

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

КРАСНОЯРСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА –

филиал ФГБОУ ВО

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

**А. Р. ХРИСТИНИЧ**  
**В. О. КОЛМАКОВ**

# **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Методические указания

к практическим занятиям для студентов всех форм обучения  
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов  
специализация «Электроснабжение железных дорог»

Красноярск  
КриЖТ ИрГУПС  
2022

УДК 621.331  
Х 93

Рецензент:

О. В. КОЛМАКОВ, кандидат технических наук, доцент, Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Христинич, А. Р. Энергосбережение в системах электроснабжения : методические указания к практическим занятиям для студентов всех форм обучения специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов специализация «Электроснабжение железных дорог» / А. Р. Христинич, В. О. Колмаков ; КрИЖТ ИрГУПС. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2022. – 21 с.

Методические указания к практическим занятиям разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины Б1.В.ДВ.5.01 «Энергосбережение в системах электроснабжения».

Содержат описание 5 практических занятий. Изложены теоретические основы Раздела 1: Предмет: качество электрической энергии; Раздела 2: Управление качеством электрической энергии; раздела 3: Технические решения для повышения качества электрической энергии; методика и порядок проведения практических занятий, рекомендации по оформлению, даны вопросы и задания для самоконтроля.

Рекомендовано к изданию методическим советом КрИЖТ ИрГУПС

Печатается в авторской редакции

© Христинич А. Р., Колмаков В. О., 2022  
© Красноярский институт  
железнодорожного транспорта, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Методические указания для подготовки обучающегося к практическим занятиям .....	6
Раздел 1. Предмет: качество электрической энергии.....	9
Практическое занятие 1. Расчет конденсаторных установок.....	9
Практическое занятие 2. Применение основ теории вероятностей и математической статистики для анализа показателей качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения .....	10
Раздел 2. Управление качеством электрической энергии.....	13
практическое занятие 3. расчет показателей качества электроэнергии .....	13
Раздел 3. Технические решения для повышения качества электрической энергии. ....	16
Практическое занятие 4. Расчет электромагнитной совместимости электротехнологического оборудования .....	16
Практическое занятие 5. Расчет эффекта от повышения качества электроэнергии в тяговой сети.....	18
Заключение .....	20
Список рекомендуемых информационных ресурсов .....	21

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения» предназначены для специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов. Цель методических указаний: помочь обучающемуся в изучении материала практических занятий и подготовке к промежуточной аттестации.

В указаниях подробно изложены темы практических занятий, с указанием целей, списка необходимых навыков. К каждому практическому занятию указаны главы и параграфы источников литературы, которые необходимо изучить для успешного усвоения дисциплины, приведены контрольные вопросы (вопросы для самопроверки), на которые необходимо ответить для успешной защиты работы и для усвоения дисциплины в целом.

В результате освоения дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения» обучающийся должен достигнуть следующих результатов образования:

### **Обучающийся должен знать:**

- общие принципы анализа показателей качества электрической энергии;
- устройство, принцип действия, технические характеристики и конструктивные особенности основных элементов энергосберегающей техники на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения;
- фундаментальные инженерные теории для расчета показателей качества электрической энергии, параметров и технических характеристик энергосберегающего оборудования в системах электроснабжении при модернизации оборудования тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения;
- формы организации труда по повышению качества электрической энергии, технологии обслуживания и ремонта техники в системах электроснабжения; технологию и оборудование для диагностики, тестирования процесса энергосбережения при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения.

### **Обучающийся должен уметь:**

- оценивать показатели качества электрической энергии, эффективности оборудования и аппаратуры электроустановок на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения;

- расследовать, учитывать и анализировать параметры энергосберегающей техники;

- разрабатывать организационные и технические мероприятия для повышения качества электрической энергии и эффективной работы оборудования при технической эксплуатации тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения;

- разрабатывать организационные и технические мероприятия;

- обосновывать перспективную технологию повышения качества электрической энергии, эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта оборудования в системах электроснабжения в процессе технической эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения.

**Обучающийся должен владеть:**

- методами расчета показателей качества электрической энергии и эксплуатационных характеристик электроустановок в системах электроснабжения;

- методами реализации измерения и оценки показателей качества электрической энергии, технологий эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта оборудования в системах электроснабжения;

- навыками работы с диагностическим оборудованием и методами выполнения специальных измерений показателей качества электрической энергии;

- приемами использования компьютерного программного обеспечения в процессе тестирования при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте устройств и систем тягового электроснабжения;

- выбора мест для размещения транспортных средств и бригад технического обслуживания устройств.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что решение задач проводится по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

Практические занятия должны выполняться последовательно с целью достижения наилучшего результата и наиболее полного усвоения материала обучающимся. Выполнение каждой работы базируется на пройденном теоретическом материале. Необходимо помнить, что занятия проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса.

Прежде чем приступить к выполнению практических занятий обучающийся должен:

- изучить содержание работы и ее выполнение;
- повторить теоретический материал, связанный с выполнением работы;

Распределение трудоемкости практических занятий дисциплины для всех форм обучения представлены по разделам и темам в таблице 1.

*Таблица 1 – Тематический план занятий*

№ п/п	Тема занятия	Продолжительность в часах	
		очная форма	заочная форма
	<b>РАЗДЕЛ 1 Предмет: качество электрической энергии</b>		
1	Расчет конденсаторных установок	2	1
2	Применение основ теории вероятностей и математической статистики для анализа показателей качества	4	1

№ п/п	Тема занятия	Продолжительность в часах	Продолжительность в часах
		очная форма	заочная форма
	электрической энергии в системе тягового электроснабжения		
	<b>РАЗДЕЛ 2 Управление качеством электрической энергии</b>		
3	Расчет показателей качества электроэнергии	6	1
	<b>РАЗДЕЛ 3 Технические решения для повышения качества электрической энергии</b>		
4	Расчет электромагнитной совместимости электротехнологического оборудования	4	1
5	Расчет эффекта от повышения качества электроэнергии в тяговой сети	1	
	Итого	17	4

Важный критерий усвоения теоретического материала – умение решать задачи/проблемные ситуации и пройти тестирование по пройденному материалу.

При решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения задачи. Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Если в процессе работы над изучением материала у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. Обучающийся должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения.

Контроль текущей успеваемости студента осуществляется преподавателем, ведущим практические занятия, по следующим показателям:

- посещаемость практических занятий;
- эффективность работы студента в аудитории;
- полнота выполнения домашних заданий;
- результаты тестирования по всем разделам дисциплины.

Критерии оценивания результатов практических занятий приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Критерии оценивания*

<b>Результат, подлежащий оценке</b>	<b>Оценка</b>
Работа выполнена полностью, без каких-либо недочетов	5
Работа выполнена полностью, имеются мало значительные не точности	4
Работа выполнена не полностью, с отклонениями от требований, имеется 1-2 ошибки	3
Работа выполнена менее чем на половину, имеются грубые ошибки.	2
Работа не выполнена	1



# РАЗДЕЛ 1

## ***ПРЕДМЕТ: КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ***

### **Практическое занятие 1**

#### **Расчет конденсаторных установок**

**Цель занятия:** изучить основные понятия темы, научиться рассчитывать конденсаторные установки.

#### **Основные теоретические сведения**

1. Электрическая энергия характеризуется такими показателями качества, как напряжение в сети, частота тока и форма синусоиды переменного тока. Поставщики электроэнергии обязаны поддерживать все ее параметры в соответствии с требованиями стандарта. В зависимости от работающих потребителей нагрузки, величина основных характеристик изменяется, что способствует при больших отклонениях возникновению неисправностей электрических бытовых устройств, так как снижается качество электроэнергии;
2. Для определения мощности конденсаторной установки используется нахождение реактивной мощности установки по активной мощности и коэффициента, вычисляемый из соотношения естественного и требуемого коэффициента мощности;
3. В ряде случаев, например, если конденсаторная установка установлена на трансформаторной подстанции, при определении ее мощности необходимо учитывать характеристики снабжающей энергосистемы, то есть трансформатора.

#### **Ход занятия /последовательность действий**

##### **Задание 1.1.**

1. *Расскажите понятие качества электрической энергии*
2. *Перечислите показатели качества электрической энергии.*

##### **Задание 1.2**

1. Рассчитать мощность конденсаторной установки, если известна активная мощность 160 кВт и коэффициент, вычисляемый из соотношения естественного и требуемого коэффициента мощности, равный 0,8.

## **Вопросы для самопроверки/Контрольные вопросы**

1. Дайте понятие электрической энергии.
2. Дайте понятие конденсаторной установки.
3. Какие существуют методики расчета конденсаторных установок?

## **Список рекомендуемых информационных ресурсов**

[3, глава 14], [4, глава 13]

## **Практическое занятие 2**

### **Применение основ теории вероятностей и математической статистики для анализа показателей качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения**

**Цель занятия:** изучить основные понятия темы, научиться анализировать показатели качества электрической энергии.

#### **Основные теоретические сведения**

1. Изменения параметров электрической сети, мощности и характера нагрузки во времени являются основной причиной изменения ПКЭ. Таким образом, ПКЭ – установившееся отклонение напряжения, коэффициенты, характеризующие несинусоидальность и несимметрию напряжений, отклонение частоты, размах изменения напряжения и др. – величины случайные и их измерения и обработка должны базироваться на вероятностно-статистических методах. Поэтому, как уже отмечалось, в стандарте устанавливаются нормы ПКЭ и оговаривается необходимость их выполнения в течение 95 % времени каждых суток (для нормально допустимых значений)
2. Наиболее полную характеристику случайных величин дают законы их распределения, позволяющие находить вероятности появления тех или иных значений ПКЭ.
3. Аналитическое описание нормального закона осуществляется с помощью двух параметров: математического ожидания случайной величины и стандартного отклонения от среднего.
4. Наиболее удобной формой представления информации об изменениях случайной величины является гистограмма. Гистограмма – графическое представление статистического ряда исследуемого

показателя, изменение которого носит случайный характер. При этом весь диапазон отклонений напряжения делится на интервалы равной ширины (например, 1,25 %). Каждому интервалу дается название – значение отклонений напряжения, соответствующее середине интервала, и находится вероятность (частота) попадания отклонений напряжения в этот интервал.

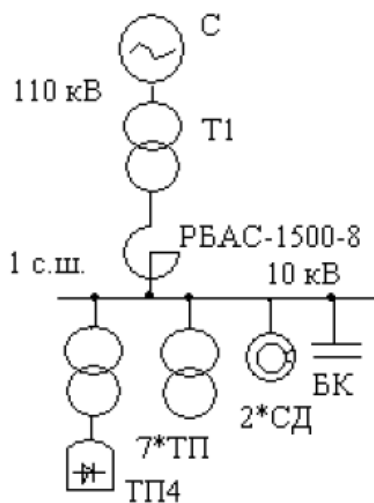
### Ход занятия /последовательность действий

#### Задание 1.1.

1. Дайте определение теории вероятностей.
2. Дайте определение математической статистики.

#### Задание 1.2

1. Определить соответствие качества электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013, если в точке общего присоединения (ТОП) оценка математического ожидания коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}=1\%$   $2U =$  , среднего квадратического напряжения  $K_{2U\sigma} = 1\%$  при нормальном законе распределения вероятностей.
2. Провести расчет токов и напряжений высших гармоник на сборных шинах напряжением 10 кВ подстанции (Рисунок 1). Подстанция питается от энергосистемы через понижающий трансформатор Т1 ( $S_{T.ном} = 16$  МВА;  $U_K = 10,5\%$ ). Мощность системы  $S_K = 4000$  МВА. Трансформатор Т1 соединен со сборными шинами через токоограничивающий реактор ( $I_{рном} = 1500$  А;  $X_{P\%} = 8\%$ ). К сборным шинам подключены 7 цеховых ТП ( $S_{T.ном} = 1000$  кВА;  $U_K = 5,5\%$ ), 2 синхронных двигателя ( $P_{сд.ном} = 500$  кВт;  $Q_{сд.ном} = 264$  квар) и тиристорный преобразователь частоты ТПЧ ( $U_d = 800$  В;  $I_d = 1550$  А;  $\cos\varphi = 0,95$ ). Расчетная активная нагрузка  $P_P = 9,2$  МВт, реактивная  $Q_P = 8$  Мвар. Для компенсации реактивной мощности дополнительно подключена конденсаторная батарея  $Q_K = 5,2$  Мвар.



*Рисунок 1 – Исходная схема электроснабжения*

### **Вопросы для самопроверки/Контрольные вопросы**

1. Дайте определение дозы фликера.
2. Какой ГОСТ определяет качество и показатели качества электроэнергии?
3. Чем несинусоидальность напряжения отличается от несимметрии напряжения?

### **Список рекомендуемых информационных ресурсов**

[3, глава 11], [4, глава 12]

## РАЗДЕЛ 2

# **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

### **Практическое занятие 3**

#### **Расчет показателей качества электроэнергии**

**Цель занятия:** изучить основные понятия темы, научиться рассчитывать показатели качества электрической энергии.

#### **Основные теоретические сведения**

1. Электрическая энергия характеризуется такими показателями качества, как напряжение в сети, частота тока и форма синусоиды переменного тока. Поставщики электроэнергии обязаны поддерживать все ее параметры в соответствии с требованиями стандарта. В зависимости от работающих потребителей нагрузки, величина основных характеристик изменяется, что способствует при больших отклонениях возникновению неисправностей электрических бытовых устройств, так как снижается качество электроэнергии;
2. Для определения мощности конденсаторной установки используется нахождение реактивной мощности установки по активной мощности и коэффициента, вычисляемый из соотношения естественного и требуемого коэффициента мощности;
3. В ряде случаев, например, если конденсаторная установка установлена на трансформаторной подстанции, при определении ее мощности необходимо учитывать характеристики снабжающей энергосистемы, то есть трансформатора.
4. Доза колебаний напряжения идентична размаху изменения напряжения и в действующих электрических сетях вводится по мере их оснащения соответствующими приборами. При использовании показателя «доза колебаний напряжения» оценка допустимости размаха изменения напряжения может не производиться, так как рассматриваемые показатели взаимозаменяемы.
5. Доза колебаний напряжения также представляет собой интегральную характеристику колебаний напряжения, вызывающих у человека накапливающееся за установленный период времени раздражение из-за миганий света в диапазоне частот от 0,5 до 0,25 Гц.
6. Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка представляет собой отношение действующего значения  $n$ -й гармонической составляющей

напряжения к действующему значению напряжения основной частоты, т. Е.  $kU(n) = (U_n/U_H) \times 100\%$

7. Изменения частоты обусловлены изменениями суммарной нагрузки и характеристиками регуляторов частоты вращения турбин. Большие отклонения частоты возникают в результате медленного регулярного изменения нагрузки при недостаточном резерве активной мощности.
8. Частота напряжения в отличие от других явлений, ухудшающих качество электроэнергии, является общесистемным параметром: все генераторы, присоединенные к одной системе, генерируют электроэнергию на напряжении одинаковой частоты — 50 Гц.

### **Ход занятия /последовательность действий**

#### **Задание 1.1.**

1. *Дайте определение размаху напряжения.*
2. *Дайте определение колебаниям напряжения.*

#### **Задание 1.2**

1. Рассчитать колебания напряжения в электрической сети напряжением 10кВ. Мощность КЗ в питающей сети 300 МВА. График потребления реактивной мощности за цикл длительностью  $T = 34$  с дает 1620 *Мвар*. Число набросов (положительных и отрицательных) реактивной мощности за один цикл составляет  $m=28$ .

### **Вопросы для самопроверки/Контрольные вопросы**

1. Какое допустимо отклонение частоты?
2. Как влияет отклонение показателей качества от установленных значений на работу электрооборудования?
3. Дайте определение размаху напряжения.

### **Список рекомендуемых информационных ресурсов**

[3, глава 12], [4, глава 12]

## РАЗДЕЛ 3

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

### **Практическое занятие 4**

#### **Расчет электромагнитной совместимости электротехнологического оборудования**

**Цель занятия: изучить основные понятия темы, научиться  
рассчитывать электромагнитную совместимость  
электротехнологического оборудования.**

#### **Основные теоретические сведения**

1. **Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС)** – способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средством (ГОСТ 30372-95). Измерение электромагнитной совместимости — актуальная и востребованная услуга на сегодняшний день.
2. Необходимость учёта ЭМС (расчет электромагнитной совместимости, измерение электромагнитной совместимости) обусловлена массовым внедрением микропроцессорной техники на объектах энергетики – электростанциях и подстанциях. В начале 90-х годов XX века оказалось, что при всём удобстве эксплуатации микропроцессорные устройства релейной защиты, автоматики, телемеханики, связи, учёта электроэнергии и пр. работают неправильно, либо отказывают вследствие влияния сильноточных и высоковольтных электрических цепей объектов энергетики и работы системы молниезащиты.
3. Кроме того, определяется требования к программному обеспечению, используемому для проведения пересчёта испытательных уровней помех к уровням помех, возникающих при коротких замыканиях и коммутациях высоковольтного оборудования, ударах молний. Расчёты занимают длительное время за счёт того, что моделируемая электромагнитная обстановка представляется в виде системы дифференциальных уравнений общим количеством до нескольких тысяч. Расчёт электромагнитной обстановки на крупной подстанции

выполняется одним инженером на двух компьютерах в течение месяца и более времени.

4. Электромагнитные влияния могут проявляться в виде обратимых и необратимых нарушений. Так, в качестве обратимого нарушения можно назвать шум при телефонном разговоре. К необратимому нарушению относится сбой в работе системы релейной защиты, приведший к отключению нагрузки.

### **Ход занятия /последовательность действий**

#### **Задание 1.1.**

1. *Дайте определение электромагнитной совместимости.*
2. *Дайте определение электромагнитной совместимости электротехнологического оборудования.*

#### **Задание 1.2**

1. Рассчитать резонансную частоту, предполагая сопротивление источника полностью индуктивным, если частота сети 50 Гц, мощность короткого замыкания в точке общего присоединения 5 кВА, мощность силовых конденсаторов 17 квар, а мощность ёмкости питающей сети 3 квар.

### **Вопросы для самопроверки/Контрольные вопросы**

1. Какие бывают электромагнитные влияния?
2. Какие параметры электромагнитной совместимости существуют?
3. Насколько важна электромагнитная совместимость для человека, для оборудования, в части экологии?

### **Список рекомендуемых информационных ресурсов**

[3, глава 13]

## **Практическое занятие 5**

### **Расчет эффекта от повышения качества электроэнергии в тяговой сети**



**Цель занятия: изучить основные понятия темы, научиться рассчитывать эффект от повышения качества электроэнергии в тяговой сети.**

### **Основные теоретические сведения**

1. Значительные колебания напряжения возникают, как правило, по вине потребителей с переменной нагрузкой при недостаточной мощности источника питания или проводимости сети. Характеризуются они размахом изменения напряжения, и дозой фликера;
2. ИИ-за принятого на тяговых подстанциях совместного питания всех нагрузок от общих мощных понижающих трансформаторов многие показатели качества электроэнергии для линий нетягового электроснабжения значительно зависят от тяговых нагрузок. С целью повышения качества электроэнергии в первую очередь необходимо оптимизировать схемы тяговых подстанций;
3. Питание высоковольтных линий электроснабжения ЖАТ от тягового трансформатора крайне негативно сказывается и на синусоидальности напряжения, поскольку электровозы являются мощными потребителями с нелинейной нагрузкой. Выпрямители подстанции постоянного тока также генерируют высшие гармоники с большим уровнем энергии, особенно кратные трем. В этой связи упрощение схемы тяговых подстанций постоянного тока путем отказа от индуктивностей на резонансных фильтр-устройствах с заменой их на конденсаторное сглаживающее устройство должно сопровождаться правильными мерами по разделению питания СЦБ и тяги;
4. Любую несимметричную трехфазную систему можно разложить на три составляющие. Прямая последовательность, направление вращения векторов которой принято против часовой стрелки, создает полезную работу.

### **Ход занятия /последовательность действий**

#### **Задание 1.1.**

1. *Дайте определение тяговой сети.*
2. *Что вносит самый большой вклад в изменение показателей качества электроэнергии в тяговой сети?*

#### **Задание 1.2**

1. Определить напряжения гармоник и  $K_U$  на шинах ПС 6 кВ , к которой подключен ВП при включении и отключении БК.

### **Вопросы для самопроверки/Контрольные вопросы**

1. Чем определяется эффект от повышения качества электроэнергии?
2. Как рассчитать эффект от повышения качества электроэнергии?

### **Список рекомендуемых информационных ресурсов**

[3, глава 13], [4, глава 18]

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изучение материала практических занятий по дисциплине «Качество электрической энергии» является обязательной составной частью освоения дисциплины и служит базой для самостоятельной внеаудиторной работы и успешного прохождения промежуточной аттестации по дисциплине, итоговой государственной аттестации и будущей самостоятельной трудовой деятельности.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Положение "Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль" : принято решением Ученого Совета 22.02.2022 г., протокол № 6 ; утв. приказом директора от 25.02.2022 г. № ОУ-50. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2022. – 53 с. – URL: <http://irbis.krsk.ircups.ru/web/index.php?LNG=&C21COM=S&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS&S21FMT=fullwebr&S21ALL=%28%3C%2E%3E%3D005%2F%D0%9F%2052%2D141075687%3C%2E%3E%29&Z21ID=&S21SRW=AVHEAD&S21SRD=DOWN&S21STN=1&S21REF=3&S21CNR=20> (дата обращения: 24.06.2022). – Текст : электронный.
2. Ковалёв, И. Н. Электроэнергетические системы и сети : учебник / И. Н. Ковалёв. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2015. – 363 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-89035-813-4. – URL: <http://umczdt.ru/books/41/39329/> (дата обращения: 25.06.2022). – Текст : электронный.
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, В. В. Гуров. – 3-е изд., стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 329 с. – URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=575058](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=575058) (дата обращения: 24.06.2022). – ISBN 978-5-4499-0768-4. – Режим доступа по подписке. – Текст: электронный.
4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б. И. Кудрин– 2-е изд. – Москва : Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с. – ISBN 5-89594-128-1. – Текст: непосредственный.
5. Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. А. Любченко, А. В. Черепанов ; под редакцией А. В. Крюкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 184 с. – URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=598052](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=598052) (дата обращения: 24.06.2022). – ISBN 978-5-4499-1580-1. – Режим доступа по подписке. – Текст: электронный.
6. Расчет показателей качества электрической энергии в системе тягового электроснабжения переменного тока : учебно-методическое пособие / авт.-сост. С. И. Макашева ; УМО ж.-д. – Москва : ГОУ "УМЦ ЖДТ", 2005. – 112 с. – Текст : непосредственный.

*Учебно-методическое издание*

Алексей Романович ХРИСТИНИЧ  
Виталий Олегович КОЛМАКОВ

## **Энергосбережение в системах электроснабжения**

Методические указания  
к практическим занятиям для студентов всех форм обучения  
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов  
специализация «Электроснабжение железных дорог»

---

Подписано в печать 31.08.2022 г.

Формат бумаги 60×84/16

0,58 авт. л.

1,31 печ. л.

экз.

План издания 2022 г. № п/п КриЖТ ИрГУПС

Протокол № 10 от 05.07.2022 г.

Отпечатано в КриЖТ ИрГУПС  
Красноярск, ул. Л. Кецховели, д. 89