

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)**

**Методические указания**

**к самостоятельной работе аспирантов  
по дисциплине Б1.В.ДВ.1.01 Электромагнитная совместимость**

**для подготовки аспирантов направления 13.06.01 Электро и теплотехника  
код и наименование направления подготовки (специальности)**

**Электротехнические комплексы и системы**  
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

**Мурманск**

**2019**

Составитель зав. кафедрой «Электрооборудование судов»

д.т.н., профессор Власов Анатолий Борисович

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры – разработчика  
«Электрооборудования судов»

протокол № 9 от 17.06.19

Рецензент – Урванцев В.И., доцент

\

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Наименование разделов	Стр.
<b>Общие организационно – методические указания .....</b>	<b>4</b>
<b>Тематический план.....</b>	<b>5</b>
<b>Список рекомендуемой литературы.....</b>	<b>6</b>
<b>Содержание и методические указания к изучению тем дисциплины.....</b>	<b>7</b>

## ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО - МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Данные методические указания составлены в соответствии с квалификационной характеристикой аспиранта ФГОС 878 от 30.07. 2014

Дисциплина "Электромагнитная совместимость" изучается на 3 курсе.

*Знать:*

- источники и виды электромагнитных помех, их характеристики, каналы распространения и способы защиты от них;

- особенности расчета электрических полей, индуцируемых различными источниками на судах;

- требования к качеству электрической энергии и способы измерения их характеристик;

- основные требования, предъявляемые к помехоустойчивости оборудования

*Уметь:*

- проектировать системы питания с учетом специфики работы при наличии электромагнитных полей;

- применять инженерные методы расчета и выбора средств защиты от помех;

- применять эффективные методы, устраняющие воздействие электромагнитных полей на технические средства и человека.

*Обладать:*

навыками анализа защиты электротехнических устройств, схем, аналоговых и цифровых приборов.

Таблица 4

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

**Очная: курс 3 , семестр 5**

№ №	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по фор- мам обучения		
		Очная Л/ЛР/ПЗ/СРС	Очно- заочная Л/ЛР/ПЗ/ СРС	Заочная Л/ЛР/ПЗ/СР С
	1	2	3	4
1	Введение. Краткий исторический обзор развития проблемы ЭМС на судах.	-/-/-/6	-	
2	Возникновение импульсных помех в судовых электроэнергетических системах. Импульсные помехи при работе полупроводниковых преобразователей. Непериодические коммутационные импульсные помехи.	-/2/-/6		
3	Распространение импульсных помех по судовой кабельной сети, из сети через вторичные источники питания. Импульсные помехи, наведенные в информационных кабелях	-/-/-/6		

4	Влияние импульсных помех на судовое электронное и электротехническое оборудование. Элементная база. Цифровые устройства управления. Аналоговые устройства управления. Измерительные устройства. Энергетическое оборудование	-/2/-/7		
5	Снижение уровней импульсных помех в СЭЭС. Подавление помех в источнике. Методы снижения уровней помех при распространении в сети	-/2/-/7		
6	Защита оборудования от импульсных помех. Сетевые и входные фильтры. Экранирование и заземление. Нелинейные элементы. Рациональное проектирование	-/2/-/7		
7	Измерение помех на судах. Измерение импульсных токов и напряжений. Измерение периодических искажений напряжения. Измерение электромагнитных полей. Измерение помех при испытании оборудования	-/2/-/7		
8	Испытание оборудования на помехозащищенность. Имитаторы импульсных помех. Методика испытаний на допустимую восприимчивость к внешним помехам. Определение параметров электромагнитной связи цепей	-/-/-/7		
9	Стандарты на ЭМС электронного и электротехнического оборудования. Обзор стандартов и норм по ЭМС. Нормирование периодических импульсных помех. Требования МЭК к нормированию ЭМС на судах. Планирование мероприятий по обеспечению ЭМС	-/-/-/7		
Итого: 72		-/10/-/62		

**Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

**Основная литература по ЭМС**

<b>Библиотечные системы ЭБС</b>	
<p>Электромагнитная совместимость на судах [Электронный ресурс] : конспект лекций для специальности 180404 "Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики" / Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. электрооборудования судов ; сост. Ю. В. Неклюдов. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 714 Кб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2009. - Доступ из локальной сети Мурман. гос. техн. ун-та. - Загл. с экрана. Э 45.</p>	<p>1.ЭБС "Университетская библиотека онлайн" 2.ЭБС "IPR books"; 3.ЭБС "Консультант студента"</p>
<p>Анисимов, Я. Ф. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок / Я. Ф. Анисимов, Е. П. Васильев. - Ленинград : Судостроение, 1990. - 264 с. : ил. (2)</p>	

Трехфазные корректоры коэффициента мощности в судовых системах электропитания / Б. Ф. Дмитриев [и др.] // Судостроение. - 2004. - № 6. - С. 49-51.	
Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А. Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, Р. К. Борисов и др. ; под ред. А. Ф. Дьякова. - Москва : Энергоатомиздат, 2003. - 768 с. - ISBN 5-283-02589-6 : 510-00. 31.2 - Э 45 (4)	
.ГОСТ 32144— 2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. –М.: Стандартинформ, 2014, -16 с	
.ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008), Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерения показателей качества электрической энергии. –М.: Стандартинформ, 2014, -30 с.	
.ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009), Межгосударственный стандарт. Совместимость техническая электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемым к ним техническим средств. –М.: Стандартинформ, 2014, -34 с.	
.Качество электрической энергии на судах: Справочник /Шейнихович В.В., Климанов О.Н., Пайкин Ю.И., Зубарев Ю.Я. –Л.: Судостроение, 1988. -160 с.	
.Технический регламент о безопасности объектов морского транспорта (утв. Постановлением Правительства РФ от 12 августа 2010 г. N 620).	
Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации, 2016. Российский морской Регистр судоходства.	
.Романовский В.В., Лебедев В.И., Гостев А.Г., Качество электроэнергии гребных электрических установок судов ледового плавания и ледоколов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014, №6 (28), 56-60.	
Агунов А.В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах: науч. Изд./ А.В. Агунов. – СПб.: Изд. СПбГМТУ , 2009. -133 с.	
.Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов, 2015. Т.1., часть I. Общие положения по техническому наблюдению. Часть II. Техническая документация. Российский морской Регистр судоходства.	
Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств. Учебник, СПбГМТУ.-СПб., 2010.	
Воршевский А.А. Электромагнитная совместимость в судовых электроэнергетических системах. Методические указания к лабораторным работам. Изд ЛКИ, 1996.	
.Воршевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств. Учебник, СПбГМТУ.-СПб., 2006	

## ГОСТы

1. ГОСТ 30372-95, ГОСТ Р 50397-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. 15.05.1996, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.- 12 с.
2. ГОСТ Р 50745-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Системы бесперебойного питания. Устройства подавления сетевых импульсных помех. Требования и методы испытаний. 28.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 10 с.
3. ГОСТ Р 50746-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний. 08.12.2000, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 31 с.
4. ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний. 28.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.-11 с.
5. ГОСТ Р 51317.4.1-2000 (МЭК 61000-4-1-2000). Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Виды испытаний. 01.12.2000, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 11 с.
6. ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-97). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний. 24.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. -27 с.
7. ГОСТ Р 51317.4.15-99 (МЭК 61000-4-15-97). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний. 24.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 14 с.
8. ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-1-2-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний. 24.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 19 с.
9. ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний. 28.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 23 с.
10. ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. 24.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. -17 с.
11. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. 28.12.1999, М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 25 с.
12. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
13. ГОСТ 33073- 2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва. Стандартинформ, 2014. – 81.
14. ГОСТ Р 53333-2008 .Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

### Дополнительная

15. Ворщевский А.А., Гальперин В.Е. Электромагнитная совместимость судовых технических средств. СПбГМТУ, Санкт-Петербург: 2006, –317 с. (есть). Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – 3-е изд. Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с..
16. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств. Справочник, М.: 2001, - 401 с
17. Карташев И.И. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: Способы его контроля и обеспечения. М.: Издательство МЭИ. 2001. 120стр.
18. Карташев И.И. Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии. Издательский дом МЭИ, 2006. 320стр.
19. Кужекин И.П. Основы электромагнитной совместимости современного энергетического оборудования: учебное пособие / И.П. Кужекин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008, - 144 с.
20. Ю.Куско А., Томпсон М., Качество энергии в электрических сетях. М.: Издательский дом «Додэка-XX1», 2008. 336 стр.
21. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Романенко А.В. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления (учебное пособие в Правилах Регистра и технической эксплуатации) к разделам А-III/1, А-III/2 STCW-CODE 78/95. Издание второе. Одесса, 2005. -370 с. (есть)
22. Требования по выполнению электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики / Методические указания. – М.: НТФ "Энергопрогресс", 2005 . 68 с. [Библиотека электротехник, приложение к журналу "Энергетик", Вып. 10 (82)].
23. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
24. Шидловский А.К., Жаркин А.Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях К.: Наукова думка, 2005. - 209стр. (есть)
25. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебно-методический комплекс/ сост. А.Л. Виноградов, В.С. Гончар, Г.З. Зайцев. – СПб. Изд. СЗТУ, 2009, –136 с.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### Раздел 1.

Введение. Краткий исторический обзор развития проблемы ЭМС на судах. Электромагнитная совместимость. Характеристики помех. Возникновение импульсных помех в судовых электроэнергетических системах. Импульсные помехи при работе полупроводниковых преобразователей. Непериодические коммутационные импульсные помехи.

#### **Методические указания**

Электромагнитной совместимостью технических средств называется способность технических средств функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты.

Целями ЭМС являются:



- предотвращение нарушений работы технических средств при воздействии на них электромагнитных помех;
- исключение или ограничение электромагнитных помех, создаваемых техническими средствами;
- исключение неблагоприятных электромагнитных воздействий на биологические объекты или ограничения уровня таких воздействий;
- обеспечение качества электрической энергии.

Помехоустойчивость технических средств — это способность технических средств сохранять заданное качество функционирования при воздействии на них регламентированных стандартами электромагнитных помех.

Точка общего присоединения - точка электрической сети общего назначения, электрически ближайшая к сетям рассматриваемого потребителя электрической энергии, к которой присоединены или могут быть присоединены электрические сети других потребителей.

## **Раздел 2.**

Распространение импульсных помех по судовой кабельной сети, из сети через вторичные источники питания. Импульсные помехи, наведенные в информационных кабелях

Влияние импульсных помех на судовое электронное и электротехническое оборудование.

### **Методические указания**

Источники электромагнитных помех и их классификация: естественного происхождения, создаваемые функциональными источниками, создаваемые нефункциональными источниками. Функциональным называют источник электромагнитной помехи, если для него самого создаваемая помеха является полезным сигналом.

К таким источникам на судах относятся, прежде всего, передающие устройства радиосвязи, телепередатчики, генераторы высокой частоты промышленного применения, микроволновые печи, радиолокаторы, а также аппаратура, использующая цепи питания для передачи информации.

Нефункциональными называют источники, которые создают помехи в качестве побочного эффекта в процессе работы.

К ним можно отнести любые проводные коммуникации, создающие электромагнитные поля; коммутационные устройства; импульсные блоки питания аппаратуры, люминесцентные лампы, сварочное оборудование, электрический транспорт, коронные разряды. Электростатический разряд с тела человека также может рассматриваться как создаваемый нефункциональным источником помех. Принципиальное различие между функциональными и нефункциональными источниками состоит в том, что для вторых уровень электромагнитных помех часто можно снизить путем пересмотра конструкции источника, в то время как для функциональных источников помех такой путь обычно исключается

*Индуктивными* называются ЭМП, распространяющиеся в виде электромагнитных полей в непроводящих средах.

*Кондуктивные ЭМП* представляют собой токи, текущие по проводящим конструкциям и земле.

ЭМП "провод — земля" и «провод-провод»

Источники природных электромагнитных помех. Атмосферное электричество. Основными экологическими источниками наиболее тяжелых и частых нарушений нормальной работы энергетических систем являются грозовые разряды.

При ударе молнии возникают также индуктированные напряжения вследствие емкостных (электрическая составляющая) индуктивных (магнитная составляющая) связей между каналом молнии, и опорами и, проводами линии электропередачи (ЛЭП).

Напряжения и токи помех на судах могут проходить по кабелям питания через общую

сеть переменного тока, через электромагнитные связи кабелей в трассе.

### **Вопросы для самопроверки**

**I: Основными целями электромагнитной совместимости технических средств являются:**

1. Только предотвращение нарушений функционирования технических средств при воздействии на них электромагнитных помех.
2. Только исключение или ограничение электромагнитных помех, создаваемых техническими средствами.
3. Только исключение неблагоприятных электромагнитных воздействий на биологические объекты или ограничения уровня таких воздействий.
4. Только обеспечение регламентированного стандартами качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
5. Все перечисленные ответы в пунктах 1, 2, 3, 4.

### **II. Какой источник помех называют функциональным?**

- . Если электромагнитная помеха для источника является полезным сигналом.
- 2. Если помехи носят побочный эффект в процессе работы источника.
- 3. Если источник создает кондуктивные помехи.
- 4. Если источник создает индуктивные помехи.
- 5. Если источник создает широкополосные помехи.

### **III. В зависимости от среды распространения ЭМП разделяются на ...**

1. Низкочастотные и высокочастотные.
2. Индуктивные и кондуктивные.
3. Микросекундные импульсные помехи большой энергии и микросекундные импульсные помехи малой энергии.
4. Колебательные затухающие помехи и колебательные незатухающие помехи.

### **IV. Какой источник помех называют функциональным?**

1. Если электромагнитная помеха для источника является полезным сигналом.
2. Если помехи носят побочный эффект в процессе работы источника.
3. Если источник создает кондуктивные помехи.
4. Если источник создает индуктивные помехи.
5. Если источник создает широкополосные помехи.

### **Раздел 3.**

Вопросы обеспечения ЭМС. Источники помех на судне. Элементная база. Цифровые устройства управления. Аналоговые устройства управления. Измерительные устройства. Энергетическое оборудование. Возникновение помех в судовых электроэнергетических системах.

#### **Методические указания.**

Работа полупроводниковых преобразователей электроэнергии. Процесс возникновения помех при работе управляемого выпрямителя. Помехи при работе преобразователей постоянного тока. Коммутация резистивных нагрузок и емкостных цепей. Выключение индуктивных цепей.

#### **Вопросы при самопроверке.**

- 1) Почему полупроводниковые преобразователи влияют на качество электрической энергии?.
- 2) Поясните законы коммутации с точки зрения влияния качества электрической энергии и ЭМС.
- 3) Укажите причины возникновения помех при коммутации цепей с конденсаторами, индуктивностями.

#### **Раздел 4.**

Снижение уровней импульсных помех в СЭЭС. Подавление помех в источнике. Методы снижения уровней помех при распространении в сети

Защита оборудования от импульсных помех. Сетевые и входные фильтры. Экранирование и заземление. Нелинейные элементы. Рациональное проектирование.

##### **Методические указания.**

Общие подходы к снижению помех в электроэнергетической системе. Снижение помех при работе полупроводниковых преобразователей. Защита по порту питания. Помехозащитные трансформаторы. Сетевые и входные фильтры. Защита от мощных помех. Защита по корпусу судна. Выбор и прокладка кабелей. Особенности проектирования оборудования и систем.

##### **Вопросы при самопроверке.**

1) Приведите примеры схем для подавления кондуктивных помех от преобразователей постоянного тока, с трансформаторами, помехоподавляющими цепями и другими элементами.

2) Опишите методы снижения коммутационных импульсных помех в электрической сети, в том числе: устранением гармоник, условий коммутации нагрузки, применением внешних помехоподавляющих устройств.

#### **Раздел 5.**

Измерение помех на судах. Измерение импульсных токов и напряжений. Измерение периодических искажений напряжения. Измерение электромагнитных полей. Измерение помех при испытании оборудования

##### **Методические указания.**

Испытания на устойчивость к электростатическому разряду, к электромагнитным и магнитным полям, к кондуктивным помехам. Определение эффективности защиты. Пробники напряжения, пробники тока. Специализированные приборы для контроля качества. Процедуры измерения помех.

##### **Вопросы при проверке**

1) Опишите основные характеристики приборов для контроля параметров ЭМС судового электрооборудования.

#### **Раздел 6.**

Испытание оборудования на помехозащищенность. Имитаторы импульсных помех. Методика испытаний на допустимую восприимчивость к внешним помехам. Определение параметров электромагнитной связи цепей

##### **Методические указания.**

Испытания технических средств на помехозащищенность. Общие требования. Испытания по воздействию электростатических разрядов, электромагнитных и магнитных полей, кондуктивных помех. Оценка средств защиты.

##### **Вопросы при самопроверке**

1) Опишите цель испытаний на помехозащищенность, особенности имитаторов электростатических разрядов.

2) Опишите методы создания электромагнитных и магнитных полей.

3) Опишите процедуру испытаний по ЭМС электрического оборудования на судах.

#### **Раздел 7.**

Стандарты на ЭМС электронного и электротехнического оборудования. Обзор стандартов и норм по ЭМС. Нормирование периодических импульсных помех. Требования МЭК к нормированию ЭМС на судах. Планирование мероприятий по обеспечению ЭМС

##### **Методические указания.**

Сертификация и стандартизация в области ЭМС. Документы по ЭМС. Стандарты и ГОСТы в области ЭМС на судах. Требования Морского Регистра РФ. Нормы, критерии, основные характеристики судовых сетей, гармонического состава питания. основополагающие документы.

**Вопросы при самопроверке.**

- 1) Перечислите основные стандарты с области ЭМС, используемые в РФ, государствах – членах ЕС.
- 2) Охарактеризуйте требования стандартов Морского Регистра РФ в области ЭМС.
- 3) Приведите положения Международной морской организации ИМО А.813(19) для характеристики подходов к ЭМС судового электрооборудования.
- 4) Опишите рекомендации IEC 60533 для подавления помех в источнике, помехозащите чувствительного оборудования.