

УДК 629.5.03:621.436
EDN: VNSLZQ

К.А. Новоселов 

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ НА ПРИМЕРЕ СУДНА COLD STREAM

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является система управления судовыми вспомогательными дизель-генераторами. Цель статьи – предложить возможный вариант модернизации системы управления судовыми вспомогательными дизель-генераторами с использованием современного микропроцессорного контроллера.

Материалы и методы. Сбор и анализ данных эксплуатации системы управления судовыми вспомогательными дизель-генераторами, а также изучение документов, в которых описываются способы применения микроконтроллеров.

Основные результаты. Проведен анализ системы управления судовыми вспомогательными дизель-генераторами. Предложен вариант модернизации с использованием микроконтроллера модели (PPU-3) AGC-4 Mk II на примере конкретного судна. Приведено экономическое обоснование возможной модернизации системы управления на судне.

Заключение. Описана возможность модернизации системы управления судовыми вспомогательными дизель-генераторами с применением микроконтроллера модели (PPU-3) AGC-4 Mk II.

Ключевые слова: вспомогательный дизель-генератор, судно, море, микроконтроллер, модернизация, система управления, автоматическое регулирование.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 629.5.03:621.436
EDN: VNSLZQ

К.А. Novoselov 

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

MODERNIZATION OF THE AUXILIARY DIESEL GENERATOR CONTROL SYSTEM USING THE EXAMPLE OF THE COLD STREAM VESSEL

Object and purpose of research. The object of the study is the control system for marine auxiliary diesel generators. The purpose of the scientific article is to propose a possible option for upgrading the control system for auxiliary diesel generators using a modern microprocessor controller.

Materials and methods. Collection and analysis of data on the operation of the marine auxiliary diesel generator control system, as well as the study of documents describing the use of microcontrollers.

Main results. The control system of auxiliary diesel generators is analyzed. An upgrade option using the AGC-4 Mk II model (PPU-3) microcontroller is proposed using the example of a specific vessel. The economic justification of the possible modernization of the ship's control system is given.

Conclusion. This article describes the possibility of upgrading the control system for marine auxiliary diesel generators using a microcontroller model (PPU-3) AGC-4 Mk II.

Keywords: auxiliary diesel generator, vessel, sea, microcontroller, upgrade, control system, automatic regulation.

The author declares no conflicts of interest.

Для цитирования: Новоселов К.А. Модернизация системы управления вспомогательными дизель-генераторами на примере судна Cold Stream. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025; 4(414): 143–150.

For citations: Novoselov K.A. Modernization of the auxiliary diesel generator control system using the example of the Cold Stream vessel. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2025; 4(414): 143–150 (in Russian).

Эффективность эксплуатации вспомогательного дизель-генератора (ВДГ) на судне определяется надежностью и качеством установленных систем контроля и электрической аппаратуры, которые способствуют оптимизации работы генератора путем обеспечения эффективного распределения нагрузки, автоматического регулирования оборотов двигателя и обеспечения защиты от возможных аварийных ситуаций.

В работах [1–5] рассматривались вопросы, связанные с модернизацией устройств, систем управления судов, а также с разработкой алгоритмов и программ управления. Возможности применения современных микропроцессорных контроллеров рассматривали А.Н. Рак [6], Э.Ф. Султанов [7], Д.Ю. Комиссаров [8] и др., а А.Ф. Мустаев [9], В.Д. Володин [10] и др. изучали возможности современных рыночных моделей программируемых логических контроллеров и возможности их применения.

На рефрижераторном судне Cold Stream система управления вспомогательными дизель-генераторами была разработана более 30 лет назад. Учитывая, что система управления ВДГ должна обеспечивать контроль параметров работы дизеля, обнаруживать и отображать возникающие аварийные ситуации, повышать производительность генератора, снижать расход топлива и увеличивать срок его службы, а также должна быть надежной, резервируя источники энергии, для сохранения непрерывности работы системы необходимость ее модернизации с применением современных технологий является актуальной задачей.

Научная новизна заключается в предложении конкретного подхода к модернизации устаревшей системы управления судовыми дизель-генераторами с внедрением современной технологии – микропроцессорного контроллера (PPU-3) AGC-4 Mk II. Ранее подобные исследования были направлены преимущественно на общие подходы к улучшению систем, однако в данной статье рассматривается детализированное решение для конкретной модели судна (Cold Stream). Среди особенностей нововведений можно отметить:

- использование конкретных технических решений: внедрение проверенного и сертифицированного контроллера, способного обеспечить надежную защиту и оптимальное функционирование генератора;
- экономическое обоснование: представлен подробный расчет стоимости внедрения новой системы и оценка сроков ее окупаемости;

- повышение надежности и долговечности: использование продвинутых алгоритмов управления, что снижает риск возникновения аварийных ситуаций и увеличивает ресурс эксплуатации оборудования;
- оптимизация энергоснабжения: повышение эффективности расходования топлива и улучшение качества подачи электроэнергии.

Рефрижераторное судно Cold Stream принадлежит голландской судоходной компании Seatrade Groningen BV и построено в 1994 г. Имеет возможность перевозки груза не только в трюмах, но и в контейнерах на палубе. Отличительной особенностью также является наличие грузовых кранов (4 шт.) и возможность погрузки/выгрузки контейнеров в режиме twin mode. Автономность данного судна составляет 60 сут., район плавания неограниченный.

При выборе микроконтроллера для судового ВДГ, который обеспечит его надежную и эффективную работу, нужно учитывать несколько ключевых факторов:

1. Функциональность (автоматический запуск ВДГ при отключении электроэнергии; управление распределением нагрузки между несколькими генераторами или альтернативными источниками энергии).
2. Интерфейс (удобный интерфейс пользователя, дисплей для отображения параметров работы генератора (напряжение, ток, частота, температура и т.д.), возможность удаленного управления и мониторинга).
3. Функции защиты (защита от перегрузок, короткого замыкания, низкого уровня масла и перегрева, встроенные функции аварийной сигнализации).
4. Надежность (известный производитель с хорошей репутацией на рынке, гарантия, техническая поддержка).
5. Цена (стоимость контроллеров различных производителей и моделей, учитывая все вышеупомянутые функции).

В табл. 1 указаны контроллеры различных производителей, одобренные регистром и применяющиеся на судах.

Учитывая новизну, надежность, а также возможности контроллеров для возможной модернизации системы управления ВДГ, была выбрана модель AGC-4 Mk II (PPU-3). AGC-4 Mk II и PPU-3 представляют собой модификации контроллера электростанции серии Multi-line2 (компания DEIF, Дания), а их название зависит от их назначения:

Таблица 1. Контроллеры различных производителей

Table 1. Controllers of different manufacturers

№ п/п	Наименование модели	Фирма	Страна-производитель
1	DSE 8610	Deep Sea	Великобритания
2	RGK900MC	Lovato	Италия
3	HGM9420N	SmartGen	Китай
4	InteliGenNT	ComAp	Чехия
5	AGC-4 Mk II (PPU-3)	DEIF	Дания

AGC-4 Mk II является контроллером, применяемым для автоматизации промышленных электростанций, состоящих из генераторных агрегатов, сетевых вводов и секционных выключателей, а PPU-3 используется для решения задач автоматизации морских (судовых) электростанций.

Микропроцессорный контроллер модели PPU-3, который используется в энергоустановках, работающих в морских условиях, обладает всеми необходимыми функциями для защиты и управления синхронным или асинхронным генератором.

Автоматический микропроцессорный контроллер PPU-3 может использоваться как единый контроллер генераторной установки. Кроме того, несколько микроконтроллеров могут быть подключены в единую систему управления питанием для синхронизации проектов, изолированно или параллельно сети. Данная модель контроллера может поддерживать управление питанием до 992 генераторных установок.

Внедрение контроллера PPU-3 позволит запустить с основным управлением питанием до 32 генераторных установок, а при необходимости управления более 32 генераторными установками есть возможность расширенного управления питанием, которая позволяет сгруппировать генераторы и получить доступ к 32 сетям или 32 группам и 992 генераторным установкам.

Контроллер PPU-3 поддерживает множество часто используемых протоколов двигателя и соответствует требованиям к выбросам дизельных двигателей Tier 4 Final (США) и Stage V (Европа).

Контроллер поддерживает сетевые коды по всему миру и соответствует практически всем используемым спецификациям IEC GridCode, включая (но не ограничиваясь) IEEE 1547, VDE 4110/4105, EN50549-1/2 и ENA G99. Включены как функции защиты, так и функции поддержки сети, что обеспечивает решение «один контроллер подходит для всех».

Для работы с контроллерами AGC-4 Mk II (PPU-3) при подключении через порт Ethernet используется устройство TDU 107, которое представляет собой предварительно запрограммированную панель с сенсорным экраном, обеспечивающую удобное управление и контроль параметров судовой электростанции благодаря интерфейсу, который обеспечивает оператору быстрый и интуитивно понятный доступ к настройкам контроллера, информационным сообщениям, просмотр текущих параметров электростанции и сообщений о неисправностях.

Серия DEIF TDU обеспечивает простое управление контроллерами plug & play и обеспечивает всесторонний мониторинг и управление целыми установками управления энергопотреблением. Интуитивно понятные значки и команды легко читаются и позволяют осуществлять наблюдение и контроль в режиме реального времени. Все модели TDU также соответствуют требованиям Tier 4 Final и Stage V.

Автоматический контроллер генераторной установки PPU-3 поддерживает протоколы последовательной связи, включая Modbus (RS-485, USB и TCP/IP) и Profibus, что позволяет удаленно контролировать генераторную установку или электростанцию.

Благодаря встроенной функции закрытия перед возбуждением (синхронизация запуска) PPU-3 обеспечивает резервное питание за шесть секунд. В сочетании с возможностью установки контроллеров горячего резерва / двойного резервирования на всех позициях рассматриваемая модель микроконтроллера полностью подходит для всех типов критически важных систем электроснабжения.

Благодаря функции N+X PPU-3 обеспечивает более высокий уровень безопасности для критически важных энергетических приложений. Оператор имеет возможность самостоятельно решать вопрос о необходимом количестве дополнительных гене-

раторных установок, которые должны работать при нагрузке в определенный момент времени (даже если нагрузки динамические).

Контроллер разработан с учетом простоты управления. Он имеет до четырех настроек параметров, которые можно переключать простым касанием сенсорного экрана, что позволяет легко устанавливать и фиксировать параметры для обеспечения полной защиты оборудования. PPU-3 обладает функцией Easy Connect, которая позволяет автоматически определять и настраивать все генераторные установки.

Применение PPU-3 упрощает обслуживание трансформатора и делает его более гибким благодаря блоку дистанционного обслуживания и нескольким генераторным установкам без ущерба для электроснабжения. При выполнении технического обслуживания PPU-3 позволяет запускать 32 генераторных установки различного типа и размеров параллельно через систему управления питанием, что позволяет использовать генераторные установки меньшего размера.

Модель PPU-3 (AGC-4 Mk II) на данный момент является последней и современной разработкой компании DEIF с рядом преимуществ: оптимизация расхода топлива, поддержка сенсорного экрана (TDU107), многоцелевые PIDs, закрытие перед синхронизацией возбуждения / разгона с 6 секунд, резервная шина CAN bus для управления питанием, резервный контроллер.

В стандартном блоке PPU-3, предназначенном для защиты и управления синхронным или асинхронным генератором, через дискретные входы можно выбрать один из четырех режимов регулирования: фиксированная частота, фиксированная

мощность (базовая нагрузка), статизм по частоте, распределение нагрузки. Если с помощью PPU-3 управляют автоматическим регулятором напряжения, к стандартным режимам работы добавляются: фиксированное напряжение, фиксированная реактивная мощность, фиксированный коэффициент мощности, распределение реактивной нагрузки, статизм по напряжению.

Блок PPU-3 управляет последовательностью процесса запуска и останова двигателя. Кроме того, его можно использовать как блок защиты двигателя, обеспечивающий полное дублирование каналов останова двигателя, т.е. для создания резервной системы управления, которая в случае выхода из строя, отказа или сбоя главного процессора сможет взять на себя функции основной системы. При запуске блока PPU-3 выполняется автоматическая самодиагностика и при обнаружении ошибок оператор оповещается изменением статуса на дисплее, а также ошибки указываются с помощью релейного выхода контроллера (статусного выхода). На рис. 1 в качестве примера показан дисплей панели управления системой доочистки выхлопных газов.

Управление энергопотреблением

Power management

Человеко-машинный интерфейс (от англ. Human Machine Interface – HMI) в управлении питанием микроконтроллера может быть реализован через дисплей, дополнительную панель оператора (AOP), служебное программное обеспечение DEIF или через внешние устройства. В системе PPU-3 Power Management можно подключить до трех дисплеев к одному блоку. Связь между дисплеями осуществляется по шине CAN.

Панель управления получает электропитание через 9-контактный штекер Sub-D. Штекер подходит непосредственно к основному блоку, поэтому дисплей также можно установить сверху основного блока. Дополнительный пульт оператора (AOP) может быть подключен к линии CAN-шины дисплея, относящейся к блоку управления питанием, и может быть размещен в любом месте распределительного щита. Блок графического дисплея (GDU) может быть подключен непосредственно к порту дисплея основного блока или к линии шины MOD (опция).

Программное обеспечение для управления питанием размещено в отдельном контроллере.

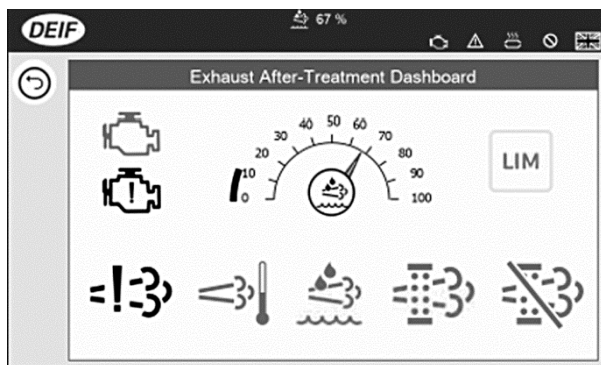


Рис. 1. Панель управления системой доочистки выхлопных газов

Fig. 1. Exhaust After-Treatment Dashboard

В стандартной комплектации этот контроллер находится в блоке дизель-генератора (ДГ). Микроконтроллер, предназначенный для управления питанием, управляет функцией пуска/останова в зависимости от нагрузки, отключением электроэнергии, последовательностью запуска, контролем потребителей, а также получает информацию о состоянии на берегу.

Все блоки связаны друг с другом через шину CAN и передают важные данные на процессор управления питанием. Эта информация будет указана на отдельной панели оператора, АОР-2. На этой панели можно изменить режимы установки, и это дает оператору обзор состояния функций управления питанием.

Красный светодиод PMS Blocked будет активирован, если система управления питанием заблокирована. Когда все вспомогательные дизель-генераторы находятся под управлением распределительного щита, светодиоды выключены. Для выбора режима установки оператору необходимо нажать кнопку нужного режима установки. Выбранный режим установки будет обозначен светодиодом режима установки.

Режимы установки (полуавтоматический, автоматический, отдельный, вал/берег), относятся ко всей системе, т.е. невозможно запустить разные режимы установки на разных агрегатах.

Режим установки «Полуавтоматический» можно выбрать только из режима установки «Автоматический», а его выбор не повлияет на работающие генераторные установки. В этом режиме установки автоматические последовательности выполняются только по запросу оператора, с помощью кнопок на дисплее генератора, например, последовательность автоматического запуска, последовательность включения, синхронизация и распределение нагрузки, автоматическая последовательность останова.

Выбор приоритета дизель-генератора

Choice of priority for diesel-generator

Выбор приоритета запуска ДГ может быть сделан вручную или автоматически. В зависимости от запрограммированной последовательности приоритетов и рабочего состояния генераторных установок, функция приоритета запуска постоянно назначает каждой генераторной установке приоритет запуска PMS (Power Management System) и приоритет останова PMS соответственно.

У оператора есть три возможности запрограммировать приоритет первого пуска:

1. вручную с панели управления модуля;
2. вручную с помощью кнопки первого приоритета на каждом блоке ДГ;
3. автоматически учитывать накопленные часы работы для каждой генераторной установки для одинакового времени работы каждого ДГ.

Функция Blackout

Blackout function

Микроконтроллер PPU-3 может выполнять два различных типа функций подключения дизель-генератора при отключении электроэнергии в системе в зависимости от ситуации отказа и состояния устройства (функция запуска по обесточиванию Blackout активна на всех установленных режимах):

1. Если система управления мощностью работает и нет ошибок коммуникации с остальными блоками по шине CAN, то функция Blackout осуществляется системой управления мощностью.
2. Если у системы управления мощностью нет коммуникации с другим блоком (при наличии сообщения об ошибке связи), то сигнал от неисправного блока «шины обесточены» не нужен для выполнения последовательности запуска по обесточиванию.

Последовательность отключения питания запускается после того, как блок управления питанием получает индивидуальный сигнал «обесточенная шина» по внутренней связи CAN от всех блоков в системе.

Оператор может регулировать следующие параметры: количество вспомогательных дизель-генераторных установок для запуска в случае отключения электроэнергии; автоматическое изменение режима установки на «Полуавтоматический» или «Автоматический»; попытки запуска и подключения в случае короткого замыкания и отключения электроэнергии.

Активация последовательности запуска при отключении электроэнергии возможна только в том случае, если хотя бы один из дизель-генераторов находится в режиме управления мощностью и готов к пуску.

Последовательность запуска при отключении электроэнергии активирует последовательность автоматического запуска, запуская генераторы сначала с самым высоким приоритетом. Когда одна генераторная установка успешно подключена к шине, функция Blackout отключается и система снова переключается в нормальный режим работы.

Экономическая эффективность проекта

Project economics

Рассмотрим расчет экономической эффективности, которая является важной частью при модернизации и введении нового технического решения (табл. 2–4).

Рассчитаем стоимость суммарных затрат проекта. Она находится как сумма всех капиталовложений на работу и материал:

$$S = C_{кр} + C_{ом} + C_{м} = 137\,000 + 560\,000 + 76\,000 = 773\,000 \text{ руб.}$$

Будем считать, что вызов технического специалиста, который уберет ошибки и наладит судовую автоматику, а также затраты на запчасти, произ-

ходит в среднем один раз в год и стоит около $M = 220\,000$ руб.

Посчитаем окупаемость данной модернизации

$$E = \frac{S}{M} = \frac{773\,000}{220\,000} = 3,51.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что данная модернизация окупится приблизительно через 3,5 года.

Заключение

Conclusion

Внедрение разработанной системы управления вспомогательным дизель-генератором на основе контроллера РРУ-3 с алгоритмами, контролирующую

Таблица 2. Стоимость конструкторской разработки

Table 2. Cost of design work

Стадия разработки	Трудоемкость, нормо-час	Конструкторская категория	Часовая ставка, руб./ч	Стоимость работы, руб.
Техническое задание	3	1	1000	3000
Техническое предложение	8	2	500	4000
Эскизный проект	10	2	4000	40 000
Рабочий проект	20	1	4500	90 000
Итого:				137 000

Стоимость конструкторской разработки $C_{кр} = 137\,000$ руб.

Таблица 3. Стоимость основных материалов

Table 3. Cost of main materials

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Общая стоимость, руб.
РРУ-3	1	460 000	460 000
Расходный материал	1	100 000	100 000
Всего:	–	–	560 000

Стоимость основных материалов $C_{ом} = 560\,000$ руб.

Таблица 4. Стоимость монтажа и испытаний устройства

Table 4. Cost of installation and tests

Наименование работы	Трудоемкость, ч	Средний разряд	Часовая тарифная ставка руб./ч	Основная заработная плата
Слесарные работы	10	2	500	5000
Электроналадочные работы	56	1	1000	56 000
Пусконаладочные работы	10	1	1500	15 000
Итого:				76 000

Стоимость монтажа и испытаний устройства $C_{м} = 76\,000$ руб.

щими параметры и управление вспомогательными дизель-генераторами, приведет к ряду значимых преимуществ. Прежде всего, оно позволит увеличить срок службы оборудования и повысить его эффективность в эксплуатации.

Автоматический контроль и регулирование параметров дизель-генератора позволят снизить вероятность возникновения поломок, а также оптимизировать работу системы в зависимости от текущих потребностей, что позволит достичь более эффективного использования топлива и ресурсов, увеличить надежность работы всей системы управления, а также защитить вспомогательный дизель-генератор от неправильности настройки, т.к. автоматика исключает ошибки.

Список использованной литературы

1. *Вольский А.Б., Новоселов К.А.* Разработка алгоритмов и программ управления системы управления аварийным дизель-генератором на примере сухогруза *Rix Lake* // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 105–120. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-105-120.
2. *Вольский А.Б., Новоселов К.А.* Исследование возможности модернизации судовой электростанции судов иностранного производства в условиях импортозамещения // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 97–109. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-97-109.
3. *Вольский А.Б., Новоселов К.А.* Модернизация электропривода брашпиля // Труды Крыловского государственного научного центра. 2023. № 3(405). С. 135–142. DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-135-142.
4. *Вольский А.Б., Новоселов К.А.* Проблема передачи электроэнергии с берега для судов иностранного производства // Труды Крыловского государственного научного центра. 2024. № 2(408). С. 71–80.
5. *Вольский А.Б., Новоселов К.А., Синкевич В.В.* Исследование возможности применения статического преобразователя частоты и напряжения при питании судов иностранного производства с берега // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2024. № 8(239). С. 14–23.
6. *Рак А.Н.* Применение программируемого логического контроллера «Овен» 63/67 в системе автоматического ввода в действие резервного генератора // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2019. № 53. С. 4–13.
7. *Султанов Э.Ф., Мамедов Э.М.* Исследование микропроцессорного пуска асинхронных двигателей большой мощности // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Второй международной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский : Камчатский государственный технический университет, 2020. С. 106–109.
8. *Комиссаров Д.Ю., Вынгра А.В.* Модернизация мониторинга судовых пожарных систем с использованием пакета MATLAB и микроконтроллера STM32F4 // Образование, наука и молодежь – 2018 : сборник трудов по материалам научно-практических конференций ФГБОУ ВО «КГМТУ». Керчь : Керченский государственный морской технологический университет, 2018. С. 138–144.
9. *Мустаев А.Ф.* Сравнительный анализ рыночных моделей ПЛК // Вестник науки. 2020. Т. 2, № 1. С. 239–243.
10. Обзор и анализ современных программируемых логических контроллеров / *В.Д. Володин, А.А. Шаповов, К.С. Мозжегоров, И.С. Полевщиков* // Science Time. 2016. № 1(25). С. 80–84.

References

1. *Volskiy A.B., Novoselov K.A.* Development of algorithms and control software for emergency diesel-generator using an example of the dry-cargo vessel *Rix Lake* // Izvestiya KGTU. 2023. No. 69. P. 105–120. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-69-105-120 (in Russian).
2. *Volskiy A.B., Novoselov K.A.* Feasibility of modernizing electric power stations of foreign-built ships under import phase-out policy. Izvestiya KGTU. 2023. No. 68. P. 97–109. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-97-109 (in Russian).
3. *Volskiy A.B., Novoselov K.A.* Modernization of the windlass electric drive // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023. Vol. 3(405). P. 135–142. DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-135-142 (in Russian).
4. *Volskiy A.B., Novoselov K.A.* Problem of shore power supply issues for foreign-built ships // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024. Vol. 2(408). P. 71–80 (in Russian).
5. *Volskiy A.B., Novoselov K.A., Sinkevich V.V.* Feasibility of using a static frequency converter for shore power supply of foreign-built ships // Electric equipment: operation and maintenance. 2024. No. 8(239). P. 14–23 (in Russian).
6. *Rak A.N.* Application of *Oven 63/67* PLC for automatic operation of a standby generator // Collection of research papers, Donetsk Railway Transport Institute. 2019. No. 53. P. 4–13 (in Russian).
7. *Sultanov E.F., Mamedov E.M.* Investigation of microprocessor-based starting of high-power induction motors // Operation and maintenance of water-borne transport: issues and ways of development: Proceedings of the Second International Science & Technology Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky. Kamchatka State Technical University, 2020. P. 106–109 (in Russian).
8. *Komissarov D.Yu., Vyngra A.V.* Modernization of ship fire monitoring systems using MATLAB software and

- microcontroller STM32F4. Education, science and youth – 2018. Proceedings of Science & Practice Conferences at Kerch State Marine Technical University, 2018. P. 138–144 (*in Russian*).
9. *Mustaev A.F.* Comparative analysis of PLC market // Herald of Science. 2020. Vol. 2, No. 1. P. 239–243 (*in Russian*).
10. Review and analysis of modern PLC // *V.D. Volodin, A.A. Sharonov, K.S. Mozhgorov, I.S. Polevshchikov* // Science Time. 2016. No. 1(25). P. 80–84 (*in Russian*).

Сведения об авторе

Новоселов Кирилл Андреевич, старший преподаватель кафедры электрооборудования и автоматике судов Мор-

ского института Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». Адрес: 236029, Россия, Калининград, Молодежная ул., д. 6. E-mail: kirill-n1996@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>.

About the author

Kirill A. Novoselov, Senior Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation of the Marine Institute of the Baltic Fishing Fleet State Academy of the Kaliningrad State Technical University. Address: 6, Molodezhnaya st., Kaliningrad, Russia, post code 236029. E-mail: kirill-n1996@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>.

Поступила / Received: 09.07.25
Принята в печать / Accepted: 19.11.25
© Новоселов К.А., 2025