

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УДК 621.313

DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-1-51-63

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТАНКЕРА AION

Савенко А.Е., Габриэль И.В.

Керченский государственный морской технологический университет,
г. Керчь, Республика Крым, Россия
Savenko-70@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть вопрос автоматизации современных морских судов с высокой степенью их электрификации. Целью исследования является анализ электротехнического комплекса танкера AION для выяснения возможного возникновения нештатных явлений при параллельной работе генераторных установок и методов их устранения. *МЕТОДЫ.* В статье произведен анализ электротехнического комплекса и устройств автоматического управления танкера AION. Особое внимание уделено исследованию систем, обеспечивающих производство и распределение электрической энергии между потребителями. Отмечено широкое применение современных систем автоматического управления на базе компьютерной техники в судовой электростанции. Показаны обширные возможности управления судовой электроэнергетической установкой в различных ежедневных или аварийных ситуациях. Программное и аппаратное обеспечение судовой системы PMS позволяет сократить потребление топлива, масла и других важных ресурсов при помощи автоматического регулирования нагрузки на дизель-генераторы, задачи временных периодов подачи топлива в цилиндры, управлением выпускными и пусковыми клапанами. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Получены экспериментальные осциллограммы исследований параллельной работы дизель генераторных установок, на которых зафиксированы обменные колебания мощности. Амплитуда обменных колебаний достигает 40% от установившегося значения, а их период составляет 600 – 800 мс в зависимости от режима работы судового электротехнического комплекса. Во время снятия этих осциллограмм включена судовая нагрузка и не производится пусков и остановов каких-либо мощных потребителей, то есть имеет место квазиустановившийся процесс. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Предложено внедрение в систему управления судовой электростанцией функции устранения обменных колебаний мощности. Для реализации необходимо добавить блок, получающий информацию со всех параллельно работающих дизель-генераторных установок, и адаптивно корректирующий настройки регуляторов частоты.

Ключевые слова: электротехнический комплекс; автоматизация; дизель-генератор; автоматическое управление; главный распределительный щит; аварийный распределительный щит; система контроля; обменные колебания мощности.

Для цитирования: Савенко А.Е., Габриэль И.В. исследование режимов работы электротехнического комплекса танкера AION // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 1. С. 51-63. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-51-63.

STUDY OF OPERATING MODES OF THE AION TANKER ELECTRICAL POWER SYSTEM

Savenko AE., Gabriel IV.

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Republic of Crimea, Russia
Savenko-70@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* Consider the issue of automation of modern sea vessels with a high degree of electrification. The purpose of the study is to analyze the electrical power system of the AION tanker to determine the possible occurrence of abnormal phenomena during parallel operation of generator sets and methods for eliminating them. *METHODS.* The article analyzes the electrical power system and automatic control devices of the AION tanker. Particular attention is paid to the study of systems that ensure the production and distribution of electrical energy between consumers. The widespread use of modern computer-based automatic control systems in ship power plants has been noted. The extensive possibilities for controlling a ship's electrical power plant in various daily or emergency situations are shown. The software and hardware of the ship's Power Management System allows you to reduce the consumption of fuel, oil and other important resources by automatically regulating the load on diesel generators, timing the supply of fuel to the cylinders, and controlling exhaust and starting valves. *RESULTS.* Experimental oscillograms of studies of the parallel operation of diesel generator sets were obtained, in which power exchange oscillations were recorded. The amplitude of power exchange oscillations reaches 40% of the steady-state value, and their period is 600 - 800 ms, depending on the operating mode of the ship's electrical power system. During the collection of these oscillograms, the ship's load is turned on and no starts or stops of any powerful consumers are made, that is, a quasi-steady process takes place. *CONCLUSION.* It is proposed to introduce a function for eliminating power exchange oscillations into the ship power plant control system. To implement it, it is necessary to add a block that receives information from all parallel operating diesel generator sets and adaptively adjusts the settings of the frequency regulators.

Keywords: *electrical power system; automatization; diesel-generator; automatic control, main switchboard, emergency switchboard, control system, power exchange oscillations.*

For citation: Savenko AE., Gabriel IV. Study of operating modes of the aion tanker electrical power system. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2024; 26 (1): 51-63. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-1-51-63.

Введение (Introduction)

На сегодняшний день качество электрификации судов резко возросло, проведена широкая автоматизация систем управления судовыми механизмами и устройствами [1,2]. Будущее улучшение морского транспорта базируется на комплексной автоматизации, которая, прежде всего, происходит на основе развития электрификации судов [3,4]. Автоматизация судов — это процесс, в ходе которого задачи управления судном и его оборудованием, которые когда-то выполнялись человеком, направляют на приборы и технические устройства [5,6]. Автоматизация морских судов обеспечивает безопасность рейсов. Комплексная автоматизация судов сокращает численность экипажа на судне, облегчает работу персоналу судна, повышает производительность и качество труда, улучшает эксплуатационные показатели транспорта, сокращает шансы возникновения опасных аварийных ситуаций [7,8].

В современных условиях автоматизация судового электротехнического комплекса предполагает развитие систем управления, позволяющих повысить надежность и безотказность работы оборудования и судна в целом как во время движения в море, так и при стоянке в портах. При этом обязательно необходимо обеспечить возможность подготовки обслуживающего персонала для корректной эксплуатации и технического обслуживания вводимых разработанных систем автоматизации [9,10,11].

Морские суда обладают высокой степенью концентрации потребителей электрической энергии, мощность которых достигает десятков МВт. Электротехнические комплексы морских судов, даже без гребной электрической установки, имеют мощность сопоставимую с мощностью главной судовой энергетической установки [12,13]. Наиболее важным и сложным вопросом в организации качественной работы судового электротехнического комплекса является выбор типа, мощности и количества источников электрической энергии, а также систем автоматики, обеспечивающих их безотказную, надежную работу. Конструкторские инженерные решения определяют безопасность, целесообразность и экономическую эффективность при эксплуатации судового электротехнического комплекса, а значит всего судна, с находящимися на нем людьми и грузом [14,15]. Одним из наиболее важных направлений морского транспорта является танкерный флот. Морские суда такого типа наиболее часто осуществляют транспортировку опасных грузов. Специфика технологических операций танкерного флота заключается в необходимости надежной, бесперебойной и качественной работы судового электротехнического комплекса.

Целью исследования является анализ электротехнического комплекса танкера AION для выяснения возможного возникновения нештатных явлений при параллельной работе генераторных установок и методов их устранения.

Материалы и методы (Materials and methods)

Судно танкер AION предназначено для транспортировки сырой нефти, зарегистрировано под флагом Панама и было построено в 2009 году. Судовладельцем на текущее время является LARISA LINES INC. Класс автоматизации судна A1. Танкер оснащен главным двигателем, фирмы HYUNDAI - B&W 7S60MC-C МК-7 мощностью 15820 кВт и турбонагнетателем MITSUBISHI-HYUNDAI MET83MA. Двигатель соединен с валом, на котором расположен винт фиксированного шага. Также на судне установлены три дизель-генератора фирмы HMMSEN-HHI типа 5H21/32 и один аварийный дизель-генератор фирмы CUMMINS типа STX NT855-DMGE. Основная информация о судне танкере AION представлена в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Основная информация о судне
Basic information about the vessel

Флаг	Панама
Порт приписки	Панама
Номер IMO	9417464
Тип судна	Танкер
Наибольшая длина	244 м
Ширина	42 м
Высота борта	21 м
Полная грузоподъемность	54300 т
Чистая грузоподъемность	33014 т
Дедвейт	58918 т
Осадка	15 м
Номинальная скорость	21 уз.

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Электротехнический комплекс судна — это все электротехнические устройства, которые выполняют функции производства, преобразования и распределения электроэнергии, предназначенные для питания судовых потребителей электроэнергии. Отличительной особенностью электротехнического комплекса судна является система ACONIS-2000 для полной автоматизации распределения электроэнергии, которая обеспечивает контроль оборудования судовой электростанции с пульта управления в машинном отделении или с мостика. Система также имеет отдельную подсистему аварийной сигнализации с консолями в каждом ключевом помещении судна.

Вид консоли аварийной сигнализации показан на рисунке 1.



Рис. 1. Вид консоли аварийной сигнализации Fig. 1. View of the alarm signaling console

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

В центральном посту управления судовой энергетической установкой расположен пост управления двигателем на компьютерной основе и дублирующий его пост, если первый выйдет из строя. Вид постов управления на компьютерной основе представлен на рисунке 2. Пост управления связан с другими системами автоматики, такими как система АПС и система дистанционного управления двигателем с мостика, с помощью интерфейсных блоков.

Интерфейсные блоки обладают следующими основными возможностями:

- обеспечивают связь с системой защиты двигателя и контроля его параметров;
- выполняют регулирование частоты вращения дизеля;
- контролируют запуск дизелей в работу и вывод из нее;
- управляют периодичностью подачи топлива в цилиндры дизельных двигателей;
- координируют закрытие и открытие выпускных и впускных клапанов дизелей;
- ведут управление функционированием судовых систем и вспомогательного оборудования;

Электроэнергетическая система может эксплуатироваться в нескольких режимах:

- осуществление местного и ручного управления;
- запуск резервного дизель-генератора;
- полуавтоматический режим Power Management System (PMS);
- автоматический режим Power Management System (PMS).

В режиме местного управления PMS не берет на себя функции управления

генераторной установкой, при этом дизель-генератор управляется местно, а автоматические воздушные выключатели управляются с главного распределительного щита. В режиме ручного управления можно запустить и остановить дизель-генератор, но синхронизация и другие функции недоступны. Управление автоматическими воздушными выключателями производится с главного распределительного щита.

В режиме пуска резервного дизель-генератора в случае выхода из строя основного он управляется дистанционно, а воздушные выключатели автоматически. Дизель-генератор можно запустить или остановить, а в случае обесточивания автоматически запустится резервный дизель-генератор и подключается к главному распределительному щиту.



Рис. 2 – Вид постов управления на компьютерной основе Fig. 2 - Computer-based view of control posts

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*

В полуавтоматическом режиме оператор может управлять работой генераторных установок с помощью ACONIS-2000 PMS. Когда оператор дает команду к запуску дизель-генератора воздушный выключатель автоматически срабатывает в нужное время под управлением PMS. При синхронизации генератора с главным распределительным щитом частота вводимого генератора изменяется в пределах немного выше частоты уже работающего генератора, чтобы не возникал режим обратной мощности. После подключения выполняется контроль частоты и распределяется нагрузка между генераторами.

В автоматическом режиме PMS, кроме вышеописанного, сама выполняет контроль частоты и распределяет нагрузку между генераторами. Однако, не предусмотрена возможность контроля стабильности амплитуды напряжения и устранения обменных колебаний мощности (ОКМ) [6].

Имеется низковольтный щит питания, который обеспечивает питанием навигационное оборудование рубки и аварийное освещение, расположенный на верхней палубе.

Главный распределительный щит находится в центральном посту управления и состоит из следующий секций:

- три генераторные секции;
 - двух «GROUP STARTER PANEL» для потребителей на левый и правый борт;
 - двух «AC 440V FEEDER PANEL» для щитов потребителей;
 - одной секции «AC 220V FEEDER PANEL»;
 - секция обрыва связи главного распределительного щита левого и правого борта;
- Вид секций распределительного щита показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Вид секции «GROUP STARTER PANEL» для потребителей на левый борт и «AC 440V FEEDER PANEL»

Figure 3 - View of the "GROUP STARTER PANEL" section for port side customers and "AC 440V FEEDER PANEL" section

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Основные характеристики генераторов представлены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Основные характеристики генераторов Main characteristics of generators	
Тип	5H21/32
Генерируемое напряжение	450 В
Вырабатываемый ток	1363 А
Частота	60 Гц
Вырабатываемая мощность	920 кВт
Коэффициент мощности	0,8 о.е.
Скорость вращения	900 об/мин
Количество полюсов	8 шт

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Для обеспечения электроэнергией на судне установлено три дизель-генератора фирмы HIMSEN-HHI типа 5H21/32 мощностью 920 кВт каждый, которые находятся в кормовой части судна в машинном отделении. Они снабжают энергией главный распределительный щит, а тот в свою очередь потребители всего судна. Также на судне установлен аварийный дизель-генератор фирмы CUMMINS типа STX NT855-DMGE мощностью 313 кВт и расположен на главной палубе в кормовой части судна, по левому борту в специальном помещении с аварийным распределительным щитом (АРИЩ).

Аварийный распределительный щит состоит из следующих секций:

- питание с берега;
- секция аварийного дизель-генератора;
- секция «AC 440V FEEDER PANEL»;
- секция «AC 220V FEEDER PANEL»;

Вид секций аварийного распределительного щита представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Вид секций аварийного распределительного щита

Fig. 4. View of emergency switchboard sections

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Структурой аварийного распределительного щита предусмотрена панель питания с берега, с помощью которой осуществляется прием электроэнергии на главный распределительный щит от береговых электростанций. Аварийный дизель-генератор запускается автоматически при исчезновении напряжения основной судовой сети при помощи системы контроля ACONIS-2000 PMS. Помимо этого, предусмотрен пуск аварийного дизель-генератора посредством электрического стартерного устройства с собственной аккумуляторной батареей и ручное пусковое устройство.

Вид контрольной панели аварийного дизель-генератора представлен на рисунке 5.

Необходимо отметить, что аварийный дизель-генератор не предназначен для снабжения электрической энергией топливных грузовых насосов и большинства потребителей электрической энергии на судне.



Рис. 5. Вид контрольной панели аварийного дизель-генератора

Fig. 5. View of the control panel of the emergency diesel generator

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Основные данные аварийного дизель-генератора приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Параметры аварийного дизель-генератора

Parameters of emergency diesel generator

Тип	STX NT855-DMGE
Генерируемое напряжение	450 В
Вырабатываемый ток	401 А
Частота	60 Гц
Вырабатываемая мощность	313 кВт
Коэффициент мощности	0,8 о.е.
Скорость вращения	1800 об/мин
Количество полюсов	8 шт

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Мощность аварийного дизель-генератора достаточна, чтобы питать все потребители, работа которых требуется для безопасности плавания в случае аварии, таких как:

- сигнально отличительные огни;
- аварийное освещение;
- систем сигнализации обнаружения пожара;
- звукооповещения;
- средств внутрисудовой связи;
- радионавигационного оборудования;
- пожарных насосов;
- рулевого привода;
- освещение мест посадки в спасательные средства.

Результаты (Results)

Электротехнический комплекс танкера AION обладает примечательными решениями в области электроэнергетики и автоматизации. Система ACONIS-2000, выполняющая функции полной автоматизации распределения электроэнергии, обеспечивает контроль оборудования судовой электростанции в машинном отделении

или с мостика, имеющая отдельную подсистему аварийной сигнализации, обеспечивает управление всеми аспектами электроэнергетики судна. Благодаря автоматизации управление электроэнергетикой и оборудованием не является сложной задачей, условия труда для рабочего персонала судна становятся более комфортными, кроме того, сокращаются риски возникновения аварийных ситуаций за счет системы безопасности.

Программное и аппаратное обеспечение судовой системы PMS позволяет сократить потребление топлива, масла и других важных ресурсов при помощи автоматического регулирования нагрузки на дизель-генераторы, задачи временных периодов подачи топлива в цилиндры, управлением выпускными и пусковыми клапанами. Регулирование частоты вращения дизеля, его пуска и остановки, а также управление вспомогательным оборудованием позволяет сократить износ и продлить срок службы оборудования.

Вместе с тем при совместно-параллельной работе судовых дизель-генераторных агрегатов при помощи цифрового осциллографа зафиксировано наличие обменных колебаний мощности [12,13] (рис. 6,7). Такие колебания могут возникать как при параллельной работе любых двух основных дизель-генераторных агрегатов, так и при одновременной работе всех трех дизель-генераторных агрегатов. На рисунках 6,7 представлены осциллограммы, полученные двухканальным цифровым осциллографом.

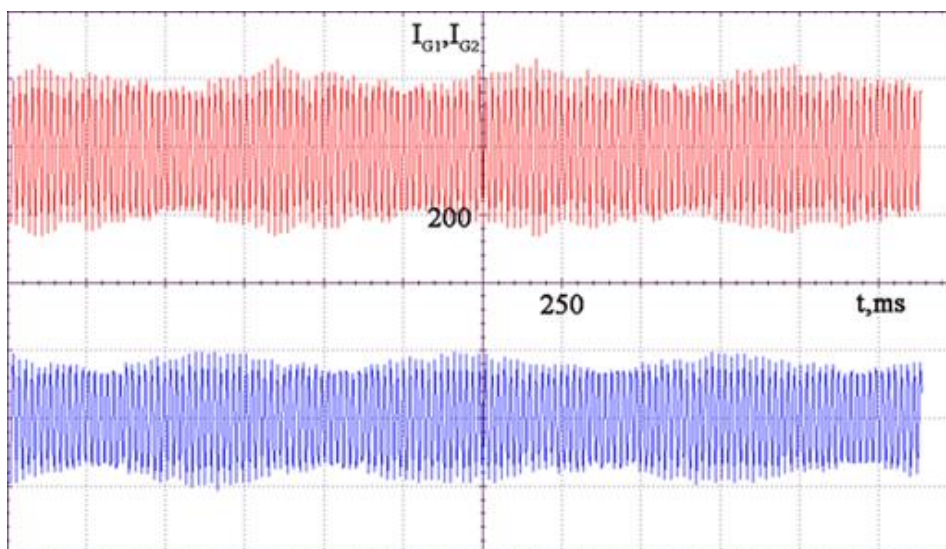


Рис. 6. Осциллограммы токов при совместно-параллельной работе генераторов судового электротехнического комплекса (режим 1)

Fig. 6. Oscillograms of currents at joint-parallel operation of generators of ship electrical complex (mode 1)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author

Таким образом существующая система Power Management System не обладает способностью поддерживать постоянство распределения нагрузки при встречно-параллельной работе судовых дизель-генераторных установок. В связи с этим проявляется влияние наличия люфтов в регуляторах частоты, которое проявляется возникновением обменных колебаний мощности. Такие колебания крайне негативно сказываются на работе систем судовой автоматики и электрооборудования, то есть ухудшают надежность и безотказность всего судового электротехнического комплекса танкера. Исследования показали, что амплитуда обменных колебаний мощности зависит от величины люфта регуляторов и практически не зависит от нагрузки генераторных установок. Наиболее отчетливо колебания проявляются в квазиустановившихся режимах, когда генераторные установки прошли процесс синхронизации и распределения нагрузки.

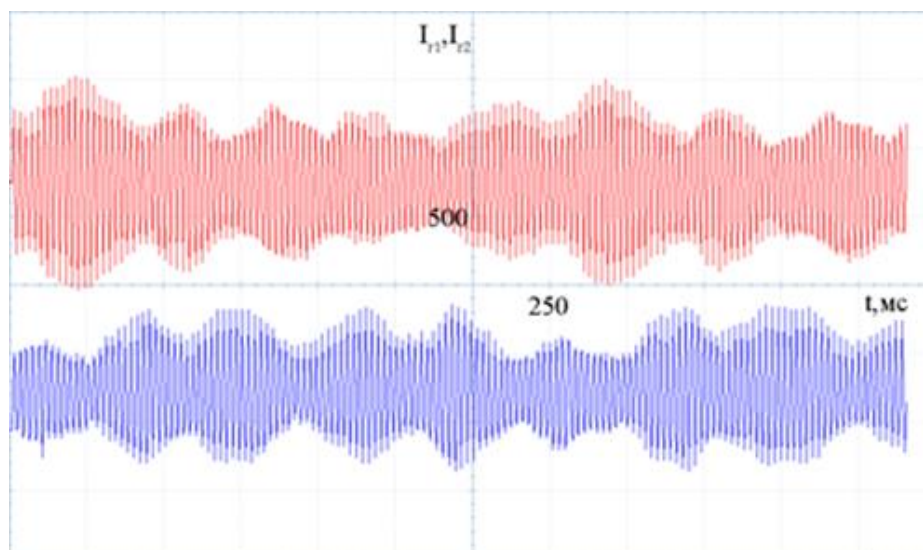


Рис. 7. Осциллограммы токов при совместно-параллельной работе генераторов судового электротехнического комплекса (режим 2) *Fig. 7. Oscillograms of currents at joint-parallel operation of generators of ship electrical complex (mode 2)*

*Источник: Составлено авторами *Source: compiled by the author*

Обсуждение (Discussion)

На осциллограммах отчетливо наблюдается нестабильность амплитуд токов параллельно работающим генераторным установкам. Изменения носят синусоидальный характер с периодом 600 – 800 мс в зависимости от режима работы судового электротехнического комплекса, при этом амплитуда ОКМ имеет значения до 40% от установившихся значений. При этом изменения амплитуды колебаний у двух параллельно работающих генераторов носят зеркальный характер, увеличение и уменьшение амплитуд происходят в противоположных направлениях. Это говорит о существовании значительных обменных колебаний мощности, при которых без изменения нагрузки судовой электростанции и каких-либо управляющих воздействий, мощность самопроизвольно осуществляет переток между генераторными установками.

Амплитуда обменных колебаний мощности не должна превышать 1 %, только в этом случае электротехнический комплекс не будет подвержен их негативному влиянию. Проведенные исследования показали, что избавиться от ОКМ полностью практически невозможно ввиду наличия люфтов регуляторов частоты. Однако уменьшить их амплитуду можно используя метод адаптивного изменения настройки коэффициентов передачи регуляторов частоты дизель-генераторных агрегатов. Для реализации этого метода необходимо внедрение в состав судового электротехнического комплекса дополнительного блока устранения обменных колебаний мощности УОКМ (рис. 8). Такой блок может быть дополнен в существующую судовую электростанцию путем дополнительного программирования и установки информационных и управляющих каналов и линий электрических сигналов. Для танкера Aion такая установка такого блока не представляет значительных трудностей, так как он оснащен полностью компьютеризированной системой управления судовой электростанцией.

Также необходимо отметить, что установка и работа блока УОКМ не нарушает требований Морского Регистра и международной морской конвенции по безопасности морских судов *Solas*. Напротив, наличие такой системы управления обеспечит безопасную работу танкера, в том числе и при работе топливных насосов от судовых генераторов при выполнении грузовых операций, так как исключит обесточивание судна из-за неконтролируемого уровня амплитуд обменных колебаний мощности.

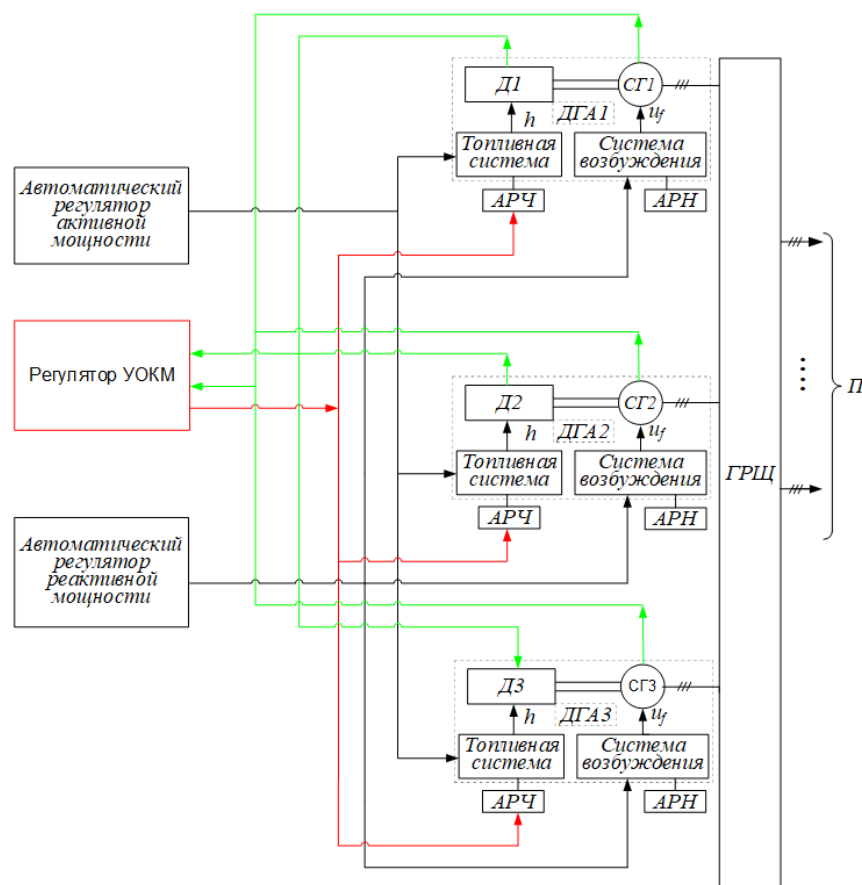


Рис. 8. Судовой электротехнический комплекс с блоком УОКМ Fig.8. Main electrical complex with EPEO unit

Заключение (Conclusions)

Несколько режимов эксплуатации электроэнергетической системы при помощи автоматической системы PMS дают обширные возможности управления судовой электроэнергетической установкой в различных ежедневных или аварийных ситуациях. Полуавтоматический и автоматический режимы позволяют сократить время включения в работу дополнительных дизель-генераторов на параллельную работу, запуска аварийного дизель-генератора, контроля частоты и распределения нагрузки, тем самым позволяя оператору и команде машинного отделения сосредоточиться на устранении неисправностей или действовать в условиях аварийной ситуации. Для совершенствования эффективности работы электротехнического комплекса необходимо интегрировать в его систему управления функцию устранения обменных колебаний мощности.

Литература

1. Хватов О.С., Тарпанов И.А., Кузнецов П.В. Судовая электроэнергетическая система с обратимой валогенераторной установкой по схеме машины двойного питания и дизель-генератором переменной частоты вращения. Вестник Астраханского государственного технического университета, 2021, № 3. С. 93–100.
2. Dar'Enkov A.B., Samoyavchev I., Khvatov O.S., Sugakov V. Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion. MATEC Web of Conferences, 2017, 108, 14002.

3. Gracheva E. I., Alimova A.N. Calculating Methods and Comparative Analysis of Losses of Active and Electric Energy in Low Voltage Devices . International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2019. 361-367.
4. Sen'kov A.P., Dmitriev B.F., Kalmykov A.N., Tokarev L.N. Ship unified electric-power systems. Russian Electrical Engineering, 2017, 88(5), стр. 253–258.
5. Губанов Ю. А., Калинин И. М., Корнев А. С., Кузнецов В. И., Сеньков А. П. Направления совершенствования судовых единых электроэнергетических систем. Морские интеллектуальные технологии, 2019, №1-1(43), стр. 103–109.
6. Zhu, Sipeng; Ma, Zetai ; Zhang, Kun ; Deng, Kangyao. Energy and exergy analysis of the combined cycle power plant recovering waste heat from the marine two-stroke engine under design and off-design conditions. Energy, 2020, Том: 210, Номер статьи: 118558 DOI: 10.1016/j.energy.2020.118558.
7. Авдеев, Б. А. Интеллектуальные энергоэффективные системы морских судов. Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2021. – № 4. – С. 99-113.
8. Mondejar, M. E.; Andreasen, J. G.; Pierobon, L.; Larsen, U; Thern, M.; Haglind, F. A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications. Renewable & sustainable energy reviews, 2018, Том: 91, Стр.: 126-151 DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.074.
9. Грачева Е.И., Ильясов И.И., Алимова А.Н. Сравнительный анализ и исследование методов расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. Т.20 № 3-4. С. 62–71.
10. Грачева Е.И., Алимова А.Н., Абдуллазянов Р.Э. Анализ и способы расчета потерь активной мощности и электроэнергии в низковольтных цеховых сетях. Вестник КГЭУ.2018;4(40):53-65.
11. Мещеряков В.Н., Черкасова В.С., Мещерякова О.В. Коррекция системы векторного управления асинхронным электроприводом / Системы управления и информационные технологии, 2015. №3(61). С. 36-38.
12. Савенко А.Е., Голубев А.Н. Обменные колебания мощности в судовых электротехнических комплексах. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. – Иваново, 2016. – 172 с.
13. Савенко А.Е., Савенко П.С. Влияние люфта на амплитуду обменных колебаний мощности в автономных электротехнических комплексах. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20 № 5-6. С. 46-54.
14. Savenko A.E., Savenko P.S. Analysis of Power Oscillations Parameters in Autonomous Electrical Complexes Using the Method of Customization Charts Designing. Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Proc. 2020 Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering. С. 400–405.
15. Алейников А.В., Голубев А.Н., Мартынов В.А. Разработка уточненной математической модели синхронного двигателя с постоянными магнитами для расчетов в реальном времени // Вестник ИГЭУ. – 2017. – №. 5. – С. 37-43.

Авторы публикации

Савенко Александр Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры Электрооборудования судов и автоматизации производства Керченского государственного морского технологического университета. E-mail: Savenko-70@mail.ru.

Габриэль Игорь Владимирович - курсант 5-го курса, Керченского государственного морского технологического университета.

References

1. Khvatov O. S., Tarpanov I. A., Kuznecov P. V., Ship power plant with reversible shaft generator unit operating by dual-power machine scheme and variable speed diesel generator. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta , 2021, № 3. С. 93–100.
2. Dar'Enkov A.B., Samoyavchev I., Khvatov O.S., Sugakov V. Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion. MATEC Web of Conferences, 2017, 108, 14002.

3. Gracheva E. I., Alimova A.N. Calculating Methods and Comparative Analysis of Losses of Active and Electric Energy in Low Voltage Devices. International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2019. 361-367.
4. Sen'kov A.P., Dmitriev B.F., Kalmykov A.N., Tokarev L.N. Ship unified electric-power systems. Russian Electrical Engineering, 2017, 88(5), pp. 253–258.
5. Gubanov Y. A., Kalinin I. M., Kornev A. S., Kuznetsov V. I., Sen'kov A. P. Directions of improvement for ship unified power systems. Marine Intelligent Technology, 2019, №1-1(43), pp. 103–109.
6. Zhu, Sipeng; Ma, Zetai ; Zhang, Kun ; Deng, Kangyao. Energy and exergy analysis of the combined cycle power plant recovering waste heat from the marine two-stroke engine under design and off-design conditions. Energy, 2020, Book: 210, 118558, DOI: 10.1016/j.energy.2020.118558.
7. Avdeyev B. A. Intelligent energy-efficient systems of marine vessels. Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University, 2021; 4: 99-113.
8. Mondejar, M. E.; Andreasen, J. G.; Pierobon, L.; Larsen, U; Thern, M.; Haglind, F. A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications. Renewable & sustainable energy reviews, 2018, Book: 91, pp.: 126-151, DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.074.
9. Gracheva EI, Il'jasov I, Alimova AN. The comparative analysis and research of methods of calculation of losses of the electric power in the systems of electrical power supply of the industrial enterprises. Power engineering: research, equipment, technology. 2018;20(3- 4):62-71.
10. Gracheva E.I., Alimova A.N., Abdullazjanov R.Je. Analiz i sposoby rascheta poter' aktivnoj moshhnosti i jelektroenergii v nizkovol'tnyh cehovyh setjah. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. 2018;4(40):53–65.
11. Meshherjakov VN, Cherkasova VS, Meshherjakova OV. Korrekcija sistemy vektornogo upravlenija asinhronnym jelektroprivodom. Sistemy upravlenija iinformacionny etehnologii. 2015;3(61): 36-38.
12. Savenko A.E, Golubev A.N. Exchange power fluctuations in ship electrotechnical complexes. Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskij universitet imeni V.I. Lenina. Ivanovo, 2016. 172 p.
13. Savenko A.E, Savenko P.S. Influence of backlash on amplitude of exchange power fluctuations in autonomous electric power equipment. Power engineering: research, equipment, technology. 2018;20(5-6):46-54.
14. Savenko A.E., Savenko P.S. Analysis of Power Oscillations Parameters in Autonomous Electrical Complexes Using the Method of Customization Charts Designing. Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Proc. 2020 Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering, pp. 400–405.
15. Aleynikov A.V, Golubev A.N, Martynov V.A. Development of a mathematical model of synchronous permanent magnet motor for real-time calculations. Vestnik IGEU. 2017;5:37- 43.

Authors of the publication

Alexandr E. Savenko - Kerch State Maritime Technological University.

Igor V. Gabriel - Kerch State Maritime Technological University.

Шифр научной специальности: 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Получено **17.01.2024 г.**

Отредактировано **19.01.2024 г.**

Принято **21.02.2024 г.**