

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СУДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ФЛОТА ПРИ ПИТАНИИ ОТ БЕРЕГОВЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Клеутин Владислав Иванович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники
и электрооборудования,
Омский институт водного транспорта
(филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»,
Омск, Россия

Руди Дмитрий Юрьевич

старший преподаватель
кафедры электротехники и электрооборудования,
Омский институт водного транспорта
(филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»,
Омск, Россия

Антонов Александр Игоревич

кандидат технических наук,
доцент кафедры электротехники
и электрооборудования,
Омский институт водного транспорта
(филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»,
Омск, Россия
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru

Хацевский Константин Владимирович

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры электротехники
и электрооборудования,
Омский институт водного транспорта
(филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»,
Омск, Россия

Значительный рост нагрузки на объекты технического флота, такие как плавкраны, земснаряды, землососы и т. д., обуславливает проблему электромагнитной совместимости. Электроснабжение судов технического флота происходит от береговых сетей 0,4 кВ по экономическим причинам, но качество электроэнергии электропередачи «берег – судно» не соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 и Правилам классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского речного регистра (ПСВП РРР). Физический износ судов технического флота обостряет данную проблему.

Предмет исследования: процессы, влияющие на устойчивость электрической нагрузки по напряжению судовой сети 0,4 кВ при электроснабжении судна от береговой сети 10 кВ и нарушающие ЭМС технических средств.

Цель исследования: разработка научных положений и рекомендаций, позволяющих повысить устойчивость судовых узлов нагрузки по напряжению при электроснабжении от береговых сетей.

Объект исследования: системы электроснабжения судов технического флота при питании от береговых электроэнергетических систем.

Результаты исследования: на основе проведённых исследований показано, что предложенная методика повышает устойчивость электрической нагрузки по напряжению судов технического флота при электроснабжении от береговых сетей, имеющая существенное значение для водного транспорта.

Ключевые слова: качество электрической энергии, электрическая сеть, гармоническое воздействие, несинусоидальность напряжений, высшие гармоники.

IMPROVING THE QUALITY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF TECHNICAL FLEET VESSELS WHEN SUPPLIED FROM SHORE REGIONAL ELECTRIC POWER SYSTEMS

Vladislav I. Kleutin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Electrical
Engineering and Electrical Equipment,
Omsk Institute of Water Transport
(branch) of FGBOU VO SSUVT,
Omsk, Russia

Dmitry Yu. Rudi

Senior Lecturer,
Department of Electrical Engineering
and Electrical Equipment
Omsk Institute of Water Transport
(branch) of FGBOU VO SSUVT,
Omsk, Russia

Alexander I. Antonov

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Electrical Equipment
Omsk Institute water transport
(branch) of the Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education Saratov State University
of Water Transport,
Omsk, Russia
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru

Konstantin V. Khatsevsky

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Professor of the Department of Electrical Engineering
and Electrical Equipment
Omsk Institute of Water Transport
(branch) of the Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education Saratov State University
of Water Transport,
Omsk, Russia

A significant increase in the load on technical fleet objects, such as floating cranes, dredgers, dredgers, etc., causes the problem of electromagnetic compatibility. Electricity supply of technical fleet vessels is carried out from 0.4 kV shore networks for economic reasons, but the quality of electricity of the shore-to-ship power transmission does not meet the requirements of GOST 32144-2013 and the Rules for the Classification and Construction of Inland Navigation Vessels of the Russian River Register (RSRR). Physical wear and tear of technical fleet vessels exacerbates this problem.

Subject of the study: processes affecting the stability of the electrical load on the voltage of the ship's 0.4 kV network when supplying the vessel with electricity from a 10 kV shore network and violating the EMC of technical equipment.

Objective of the study: development of scientific provisions and recommendations to improve the stability of ship voltage load nodes when powered from shore networks. Research subject: power supply systems of technical fleet vessels when powered from shore power systems.

Research results: based on the conducted research, it is shown that the proposed method increases the stability of the electrical load on the voltage of technical fleet vessels when powered from shore networks, which is essential for water transport.

Keywords: quality of electrical energy, electrical network, harmonic effect, non-sinusoidal voltage, higher harmonics.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение регионов Сибири и Дальнего Востока обуславливает интенсивное развитие единой транспортной инфраструктуры (автомобильного, водного и железнодорожного транспорта). Водному (речному) транспорту отводится значительная доля грузоперевозок. Это увеличивает нагрузку на технический флот (плавкраны, земснаряды, землесосы и т. д.), который обеспечивает водный путь [1].

Электроснабжение береговых объектов (портов, нефтебаз, судоремонтных заводов, транспортных терминалов по переработке грузов совместно с железнодорожным транспортом) осуществляется в основном от региональных электроэнергетических систем (ЭЭС). В береговых сетях (6–10) кВ объектов водного транспорта, характеризующихся небольшими мощностями трёхфазного короткого замыкания (КЗ), обостряется проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) из-за качественных изменений нагрузок в электрических сетях общего назначения, появляются кондуктивные электромагнитные помехи (ЭМП). Так, в сетях Западной Сибири произошло увеличение доли нелинейных нагрузок тяговых подстанций железнодорожного транспорта и нефтегазодобывающих месторождений [2–5].

По экономическим причинам суда технического флота, где это возможно, получают электроэнергию от береговых сетей [6]. При этом снижается качество функционирования электропередачи «берег – судно» 0,4 кВ. Проблема ЭМС многогранна, и одна из научно-технических задач – повышение устойчивости судовых узлов нагрузки по напряжению при электроснабжении от береговых сетей не решена. Отсутствует соответствующий стандарт или методика.

Применение СЭС для судов технического флота обуславливается экономической эффективностью. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений для осуществления технических и организационных мероприятий в береговой и судовой сетях составляет от 0,5 до 1,5 года.

Среди источников кондуктивных ЭМП в электропередаче «берег – судно» 0,4 кВ выделяются электроприёмники плавкранов с резкопеременным режимом работы. Эти приёмники при некачественной электроэнергии в береговой сети нарушают уровни ЭМС для кондуктивных ЭМП, распространяющихся по проводам. В основном наблюдаются кондуктивные ЭМП по отклонению напряжения, которые снижают устойчивость судовых узлов нагрузки, состоящих из

асинхронных двигателей, по напряжению [11, 12].

Известно, что уменьшение напряжения на зажимах асинхронного двигателя приводит к уменьшению максимума активной мощности P и росту скольжения S . Это приводит к нарушениям критерия статической устойчивости асинхронного двигателя $(dP/dS) > 0$ [13, 14]. В результате этого двигатель резко тормозится и «опрокидывается», разрушая при этом приводные механизмы, вызывая тяжёлые технологические аварии.

Сложность возникновения и определения путей проникновения кондуктивных ЭМП в электропередаче «берег – судно» обусловило применение системного анализа к определению направления исследований и методов подавления этих помех.

Теоретической базой выполненных исследований являются научные работы учёных и специалистов в области ЭМС технических средств [2, 7–10]. Ретроспективный анализ этих исследований показал, что они не позволяют обеспечить достоверное научно-техническое обоснование для принятия технических решений по подавлению кондуктивных ЭМП, снижающих устойчивость узлов нагрузки по напряжению в судовых электрических сетях при электроснабжении судов с берега.

В связи с этим теоретически исследовались зависимость параметров ЭМС как показателей качества функционирования технических средств от нарушений качества напряжений в питающих электрических сетях и процесс возникновения кондуктивных ЭМП, распространяющихся по проводам, а также возможности применения производящей функции для определения параметров поля событий, характеризующего сложную ЭМО [15].

В действующей электропередаче «берег – судно» 0,4 кВ может наблюдаться n -е количество кондуктивных ЭМП, обусловленных нестандартными значениями показателей качества электроэнергии (КЭ). Эти помехи взаимосвязаны и многогранны. В связи с этим теоретически исследовались условия, при которых обеспечивается устойчивость судовых узлов нагрузки по напряжению с помощью помехоподавляющих технических средств (ППТС).

Кондуктивные ЭМП обладают стохастическими свойствами и порождаются превышением нормально и предельно допустимых значений показателей КЭ [16]. Параметры этих ЭМП составляют множество G_k :

$$G_k = \{g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, \dots, g_k^{(i)}, \dots, g_k^{(m)}\}, \quad (1)$$

где $g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, \dots, g_k^{(i)}, \dots, g_k^{(m)}$ – параметры кондуктивных ЭМП по i -му показателю КЭ;

$i = 1, m$ – замкнутое множество; $g_k^{(i)} \in G_k$.

Множество G_k содержится во множестве

$$G_k \subset \Sigma M, \quad (2)$$

которое отображает общую ЭМО.

Параметры ППТС также составляют множество

$$G_z = \{g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}\}, \quad (3)$$

где $g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}$ – параметры ППТС;

$i = 1, m$ – замкнутое множество; $g_z^{(i)} \in G_z$.

Множество G_z определяется характером ЭМО, поэтому определено на множестве

$$G_z \subset \Sigma M. \quad (4)$$

Поскольку процесс реакции ППТС на ЭМП происходит в единой ЭМО, можно использовать биекцию (взаимно однозначное отображение). С помощью такого подхода доказываются, что

$$g_z^{(i)} \leftrightarrow g_k^{(i)}, \quad (5)$$

где $i = 1, n$ – замкнутое множество.

Таким образом, основным условием повышения устойчивости судовых узлов нагрузки по напряжению в электропередаче «берег – судно» путём подавления кондуктивных ЭМП является обеспечение единого параметрического пространства параметров этих помех и ППТС [17].

Планирование эксперимента является одним из основных этапов исследований сложных систем и многофакторных объектов. Чётко провести эксперимент, объективно оценить сведения об изучаемом переходном процессе и распространить материал, полученный в одном исследовании, на другие подобные процессы можно только в том случае, если эти экспериментальные исследования научно обоснованно поставлены, а их обработка выполнена при обобщённом подходе [16].

При исследовании сложной ЭМО характерна взаимная связь экспериментальных и аналитических методов. ЭМО в электропередаче «берег – судно» можно отнести к сложной как по количеству электромагнитных явлений (процессов) в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах, так и по их характеру. Их нельзя расчленить на независимые составляющие и при определении параметров ЭМО применить в той или иной форме метод наложения, изменяя влияющие факторы «по одному». Поэтому при изучении явлений используются данные натурального эксперимента [18].

При разработке электрической схемы экспериментальных исследований и выборе измерительной аппаратуры учитывались требования к метрологическим характеристикам средств измерений, предъявляемые ГОСТ 32144-2013. Использовалось только сертифицированное оборудование (рис. 1). Параметры ЭМО определялись с помощью прибора-анализатора качества электроэнергии «Ресурс-ПКЭ».

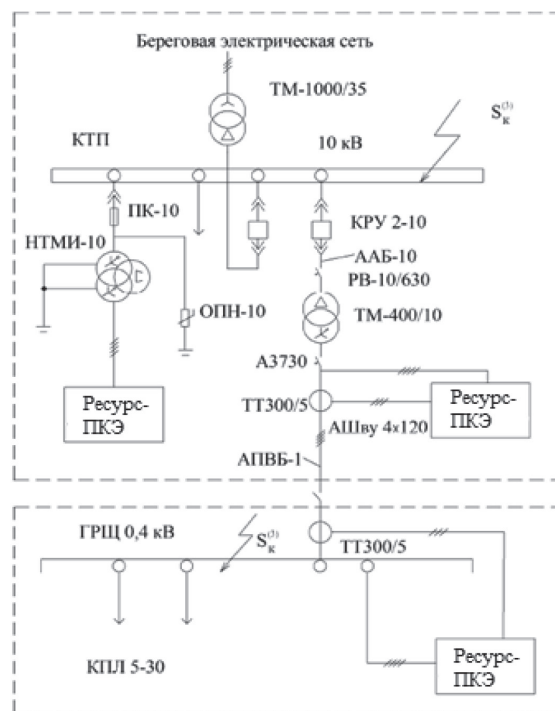


Рисунок 1. Электрическая схема электроснабжения плавкрана типа КПЛ 5–30 с аппаратурой средств измерений при экспериментальных исследованиях

Произведены технические мероприятия в береговой сети 10 кВ с целью обеспечения нормируемых уровней ЭМС для кондуктивных ЭМП. В частности, медленные изменения напряжений характеризовались параметрами: математическим ожиданием $M[\delta U_{II}] = 2,48 \%$, средним квадратическим отклонением $\sigma[\delta U_{II}] = 3,2 \%$.

Разработана методика определения параметров распределения кондуктивной ЭМП по медленным изменениям напряжения в судовой сети 0,4 кВ при электроснабжении плавкрана типа КПЛ 5–30 от береговой сети 10 кВ [19, 20]. Учитывали, что требования к показателям КЭ для судов внутреннего плавания определяются ПСВП РРР.

Отклонение напряжений δU в судовых сетях 0,4 кВ технического флота определяется режимом работы основных приемников электроэнергии. Поэтому было принято, что расчётное время измерений T_p соответствует периоду цикла работы плавкрана (T_{II}).

Процесс возникновения кондуктивной ЭМП по медленным изменениям напряжений представляется математической моделью [21, 22]:

$$\delta U \{ [P(\delta U_{K+} < \delta U < \infty) + P(-\infty < \delta U < \delta U_{K-})] > (1,5/T_{II}) \}; \quad (6)$$

$$[P(\delta U_{D+} < \delta U < \delta U_{K+}) + P(-\infty < \delta U < \delta U_{K-})] \neq 0 \} \subseteq \delta U_{II}^1$$

Таким образом, кондуктивная ЭМП δU_{II} появляется в судовой сети при электроснабжении судна от береговой сети тогда, когда вероятность нахождения δU в течение цикла (T_{II} , с) в пределах $(\delta U_{K+}; \infty)$ и $(-\infty; \delta U_{K-})$ превышает допустимое значение $(1,5/T_{II})$, а в пределах $(\delta U_{D+}; \delta U_{K+})$ и $(\delta U_{K-}; \delta U_{D-})$ не равна нулю. Она появляется также при выполнении только одного условия.

Результаты математической обработки медленных изменений напряжений на шинах 0,4 кВ ГРЩ показали, что требования ПСВП РРР не выполняются. Случайная величина δU следует нормальному закону распределения теории вероятности и математической статистики с параметрами: $M[\delta U] = 4,2 \%$; $\sigma[\delta U] = 8,03 \%$; относительное значение времени превышения длительных допустимых значений медленных изменений напряжений составляет около 20 %, а относительное значение времени превышения кратковременных допустимых значений медленных изменений напряжений около 1 % (рис. 2).

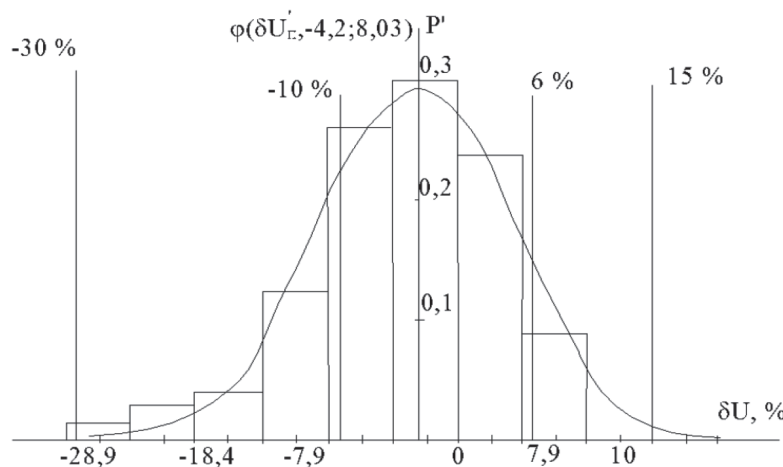


Рисунок 2. Гистограмма распределения отклонений напряжения, совмещенная с графиком нормальной плотности вероятности распределения $\varphi(\delta U_{II}; -4,2; 8,03)$ и нормируемыми Правилами классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского речного регистра значениями отклонений напряжения

Нормальная плотность вероятности распределения кондуктивной ЭМП по медленным изменениям напряжения δU_{II} определяется по формуле:

$$\varphi(\delta U_{II}, -4,2, 8,03) = 0,274 \exp \left[\frac{-(\delta U_{II} + 4,2)^2}{129} \right]. \quad (10)$$

Вероятность появления величины δU_{II} за цикл работы плавкрана, рассчитанная по формуле (8), составляет 0,2.

Таким образом, с вероятностью 0,95 можно утверждать, что кондуктивная ЭМП

по отклонению напряжения в судовой электрической сети 0,4 кВ при электроснабжении от береговой сети 10 кВ характеризуется параметрами $M[\delta U_{II}] = -4,2 \%$, $\sigma[\delta U_{II}] = 8,03 \%$. Вероятность появления этой помехи превышает допустимое значение (0,05) в 4 раза. Если учесть, что разгрузка, например, баржи песка грузоподъемностью 1000 т продолжается в среднем 22 часа непрерывной работы, то время действия этой помехи достигает 5 часов.

Исследовались статические характеристики нагрузки плавкрана типа КПЛ 5–30 по

напряжению, которая представлена асинхронными двигателями серии 4МТН 280 S10. Установлено, что для исследуемого узла нагрузки критическое напряжение составляет 70 % от номинального напряжения, т. е. $U_{кр} \approx 0,7U_{н}$.

В таблице приведены расчетные значения коэффициента запаса устойчивости узла нагрузки по напряжению ($K_{(U)}$) в зависимости от вероятности снижения напряжения (P) по интервалам.

Среднее значение отклонения напряжения по интервалам, %	-23,625	-18,375	-13,125	-7,875
Среднее значение напряжения в интервале, В	290	310	330	350
Коэффициент запаса устойчивости нагрузки по напряжению	0,0789	0,138	0,186	0,207
Вероятность попадания напряжения в интервал P, о.е.	0,02	0,058	0,147	0,207
Функция $K(U)=f(P)$ в середине интервала	0,0311	0,1	0,182	0,247

Методом выравнивания был определен вид математической зависимости $K_{(U)} = f(P)$ в виде параболы, а методом средних определен её постоянный коэффициент. В результате получили следующую эмпирическую математическую модель для прогнозирования коэффициента $K_{(U)}$ в течение рабочего цикла погрузо-разгрузочных работ плавкрана от вероятности появления определенного уровня напряжения в электропередаче «берег – судно» 0,4 кВ.

$$K_{(U)} = P^{0,8866}. \quad (11)$$

Эта функция не имеет точек и линий разрыва и является дифференцируемой. Аналитичность этой функции соответствует условиям Коши – Риммана.

Областью применения этой модели являются электрические сети 0,4 кВ судов технического флота при электроснабжении от береговых сетей. Относительная ошибка расчетов с вероятностью 0,95 не превышает ± 14 %.

Расчетным путем исследовалось влияние потребляемой реактивной мощности в судовой электрической сети на напряжение в электропередаче «берег – судно» 0,4 кВ. Установлено, что регулирующий эффект нагрузки плавкрана при $U > U_{кр}$ имеет положительное значение, но недостаточное для обеспечения устойчивой работы электроприёмников.

Для повышения устойчивости узлов нагрузки по напряжению рекомендуется использовать также систему автоматического регулирования напряжения (АРН). Предложено стабилизировать напряжение в центре питания (ЦП) электропередачи «берег – судно» 0,4 кВ. При этом основным достоверным параметром, характеризующим уровень напряжения, представляется математическое ожидание кондуктивной ЭМП по отклонению напряжения $M[\delta U_{П}]$, которая имеет знак минус. На рисунке 3 показана блок-схема АРН [26–28].

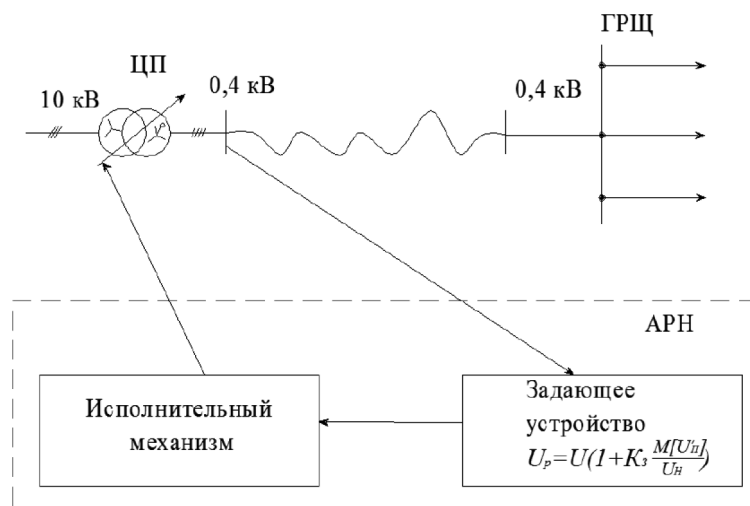


Рисунок 3. Блок-схема автоматического регулирования напряжения

Закон регулирования напряжения в ЦП представляется математической моделью

$$U_p = U \left\{ 1 + K_3 \cdot \frac{M[\delta U_H]}{U} \right\}, \quad (12)$$

где $K_3 = 1,15$ – коэффициент запаса настройки регулятора напряжения; U – фактическое напряжение в сети, В.

Эффективность предложенной методики повышения устойчивости судовых узлов нагрузки по напряжению экспериментально проверялась во время опытов [29].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руди, Д. Ю. Проблема качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем / Д. Ю. Руди // Омский научный вестник. – 2018. № 3 (159). – С. 40–43.
2. Асосков, С. М. К проблеме электроснабжения при некачественной электроэнергии / С. М. Асосков, М. Г. Вишнягов, Е. В. Иванова [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 333–336.
3. Руди, Д. Ю. Проблемы качества электроэнергии и электромагнитной совместимости в электроэнергетических системах / Д. Ю. Руди, В. И. Клеутин, А. И. Антонов // Трансформация научной мысли в XXI веке : сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 692–707.
4. Хацевский, К. В. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / К. В. Хацевский, Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин [и др.] // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (110). – С. 212–214.
5. Денчик, Ю. М. Электромагнитная обстановка в электрических сетях Прииртышья / Ю. М. Денчик, Е. В. Иванова, М. Н. Иванов [и др.] // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России – 2020 : сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции. – 2020. – С. 121–126.
6. Антонов, А. И. Техничко-экономический аспект электроснабжения судна от береговой сети / А. И. Антонов, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин, А. А. Руппель // Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 14–18.
7. Горелов, В. П. Проблемы электроснабжения в Сибири и на Дальнем Востоке / В. П. Горелов, Морев К. Н. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 3–4. – С. 144–147.
8. Агафонов А. М. Обеспечение электромагнитной совместимости систем интеллектуального управления при появлении помех в судовых кабельных трассах / А. М. Агафонов, А. А. Воршевский, П. А. Воршевский [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1–3 (47). – С. 115–120.
9. Агафонов, А. М. Обеспечение электромагнитной совместимости судового электрооборудования / А. М. Агафонов, А. А. Воршевский, П. А. Воршевский, Е. С. Гришаков // Морской вестник. – 2019. – № 2 (70). – С. 55–57.
10. Агафонов, А. М. Электромагнитная совместимость как условие одобрения судового оборудования / А. М. Агафонов, А. А. Воршевский, П. А. Воршевский // Морской вестник. – 2013. – № S1 (10). – С. 50–52.
11. Савельев, И. А. Источники электромагнитных помех в сетях 0,4 кВ общего назначения / И. А. Савельев, С. А. Большанин, Е. В. Иванова // Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России : материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара. – 2018. – С. 172–174.
12. Антонов, А. И. Анализ влияния основных показателей качества электроэнергии на судовую сеть / А. И. Антонов, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин, А. Е. Швецова // Сборник научных трудов. – Омск, 2013. – С. 102–109.
13. Антонов, А. И. Анализ факторов, влияющих на статическую устойчивость электроэнергетической системы / А. И. Антонов, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин, А. С. Никишкин // Сборник научных трудов. – Новосибирская государственная академия водного транспорта. Иртышский филиал (Омск). – Омск, 2012. – С. 66–70.
14. Антонов, А. И. Анализ общей характеристики устойчивости узлов нагрузки электроэнергетических систем / А. И. Антонов, А. А. Сидоренко, К. В. Хацевский, В. И. Клеутин // Сборник научных трудов. – Омск, 2013. – С. 4–6.
15. Денчик, Ю. М. Определение параметров поля событий в электрических сетях при сложной электромагнитной обстановке / Ю. М. Денчик // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 418–424.
16. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е. В. Иванова ; под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. – Новосибирск : НГАВТ, 2006. – 432 с.
17. Клеутин, В. И. Устойчивость узла нагрузки по напряжению плавкрана при электроснабжении от береговых сетей / М. Н. Иванов, В. И. Клеутин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 320–322.
18. Венников, В. А. Теория подавления и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) : учебное пособие для вузов / В. А. Венников. – М. : Высшая школа, 1976. – 479 с. с ил.
19. Денчик, Ю. М. Методика определения кондуктивных электромагнитных помех по установившемуся отклонению напряжения в судовой электрической сети / Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 327–330.
20. Клеутин, В. И. Определение отклонение напряжения в линии электропередачи «берег-судно» / В. И. Клеутин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 336–339.

21. Антонов, А. И. Вероятность и процесс возникновения кондуктивной электромагнитной помехи в электроэнергетических системах / А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов, В. И. Клеутин, А. А. Руппель // Сборник научных трудов. – Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО "СГУВТ". – Омск, 2015. – С. 4–8.
22. Ковалев, А. Ю. Математическое описание процесса формирования в электрической сети кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех / А. Ю. Ковалев, Н. А. Ковалева, Е. В. Иванова [и др.] // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы : материалы VI Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 143–145.
23. Денчик, Ю. М. Статистическая оценка влияния резкопеременного режима работы плавкрана КПЛ 667 на качество напряжения в береговой сети 0,4 кВ / Ю. М. Денчик, П. А. Дзюба, Д. А. Зубанов [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 1. – С. 291–296.
24. Денчик, Ю. М. Обеспечение качества напряжения в электрических сетях Омского судостроительно-судоремонтного завода / Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, В. И. Клеутин [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 334–336.
25. Ананьина, Т. В. Электромагнитная совместимость береговой и судовой электрических сетей при электроснабжении судна с берега / Т. В. Ананьина, Ю. М. Денчик, Е. В. Иванова [и др.] // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 489–495.
26. Денчик, Ю. М. Обеспечение согласованного электроснабжения береговых и плавучих объектов в акваториях портов (причалов) / Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, Е. В. Иванова, В. Г. Сальников // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2021. – № 3. – С. 39–44.
27. Смыков, Ю. Н. Роль повышения качества функционирования электропередачи «берег-судно» при разработке планов управления энергоэффективностью судна / Ю. Н. Смыков // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 138–145.
28. Смыков, Ю. Н. Проблемы электроснабжения судов технического флота от береговой электрической сети / Ю. Н. Смыков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 192–194.
29. Смыков, Ю. Н. Значимые регулирующие эффекты по напряжению фидера судовой электрической нагрузки / Ю. Н. Смыков, Д. А. Зубанов, Ю. М. Денчик [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – № 1. – С. 206–211.