

Техническая эксплуатация судового электрооборудования*

Бурков А.Ф.

Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация
burkov.22@mail.ru

Юрин В.Н.

Морской государственный университет имени Г.И. Невельского
г. Владивосток, Российская Федерация
yurinvn@ya.ru

Аветисян В.Р.

Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С. О. Макарова
г. Владивосток, Российская Федерация
merin1309@mail.ru

Аннотация. В общем случае под технической эксплуатацией (ТЭ) понимается совокупность мероприятий по техническому использованию, техническому обслуживанию и ремонту. Вопросы ТЭ судового электрооборудования (ЭО), имеющего характерные и многообразные технические и эксплуатационные особенности, рассмотрены в ряде научно-технических и учебных литературных источников. К основной обособленной категории судового ЭО относятся судовые электроприводы (ЭП), которые характеризуются широким диапазоном потребляемых мощностей. Для судовых ЭП, имеющих специфические особенности, обусловленные разнообразными механическими и климатическими нагрузками, большим их количеством на судах и многообразием по функциональному назначению, вопросы теоретических положений ТЭ имеют ограниченные публикации. В представленной работе на основании результатов выполненных исследований представлены основные теоретические положения управления процессом ТЭ применительно к судовым ЭП.

Ключевые слова: судовое электрооборудование, техническая эксплуатация, технологический процесс, управление, электродвигатель, электроприводы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Современное общество неразрывно связано с использованием электрической энергии во многих областях его жизни и деятельности. Не является исключением и флот, который оснащен электрическим оборудованием различной степени сложности. В настоящее время сотни тысяч торговых, рыбопромысловых, пассажирских и других категорий судов находятся в рабочем состоянии и выполняют свои функции.

Техническое совершенство судовых производственных механизмов и технологических процессов, которые они выполняют, в значительной степени зависит от совершенства соответствующих приводов и степени их автоматизации.

Преимущества электрической энергии и создание достаточно совершенных электромеханических преобразователей (электродвигателей (ЭД)) [1] привели к активному внедрению автоматизированных ЭП. В настоящее время и в перспективе ЭД, достигшие в основном своего конструктивного совершенства, остаются основными преобразователями электрической энергии в механическую. Следовательно, к основным типам приводов производственных механизмов относятся ЭП. Судовые ЭП, являясь многочисленными и разнообразными, потребляют ориентировочно до 90 % электроэнергии, вырабатываемой общесудовыми генераторами. В процентном соотношении, при одном из основных режимов работы судна – ходовом,

большая часть судовой электрической энергии, потребляемой судовыми ЭП, приходится на долю машинных и системных ЭП – около 60 %, палубных и бортовых ЭП – примерно 30 %, обслуживающих – около 10 %.

Условия эксплуатации судовых ЭП специфичны и резко отличаются от береговых. Они подвергаются климатическим (изменение температуры окружающей среды в широких пределах, повышенное содержание соли, высокая влажность) и механическим (вибрации и удары, изменение положения частей ЭО) воздействиям, Бурков [2].

Технические характеристики судовых ЭП и основные требования к судовым ЭП регламентирует Российский морской регистр судоходства [3], классификационные общества других стран. К основным техническим и эксплуатационно-экономическим требованиям, предъявляемым к большинству судовых ЭП, относится высокая надежность и эксплуатационная гибкость, нормированная скорость, достаточная перегрузочная способность, простота и удобство обслуживания.

Значительная часть судов различного назначения построена и введена в эксплуатацию в 90-х, 80-х и даже в 70-х годах XX века. Оборудование этих судов включает, в частности, многие морально и физически устаревшие системы ЭП, возможности технического совершенствования которых в настоящее время практически исчерпаны или крайне ограничены и требуют углубленных теоретических и эксплуатационных исследований.

Дальнейший прогресс в области судовых ЭП тесно связан с общим развитием промышленного производства, тенденциями развития флота. Строительство судов различного назначения, водоизмещения и скорости, приводит к необходимости разработки и создания разнообразных, иногда принципиально новых, систем ЭП, оптимизации механических характеристик ЭД, увеличения их мощности и повышения надежности ЭП.

К вероятным направлениям развития судовых ЭП, отвечающих современным требованиям, относятся: теоретические исследования и практическая реализация новых технических решений; модернизация существующих систем ЭП преимущественно для судов, находящихся в эксплуатации.

Таким образом, для судовых ЭП, как технических изделий, являющихся электромеханическими системами, представляются актуальными вопросы мониторинга, анализа и аналитических исследований в области ТЭ с целью повышения их надежности на стадии потребления “жизненного цикла”.

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг" (ICIE-2019), <http://icie-rus.org>

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В общем случае научная организация ТЭ судового ЭО включает: объективную оценку и прогнозирование технического состояния (ТС); поиск неисправностей методами и средствами технической диагностики (ТД); выработку рекомендаций по оптимальной организации процесса ТЭ на основе теории подобия и моделирования; исследование с целью оптимизации систем “человек – техническое средство – среда”, в частности функциональных возможностей и человеческих факторов.

Научная основа организации эксплуатации судового ЭО позволяет обосновано определять его оптимальные режимы работы в соответствии с назначением, объемами и сроками технических обслуживаний (ТО) и ремонтов.

Научная организация предполагает аналитические исследования, использование методов моделирования, систем технического диагностирования и др.

Использование совокупности мероприятий позволяет предупреждать значительную часть отказов (событий, заключающихся в нарушении работоспособных состояний объектов) и наиболее полно реализовывать ресурсы ЭО (продолжительности или объемы работы объектов от начала эксплуатации или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние) с наименьшими затратами на ТО ремонты.

Особая значимость ТЭ судового ЭО и его научной организации подтверждается руководящими документами, в частности [3] и [4], в соответствии с которыми ТО и ремонты судов сопровождаются использованием разнообразного диагностического оборудования, позволяющей в зависимости от последствий отказов проводить ТО и ремонты по состоянию, регламентированные и после отказов. Кроме того, вопросы ТЭ судового ЭО рассмотрены в ряде источников научно-технической и учебной литературы, Бурков [5], Кузнецов [6] и др.

ЭП судов являются относительно сложными динамическими системами и относятся к основным составным частям судовых электроэнергетических систем. Для судовых ЭП, имеющих специфические особенности, обусловленные разнообразными механическими и климатическими нагрузками, большим их количеством на судах и многообразием, вопросы теоретических положений ТЭ имеют ограниченные публикации, например, Бурков [5].

Исходя из изложенного представляются актуальными исследования основных теоретических положений ТЭ применительно к судовым ЭП.

ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание вопросов ТЭ судового ЭО ограничено исследовано в литературе. К основным источникам следует отнести, например, Кузнецов [6] и др.

Начало эксплуатации судового ЭО, включая ЭП, устанавливается в нормативно-технической документации или в договорных документах о поставке и может исчисляться с момента его отгрузки, с момента получения потребителем или с момента окончания монтажа и наладки после установки на судне.

Окончание эксплуатации определяется переходом в предельное состояние соответствующего вида, при котором предполагается окончательное прекращение применения судового ЭО по назначению, Кузнецов [6].

Концепция повышения эффективности ТЭ судовых ЭП основана на результатах анализа сравнительных оценок статистических исследований опыта эксплуатационных испытаний, теоретических разработок и технических реализаций основных систем ЭП, аналитических и экспериментальных исследованиях.

Современные ЭП представляют собой электромеханические системы, состоящие, как правило, из взаимодействующих преобразователей электрической энергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенные для приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологических процессов.

Большинство судовых приводов представляют собой электромашинные автоматизированные ЭП, в которых преобразование электрической энергии в механическую осуществляется электрическими машинами (ЭД) на основе взаимодействия электромагнитных полей и проводников с током, а часть операций управления выполняют соответствующие устройства управления без участия человека (оператора).

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема автоматизированного ЭП, где: ПЭЭ – преобразователь электрической энергии; ЭД – электромеханический преобразователь; МП – механический преобразователь; ИО – исполнительный орган рабочей машины (РМ); УУ – управляющее устройство; ИУ – информационное устройство, Бурков [7].

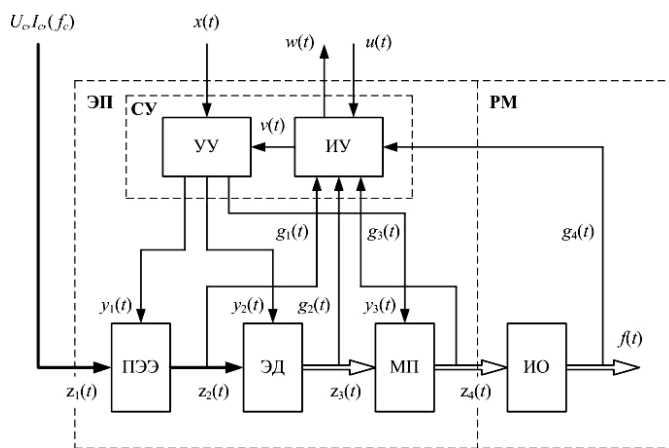


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного ЭП с замкнутой системой управления при работе ЭД в двигательном режиме

К преобразователям электрической энергии относятся электротехнические устройства, предназначенные для преобразования электрической энергии с одними значениями параметров (рода тока, напряжения, частоты, числа фаз, фазы напряжения) и/или показателей качества в электрическую энергию с другими значениями параметров и/или показателей качества [8]. К входным параметрам (координатам $z_1(t)$) ПЭЭ (см. рис. 1) относится напряжение сети U_c , ток сети I_c , (при переменном токе – частота сети f_c) и др. Преобразователь электрической энергии вы-

полняет функции управления электромеханическим преобразователем по силовому каналу.

Входными координатами $z_2(t)$ ЭД (рис. 1) являются преобразованные выходные параметры (координаты) преобразователя электрической энергии (напряжение U , ток I , (при переменном токе – частота f) и др.

Механический преобразователь (передача) МП (рис. 1) предназначен для передачи механической энергии от ЭД к исполнительному органу ИО рабочей машины РМ и согласования вида и скоростей их движения. К входным координатам $z_3(t)$ МП относятся механические параметры, полученные в результате преобразования ЭД электрической энергии в механическую (механический момент M , угловая скорость ω и др.). Координатами $z_4(t)$ являются преобразованные выходные координаты МП (механический момент M_n (сила F_n), угловая скорость ω_n (линейная скорость V_n) и др.).

К исполнительным органам ИО (рис. 1) относятся детали конструкций рабочих машин, предназначенных для выполнения технологических операций, соответствующих назначению механизмов (рули рулевых машин, якоря и якорные цепи якорных устройств и т.д.).

Совокупность управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения ЭП, предназначенных для управления ЭД с целью обеспечения заданного движения ИО рабочей машины, является системой управления СУ электропривода [8].

Внешняя по отношению к ЭП система управления более высокого уровня, поставляющая необходимую для функционирования ЭП информацию, относится к системам управления электроприводом [8].

Управляющие устройства УУ предназначены для формирования управляющих воздействий в ЭП. Выполняют функции управления по каналам управления ПЭЭ и/или ЭД, и/или МП управляющими воздействиями (координатами) $y_1(t)$, $y_2(t)$ и $y_3(t)$, соответственно (см. рис. 1).

К входным координатам управляющих устройств относятся задающие воздействия $x(t)$, создаваемые оператором, и/или $v(t)$, формируемые информационными устройствами, предназначенными для получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации о переменных ЭП, технологических процессах и сопредельных системах для использования в системах управления ЭП и внешних информационных системах.

Согласно рис. 1 к входным координатам информационных устройств ИУ относятся сигналы обратных связей ОС $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ и $g_4(t)$, формируемые по выходным координатам $z_2(t)$ ПЭЭ, $z_3(t)$ ЭД, $z_4(t)$ МП и $f(t)$ ИО РМ. К координатам $f(t)$ относятся рабочие значения механического момента M_p (силы F_p), угловой скорости ω_p (линейной скорости V_p) и др.

К входным координатам информационных устройств относятся также сигналы внешних воздействий $u(t)$, формируемые системами управления ЭП или сопредельными системами, а к выходным координатам, наряду с $v(t)$ относятся координаты $w(t)$, формируемые для внешних информационных систем.

Кроме того, в состав ЭП входят устройство сопряжения, которые представляет собой совокупность электрических и механических элементов, обеспечивающих взаимодействие ЭП с сопредельными системами и отдельных частей ЭП.

Таким образом, структурная схема ЭП (см. рис. 1) включает в себя силовой канал, содержащий ПЭЭ, ЭД, МП, и каналы управления на основе УУ и ИУ.

Многие судовые ЭП, имеющие ряд отличительных особенностей, обусловленных в первую очередь специфическими условиями их эксплуатации, содержат разомкнутые системы управления, характеризующиеся отсутствием обратных связей $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ и $g_4(t)$ (см. рис. 1).

Судовые ЭП по режимам работы можно объединить в три основные группы, Бурков [9].

Первая группа включает в себя ЭП режимов работ, близких к условным обозначениям S1 и S6, Чиликин [10]. К ним относятся, как правило, нерегулируемые ЭП судовых механизмов. Время работы ЭП этой группы в динамических режимах несоизмеримо мало со временем работы ЭП в статических режимах. К первой группе принадлежат ЭП рулевых устройств, топливных, масляных и охлаждающих насосов машинных механизмов, пожарных насосов общесудовых систем, судовых вентиляторов и др.

Ко второй группе относятся ЭП режимов работ, соответствующих в основном условному обозначению S2. Такие приводы отличаются во многих случаях более сложными условиями работы в переходных режимах. Примерами второй группы являются ЭП шлюпочных лебедок, относящихся к судовым грузоподъемным механизмам (ГПМ) общесудового назначения, брашпильей, шпильей и швартовных лебедок, которые относятся к якорно-швартовным механизмам (ЯШМ) и др. Многие ЭП второй группы имеют автоматические тормозы нормально заторможенного типа.

Третья группа включает в себя ЭП режимов, близких к режимам с условными обозначениями S3, S4, S5, S7 и S8. Отдельную подгруппу третьей группы составляют ЭП грузовых лебедок и кранов, относящихся к ГПМ, автоматических швартовных лебедок ЯШМ и др. Отличительной эксплуатационной особенностью многих ЭП третьей группы является соизмеримость по времени переходных и установившихся режимов работы. ЭП третьей группы имеют, как правило, автоматические тормозы нормально заторможенного типа.

В силу специфических эксплуатационных особенностей, обусловленных в первую очередь широким диапазоном климатических, механических и химических нагрузок, разнообразными механическими характеристиками производственных механизмов, наряду с общими требованиями, предъявляемыми к судовым ЭП Российским морским регистром судоходства [3] и классификационными обществами других стран, к каждой отдельной группе судовых ЭП предъявляется комплекс обособленных требований. Требования к судовым ЭП, продиктованные условиями эксплуатации, выявляют актуальность повышения эффективности их функционирования.

ТЭ судовых ЭП является производственной, организационной и научно-технической деятельностью судовых экипажей и береговой инфраструктуры, обеспечивающая эффективное использование и исправное состояние ЭП.

Начало эксплуатации отдельных судовых ЭП устанавливается в нормативно-технических или других документах на ЭП и может исчисляться, например, с момента окончания монтажа и наладки после установки ЭП на судне. Окончание эксплуатации определяется переходом в

предельное состояние определенного вида, при котором прекращается применение ЭП по назначению.

К основным режимам эксплуатации судовых ЭП относятся непрерывные, циклические, оперативные и общие режимы, которые отличаются чередованием периодов ожидания и действия. Исходя из условий эксплуатации, при периодах ожидания от ЭП не требуется функционирование. В это время изделие не создает полезного эффекта, но готово к немедленному действию. При периодах действия от ЭП требуется функционирование.

В случаях непрерывных режимов эксплуатации периоды действий изделий продолжают непрерывно. При циклических режимах периоды ожидания и действия чередуются с постоянными значениями времени. Оперативные режимы характеризуются сменой неопределенных периодов ожиданий периодами действий заданных продолжительностей. В случаях общих режимов периоды ожиданий и периоды действий чередуются неопределенным образом.

Совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимая для поддержания и восстановления качества изделий, составляет систему ТО и ремонтов судовых ЭП.

На рис. 2 представлен вариант структурной схемы ТЭ судовых ЭП, Бурков [5], где: 1 – проверка готовности ЭП и подготовка к применению; 2 – применение по назначению; 3 – оценка технического состояния; 4 – поддержание исправности или работоспособности ЭП; 5 – восстановление исправности, работоспособности или ресурса.

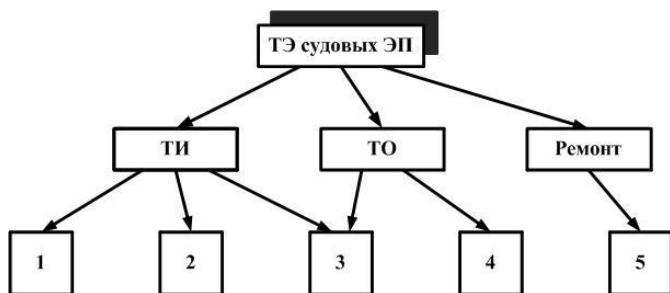


Рис. 2. Структурная схема ТЭ судовых ЭП

Управление ТЭ судовых ЭП (см. рис. 2) основывается на сборе и обработке результатов эксплуатации, планировании, организации работ по эксплуатации и контроле выполнения, Кузнецов [11].

Техническое использование (ТИ) (см. рис. 2) представляет собой использование судовых ЭП по назначению с технико-экономическими показателями, предусмотренными эксплуатационно-технической документацией, заключающееся в контроле и учете ТС, проверке готовности к действию, вводе и выводе из действия, обеспечении, изменении и поддержании режимов работы, сопоставлении заданных и фактических характеристик, оценке и регистрации отклонений.

ТО (см. рис. 2) включает в себя операцию или комплекс операций по поддержанию исправности или работоспособности судовых ЭП при их использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. ТО содержит регламентированные операции для поддержания исправности или работоспособности ЭП в течение срока их службы. Операции ТО представляют законченные эта-

пы ТО составных частей изделий, выполняемые исполнителями отдельных специальностей.

Составляющими процесса ТО судовых ЭП в ряде случаев являются контроль ТС, регулировка, чистка, выявление и устранение неисправностей, замена вышедших из строя или изношенных отдельных составных частей.

Большое значение в процессе эксплуатации судовых ЭП отводится ремонтам (рис. 2), которые состоят из комплекса операций по восстановлению исправности, работоспособности или ресурса судовых ЭП или их компонентов. Операции ремонта представляют законченные части ремонтов, выполняемые специалистами отдельных специальностей.

К составляющим ремонта относятся, как правило, разборка, дефектация, контроль ТС, восстановление или замена отдельных компонентов, сборка и др. При ремонте временно или полностью прекращается применение ЭП по назначению. В зависимости от сложности и объема ремонтных работ, необходимых для приведения ЭП в исправное или работоспособное состояние, ремонты могут быть объединены в отдельные группы, включающие плановые и неплановые, текущие, средние, капитальные, регламентированные и ремонты по ТС.

Плановыми ремонтами являются ремонты, постановка на которые осуществляется в соответствии с нормативно-технической документацией на изделия.

Постановка на неплановые ремонты производится без предварительного назначения.

Текущие ремонты выполняются для обеспечения или восстановления работоспособности судовых ЭП и включают восстановление или замену с восстановлением отдельных компонентов изделий.

Средние ремонты осуществляются для восстановления исправного состояния и частичного восстановления ресурса ЭП с заменой или восстановлением деталей определенной номенклатуры и контролем ТС компонентов, выполняемом в объеме, установленном нормативно-технической документацией.

Капитальные ремонты производятся для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса ЭП с восстановлением или заменой компонентов, в том числе базовых составных частей.

Регламентированными ремонтами являются плановые ремонты, выполняемые с периодичностями и в объемах, установленными в эксплуатационно-технической документации на ЭП и их составные части, независимо от ТС ЭП к моменту начала ремонта.

К ремонтам по ТС относятся плановые ремонты, при которых контроль ТС выполняется с периодичностями, установленными в нормативно-технической документации, а объемы и моменты начала ремонтов определяются ТС ЭП и их составных частей.

К показателям системы ТО и ремонтов судовых ЭП относятся средние значения продолжительности, трудоемкости, стоимости и др. Показатели системы позволяют определять оперативные затраты, обусловленные организацией, технологией выполнения, материально-техническим обеспечением ТО и ремонтов и пр.

Выполнение основных задач ТЭ (см. рис. 2) обеспечивается управлением ТЭ, которое включает в себя планирование, создание организационных структур, регулиро-

вание, контроль, учет и анализ результатов эксплуатации, Кузнецов [6].

ТС судовых ЭП характеризуется совокупностью свойств ЭП, подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации и определяемой в данный момент времени признаками, установленными технической документацией на изделие.

Начальное ТС судовых ЭП определяется конструктивными и производственными факторами, к которым относятся схемные и конструктивные решения, материалы и элементная база, качество производства и др. При ТЭ судовые ЭП подвергаются воздействию эксплуатационных факторов, к которым относятся статические и динамические режимы работы, климатические нагрузки и пр.

По причинам многообразия и вероятностного характера воздействий на судовые ЭП конструктивно-производственных и эксплуатационных факторов не представляется возможным обеспечить выпуск изделий с номинальными значениями параметров без погрешностей. Поэтому фактическое ТС изделий оказывается различным при одинаковой продолжительности эксплуатации или наработке.

Соответствие или несоответствие качеств изделий (судовых ЭП) определенным техническим требованиям, установленным нормативно-технической документацией на эти объекты, характеризуются видами ТС. Все множество ТС Ω судовых ЭП с помощью установленных критериев качества может быть представлено в виде объединений пар подмножеств, Кузнецов [11]:

$$\Omega = \Omega_u \cup \Omega_{ни} = \Omega_p \cup \Omega_{нр} = \Omega_{\phi} \cup \Omega_{н\phi}. \quad (1)$$

где Ω_u , $\Omega_{ни}$ – исправное и неисправное ТС, соответственно; Ω_p , $\Omega_{нр}$ – работоспособное и неработоспособное ТС, соответственно; Ω_{ϕ} , $\Omega_{н\phi}$ – ТС правильного и неправильного функционирования, соответственно.

Кроме того, возможны предельные ТС Ω_n судовых ЭП, при которых их дальнейшие применения по назначению недопустимы или нецелесообразны, либо восстановления их исправных или работоспособных состояний невозможны или нецелесообразны.

Необходимо отметить, что в данных случаях исправность шире работоспособности, а понятие работоспособность шире, чем правильное функционирование, т.е.

$$\Omega_u \in \Omega_p \in \Omega_{\phi} \in \Omega; \quad \Omega_{н\phi} \in \Omega_{нр} \in \Omega_{ни} \in \Omega. \quad (2)$$

Все подмножества видов ТС являются пересекающимися, и внутри каждого вида может быть большое число ТС – рис. 3.

ТС судовых ЭП можно условно подразделить на группы, определяемые соответствующими пересечениями подмножеств видов состояний:

- И (исправных работоспособных правильного функционирования)

$$И = \Omega_u \cap \Omega_p \cap \Omega_{\phi}; \quad (3)$$

- Р (работоспособных правильного функционирования неисправных)

$$Р = \Omega_p \cap \Omega_{\phi} \cap \Omega_{ни}; \quad (4)$$

- Ф (правильного функционирования неисправных неработоспособных)

$$Ф = \Omega_{\phi} \cap \Omega_{ни} \cap \Omega_{нр}; \quad (5)$$

- Н (неправильного функционирования неисправных неработоспособных)

$$Н = \Omega_{н\phi} \cap \Omega_{ни} \cap \Omega_{нр}. \quad (6)$$

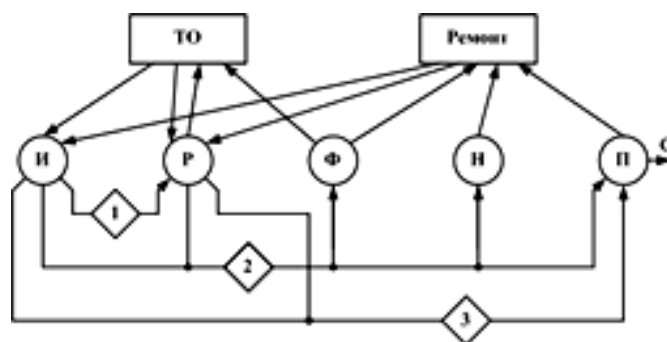


Рис. 3. Схема основных переходов технических состояний и их связь операциями ТО и/или ремонта: 1 – повреждения; 2 – отказы; 3 – моральное старение, нарушение требований техники безопасности и др.; С – списание

Кроме того, на рис. 3 отдельно представлена группа предельных состояний П, в которой применение по назначению судовых ЭП недопустимо из-за устранимых или неустранимых отказов и нецелесообразно из-за морального старения и т.д.

ТС судовых ЭП распознается с точностью до вида при проверке объекта и с точностью до группы при поиске дефекта.

При повреждениях прекращаются исправные состояния компонентов ЭП, а работоспособные состояния изделий сохраняются. Со временем повреждения могут превратиться в отказы, с последствиями, представленными на рис. 3. Установление предельных ТС судовых ЭП в процессе ТЭ означает, как правило, необходимость прекращения их дальнейшей эксплуатации и списание.

Ряд вопросов теории ТЭ нашел развитие в теориях массового обслуживания, надежности, прогнозирования, ТД и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнены исследования основных теоретических положений ТЭ применительно к судовым ЭП.

Соответствие или несоответствие качеств судовых ЭП определенным техническим требованиям, установленным нормативно-технической документацией на эти изделия, характеризуются видами ТС.

Множество ТС судовых ЭП с помощью установленных критериев качества может быть представлено в виде объединений пар подмножеств. Все подмножества видов ТС являются пересекающимися, и внутри каждого вида может быть большое число ТС.

ТС судовых ЭП можно условно подразделить на группы, определяемые соответствующими пересечениями подмножеств видов состояний. ТС судовых ЭП распознается с точностью до вида при проверке объекта и с точностью до группы при поиске дефекта.

При повреждениях нарушаются исправные состояния компонентов ЭП при сохранении работоспособных состояний приводов. Со временем повреждения могут перерасти в отказы, с последствиями, представленными в докладе. Установление предельных ТС судовых ЭП в процессе ТЭ, означает, как правило, необходимость прекращения их дальнейшей ТЭ и списание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков А.Ф. Анализ опыта эксплуатации электрических машин. /А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин, В.Н. Юрин // Электрооборудование, эксплуатация и ремонт. – Москва: Панорама, 2018.
2. Бурков А.Ф. Основные теоретические положения технической эксплуатации применительно к судовым электроприводам. / А.Ф. Бурков, С.Е. Кузнецов // Третья международная научная конференция Полярная механика. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016.
3. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. – Санкт-Петербург, 2014.
4. РД 31.20.50–87. Комплексная система технического обслуживания и ремонта судов. Основное руководство. – Москва: Мортехинформреклама, 1988.
5. Бурков А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов. – Владиво-

сток: Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 2011.

6. Техническая эксплуатация судового электрооборудования. // С.Е. Кузнецов, Л.А. Лемин, Ю.В. Кудрявцев и др. – Москва: Проспект, 2010.
7. Бурков А.Ф. Основы теории и эксплуатации судовых электроприводов. – Санкт-Петербург: Лань, 2018.
8. ГОСТ Р 50369–1992. Электроприводы. Термины и определения. – 1993.
9. Бурков А.Ф. Надежность судовых электроприводов. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2014.
10. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. – Москва: Энергоиздат, 1981.
11. Кузнецов С.Е. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и автоматики. / С.Е. Кузнецов, В.С. Филев. – Санкт-Петербург: Судостроение, 1995.

DOI: 10.24892/RIJEE/20190104

Technical Operation Ship Electric Equipment

Burkov A.F.

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation
burkov.22@mail.ru

Yurin V.N.

Admiral Nevelskoy Maritime
State University
Vladivostok, Russian Federation
yurinvn@ya.ru

Avetisyan V.R.

Pacific higher naval school
named after S.O. Makarov
Vladivostok, Russian Federation
merin1309@mail.ru

Abstract. In general, technical operation (TE) is understood as a set of measures for technical use, maintenance and repair. Issues of TE shipboard electrical equipment (EO), which has characteristic and diverse technical and operational features, are considered in a number of scientific, technical and educational literature sources. The main separate category of ship EO includes ship electric drives (EP), which are characterized by a wide range of consumed power. For shipboard EPs with specific features caused by a variety of mechanical and climatic loads, a large number of them on ships and a variety of functional purposes, the issues of theoretical positions of TE have limited publications. In the present work, on the basis of the results of the research performed, the main theoretical principles of the process control of fuel cells are presented in relation to shipboard electronic signature.

Keywords: ship electrical equipment, technical operation, technological process, control, electric motor, electric drives.

REFERENCES

1. Burkov A.F., Verevkin V.F., Yurin V.N. *Analiz opyta ekspluatatsii elektricheskikh mashin. Elektrooborudovanie, ekspluatatsiya i remont* [Analysis of operating experience of electric machines, Electrical equipment, operation and repair], Moscow, Panorama, 2018. (in Russ.)
2. Burkov A.F., Kuznecov S.E. The main theoretical provisions of technical operation in relation to ship electric drives, *Ice mechanics*, 2016. (in Russ.)
3. Russian Maritime register of shipping. Rules for the classification and construction of sea-going ships [Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov], *Russian Maritime register of shipping*, St. Petersburg, 2014. (in Russ.)

4. RD 31.20.50–87. *Kompleksnaya sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudov. Osnovnoe rukovodstvo* [Comprehensive system of technical maintenance and repair of ships], Moscow, Mortechinformreklama, 1988. (in Russ.)

5. Burkov A.F. *Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii sudovykh elektroprivodov* [Effectiveness of technical operation of marine electric drives], Vladivostok, Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, 2011. (in Russ.)

6. Kuznecov S.E., Lemin L.A., Kudryavtsev Yu.V., Prusakov A.V. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovogo elektrooborudovaniya* [Technical maintenance of ship electrical equipment], Moscow, Prospect, 2010. (in Russ.)

7. Burkov A.F. *Osnovy teorii i ekspluatatsii sudovykh elektroprivodov* [Fundamentals of theory and operation of marine electric drives], St. Petersburg, Lan, 2018. (in Russ.)

8. GOST R 50369–1992. *Elektroprivody. Terminy i opredeleniya* [The electric drives. Terms and definitions], Moscow, Publishing house of standards, 1993. (in Russ.)

9. Burkov A.F. *Nadezhnost' sudovykh elektroprivodov* [Reliability of ship electric drives], Vladivostok, Far Eastern Federal University, 2014. (in Russ.)

10. Chilikin M.G. *Obshchiy kurs elektroprivoda* [General course of the electric drive], Moscow, Energoizdat, 1981. (in Russ.)

11. Kuznecov S.E., Filev V.S. *Osnovy tekhnicheskoy ekspluatatsii sudovogo elektrooborudovaniya i avtomatiki* [Fundamentals of technical exploitation of ship electrical equipment and automatics], St. Petersburg, Shipbuilding, 1995. (in Russ.)