**Корабельные электроэнергетические установки**

И.Г. Захаров, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Я.Д. Арефьев, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Н.А. Воронович, кандидат технических наук, капитан 1 ранга; О.Ю. Лейкин, кандидат технических наук, капитан 1 ранга

По развитию электроэнергетических систем кораблей ВМФ первыми следует считать работы по их модернизации, проводимые в конце 20-х-начале 30-х годов на боевых кораблях дореволюционной постройки - подводных лодках типа “Акула” и “Барс”, миноносцах типа “Новик”, крейсерах “Червона Украина”, “Красный Крым”, “Красный Кавказ” и линейных кораблях типа “Севастополь”. На некоторых из этих кораблей менялись генераторные агрегаты (в большинстве случаев на более мощные), устанавливались новые потребители электроэнергии, вносились изменения в сети распределения электроэнергии.

Для обеспечения этих работ, а также для нового строительства отечественной промышленностью было начато проектирование и создание электрооборудования для кораблей ВМФ: электрических машин, аппаратов, распределительных устройств в основном для сетей постоянного тока, а также аккумуляторных батарей и другой электротехники.

В 1925г. начато проектирование электроэнергетических систем первых дизель-электрических подводных лодок (ДПЛ), первая из которых типа “Декабрист” была сдана ВМФ в 1930г. В период, предшествующий началу Великой Отечественной войны, проектировались и строились несколько других типов ПЛ.

Для ПЛ были приняты сходные по структуре и отличающиеся только по величине, мощности электроэнергетические системы кораблей (ЭСК) с электродвижением, имеющие в своем составе одну или две группы аккумуляторных батарей напряжением 90-160В и обеспечивающие электроэнергией гребные электродвигатели (ГЭД) и другие потребители при подводном ходе; два дизель-генератора напряжением 110В постоянного тока для обеспечения электроэнергией потребителей (в т.ч. зарядку аккумуляторных батарей) при надводном ходе; два главных распределительных устройства, размещенные в одном отсеке, и один или два ГЭД.

Первыми большими надводными кораблями были лидеры миноносцев проекта 1 и эскадренные миноносцы проекта 7. Головные корабли данных проектов принимались ВМФ в 1936г. Для электроэнергетических систем этих кораблей был принят постоянный ток напряжением НОВ. В качестве источников электроэнергии применялись турбогенераторные агрегаты отечественного производства мощностью по 100кВт - на лидерах и по 50кВт - на эсминцах, дизель-генераторы с импортными дизелями по 50кВт - на лидерах и по 30кВт - на эсминцах. Турбогенераторы располагались в машинных отделениях, дизель-генераторы - в специальных помещениях котельных отделений.

Схемы распределения электроэнергии на этих кораблях были приняты магистрально-фидерными. По отдельным фидерам получали питание наиболее ответственные боевые потребители. Схемы генерирования и распределения электроэнергии исключали возможность включения генераторов на параллельную работу. Главные распределительные щиты (ГРЩ), находящиеся в машинных отделениях, имели двойную систему шин, на которые подавалось питание от разных генераторов, а потребители электроэнергии могли с помощью переключателей подключаться к любым из них. В качестве коммутационных аппаратов были приняты рубильники и переключатели рубящего типа, а также пакетные выключатели и переключатели. В качестве аппаратов защиты использовались трубчатые предохранители. Большинство кабелей на этих кораблях было марки СРМ. Прокладка кабелей производилась на панелях, проход кабелей через переборки осуществлялся с помощью индивидуальных сальников. Все электрические машины, распределительные устройства, кабели и аппараты были отечественного производства.

Следующими, по сроку введения в строй, крупными боевыми надводными кораблями были крейсера проекта 26 (головной крейсер “Киров” вступил в строй в 1938г.). Для электроэнергетических систем (ЭЭС) этих кораблей был принят также постоянный ток, но напряжением 220В. Магистральный принцип распределения электроэнергии сохранялся только для системы освещения. Питание силовых потребителей осуществлялось по фидерно-групповой системе, в связи с чем габариты ГРЩ оказались достаточно большими. Кроме ГРЩ, имелись еще генераторные щиты, расположенные в одних помещениях с генераторами. Шины ГРЩ и генераторных щитов одинарные, секционированные. ЭЭС в свой состав включала четыре турбогенератора (ТГ) по 165кВт каждый, расположенные в машинных отделениях и два дизельгенератора (ДГ) по 165кВт каждый, размещенные в специальных помещениях.

Для прокладки магистральных кабелей по бортам корабля были использованы кабельные коридоры. Электрооборудование крейсера проекта 26 однотипно электрооборудованию лидеров и эскадренных миноносцев проектов 7 и 7У и отличается только по мощности, количеству элементов и их расположению.

Следующей большой серией боевых надводных кораблей были эскадренные миноносцы проекта 7У, головной корабль которой вступил в строй в 1941г. Электроэнергетическая установка этих кораблей по параметрам электроэнергии, принципам ее распределения, типам элементов электрооборудования и его расположению аналогичны электроэнергетическим системам эсминцев проекта 7. На эсминцах данного проекта была увеличена степень электрификации, установлены более мощные генераторные агрегаты, упрощена схема генерирования и распределения электроэнергии за счет уменьшения генераторных агрегатов (два ТГ вместо трех).

Одновременно шло проектирование и постройка опытного, в части ЭЭС, корабля проекта 7УЭ (эсминец “Страшный” - начало проектирования 1936г., вступил в строй в 1941г.). Электроэнергетическая система этого корабля была принята на переменном токе напряжением 220В, частотой 50Гц. Параллельная работа генераторов не предусматривалась. Шины ГРЩ одинарные, секционированные. Расположение генераторных агрегатов аналогично их расположению на кораблях проекта 7У. Отечественной промышленностью для этого корабля было разработано и освоено новое корабельное электрооборудование на переменном токе - синхронные генераторы, электродвигатели различного типа и исполнения с пускателями, имеющими тепловую защиту, трансформаторы и установочные автоматические выключатели, селеновые и купроксные выпрямители и т.п. Задача эта была решена промышленностью успешно, и поставки электрооборудования не задерживали сдачи экспериментального корабля.

Изготовление корабельного электрооборудования переменного тока, его испытание и сдача на корабле проекта 7УЭ - подготовительный этап к переводу ЭЭС всех надводных кораблей на переменный ток. Однако внедрение на надводные корабли сети переменного тока поставило перед промышленностью ряд научных и технических вопросов, которые в конце концов были успешно решены.

Применение электроэнергетических систем кораблей на переменном токе обеспечивало:

- использование асинхронных электродвигателей с вращающимся магнитным полем и короткозамкнутыми роторами, существенно более надежных в сравнении с коллекторными машинами постоянного тока;

- возможность повышения напряжения и снижения токов в силовой электрической сети, снижения напряжения в сетях управления с помощью простых преобразовательных устройств -трансформаторов;

- получение постоянного тока необходимого напряжения статическими преобразовательными устройствами с трансформаторами и выпрямителями;

- снижение токов короткого замыкания в системе непосредственно параметрами сетей и применением в последующем специальных токоограничивающих устройств - аппаратов и схем.

Кроме построенных и ряда недостроенных к началу войны серийных кораблей, в предвоенный период был спроектирован и заложен ряд крупных кораблей, строительство которых с началом войны прекратилось. Это линейные корабли проекта 68 и эскадренные миноносцы проекта 30.

Линейные корабли и тяжелые крейсера имели ЭЭС двойного типа - постоянного и переменного тока. В качестве источников электроэнергии принимались генераторы смешанного тока с приводом от паровых турбин единичной мощностью 1200кВт и от дизелей единичной мощностью 650кВт. Такие генераторные агрегаты корабельного исполнения для тех лет считались очень мощными. Опытные образцы генераторов были изготовлены и даже использовались во время войны на передвижных электростанциях на Ленинградском фронте. Корабли имели по четыре электростанции, размещенные в отдельных помещениях. Распределение электроэнергии было принято по фидерно-групповой схеме. Электрооборудование на эти корабли не устанавливалось, а после войны было принято решение их постройку не возобновлять.

После окончания войны вопрос встал о возобновлении постройки крейсеров проекта 68 и эсминцев проекта 30, но так как они за годы войны устарели, то были выполнены две степени корректировки: для кораблей частично построенных (проекты 30к и 68к) и кораблей, которые не начинались строиться (проекты 30-бис и 68-бис).

В дореволюционное время единого документа, обобщающего требования к электрооборудованию и электросистемам кораблей, не имелось. Опыт предвоенного периода создания кораблей выявил необходимость разработки такого документа. В период 1937-1940гг. специалистами ВМФ и промышленности под руководством офицера Научно-технического комитета (НТК) НКВМФ Б.И.Калганова были разработаны и в 1940г. изданы “Правила электрооборудования кораблей” (“ПЭК-40”).

Опыт Великой Отечественной войны показал высокие технические качества установленного на кораблях электрооборудования. При боевых повреждениях кораблей аварийность электрооборудования, как правило, была ниже, чем механического оборудования и систем вооружения. Если корабли и теряли электроэнергию, то причиной того зачастую был выход из строя первичных двигателей генераторов (узлов, блоков, обслуживающих систем и т.п.), а не самих генераторов. Так, при подрыве на мине крейсера “Киров” одна из электростанций оказалась в районе разрушения корпуса корабля и фактически была затоплена, а другие генераторы и электрооборудование остались работоспособными, но ТГ нельзя было использовать из-за потери источника пара.

Опыт боевой и повседневной эксплуатации корабельного электрооборудования выявил и ряд недостатков.

Низкая ударостойкость электрооборудования: были случаи, когда при боевых повреждениях в оставшихся неповрежденными отсеках или помещениях ломались крепления и отдельные узлы оборудования, автоматические выключатели давали ложные отключения, предохранители выпадали из зажимов, измерительные приборы разрушались. Вместе с тем прочность электротехнических устройств оказалась выше прочности некоторых механизмов и конструкций. Основной причиной этого было, очевидно, то, что для них значительно меньше использовался чугун, а в основном применялась сталь.

Много забот и неприятностей личному составу доставляли коллекторы и щетки машин постоянного тока. Угольные щетки изнашивались гораздо быстрее тех сроков, которые указывались в документах, и загрязняли машины угольной пылью. Коллекторы тоже изнашивались достаточно быстро и загрязняли машины уже медной пылью. Это приводило к снижению сопротивления изоляции машин, а иногда и ее пробоям (чаще всего между отводами коллекторных пластин). Машины и их коллекторы приходилось часто чистить, щетки менять, коллекторы протачивать и шлифовать.

Крейсера проекта 68 и эсминцы проекта 30 были первыми крупными надводными кораблями, построенными после войны, и в то же время последними надводными кораблями, электроэнергетические системы которых создавались на постоянном токе. Степень их электрификации, в сравнении с кораблями проекта 26 и 7У, повысилась незначительно, а у кораблей проекта 30К даже понизилась. Системы распределения электроэнергии на кораблях - фидерно-групповые. По магистральному принципу электроэнергия распределялась только в сетях освещения. ТГ на этих кораблях расположены в машинных отделениях, а ДГ - в специальных помещениях (на крейсерах) и в котельных отделениях (на эсминцах). Поэтому на крейсерах проектов 68К и 68-бис так же, как на крейсерах проекта 26, кроме защитных аппаратов на ГРЩ, были приняты автоматические выключатели; на вторичных щитах - предохранители. Основной вид кабелей - СМР. На кораблях проектов 30К и 68К прокладка кабелей выполнена на панелях с проходом через переборочные индивидуальные сальники, а на кораблях проектов 30-бис и 68-бис прокладка кабелей осуществлена в пучках с проходом через переборки в кабельных коробках. На крейсерах проектов 68К и 68-бис, так же как на крейсерах проекта 26 и в проектах тяжелых кораблей 69 и 23, для прокладки магистральных кабелей предусмотрены кабельные коридоры вдоль обоих бортов.

В 1944г. в Казани был проведен научно-технический совет НТК НК ВМФ, на котором обсуждались и решались вопросы создания электроэнергетических систем перспективных надводных кораблей, применения в этих системах переменного тока, а также вопросы выбора величины напряжения, качества и расположения электростанций на кораблях разных типов, применения наиболее оптимальных схем генерирования и распределения электроэнергии. В период с 1947г. до начала 50-х годов среди научно-исследовательских и проектных организаций ВМФ и МСП шла дискуссия о допустимой величине напряжения переменного тока в электроэнергетических системах кораблей. В результате дальнейших проработок было принято решение о применении для силовых потребителей электроэнергии напряжением 380В.

На надводных кораблях первых послевоенных проектов 41 и 42, а также на серийных кораблях проектов 56 и 50, которые, по существу, являлись откорректированными проектами 41 и 42, в ЭЭС принято напряжение 220В, а для сетей освещения - 24В. Опыт изготовления и эксплуатации электрооборудования этих кораблей подтвердил целесообразность для ЭЭС кораблей напряжения 380В, а для сетей освещения - 127В, что и было принято для всех последующих проектов кораблей.

Активное участие в довоенном создании ЭЭС и электрооборудования кораблей приняли ученые и ведущие специалисты Г.А.Агафонов, И.И.Говорухин, В.П.Горячев, Н.М.Кашинцев, Н.А.Мокеев, Б.М.Мордовии, В.И.Полонский, Н.М.Хомяков, М.А.Цупик и многие другие.

С 1946 по 1948г. были разработаны новые требования и правила электрооборудования кораблей. Одновременно начата разработка, а в 1951-1952гг. освоено серийное производство генераторов типа МС, электродвигателей типа МР, МРЗ, МАФ, АОМ, АМ, пусковых и коммутационно-защитных автоматических аппаратов и другой техники.

С 1948г. прокладка кабелей на кораблях стала производиться пучками с уплотнительными кабельными коробками на переборках вместо прокладки на панелях и индивидуальных сальниках.

Начиная с 1951г. стали вступать в строй боевые надводные корабли среднего водоизмещения с электроэнергетическими системами на переменном токе. На этих кораблях были приняты примерно однотипные системы генерирования и распределения электроэнергии. На каждом корабле имелись две автономные электростанции (на кораблях большого водоизмещения, вступивших в строй позднее, - четыре и пять станций), расположенных в отдельных помещениях (отсеках) или совмещенных с машинными отделениями. Последнее характерно в основном для газотурбинных кораблей. В каждой электростанции, как правило, было установлено по два (три) генераторных агрегата. Станции соединялись между собой одной или двумя перемычками. Системы распределения электроэнергии - фидерно-групповые. Большинство потребителей получало двойное питание или непосредственно от ГРЩ, или через вторичные щиты. Была осуществлена возможность длительной параллельной работы генераторов, расположенных в одной электростанции, и кратковременной (на срок перевода нагрузки) работы генераторов, расположенных в разных электростанциях. Шины ГРЩ одинарные, секционированные.

В 1950-1951гг. на строительство кораблей начали поступать новые кабели типа КНРП и КНР вместо кабелей СРМ и РМ. Первый корабль с кабелями КНПР вступил в строй в 1954г. (проект 41).

Можно считать, что до середины 60-х годов в электроэнергетических системах принципиальных изменений не происходило. С ростом количества и мощности потребителей мощность генераторных аппаратов возрастала достаточно плавно. В то же время появление принципиально новых проектов ПЛ с ядерной энергетикой позволило применять в ЭЭС более мощные источники электроэнергии - с приводом от паровой турбины.

В 50-х годах в ЭЭС ПЛ стали применять постоянный ток напряжением 175-320В. С 1960г. началось широкое внедрение на кораблях автоматических переключателей электропитания типа АПС и автоматических переключателей -пускателей типа АПП. Период 1960-1967гг. можно считать периодом интенсивного совершенствования корабельного электрооборудования. Он характеризовался применением кремнийорганической изоляции в электрических машинах, оборудовании и кабелях, применением замкнутого цикла вентиляции в крупных машинах и их непосредственного водяного охлаждения, освоением генераторов типов МСК, ТМВ, автоматических выключателей типов АМ, А-3300, А-3500, электродвигателей типа АН.

В связи с развитием ЭЭС, постоянным ростом мощности генераторных агрегатов, совершенствованием и широким внедрением нового электрооборудования, предстоящим внедрением систем управления, появлением и развитием теории надежности и т.д., действующие “ПЭК-49” в значительной мере устарели и требовали не просто корректировки, а переработки и дополнения. Новые правила - “ПЭК-63” были разработаны в период 1961-1963гг. 1-м ЦНИИМО. В них включены дополнительные разделы, откорректировано и уточнено большое количество требований.

С 1963 по 1969г. шли интенсивные исследования и работы по созданию ЭЭС АПЛ на переменном токе. В 1967г. для АПЛ проекта 667, а в 1969г. для АПЛ проекта 661 были завершены монтаж, испытания и сдача заказчику ЭЭС на переменном токе напряжением 380В, частотой 50Гц.

До 1967г. объем автоматизации ЭЭС ограничивался применением автоматических регуляторов скорости и напряжения генераторных агрегатов, электрической защитой в системе генерирования и распределения электроэнергии, защитой приводных двигателей генераторов и электропровода. 1967год можно считать годом начала широкого внедрения систем дистанционно-автоматизированного управления ЭЭС (САУ ЭЭС) и окончания монтажа и сдачи первых ЭЭС, имеющих автоматизированное управление. Объем автоматизации возрастает - от отдельных функций (автоматическая синхронизация, дистанционный и автоматический пуск агрегатов, автоматическая нагрузка и др.) до программного управления с решением отдельных аварийных задач, управления всей ЭЭС из центрального поста управления (ЦПУ).

В 1967г. был сдан флоту противолодочный крейсер проекта 1123, мощность каждой из электростанций которого составляла 3000 кВт. При напряжении 400В эта величина мощности (при применении генераторов типа МСК) практически является предельной по величинам тока короткого замыкания (ТКЗ) и предельной коммутационной способности (ПКС) применявшихся и применяемых до сих пор автоматических выключателей типа АМ, ВА, А-ЗЗОО, А-3700. Увеличение мощности электростанций при параллельной работе всех источников электроэнергии потребовало принятия специальных мероприятий по снижению ТКЗ. К этим мероприятиям относятся: включение в схему распределения специальных токоограничивающих устройств (ТОУ), а также использование генераторов с меньшими значениями величин ударного ТКЗ за счет увеличения сверхпредельного индуктивного сопротивления генератора Хд.

Определение принципов построения ЭЭС большой мощности началось в 1968г., когда в ЭЭС тяжелого авианесущего крейсера проекта 1143 появились электростанции (две из четырех), в состав которых входили три генераторных агрегата мощностью по 1500 кВт. Для ограничения ТКЗ на этих станциях были применены токоограничивающие автоматические выключатели типа АБЭ (изготовитель - АО “Электросила”). Головной корабль этого проекта сдан ВМФ в 1973г.

Позже была создана и в 1980г. сдана флоту ЭЭС тяжелого ракетного крейсера с АЭУ проекта 1144. В состав каждой из четырех электростанций этой ЭЭС входит один ТГ мощностью 3000кВт (с повышенной величиной Хд и сниженной величиной ТКЗ-Iуд=8-9J) и один ТГ мощностью 1500кВт с генератором типа МСК. Для ограничения ТКЗ при параллельной работе генераторов был включен специально разработанный блок токоограничивающих предохранителей типа БП-1144.

В начале 70-х годов в связи с повышением требований к бесперебойности электропитания, появлением дифференциальной токовой защиты и тиристорных ТОУ велись исследования о целесообразности и возможности применения параллельной работы всех электростанций и источников электроэнергии на корабле. В работе принимали участие предприятия ЦНИИ судовой электротехники. Невское ПКБ, Военно-морская академия им.Н.Г.Кузнецова, Ленинградский (Санкт-Петербугский) государственный технический университет, 1-й ЦНИИМО.

В 1972г. была создана ЭЭС АПЛ на переменном токе напряжением 380В, частотой 400Гц. Вопрос применения для ЭЭС переменного тока такой частоты длительное время был дискуссионным. Сторонники положительного решения ожидали значительного улучшения массогабаритных и других характеристик ЭЭС и электрооборудования в целом. Противники опровергали это, подчеркивали отрицательные стороны подобного решения, и прежде всего трудности освоения промышленностью электрооборудования с повышенной частотой тока. Реализация повышенной частоты в ЭЭС указанного проекта и дальнейшие исследования показали более скромные улучшения характеристик, чем ожидалось, и подтвердили трудность перехода на повышенную частоту.

Заслуживает внимания история вопроса разработки электрооборудования на 400Гц.

Для создания электрооборудования электроэнергетических систем АПЛ проекта 705 был привлечен Всесоюзный (ныне Всероссийский) научно-исследовательский институт электромеханики (ВНИИЭМ). ВНИИЭМ в содружестве с десятками предприятий Министерства электротехнической промышленности при научно-техническом сопровождении 1-го ЦНИИМО приступил к созданию ЭЭС. Речь шла о создании принципиально нового морского электрооборудования.

В проекте ЭЭС основная частота электропитания, как уже говорилось, была 400Гц. При высокой частоте питания создать двигатель на малое число оборотов невозможно из-за неприемлемых габаритов. Необходим был преобразователь высокой частоты в низкую. Разработчики предложили использовать тиристорный преобразователь и с его помощью осуществлять регулирование оборотов двигателя гребного винта. Для отработки нового морского электрооборудования в Истринском отделении ВНИИЭМ был создан специальный натурный стенд.

Стенд представлял собой модель электроэнергетической системы, на которой прежде всего и отрабатывались системные задачи. На этом стенде стояло все реально работающее электрооборудование, например, только ВНИИЭМ разместил здесь 106 различных электрических машин. Стенд служил для комплексных испытаний, во время которых проверялся и ресурс всего оборудования. В дальнейшем на этом стенде прошли отработку четыре поколения судового электрооборудования. Кроме того, этот стенд служил и учебным центром.

Тесный контакт ВНИИЭМ с Институтом атомной энергии им. И.В.Курчатова, возникший при создании комплекса оборудования для атомной подводной лодки проекта 705, естественно, перерос в работы по совместному анализу возможностей использования в атомной энергетике корабля выдающегося достижения фундаментальной науки - явления сверхпроводимости. К тому времени специалистами ИАЭ им.И.В.Курчатова совместно с другими предприятиями на основе проведения теоретических исследований был разработан технологический процесс и создано необходимое оборудование для промышленного изготовления сверхпроводникового провода.

В силу физических особенностей сверхпроводника стало очевидным, что использование сверхпроводникового провода целесообразно в системах возбуждения электрических машин корабля: это позволяет резко увеличить рабочую магнитную индукцию. Открылась возможность создания электрических двигателей и генераторов большей единичной мощности, малых размеров и массы, с высоким КПД. Были разработаны и сформулированы основные задачи создания системы электродвижения (ЭД) со сверхпроводниковым гребным двигателем для атомного корабля.

Была определена комплексная программа, включающая на этапе проектирования корабля обоснование методики расчета и конструирования нового класса электрических машин, технологию их изготовления и испытания. Исследования начинались с разработки и изготовления экспериментальных образцов сверхпроводниковых электрических машин и систем электровыдвижения в целом. Было сделано несколько синхронно-асинхронных типов двигателей мощностью от 100 до 200кВт. Проектирование велось параллельно с предприятиями и конструкторскими бюро судостроительной промышленности и 1-м ЦНИИ МО.

Важным и сложным этапом было создание стендового образца специального гребного двигателя мощностью два мегаватта, который изготовлялся во ВНИИЭМ. Он отличался особой конструкцией: имелись два ротора - один со сверхпроводящей обмоткой, другой асинхронный, - разделенные герметичной перегородкой, что позволяло исполнительной части двигателя работать и в агрессивных средах, и в морской среде.

В производственном объединении “Электросила” был разработан, изготовлен и испытан стендовый образец сверхпроводящего турбогенератора мощностью 2000кВт для использования его в качестве корабельного источника питания. На базе этих машин в Истринском отделении ВНИИЭМ создается уникальный стенд системы электродвижения с гребным приводным двигателем.

В 70-х годах в связи с ростом переменного тока ЭЭС, появлением новых потребителей, широким внедрением переменного тока в ЭЭС ПЛ и развитием систем автоматического управления возник вопрос об очередной корректировке и дополнении действующих правил электрооборудования кораблей. При этом руководящими организациями было дано указание о том, чтобы форма действующего документа соответствовала действующей в стране системе руководящих документов. В связи с этим в период 1976-1978гг. под руководством электротехнического управления 1-м ЦНИИ военного кораблестроения в лице Г.Ф.Супруна был разработан комплекс Государственных стандартов по ЭС и корабельному электрооборудованию.

Период с 1977г. по настоящее время можно считать временем интенсивной разработки и освоения новых видов электрооборудования с оптимальными техническими характеристиками. В этот период освоены синхронные генераторы типа ГМ и 2СП, электродвигатели типа ДМ, аккумуляторные батареи 445 и 446, вращающиеся преобразователи со сниженной вибрацией, статические преобразователи (выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и комплекс преобразователей гарантированного питания), автоматические выключатели типов ВА и А-3700, дифференциальная защита типа ДЗУТ, быстродействующие переключатели типа ПА-12, кабели повышенных термостойкости, надежности и ресурса марок КСРВ, КСРРФ. КСПВ, КНД, КСД и др. Также выполнены и продолжают выполняться работы по обеспечению высоких показателей пожарозащищенности, ресурса надежности электрооборудования для перспективных кораблей - серии работ “Ресурс”, “Пламя”, “Защита” и др.

В 1980г. закончены монтаж, испытания и сдача ЭЭС ДПЛ проекта 877, на которой применено полное электродвижение. В 1982г. завершены монтаж, испытания и сдача ЭЭС АПЛ проекта 941 с суммарной мощностью основных источников электроэнергии в 12800кВт и применена дифференциальная система защиты типа ДЗУТ. В 1985г. завершен монтаж ЭЭС корабля проекта 1941, в которой мощность электростанций достигла 6400кВт, а мощность электросистемы - 27200кВт. В 1990 г. завершены монтаж, испытания и сдача флоту ЭЭС тяжелого авианесущего крейсера проекта 1435 (“Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов”) мощностью 22500кВт.

Рассмотрение материалов строящихся и проектируемых кораблей, ряда НИР и информации об ЭЭС кораблей высокоразвитых государств говорит о необходимости решения ряда вопросов, обеспечивающих оптимальное развитие электроэнергосистем ближайшей перспективы.

Непрерывный рост мощности ЭЭС выдвигает одной из задач проектирования электроэнергосистем выбор величины напряжения, т.е. повышения его величины для ЭЭС большой мощности (до 6,3 или 10,5кВ).

Растет число и мощность ответственных потребителей, требующих бесперебойного электропитания и высокого качества электроэнергии. Одним из наиболее эффективных методов решения этой задачи является реализация параллельной работы всех электростанций и источников электроэнергии на корабле, что облегчает также решение задачи автоматизации управления ЭЭС, в том числе задачи локализации аварийных ситуаций. Возможности создания полупроводниковых и жидкометаллических ТОУ и более совершенных систем регулирования напряжения и скорости вращения, а также наличие разработанной системы дифференциальной защиты позволяют решить эту задачу в ближайшее время.

Наличие потребителей, которые по величине мощности соизмеримы или даже превышают мощность не только применяемых до сих пор источников электроэнергии, но и ЭЭС в целом (например, частичное или полное электродвижение), ставит вопрос не только о повышении величины напряжения, но и о единых электроэнергетических системах. Вопрос этот достаточно сложен, т.к. резко возрастают номенклатура и мощность потребителей электроэнергии, отличных по параметрам от генерируемой энергии.

Основными потребителями электроэнергии повышенной частоты 400Гц являются системы управления радиоэлектронным вооружением (РЭВ), для работы функциональных блоков которых нужен постоянный ток. Применяемые системы питания РЭВ с промежуточным преобразованием электроэнергии от основной ЭЭС несовершенны в части потерь электроэнергии, надежности и массогабаритных характеристик, поэтому необходимо решать вопрос о разработке и внедрении систем питания РЭВ непосредственно от корабельной сети.

Дальнейшее развитие корабельного электрооборудования и ЭЭС идет по пути повышения их надежности, живучести, а также электропожаробезопасности и взрывопожароопасности, увеличения срока службы, улучшения виброакустических характеристик.

В целом развитие электроэнергетических систем кораблей отечественного флота, их электрооборудование всегда находились на уровне мировых стандартов, в чем исключительная заслуга ученых и специалистов ВМФ и промышленности, среди которых имена В.Б.Авакова, И.И.Адрианова, А.А.Азовцева, Г.Я.Альтшулера, Ю.Б.Бабанского, В.Н.Бочкарева, Б.Н.Бровкина, Л.П.Веретенникова, А.И.Глебова, А.И.Губанова, Г.А.Жемчугова, Б.И.Калганова, Г.И.Китаенко, В.П.Коваленко, К.В.Лопаева, В.М.Морозова, И.А.Рябинина, Ю.В.Скачкова, В.С.Соколова, Г.Ф.Супруна, В.А.Терешонкова, Л.Н.Токарева, Н.Н.Шереметьевского, П.И.Щербинина, В.Н.Яцука и многих других.