



УДК 629.123:621.31

В. Н. Шелудько, Ю. В. Сентябрев, А. В. Григорьев  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Р. Р. Зайнуллин, С. М. Малышев  
АО «НПЦ „Электродвижение судов“» (Санкт-Петербург)

## Научно-экспериментальный комплекс физических моделей судовых электроэнергетических систем и систем электродвижения нового поколения

*Приведено краткое описание научно-экспериментального комплекса физических моделей судовых электроэнергетических систем и систем электродвижения. Комплекс создан на кафедре систем автоматического управления факультета электротехники и автоматики и предназначен для проведения лабораторных работ студентами и научно-исследовательской работы преподавателями и аспирантами.*

### Научно-экспериментальный комплекс, физические модели, судовая электроэнергетическая система, система электродвижения, лабораторная работа, экспериментальные исследования

В настоящее время в Российской Федерации планируется к постройке большое количество морских и речных судов, а также судов смешанного плавания различного назначения, включая суда снабжения и ледоколы, танкеры и газовозы, буксиры и паромы, научно-исследовательские и рыбопромысловые суда. На большинстве судов предполагается применение единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) на базе системы электродвижения (СЭД) [1].

Проектирование ЕЭЭС с СЭД – новая, достаточно сложная многокритериальная задача. Выбрать для конкретного судна наилучшую с точки зрения разных, порой противоречивых критериев ЕЭЭС с СЭД без проведения всестороннего изучения объекта на физической модели практически невозможно. Использование только компьютерных моделей для решения данной проблемы недостаточно. Вместе с тем, в проектных и научно-исследовательских организациях отрасли существует дефицит высококвалифицированных специалистов и инженеров в области судовой электротехники.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“ им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ») готовит специалистов по проектированию судовых и электроэнергетических комплексов.

С целью повышения уровня материально-технической базы и всестороннего изучения физических процессов, протекающих в судовых электроэнергетических системах и гребных электрических установках современных судов, на кафедре систем автоматического управления создан современный научно-экспериментальный комплекс автоматизированных ЭЭС и СЭД. Работа выполнена АО «НПЦ „Электродвижение судов“» при активном участии сотрудников кафедры.

Научно-экспериментальный комплекс автоматизированных ЭЭС и СЭД может быть использован как для экспериментальных научных исследований в области судовой электротехники, так и в учебном процессе. Следует отметить, что в научно-исследовательских организациях и вузах судостроительной и морской отрасли России, которые занимаются научными исследованиями и подготовкой специалистов в области судовой электротехники, в настоящее время отсутствуют современные

научные и учебные лабораторные комплексы, позволяющие изучать физические процессы в ЕЭЭС и СЭД нового поколения [2].

Современная материально-техническая база и заложенные на стендах алгоритмы управления позволяют не только обучать бакалавров, магистров и аспирантов, но и осуществлять послеузовскую подготовку инженеров и преподавателей высших учебных заведений, а также проводить курсы повышения квалификации сотрудников морских проектных бюро и классификационных обществ судостроительной отрасли.

В состав научно-экспериментального комплекса входят 10 лабораторных стендов, которые представляют собой физические модели современных и перспективных ЕЭЭС и СЭД. Физические модели СЭД реализованы на материально-технической базе ведущего мирового производителя в области электротехники и электроники – компании «Siemens».

Концептуально лабораторные стенды разделены на физические модели СЭД и гребных электрических установок (ГЭУ) и физические модели ЕЭЭС.

В составе лабораторных стендов СЭД и ГЭУ входят все современные типы гребных электродвигателей включая асинхронные, синхронные с возбуждением от постоянных магнитов и индукторные.

В качестве полупроводниковых преобразователей применяются преобразователи со звеном постоянного тока на базе неуправляемых, управляемых и активных выпрямителей и автономных инверторов напряжения.

В составе лабораторных работ по ЕЭЭС входят физические модели вентильных генераторов и валогенераторов, судовые электростанции с распределением электроэнергии на постоянном и переменном токе.

Отличительной особенностью лабораторного комплекса служит возможность соединения в единую автономную электроэнергетическую систему различных физических моделей и создание ЕЭЭС с СЭД.

Среди созданных лабораторных стендов следует отметить ЕЭЭС с СЭД с распределением электроэнергии на постоянном токе и комбинированный пропульсивный комплекс на базе обратимой валогенераторной установки как наиболее перспективные типы судовых электротехнических систем.

**Судовая электростанция с распределением электроэнергии на постоянном токе.** Для ледоколов, вспомогательных судов ледового плавания и судов специального назначения наиболее перспективное в настоящее время схмотехническое решение построения ЕЭЭС представляет система с распределением электроэнергии на постоянном токе.

В данной системе в качестве источников электроэнергии применяются вентильные генераторные агрегаты, состоящие из приводных двигателей (дизель, турбина), генераторов переменного тока и полупроводниковых выпрямителей (В) [3]. От главного распределительного щита (ГРЩ) электроэнергия поступает к ГЭУ, состоящей из полупроводникового инвертора (И), гребного электродвигателя (ГЭД) переменного тока и движителя (гребного винта или винто-рулевой колонки).

На рис. 1 на примере двухвального судна с двумя главными дизель-генераторами (ГДГ) представлены варианты построения структурных схем ЕЭЭС с распределением электроэнергии на постоянном токе для СЭД с прямой передачей вращающего момента на винт и подруливающим устройством (ПУ) (рис. 1, а) и для СЭД с двумя механическими винто-рулевыми колонками (ВРК) (рис. 1, б).

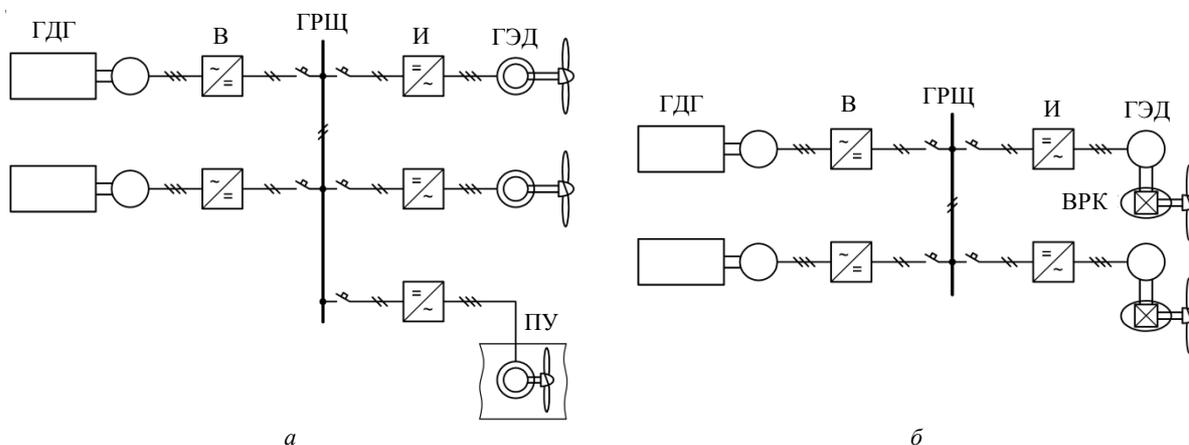


Рис. 1

Применение ЕЭЭС с распределением электроэнергии на постоянном токе имеет ряд достоинств, среди которых следует выделить [4], [5]:

- повышение качества электроэнергии в судовой сети;
- улучшение массогабаритных показателей за счет исключения из схемы силовых трансформаторов;
- повышение КПД генераторных агрегатов за счет регулирования приводных двигателей с переменной частотой вращения с минимизацией удельного расхода топлива;
- упрощение систем автоматического управления ЕЭЭС за счет распределения только активной мощности при параллельной работе вентильных генераторов, при этом для синхронизации генераторов нет необходимости контролировать равенство частот и сдвиг по фазе.

Структурная схема стенда ЕЭЭС с СЭД с вентильными генераторными агрегатами (ВГА) и распределением электроэнергии на постоянном токе представлена на рис. 2.

Распределительный щит (РЩ) получает питание от трехфазной сети переменного тока через разделительный трансформатор (Тр). Физическая модель ГДГ представляет собой электромашинный агрегат с асинхронным электродвигателем (АД) и синхронным генератором (СГ). Управле-

ние частотой вращения АД осуществляет преобразователь частоты (ПЧ). Электроэнергия постоянного тока на главный распределительный щит (ГРЩ) поступает через полупроводниковый выпрямитель (В). Функцию распределения мощности между СГ1 и СГ2 выполняет система управления судовой электростанцией (СУ СЭС). Регулирование частоты и напряжения СГ осуществляют системы автоматического регулирования частоты (САРЧ) и напряжения (САРН).

Программируемый логический контроллер (ПЛК) позволяет отображать видеоклады ЕЭЭС с СЭД на мониторе персонального компьютера. От ГРЩ через полупроводниковый инвертор (И) получает питание лабораторный стенд ГЭУ. В качестве ГЭУ используется автономный инвертор напряжения, питающий ГЭД. В качестве физической модели гребного винта используется электрическая машина переменного тока с полупроводниковым преобразователем.

Физическую модель гребного винта реализует нагрузочный двигатель (НД), который работает в режиме генератора. Электроэнергия от НД через полупроводниковый преобразователь ПЧ3 поступает на распределительный щит нагрузочного двигателя (РЩ НД). Микропроцессорная система управления (МПСУ) регулирует нагрузку ГЭД, изменяя значения напряжения и частоты тока, подаваемых на НД.

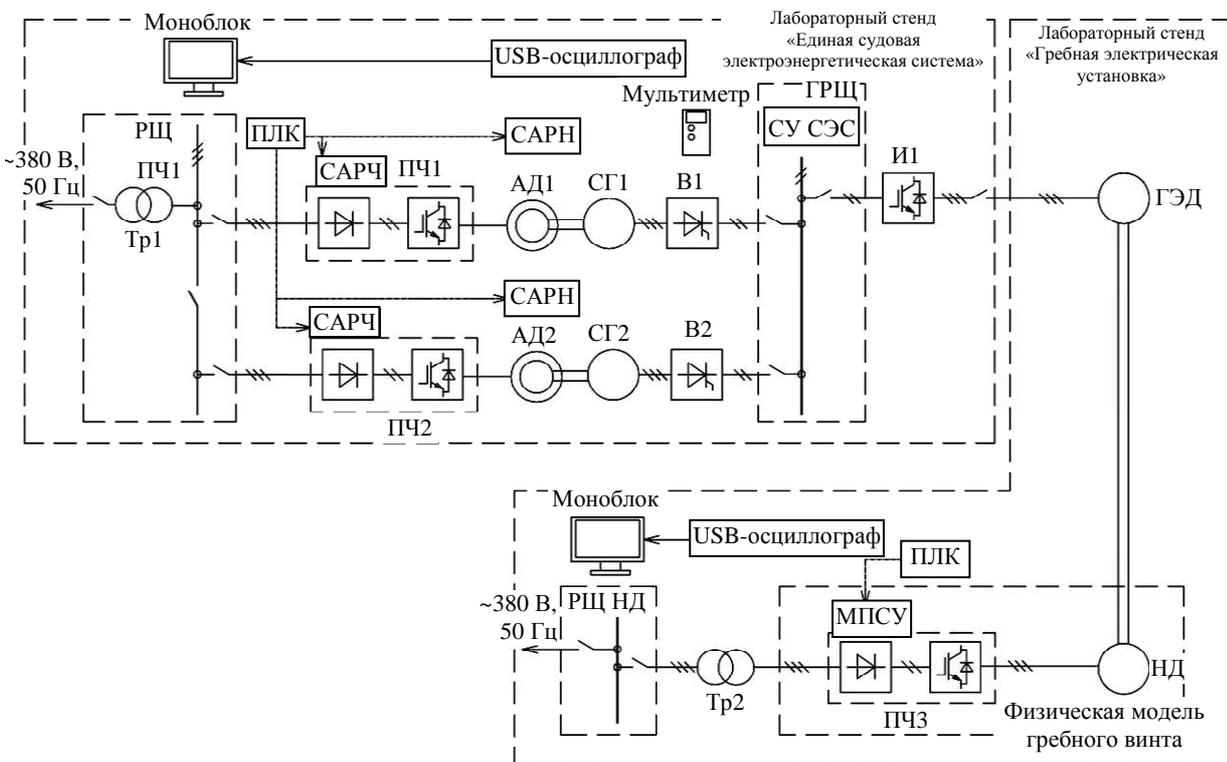


Рис. 2

На данном электротехническом стенде планируется проведение экспериментальных исследований установившихся и переходных процессов в ЕЭЭС с СЭД с целью изучения свойств объекта и разработки оптимальных алгоритмов управления сложным электротехническим объектом.

На VI Международном форуме «Морская индустрия России-2016» научно-экспериментальный комплекс судовых электроэнергетических систем, разработанный АО «НПЦ „Электродвижение судов“» совместно СПбГЭТУ «ЛЭТИ», получил диплом и золотую медаль за лучшее техническое решение в области судостроения и морской техники гражданского назначения в номинации «Проектирование и инжиниринг в области судостроения и судового оборудования».

Выводы:

1. На кафедре САУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» создан научно-экспериментальный комплекс физических моделей современных и перспективных ЕЭЭС с СЭД. В настоящее время комплекс физических моделей ЕЭЭС и СЭД не имеет аналогов в учебных и научных заведениях Российской Федерации. В комплексе наиболее полно на физических моде-

лях реализованы все современные и перспективные ЕЭЭС и СЭД, на которых возможно проведение экспериментальных исследований установившихся и переходным режимов эксплуатации.

2. Комплекс физических моделей ЕЭЭС с СЭД планируется использовать как в учебном процессе на факультете электротехники и автоматики, так и для проведения научно-исследовательской работы в области судовой электротехники. На лабораторном комплексе возможно проведение экспериментальных исследований с целью обоснования технических решений при проектировании ЕЭЭС и СЭД и разработки алгоритмов управления сложными электротехническими объектами.

3. Разработанные физические модели целесообразно использовать для повышения квалификации специалистов отрасли, научных сотрудников и преподавателей высших учебных заведений. Необходимо отметить, что с использованием физических моделей ЕЭЭС и СЭД возможна отработка алгоритмов функционирования микропроцессорных систем управления в реальном масштабе времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р. Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2014. № 5 (27). С. 40–46.
2. Григорьев А. В., Штрамбранд В. И., Зайнуллин Р. Р. Целесообразность применения СЭД на судах вспомогательного флота // Морской флот. 2014. № 4. С. 38–40.
3. Григорьев А. В., Колесниченко В. Ю. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2014. № 6 (28). С. 39–43.
4. Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р. Анализ режимов эксплуатации судовых валогенераторных установок с преобразователями частоты и синхронными компенсаторами // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2015. № 3 (31). С. 164–171.
5. Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р. Судовой источник электроэнергии нового поколения // Морской флот. 2015. № 4. С. 42–43.

V. N. Sheludko, Yu. V. Sentyabryov, A. V. Grigoryev  
*Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»*

R. R. Zaynullin, S. M. Malyshev  
*JSC «RPC „Ship Electric Propulsion“» (Saint Petersburg)*

## SCIENTIFIC-EXPERIMENTAL COMPLEX OF PHYSICAL MODELS OF NEW GENERATION SHIP ELECTRIC POWER SYSTEMS AND ELECTRIC PROPULSION PLANTS

*Short description of scientific-experimental complex of physical models of ship electric power systems and electric propulsion plants is given. The complex is made on the Faculty of Industrial Automation and Electrical Engineering and is designed for providing of laboratory works by students and scientific-research work by professors and graduate students.*

**Scientific-experimental complex, physical models, ship electric power system, electric propulsion plant, laboratory work, experimental research**