



СРЕДСТВА ПОЭТАПНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дорогань О.И., Рябенкий В.М., Ушкаренко А.О.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев)

Рассмотрены трехуровневые распределенные системы управления судовыми электро-энергетическими установками с дизель-генераторными агрегатами, в которых нижний уровень системы управления представлен локальными системами управления дизелями с автоматическими регуляторами частоты, системами плавного пуска и регуляторами частоты вращения асинхронных двигателей и автоматическими регуляторами напряжения генераторов; средний уровень содержит средства автоматизации, служащие для обеспечения взаимодействия силовых агрегатов и оптимизации их использования; верхний уровень представлен компьютеризованным рабочим местом оператора, позволяющим осуществлять дистанционный мониторинг параметров и управление энергосистемой. Предложено проведение обучения специалистов по эксплуатации судового электрооборудования в два этапа: изучение алгоритмов пуска и останова дизель-генераторных агрегатов, синхронизации дизель-генератора с судовой сетью, распределения нагрузок между параллельно работающими силовыми агрегатами, алгоритмов проверки и настройки защит дизель-генераторов и закрепление изученного материала на основе взаимодействия с программным обеспечением автоматизированного рабочего места оператора и информационными моделями средств и объектов автоматизации на первом этапе обучения; изучение схем подключения и алгоритмов настройки аппаратных средств автоматизации (систем управления дизелями и генераторами, систем синхронизации и распределения нагрузок, защит и др.) и закрепление знаний посредством управления физической моделью системы управления судовой электроэнергетической установкой. Определены функциональные возможности аппаратно-программных средств, используемых на каждом из этапов: для первого этапа разработаны наборы «мнемосхема – набор информационных моделей средств и объектов автоматизации – модель электроэнергетической установки» с соответствующими множествами состояний энергосистемы и средствами автоматизированного моделирования смены состояний и протоколирования действий обучаемого при их возникновении; для второго этапа разработаны стенды для автономного изучения средств автоматизации и физическая модель автоматизированной системы управления судовой электроэнергетической установкой.

Ключевые слова: судовой автоматизированная электроэнергетическая установка, имитационное моделирование, тренажер.

Введение. Характерной особенностью современного судового энергомашиностроения является повышение степени автоматизации энергетических установок на базе распределенных многоуровневых систем с применением микропроцессорной техники [1]. Современный подход к проектированию и разработке автоматизированных систем управления (АСУ) состоит в компьютеризации и использовании SCADA-программ в качестве подсистем верхнего уровня. Для эффективного управления электроэнергетической системой используемые программные средства должны соответствовать нормам качества программного обеспечения, определенных в стандартах серии ISO/IEC (25000-25099); удовлетворять требованиям к человеко-машинным интерфейсам, определенных в стандартах серии ISO/IEC 9241 и иметь средства для дистанционного контроля и управления электроэнергетическими процессами, регламентируемые Правилами классификации и построения морских судов [2]. Однако для безопасного использования современных АСУ судовые механики и электромеханики также должны иметь соответствующие профессиональные знания и навыки, обеспечивая как вахтенное, так и безвахтенное обслуживание судового оборудования и средств автоматики. Требования к оператору управления судовой электроэнергетической установкой определены в ПДНВ [3]. Согласно этим же требованиям судовой механик должен пройти курс практической подготовки длительностью не менее 12 месяцев (6 из которых – на судне), причем обучение должно проходить в специально оборудованных лабораторных и тренажерных комплексах морских учебных заведений.



В работах [4, 5] приведено описание тренажера судовой автоматизированной электроэнергетической системы, реализованного на базе SCADA-программы M-Vision, главного распределительного щита со средствами автоматизации фирмы Selco, трех основных и одного аварийного генераторных агрегатов и судовых потребителей электроэнергии. Описанный тренажер обеспечивает адекватное воспроизведение эксплуатационных ситуаций по техническому обслуживанию реального судового оборудования и предназначен для специальной подготовки судовых электромехаников [4, 5]. В данной работе предлагается использование двухступенчатого обучения студентов морских учебных заведений: первичного – с использованием реального программного обеспечения верхнего уровня системы управления и виртуальных моделей средств и объектов автоматизации всех остальных уровней; и вторичного – на основе реально функционирующего и максимально приближенного к современной конфигурации судового оборудования.

Цель работы. Целью работы является обоснование разделения обучения специалистов по эксплуатации судового электрооборудования на два этапа – на основе информационной и на основе физической моделей АСУ судовой электроэнергетической установкой; определение требований к составляющим моделям и разработка их структурных схем в соответствии с предложенной методикой обучения.

Основной материал. Целевыми функциями человеко-машинной системы при обучении оператора с помощью аппаратно-программной модели автоматизированной системы управления судовой электроэнергетической установкой являются: обеспечение оператора адекватной информацией о режимах работы электрооборудования; формирование навыков и закрепление знаний у оператора, связанных с его действиями как в штатном режиме работы электроэнергетической установки, так и при возникновении аварийных ситуаций.

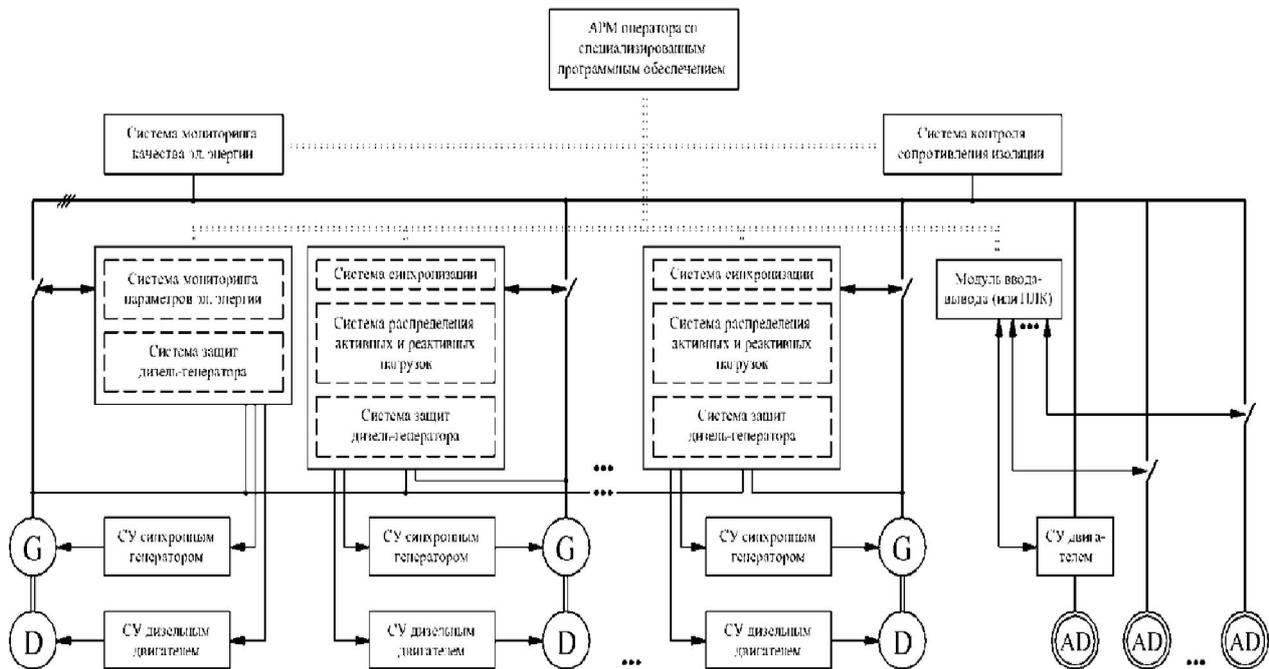


Рисунок 1 – Архитектура АСУ судовой электроэнергетической установкой

В работе рассмотрены трехуровневые распределенные системы управления электроэнергетическими установками (рис. 1), в которых нижний уровень АСУ представлен локальными системами управления двигателями и генераторами, в состав которых входят автоматические регуляторы частоты вращения вала двигателя и напряжения возбуждения генератора, средства реализации алгоритмов пуска и останова



двигателей в соответствии с их заводскими инструкциями и средства обеспечения наиболее быстродействующих защит генератора; к среднему уровню отнесены средства автоматизации, служащие для обеспечения взаимодействия силовых агрегатов и оптимизации их использования посредством коррекции отдаваемой и потребляемой ими электроэнергии, что осуществляется передачей команд с помощью дискретных сигналов соответствующим локальным системам управления; в качестве элемента верхнего уровня определена компьютеризированная система управления, которая с помощью информационного обмена со средствами автоматизации среднего уровня (по протоколу Modbus RTU, интерфейс RS-485) позволяет осуществить дистанционный мониторинг и управление электростанцией [6].

Поскольку управление электроэнергетической установкой согласно приведенной архитектуре АСУ связано с использованием специализированного программного обеспечения верхнего уровня, предлагается его использование на обоих этапах обучения.

Задачей первичного обучения студентов морских учебных заведений является изучение алгоритмов пуска и останова дизель-генераторных агрегатов (ДГА), синхронизации ДГА с сетью, распределения активной и реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами; алгоритмов проверки и регулировки систем защит дизель-генератора от перегрузки по мощности, потери возбуждения, обратной мощности и др. После изучения теоретического материала (в первую очередь соответствующих нормативных документов [2, 7]) необходима его проверка и закрепление. С этими целями предлагается формирование классов неэквивалентных состояний энергосистемы (ввод в действие генераторного агрегата для автономной работы, ручное и автоматизированное управление параллельной работой дизель-генераторов, возникновение условий срабатывания систем защит дизель-генераторов и др.) и далее создание нескольких наборов пар «мнемосхема электроэнергетической установки для программного обеспечения со всеми необходимыми настройками – имитационная модель электроэнергетической установки», содержащих по одной ситуации из каждого класса для первого набора, по две – для второго и т.д. Для обеспечения эффективного обучения имитационная модель электроэнергетической установки должна воспроизводить внешние и внутренние связи, соответствующие исходному объекту с максимальной точностью. Рассматриваемая АСУ является многоуровневой и пространственно распределенной. Поэтому необходимо создать имитационные модели объектов управления совместно с их системами управления нижнего и среднего уровней как единого целого, которые на уровне интерфейса связи с программным обеспечением автоматизированного рабочего места оператора будут полностью соответствовать аппаратным средствам автоматизации среднего уровня. Воспроизведение внутренних связей электроэнергетической установки моделью должно быть выражено в виде адекватного математического моделирования электроэнергетических процессов в системе, возникающих при изменении ее структуры: бросков тока при несоблюдении условий подключений генераторного агрегата к судовой сети, провалов напряжения и частоты при подключении мощных потребителей электроэнергии, рассогласовании в распределении нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами при изменении нагрузки энергосистемы и др. Поскольку математическое моделирование электроэнергетических процессов достаточно ресурсоемкий процесс, а имитационные модели должны осуществлять информационный обмен с программным обеспечением верхнего уровня с адекватными, соответствующими реальным средствам, временными задержками, в работе предлагается создание мультикомпьютерной модели электроэнергетической установки, управление работой которой будет выполняться от инструкторской станции. Тогда мультикомпьютерная модель электроэнергетической установки будет состоять из информационных моделей, соответствующих контроллеру автоматизации, системе синхронизации и распределения нагрузок, системе мониторинга качества электроэнергии и связанных с ними объектов



автоматизации с автоматическими регуляторами частоты и напряжения. Требованием ко всем имитационным моделям является наличие интерфейса для работы в информационной сети (поддержка интерфейса RS-485 и протокола Modbus RTU с возможностью изменения адреса устройства) и интерфейса для связи с инструкторской станцией (интерфейса RS-485 и специального протокола). Остальные требования к моделям, соответствующим различным средствам автоматизации, различны и далее рассмотрены отдельно.

Характеристики модели контроллера автоматизации: имитация наличия дискретных входов и выходов с возможностью изменения соответствующего каждому из них адресу регистра; наличие блока установки основных параметров силового агрегата (коэффициента мощности, частоты, действующих значений напряжения и тока) и моделирование в соответствии с установленными значениями быстротекущих процессов для получения осциллограмм напряжения и тока генератора.

Характеристики модели системы синхронизации и распределения нагрузок: имитация включения ДГА на параллельную работу с сетью: модель должна иметь средства для эмуляции дискретных выходов или для изменения содержимого регистров, соответствующих запуску или останову дизель-генератора, инициированию процесса его синхронизации с сетью, изменению параметров управляющих сигналов для имитации воздействий на регуляторы частоты и напряжения в процессе синхронизации; имитация подключения/отключения нагрузки к параллельно работающим ДГА с помощью изменения состояний дискретных выходов; имитация распределения активной и реактивной нагрузки, для управления процессом которого используется содержимое регистров, задающих период и скважность сигналов, поступающих на регуляторы частоты и напряжения; имитация выражается в автоматическом изменении моделируемых действующего значения тока и значения коэффициента мощности; имитация возникновения аварийных ситуаций: перехода дизель-генератора в двигательный режим или потеря им возбуждения; на уровне модели это должно быть выражено наличием переключателей для изменения направлений потоков активной и реактивной мощностей, отдаваемых генераторным агрегатом в сеть.

Характеристики модели системы мониторинга качества электроэнергии: наличие блока установки действующих значений всех фазных напряжений сети и значений углов сдвига между векторами напряжений; отображение осциллограмм напряжений трехфазной сети, выполнение расчета коэффициентов несимметрии и их отображение.

Задачами инструкторской станции являются моделирование изменения нагрузки энергосистемы и максимально точное воспроизведение параметров соответствующих электроэнергетических процессов. Для решения последней задачи необходимо наличие математической модели и средств для расчета системы дифференциальных уравнений, которые описывают текущую конфигурацию судовой электроэнергетической установки. Поскольку выполнение расчетов предполагает использование численных методов, которые уже реализованы в программных комплексах Matlab Simulink и Scilab Scicos, в работе предлагается к каждой паре «мнемосхема электроэнергетической установки – набор имитационных моделей объектов и аппаратных средств автоматизации» добавить имитационную модель всей электроэнергетической системы в виде графической блок-диаграммы, созданной в одном из перечисленных программных средств. В состав этой модели должны войти блоки силовых агрегатов, средств автоматизации (регуляторов частоты и напряжения, устройств синхронизации и распределения нагрузок), эквивалентных активно-индуктивной текущей и подключаемой нагрузок электростанции. Для возможности управления конфигурацией модели также необходим соответствующий блок, который будет управлять средствами автоматизации и состояниями автоматических выключателей. Структурная схема предлагаемой модели приведена на рис. 2.

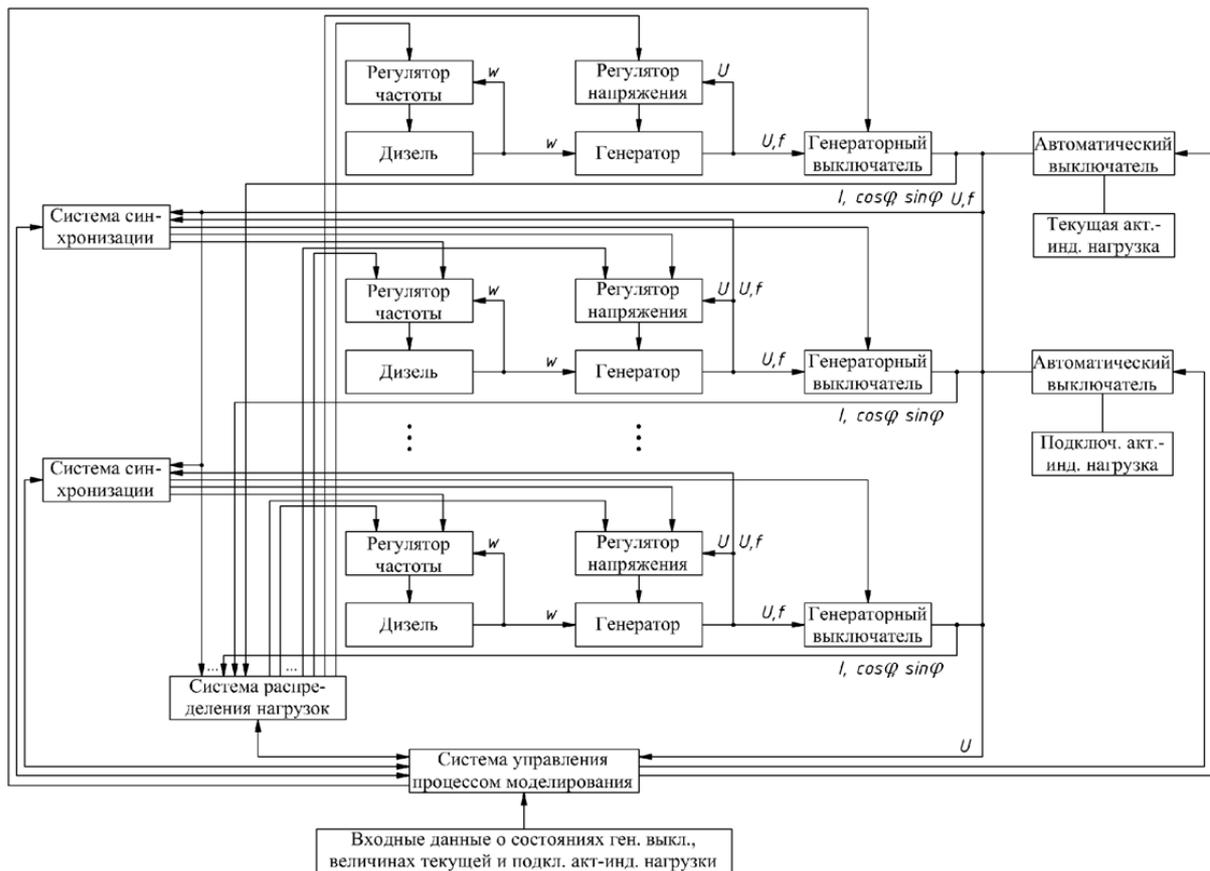


Рисунок 2 – Структурная схема имитационной модели электроэнергетической установки

Для автоматизации процесса обучения предлагается для каждой связки «мнемосхема – набор информационных моделей средств и объектов автоматизации – модель электроэнергетической установки» составить множество состояний системы (автономная работа дизель-генератора, необходимость подключения дополнительного дизель-генератора, переход генераторного агрегата в двигательный режим и др.) и создать файл, каждая строка которого будет содержать соответствующие определенному состоянию энергосистемы данные о ее конфигурации: состояния автоматических выключателей и мощности подключенных к судовой сети потребителей электроэнергии. Тогда, используя принцип особых моментов в качестве схемы моделирования, можно в определенные моменты времени генерировать номер состояния энергосистемы. Затем, используя информацию о соответствующей этому состоянию конфигурации энергосистемы, можно выполнять запуск имитационной модели электроэнергетической установки и возвращаемые в результате моделирования данные (действующие значения напряжений и токов, величины активных и реактивных мощностей, частоты токов генераторных агрегатов) передавать далее имитационным моделям объектов и средств автоматизации. Таким образом, изучение и закрепление основных алгоритмов управления судовой электроэнергетической установкой на первичном этапе подготовки оператора будет проходить в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

Задачами вторичного этапа подготовки специалистов по эксплуатации судового электрооборудования являются:

- изучение схем подключения и алгоритмов настройки автоматических регуляторов частоты дизельных двигателей и напряжения синхронных генераторов; систем синхронизации дизель-генераторов с сетью и распределения нагрузок между параллельно работающими генераторными агрегатами;

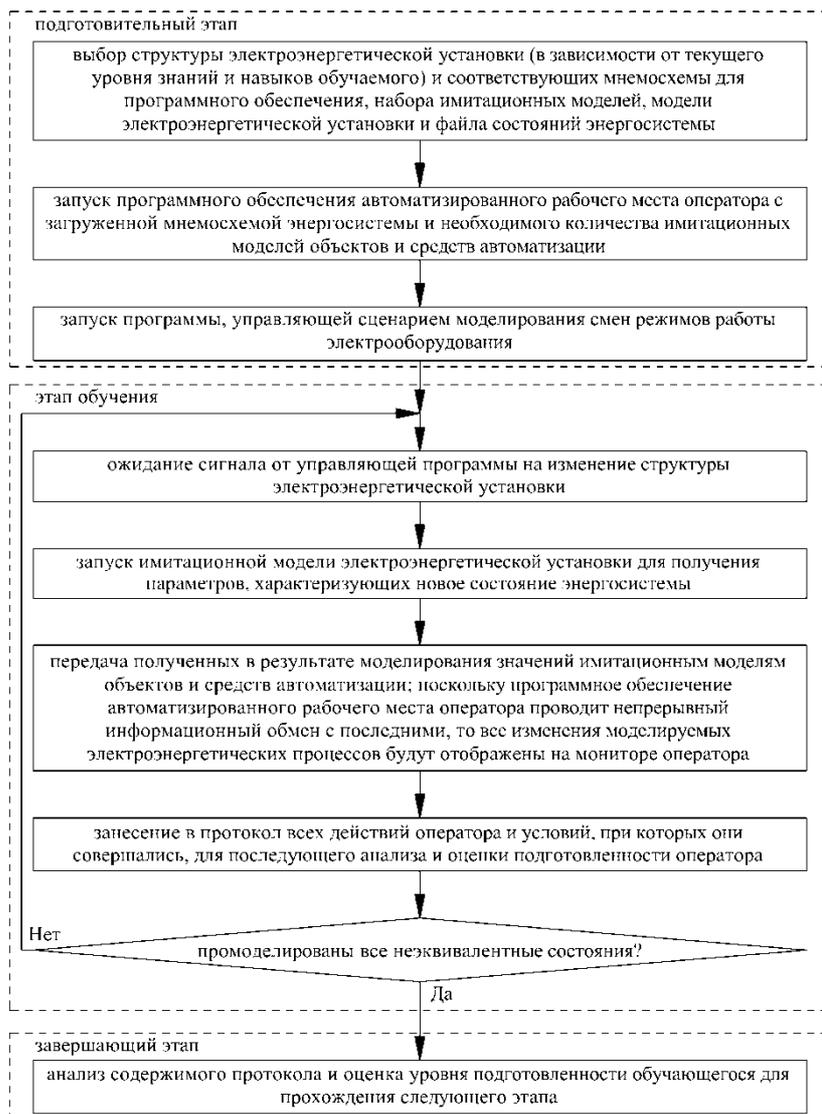


Рисунок 3 – Алгоритм обучения специалистов по судовому электрооборудованию на первичном этапе

- исследование систем плавного пуска и торможения, частотно-регулируемых электроприводов асинхронных двигателей: изучение структуры и принципа работы, схем подключения двигателей и управляющих сигналов, особенностей управления системами с помощью аппаратных средств и аналоговых или дискретных сигналов;
- исследование контроллеров автоматизации и систем мониторинга параметров дизельных двигателей: изучение структурных схем и принципов работы, схемотехники устройств и типовых схем подключения, особенностей настройки устройств для работы в единой информационно-управляющей сети распределенной системы управления; изучение типов и интерфейсов подключения промышленных датчиков температуры, уровня и др.;
- ознакомление со схемами подключения и принципами работы программируемых логических контроллеров (ПЛК) и модулей расширения; изучение языков программирования ПЛК и принципов объединения приведенных устройств в подсистемы для реализации сложных локальных алгоритмов управления оборудованием;
- использование знаний и навыков, полученных в результате изучения основ работы выше приведенных систем автоматизации, а также специализированного программного обеспечения, для исследования распределенной системы управления физической моделью судовой электроэнергетической установки.



Для решения поставленных задач при обучении студентов в работе предлагается использование соответствующим образом укомплектованных стендов. Для исследования системы возбуждения синхронного генератора и синхронизации генераторного агрегата с сетью, а также принципов работы с частотно-регулируемыми электроприводами, возможно использование стенда, содержащего синхронный генератор и приводной асинхронный двигатель мощностью 2 кВт, частотный электропривод Altivar 38, перечисленные системы с выведенными контрольными точками для возможности регулировки их настроек, универсальным измерительным прибором Lovato DMK32 и компьютера со специализированным программным обеспечением для связи с микропроцессорными системами. Изучение систем плавного пуска и торможения асинхронных двигателей можно проводить на основе стендов, укомплектованных двигателями, устройствами Altistart 01 и Altistart 48, тумблерами для изменения режимов работы этих устройств (включение/отключение функции BOOST, аварийная остановка двигателя), кнопками изменения и индикаторами отображения текущих состояний систем, измерительными приборами для анализа влияния изменения настроек систем плавного пуска на величины пусковых токов и всплески мощности, персональными компьютерами с необходимыми программными средствами (программой PowerSuite, средствами для связи с осциллографами). Для исследования интерфейсов и схем подключения промышленных датчиков в лаборатории использованы термопреобразователи ТСМ фирмы Овен и, поскольку интерфейсы всех промышленных датчиков стандартизированы, для изучения принципов реализации сложных алгоритмов управления объектами автоматизации в зависимости от внешних условий реализована имитация датчиков различных физических величин с помощью переменных сопротивлений. Для имитации датчиков с выходом типа «сухой контакт» использованы тумблеры и импульсные кнопки; отображение состояний дискретных выходов устройств реализовано с помощью светодиодных индикаторов. Изучение языков реализации алгоритмов для ПЛК и принципов построения подсистем, в которых ПЛК является ведущим, может происходить с помощью стендов, укомплектованных средствами имитации датчиков и устройствами фирм Schneider Electric (TWDLMDA40DTK, TM2DRA8RT, TM2AMI8HT, TWBNOZ485D), Zelio Logic (SR2B201BD) и Овен (ПЛК100, MBA8, МДВВ, СП270, ЕКОН131). После исследования систем автоматизации на отдельных стендах обучение переходит в завершающую стадию – отработка навыков создания, настройки и использования распределенной системы управления, состоящей из пульта управления с автоматизированным рабочим местом оператора (компьютерами со специализированным программным обеспечением, сенсорными панелями и аварийными выключателями) на верхнем уровне; ПЛК, систем мониторинга параметров сети и синхронизации на среднем уровне; систем возбуждения генераторов и преобразователей частоты на нижнем уровне. Все приведенные стенды реализованы в лаборатории кафедры Теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова и ознакомиться с их комплектацией более детально можно в [8].

Выводы. Разделение процесса обучения специалистов по эксплуатации судового оборудования на два последовательных этапа позволит повысить его эффективность путем инкрементального повторения алгоритмов управления судовой электроэнергетической установкой. Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций возможно использование на первом этапе обучения информационных моделей аппаратных средств и объектов автоматизации совместно со средствами автоматизированного рабочего места оператора. Второй этап обучения предполагает пошаговое изучение аппаратных средств автоматизации на локальных стендах и далее – в составе распределенной системы управления физической моделью судовой электроэнергетической установки.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осовский Д. И. Системы автоматического управления судовыми электроэнергетическими установками. Конспект лекций / Д. И. Осовский. – Керчь, 2012. – 144 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Том 2. – Санкт-Петербург : Российский морской регистр судоходства, 2013. – 721 с.
3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978 (STCW 1978), as amended (consolidated text) – Санкт-Петербург : ЗАО «ЦНИИМФ», 2010. – 806 с.
4. Муха Н. И. Тренажер судовой автоматизированной электроэнергетической системы / [Н. И. Муха, А. О. Дранкова, В. Н. Волошин, А. Р. Миська, С. А. Дудко] // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2011. – № 9 (86). – С. 207-210.
5. Дайнеко В. И. Тренажерная подготовка судовой машинной команды / В. И. Дайнеко // Материалы 15-й Международной Крымской конференции. Том 2. – Севастополь : Вебер, 2005. – С. 127-128.
6. Дорогань О. І. Комп'ютерна програма для розробки та забезпечення роботи в режимі реального часу систем моніторингу параметрів та керування автономними електроенергетичними установками «ElectronScada» // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 49935 – Державна служба інтелектуальної власності України, 2013.
7. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. – К. : Министерство транспорта Украины, Государственный департамент морского и речного транспорта, 1996 – 111 с.
8. Официальный сайт кафедры Теоретической электротехники и электронных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://tees.org.ua/>.

Дорогань О.І., Рябенський В.М., Ушкаренко О.О. ЗАСОБИ ПОЕТАПНОЇ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Розглянуто трирівневі розподілені системи управління судовими електроенергетичними установками з дизель-генераторними агрегатами, в яких нижній рівень системи управління представлений локальними системами управління дизелями з автоматичними регуляторами частоти, системами плавного пуску і регуляторами частоти обертання асинхронних двигунів і автоматичними регуляторами напруги генераторів; середній рівень містить засоби автоматизації, що слугують для забезпечення взаємодії силових агрегатів і оптимізації їх використання; верхній рівень представлений комп'ютеризованим робочим місцем оператора, яке дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг параметрів і керування енергосистемою. Запропоновано проведення навчання фахівців з експлуатації суднового електрообладнання в два етапи: вивчення алгоритмів пуску і зупинки дизель-генераторних агрегатів, синхронізації дизель-генератора з судною мережею, розподілу навантажень між паралельно працюючими силовими агрегатами, алгоритмів перевірки і налаштування захистів дизель-генераторів і закріплення вивченого матеріалу на основі взаємодії з програмним забезпеченням автоматизованого робочого місця оператора та інформаційними моделями засобів та об'єктів автоматизації на першому етапі навчання; вивчення схем підключення і алгоритмів налаштування апаратних засобів автоматизації (систем управління дизелями і генераторами, систем синхронізації і розподілу навантажень, захистів тощо) і закріплення знань за допомогою управління фізичною моделлю автоматизованої системи управління судною електроенергетичною установкою. Визначено функціональні можливості апаратно-програмних засобів, що використовуються на кожному з етапів: для першого етапу розроблені набори «мнемосхема – набір інформаційних моделей засобів та об'єктів автоматизації – модель електроенергетичної установки» з відповідними множинами станів енергосистеми і засобами автоматизованого моделювання зміни станів і протоколювання дій оператора при їх виникненні; для другого етапу розроблені стенди для автономного вивчення засобів автоматизації і фізична модель автоматизованої системи управління судною електроенергетичною установкою.

Ключові слова: суднова автоматизована електроенергетична установка, імітаційне моделювання, тренажер.



Dorogan O.I., Ryabenkiy V.M., Ushkarenko O.O. THE TRAINER FOR MARINE ELECTRICAL MECHANICS

Distributed control systems for marine power systems, in which the lower level consists of governor controls for diesels and local data acquisition and control systems for induction motors and synchronous generators; the middle level includes remote terminal units, which are used to interconnect the power units and to optimize their work and the upper level is represented by a computerized operator workstation that allows remote monitoring and control of power system parameters, are discussed. The educational process for marine electrical mechanics is proposed to be separated into two phases: the first is dedicated to the theoretical study of the algorithms and the principles of diesels control, generators synchronizing and load control, generators protection from reverse power, excitation loss, overcurrent and short circuit; the phase finishes with the validation of knowledge using the software of the operator workstation and the information models of the hardware and the power units. The second phase is connected with the study of the schemes of the hardware connection and the algorithms of their tuning; reinforcement of the phases knowledge occurs by controlling the physical model of the automated marine power station. The requirements for the functionality of the hardware and the software are defined: the sets «the mnemonic scheme of the marine power system – the set of the information models of the hardware and the power units of this power system – the simulation model of the power system» with the variety of power system states and the tools for automated simulation of changing these states and logging of operators reactions are developed for the first phase of the study and the stands for autonomous study of the hardware and the physical model of automated marine power system are developed for the second phase.

Key words: automated marine power system, simulation, trainer.

Статтю прийнято
до редакції 29.04.14.