

УДК 629.5.064.5: 656.6.071.1

Н. И. Муха, А. О. Дранкова, кандидаты техн. наук

### О ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОВ И МЕХАНИКОВ

**Аннотация.** Представлен полномасштабный тренажерный комплекс судовой автоматизированной электроэнергетической системы, соответствующий требованиям Международной Конвенции ПДНВ 78 с манильскими поправками 2010 в части адекватного воспроизводства его эксплуатационных режимов работы, отвечающий реальной конфигурации и компоновке судовой автоматизированной электростанции с реальными потребителями и типовой нагрузкой. Тренажер в полной мере соответствует целям и задачам практической подготовки, а также целям и задачам проверки компетентности офицеров машинной команды по вопросам технической эксплуатации реального судового оборудования и средств автоматизации.

**Ключевые слова:** судовой автоматизированная электроэнергетическая система, микроконтроллерные технологии управления, практическая подготовка, проверка компетентности

N. Mukha, PhD., A. Drankova, PhD.

### ABOUT PRACTICAL PREPARATION OF SHIP ELECTRO-TECHNICAL OFFICERS AND MARINE ENGINEERS

**Abstract.** A fullmission simulator complex of the ship's automated power system are presented. It is meets International Convention STCW 78(with Manila amendments 2010) requirements in part of adequate reproduction of its operational modes corresponding to the actual configuration and layout of the ship's automated power management system with real consumers and typical loads. The simulator is fully consistent with the goals and objectives of the practical training, as well as the goals and objectives of proficiency testing engine department officers on issues technical maintenance the real ship's equipment and means of automation.

**Keywords:** ship's automated power management system, microcontroller control technology, practical training and proficiency testing

М. Й. Муха, А. О. Дранкова, кандидаты техн. наук

### ПРО ПРАКТИЧНУ ПІДГОТОВКУ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ ТА МЕХАНІКІВ

**Анотація.** Представлений повномасштабний тренажерний комплекс судової автоматизованої електроенергетичної системи, що відповідає вимогам Міжнародної Конвенції ПДНВ 78 з Манільськими поправками 2010 в частині адекватного відтворення його експлуатаційних режимів роботи, що відповідає реальній конфігурації та компоновці судової автоматизованої электростанції з реальними споживачами і типовим навантаженням. Тренажер повною мірою відповідає цілям і завданням практичної підготовки, а також цілям і завданням перевірки компетентності офіцерів машинної команди з технічної експлуатації реального судового устаткування і засобів автоматизації.

**Ключові слова:** суднова автоматизована електроенергетична система, мікроконтролерні технології управління, практична підготовка, перевірка компетентності

**Актуальность работы.** Безопасность судоходства наряду с другими факторами во многом определяется надежностью действия судовых систем «человек – машина» и поэтому лежит в основе современных методов инженерной подготовки судовых специалистов машинной команды [1]. Электрооборудование и средства автоматики современного судна отличаются большой энергонасыщенностью и высоким уровнем автоматизации на базе современных компьютерных технологий. Практически все системы управления судовыми электроэнергетическими, грузовыми и навигационными комплексами интегрированы в единую общесудовую систему автоматизации, имеют гибкую систему программирования режимов работы, соответствующие методики и способы технической эксплуатации, диагностики неисправностей, наладки. Все это многообразие и сложность задач

обуславливают необходимость высокого уровня подготовки и эрудиции судового инженера для обеспечения необходимого уровня технического обслуживания электрооборудования и электронных средств автоматизации. Сегодня судовые электромеханики и механики должны обладать широким диапазоном профессиональных знаний и навыков: от работы с ручным инструментом и измерительными приборами, до использования современных компьютерных технологий управления, мониторинга и связи, обеспечивая как вахтенное так и безвахтенное обслуживание судовых комплексов и систем.

Международная Конвенция по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты 1978 г. с поправками 2010 г. (ПДНВ 78 с манильскими поправками 2010) [2, 4] внесла существенные изменения и дополнения в стандарты компетентности для судовых электромехаников (раздел А – III/6) и механиков (разделы А – III/1, А – III/2), что потребовало переработки образова-

© Муха Н.И., Дранкова А.О., 2014

тельных стандартов, разработки и освоения новых программ как теоретической, так и практической подготовки. Согласно новой Конвенции продолжительность практической подготовки увеличена до 12 месяцев, из которых не менее 6 месяцев должны быть на судне. В связи с этим усиливается актуальность практической подготовки, которая должна проводиться в одобренных лабораторных и тренажерных комплексах морских учебных заведений, отвечающих требованиям (раздел А – I/12) Конвенции.

Актуальность тренажерной практической подготовки определяется еще и тем, что большое количество практических задач и эксплуатационных ситуаций по управлению сложными судовыми системами и комплексами, в силу объективных причин, связанных с режимом эксплуатации судна и обеспечением его живучести и безопасности, не могут быть реализованы на судне в достаточном для будущего специалиста объеме.

Поэтому разработка и создание специализированных, реально функционирующих (не виртуально) и максимально приближенных к судовой конфигурации тренажерных комплексов на базе реального оборудования и современных микроконтроллерных технологий управления, позволит решить очень важные задачи подготовки будущих судовых инженеров [3, 5, 6].

**Материалы и результаты исследований.** Основная идея и подход, на которые мы опирались при разработке и создании тренажерного комплекса, состоят в том, что адекватность воспроизведения эксплуатационных ситуаций по техническому обслуживанию и использованию судового оборудования и средств автоматики, на которые акцентирует Конвенция, по нашему мнению возможна и целесообразна только на реальном оборудовании. Поэтому в практической подготовке судовых электромехаников и механиков также должно использоваться только реально функционирующее и максимально приближенное к современной конфигурации судовое оборудование и средства автоматизации, причем одобренные основными Морскими Классификационными Обществами, и, следовательно, применяемые на судах. Более того именно конкретные судовые технические средства и системы, а не их виртуальные аналоги, являются объектами приложения профессиональной деятельности судовых электромехаников и механиков, на которые в основном направлено их внимание и безаварийное функционирование которых необходимо обеспечивать.

Реализуя указанную выше идею и подход при полном соответствии всем требованиям Конвенции (раздел А – I/12) к тренажерам подобного типа на кафедре судовой электромеханики и электротехники Одесской национальной морской академии разработан и создается тренажерный комплекс, состоящий из тренажера судовой автоматизированной электроэнергетической системы (САЭЭС) и тренажера микроконтроллерного управления и моделирования электромеханическими системами (МУМЭМС).

Тренажеры комплекса предназначены для обучения и проверки компетентности курсантов и студентов морских учебных заведений, а также подготовки и проверки компетентности судовых специалистов (механи-

ков и электромехаников) по несению вахты и обслуживанию современных интегрированных систем автоматического управления судовой электростанцией и отдельными судовыми электромеханическими системами, включая высоковольтные системы. Тренажеры адекватно воспроизводят эксплуатационные ситуации по техническому обслуживанию и использованию реального судового оборудования и средств автоматики, обеспечивают подготовку по мониторингу, контролю и управлению дизель-генераторными агрегатами в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах работы электростанции, контролю и управлению электромеханическими системами, а также решению задач параметрирования, визуализации и т.п. Кроме комбинаций режимов мониторинга, контроля и управления в тренажерах предусмотрена возможность имитации различных неисправностей, что позволяет сконцентрировать внимание обучаемого на работе системы автоматического управления в аварийных ситуациях и отработать действия вахтенного в условиях поиска, локализации и устранения неисправностей оборудования [7 – 10].

Гибкость конфигурации оборудования и системы автоматики тренажерного комплекса расширяет функциональные возможности по его модернизации, интегрированию дополнительного оборудования и программных продуктов отдельных элементов и устройств. Все оборудование комплекса, включая отдельные элементы, а также средства автоматики объединены в единую коммуникационную управляющую и информационную сеть с поддержкой основных коммуникационных протоколов, используемых на судах, таких как Modbus, Fieldbus, CANopen, Ethernet, CC-Link а также с возможностью удаленного управления, мониторинга и передачи данных.

Программируемый логический контроллер Modicon M340 фирмы Schneider Electric с модулями расширения и соответствующей средой для программирования Unity Pro S v.7.0 выбран в качестве платформы для визуализации и дистанционного управления режимами работы всего тренажерного комплекса или его отдельных устройств. Диспетчерское (операторское) управление и сбор режимных данных оборудования тренажера, а также организация и проведение непосредственного учебного процесса практической подготовки и оценки компетентности обучаемых осуществляется посредством специализированного программного обеспечения – SCADA Expert Vijeo Citect V7.40.

Тренажер САЭЭС состоит из главного распределительного щита (ГРЩ), трех основных и одного аварийного генераторных агрегатов, судовых потребителей электроэнергии, 13 пользовательских рабочих мест операторов и двух рабочих мест преподавателей (инструкторов).

Главный распределительный щит состоит из 14-ти секций (из которых 4 секции высоковольтного оборудования): двух секций синхронных генераторов (№ 1, № 2); секции синхронизации и управления; секции асинхронного генератора и регулирования реактивной энергии ( $\cos \varphi$ ); секции группы потребителей № 1 и секции аварийного (стояночного) генератора. Первые семь секций ГРЩ приведены на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид 1 – 7 секций главного распределительного щита

Секции 8 – 10 группы потребителей № 2, а также секции 11 – 14 высоковольтных потребителей (рис. 3) расположены в другом помещении тренажерного комплекса. Секции групп потребителей с одной стороны представляют собой автоматизированные электро-механические системы отдельных судовых механизмов с их типовой нагрузкой, с другой – отдельные судовые комплексы или, например, отдельную лабораторию.

Функциональная схема одной такой электро-механической системы с PLC – управляемой нагрузкой представлена на рис. 2.

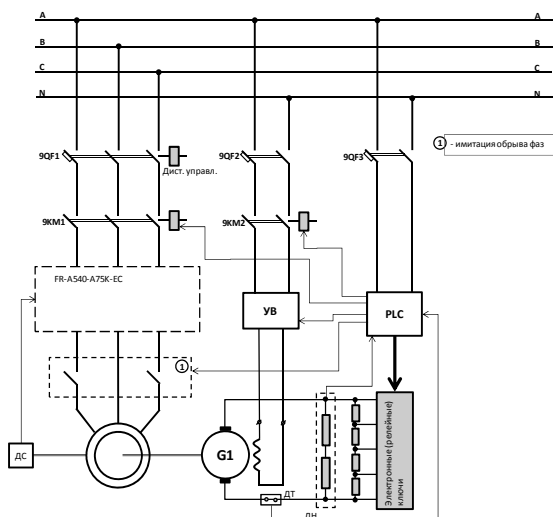


Рис. 2. Функциональная схема типового электро-механического модуля

В качестве силовых преобразователей таких электро-механических модулей используются различные преобразователи, например, частотные преобразователи FR – A740, FR – A540, Altivar 71 фирм Mitsubishi Electric и Schneider Electric. Рабочим механизмом (нагрузкой) каждого из электродвигателей служит

нагрузочный генератор постоянного тока, соединенный с его валом, нагрузка которого в свою очередь имитируется подключением с помощью соответствующего микроконтроллера нагрузочных резисторов по определенному алгоритму, соответствующему характерной нагрузке реального судового механизма.

Система автоматического управления судовой электростанцией (Power Management System, PMS) выполнена на базе микроконтроллеров C6200 и M2500 фирмы SELCO, микроконтроллеров PPM фирмы DEIF, встроенных в каждую генераторную секцию, а также секцию питания с берега.

Основная электростанция состоит из двух дизель-генераторных агрегатов модели GMS10PX фирмы Powerlink Machine Co, номинальной мощностью генераторов 8 кВт, напряжением 380/220 В. Приводные двигатели синхронных бесщеточных генераторов № 1 и № 2 – дизели типа PX380G.

Управление дизелями осуществляется микроконтроллерами M2500 фирмы SELCO, которые встроены в каждую секцию синхронного генератора. Третьим основным генератором является асинхронный валогенератор (АВГ) на базе серийной асинхронной машины типа АИР 100S4 с конденсаторным возбуждением мощностью 3,0 кВт. Приводной двигатель АВГ (на реальном судне главный двигатель судна) – асинхронный электродвигатель типа АИР 100 L4, мощностью 4,0 кВт. Для питания и управления приводным электродвигателем АВГ (т.е. имитацией поведения гребного вала на реальном судне в зависимости режима работы главного двигателя, погодных условий плавания и т.п.) используется преобразователь частоты фирмы Schneider Electric Altivar 71.

Пример визуализации SCADA управления и мониторинга тренажерным комплексом представлен на рис. 4.



Рис. 3. Высоковольтные секции главного распределительного щита

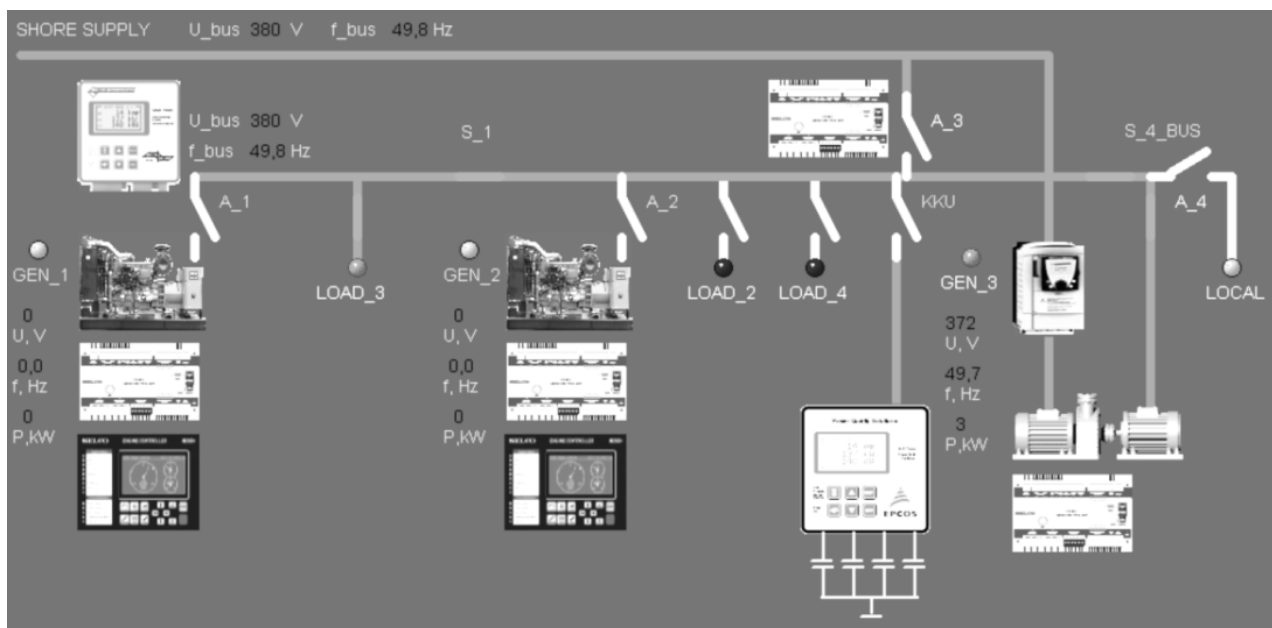


Рис. 4. Пример визуализации SCADA управления и мониторинга тренажерным комплексом

Краткий перечень задач, решаемых на тренажерном комплексе:

1. Отработка навыков по анализу современных судовых автоматизированных электроэнергетических систем, современной компоновки САЭЭС, схем распределения электроэнергии, включая высоковольтные. Изучение и практическая отработка действий оператора в различных режимах управления электростанцией. Аварийные сообщения и работа оператора с журналами аварий и событий. Изучение особенностей настройки защит и параметров регуляторов, генераторных автоматов. Отработка вопросов подключения и настройки микроконтроллеров для решения задач автоматизации типовых электростанций. Изучение и настройка защит и параметров регуляторов высоковольтных систем. Экономичная и безопасная эксплуатация дизель-генераторов, валогенераторов, аппаратов и устройств систем распределения. Анализ ситуаций и практической отработки действий оператора при различных способах управления в различных режимах работы электростанции, включая аварийные. Отработка алгоритмов автоматизации типовых электростанций и настройки микроконтроллеров. Настройка защит и параметров регуляторов с использованием соответствующего программного обеспечения, поиск и устранение неисправностей.

2. Получение навыков работы с современными программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) на базе контроллеров фирм Mitsubishi Electric, DEIF, SELCO, EPCOS, Schneider Electric серий Alpha2, Q, FX3U, TeSYS U, Modicon M340, C6200, M2500, PPM, BR7000 и др. на примерах управления различными судовыми системами и комплексами. Знакомство с программой для конфигурации микроконтроллеров. Настройка и мониторинг микроконтроллера с помощью сервисного программного обеспечения. Состав и загрузка файлов конфигурации в микроконтроллер. Подключение к микроконтроллерам и использование дополнительных устройств (панели оператора, удаленного дисплея, ПК). Разработка типовых программ для ПЛК различных типов, направленных на решение конкретных судовых задач.

3. Приобретение навыков технического использования и обслуживания современных информационных и управляющих систем. Изучение и настройка параметров коммуникационных протоколов обмена данными между микроконтроллерами, отдельными локальными объектами управления, с системой дистанционного управления и мониторинга, используя реальное оборудование и средства автоматизации.

4. Использование современных энергосберегающих технологий, применяемых на судах, на примерах частотно-управляемых электроприводов различных судовых механизмов и систем, системы динамической компенсации реактивной энергии и повышения коэффициента мощности судовой электроэнергетической установки.

Тренажерный комплекс полномасштабной судовой автоматизированной электроэнергетической системы спроектирован также и для обеспечения научной и научно-технической подготовки магистров, аспирантов и докторантов, проведения фундаментальных и прикладных исследований в области эксплуатации и автоматизации морских транспортных средств. Это, безусловно, будет также способствовать повышению качества образования и подготовки научных кадров.

**Основные направления** научно - исследовательских работ, которые выполняются на базе оборудования тренажерного комплекса следующие:

1). Повышение эффективности работы судовой электроэнергетической установки путем оптимальной компоновки электростанции с системой динамической компенсации реактивной энергии, решением проблем электромагнитной совместимости силового оборудования и систем управления.

2). Энергосбережение средствами судового автоматизированного электропривода, создание интеллектуальных систем управления судовыми автоматизированными электромеханическими системами и комплексами.

3). Создание интеллектуальных систем контроля, управления и мониторинга судовыми энергетическими установками – главными и вспомогательными, включая отдаленный мониторинг.

**Выводы.** Тренажер полномасштабной САЭЭС, обеспечивающий практическую подготовку и проверку компетенций офицеров машинной команды по функциям «Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления», и «Техническое обслуживание и ремонт» всецело отвечает требованиям раздела А-1/12 Кодекса ПДНВ 78 с Манильскими поправками, выполнен на реальном оборудовании и средствах автоматизации, отвечает реальной конфигурации и компоновке судовой автоматизированной электростанции с реальными потребителями и типовой нагрузкой.

Тренажер соответствует целям и задачам подготовки, а также целям и задачам проверки компетентностей офицеров машинной команды.

Тренажер воспроизводит реальные условия эксплуатации САЭЭС для получения обучаемым навыков технического обслуживания и ремонта, отвечающих целям подготовки, а также позволяет продемонстрировать эти навыки для целей оценки компетентностей.

Тренажер обеспечивает контролируемую эксплуатационную обстановку, включая нештатные и аварийные ситуации, отвечающие целям и задачам подготовки, а также позволяет имитировать различные эксплуатационные ситуации.

Тренажер обеспечивает возможность обучаемому с любого компьютеризированного рабочего места или непосредственно с помощью реальных органов управления управлять как электростанцией, так и отдельными электромеханическими объектами в автоматизированном или автоматическом режимах работы, проследить за рабочими парамет-

рами объектов управления. На тренажере также предоставляется доступ обучаемого к учебно-методическим и справочным материалам.

Тренажер обеспечивает возможность преподавателю (инструктору) отслеживать и регистрировать действия обучаемого с целью дальнейшего анализа допущенных ошибок.

Указанные тренажеры выполнены с возможностью удаленного управления, мониторинга и дистанционного доступа к учебно-методическим и справочным материалам.

Таким образом, тренажер полномасштабной САЭЭС спроектирован и создан для обучения курсантов и студентов морских учебных заведений, а также подготовки и проверки компетентности судовых специалистов (механиков и электромехаников) по несению вахты и обслуживанию современных интегрированных систем автоматического управления судовой электростанцией и отдельными электромеханическими системами и комплексами, что соответствует функциям «Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления» и «Техническое обслуживание и ремонт» стандартов А-III/1, А-III/2, А-III/6 Международной Конвенции ПДНВ 78 с Манильскими поправками.

Будущий судовой инженер, изучив реально функционирующее, сложное оборудование, получает достаточные знания, позволяющие ему эффективно реализовывать требуемые функции управления, технической эксплуатации, задачи диагностики, параметризации, что весьма актуально для современного морского специалиста. Это, несомненно, повысит безопасность эксплуатации судна и оборудования, а также позволит оперативно решать конкретные инженерные задачи.

Программа тренажерной подготовки полностью охватывает минимальные компетенции, знания, понимания и профессионализм, указанные в разделе А-III/6 Международной Конвенции ПДНВ 78 для судовых электромехаников, а также в разделе А-III/1 и А-III/2 для судовых механиков. Поэтому время обучения на подобных, реально функционирующих и максимально приближенных к судовой конфигурации тренажерных комплексах, имеющих сертификат морских Классификационных Обществ, может быть зачтено в общем 12-ти месячном цензе практической подготовки будущих электромехаников и механиков. Это важно, если иметь в виду, что в судовых условиях не всегда есть возможность имитации всевозможных аварийных ситуаций и режимов.

#### Список использованной литературы

1. Ланчуковский В. И. Безопасное управление судовыми энергетическими установками: учебник / В. И. Ланчуковский. – Одесса : Астропринт, 2004. – 232 с.
2. International Convention on Standards of Training, Certification and watch Keeping for Seafarers, (1978) (STCW 1978), London, *IMO, 2011*, 296 p.

3. 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: научно-технический журнал.*–Харьков : ХАИ. – 2011. – № 9(86). – С. 207 – 211.

4. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 (консолідований текст з манільськими поправками) – К. : ВПК «Експрес – Поліграф», 2012 – 568 с.

5. Feng X., Butler-Purry K.L., and T. Zourntos, (2011), Multi-agent System-Based Real-Time Load Management for Next Generation Integrated Power Systems for Ships, *IEEE Trans. Power Syst.*, May 2011, Vol. 27, No. 3, pp. 678 – 696.

6. Butler-Purry K.L., and N/D/R/ Sarma, (2003), Intelligent Network Configuration of Shipboard Power Systems, in *Proc. 2003 IEEE/PES General Meeting*, July 2003, pp. 13 –17.

7. Ruffel R., et. al., (1995), RTDS-a Fully Digital Power System Simulator Operating in Real-Time: *Proc. Of the WESCANEX95. Comm., Power, and Computing, IEEE*, Vol.2, 1995, pp. 300 – 305.

8. Hollman J.A., and Marti J.R., (2003), Real-time Network Simulation with PC-Cluster, *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 18, pp. 563 – 569.

9. Davey K., and Hebnee R., (2004), Reconfiguration of Ship Power Systems, *IASME Transactions*, Issue 2, Vol. 1, April 2004, pp. 241 – 246.

10. Crapse P., Wang J., Abrams J., Shin Y.J., and R. Dougal, (2007), Power Quality Assessment and Management in an Electric Ship Power System, *Proc. of IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, May 2007.

Получено 18.07.2014

#### References

1. Lanchukovky V.I. Bezopasnoe upravlenie sudovymi jenergeticheskimi ustanovkami: uchebnik [Safe Management of Ship Power Plants], (2004), *Textbook*, Odessa, *Astroprint*, 232 p. (In Russian).
2. International Convention on Standards of Training, Certification and watch Keeping for Seafarers, (1978), (STCW 1978), London, *IMO, 2011*, 296 p.
3. Mukha N., Drankova A., Voloshin V., Miska A., Dudko S. Trenazher sudovoj avtomatizirovannoj jelektrojenergeticheskoy sistemy [Simulator of Ship Automated Power Management System], (2011), *Aerospace Engineering and Technology: Scientific and Technical Journal*, Kharkov, Ukraine, *KHAI*, No. 9(86), pp. 207 – 211 (In Russian).
4. Mizhnarodna konvencija pro pidgotovku i diplovuvannja morjakiv ta nesennja vahti 1978 (konsolidovaniy tekst z manil's'kimi popravkami), [International Convention on Standards of Training, Certification and watch keeping for Seafarers, 1978 (Consolidation text with Manila Amendments)], (2012), Kiev, Ukraine, *VPK "Expres-Poligraf"*, 568 p. (In Ukrainian).

5. Feng X., Butler-Purpy K.L., and T. Zourntos, (2011), Multi-Agent System-Based Real-Time Load Management for Next Generation Integrated Power Systems for Ships, *IEEE Trans. Power Syst.*, May 2011, Vol. 27, No. 3, pp. 678 – 696.

6. Butler-Purpy K.L., and N/D/R/ Sarma, (2003), Intelligent Network Configuration of Shipboard Power Systems, in *Proc. 2003 IEEE/PES General Meeting*, July 2003, pp. 13 –17.

7. Ruffel R., et. al. (1995), “RTDS-a fully Digital Power System Simulator Operating in Real-Time: Proc. Of the WESCANEX95. *Comm., Power, and Computing, IEEE*, Vol.2, 1995, pp. 300 – 305.

8. Hollman J.A., and Marti J.R., (2003), Real-time Network Simulation with PC-cluster, *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 18, pp. 563 – 569.

9. Davey K., and Hebnee R., (2004), Reconfiguration of Ship Power Systems, *IASME Transactions*, Issue 2, Vol. 1, April 2004, pp. 241 – 246.

10. Crapse P., Wang J., Abrams J., Shin Y.J., and R. Dougal, (2007), Power Quality Assessment and Management in an Electric Ship Power System, *Proc. of IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, May 2007.



Муха  
Николай Иосифович,  
канд. техн. наук, доц. каф. судовой электромеханики и электротехники Одесской нац. морской академии,  
ул. Дидрихсона, 8, Одесса, 65029, Украина.  
Тел.: +380503338502.  
E-mail: mykola\_mukha@hotmail.com



Дранкова  
Алла Олеговна,  
канд. техн. наук, доц. каф. судовой электромеханики и электротехники Одесской нац. морской академии,  
ул. Дидрихсона, 8,  
Одесса, 65029, Украина.  
Тел.: +380503917390.  
E-mail: drankova64@hotmail.com