрической энергии, доля которого доходит до 100 %.

Целью работы является разработка этапов технического контроля и оценка полученных параметров для выработки экспертных решений об эксплуатационной надежности и перспективах дальнейшей работы оборудования и элементов в системах гребных электрических установок типа Azipod, актуальных на многочисленных судах.

Материалы и методы

Гребная электрическая установка с электрической винто-рулевой колонкой (ВРК) типа Azipod является подходящим решением для судов ледового класса и отвечает ряду критериев, необходимых для безопасного мореплавания. Но наряду со всеми преимуществами необходимо учитывать, что данный тип установки объединяет большое количество подсистем, увеличивая вероятность возникновения поломок, способных повлиять как на маневренные характеристики, так и на жизнеспособность судна.

ВРК типа Azipod состоит из ряда основных компонентов¹ (Романовский, 2015; Власов и др., 2024), которые должны подвергаться регулярному техническому осмотру и обслуживанию: винт фиксированного шага; модуль движителя, в котором расположен гребной электродвигатель; рулевой модуль; рулевой движитель; узел контактных колец; блок охлаждения; полупроводниковый преобразователь частоты; модуль управления.

Рассмотрим элементы технического обслуживания наиболее ответственных узлов ВРК типа Azipod.

¹ Компания АВВ. [Электронный ресурс]. URL: <http://new.abb.com/marine/ru/katalog/systemy-electrodvizeniya/azipod> (дата обращения: 12.03.2019); Справочное руководство к проекту движительных систем Azipod®. Версия 6.2. Finland, Издание АВВ Оу, 2008, 65 с.; CRP Azipod® Propulsion Concept / Интернет-издание фирмы АВВ Оу. URL: <http://www.abb.com/marine>, 2002, 16 с.; Adnanes A. K. Maritime electrical installations and diesel electric propulsion. АВВ. AS Marine, 2003.

Решение об изменении интервала обслуживания узла контактных колец принимается на основе показаний измерений величины сопротивления на контактных кольцах (рис. 2, б). Для измерения сопротивления между контактным кольцом и наружной кольцевой шиной применим низкоомный омметр.

Наиболее простым способом очистки поверхности контакта щеток с контактными кольцами является размещение чистой ветоши, смоченной спиртовым раствором, между щетками и контактными кольцами (рис. 3) с помощью оттяжки щеточного привода. Ветошь кладут под каждую щетку, затем производится вращение ВРК минимум по два оборота в каждую сторону.



Рис. 2. Элементы узла контактных колец (а) и методика измерения сопротивления между контактными кольцами и наружной шиной (б)
Fig. 2. Elements of the slip ring assembly (a) and the method of measuring the resistance between the slip rings and the outer bus bar (b)



Рис. 3. Чистка щеток и изоляторов
Fig. 3. Cleaning brushes and insulators

Частой причиной загрязнения поверхностей и механизмов, расположенных в узле контактных колец, является выработка щеток, которые состоят из углеродных соединений. Загрязнение является одной из причин замыкания силовой линии на корпус, что может привести к аварийной ситуации. Также на изоляцию силового узла влияет состояние изоляторов, которые необходимо проверять не только на чистоту, но и на наличие трещин и мест перегрева.

При осмотре узла контактных колец регулярно отмечается, что поверхность загрязнена углеродсодержащей пылью, перемешанной с маслом. Причиной этого могут являться масляные течи, возникающие по причине нарушения целостности герметизации вращающихся соединений масляной системы (рис. 4, а), расположенных в верхней части узла, маслопровода подшипников ГЭД, уплотнительных камер

вала (рис. 4, б). Частицы протекающего масла сильным потоком воздуха распространяются внутри ВРК, оседая на поверхностях.



Рис. 4. Узлы соединения маслопроводов с ВРК (а – внешняя часть; б – внутренняя часть)
Fig. 4. Connection nodes of oil pipelines with the rudder propeller (a – the external part; б – the internal part)

Результаты и обсуждение

Инспекция обмоток ГЭД

Возникновение аварийной ситуации требует тщательной инспекции на наличие механических повреждений, предварительного измерения сопротивления изоляции обмоток ГЭД и бесщеточного возбудителя, дальнейшей очистки от всех следов загрязнения с применением ветоши, пропитанной спиртовым раствором или других специальных химических веществ. По завершению очистки производятся новые измерения сопротивления изоляции с проведением дальнейшего анализа выполненной работы.

При измерении бесщеточного возбудителя необходимо закоротить выпрямитель, измерить сопротивление изоляции между выводами выпрямителя и ротором ГЭД (рис. 5), применяя мегаомметр с включенным режимом измерения при 500 В постоянного тока. По завершению измерений мегаомметр перевести в режим разряда цепи.

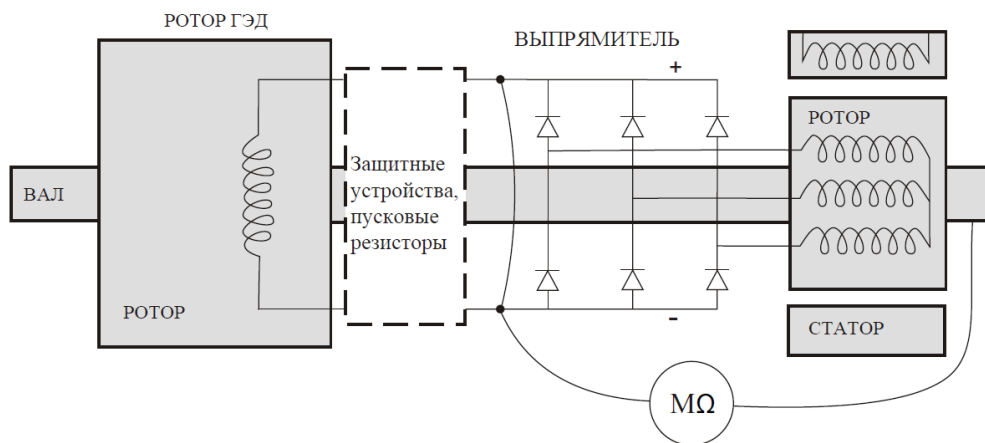


Рис. 5. Соединение для измерения сопротивления изоляции бесщеточного возбудителя
Fig. 5. Connection for measuring the insulation resistance of the brushless exciter

Измерение сопротивления изоляции обмоток статора ГЭД выполняется при выведенном из эксплуатации полупроводниковым преобразователем частоты (ППЧ), разомкнутых ножевых контактах со стороны обмотки статора и снятом заземлении. Для измерения применяется высоковольтный мегаомметр, включенный в режим измерения при 1 000 В постоянного тока, измерения необходимо проводить одну минуту, по завершении прибор переводится в режим разряда цепи (рис. 6).

При техническом обслуживании (ТО) бесщеточного выпрямителя (рис. 7, а) в соответствии с таблицей ТО необходимо производить измерения рабочих параметров диодов. Известен случай, когда при эксплуатации ВРК изменилось направление вращения гребного винта. Система защиты, получив сигнал о рассогласовании величины актуального значения оборотов с заданным, сформировала сигнал аварийной остановки ГЭУ.

Последующий анализ неисправности выявил, что несколько диодов бесщеточного выпрямителя были выведены из строя.



Рис. 6. Измерение сопротивления изоляции обмотки статора ГЭД высоковольтным мегаомметром
Fig. 6. Measuring the insulation resistance of the stator winding of the hydroelectric motor with the high-voltage megohmmeter



Рис. 7. Устройство возбуждения (а) и диод бесщеточного выпрямителя (б)
Fig. 7. The excitation device (a) and the brushless rectifier diode (b)

Пробитию диодов (рис. 7, б) сопутствует постепенное изменение рабочих параметров, периодическое измерение которых направлено на своевременное обнаружение неисправности и недопущения аварийного случая. При проверке измерение падения напряжения на диоде выполняется в обоих направлениях: при прямом включении падение напряжения должно находиться в пределах 0,2–0,6 В, при обратном – величина сопротивления стремится к бесконечности.

Паразитные напряжения и токи на валу

Немаловажной является бороскопическая инспекция подшипников ГЭД, необходимая для проведения анализа технического состояния. Подшипники могут подвергаться разрушительному влиянию как от механического воздействия, так и от электроэрозионного износа. С целью снятия паразитных напряжений и токов на валу применяются углеродосодержащие щетки, расположенные в непосредственной близости от подшипников, для анализа состояния которых проводят бороскопическую инспекцию. Измерение паразитного напряжения на валу ГЭД измеряется постоянно системой диагностики и выводится на удаленные станции мониторинга, при этом аварийный сигнал формируется при значении напряжения, равном 500 мВ.

Во избежание электроэрозионного влияния на подшипники плановое ТО защитной токосъемной системы выполняется каждый месяц и состоит из следующих действий (рис. 8):

- 1) отключение кабелей, соединяющих токосъемные щетки с корпусом гондолы;
- 2) измерение сопротивления между двумя щетками через вал ГЭД с применением миллиомметра;
- 3) при превышении измеряемого электрического сопротивления 100 мОм выполняется чистка контактных поверхностей, притирка щеток;
- 4) если в результате очистки контактных поверхностей измерения по-прежнему показывают превышение 100 мОм, то выполняется замена щеток.

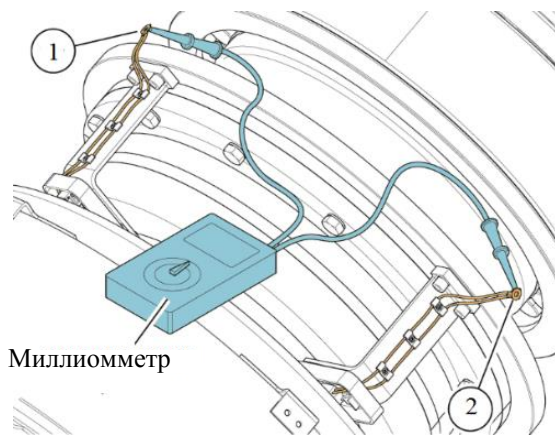


Рис. 8. Измерение проводимости токосъемных щеток
Fig. 8. Measuring the conductivity of current collector brushes

Неисправности полупроводниковых элементов силовой цепи ППЧ

Наиболее серьезные случаи возникновения неисправностей, относящиеся к ППЧ (рис. 9), связаны с полупроводниковыми элементами (ПЭ) силовой цепи (Горбунов и др., 2018). Данные неисправности отличает сложность обнаружения и возможные серьезные последствия.

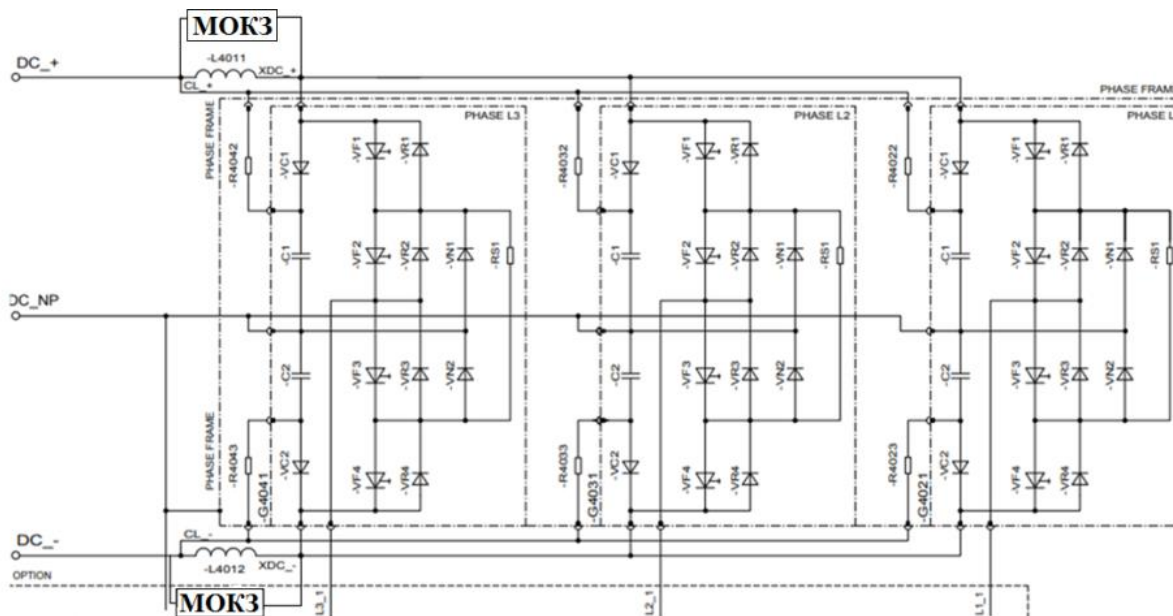


Рис. 9. Электрическая схема инвертора
Fig. 9. Electrical diagram of the inverter

Короткое замыкание (КЗ) может возникнуть по причине нахождения силового ПЭ в открытом состоянии, в то время когда он должен быть заперт. Это может быть связано как с повреждением самого ПЭ, так и системы управления. Система защиты построена таким образом, что при обнаружении короткого замыкания формирует сигналы аварийной остановки работы ППЧ, отключения главной цепи электропитания, команду на открытие всех ПЭ с целью рассеяния тока КЗ по всей цепи и таким образом уменьшения степени разрушения.

Для обнаружения КЗ в выпрямителе применяется модуль обнаружения короткого замыкания (МОКЗ), который измеряет напряжение, протекающее через резистор в нейтрали выпрямителя (рис. 10). В каждом фазном модуле на выходах звена постоянного тока перед инвертором установлены ограничители изменения тока цепи, представляющие собой дроссели, параллельно которым установлена система обнаружения КЗ. Принцип работы МОКЗ построен на обнаружении магнитного поля дросселей, возникающего при протекании электрической энергии во время отпирания ПЭ. Если продолжительность существования магнитного поля превышает 6–10 мкс, то формируется сигнал активации системы защиты от КЗ.

Каждая плата управления тиристором (рис. 10) оснащена визуальной индикацией наличия неисправности; у диодов индикация отсутствует. Выполнение измерений возможно без вынимания ПЭ.

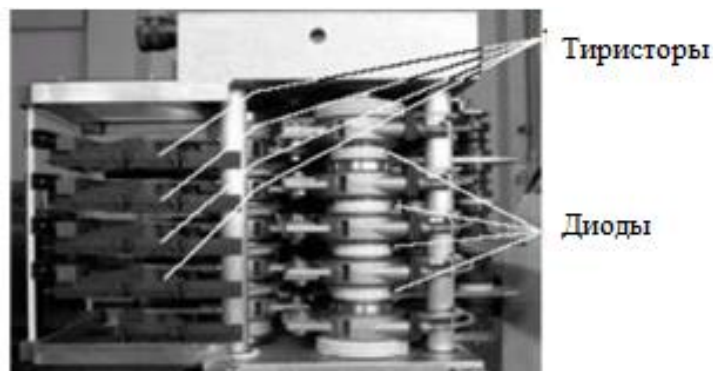


Рис. 10. Элементы фазного модуля
Fig. 10. Elements of the phase module

Проверка тиристора проходит в два этапа (рис. 11).

Первый этап:

1) отключить вспомогательное электропитание ППЧ, оптическим кабелем соединить сервисный выход платы управления инвертором (ПУИ) и вход приема отпиряющего оптического сигнала карты управления тиристором (КУТ);

2) включить вспомогательное электропитание ППЧ, оставив обесточенным ПУИ;

3) переведя мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока, измерить напряжение между теплообменником (катодом) и крепежной пластиной (базой). Измеряемое напряжение должно быть 20 В постоянного тока.

Второй этап:

1) по завершению первого этапа необходимо восстановить электропитание ПУИ;

2) переведя мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока, измерить напряжение между теплообменником (катодом) и крепежной пластиной (базой). Измеряемое напряжение должно быть +0,7 В постоянного тока.

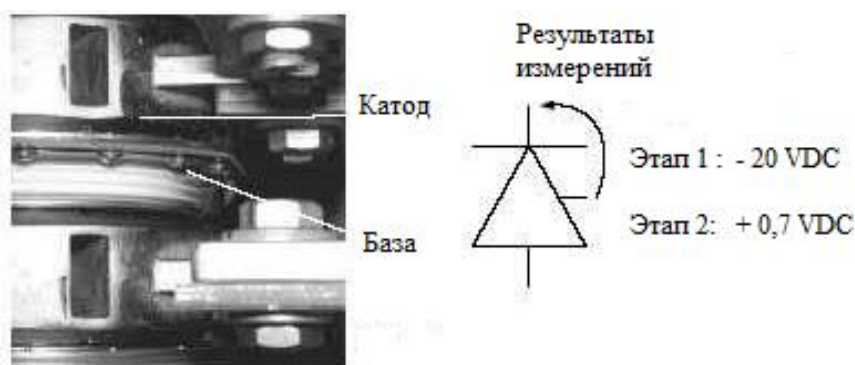


Рис. 11. Проверка тиристора
Fig. 11. Thyristor check

Измерение падения напряжения на диодах производится при вынутом фазном модуле (рис. 12). Для выполнения проверки необходимо:

1) полностью выключить электропитание ППЧ и заземлить;

- 2) выкрутив фиксирующие болты, вытянуть фазный модуль из соединений с силовыми шинами;
- 3) при помощи мультиметра измерить величину падения напряжения на диодах.



а



б

Рис. 12. Измерение падения напряжения на диоде фазного модуля:

а – в проводящую сторону; б – в непроводящую сторону

Fig. 12. Measuring the voltage drop on the phase module diode:

а – to the conducting side; б – to the non-conducting side

Неисправности системы управления высоковольтными автоматами

Замыкание высоковольтных контакторов первичной обмотки трансформаторов ГЭУ при применении двухобмоточных ГЭД производится с применением задержки времени между срабатываниями. Если по каким-то причинам возникла ситуация, не позволяющая использовать одну из обмоток ГЭД, возможно применение функции работы ГЭУ при одной рабочей обмотке статора. В данном случае система защиты ограничивает мощность электрической энергии, подаваемой на оставшуюся обмотку ГЭД, до 50 %. Однако имеется прецедент, когда из-за некорректно написанного алгоритма защиты ГЭУ такой сигнал не был сформирован, и одна применяемая обмотка статора была нагружена до 100 %, что привело к разрушению изоляционных покрытий и внутреннему замыканию. Во избежание повторения данного случая рекомендуется перед каждым замыканием силовой цепи ГЭУ проверять корректность определения системой статуса готовности высоковольтных автоматов к замыканию.

На некоторых типах судов ГЭУ оснащена системой предварительного заряда трансформатора (СПЗТ) для минимизации величины броска нагрузки при замыкании высоковольтных автоматов первичной обмотки трансформаторов. Контакт СПЗТ замыкается на короткий промежуток времени и размыкается перед пуском высоковольтного автомата первичной обмотки, при этом снимается ограничение на замыкание высоковольтного автомата. Имеются случаи, когда из-за механической неисправности или нарушения работы платы управления контактором СПЗТ не замыкался высоковольтный автомат первичной обмотки трансформатора.

Неисправности управления рулевой системой

Гондолу винто-рулевой колонкой (ВРК) типа Azipod вращают четыре гидравлических двигателя, на каждую пару которых приходится один гидравлический насос. Система управления постоянно отслеживает изменение позиции гондолы относительно оси, непрерывно сравнивая заданное положение

на посту управления с фактическим положением, за определения которого отвечают модули обратной связи положения гондолы (МОСПГ). Вращение гондолы передается через ременную передачу с шестерни, связанной с осью гондолы, на шестерню МОСПГ (рис. 13), соединенную с потенциометром.

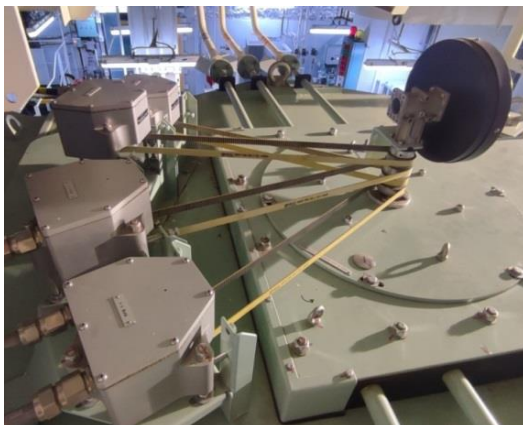


Рис. 13. Модуль обратной связи положения гондолы
Fig. 13. Nacelle position feedback module

При несоответствии заданного положения с фактическим система управления формирует два сигнала об ошибке гидравлической системы (server control fault и hydraulic lock) с задержкой времени, равной 2 с. При получении данных сигналов система управления останавливает гидравлический насос соответственной пары гидравлических двигателей, с работой которых связан один из двух МОСПГ, где обнаружилось несоответствие. Остановка происходит с целью недопущения превышения безопасного давления гидравлического масла, равного 125 % от максимального рабочего давления.

Обнаружение несоответствия фактического положения гондолы с заданным может быть выявлено в следующих случаях:

- при работе судна в тяжелой ледовой обстановке гондола может подвергнуться сильному влиянию со стороны движения льда, способному изменить ее положение относительно оси вращения, влекущее повышение давления масла в гидравлической системе с целью удержания заданной позиции. Если система не способна компенсировать внешнюю силу, формируется сигнал об ошибке;
- при нарушении работы гидравлической системы;
- во время остановки судна во льдах может потребоваться вращение работающих ВРК с целью вымывания льда. В данном случае ВРК может упереться в толстый слой льда, что может привести к превышению допустимого давления масла в гидравлической системе;
- при нарушении работы МОСПГ, что может быть вызвано: растяжением ремня, изменением работы потенциометра, нарушении линии связи.

Для проверки МОСПГ выполняется:

- 1) проверка натяжения ремня (рис. 14);

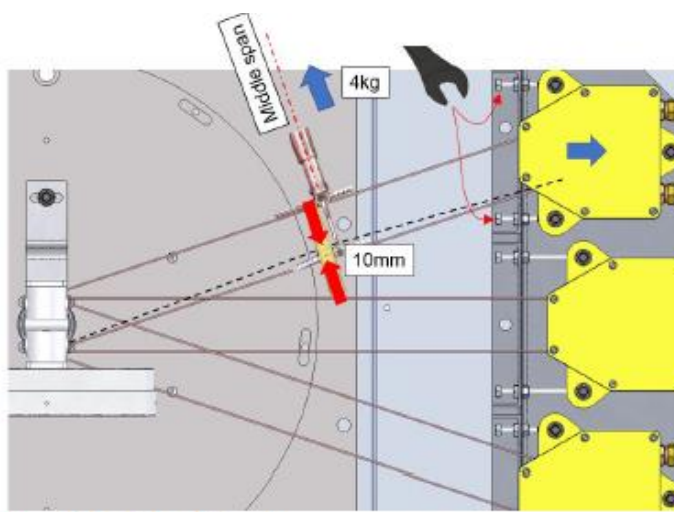


Рис. 14. Регулировка ременной передачи
Fig. 14. Adjusting the belt drive

2) измерение показаний с выходов потенциометров (рис. 15). Определение положения гондолы осуществляется сопоставлением выходных напряжений потенциометров, изменяемых по синусоидальному и косинусоидальному законам в диапазоне от -10 В до $+10\text{ В}$ постоянного тока. Синус измеряется с 2 и 5 терминалов (верхнего потенциометра), с 7 и 10 терминалов (нижнего потенциометра). Косинус измеряется с 3 и 5 терминалов (верхнего потенциометра), с 8 и 10 терминалов (нижнего потенциометра). Электропитание: со знаком "+" с 1 и 5 терминалов (верхнего потенциометра), с 6 и 10 терминалов (нижнего потенциометра), со знаком "-" с 4 и 5 терминалов (верхнего потенциометра), с 9 и 10 терминалов (нижнего потенциометра).

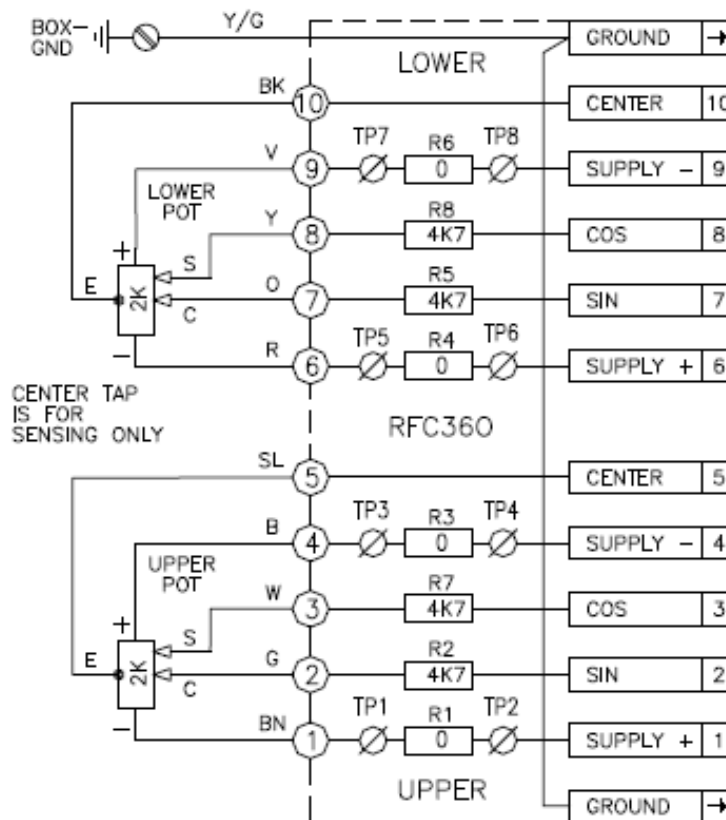


Рис. 15. Электрическая диаграмма модуля обратной связи положения гондолы

Fig. 15. Electrical diagram of the nacelle position feedback module

После выполнения измерений выходных параметров с МОСПГ в четырех положениях гондолы относительно оси требуется произвести их сравнение с эталонными значениями (см. таблицу). На основании полученных результатов выполняется регулирование потенциометров путем откручивания трех прижимных пластин и вращения их в сторону уменьшения расхождения.

Таблица. Эталонные значения выходных параметров МОСПГ

Table. Reference values of output parameters of the nacelle position feedback module

Выходные параметры МОСПГ [В]	Положение гондолы 0°	Положение гондолы 180°	Положение гондолы 90° (правый борт)	Положение гондолы 90° (левый борт)
sin сигнал (верхний потенциометр)	$\pm 0,10\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$	$-9 \dots -10,2\text{ В}$	$+9 \dots +10,2\text{ В}$
cos сигнал (верхний потенциометр)	$+9 \dots +10,2\text{ В}$	$-9 \dots -10,2\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$
sin сигнал (нижний потенциометр)	$\pm 0,10\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$	$-9 \dots -10,2\text{ В}$	$+9 \dots +10,2\text{ В}$
cos сигнал (нижний потенциометр)	$+9 \dots +10,2\text{ В}$	$-9 \dots -10,2\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$	$\pm 0,40\text{ В}$

Необходимо принимать во внимание, что из-за повреждения потенциометров может происходить кратковременная потеря сигнала. Для обнаружения такого вида неисправности применяется осциллограф:

при исправной системе напряжения изменяются непрерывно без искажений (рис. 16, а), тогда как при возникновении проблем с передачей сигнала может наблюдаться провал показаний (рис. 16, б).

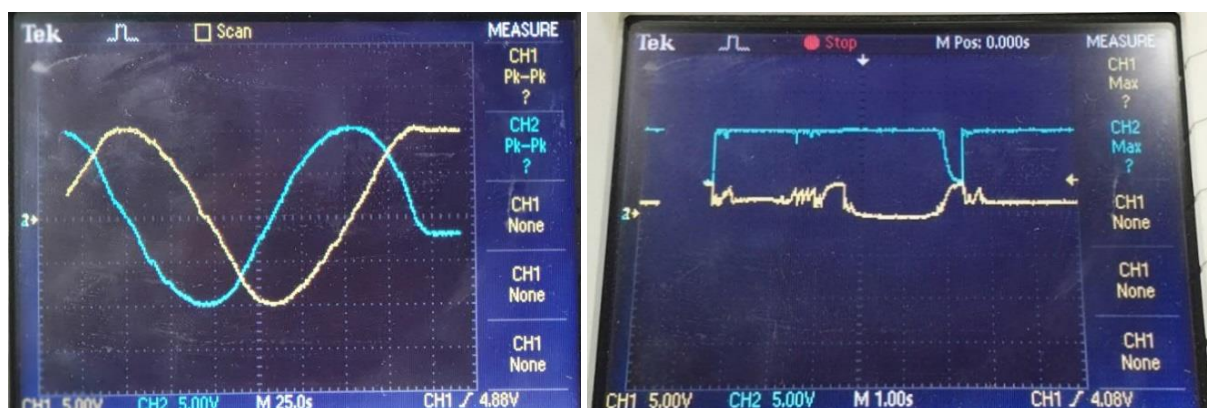


Рис. 16. Измерение выходных параметров исправного (а) и неисправного (б) МОСПГ
Fig. 16. Measurement of output parameters of the working (а) and the faulty (б) nacelle position feedback module

Система дистанционного диагностирования

Проведенное техническое обслуживание ГЭУ не защищает ее от внештатных ситуаций, возникновение которых может привести к критическим неисправностям.

С целью осуществления анализа работы ЕЭЭС с ГЭУ типа Azipod была разработана система дистанционного диагностирования для морской промышленности (СДД для МП) типа RDS4Marine. Данная система объединяет три главные функции:

- дистанционная коммуникация;
- анализ технических решений;
- сервисное обслуживание.

При дистанционной коммуникации применяется безопасный, SSL-зашифрованный коммуникационный туннель между потребителем и сервисной службой компании АВВ.

Для анализа технических решений в основе системы СДД применяется специализированный контроль и диагностическая платформа для сбора, хранения и анализа данных от отдельных компонентов, подсистем и полных интегрированных технических решений. СДД предоставляет легкий доступ береговым инженерным службам через линию спутниковой связи к судовым данным о состоянии ГЭУ. Вся собранная информация сохраняется на электронных носителях на борту судна и может быть дистанционно передана для осуществления анализа технического состояния систем.

Полная область диагностической системы типа RDS4Marine включает три различных диагностических подсистемы: D4Propulsion для ГЭУ, D4Switchboard для системы распределения электроэнергии и D4Drilling для потребителей.

Используя диагностическую платформу вместе с современной коммуникацией, сервисные инженерные службы могут в любое время помочь судовой машинной команде в анализе неисправностей и оперативном поиске решений аварийных ситуаций.

Заключение

В настоящее время из-за влияния санкций российские компании теряют гарантийное и сервисное обслуживание со стороны производителя. В связи с этим судовому персоналу приходится все чаще полагаться на сторонние компании, компетенции и возможности специалистов машинной команды, связанные с накопленным опытом, представленным анализом возникших неисправностей, а также способами поддержания рабочего состояния судовых технических систем.

Предлагаемые методы технического контроля, этапы его проведения, оценка полученных параметров для выработки экспертных решений об эксплуатационной надежности и перспективах дальнейшей работы оборудования и элементов в системах ГЭУ типа Azipod актуальны на многочисленных судах.

Принимая во внимание представленную в работе информацию, возможно сократить время, затрачиваемое персоналом на поиск решений, а также не допустить возникновения неисправностей в начальной стадии формирования.

Описанные в работе наиболее частые поломки, которые возникают в ГЭУ типа Azipod, и возможные их решения позволяют специалистам машинной команды выработать правильное экспертное решение для накопления отечественной базы с процедурами технического обслуживания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Баранов А. П., Радаев А. В. Электропожаробезопасность высоковольтных судовых электроэнергетических систем. СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2015. 248 с.
- Власов А. Б., Урванцев В. И. Тренажерная подготовка судовой машинной команды. М. : Инфра-Инженерия, 2024. 320 с.
- Горбунов А. С., Алибаев Ф. Н. Применение полупроводниковых преобразователей электрической энергии в электроэнергетике // Вестник современных исследований. 2018. № 8.3(23). С. 231–233. EDN: PGWHLN.
- Романовский В. В. Гребные электрические установки для арктических ледоколов // Морской вестник. 2015. № 4(56). С. 53–54. EDN: VCHURH.
- Романовский В. В., Малышев В. А., Сорокин Ю. В. Гребные электрические установки ледоколов и судов ледового плавания. СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2019. 396 с.
- Романовский В. В., Куракин В. Н., Иванов В. С. Электрооборудование морских комплексов. СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2013. 244 с.

References

- Baranov, A. P., Radaev A. V. 2015. Electrical fire safety of high-voltage ship electric power systems. St. Petersburg. (In Russ.)
- Vlasov, A. B., Urvantsev, V. I. 2024. Simulator training of ship's engine room crew. Moscow. (In Russ.)
- Gorbunov, A. S., Alibaev, F. N. 2018. Application of semiconductor electrical energy converters in the electric power industry. *Vestnik Sovremennykh Issledovaniy*, 8.3(23), pp. 231–233. EDN: PGWHLN. (In Russ.)
- Romanovsky, V. V. 2015. Electric propulsion installations for Arctic icebreakers. *Morskoy Vestnik*, 4(56), pp. 53–54. EDN: VCHURH. (In Russ.)
- Romanovsky, V. V., Malyshev, V. A., Sorokin, Yu. V. 2019. Electrical propulsion installations of icebreakers and ice-going vessels. St. Petersburg. (In Russ.)
- Romanovsky, V. V., Kurakin, V. N., Ivanov, V. S. 2013. Electrical equipment of marine complexes. St. Petersburg. (In Russ.)

Информация об авторах

Бежик Артем Сергеевич – ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, Россия, 198035;

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, инженер;
e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Artem S. Bezhik – 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, Russia, 198035;

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Engineer; e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Лебедев Александр Константинович – ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, Россия, 198035;

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,
ст. преподаватель; e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Alexander K. Lebedev – 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, Russia, 198035;

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Senior Lecturer;
e-mail: kaf_edas@gumrf.ru

Романовский Виктор Викторович – ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, Россия, 198035;

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,
д-р техн. наук, профессор;
e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-2446>

Viktor V. Romanovskiy – 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, Russia, 198035;

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: romanovskiyvv@gumrf.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-2446>

Власов Анатолий Борисович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;

Мурманский арктический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: vlasovab@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7654>

Anatoly B. Vlasov – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;

Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: vlasovab@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7654>