

5. Annaratone D. Steam Generators. Description and design. Heidelberg: Springer Berlin, 2008. 427 p. ISBN 978-3-540-77715-1.
6. Зах Р. Г. Котельные установки. М.: Энергия, 1968. 352 с.
7. Кузнецов Н. В., Митор В. В., Дубровский И. Е. [и др.]. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1973. 296 с.
8. Вдовин О. В., Мастерских Н. А., Михайлов А. Г. Оценка естественной и вынужденной конвекции высокотемпературных теплоносителей // Европейские научные исследования: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. Пенза: Наука и Просвещение. 2016. С. 34–37.
9. Чечеткин А. В. Высокотемпературные теплоносители. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1971. 496 с.
10. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1975. 488 с.

МИХАЙЛОВ Андрей Гаррьевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Теплоэнергетика».
SPIN-код: 7337-8036
AuthorID (РИНЦ): 385534

ВДОВИН Олег Владиславович, магистрант гр. ТЭМ-171 факультета элитного образования и магистратуры.
SPIN-код: 8721-5737
AuthorID (РИНЦ): 939315
СЛОБОДИНА Екатерина Николаевна, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика».
SPIN-код: 3785-9045
AuthorID (РИНЦ): 763109
Адрес для переписки: oleg95_15.03@mail.ru

Для цитирования

Михайлов А. Г., Вдовин О. В., Слободина Е. Н. Процессы теплообмена в объеме жаротрубного котла с неводным теплоносителем // Омский научный вестник. 2018. № 3 (159). С. 37–40. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-37-40.

Статья поступила в редакцию 15.03.2018 г.
© А. Г. Михайлов, О. В. Вдовин, Е. Н. Слободина

УДК 620.9
DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-40-43

Д. Ю. РУДИ

Омский институт
водного транспорта (филиал)
«Сибирского государственного
университета водного транспорта»,
г. Омск

ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье описаны проблемы качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем. Приведена актуальность данной проблемы. Ее значимость возросла непосредственно совместно с развитием водного транспорта. Объекты технического флота судовых энергосистем особо подвержены влиянию кондуктивных электромагнитных помех. Сравнительный анализ, приведенный в статье по показателям качества электроэнергии различных стандартов, показывает наличие различий требований, что приводит к простоям в работе, нарушению научно-технического процесса, браку продукции. Вопрос решения научно-технической задачи для повышения качества функционирования электроэнергии судовых электроэнергетических систем до сих пор не решен, что вызывает определенные сложности в своевременном обнаружении проблемы.

Ключевые слова: проблемы судовых электроэнергетических систем, проблема электромагнитной совместимости, кондуктивная электромагнитная помеха, показатели качества электроэнергии.

В последнее время очень остро усугубились важнейшие проблемы судовых электроэнергетических систем: качество электроэнергии и электромагнитная совместимость объектов технического флота. Количество нарушений, выявленных в российских электрических сетях, в отличие от других стран, почти в 7 раз больше, т.к. выражаются огромной аварийностью. Актуальность обуславливается значительным физическим износом объектов технического флота. Из-за этого изоляция судовых электроэнергетических систем непосредственно снижает помехоустой-

чивость электрооборудования технического флота и систем регулирования и управления [1].

Данная проблема объясняется несколькими причинами:

— тяжёлые энергетические последствия на объектах технического флота от воздействий климатических особенностей РФ;

— сложная электромагнитная обстановка, которая обусловлена нарушениями требований различных показателей качества электроэнергии по ГОСТу 32144-2013 [2].

Разными учёными были проведены исследования влияния показателей качества электроэнергии (ПКЭ) объектов технического флота и выделены некоторые особенности судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) [3–5]. Также приведены проблемы кондуктивных электромагнитных помех в электроэнергетических системах [6–10].

Анализируя различные российские и зарубежные научные исследования в области качества электроэнергии и электромагнитной совместимости, необходимо отметить, что подавляющее число нарушений качества электроэнергии (около 92 %) составили провалы напряжения. В свою очередь, значительное влияние на объекты технического флота оказывают пусковые токи энергоёмких потребителей, которые приводят к нарушению, в первую очередь, такого показателя качества электроэнергии, как установившееся отклонение напряжений [11].

Повышенное внимание к данной проблеме можно объяснить снижением уровня напряжения в электрических сетях низкого и среднего класса напряжений, в то время как основное внимание энергоснабжающих организаций направлено на высоковольтные системы.

Каждое электрическое оборудование объектов технического флота рассчитано для функционирования при стандартных, согласно ГОСТу 32144-2013, показателях качества электроэнергии. Следовательно, эта проблема предопределяется совокупностью характеристик, при которых электрическое оборудование различных предприятий, связанных с флотом, имеет возможность нормально функционировать и реализовывать заложенные в них функции.

Значимость проблемы повышения качества функционирования электрической энергии возростала непосредственно с развитием и внедрением на объектах технического флота различных высокоэффективных технологических установок и потребителей, которые работают через вторичные источники питания и тем самым ухудшают качество электроэнергии (ЭЭ) в судовых электроэнергетических системах. Ущерб, который несут объекты технического флота и энергосистема в целом, делится на электромагнитный и технологический [12].

Настоящий государственный стандарт [2] ориентирован для использования при установлении и нормировании непосредственно показателей качества электрической энергии, которые связаны с характеристиками напряжения электрического питания.

Объекты технического флота судовых энергосистем особо подвержены влиянию кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), которые создаются отдельными видами электрического оборудования. В итоге обнаруживаются непредвиденные изменения характеристик напряжения во времени в любой отдельной точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, а также случайные отклонения характеристик напряжения в различных точках передачи электрической энергии в конкретный момент времени [2].

Снабжение береговых объектов осуществляется непосредственно от территориальных электроэнергетических систем (ЭЭС). По экономическим причинам суда промышленного флота, где это возможно, получают электроэнергию от береговых сетей. Однако вровень с очевидными плюсами снабжение судов технического флота с берега, имеет плохие стороны. Например, качество функционирования электропередачи «берег – судно» 0,4 кВ из-за не-

удовлетворительной устойчивости судовых узлов нагрузки по напряжению не удовлетворяет требованиям эксплуатации [1].

Обострились осложнения электромагнитной совместимости (ЭМС) береговых электрических сетей и судовых электроэнергетических систем при снабжении судов от береговых сетей. Одной из объективных причин обострения является качественное перераспределение электрических нагрузок в сетях.

Сравнительный анализ требований к показателям качества электроэнергии (ПКЭ) Государственного стандарта [2], правил классификаций и постройки судов внутреннего плавания Российского речного регистра и Российского морского регистра судоходства показывает наличие различий, которые касаются непосредственно показателей, характеризующих стационарные, относительно длительные процессы в электрической сети (установившееся отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям и др.). Требования данного стандарта более жёсткие, чем у правил классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского речного регистра. Вследствие этого анализ уровней ЭМС по кондуктивным ЭМП при работе электропередачи «берег – судно» осуществляется пропорционально требованиям этого стандарта.

Нестандартные показатели усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО) в электрических сетях. Вследствие этого нарушаются уровни ЭМС технических средств включительно и самих электрических сетей как рецепторов для кондуктивных ЭМП, распространяющихся по линиям электропередач. В конечном счете понижается качество функционирования технических средств.

При резкопеременном режиме работы различных потребителей большой номинальной мощности среди нарушений ПКЭ чаще всего происходят провалы напряжения, которые приводят к моментальным последствиям, зависящим от их глубины и длительности. Они формируют кондуктивную ЭМП по отклонению и провалам напряжения, передающуюся по береговым сетям [11].

Снабжение береговых объектов предприятий, связанных непосредственно с флотом и удаленных от центров питания, имеющих ограниченную мощность источников питания, что непосредственно снижает их помехоустойчивость как при внешних воздействиях, так и воздействиях внутри системы берегового электроснабжения для собственных мощных потребителей.

На рис. 1 приведена система электропередачи «берег – судно».

Временные электрические сети на объектах технического флота, ремонтируемых или строящихся на различных судоремонтных заводах, снабжаются непосредственно электроэнергией от береговых сетей в соответствии с действующими правилами по электробезопасности при электроснабжении ремонтируемых и строящихся судов и заводскими инструкциями.

Снабжение объектов технического флота от прибрежных сетей переменного тока должно непосредственно осуществляться через установленные на причалах стандартные электроколонки для электроснабжения судов. Кабельные линии питания электроколонок необходимо присоединять напрямую к распределительным 0,4 кВ подстанциям

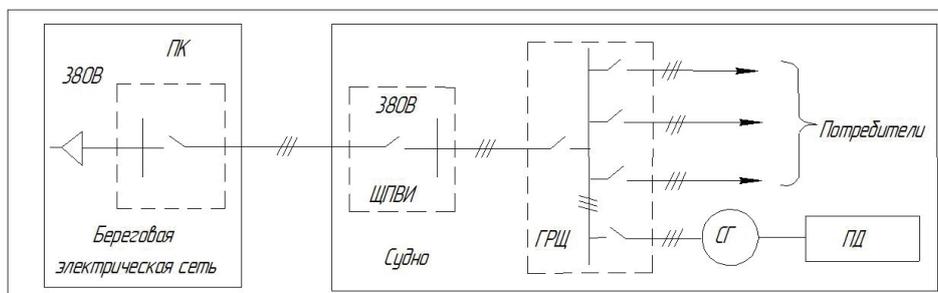


Рис. 1. Система электропередачи «берег-судно»

порта отдельно от сети питания крановых электроколоннок. При дооборудовании причалов обычными электроколонками для электроснабжения судов разрешается подключение судов также к крановым электроколонкам [11].

Для обеспечения нормируемых значений напряжения в соответствии с ГОСТом необходимо провести ряд организационных и технических мероприятий:

- проложить дублирующую линию электропередачи;
- равномерно распределить нагрузку;
- предусмотреть компенсацию реактивной мощности для участков с низким $\cos \varphi$;
- организовать контроль за потреблением электрической энергии объектами технического флота;
- оснастить пункты подключения судов электронными средствами контроля, регистрации и передачи данных о потреблении электроэнергии;
- для судов сторонних организаций предусмотреть штрафные санкции за превышение потребления электроэнергии [11].

Таким образом, при обеспечении качества электроэнергии в электрических сетях береговых объектов водного транспорта необходимо выполнить главное условие — разделить объекты технического флота по категориям в зависимости от способности создавать кондуктивные ЭМП и негативно реагировать на эти воздействия.

Бесперебойное и высококачественное энергоснабжение считается неотъемлемым притязанием финансовой составляющей функционирования самого флота и их объектов.

Однако вопрос решения научно-технической задачи для повышения качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем до сих пор не решён, что вызывает определённые сложности в обнаружении проблемы своевременно. Поэтому возникает необходимость в разработке алгоритма по определению кондуктивных электромагнитных помех [13], что позволит своевременно обнаруживать данную помеху и вероятность её появления в электрических сетях любого уровня напряжения и тем самым оценивать уровень опасности от данной помехи. Данный алгоритм позволит сделать шаг вперед на пути к подавлению кондуктивной ЭМП, что является актуальным на сегодняшний день.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014–07–01. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
2. Хацевский К. В., Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин [и др.]. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения // Омский научный вестник. 2012. № 2 (110). С. 212–214.
3. Клеутин В. И. Методика подавления кондуктивной электромагнитной помехи в электропередаче 0,4 кВ «берег-судно» // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 228–230.
4. Антонов А. И., Денчик Ю. М., Зубанов Д. А. [и др.]. Регулирование уровня напряжения в электрических сетях предприятий водного транспорта // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 339–341.
5. Денчик Ю. М., Зубанов Д. А., Клеутин В. И. [и др.]. Обеспечение качества напряжения в электрических сетях Омского судостроительно-судоремонтного завода // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 1. С. 334–336.
6. Денчик Ю. М., Дзюба П. А., Зубанов Д. А. [и др.]. Статистическая оценка влияния резкопеременного режима работы плавкрана КПЛ 667 на качество напряжения в береговой сети 0,4 кВ // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 1. С. 291–296.
7. Вишнягов М. Г., Журовский А. М., Клеутин В. И. [и др.]. Результаты экспериментальных исследований показателей качества электроэнергии в энергосистеме плавкрана СПГ-43/82 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2009. № 2. С. 404–408.
8. Смыков Ю. Н., Некрасов А. В., Иванов М. Н. [и др.]. Аспекты обеспечения безопасности и надёжности при электроснабжении судна с берега // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 160–162.
9. Иванов М. Н., Смыков Ю. Н. Электромагнитная обстановка в электрических сетях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1-2. С. 252–255.
10. Сальников В. Г., Денчик Ю. М., Иванов М. Н. [и др.]. Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи, обусловленные несинусоидальностью напряжения, в электрической сети (0,4–2) кВ механизированной скважины по добыче нефти // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 150–154.
11. Иванова Е. В., Глотов А. А., Денчик Ю. М. Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи как критерии качества функционирования технических средств // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии (ЭКСИЭ'05): сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. в рамках специализир. форума «Expo Build Russia» / ред. Ф. Н. Сарапулов. 2016. С. 196–198.
12. Сальников В. Г., Иванова Е. В., Смыков Ю. Н. [и др.]. Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи по отклонению частоты в электрической сети 10 кВ при различных источниках питания // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 1-2. С. 331–334.
13. А. с. Российская Федерация. Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной после-

Для цитирования

Руди Д. Ю. Проблема качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем // Омский научный вестник. 2018. № 3 (159). С. 40–43. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-40-43.

Статья поступила в редакцию 26.01.2018 г.

© Д. Ю. Руди

РУДИ Дмитрий Юрьевич, ассистент кафедры «Электротехника и электрооборудование» Омского института водного транспорта (филиал) «Сибирского государственного университета водного транспорта».

SPIN-код: 5222-7906

УДК 621.3.07

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-43-47

**А. Д. ДУБКОВА
С. Ю. ДОЛИНГЕР
Д. С. ОСИПОВ**

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА

В статье рассмотрен способ автоматической подстройки регулируемого дугогасящего реактора, использующий переходную характеристику контура нулевой последовательности распределительной сети для определения собственной частоты и параметров контура. В данном способе используется вейвлет-преобразование и непараметрический анализ для определения собственной частоты контура нулевой последовательности. Представлены результаты работы способа автоматической подстройки дугогасящего реактора при использовании различных алгоритмов непараметрического анализа при определении собственной частоты.

Ключевые слова: система управления, дугогасящий реактор, вейвлет-анализ, алгоритм Берга.

В настоящее время при эксплуатации дугогасящих реакторов возникают трудности с автоматической подстройкой при изменении структуры распределительной сети. Данные трудности обусловлены сложностью определения значения емкостного тока замыкания на землю.

Существуют различные методы определения емкостного тока замыкания на землю [1]. Использование регулируемых дугогасящих реакторов и позволяет уменьшить вероятность образования дуги при замыканиях на землю и перехода однофазного замыкания в более тяжелый аварийный режим.

Широкое применение получили методы экстремальной настройки компенсации емкостных токов замыкания на землю путем регулирования индуктивности дугогасящего реактора, при которых достигают максимума естественного или искусственного смещения напряжения нейтрали в нормальном режиме сети, либо используют фазовые характеристики сети выделяя опорные напряжения и сводя к нулю угол между выбранными напряжениями [2]. Первые обладают недостаточной чувствительностью, а вторые, несмотря на усложнения введе-

нием модуляции, остаются зависимыми от смещения нейтрали и добротности контура сети. Также известен способ, основанный на том, что в контур нулевой последовательности сети вводят опорный ток не промышленной частоты, измеряют полный ток контура и напряжение смещения нейтрали, выделяют соответствующие составляющие тока и напряжения и определяют емкостное и индуктивное сопротивление контура, соотношение которых используют для оценки текущей расстройки контура и формирования соответствующего регулирующего воздействия на изменение индуктивности дугогасящего реактора. В отличие от экстремальных, этот способ мало зависит от естественного смещения нейтрали и обладает расширенным диапазоном настройки. Для реализации данного способа требуется сложное вспомогательное электрооборудование в виде генератора переменной частоты повышенной мощности. Этот недостаток ограничивает область применения способа [3].

Для устранения представленных выше недостатков и для повышения точности настройки дугогасящего реактора был разработан метод, основанный