

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ: ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ. КОНЦЕПЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

ЮРИЙ ГУБАНОВ

[gubanovelectro21@gmail.com](mailto:gubanovelectro21@gmail.com)

Комплексная автоматизация в XX в. оказала определяющее влияние на развитие всех технических систем кораблей и судов. В последнее десятилетие развитие теории и практики управления электроэнергетикой идет в направлении углубления вертикальной интеграции корабельных электротехнических систем на базе высокоэффективных цифровых технологий.

## ВВЕДЕНИЕ

Электрификация кораблей и судов, к которой Россия приступила еще в первой половине XIX века, явилась в тот период локомотивом прогресса в электроэнергетике [1]. Можно вспомнить, что вопрос об электрификации России был прямо поставлен только в 1920 г. на VIII съезде Советов, тогда как к началу XX в. уже были электрифицированы все боевые корабли Императорского Российского флота, в том числе не только в части осветительных сетей и систем вентиляции и осушения, но и оборудования для погрузочно-разгрузочных операций, а также для боевых систем и даже для средств электродвижения. Аналогичное положение складывалось и в области автоматизации

электрооборудования кораблей, к которой русские морские инженеры приступили еще до начала Первой мировой войны. Продвижение работ на этапе автоматизации было остановлено Гражданской войной, однако в советский период, когда развитию отечественного флота уделялось достаточное внимание, технический уровень корабельной электроэнергетики снова занял лидирующие позиции: к 1954 г. был практически завершен этап локальной автоматизации электроэнергетических систем (ЭЭС) кораблей; к началу 60-х гг. был решен вопрос оснащения корабельных ЭЭС системами дистанционного автоматизированного управления и начат этап комплексной автоматизации кораблей.

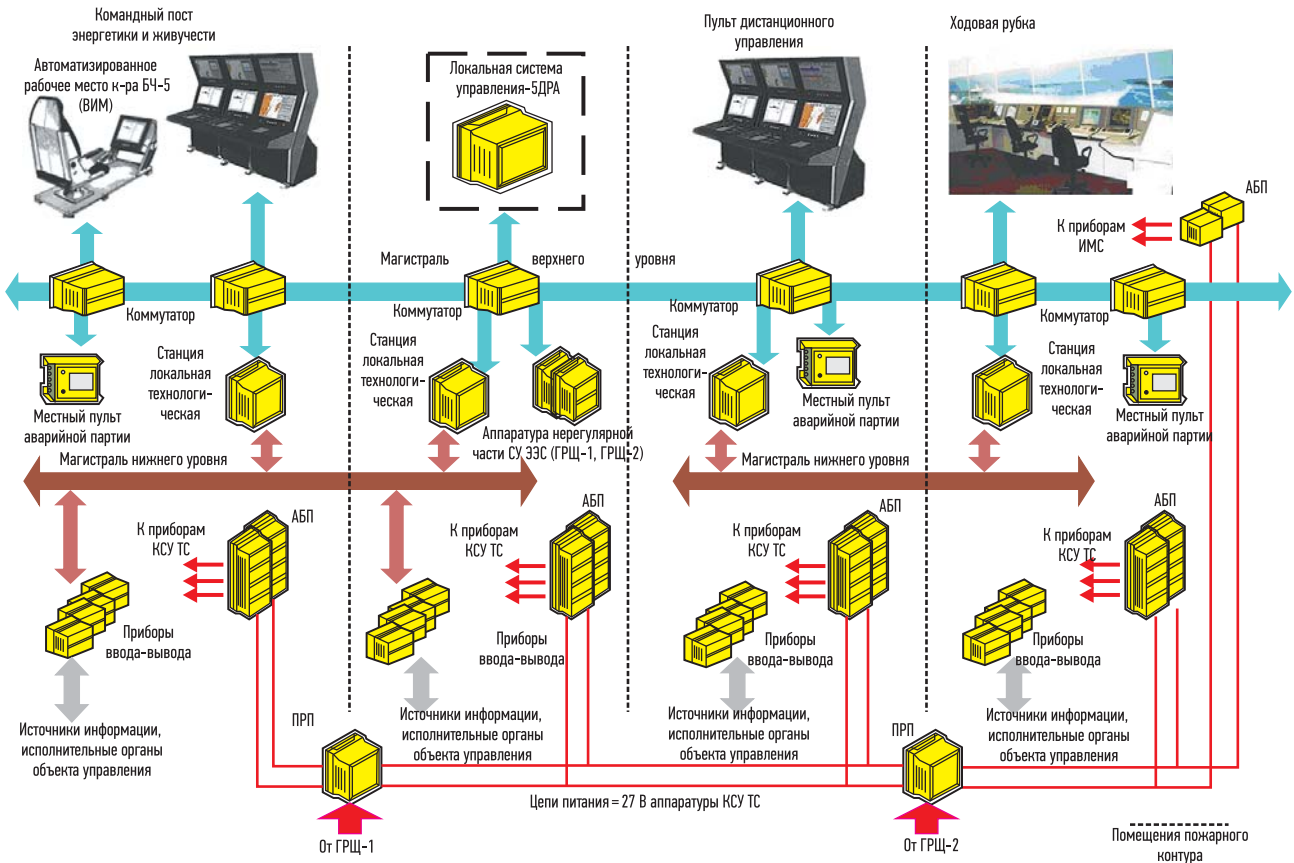
## КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Комплексная автоматизация в XX в. оказала определяющее влияние на развитие всех технических систем кораблей и судов. Ее особенностью в нашей стране является то, что начало данного этапа было директивно задано (обычно его связывают с решением о начале создания атомной подводной лодки проекта 705, судьба которого широко обсуждается в литературных источниках [2]). Особую историю имеет создание комплексных систем управления техническими средствами (КСУ ТС), которое с самого начала их проектирования по настоящее время осуществлялось и осуществляется НПО «АВРОРА».

В соответствии с традициями, заложенными комплексной автоматизацией, под определение ТС попало все корабельное оборудование, предназначенное для обеспечения хода, маневрирования корабля и стабилизации его положения в пространстве, выработки и распределения всех видов энергии, создания условий обитаемости и жизнеобеспечения экипажа и условий для нормального функционирования оборудования и аппаратуры, а также для обеспечения борьбы за живучесть корабля. Далее все ТС оказались поделенными на функциональные комплексы (например, уже упоминавшийся комплекс технических средств ЭЭС, предназначенный для решения задач выработки и распределения электроэнергии). В ходе комплексной авто-

▼ Атомная подводная лодка проекта 705





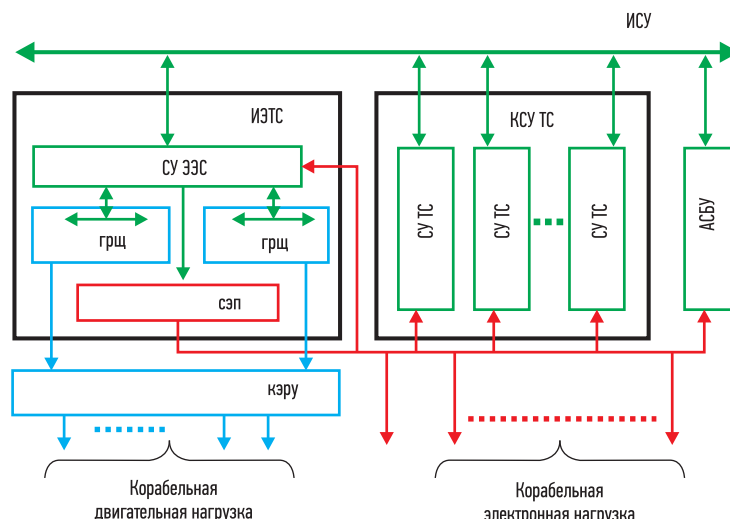
матизации аналогичными системами управления, поставляемыми в составе КСУ, был оснащен функционально полный ряд ТС кораблей и судов. Сами КСУ ТС образовали новый класс корабельных потребителей — электронную нагрузку, для которой в составе КСУ ТС были созданы и успешно эксплуатировались корабельные системы электропитания.

Структура современной КСУ ТС предполагает объединение достаточно разнородных функциональных комплексов в единое информационное пространство на основе современных быстродействующих цифровых интерфейсов магистральной или кольцевой архитектуры. Приборы распределения питания и агрегаты бесперебойного питания позволяют управлять имеющимися ресурсами электроэнергии с целью эффективного обеспечения бесперебойного электроснабжения КСУ ТС [3].

Организация единого совокупного информационного пространства обеспечила переход на новый уровень проектирования интегрированных систем управления (ИСУ).

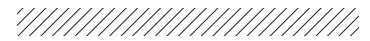
В ИСУ, помимо информационно-го объединения разнородных систем управления ТС одного уровня (горизонтальная интеграция), обеспечивается аналогичное объединение с системами нижнего уровня в составе управляемого оборудования (вертикальная интеграция) и внешними по отношению к КСУ ТС корабельными системами и комплексами [4].

Концепция интеграции, в основу которой положена идея объединения информационных и энергетических ресурсов всех технических систем на основе современных цифровых технологий, в настоящее время становится ведущей концепцией проектирования корабельных электротехнических систем.



▲ Структура КСУ ТС

◀ Интегрированные системы управления



В последнее десятилетие развитие теории и практики управления электроэнергетикой кораблей шло в направлении углубления вертикальной интеграции корабельных электротехнических систем на базе высокоэффективных цифровых технологий [5]. Наибольший эффект был достигнут при применении быстродействующих цифровых интерфейсов, а также технологий и методов цифровой обработки сигналов (в настоящее время в научнотехнической литературе используется англоязычный термин Digital Signal Processing, DSP).

Для устройств управления корабельными ЭЭС особый интерес представляет возможность непосредственной работы с мгновенными значениями электрических величин [5]. Для реализации этих возможностей был разработан метод связанной цифровой обработки («оцифровки») аналоговых величин, в настоящее время хорошо известный специалистам и получивший название «метод прямого цифрового сканирования». Например, получение этим методом цифрового образа трехфазной системы синусоид корабельной сети главного тока 380 В/50 Гц позволяет передать без искажений по любому адресу в системе управления всю информацию о параметрах сети, вычислить с заданной точностью

значение любого параметра сети для его индикации, регистрации или использования как переменной в алгоритмах.

К настоящему времени применение технологий и методов DSP непосредственно в поставляемой на корабли аппаратуре позволило достичь нового уровня технического совершенства всего спектра составляющих корабельных электротехнических систем, прежде всего их наиболее наукоемких и сложных компонентов: СУ, АБП и устройств системной автоматики главных распределительных щитов корабельных электростанций.

На схеме представлена ИСУ, обеспечивающая условия для проведения вертикальной интеграции корабельных электротехнических систем. Зеленым цветом выделены информационные связи между подсистемами. Голубым (переменный ток) и розовым (постоянный ток) цветами выделены связи по электропитанию. Разбиение корабельной нагрузки на электронную и двигательную, при всей условности выбранных терминов, достаточно правильно отражает объективно существующие различия. Следует отметить, что такое деление нагрузки всегда признавалось специалистами, и сегодня тем более не может вызвать серьезных возражений. Практика проектирова-

ния и внедрения показала, что создание агрегатов бесперебойного питания, адаптированных к широкому диапазону нагрузок (индуктивной, емкостной, смешанной), возможно, но связано с высокими затратами на их реализацию. На схеме выделен комплект электrorаспределительных устройств, являющийся частью корабельных электротехнических систем, а в качестве внешней системы приведена автоматизированная система боевого управления, характерная для современных кораблей ВМФ.

Развитие интеграционных идей в кораблестроении сегодня закономерно приводит к организации единой электроэнергетики и появлению концепции электрического корабля [7, 8].

## ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕ И ЕДИНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

История электродвижения судов насчитывает немало лет и исторически восходит ко времени царствования императора Николая I. А именно — к 25 сентября 1838 г., когда произошло известное многим событие: академиком Б. С. Якоби в Санкт-Петербурге на Неве были проведены испытания первого судна-электрохода.

С тех пор началась эпоха электрификации кораблей и судов, были последовательно решены следующие задачи:

- Обеспечение электроэнергией собственных нужд кораблей и судов по всем типам нагрузки — осветительной (нагревательной), двигательной и (наконец) электронной.
- Создание кораблей и судов с системами частичного (вспомогательного) электродвижения и полного электродвижения.
- Создание судов с едиными (т. е. объединенными с системами электродвижения) электроэнергетическими системами (ЕЭЭС).

В качестве яркого примера эффективности ЕЭЭС всегда приводят специальное судно — портовый кран. Когда перемещается судно, кран не используется; когда работает кран — не используется система электродвижения. То есть главное условие эффективности — у ЕЭЭС должны быть группы мощных нагрузок, работающих в режиме разделения времени с системой электродвижения. Необходимость

▼ «Звездочка» — судно ВМФ проекта 20180



соблюдения этого условия до последнего времени сдерживала внедрение ЕЭЭС на судах и делала практически нецелесообразным их внедрение на кораблях ВМФ.

Сегодня судостроительная отрасль России имеет значительный опыт создания и внедрения систем электродвижения (в том числе построенных на чисто отечественной технике), например на ледоколах и судах ледового плавания, а также опыт их создания с использованием импортной техники. Имеется также опыт создания и внедрения достаточно развитых и мощных ЕЭЭС на судах.

В последнее время системы электродвижения стали применяться на отечественных судах вспомогательного флота: гидрографах, транспортных судах, спасателях и др. Это связано с необходимостью обеспечения режимов динамического позиционирования (зависания в точке с заданными координатами), которые трудно реализовать неэлектрическими средствами. Созданы и переданы ВМФ, а также находятся на разных стадиях проектирования, изготовления, проведения испытаний и эксплуатации большое количество заказов, среди которых следует выделить транспортно-поисковое подъемное судно «Звездочка», давшее начало большому числу проектов кораблей и судов, которые можно условно отнести к проектам типа 20180. НПО «АВРОРА» создана система управления ЕЭЭС «Ижора» для судов этого типа.

Имеющийся опыт эксплуатации заказов, снабженных этими системами, подтвердил устойчивую работу ЕЭЭС во всех режимах, хорошую маневренность, обеспечение режима динамического позиционирования и высокие эксплуатационные характеристики. Особенностью этих ЕЭЭС является применение традиционного для отечественного кораблестроения диапазона напряжений до 1000 В. Причем в первичной силовой сети применено низковольтное напряжение  $\sim 3 \times 380$  В/50 Гц. Передача электроэнергии к гребным электродвигателям и далее на винт осуществляется с помощью трансформаторов, повышающих напряжение в системах электродвижения до значений 690 или 960 В. Регулирование частоты вращения электродвигателя производится статическими преоб-

разователями частоты. Суммарная мощность систем электродвижения на таких заказах до настоящего времени ограничена величиной 5 МВт.

Опыт, накопленный организацией Россудпрома при создании проектов типа 20180, показал острую необходимость дальнейшего развития вопросов создания корабельных систем силовой электроники и автоматизированного электропривода. Сегодня особую актуальность представляет создание мощных систем электропривода для систем полного электродвижения, создание унифицированного норморяда преобразователей силовой электроники для систем бесперебойного электропитания и согласующих преобразователей систем силовой электроники и автоматизированного электропривода для подключения корабельных механизмов и морского оружия к системе электроснабжения, создаваемой ЕЭЭС. Предпочтительной является техника, обеспечивающая возможности по унификации и наращиваемости за счет применения принципа модульности.

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ

Исследования и проработки, проведенные российскими специалистами, а также имеющийся опыт внедрения ЕЭЭС на кораблях других стран показывает, что для них целесообразность создания ЕЭЭС с системами полного электродвижения определяется большим количеством разнообразных условий, требующих создания принципиально новой концепции.

Можно считать, что «электрический корабль» является на данном этапе новым шагом в развитии корабельной электроэнергетики (в том числе по отношению к созданию судов с ЕЭЭС). Этот шаг должен быть сделан при проектировании новых кораблей.

Сегодня уже определен облик «электрического корабля». Это военный корабль, для обеспечения хода которого используются гребные электродвигатели мощностью в несколько десятков мегаватт, оснащенный:

- системами вооружений, использующих направленную энергию значительных мощностей в импульсных режимах функционирования;

- радиолокационными средствами с высокой скоростью изменения линейного сигнала;
- средствами радиоэлектронной борьбы, обнаружения целей и отражения нападения.

Энергетическую основу таких кораблей составляют ЕЭЭС, включающие в себя высоковольтные системы распределения энергии, компактные модули ее преобразования, модули повышенной емкости генерирования и накопления энергии, а также системы автоматизированного электропривода для управления корабельными механизмами и устройствами. Создание ЕЭЭС, обеспечивающих интеграцию технических систем на основе электрической энергии, стало возможным в результате революционных преобразований в системах генерирования, накопления, преобразования и распределения электроэнергии, а также в области твердотельной электроники большой мощности, системах автоматизации и управления. Основная задача ЕЭЭС — обеспечение работы корабельных потребителей электроэнергии нужного качества и в необходимом количестве. В соответствии с концепцией электрического корабля ЕЭЭС обеспечивает:

- электроснабжение комплексов вооружений и военной техники;
- электроснабжение корабельных систем и механизмов;
- электродвижение корабля.

Структура ЕЭЭС должна обеспечивать применение различного оружия, работу средств обнаружения, функционирование энергоустановки и ход корабля как отдельно, так и совместно, в различных комбинациях. Количество генерируемой на корабле электроэнергии ограничивается мощностью ее источников, и задача состоит в ее рациональном распределении между различными потребителями, подключенными к нагрузке в данный момент времени, в зависимости от решаемых кораблем задач. ●



Список литературы указан в электронной версии статьи.