

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта



Разрешение на  
допуск к защите

Заведующий кафедрой  
д.т.н., проф. Амиров С.Ф.

*С.Ф. Амиров*  
«14» 06 2018 г.

Кафедра: «Электроснабжение железных дорог».

Тема: Особенности применения компенсирующих устройств система  
электроснабжения железнодорожного транспорта

**Выпускная квалификационная работа**

Выполнила: Абдуллаева Г.А. *Г.А. Абдуллаева*

Руководитель: Жураева К.К. *К.К. Жураева*

Консультант по экономической части:

Атаджанова З.С. *З.С. Атаджанова*

Консультант по охране труда:

Криворучко Б. В. *Б. В. Криворучко*

Рецензент: Аллаев К.Р. *К.Р. Аллаев*

*С.Ф. Амиров*

Ташкент- 2018

Абдуллаева Г. ЕТ-607

**Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
Электромеханический факультет, кафедра "ЭСЖД"  
направление Электроэнергетика, группа ЕТ - 607

**Задание для выпускной квалификационной работы**

Студент: Абдуллаева Гулноза Абдурасул кизи  
(фамилия, имя, отчество)

**1. Тема выпускной работы:**

Особенности применения компенсирующих устройств система электроснабжения железнодорожного транспорта  
«12» декабрь 2017 г. утверждено на заседании кафедры.

**2. Дата сдачи выпускной работы:** 12.06.18 – 27.06.18.

**3. Основные сведения по выполнению выпускной работы:**

Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях, компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта, постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта, результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети

**4. Порядок расчета, содержания пояснительной записки (перечень выполняемых задач)**

Баланс реактивной мощности, источники реактивной мощности, экономическая эффективность компенсации реактивной мощности, постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта, решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети, решение в явном виде при двустороннем питании тяговой сети, результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети, требования к хозяйству электроснабжения по вопросам обеспечения безопасности движения поездов

**5. Список чертёжных работ (указать точное название чертежей)**

Зависимость удельного, активного и индуктивного сопротивлений ВЛ от марки проводов, схемы расположения генераторных и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения, схемы расположения генераторных, компенсирующих и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения

## 6. Консультанты выпускной квалификационной работы

№	Консультант выпускной работы	Ф.И.О. Консультант	Подпись, дата	
			Задание выдано	Задание выполнено
1.	Экономическая часть: Компенсация реактивной мощности. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях	Атажанова З.С.	14.05.2018г. 	22.05.2018г. 
2.	Охрана труда: Психологические аспекты безопасности жизнедеятельности	Криворучко Б.В.	23.05.2018г. 	30.05.2018г. 

## 7. План выполнения выпускной работы

№	Название этапов выпускной работы	Срок выполнения (дата)	Отметка прохождения проверки
1	Введение. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях	14.12.2017- 27.12.2017	
2	Баланс реактивной мощности	15.01.2018- 24.01.2018	
3	Источники реактивной мощности	25.01.2018- 09.02.2018	
4	Компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта	12.02.2018- 28.02.2018	
5	Постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта	06.03.2018- 19.03.2018	
6	Решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети	26.03.2018- 06.04.2018	
7	Компенсация реактивной мощности на концах участка тяговой сети при двустороннем питании нагрузки типа $R_S$	18.04.2018- 10.05.2018	
8	Безопасность движения	12.05.2018- 19.05.2018	
9	Экономическая часть	14.05.2018- 22.05.2018	
10	Охрана труда	23.05.2018- 30.05.2018	

Руководитель выпускной работы Жураева К.К.  
(фамилия, имя, отчество)  (подпись)

Получил задание для выполнения Абдуллаева Г.А.  
(фамилия, имя, отчество)  (подпись)

Дата выдачи задания 14.12.2017 год.

## Рецензия

на выпускную работу студента группы ЕТ-607 Абдуллаевой Г.А.  
на тему: «Особенности применения компенсирующих  
устройств система электроснабжения железнодорожного  
транспорта»

Выпускная работа состоит из введения, основной части, экономической части и охраны труда.

В основной части рассмотрена баланс реактивной мощности, источники реактивной мощности, экономическая эффективность компенсации реактивной мощности, применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта, компенсация реактивной мощности на концах участка тяговой сети при двустороннем питании нагрузки типа  $R_S$ , результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети.

В экономическом разделе произведен указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях.

В разделе «Охрана труда» рассмотрен вопрос психологические аспекты безопасности жизнедеятельности.

Работа выполнена грамотно, с соблюдением правил выполнения технической документации, что свидетельствует о высоком уровне подготовки молодого специалиста.

Представленная выпускная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным работам бакалавров по направлению 5310200 – «Электроэнергетика» и заслуживает положительной оценки.

Кафедра «Электрические  
станции, сети и системы», ТГТУ  
д.т.н., проф., академик



Аллаев К.Р.

## ОТЗЫВ

на выпускную работу студентки группы ЕТ-607 Абдуллаевой Г.А.  
на тему: «Особенности применения компенсирующих устройств  
система электроснабжения железнодорожного транспорта»

В выпускной работе по исходным данным студентка сделала обзор компенсации реактивной мощности в распределительных сетях, экономическую эффективность компенсации реактивной мощности, компенсацию реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта.

В ходе работы над выпускной работы, студентка Абдуллаева Г.А. показала себя подготовленным специалистом, умеющим использовать полученные знания в разработке темы выпускной работы, владеющая основными принципами работы над дипломным проектом.

Студентка умело пользовалась учебной и научно-методической литературой. Графический материал в виде слайдов отображает все необходимые данные для понимания расчетной и описательной частей выпускной работы.

Подробно рассмотрены экономические вопросы и вопросы охраны труда.

Выпускная работа выполнена с соблюдением требований и правил выполнения технической и проектной документации, что свидетельствует о высоком уровне подготовки молодого специалиста.

Представленная выпускная работа соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным работам, а сама Абдуллаева Г.А. достойна звания «Бакалавр» по направлению 5310200- «Электроэнергетика» и заслуживает положительной оценки.

Руководитель выпускной работы  
ассистент каф. «ЭСЖД» ТашИИТ:



Жураева К.К.

# Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта



Разрешение на  
допуск к защите

Заведующий кафедрой  
д.т.н., проф. Амиров С.Ф.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Кафедра: Электроснабжение железных дорог

Тема: Особенности применения компенсирующих устройств система электроснабжения железнодорожного транспорта

## Выпускная квалификационная работа

Выполнил: Абдуллаева Г.А. \_\_\_\_\_

Руководитель: Жураева К.К. \_\_\_\_\_

Консультант по экономической части:

Атаджанова З.С. \_\_\_\_\_

Консультант по охране труда:

Криворучко Б.В. \_\_\_\_\_

Рецензент: Аллаев К.Р. \_\_\_\_\_

Ташкент- 2018

# Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
Электромеханический факультет, кафедра “ЭСЖД”  
направление Электроэнергетика группа ЕТ - 607

## Задание для выпускной квалификационной работы

Студент: Абдуллаева Гулноза Абдурасул кизи  
(фамилия, имя, отчество)

### 1. Тема выпускной работы:

Особенности применения компенсирующих устройств система электроснабжения железнодорожного транспорта  
«12» декабря 2017г. утверждено на заседании кафедры.

2. Дата сдачи выпускной работы: 12.06.18-27.06.18.

### 3. Основные сведения по выполнению выпускной работы

Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях, компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта, постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта, результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети.

4. Порядок расчета, содержания пояснительной записки (перечень выполняемых задач)

Баланс реактивной мощности, источники реактивной мощности, экономическая эффективность компенсации реактивной мощности, постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта, решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети, решение в явном виде при двустороннем питании тяговой сети, результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети, требования к хозяйству электроснабжения по вопросам обеспечения безопасности движения поездов

5. Список чертёжных работ (указать точное название чертежей)

Зависимость удельного, активного и индуктивного сопротивлений ВЛ от марки проводов, схемы расположения генераторных и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения, схема расположения генераторных компенсирующих и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения

## 6. Консультанты выпускной квалификационной работы

№	Консультант выпускной работы	Ф.И.О. Консультант	Подпись, дата	
			Задание выдано	Задание выполнено
1.	Экономическая часть: Компенсация реактивной мощности. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях	Атажанова З.С.	14.05.2018	22.05.2018
2.	Охрана труда: Психологические аспекты безопасности жизнедеятельности	Криворучко Б.В.	23.05.2018	30.05.2018

## 7. План выполнения выпускной работы

№	Название этапов выпускной работы	Срок выполнения (дата)	Отметка прохождения проверки
1	Введение . Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях	14.12.2017-27.12.2017	
2	Баланс реактивной мощности	15.01.2018-24.01.2018	
3	Источники реактивной мощности	25.01.2018-09.02.2018	
4	Компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта	12.02.2018-28.02.2018	
5	Постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта	06.03.2018-19.03.2018	
6	Решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети	26.03.2018-06.04.2018	
7	Компенсация реактивной мощности на концах участка тяговой сети при двустороннем питании нагрузки типа $R_s$	18.04.2018-10.05.2018	
8	Безопасность движения	12.05.2018-19.05.2018	
9	Экономическая часть	14.05.2018-22.05.2018	
10	Охрана труда	23.05.2018-30.05.2018	

Руководитель выпускной работы

Жураева К.К. \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество) (подпись)

Получил задание для выполнения

Абдуллаева Г.А. \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество) (подпись)

Дата выдачи задания 14.12.2017 год.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>I. Основная часть.</b>	
<b>1.1. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях .....</b>	<b>5</b>
1.1.1. Баланс реактивной мощности .....	5
1.1.2. Источники реактивной мощности .....	8
1.1.3. Экономическая эффективность компенсации реактивной мощности .....	14
<b>1.2. Компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта .....</b>	<b>19</b>
1.2.1. Постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта .....	21
1.2.2. Метод решения .....	22
1.2.3. Решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети .....	25
1.2.4. Решение в явном виде при двустороннем питании тяговой сети ....	27
1.2.5. Компенсация реактивной мощности на концах участка тяговой сети при двустороннем питании нагрузки типа $R_S$ .....	28
1.2.6. Результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети .....	30
1.2.7. Требования к хозяйству электроснабжения по вопросам обеспечения безопасности движения поездов .....	34
<b>II. Экономическая часть .....</b>	<b>38</b>
<b>III. Охрана труда .....</b>	<b>45</b>
<b>Заключения .....</b>	<b>67</b>
<b>Список использованной литературы.....</b>	<b>68</b>

### Введение

Электрическая энергия применяется сегодня во всех отраслях экономики, а энергетика как базовая отрасль имеет очень развитую инфраструктуру. В данной инфраструктуре имеются сектора обеспечения первичными энергоресурсами, их преобразования в электрическую энергию,

системы транспорта и распределения электрической энергии различным категориям потребителей.

Все электроприемники переменного тока являются потребителями как активной, так и реактивной мощности, причем, только генераторы электрических станций являются источниками активной мощности. Реактивная мощность, которая циркулирует между нагрузкой и генератором, приводит к дополнительным потерям и к снижению показателей энергетической эффективности цепочки: производство - транспорт-распределение - потребление.

Тем не менее, реактивная мощность необходима потребителям, которые используют переменное магнитное поле: асинхронные двигатели, индукционные печи, сварочные трансформаторы, выпрямители и т.п., а также звенья электрической сети – трансформаторы, реакторы и другое оборудование. Около 60% всей реактивной мощности, связанной с образованием переменных магнитных полей, потребляют асинхронные двигатели и около 25% – трансформаторы.

Наращивание энергетических мощностей приводит к известному удалению электростанций от нагрузочных узлов, но при этом передача реактивной мощности на большие расстояния практически невозможна и экономически нецелесообразна. В силу особенностей физических процессов при передаче и распределении электрической энергии сами эти технические системы, являющиеся структурными элементами электроэнергетических систем, выступают в качестве генераторов и потребителей реактивной энергии. Эта особенность приводит к необходимости принятия специальных мер для компенсации реактивной мощности, особенно в протяжных линиях электропередачи. Другим фактором, определяющим соотношение между активной и реактивной мощностью, является сама нагрузка. Этот фактор также приведет к появлению в питающей сети потоков реактивной мощности, которые влияют на режим сети и на уровень технологических потерь при передаче электрической энергии потребителю.

При отсутствии локальной компенсации реактивной мощности потребитель переплачивает за потребление реактивной энергии сумму в размере около 30-40% от общей стоимости оплачиваемой энергии.

Использование устройств компенсации, например, конденсаторных установок позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;

- снизить расходы на оплату электроэнергии;

- снизить уровень высших гармоник при использовании определенного типа установок;

- подавить сетевые помехи, уменьшить несимметрию фаз;

- сделать распределительные сети более надежными и экономичными.

Поскольку реактивная мощность может генерироваться не только электрическими генераторами, но и статическими и вращающимися компенсирующими устройствами: конденсаторами, синхронными компенсаторами, линиями электропередачи, то использование таких устройств для компенсации реактивной мощности и управления режимами в энергосистеме является вполне очевидным и реализуемым техническим решением.

## **I. Основная часть**

### **1.1. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях**

#### **1.1.1. Баланс реактивной мощности**

Рост производства электроэнергии сопровождается наращиванием мощностей в основном на крупных электростанциях. Это приводит к увеличению количества электрической энергии, передаваемой по сетям энергосистемы.

Известно, что электроэнергия может быть использована не при любых ее параметрах. Прежде всего это относится к частоте и напряжению. Частота, как известно, определяется балансом активной мощности.

Передача электроэнергии по линиям сопровождается падением напряжения, которое зависит от параметров электрической сети. Известно, что потери напряжения от передачи активной мощности имеют место в основном из-за активного сопротивления линий, которое в зависимости от сечения проводов изменяется в широких пределах (рис.1.1).

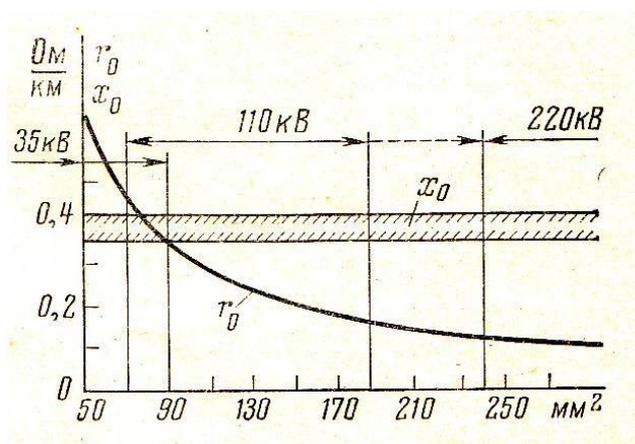


Рис 1.1. Зависимость удельного, активного и индуктивного сопротивлений ВЛ от марки проводов

Передача реактивной мощности по сети сопровождается потерей напряжения, обусловленной в основном индуктивным сопротивлением линий. Значение погонного индуктивного сопротивления определяется среднегеометрическим междуфазным расстоянием, входящим в выражение для сопротивления под знаком логарифма.

Это обстоятельство определяет малую зависимость индуктивного сопротивления от конструктивных характеристик линии. Для послушных линий (ВЛ), выполненных одиночными проводами, индуктивное сопротивление находится в области значений  $x_{cp}=0,4$  Ом/км. У линий,

выполненных расщепленными проводами для увеличения эквивалентного радиуса провода, значение индуктивного сопротивления снижается, достигая  $x_0=0,29$  Ом/км при расщеплении фазы на три провода. При относительно большой длине ВЛ передача реактивной мощности от генераторов электрических станций практически неосуществима по технико-экономическим соображениям. Это приводит к тому, что использование располагаемой реактивной мощности генераторов, питающих потребителей по протяженным ВЛ, при отсутствии большой местной нагрузки оказывается возможным лишь в небольших размерах для питания собственных нужд и потребителей, подключаемых иногда непосредственно к шинам генераторного напряжения, а также для покрытия потерь реактивной мощности в стационарных трансформаторах.

Под понятием компенсации реактивной мощности следует в данном случае понимать обеспечение электрических распределительных сетей местными источниками реактивной мощности, удовлетворяющими при минимуме приведенных затрат на их установку в нормальных и аварийных режимах следующим требованиям:

- а) обеспечению баланса реактивной мощности в нагрузочных узлах;
- б) удовлетворению требований ГОСТ 13109-97 качество электроэнергии у электроприемников, присоединенных к сети;
- в) соответствию нагрузок элементов сети максимально допустимым пределам;
- г) сохранению устойчивости работы электроприемников.

Индуктивное сопротивление, линии обычно велико по сравнению с активным, и передача реактивной мощности на большое расстояние сопровождается большими потерями напряжения, следовательно, на приемном конце оно может быть чрезмерно низким. С этим обстоятельством связана отличия в составлении баланса реактивной мощности от баланса активной мощности.

Если баланс активной мощности может быть составлен для обширной территории в соответствии с пропускной способностью связей с внешними энергетическими объединениями, то баланс реактивной мощности должен составляться для сравнительно небольших по территории районов. Иными словами, если активная мощность может передаваться на большие расстояния, то реактивная мощность, необходимая для нормальной работы электрической системы и электроприемников, должна в основном вырабатываться на месте потребления во избежание ее передачи на большие расстояния. Генерирование реактивной мощности на месте ее потребления и называется компенсацией реактивной мощности.

Осуществление, компенсации реактивной мощности имеет технические и экономические аспекты. Технические аспекты определяются требованиями качества электроэнергии и в ряде случаев пропускной способностью элементов электрической сети, не подвергающихся реконструкции. Применение компенсирующих устройств должно быть обосновано технико-экономическими соображениями. Поэтому в проектах соответствующих электрических установок технические и экономические требования следует учитывать достаточно полно.

Эксплуатация компенсирующих устройств и их регулирование также должны учитывать технические и экономические требования. Поэтому важно выявить технико-экономические основы эксплуатации этих установок.

### **1.1.2. Источники реактивной мощности**

В качестве компенсирующих устройств используются синхронные компенсаторы (СК) батареи конденсаторов и синхронные двигатели. Применяемые в настоящее время представляют собой крупные агрегаты с водородным охлаждением. Мощность, расходуемая в наиболее крупных СК

на покрытие потерь в меди, стали, на трение и пр., при полной нагрузке составляет 12-13 Вт/кВ·А (рис. 1.2).

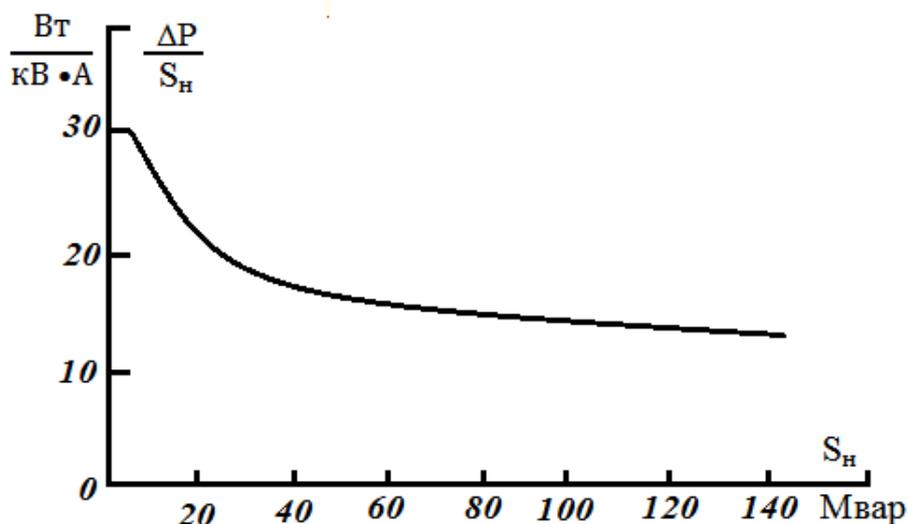


Рис. 1.2. Потери в синхронных компенсаторах различной мощности на выработку 1мВ\*А реактивной мощности

Синхронный компенсатор, является положительный регулирующий эффект, заключающийся в том, что при снижении напряжения в сети отдаваемая СК мощность увеличивается. Быстрое автоматическое регулирование возбуждения СК повышает устойчивость режимов работы электрической системы, снижает влияние толковых нагрузок на стабильность напряжения и улучшает режим параметры сетей с несимметричными нагрузками.

Батареи силовых конденсаторов в настоящее время находят широкое применение в электрических сетях. Это объясняется тем, что конденсаторы сравнительно дешевы, для их эксплуатации требуются незначительные расходы и имеется возможность размещать их в электрических сетях как в виде крупных единиц на подстанциях сетей энергосистем, так и мелких батарей, подключаемых у электроприемников. Длительное время применялись только бумажно-маслянные конденсаторы. Известно, что минеральные масла имеют низкую диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon=2 \div 2,3$ ), что в сочетании с конденсаторной бумагой ( $\epsilon=2,0 \div 2,5$ ) обеспечивало сравнительно низкие технико-экономические показатели конденсаторов.

Промышленностью выпускаются конденсаторы с бумагой, пропитанной маслом и хлордифенилом. Осваивается производство конденсаторов с пропиткой другими синтетическими материалами, имеющими повышенную диэлектрическую проницаемость. Такими материалами являются: пентахлордифенил ( $\epsilon = 5.8$ ), трихлордифенил ( $\epsilon = 5$ ) и нитросовол ( $\epsilon = 8$ ).

Применение современных диэлектриков в зависимости от типа применяемой бумаги позволяет улучшить удельную характеристику мощности на единицу объема на 40-50%. Потери энергии в конденсаторах характеризуются значением  $tg\delta$ , который зависит от свойств применяемой бумаги и качества ее технологической обработки. Этот показатель влияет не только эксплуатационную экономичность конденсаторов, но и определяет их единичную мощность на основе сохранения теплового равновесия конденсатора. Таким образом, снижение значения  $tg\delta$  позволяет увеличить мощность. Конденсатор в единице и снизить его стоимость.

Известно, что и мировой практике конденсатор построения достигнут существенный прогресс. На рис. 1.3 приведены изменения удельных электрических потерь в конденсаторах за длительный период времени. Улучшение качества конденсаторной бумаги позволило снизить удельные потери с 3 до 2 Вт/кВ·А.

За рубежом начинают применять конденсаторы с комбинированным диэлектриком из бумаги и синтетической пленки, отличающиеся от бумажных конденсаторов меньшими размерами, массой и потерями, а также большим сроком службы. Применение комбинированного диэлектрика позволяет уменьшить удельный объем конденсатора напряжением 6 кВ с 0,43 до 0,24 дм<sup>3</sup>/кВ·А при одновременном увеличении единичной мощности 50 до 100 кВ·А.

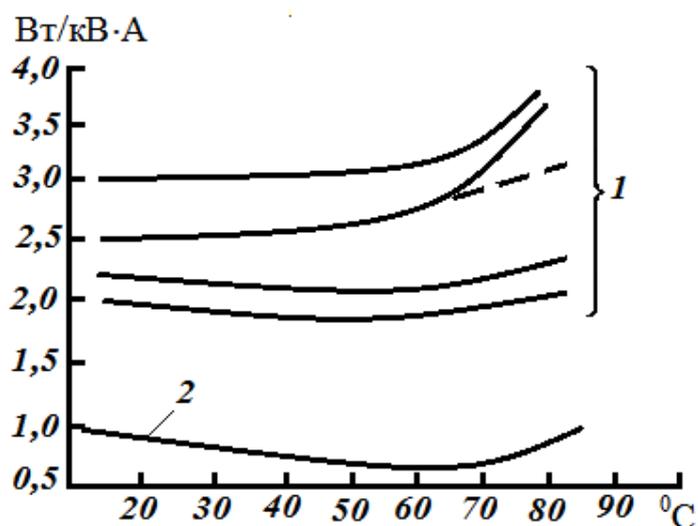


Рис.1.3. Зависимость удельных потерь в диэлектрике от температуры в силовых конденсаторах. 1-бумажный диэлектрик; 2-диэлектрик «Магвар».

Большой эффект в последнее время дало применение синтетической пленки, носящей фирменное название «Магвар». Это позволило американской фирме. Дженерал электрик снизить удельные потери в конденсаторах до значений менее 1 Вт/кВ·А (рис. 1.3 кривая 2) и дополнительно увеличить единичную мощность конденсаторов. Стоимость батареи мощностью 1200-1600 кВ·А снизилась на 25-30%.

Применение новых пропиточных материалов, например на основе пиранола, обеспечивает работу конденсаторов при более высокой напряженности электрического поля (частичные разряды возникают при более высоком напряжении и снижается зависимость емкости от температуры). Испытания конденсаторов нового типа показала что во время первых нескольких часов работы потери устойчиво снизились до 0,5 Вт/кВ·А.

Опыт зарубежных фирм показывает, что применение подобных конденсаторов целесообразно вплоть до полного покрытия мощности нагрузки. В качестве выключателей для регулируемых БК используются воздушные, вакуумные или газовые выключатели. При частых коммутациях конденсаторов рекомендуется применять вакуумные выключатели.

Промышленностью силовые конденсаторы выпускаются на напряжение 0,22-10 кВ в однофазном трехфазном исполнении. Конденсаторы

напряжением до 1000 В изготавливаются трехфазными с соединением по схеме треугольника. Конденсаторы с номинальным напряжением 3,15; 6,3; и 10,5 кВ выпускаются только однофазными. Мощность, кВ·А, трехфазной конденсаторной установки, соединенной треугольником, определяется:

$$Q = 3\omega C_{\phi} U^2 \cdot 10^{-3}$$

где  $\omega$  – угловая частота переменного тока, 1/с;  $C_{\phi}$  – суммарная емкость конденсаторов одной фазы батареей мкФ;  $U$  – линейное напряжение, кВ.

При соединении БК звездой мощность, кВ·А

$$Q = \omega C_{\phi} U^2 \cdot 10^{-3}$$

Некоторая часть конденсаторов, по своей мощности соответствующая неизменяемому потреблению реактивной мощности в течение суток, может быть постоянно подключена к сети. Однако общая мощность БК, установленных в сети, намного превышает это минимальное значение. Поэтому мощность отключаемых БК должна автоматически изменяться в зависимости от требований предъявляемых к режиму электрической сети в соответствии с изменением нагрузки потребителей. Режим работы БК определяется устройством автоматического регулирования, которое реагирует на некоторый комбинированный параметр режима электрической сети.

Наиболее важной проблемой при разработке принципов управления режимом источников реактивной мощности является выбор признаков по которым можно было бы сочетания с нерегулируемыми мелкими установками.

Распространенным источником реактивной мощности на промышленных предприятиях являются синхронные двигатели СД, устанавливаемые для электропривода соответствующего технологического оборудования. В режиме перевозбуждения они могут быть использованы для генерации реактивной мощности. Однако потери энергии в двигателе в этом режиме существенно возрастают по сравнению с режимом работы при коэффициенте мощности, равном единице.

Известно, что издержки эксплуатации от дополнительных потерь энергии СД пропорциональны первой и второй степеням реактивного тока.

$$\Delta I_{\text{д}} = k'_4 I_{\text{д}} + k'_s I_{\text{д}}^2$$

где  $I_{\text{д}}$  – реактивная составляющая тока двигателя, А;

$k'_4, k'_s$  – коэффициенты, которые могут быть приняты практически постоянными, кВт/А и кВт/А<sup>2</sup>.

Даны значения коэффициентов для выражения потерь мощности в СД, кВт.

$$\Delta P = D_1 \psi + D_2 \psi^2$$

Содержащего относительную нагрузку синхронного двигателя  $\psi$  по реактивной мощности.

При решении вопроса о целесообразности генерации реактивной мощности СД необходимо сопоставить дополнительные потери в двигателях с издержками, определяемыми отклонением напряжения от наилучшего, а также с потерями мощности в сети.

Из выражение входит в качестве составляющей, выражение суммарных издержек на электроснабжение потребителей, и вопрос об использовании СД решается учетом всех эксплуатационных факторов.

При решении вопросов о степени использования компенсирующей способности синхронных двигателей следует сопоставлять приведенные затраты на генерацию В·А реактивной мощности синхронными двигателями статическими конденсаторами. Как правило, оказывается, что все синхронные двигатели рационально полностью использовать для компенсации.

Различные типы СД имеют не одинаковые технико-экономические показатели. Обычно СД мощностью более 1000 кВт с частотой вращения более 600 об/мин оказываются конкурентоспособными с БК. Тихоходные двигатели меньшей мощности в качестве источников реактивной мощности могут оказаться менее эффективными, чем БК.

Мощные СД оснащаются автоматическим регулированием возбуждения АРВ. Если регулирование режиме БК осуществляется ступенчато включением и отключением секций установки, то регулирование режима, СД осуществляется плавно. Включение или отключение всех секций БК исчерпывает ее диапазон регулирования, однако диапазон регулирования СД не имеет столь четких ограничений. В процессе регулирования СД могут перегружаться или разгружаться до предела, при котором возможно выпадение из синхронизма. Поэтому регуляторы возбуждения СД содержат элементы, которые предотвращают выход режима двигателя за допустимые пределы. Ограничение нижнего предела возбуждения СД осуществляется жестко. Ограничение верхнего предел возбуждения СД должно осуществляться в зависимости от температуры обмотки ротора с выдержкой достаточной для того, чтобы использовать форсировку возбуждения при резких и кратковременных снижениях напряжения. В качестве регулятора возбуждения СД используются устройства, построенные на электромагнитных элементах или тиристорах.

Наряду с традиционными источниками реактивной мощности в последнее время промышленность начал выпускать тиристорные компенсаторы реактивной мощности (например, типа ТК-125-380) Саранского завода «Электровыпрямитель» номинальной мощностью 125 кВ·А, предназначенные для работы в низковольтных сетях.

Мощность компенсатора плавно регулируется измерением угла коммутации вентилей. Зависимость мощности от угла коммутации изображена на рис. 1.4.

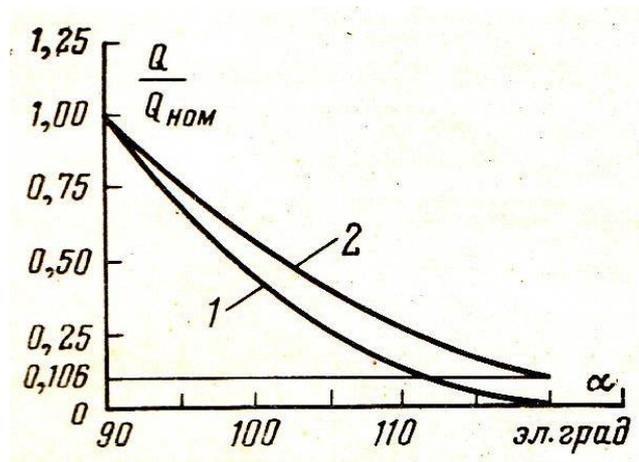


Рис 1.4. Изменение мощности тиристорного компенсатора в функции угла коммутации при симметричной (1) и несимметричной (2) системах управления.

Преимуществами тиристорных компенсаторов являются плавность регулирования и высокое быстродействие, что позволяет использовать их в качестве средства борьбы с колебаниями напряжения. Вместе с тем тиристорный компенсатор является источником высших гармоник для электрической сети. Так, при несимметричной системе управления имеет место пульсация при бестрансформаторном включении компенсатора в сеть. Но при этом по данным содержание высших гармонических тока не превышает 5%.

### 1.1.3. Экономическая эффективность компенсации реактивной мощности

Часть передаваемой энергии расходуется на нагрев элементов электрической сети. Потери активной мощности для одной фазы

$$\Delta P = \sum_{i=1}^t I_i^2 R_i = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^t \left( \frac{P_i^2}{U_i^2} + \frac{Q_i^2}{U_i^2} \right)$$

$i=1 \div t$  – порядковый номер элемента электрической сети, имеющего активное сопротивление. При включении компенсирующих устройств уменьшается передаваемая реактивная мощность  $Q$ , и за счет этого снижаются потери активной мощности.

Следовательно, ввод компенсирующих устройств и шильное их распределение по сети дают экономический эффект за счет снижения потерь энергии в ней.

Компенсация реактивной мощности сопровождается снижением тока в элементах электрической сети. Поэтому в ряде случаев пропускная способность этих элементов может быть снижена. Так, например, могут быть уменьшены сечения проводов линий и требуемые мощности понижающих трансформаторов. От этого удешевляется строительство электрических сетей и получается экономия в расходовании цветного металла. Следовательно, компенсация реактивной мощности в ряде случаев снижает капиталовложения в сооружение электрических сетей.

Потребление активной и реактивной мощности в нагрузочных узлах изменяется во времени. В часы наибольшего потребления реактивная мощность должна в большей мере генерироваться местными источниками. Если генерация реактивной мощности местными источниками остается неизменной во времени и соответствующей наибольшим нагрузкам, то в периоды малых нагрузок избыточная реактивная мощность будет поступать от нагрузок в сеть. В соответствии с выражением этим будут вызываться дополнительные потери мощности в электрической сети, и, следовательно, такой режим работы оказывается экономически невыгодным. Поэтому является оправданным приведение в соответствие генерации и потребления реактивной мощности в нагрузочных узлах. Регулирование режима местных источников реактивной мощности в большинстве случаев целесообразно осуществлять автоматически.

Вторым важным экономическим аспектом компенсации реактивной мощности является влияние компенсирующих устройств на режим напряжения сети и, следовательно, на отклонения напряжения у электроприемников.

Экономическая эффективность применения компенсирующих устройств, существенно влияющих на напряжение участков электрической

сети, может быть выявлена для крупных установок, работающих на питающие сети электрических систем. Обычно это связано с анализом сложных неявных функциональных зависимостей между параметрами режима и параметрами электрической сети требует отдельного рассмотрения.

Отклонения напряжения от номинального значения у электроприемников нормируются. Технически допустимыми для некоторых электроприемников являются отклонения напряжения.

Однако и в пределах нормируемых значений отклонения напряжения влияют на работу электроприемников Экономическое влияние отклонения напряжения у электроприемников на эффективность их технологии, а также на режим сети зависит от типов электроприемников и носит конкретный характер.

Таблица 1.1.

Электроприемник	Допустимое отклонение напряжения
Основа масса электроприемников Электродвигатели	$\pm 5\%$
Рабочее освещение производственных помещений и общественных зданий, где требуется значительное зрительное усилие	$10 \pm 5\%$ $5 \pm 2.5\%$
Электроприемники, питающиеся от сельских электрических сетей или тяговых подстанций	$\pm 7.5\%$
В послеаварийных режимах дополнительно	$-5\%$

Так, например, от выводимого напряжения зависят потери активной и реактивной мощности в асинхронных двигателях, а также потребление ими реактивной мощности. В меньшей степени это влияет на частоту вращения двигателей, и, следовательно, на потребляемую активную мощность. В большей степени от подводимого напряжения зависит работа осветительных установок. Повышение напряжения здесь сопровождается увеличением

светового потока, но при этом потребляется большая активная мощность и уменьшается срок службы светильников. Применительно электротермическим установкам известно, например, по снижению напряжения в ряде случаев приводит ухудшению работы пресс-форм, уменьшению производительности печей отжига и электроплавильных печен, увеличению расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции. Для выпрямительных и электронных установок такая зависимость является еще более сильной.

Изменение потребления активной и реактивной мощности комплексов электроприемников обусловлено отклонениями напряжения в распределительных сетях.

Когда допустимо считать, что отклонения напряжения и вызывают ущерба, связанного с влиянием на технологический процесс, можно оценивать экономичность режима потребителя по активной и реактивной мощности зависимости от подводимого напряжения, пользуясь статическими характеристиками нагрузки.

Издержки эксплуатации, вызываемые отклонением напряжения от номинального, должны определяться для конкретных электроприемников, питающихся от распределительной сети. Обычно издержки эксплуатации функции отклонения напряжении могут определяться выражением

$$\Delta I_U = k_1' \Delta U + k_2' (\Delta U)^2$$

где  $k_1$  и  $k_2$  коэффициенты составляющих издержке пропорциональных первой и второй степеням отклонения напряжения.

Отклонение напряжения и коэффициент  $k$  могут иметь как положительное, так и отрицательное значения. Соответственно первый член выражения будет иметь тот или иной знак. Так, например, если отклонение напряжения не вызывает дополнительных издержек из-за влияния на технологический процесс, то издержки будут определяться на основе статических характеристик нагрузки, коэффициент будет положительным.

Если увеличение напряжения сопровождается ростом производительности, например, электролизных установок, то коэффициент  $k$  будет отрицательным и увеличению напряжения будет соответствовать снижение издержки электроснабжение. Издержки эксплуатации не всегда целесообразно представлять уравнением типа. В некоторых случаях; рациональнее применить линейную аппроксимацию этого выражения. Тогда оно принимает вид:

$$\Delta И = k_1'' \Delta U$$

Потребление энергии электроприемниками изменяется во времени. При этом издержки эксплуатации из-за отклонения напряжения от наивыгоднейшего значения могут быть различными. Иногда обобщенное представление об этих издержках при изменяющемся во времени потреблении можно получить, если «взвесить» издержки по потребляемой энергии.

Учитывая, что при решении вопросов регулирована местных источников реактивной мощности целесообразно ориентироваться на соответствующие составляющие токов, можно приблизительно считать издержки пропорциональными потребляемому электроприемниками активному току в относительных единицах. Так, можно полагать, что

$$\Delta И = k_1'' \Delta I_a$$

где  $I_a$  – активная составляющая тока узла нагрузки относительная единица учетом того, что отклонение напряжения может иметь место как из-за регулирования БК, так и по другим причинам, уравнения издержек, связанные с отклонением напряжения, могут быть записаны для условий соответственно:

$$\begin{aligned} \Delta И &= k_1' (\Delta U_0 + \Delta U_6) + k_2' (\Delta U_0 + \Delta U_6)^2 = \\ &= k_1' (\Delta U_0 + \Delta X_c I_6) + k_2' (\Delta U_0 + \Delta X_c I_6)^2 \end{aligned}$$

$$\Delta И = k_1' (\Delta U_0 + \Delta X_c I_6) I_a$$

где  $\Delta U_0$  и  $\Delta U_6$  – отклонения напряжения, не зависящие и зависящие от режима БК;  $I_6$  – ток БК;  $X_c$  – индуктивное сопротивление внешней сети по отношению к точке присоединения БК.

## **1.2. Компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта**

В качестве показателя потребления цепью реактивной мощности используется коэффициент мощности  $\cos\varphi$ . В работах отмечается, что этот показатель является малочувствительным при компенсации реактивной мощности, поскольку даже при значении  $\cos\varphi = 0,95$  нагрузка потребляет реактивную мощность, которая составляет 33% от значения потребляемой активной мощности. Более удачным показателем признается  $tg\varphi = Q/P$ , где  $Q, P$  – соответственно величины реактивной и активной мощности нагрузки. Можно отметить, что имеется определенная тенденция в нормировании более высоких допустимых значений величин используемых для оценки уровня потребления реактивной мощности в электрических цепях. Например, в 2007 году установлены следующие требования к минимальному значению коэффициента мощности для точек присоединения потребителя к электрической сети: значение коэффициента мощности  $\cos\varphi = 0,944$  ( $tg\varphi = 0,35$ ) для сети 0,4 кВ и  $\cos\varphi = 0,93$  ( $tg\varphi = 0,4$ ) для сети 6–20 кВ. Такое ужесточение вполне обосновано экономически. Так, например, за счет компенсации реактивной мощности нагрузки (повышение значения коэффициента мощности от  $\cos\varphi = 0,5$  до предписанного значения) потери энергии в сети от реактивной мощности уменьшаются более чем на 60%. Малая чувствительность изменения контролируемого параметра  $\cos\varphi$  к изменению реактивной мощности ( $\Delta\cos\varphi/\Delta Q$ ), а также неоднозначность нормирования параметра  $tg\varphi$  усложняет системы управления и регулирования устройств компенсации и/или генерирования реактивной мощности. Это может быть основанием для предложения новых информативных показателей управления режимом компенсации реактивной

мощности, которые были бы более чувствительными и адаптированными к системам регулирования и повышения показателей энергетической эффективности.

Наиболее эффективным и масштабным направлением сокращения потребления энергоресурсов и повышения энергетической эффективности является отраслевое энергосбережение за счет внедрения новых и усовершенствования существующих энергосберегающих технологий и оборудования, в том числе и на железнодорожном транспорте.

Принципиальным отличием тяговой сети железнодорожного электрифицированного транспорта переменного тока от традиционных распределительных сетей состоит в том, что нагрузка может изменяться не только во времени, но и передвигается в пространстве с определенной скоростью. Данная цепь имеет переменные во времени параметры и структуру, что усложняет задачу исследования стационарных и нестационарных процессов в данной цепи, а также компенсацию реактивной мощности с целью обеспечения требуемого значения коэффициента мощности на шинах тяговой подстанции.

Для таких цепей предложено использовать мгновенные расчетные схемы при заданном положении поезда на перегоне, причем в этом случае методы их расчета аналогичны расчетам сетей с сосредоточенными параметрами и стационарными нагрузками с сосредоточенными параметрами. Иногда сосредоточенные нагрузки в фидерной зоне тяговой сети заменяют на распределенные нагрузки вдоль сети, получая при этом цепочечные схемы замещения тяговой сети, что в целом представляется искусственным приемом.

Переменный характер нагрузки и изменение ее положения в пространстве создают сложности для обеспечения режима компенсации реактивной мощности на шинах тяговых подстанций, например, стационарными нерегулируемыми батареями конденсаторов. Поэтому на железнодорожном транспорте начали применять регулируемые ступенями

конденсаторные батареи, а для компенсации индуктивного падения напряжения использовать также продольную емкостную компенсацию. Даже для цепи с постоянной структурой проблема компенсации реактивной мощности и повышения передаваемой мощности в нагрузку по электрической сети с постоянной топологией не является тривиальной задачей, и тем более это относится к случаю поперечной и/или продольной емкостной компенсации в тяговой сети.

Целью данной выпускной работы является разработка аналитического метода параметрического анализа компенсации реактивной мощности в зависимости от положения нагрузки на перегоне между двумя тяговыми подстанциями, а также определение влияния тяговой сети на режимы потребления и компенсации реактивной мощности на шинах тяговых подстанций при изменении точки подключения нагрузки к контактной сети. Для определения именно особенностей влияния сети на режим компенсации реактивной мощности в данной работе сделано допущение, что нагрузка сети имеет чисто активный характер, т.е.  $\cos\varphi_n = 1$ .

### **1.2.1. Постановка задачи применения компенсирующих устройств система электроснабжения ж.д. транспорта**

Рассмотрим модельную задачу минимизации потребления реактивной мощности на входе и выходе участка тяговой сети электрифицированного участка железной дороги, расположенного между двумя трансформаторными подстанциями и питаемого с обоих концов однофазным переменным током.

Представим тяговую электросеть как однопроводную длинную линию с распределенными погонными параметрами  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ,  $G$ . Вдоль участка сети длиной  $l$  движется электровоз, представляющий собой активную нагрузку, которую обозначим как  $R_S$ . Для минимизации значения реактивной мощности расположим в начале и в конце рассматриваемого участка тяговой сети (практически на шинах низкого напряжения тяговых подстанций)

компенсирующие устройства с реактивными сопротивлениями  $X$ , которые подключены к тяговой сети параллельно.

Рассмотрим сеть с двумя генераторными и пятью нагрузочными узлами, расположенными так, как это показано на рис. 1.5.

Предположим, что источники переменного напряжения обладают неограниченной мощностью, причем их работа на общие нагрузки не обязательно синхронизирована.

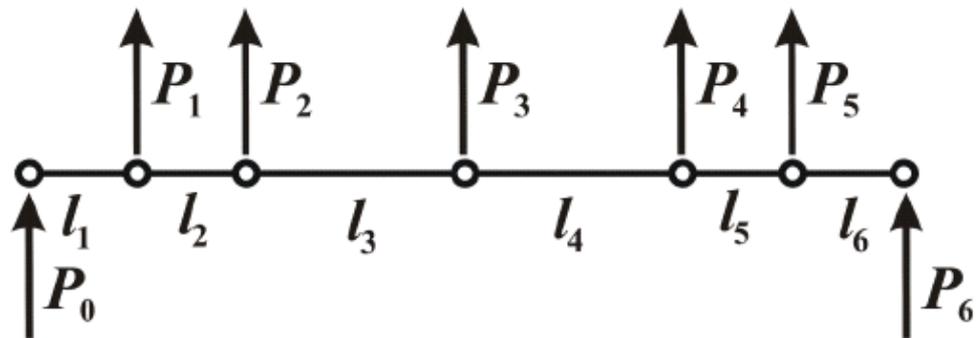


Рис. 1.5. Схемы расположения генераторных и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения

### 1.2.2 Метод решения

В соответствии с методом комплексных амплитуд (МКА) токи и напряжения в концевых точках однородной линии длиной  $l$  связаны соотношениями

$$U_2 = U_1 \operatorname{ch} \gamma l - Z_0 I_1 \operatorname{sh} \gamma l; \quad Z_0 I_2 = -U_1 \operatorname{sh} \gamma l + Z_0 I_1 \operatorname{ch} \gamma l \quad (1)$$

или

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l + Z_0 I_2 \operatorname{sh} \gamma l; \quad Z_0 I_1 = U_2 \operatorname{sh} \gamma l + Z_0 I_2 \operatorname{ch} \gamma l, \quad (2)$$

где  $Z_0 = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$ ,  $\gamma = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)}$  - соответственно волновое сопротивление и коэффициент распространения волн тока и напряжения в

линии, а  $U_1, I_1, U_2, I_2$  соответственно напряжения и тока на левом и правом концах линии.

Предположим, что рассмотренный участок линии является неоднородным и в точках сопряжения однородных участков подключены нагрузки с сосредоточенными параметрами  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ . Обозначим длины участков неоднородной линии через  $l_k$ , а точки стыковки участков –  $x_k$ :  $x_k = \sum_{i=1}^k l_i$ ,  $k = \overline{1,6}$ ,  $x_0 = 0$ ,  $x_6 = l$ . Погонные параметры участка с номером  $k$  обозначим через  $L_k, C_k, R_k, G_k$ , а волновые сопротивления и коэффициенты распространения волн соответственно –  $Z_{0,k}, \gamma_k$ .

Предположим, что все нагрузки  $Z_{n,k}$  имеют комплексный характер и в точках сопряжения включены параллельно. В этом случае напряжение в точках стыка составной линии является непрерывной функцией, тогда как токи претерпевают разрыв первого рода. Обозначим напряжения и токи в узле с номером  $k$  как  $U_k, I_k^- = I(x_k - 0), I_k^+ = I(x_k + 0)$ . Для линии с шестью разнородными участками подлежат определению 19 неизвестных: 7 напряжений  $U_k$  в узлах  $x_k, k = \overline{0, \dots, 6}$ ; 2 тока на концах линии  $I_0^+ = I_0, I_6^- = I_6$  и 10 токов в точках сопряжения  $I_k^-, I_k^+, k = \overline{1, \dots, 5}$ . Для однозначного определения этих неизвестных требуется построить систему из 19 уравнений. Эта система состоит из 12 уравнений типа (1), (2), пяти уравнений для нагрузки и двух значений напряжения в узлах генерации. Приведем эти уравнения в соответствие со схемой рис. 1.5, где через  $\tilde{U}_0, \tilde{U}_6$  обозначены известные напряжения на шинах генераторов напряжения в точках  $x_0$  и  $x_6$ :

$$\begin{aligned}
U_0 &= \tilde{U}_0; Z_{0,1}I_1^- = -U_0 sh\gamma_1 l_1 + Z_{0,1}I_0 ch\gamma_1 l_1; \\
Z_{0,1}I_0 &= U_1 sh\gamma_1 l_1 + Z_{0,1}I_1^- ch\gamma_1 l_1; U_1 = Z_{n,1}(I_1^- - I_1^+); \\
Z_{0,2}I_2^- &= -U_1 sh\gamma_2 l_2 + Z_{0,2}I_1^+ ch\gamma_2 l_2; \\
Z_{0,2}I_1^+ &= U_2 sh\gamma_2 l_2 + Z_{0,2}I_2^- ch\gamma_2 l_2; \\
U_2 &= Z_{n,2}(I_2^- + I_2^+); Z_{0,3}I_3^- = -U_2 sh\gamma_3 l_3 + Z_{0,3}I_2^+ ch\gamma_3 l_3; \\
Z_{0,3}I_2^+ &= U_3 sh\gamma_3 l_3 + Z_{0,3}I_3^- ch\gamma_3 l_3; U_3 = Z_{n,3}(I_3^- - I_3^+); \\
Z_{0,4}I_4^- &= -U_3 sh\gamma_4 l_4 + Z_{0,4}I_3^+ ch\gamma_4 l_4; \\
Z_{0,4}I_3^+ &= U_4 sh\gamma_4 l_4 + Z_{0,4}I_4^- ch\gamma_4 l_4; U_4 = Z_{n,4}(I_4^- + I_4^+); \\
Z_{0,5}I_5^- &= -U_4 sh\gamma_5 l_5 + Z_{0,5}I_4^+ ch\gamma_5 l_5;
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
Z_{0,5}I_4^+ &= U_5sh\gamma_5l_5 + Z_{0,5}I_5^-ch\gamma_5l_5; U_5 = Z_{n,5}(I_5^- + I_5^+); \\
Z_{0,6}I_6^- &= -U_5sh\gamma_6l_6 + Z_{0,6}I_5^+ch\gamma_6l_6; \\
Z_{0,6}I_5^+ &= U_6sh\gamma_6l_6 + Z_{0,6}I_6^-ch\gamma_6l_6; U_6 = \tilde{U}_6.
\end{aligned}$$

Если представим неизвестные переменные из системы уравнений (3) в виде транспонированного вектора  $\bar{y}$  у независимых переменных:

$$\bar{y} = (U_0, I_0, I_1^-, U_1, I_1^+, I_2^-, U_2, I_2^+, I_3^-, U_3, I_3^+, I_4^-, U_4, I_4^+, I_5^-, U_5, I_5^+, I_6, U_6)^T,$$

то система (3) может быть записана в матричной форме

$$A\bar{y} = \bar{F}, \quad (4)$$

где вектор  $\bar{F} = (\tilde{U}_0, \tilde{U}_6)$  а матрица  $A$  имеет простую трехдиагональную структуру.

В общем случае система уравнений с такой матрицей может быть записана в виде

$$\begin{aligned}
b_0y_0 + c_0y_1 &= F_0; \\
a_iy_{i-1} + b_iy_i + c_iy_{i+1} &= F_i, i = \overline{1, n-1}; \\
a_ny_{n-1} + b_ny_n &= F_n. \\
\alpha_0 &= \frac{-c_0}{b_0}, \beta_0 = \frac{F_0}{b_0};
\end{aligned} \quad (5)$$

$$a_i = \frac{-c_i}{b_i + a_i\alpha_{i-1}}, i = \overline{1, n-1}; \beta_i = \frac{F_i - a_i\beta_{i-1}}{\beta_i + a_i\alpha_{i-1}}, i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$y_n = \beta_n; y_i = \alpha_i y_{i+1} + \beta_i, i = n, n-2, \dots, 1, 0.$$

Для системы (3) можно получить явное решение в виде рекуррентных формул. Вначале покажем, как решается задача с одним генератором на левом конце и с заданными нагрузками  $Z_{n,k}$  во всех остальных узлах. Отметим при этом, что рассматриваемая модель цепи питания соответствует тяговой сети с односторонним питанием, т.е. мы и в данном случае рассмотрим модельную задачу, которая принципиально совпадает с принятой схемой электроснабжения на электрифицированной железной дороге.

### 1.2.3. Решение в явном виде при одностороннем питании тяговой сети

Пусть линия длиной  $l$  состоит из  $N$  участков длиной  $l_k$  с параметрами  $L_k, C_k, R_k, G_k, Z_{0,k}, \gamma_k, k = \overline{1, N}$  и питается с генераторного узла  $P_0$ , расположенного в точке  $x=0$ . Обозначим напряжения и токи в узле с номером  $k$  как  $U_k, I_k^-, I_k^+, k = \overline{0, N}$ . Тогда на каждом из участков с номером  $k$  имеют место соотношения типа (1) – (2), связывающие токи и напряжения на концах

$$\begin{aligned} Z_{0,k} I_{k-1}^+ &= U_k \operatorname{sh} \gamma_k l_k + Z_{0,k} I_k^- \operatorname{ch} \gamma_k l_k; \\ U_{k-1} &= U_k \operatorname{ch} \gamma_k l_k + Z_{0,k} I_k^- \operatorname{sh} \gamma_k l_k, k = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (7)$$

На правом конце линии при  $x_N = l$  и в узлах сопряжения  $x_k = \sum_{i=1}^k l_i, k = \overline{1, (N-1)}$  выполняются условия

$$\begin{aligned} U_N &= Z_{S,N}^- I_N, Z_{S,N}^- = Z_{n,N}, \\ U_k &= Z_{n,k} (I_k^- - I_k^+), k = \overline{1, (N-1)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Решение системы (7), (8) при выполнении условия на левом конце  $U_0 = \tilde{U}_0$  строится следующим образом. Из уравнений для последнего участка

$$\begin{aligned} Z_{0,N} I_{N-1}^+ &= U_N \operatorname{sh} \gamma_N l_N + Z_{0,N} I_N^- \operatorname{ch} \gamma_N l_N; \\ U_{N-1} &= U_N \operatorname{ch} \gamma_N l_N + Z_{0,N} I_N^- \operatorname{sh} \gamma_N l_N \end{aligned}$$

с помощью граничного условия  $U_N = Z_{S,N}^- I_N^-$  исключаем  $U_N$  и вычисляем отношение:  $U_{N-1}/I_{N-1}^+ = Z_{BX,N}^+$ . Тогда получаем выражение для входного сопротивления  $Z_{BX,N}^+$  последнего участка линии  $x \in [x_{N-1}, x_N]$ , которое включает в себя сопротивление на правом конце и параметры этого участка линии

$$Z_{BX,N}^+ = Z_{0,N} \frac{Z_{0,N} \operatorname{sh} \gamma_N l_N + Z_{S,N}^- \operatorname{ch} \gamma_N l_N}{Z_{0,N} \operatorname{ch} \gamma_N l_N + Z_{S,N}^- \operatorname{sh} \gamma_N l_N}. \quad (9)$$

Таким образом, получаем связь напряжения  $U_{N-1}$  и ток  $I_{N-1}^+$

$$U_{N-1} = Z_{BX,N}^+ I_{N-1}^+ \quad (10)$$

Далее используя (10), исключаем  $I_{N-1}^+$  из условия сопряжения (8) в узле  $x_{N-1}$ , вычисляем отношение  $U_{N-1}$  к  $I_{N-1}^-$  и получаем связь напряжения  $U_{N-1}$  и тока  $I_{N-1}^-$

$$\frac{U_{N-1}}{I_{N-1}^-} = Z_{B,N-1}^- = \frac{Z_{BX,N}^+ Z_{n,N-1}}{Z_{BX,N}^+ + Z_{n,N-1}}; \quad (11)$$

$$U_{N-1} = Z_{S,N-1}^- I_{N-1}^-. \quad (12)$$

Теперь переходим к участку линии  $x \in [x_{N-2}, x_{N-1}]$ . Из уравнений для этого участка

$$Z_{0,N-1} I_{N-2}^+ = U_{N-1} sh \gamma_{N-1} l_{N-1} + Z_{0,N-1} I_{N-1}^- ch \gamma_{N-1} l_{N-1};$$

$$U_{N-2} = U_{N-1} ch \gamma_{N-1} l_{N-1} + Z_{0,N-1} I_{N-1}^- sh \gamma_{N-1} l_{N-1}$$

с помощью условия (12)  $U_{N-1} = Z_{S,N-1}^- I_{N-1}^-$  исключаем  $U_{N-1}$  и вычисляем отношение  $U_{N-2}/I_{N-2}^+ = Z_{BX,N-1}^+$ . Тогда приходим к выражению для входного сопротивления  $Z_{BX,N-1}^+$ , соответствующего двум последним участкам линии  $x \in [x_{N-2}, x_N]$ :

$$Z_{BX,N-1}^+ = Z_{0,N-1} \frac{Z_{0,N-1} sh \gamma_{N-1} l_{N-1} + Z_{S,N-1}^- ch \gamma_{N-1} l_{N-1}}{Z_{0,N-1} ch \gamma_{N-1} l_{N-1} + Z_{S,N-1}^- sh \gamma_{N-1} l_{N-1}}. \quad (13)$$

Таким образом получаем следующую связь между напряжением  $U_{N-2}$  и током  $I_{N-2}^+$ :

$$U_{N-2} = Z_{BX,N-1}^+ I_{N-2}^+. \quad (14)$$

Далее, используя (14), исключаем  $I_{N-2}^+$  из условия сопряжения (8) в узле  $x_{N-2}$ , вычисляем отношение  $U_{N-2}$  к  $I_{N-2}^-$  и получаем связь напряжения  $U_{N-2}$  и тока  $I_{N-2}^-$ :

$$U_{N-2}/I_{N-2}^- = Z_{S,N-2}^- = \frac{Z_{BX,N-1}^+ Z_{n,N-2}}{Z_{BX,N-1}^+ + Z_{n,N-2}}; \quad (15)$$

$$U_{N-2} = Z_{S,N-2}^- I_{N-2}^-. \quad (16)$$

Продолжая этот процесс, получаем рекуррентные формулы для напряжений и токов, которые для участка с номером  $k$  имеют вид

$$Z_{BX,k}^+ = Z_{0,k} \frac{Z_{0,k} sh \gamma_k l_k + Z_{S,k}^- ch \gamma_k l_k}{Z_{0,k} ch \gamma_k l_k + Z_{S,k}^- sh \gamma_k l_k};$$

$$U_{k-1} = Z_{BX,k}^+ I_{k-1}^+, k = \overline{1, N}; Z_{S,k-1}^- = \frac{Z_{BX,k}^+ Z_{n,k-1}}{Z_{BX,k}^+ + Z_{n,k-1}};$$

$$U_{k-1} = Z_{S,k-1}^- I_{k-1}^-, k = \overline{2, (N+1)}. \quad (17)$$

Решение задачи для токов и напряжений формируется последовательными вычислениями по формулам (17), начиная с известного значения напряжения на левом конце линии  $U_0 = \tilde{U}_0$ .

По такой же методике можно получить решение в явном виде, когда нагрузка питается только от генераторного узла  $P_6$ , расположенного на правом конце рассматриваемого участка. При этом полагаем, что заданными являются нагрузки  $Z_{n,k}$  в точках сопряжения которые имеют комплексный характер, и при этом выполняются граничные условия для левого конца тяговой линии  $U_0 = -Z_{S,0}^+ I_0^+ = -Z_{n,0} I_0^+$ . Повторяя для этого случая преобразования уравнений данной цепи по способу, приведенному выше, но для задачи с генератором на левом конце, получаем расчетные формулы, аналогичные (17):

$$Z_{BX,k}^- = Z_{0,k} \frac{Z_{0,k} sh \gamma_k l_k + Z_{S,k-1}^+ ch \gamma_k l_k}{Z_{0,k} ch \gamma_k l_k + Z_{S,k-1}^+ sh \gamma_k l_k};$$

$$U_k = -Z_{BX,k}^- I_k^-, k = \overline{1, N}; Z_{S,k}^+ \frac{Z_{BX,k}^+ Z_{n,k}}{Z_{BX,k}^+ + Z_{n,k}};$$

$$U_k = -Z_{S,k}^+ I_k^+, k = \overline{1, (N-1)}. \quad (18)$$

#### 1.2.4. Решение в явном виде при двустороннем питании тяговой сети

В силу линейности рассматриваемой цепи можно получить решение задачи в явном виде для случая питания нагрузки одновременно от двух тяговых подстанций. Для этого воспользуемся полученными решениями для случаев одностороннего питания нагрузки. Формулы (17) и (18) позволяют получить решение задачи с двумя генераторами для узлов, изображенных на рис. 1.5. С этой целью по формулам (17) определим решение задачи с генератором на левом конце и условием  $U_6 = 0$  или  $Z_{S,6}^- = 0$  на правом конце, что равносильно КЗ правого конца линии, а по формулам (18) решим задачу с генератором на правом конце и условием  $U_0 = 0$  или  $Z_{S,0}^+ = 0$ , т.е. с

короткозамкнутым левым концом. В силу линейности определяющих уравнений решение исходной задачи получается как сумма решений двух задач с одним действующим генератором при режиме КЗ на противоположном конце линии.

### 1.2.5. Компенсация реактивной мощности на концах участка тяговой сети при двустороннем питании нагрузки типа $R_S$

Рассмотрим задачу компенсации реактивной мощности на концах линии при сопротивлении нагрузки  $Z_{n2} = R_S$  при ее питании с двух сторон. На шинах низкого напряжения тяговых подстанций подключены компенсирующие устройства с реактивными сопротивлениями  $Z_{n1}, Z_{n3}$  (рис. 2). Рассмотрим задачу в общем виде, не предопределяя заранее характер реактивного сопротивления компенсирующих устройств (индуктивное или емкостное).

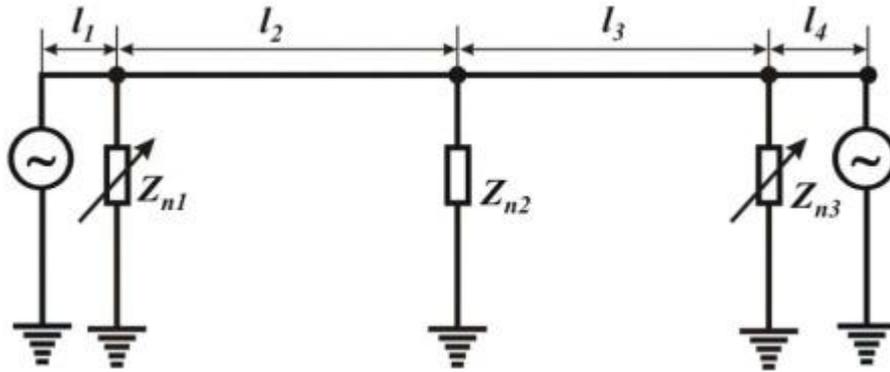


Рис. 1.6. Схемы расположения генераторных, компенсирующих и нагрузочных узлов в сети переменного напряжения

Система уравнений (3) в этом случае преобразуется к виду

$$\begin{aligned}
 U_0 &= \tilde{U}_0; Z_{0,1}I_1^- = -U_0sh\gamma_1l_1 + Z_{0,1}I_0ch\gamma_1l_1; \\
 Z_{0,1}I_0 &= U_1sh\gamma_1l_1 + Z_{0,1}I_1^-ch\gamma_1l_1; U_1 = Z_{n,1}(I_1^- - I_1^+); \\
 Z_{0,2}I_2^- &= -U_1sh\gamma_2l_2 + Z_{0,2}I_1^+ch\gamma_2l_2; \\
 Z_{0,2}I_1^+ &= U_2sh\gamma_2l_2 + Z_{0,2}I_2^-ch\gamma_2l_2; \\
 U_2 &= Z_{n,2}(I_2^- + I_2^+); Z_{0,3}I_3^- = -U_2sh\gamma_3l_3 + Z_{0,3}I_2^+ch\gamma_3l_3;
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
Z_{0,3}I_2^+ &= U_3sh\gamma_3l_3 + Z_{0,3}I_3^-ch\gamma_3l_3; \quad U_3 = Z_{n,3}(I_3^- + I_3^+); \\
Z_{0,4}I_4^- &= -U_3sh\gamma_4l_4 + Z_{0,4}I_3^+ch\gamma_4l_4; \\
Z_{0,4}I_3^+ &= U_4sh\gamma_4l_4 + Z_{0,4}I_4^-ch\gamma_4l_4; \quad U_4 = \tilde{U}_4.
\end{aligned}$$

Если компенсирующие устройства (элементы  $Z_{n,1}$ ,  $Z_{n,3}$  в схеме замещения) расположены вблизи концов линии, то  $l_1 \rightarrow 0$  и  $l_4 \rightarrow 0$ , тогда из уравнений (1), (2) легко получить, что  $I_1^- = I_0$ ,  $U_1 = U_0$  и  $I_3^+ = I_4$ ,  $U_3 = U_4$  и система (19) принимает более простой вид

$$\begin{aligned}
U_0 &= \tilde{U}_0; \quad U_0 = Z_{n,1}(I_0 + I_1^+); \\
Z_{0,2}I_2^- &= -U_0sh\gamma_2l_2 + Z_{0,2}I_1^+ch\gamma_2l_2; \\
Z_{0,2}I_1^+ &= U_2sh\gamma_2l_2 + Z_{0,2}I_2^-ch\gamma_2l_2; \tag{20} \\
U_2 &= Z_{n,2}(I_2^- + I_2^+); \quad Z_{0,3}I_3^- = -U_2sh\gamma_3l_3 + Z_{0,3}I_2^+ch\gamma_3l_3; \\
Z_{0,3}I_2^+ &= U_4sh\gamma_3l_3 + Z_{0,3}I_3^-ch\gamma_3l_3; \quad U_4 = Z_{n,3}(I_3^- - I_4); \\
U_4 &= \tilde{U}_4.
\end{aligned}$$

Предположим, что линия однородная, т.е.  $Z_{0,2} = Z_{0,3}$  и  $\gamma_2 = \gamma_3 = \gamma$ . В этом случае решая систему уравнений (20) предложенным выше способом, можно получить явные аналитические значения для токов на входе  $I_0$  и выходе линии  $I_4$ :

$$\begin{aligned}
I_0 &= \frac{U_0}{Z_0} \left[ \frac{Z_0}{Z_{n,1}} + \frac{Z_0ch\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}ch\gamma l}{Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}sh\gamma l} \right] - \frac{U_4Z_{n,2}/Z_0}{Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}ch\gamma l} = \\
&= \frac{U_0}{Z_{n,1}} + \frac{U_0Z_0ch\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_0ch\gamma l - U_4)}{Z_0(Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}sh\gamma l)}; \\
I_4 &= \frac{U_0Z_{n,2}/Z_0}{Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}sh\gamma l} - \frac{U_4}{Z_0} \left[ \frac{Z_0}{Z_{n,3}} + \frac{Z_0sh\gamma l_2ch\gamma l_3 + Z_{n,2}ch\gamma l}{Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}sh\gamma l} \right] = \\
&= -\frac{U_4}{Z_{n,3}} - \frac{U_4Z_0sh\gamma l_2ch\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_4ch\gamma l - U_0)}{Z_0(Z_0sh\gamma l_2sh\gamma l_3 + Z_{n,2}sh\gamma l)}. \tag{21}
\end{aligned}$$

Реактивная мощность на входе и выходе линии вычисляется по формулам:  $Q_0 = Im(U_0I_0^*)$  и  $Q_4 = Im(U_4I_4^*)$ .

Предположим, что компенсирующие элементы  $Z_{n,1}$  и  $Z_{n,3}$  являются чисто реактивными, т.е. содержат только индуктивные или емкостные составляющие. Тогда  $Z_{n,1} = jX_{n,1} = j/b_{n,1}$  и  $Z_{n,3} = jX_{n,3} = j/b_{n,3}$ , где через

$X_{n,1}$ ,  $X_{n,3}$  обозначены реактивные сопротивления, а через  $b_{n,1}$ ,  $b_{n,3}$  – реактивные проводимости. Так как амплитуды входных напряжений  $U_0$  и  $U_4$  являются вещественными, то, решая уравнения  $Q_0 = 0$  и  $Q_4 = 0$  или  $\text{Im}(I_0) = 0$  и  $\text{Im}(I_4) = 0$ , получаем явные формулы для значений реактивных проводимостей, при которых реактивная мощность на концах линии равняется нулю. В данном случае тяговая сеть не потребляет и не генерирует в питающую сеть реактивную мощность, за которую необходимо платить. Значения реактивных проводимостей  $b_{n,1}$  и  $b_{n,3}$ , при которых происходит полная компенсация реактивной мощности на границе раздела тяговой и питающих сетей, определяется как решение уравнений  $\text{Im}(I_0) = 0$ ,  $\text{Im}(I_4) = 0$ , где токи  $I_0$ ,  $I_4$  задаются формулами (21):

$$\begin{aligned} \text{Im}(I_0) &= \text{Im} \left[ \frac{U_0}{Z_{n,1}} + \frac{U_0 Z_0 \text{ch}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_0 \text{ch}\gamma l - U_4)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right] = \\ &= \text{Im} \left[ \frac{U_0}{Z_{n,1}} \right] + \text{Im} \left[ \frac{U_0 Z_0 \text{ch}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_0 \text{ch}\gamma l - U_4)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right] = 0; \\ b_{n,1} &= \frac{1}{X_{n,1}} = \text{Im} \left[ \frac{Z_0 \text{ch}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2}(\text{ch}\gamma l - U_4/U_0)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right]; \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{Im}(I_4) &= -\text{Im} \left[ \frac{U_4}{Z_{n,3}} + \frac{U_4 Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{ch}\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_4 \text{ch}\gamma l - U_0)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right] = \\ &= -\text{Im} \left[ \frac{U_4}{Z_{n,3}} \right] - \text{Im} \left[ \frac{U_4 Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{ch}\gamma l_3 + Z_{n,2}(U_4 \text{ch}\gamma l - U_0)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right] = 0; \\ b_{n,3} &= \frac{1}{X_{n,3}} = \text{Im} \left[ \frac{Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{ch}\gamma l_3 + Z_{n,2}(\text{ch}\gamma l - U_0/U_4)}{Z_0(Z_0 \text{sh}\gamma l_2 \text{sh}\gamma l_3 + Z_{n,2} \text{sh}\gamma l)} \right]; \end{aligned} \quad (23)$$

### 1.2.6. Результаты параметрического анализа изменения мощности компенсации тяговой сети

Проведем по формулам (22), (23) параметрический анализ управления реактивной мощностью на входе и выходе идеальной линии компенсирующими устройствами, заданными в виде комплексных

сопротивлений. Пусть длина линии равна  $l = 40$  км или в безразмерном виде по отношению к волновой длине  $\lambda = 6000$  км:  $l = 0,00667$ . Примем, что волновое сопротивление линии  $Z_B = 400$  Ом. Для этих условий на рис. 1.7 приведены графики зависимости значения реактивной проводимости  $b_{n,1}$  (кривая 1) и  $b_{n,3}$  (кривая 2) от месторасположения активной нагрузки  $x = l_2/l$  для различных значений сопротивления нагрузки  $R_S = 150$  Ом (а); 200 Ом (б); 250 Ом (с); 300 Ом (д); 350 Ом (е); 400 Ом (ф). На рисунках одно деление по вертикальной оси, равное 0,005 в безразмерном виде, соответствует  $0,125 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$  в размерных единицах.

Из рис. 1.7, а видно, что для нагрузки  $R_S = 150$  Ом, расположенной в начале линии, значения проводимостей  $b_{n,1}$  и  $b_{n,3}$  являются отрицательными, т.е. для компенсации на обоих концах линии требуется емкостной характер компенсирующих элементов. При движении нагрузки вдоль линии значения  $b_{n,1}$  и  $b_{n,3}$  уменьшаются по модулю. При достижении движущейся нагрузкой точки  $x = 0,085$  ( $l_2 = 3,4$  км) значение проводимости  $b_{n,1}$  становится равным нулю. В данный момент времени не требуется компенсация реактивной мощности, так как левый конец линии является согласованным с нагрузкой и из питающей сети потребляется только активная мощность. При этих условиях ток на шинах низкого напряжения тяговой подстанции совпадает по фазе с напряжением. Значение проводимости  $b_{n,1}$  становится положительным при удалении нагрузки от точки  $x = 0,085$  ( $l_2 = 3,4$  км), при котором происходит компенсация реактивной мощности на шинах низкого напряжения тяговой подстанции, т.е. для обеспечения компенсации на левом конце линии требуется индуктивный характер цепи компенсирующего элемента.

Индуктивный характер в цепи компенсирующего элемента сохраняется до достижения нагрузкой точки  $x = 0,68$  ( $l_2 = 27,2$  км), в которой вновь проводимость  $b_{n,1}$  должна принять нулевое значение. При удалении от специфической точки в сторону правого конца тяговой сети

компенсирующий элемент на левом конце линии вновь должен иметь емкостной характер.

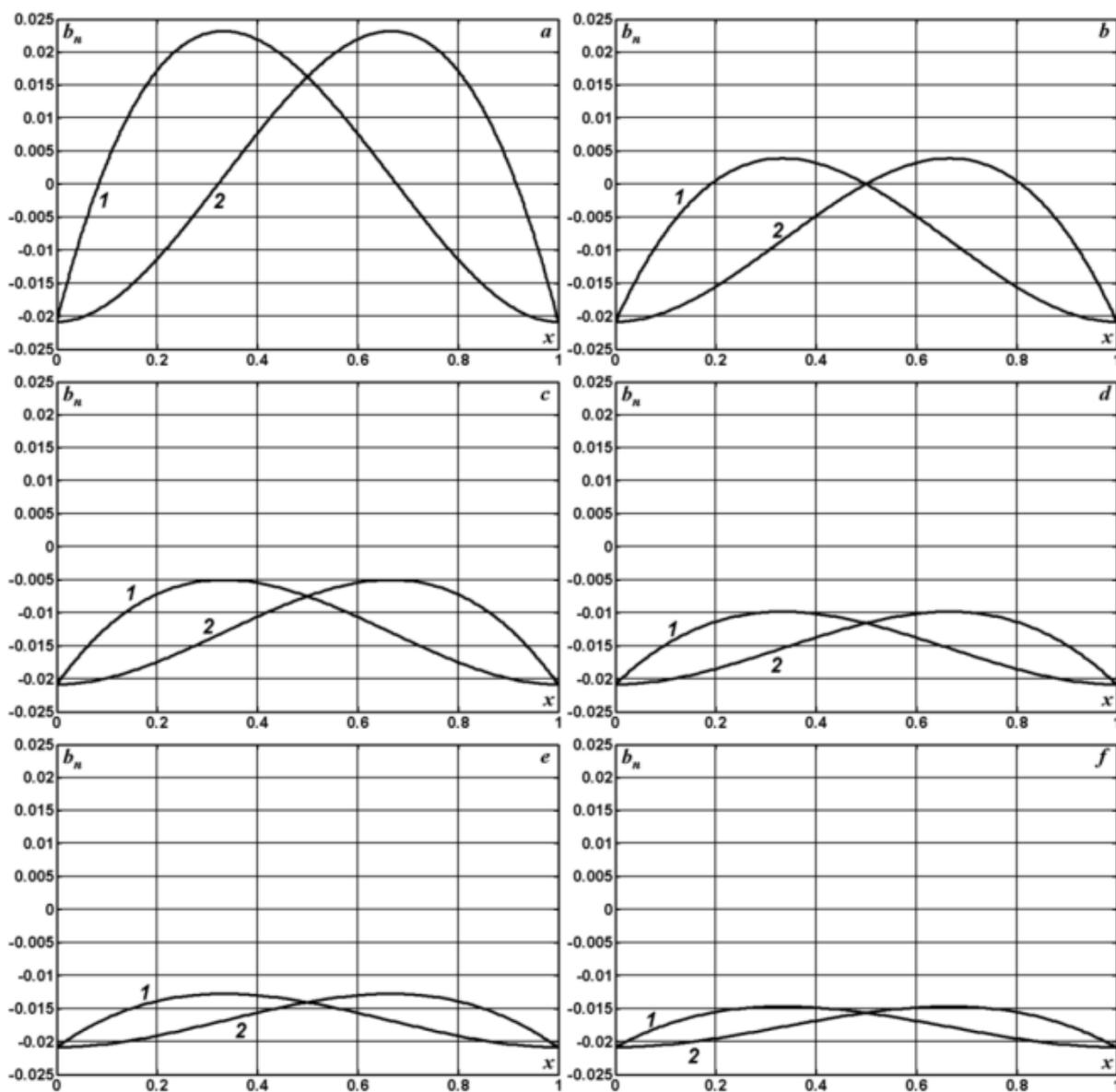


Рис. 1.7. Зависимость реактивной проводимости  $b_{n,1}$  (кривая 1) и  $b_{n,3}$  (кривая 2) от месторасположения активной нагрузки

Анализ показывает, что компенсация реактивной мощности на правом конце тяговой сети должна проводиться по аналогичному сценарию, что и на левом конце. При этом условии изменение характера реактивности компенсирующего устройства от емкостного к индуктивному и обратно - от индуктивного к емкостному происходит при подключении нагрузки  $R_S$  в

конкретных точках линии. При подключении  $R_S$  к точкам линии с координатой  $x = 0,32$  ( $l_2 = 12,8$  км) и с координатой  $x = 0,92$  ( $l_2 = 36,8$  км) реактивная проводимость компенсирующего устройства на шинах тяговой подстанции на правом конце питающей линии равна нулю ( $b_{n,3} = 0$ ).

При уменьшении потребления активной мощности нагрузкой, например, когда активное сопротивление нагрузки  $R_S$  увеличивается до 200 Ом (рис. 1.7,b), наблюдаем только количественные изменения требуемой для компенсации мощности тяговой сети, причем качественно характер мощности компенсации остается таким же, как и при значении нагрузки  $R_S = 150$  Ом. При дальнейшем увеличении активного сопротивления нагрузки (рис. 1.7,c – 3,f), т.е.  $R_S = 250$  Ом (c); 300 Ом (d); 350 Ом (e); 400 Ом (f), чтобы обеспечить условия компенсации реактивной мощности тяговой сети под нагрузкой, компенсирующие устройства должны генерировать только емкостную реактивную мощность при любом местоположении нагрузки на перегоне.

Даже такой простейший параметрический анализ процесса компенсации реактивной мощности в тяговой сети при постоянной активной нагрузке указывает на наличие ряда особенностей режима компенсации. При чисто активном характере и постоянном значении нагрузки тяговой сети анализ показывает, что компенсатор реактивной мощности на шинах низкого напряжения тяговой подстанции должен генерировать реактивную мощность как емкостного, так и индуктивного характера в зависимости от координаты подключения нагрузки к тяговой сети. При уменьшении потребления нагрузкой активной мощности возможны режимы только емкостной компенсации реактивной мощности тяговой сети. При двустороннем питании нагрузки имеем зеркальную симметрию изменения мощностей компенсирующих устройств на левом и правом концах тяговой сети в зависимости от положения нагрузки между источниками питания. При уменьшении значения потребляемой мощности нагрузкой диапазон требуемого регулирования компенсирующей мощности уменьшается.

### **1.2.7. Требования к хозяйству электроснабжения по вопросам обеспечения безопасности движения поездов**

Устройства электроснабжения должны обеспечивать надежное электроснабжение:

электроподвижного состава для движения поездов с установленными весовыми нормами, скоростями и интервалами между ними при требуемых размерах движения;

устройств СЦБ, связи и вычислительной техники как потребителей электрической энергии I категории. С разрешения АО «Ўзбекистон темир йўллари» до завершения переустройства допускается электроснабжение этих устройств по II категории;

всех остальных потребителей железнодорожного транспорта в соответствии с установленной АО «Ўзбекистон темир йўллари» категорией.

При наличии аккумуляторного резерва источника электроснабжения автоматической и полуавтоматической блокировки он должен быть в постоянной готовности и обеспечивать бесперебойную работу устройств СЦБ и переездной сигнализации в течении не менее 8 ч при условии, что питание не отключалось в предыдущие 36 ч.

Время перехода с основной системы электроснабжения автоматической и полуавтоматической блокировки на резервную или наоборот не должно превышать 1,3с.

Для обеспечения надежного электроснабжения должны проводиться периодический контроль состояния сооружений и устройств электроснабжения, измерение их параметров вагонами-лабораториями, приборами диагностики и осуществляться плановые ремонтные работы.

Уровень напряжения на токоприемнике электроподвижного состава должен быть не менее 21 кВ при переменном токе, 2,7 кВ при постоянном токе и не более 29 кВ при переменном токе и 4 кВ при постоянном токе.

На отдельных участках с разрешения АО «Ўзбекистон темир йўллари» допускаем уровень, напряжение не менее 19 кВ при переменном токе и 2,4 кВ при постоянном токе.

Номинальное напряжение переменного тока на устройствах СЦБ должно быть 220 или 380 В.

Отклонения от указанных величин номинального напряжения допускаются в сторону уменьшения не более 10%, а в сторону увеличения - не более 5%.

Устройства электроснабжения должны защищаться от токов короткого замыкания, перенапряжений и перегрузок сверх установленных норм!

Тяговые подстанции линий, электрифицированных на постоянном токе, а также электроподвижной состав должны иметь защиту от проникновения в контактную сеть токов, нарушающих нормальное действие устройств СЦБ и связи.

Высота подвески контактного провода над уровнем верха головок рельса должна быть на перегонах и станциях не ниже 5750 мм, а на переездах не ниже 6000 мм.

В исключительных случаях на существующих линиях это расстояние в пределах искусственных сооружений, расположенных на путях станций, на которых не предусматривается стоянка подвижного состава, а также на перегонах с разрешения АО «Ўзбекистон темир йўллари» может быть уменьшено до 5675 мм при электрификации линии на переменном токе и до 5550 мм - на постоянном токе.

Высота подвески контактного провода не должна превышать 6800 мм.

В пределах искусственных сооружений расстояние от токонесущих элементов токоприемника и частей контактной сети, находящихся под напряжением, до заземленных частей сооружений и подвижного состава должно быть не менее 200 мм на линиях, электрифицированных на постоянном токе, и не менее 350 мм – на переменном токе.

В особых случаях на существующих искусственных сооружениях может допускаться уменьшение указанных расстояний.

Расстояние от оси крайнего пути до внутреннего края опор контактной сети на перегонах и станциях должно быть не менее 3100 мм.

Опоры в выемках должны устанавливаться вне пределов кюветов.

В особо сильно снегозаносимых выемках (кроме скальных) и на выходах из них (на длине 100 м) расстояние от оси крайнего пути до внутреннего края опор контактной сети должно быть не менее 5700 мм.

Перечень таких мест определяется председателем компании.

На существующих линиях до их реконструкции, а также в особо трудных условиях на вновь электрифицируемых линиях расстояние от оси пути до внутреннего края опор допускается не менее: 2450 мм - на станциях и 2750 мм - на перегонах.

Все указанные размеры установлены для прямых участков пути.

На кривых участках эти расстояния должны увеличиваться в соответствии с габаритным уширением, установленным для опор контактной сети.

Взаимное расположение опор контактной сети, воздушных линий и светофоров, а также сигнальных знаков должно обеспечивать хорошую видимость сигналов и знаков.

Контактная сеть, линии автоблокировки и продольного электроснабжения напряжением свыше 1000 В должны разделяться на отдельные участки (секций) при помощи воздушных промежутков (изолирующих сопряжений), нейтральных вставок, секционных и врезных изоляторов, разъединителей.

Опоры контактной сети или щиты, установленные на границах воздушных промежутков должны иметь отличительную окраску. Между этими опорами или щитами запрещается остановка электроподвижного состава с поднятым токоприемником.

Схема питания и секционирования контактной сети, линий автоблокировки и продольного электроснабжения должна быть утверждена председателем компании. Выкопировки из схемы включаются в технико-распорядительный акт станций.

Переключение разъединителей контактной сети электродепо и экипировочных устройств, а также путей, где осматривается крышевое оборудование электроподвижного состава, производится работниками локомотивной депо. Переключение остальных разъединителей производится только по приказу энергодиспетчера.

Приводы разъединителей с ручным управлением должны быть заперты на замки.

Порядок переключения разъединителей контактной сети, а также выключателей и разъединителей линии автоблокировки и продольного электроснабжения, хранения ключей от запертых приводов разъединителей, обеспечивающий бесперебойность электроснабжения и безопасность производства работ, устанавливается начальником отделения компании.

Переключение разъединителей и выключателей производится по приказу энергодиспетчера работниками других служб, прошедших обучение.

Расстояние от нижней точки проводов воздушных линий электропередачи напряжением свыше 1000 В до поверхности земли при максимальной стреле провеса должно быть не менее: На перегонах 6,0 м. В том числе в трудно - доступных местах 5,0 м на пересечениях с автомобильными дорогами, станциях и в населенных пунктах 7,0 м.

При пересечениях железнодорожных путей расстояние от нижней точки проводов воздушных линий электропередачи напряжением выше 1000 В до уровня верха головки рельса не электрифицированных путей должно быть не менее 7,5 м. На электрифицированных линиях это расстояние до проводов контактной сети должно устанавливаться в зависимости от уровня напряжения пересекаемых линий в соответствии с Правилами устройства электроустановок и по техническим условиям железной дороги.



## **II. Экономическая часть**

### **Компенсация реактивной мощности**

#### **Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях**

Задачи компенсации реактивной мощности в распределительных сетях распространяются на всех потребителей электроэнергии и являются обязательными как для энергоснабжаемых организаций, так и для организаций, проектирующих электроустановки, независимо от их ведомственной принадлежности.

Выбор типа, мощности, места установки и режима работы компенсирующих устройств должен обеспечивать наибольшую экономичность при соблюдении всех технических ограничений.

При проектировании компенсирующие устройства выбираются одновременно со всеми элементами питающих и распределительных сетей, причем последние выбираются на сниженные токи с учетом компенсации реактивной мощности.

Выполнение технических требований должно обеспечивать:

- а) допустимый режим напряжения в питающей и распределительных сетях;
- б) допустимые токовые нагрузки в элементах сетей;
- в) режим работы источников реактивной мощности в допустимых пределах;
- г) необходимый резерв реактивной мощности в узлах сети;
- д) статическую и динамическую устойчивость работы сетей приемников электроэнергии.

Источники реактивной мощности могут быть трех типов:

1. Воздушные и кабельные линии электросетей.
2. Генераторы электростанций и синхронные двигатели.

3. Дополнительно устанавливаемые компенсирующие устройства – синхронные компенсаторы, батареи конденсаторов поперечного включения, вентильные установки со специальным регулированием и др.

При проектировании электроустановок выбираются варианты с наименьшим потреблением реактивной мощности. Для этого:

а) не должен допускаться выбор электродвигателей и трансформаторов с необоснованно заниженной нагрузкой;

б) для нерегулируемых электроприводов с постоянным режимом работы должны выбираться синхронные двигатели, если это возможно по техническим и экономическим условиям;

в) должны предусматриваться меры по ограничению холостого хода асинхронных двигателей, если это возможно по условиям технологического процесса;

г) должны предусматриваться другие технические средства, обеспечивающие повышение технико-экономических показателей системы электроснабжения путем воздействия на потребление и генерацию реактивной мощности.

При выборе компенсирующих устройств необходимо:

1. Учитывать реактивную мощность, генерируемую воздушными линиями, токопроводами, и кабельными линиями с номинальными напряжениями выше 20 кВ, а для кабельных сетей значительной протяженности.

2. Определить целесообразную степень использования реактивной мощности генераторов местных электростанций и синхронных двигателей для сетей.

3. Проверять возможность уменьшения пропускной способности элементов питающей и распределителей при увеличении степени компенсации.

4. Выбирать способы управления компенсирующими устройствами – ручное, дистанционное или автоматическое: параметры регулирования – направление реактивной мощности, время и т. д.

5. По возможности учесть дополнительный экономический эффект при использовании средств компенсации для повышения качества электроэнергии.

При эксплуатации электроустановок должны осуществляться следующие мероприятия, снижающие потребление реактивной мощности:

1. Упорядочение технологического процесса, ведущие к улучшению энергетического режима оборудования и к снижению расчетного максимума реактивной мощности;

2. Ограничение холостой работы асинхронных двигателей, сварочных трансформаторов и других приемников электроэнергии путем внедрения ограничителей;

3. Замена или отключение на период малых нагрузок трансформаторов загружаемых менее чем на 30% их номинальной мощности, если это допускается по условиям режима работы сети и приемников электроэнергии;

4. Замена загружаемых менее чем на 60% асинхронных двигателей на двигатели меньшей мощности при условии технико-экономического обоснования и при наличии практической возможности такой замены.

5. Замена асинхронных двигателей синхронными, допустимая по условиям работы электрического привода, или асинхронного. Двигатели подлежат демонтажу вследствие износа.

### **Способы уменьшения потребления реактивной мощности**

Уменьшения потребления реактивной мощности можно достигнуть лишь при правильном сочетании различных способов, которые должны быть технически и экономически обоснованы.

Экономические мероприятия по уменьшению потребления реактивной мощности можно разделить на следующие группы:

1. Снижение потребления –  $Q$  приемника электроэнергии без применения компенсирующих устройств;

2. Применение компенсирующих устройств.

Экономические мероприятия по снижению потребления реактивной мощности должны рассматриваться в первую очередь, поскольку для их осуществления, как правило, не требуется капитальных затрат.

К ним относятся следующие:

1. Упорядочение технологического процесса, ведущее к улучшению энергорежима оборудования;

2. Замена малозагруженных асинхронных двигателей двигателями меньшей мощности;

3. Понижение напряжения двигателей, систематически работающих с малой нагрузкой;

4. Ограничение работы двигателей на холостом ходу;

5. Применение синхронных двигателей вместо асинхронных той же мощности в случаях, когда это возможно по условиям технологического процесса;

6. Повышение качества ремонта двигателей;

7. Замена и перестановка малозагруженных трансформаторов

### **Расчет компенсирующего устройства**

При расчете, выборе и управлении необходимой мощности компенсирующих устройств следует исходить из нормативных значений средневзвешенного коэффициента мощности. Необходимая мощность компенсирующего устройства определяется на основе следующего соотношения:

$$Q_{\text{кв}} = K_{\text{м}} P_{\text{ст}} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_{\text{н}}),$$

где:  $K_{\text{м}}$  - коэффициент максимальной нагрузки, определяемый из справочника,

$P_{\text{ст}}$  – среднегодовая активная мощность, потребляемая электроустановкой,

кВт (величина активной мощности  $P$  определяется расчетным путем),

$tg\varphi_1$  - тангенс угла сдвига фаз, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности за год, и определяемый по следующей формуле:

$$tg\varphi_1 = (W_{p.g.} - W'_{p.g.})/W_{\Gamma}$$

где:  $W_{p.g.}$  - годовое потребление реактивной энергии без учета работы синхронных двигателей,

$W'_{p.g.}$  - годовая выработка реактивной энергии синхронными двигателями при их наивыгоднейшем  $tg\varphi$  ( $\cos\varphi$ ),

$W_{\Gamma}$  - годовое потребление электроэнергии (величины в использованной формуле определяются расчетным путем),

$tg\varphi_n$  - нормативное значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности после компенсации.

Величину необходимой мощности конденсаторной батареи можно определить на основе экономических показателей т.е. минимальности потерь электроэнергии в конденсаторах, которые составляют 0,003 - 0,0045 кВт/квар

$$Q_k = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2),$$

Определяем номинальную мощность  $Q_k$  конденсаторной батареи, необходимой для повышения коэффициента мощности до значения 0,95 т.е. минимум потерь электроэнергии во время транспортировки. Среднесуточный расход электроэнергии потребителя составляет:

$$A_a = 92000 \text{ кВт*ч}; \quad A_p = 7400 \text{ кВАр*ч}.$$

Среднесуточная нагрузка

$$P_{cp} = A_a / 24 = 92000 / 24 = 3840 \text{ кВт}.$$

Мощность конденсаторных батарей

$$Q_k = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) = 3840(0,8 - 0,32) = 1850 \text{ кВАр},$$

где  $tg\varphi_1 = A_p / A_a = 7400 / 9200 = 0,8$ ,  $tg\varphi_2 = (1 - 0,95^2) / 0,95 = 0,32$ .

Выбираем трехфазные конденсаторы типа КМ1-27,5-100 каждый номинальной мощностью 100 кВАр. Экономическое число конденсаторов в батарее составляет:

$$n = Q/13 = 1850/100 = 18.$$

Мощность различных конденсаторных установок для среднесуточной нагрузки можно найти в электротехнических справочниках и каталогах производителей.

В системах электроснабжения электрифицированной дороги при питании потребителей от нескольких подстанции нормативные коэффициенты реактивной мощности устанавливаются по каждой тяговой подстанции.

Для шин 27,5 кВ тяговой подстанций с высшим напряжением 110 - 500 кВ и шин высокого напряжения нормативное экономическое значение средневзвешенного коэффициента реактивной мощности установлено  $tg\varphi_n = 0,6$  приведенные в табл.1. нормативные экономическое значения коэффициента мощности  $tg\varphi_n$  относятся к точкам раздела электросети тягового потребителя на шинах 27,5 кВ тяговой подстанции 35-220/27,5/6-10 кВ для часов максимума нагрузки энергосистемы:

Таблица .1.

Значение $tg\varphi_n$ на шине 27.5 кВ при высшем напряжении тяговой подстанции, кВ		
35	110	220
0,32	0,38	0,50

Для потребителей, питающихся от сети 0,38 кВ, нормативное значение коэффициента мощности установлено  $tg\varphi_n = 0,25$ .

Управляемые компенсирующие устройства должны размещаться в местах непосредственной близости от потребляющих реактивную мощность системы энергоснабжения. Компенсирующие устройства в виде батареи конденсаторов напряжением 27.5 кВ должны устанавливаться у групповых распределительных щитков либо присоединяться в определенных точках к магистральным шинопроводам. Централизованная установка на подстанциях с присоединенным к распределительному щиту напряжением до 1000 В или к головному участку шинной магистрали может применяться лишь при

недопустимости установки конденсаторов в цехе по условиям пожарной безопасности. При этом должна быть рассчитана оптимальная мощность батареи конденсаторов.

Значение экономической мощности батареи конденсаторов тяговой подстанции 27.5 кВ составляет 400 кВАр при присоединении конденсаторов с помощью отдельного выключателя и менее 100 кВАр при присоединении конденсаторов через общий выключатель с силовым трансформатором, асинхронным двигателем и другими электроустановками. Мощность конденсаторных батарей, устанавливаемых у групповых щитков тяговой подстанции, рекомендуется принимать не менее 10 кВАр. При мощности компенсирующего устройства больше 10000 кВАр с согласия энергоснабжающей организации допускается установка у потребителя.

### **III. Охрана труда**

#### **Психологические аспекты безопасности жизнедеятельности**

##### **Психология безопасности жизнедеятельности**

Психология безопасности - наука, изучающая психологические причины несчастных случаев, возникающих в процессе труда и пути использования психологии для повышения его безопасности.

Объектом исследования психологии безопасности являются различные виды предметной деятельности человека, связанные с опасностью.

Предметом исследований данной области являются:

\*психические процессы, порождаемые деятельностью и влияющие на ее безопасность;

\*психическое состояние человека, сказывающееся на безопасности деятельности.

Психология безопасности является важным компонентом системы мероприятий по обеспечению безопасной деятельности человека. Проблемы аварийности и травматизма на современных производствах невозможно решать только инженерными методами.

Основным общепризнанным методом обеспечения безопасной деятельности является использование системы техники безопасности. Она призвана решать две основные задачи: способствовать созданию машин и инструментов, при работе с которыми исключена опасность для человека, и разрабатывать специальные средства защиты, охраняющие человека от опасности в процессе труда. Попутно уделяется внимание обучению людей безопасным приемам работы и использованию средств защиты, а также общим вопросам организации условий для безопасной работы.

Однако, по опыту, главным виновником несчастных случаев является, как правило, не техника, не организация труда, а сам работник, который по тем или иным причинам не соблюдал правила техники безопасности: нарушал нормальное течение трудового процесса, не использовал предусмотренные средства защиты и т.д. По данным различных источников

от 60 до 90% несчастных случаев на производстве происходит по вине пострадавшего.

Возникает вопрос: почему люди, которым от рождения присущ инстинкт самозащиты и самосохранения, столь часто становятся виновниками своих травм? Ведь психически нормальный человек никогда без повода не будет стремиться к травме. Такие случаи происходят либо по независящим от человека причинам, либо когда его побуждают к нарушению правил определенные обстоятельства. Очевидно, чтобы предупредить появление подобных происшествий, нужно, прежде всего, выявить эти побудители и, по возможности, уменьшить их воздействие.

Изучение закономерностей развития человечества показывает, что обстоятельства, способствующие росту числа несчастных случаев возникают по вполне объективным причинам.

Первая причина - с развитием техники опасность растет быстрее, чем человеческое противодействие ей. Это видно из анализа эволюции человека. Внешний вид и физические возможности человека за последние тысячелетие практически не изменились, так как развитие шло главным образом в сфере психики, благодаря которой он создавал и совершенствовал орудия труда.

Более того, некоторые его физические качества, вероятно, даже ухудшились: понизилась острота зрения и слуха, не стало былой силы, выносливости. Но, несмотря на это, человек за прошедший период прошел путь от каменного топора до полета в космос.

С развитием орудий труда расширился диапазон воздействия человека на окружающий мир. Очевидно, расширился и круг ответных реакций внешнего мира на человека в процессе труда. Все это привело к тому, что по своим физическим возможностям современный человек существенно отстает от уровня возросшей опасности. И, несмотря на создание новой, более безопасной техники и современных средств защиты, опасность растет быстрее, чем совершенствуются ответные реакции человека.

Вторая причина - рост цены ошибки. Когда первобытный человек допускал ошибку в процессе трудовой деятельности, расплата за нее была не столь велика; он мог поцарапать себе тело колючим растением, уронить на ногу камень, упасть с дерева и т.д. Ошибки же современного человека обходятся ему гораздо дороже: теперь люди гибнут от высокого напряжения, падают с высоты многоэтажных домов, попадают в аварии на транспорте и пр.

Третья причина, способствующая росту травматизма, - адаптация человека к опасности. В наше время техника заняла прочное место в жизни людей: человек тесно связан с ней и дома, и в пути, и на работе. Используя возможности, предоставляемые техникой, и привыкая к ним, человек зачастую забывает, что она является еще и источником повышенной опасности. Постоянное взаимодействие с опасными машинами и механизмами ведет к тому, что человек перестает бояться их и адаптируется к опасности. Нередко из-за текущих мелких выгод он преднамеренно идет на нарушение правил безопасности. А так как не каждое нарушение влечет за собой несчастный случай, люди, однажды безнаказанно нарушив правила и получив какую-то выгоду, повторяют подобные нарушения. Постепенно происходит адаптация не только к опасности, но и к нарушениям правил. Очевидно, все эти рассмотренные выше закономерности создают некую общую тенденцию, объективно способствующую повышению опасности труда и росту травматизма.

Помимо общих причин существует много разнообразных чисто индивидуальных факторов, главным образом психологического порядка, способствующих преднамеренным нарушениям правил безопасности труда и росту числа несчастных случаев. Это показная смелость, недисциплинированность, склонность к риску и т.д.

Все эти примеры указывают на то, что человеческий фактор в вопросах безопасности труда играет значительно большую роль, чем это принято считать. Более того, с совершенствованием техники, повышением ее

надежности и безопасности недостатки человеческого фактора становятся более заметными, поскольку на общем фоне поломок и происшествий ошибки человека приобретают еще больший удельный вес.

### **Факторы безопасности труда**

Из процесса трудовой деятельности можно выделить с одной стороны работающего человека, с другой - производство, куда включается предмет и орудия труда, а также окружающая среда.

Для защиты человека от производственных опасностей предусмотрена система безопасности труда. Эта система включает целый комплекс средств воздействия на производство и человека, направленных на предупреждение несчастных случаев.

Рассмотрим состав и взаимосвязь основных факторов безопасности труда.

### **Психофизиологические факторы безопасности труда**

Можно выделить четыре основных фактора, определяющих индивидуальные реакции человека на производственные опасности.

Во-первых, человеку присущ целый комплекс безусловных рефлексов, которыми он неосознанно отвечает на различные опасности, угрожающие его организму. Так, при возникновении опасности повреждения закрывается глаз, отдергивается рука; при нарушении нормальных условий окружающей среды в организме возникают соответствующие реакции, направленные на компенсацию вредных воздействий и приспособление к новым условиям среды и т.д. Эти и многие другие защитные реакции организма способствуют повышению защищенности человека от различных опасностей, в том числе и производственных.

Вторым фактором, определяющим реакцию человека на опасность, являются психофизиологические качества и состояния человека. Эти качества проявляются в способности человека к обнаружению сигналов опасности, в его скрытых возможностях по реагированию на такие сигналы, в его эмоциональных реакциях на опасность и т.д. Как названные, так и

другие показатели, обуславливающие возможности человека обнаруживать опасную ситуацию и адекватно реагировать на нее, зависят от его индивидуальных особенностей, и в частности от его нервной системы. На поведении человека в опасной ситуации, очевидно, сказывается также его психическое и физическое состояние. Так, состояние тревоги обычно способствует более быстрому обнаружению опасности, состояние же утомления, наоборот, снижает возможности человека по обнаружению опасности и противодействию ей.

Способность человека противодействовать опасности в труде существенно зависит и от третьего фактора - его профессиональных качеств и опыта. Здесь имеются в виду не столько навыки и умения по достижению трудовой цели, сколько навыки и умения решать такие задачи безопасно. Следует отметить, что умение безопасно работать зависит главным образом от знания рабочим своей профессии и правил безопасности труда, а также от жизненного опыта. Это дает ему возможность гибко использовать подобные факторы для успешного и безопасного решения различных трудовых задач. Этому в значительной мере способствуют и творческие возможности человека, позволяющие ему изыскивать новые пути и методы безопасного решения возникающих задач в самых разнообразных и неожиданных ситуациях.

Последний, четвертый фактор, обуславливающий возможности человека противостоять опасности, определяется степенью его мотивации к труду и его безопасности. У различных людей уровень мотивации к выполнению работы и обеспечению ее безопасности не одинаков и последний мотив имеет различный вес среди прочих мотивов, побуждающих человека к деятельности.

Итак, можно выделить четыре фактора, обуславливающих способность человека противодействовать опасности в труде.

1. Чисто биологический фактор, вытекающий из природных свойств человека и проявляющийся в бессознательной регуляции.

2.Фактор, определяющий особенности психического отражения и психических функций человека.

3.Фактор, вытекающий из опыта человека, его навыков, знаний умений.

4.Фактор, характеризующий направленность человека, т.е. его мотивы, интересы, установки и т.п.

Рассмотренные факторы образуют гибкую систему с взаимодополнениями и взаимными компенсациями, способствующую надежности существования и деятельности человека. При этом человек как личность не является простой суммой этих факторов, а выступает как сложная система, сложившаяся в результате их развития и взаимодействия.

Таким образом, человек является сложной самоорганизующейся системой, способной, в зависимости от сложившейся ситуации, гибко использовать свои возможности для достижения требуемого результата, подвергая себя при этом минимальному риску. Если у человека оказываются, например, невысокие биологические качества по противодействию опасности, он может компенсировать это за счет развития профессиональных умений и высокой мотивации к безопасному труду. И, наоборот, человек с высокими биологическими, психофизиологическими и профессиональными качествами по противодействию опасности из-за низкой мотивации к безопасному труду может оказаться плохо защищенным от опасности.

### **Производственные факторы**

Производство в данном случае рассматривается как общий источник опасности. На производстве чаще всего опасность представляют орудия труда (инструмент, приспособления, машины), порой сам предмет труда или окружающая среда. К среде относится окружающее рабочее производственное пространство со всем его содержимым, за исключением предметов и орудий труда, с которыми человек непосредственно взаимодействует.

Среди различных работ, выполняемых на производстве, особо выделяются работы (и целые профессии) повышенной опасности. К ним

относятся все работы, связанные с подъемно-транспортными устройствами, баллонами высокого давления, электросетью высокого напряжения и пр. Следует помнить, что при нарушении нормальных условий и организации труда, обычная работа может превратиться в опасную.

Разделяя работы на категории высокой и невысокой опасности, следует отметить, что несчастные случаи, как показывает опыт, чаще всего возникают при работах с невысокой опасностью. Это объясняется рядом причин. Во-первых, к работам с повышенной опасностью допускаются лишь лица, прошедшие специальную подготовку по технике безопасности. Во-вторых, на таких работах используются более совершенные средства защиты. В-третьих, опасных работ значительно меньше, чем обычных. В-четвертых, высокая цена ошибки при работе с повышенной опасностью обуславливает более серьезное отношение рабочего к ее выполнению.

### **Система безопасности труда**

Исходя из своего назначения, система безопасности труда призвана решать две главные задачи: снижать уровень производственной опасности и способствовать повышению защищенности человека в труде. Это достигается решением ряда главных задач:

- \*обеспечение общей организации безопасности труда на производстве;
- \*разработка и использование индивидуальных и стационарных средств защиты;
- \*организация обучения безопасной работе, выполнению правил по безопасности, контроль готовности техники и людей к безопасной работе;
- \*воспитание и пропаганда безопасной работы.

Под общей организацией безопасности труда на производстве подразумевается широкий круг мероприятий, начиная от общего усовершенствования техники и технологического процесса и вплоть до организации безопасных условий труда на отдельных рабочих местах. Предполагается, что безопасность труда должна закладываться уже в процессе проектирования техники и условий труда.

Для ограждения человека от опасных производственных факторов или понижения уровня их воздействия, в оборудование встраиваются специальные устройства, выполняющие функции средств защиты. Ко всем средствам защиты предъявляется одно серьезное требование: выполняя свои защитные функции, они не должны создавать рабочему помехи при выполнении основной трудовой задачи. Поэтому операции по использованию средств защиты должны органично вписываться в трудовой процесс, а не быть «добавками» к рабочим операциям.

Средства индивидуальной защиты, в отличие от стационарных, придаются не машинам, а непосредственно работающему человеку. К индивидуальным средствам относятся: защитные каски, защитные очки, противошумы, защитная одежда и прочее снаряжение. Причем, если стационарные средства - это машина, то индивидуальные средства полностью ложатся (в самом прямом смысле) на человека, в той или иной мере ограничивая, а порой стесняя его действия. Поэтому разработка средств индивидуальной защиты, которые охраняли бы рабочего и не только не мешали, но и содействовали основному трудовому процессу, является наиболее сложной психологической и технологической проблемой безопасности труда. Примером средства индивидуальной защиты, органически входящего в трудовой процесс, могут служить защитные очки с корректирующими стеклами. Подобные очки, улучшая зрение, способствуют большей эффективности работы и одновременно защищают глаза от воздействия опасных производственных факторов.

Третьей важной задачей системы безопасности труда является разработка и внедрение правил безопасности труда, обучение им рабочих и контроль над знанием и выполнением этих правил. В процессе трудовой деятельности рабочему приходится руководствоваться правилами, - соответствующими ограничениями, налагаемыми на него производственным процессом. Эти ограничения рабочий обычно принимает как объективную необходимость, без соблюдения которой не может быть достигнута цель его

трудовой деятельности. Правила по технике безопасности налагают на него свои ограничения. Там, где эти ограничения оказываются незначительными или совпадают с ограничениями производственного процесса, они не создают для рабочего каких-либо дополнительных трудностей. Однако чаще всего с правилами техники безопасности связаны свои дополнительные ограничения, которые в той или иной мере усложняют его работу. Поэтому очень важно, чтобы обучение рабочих осуществлялось с учетом как правил производственного процесса, так и безопасности труда. В результате, у рабочего будут одновременно вырабатываться навыки выполнения трудовой операции и учета правил техники безопасности.

Последнее, но не менее важное назначение системы безопасности - пропаганда безопасного труда и воспитание в этом направлена человека. Здесь имеется в виду использование наглядной агитации, методов убеждения и стимуляции. Все эти мероприятия направлены на усиление мотивации рабочего к безопасному труду и на повышение его профессионального уровня.

Таким образом, система безопасности труда, воздействуя на человека, способствует, с одной стороны, повышению его профессиональных умений производительно и безопасно работать, а также мотивации к безопасному труду и, с другой - обеспечивает человека правилами, индивидуальными средствами защиты и таким образом дополнительно повышает его результирующую защищенность.

Воздействие системы безопасности труда на производство проявляется как в уменьшении производственных опасностей, так и в снижении их воздействия благодаря применению средств защиты. Исходя из существующих опасных факторов и указанных мер противодействия им, формируется результирующая производственная опасность.

На базе взаимодействия всех трех рассмотренных подсистем (человек, производство, система безопасности труда) складывается фактический уровень безопасности труда.

## **Психологические причины возникновения опасных ситуаций**

В каждом действии человека психология выделяет три составные части: мотивационную, ориентировочную и исполнительную. Нарушение в любой из этих частей при выполнении какого-либо действия влечет за собой нарушение либо невыполнение действия в целом. Почему, например, человек нарушает правила или инструкции? Потому что, или он не хочет их выполнять, или не знает как это сделать. А может быть, он просто не в состоянии их выполнить.

Таким образом, можно выделить три группы психологических причин возникновения опасных ситуаций и несчастных случаев:

Нарушение мотивационной части действий проявляется в нежелании выполнять определенные действия (операции). Нарушение может быть относительно постоянным, обусловленным индивидуальными качествами работника (человек недооценивает опасность, склонен к риску, отрицательно относится к любым ограничениям, нет стимулов к безопасному труду и т.п.). Может быть и временным, когда человек находится в состоянии стресса, депрессии или алкогольного опьянения.

Нарушение ориентировочной части действий проявляется в незнании правил эксплуатации технических систем и норм безопасности.

Нарушение исполнительной части проявляется в невыполнении правил (инструкций, норм, предписаний и т.д.) вследствие несоответствия индивидуальных возможностей работника требованиям выполняемой работы. Такое несоответствие, как и в случае с нарушением мотивационной части действий, может быть постоянным (плохая координация, недостаточная концентрация внимания, неудобное расположение органов управления и т.д.) и временным (переутомление, понижение трудоспособности, ухудшение состояния здоровья, стресс, алкогольное опьянение).

Подобная классификация позволяет в соответствии с каждой группой причин возникновения опасных ситуаций и несчастных случаев назначить

соответствующие профилактические мероприятия. По мотивационной части - это пропаганда безопасного труда; по ориентировочной - обучение, отработка навыков; по исполнительной - профотбор, медицинское обследование.

### **Влияние индивидуальных качеств человека**

Все человеческое поведение строится по принципу «наименьшего возможного». Если цели можно достичь разными путями, то человек выбирает тот путь, который, по его представлению и опыту, требует наименьшей затраты сил, и на избранном пути он расходует не больше усилий, чем необходимо. Именно по этой причине рабочие часто не используют средства защиты, пропускают операции, необходимые для обеспечения безопасности, но не влияющие на получение конечного продукта, выбирают более легкие, но и более опасные способы выполнения работы. Появлению стремления экономить силы за счет выбора опасного способа действия, способствуют недостатки в организации труда, техники и технологии.

Большое значение в формировании модели поведения имеет социальная и физическая безнаказанность работника, совершающего опасные действия. Физическая безнаказанность проявляется в том, что неправильное действие в определенных случаях не сопровождается травмой. Рабочий считает, что вероятность получения травмы настолько мала, что ею можно пренебречь. Социальная безнаказанность обуславливается тем, что зачастую коллеги и руководство снисходительно относятся к нарушению, считая, что полученная продукция компенсирует такие мелочи, как нарушение инструкции по технике безопасности. Такая безнаказанность формирует адаптацию к опасности и ложное представление работника о личной неуязвимости.

При обстоятельствах, одинаковых для всех работающих, определяющее значение в формировании линии поведения отдельного человека имеют его индивидуальные качества, отражающие совокупность

социально-психологических и физиологических свойств. Они включают тип нервной системы, темперамент, характер, особенности мышления, образование, опыт, воспитание, здоровье и т.д. Весь этот широкий спектр свойств личности, социальных обстоятельств и производственных условий, формирует ряд психологических причин, по которым человек сознательно нарушает правила безопасной работы:

\*экономия сил - потребность, которая побуждает к действиям, направленным на сохранение энергетических ресурсов. Поведение человека строится по принципу «наименьшего действия»;

\*экономия времени - стремление увеличить производительность труда для выполнения плана или личной выгоды. Это может происходить за счет увеличения темпа работы или пропуска отдельных операций, не влияющих на конечный результат труда, но необходимых для обеспечения его безопасности;

\*адаптация к опасности или недооценка опасности и ее последствий - возникает вследствие физической и социальной безнаказанности за совершение неправильных действий;

\*самоутверждение в глазах коллег, желание нравиться окружающим, что проявляется в рискованных действиях, риск для таких людей дело не просто привычное - благородное;

\*стремление следовать групповым нормам трудового коллектива. Это происходит там, где нарушение правил безопасности или технологического процесса поощряется коллективом. Девиз трудовой деятельности - «план любой ценой». Выполнение правил безопасности в таких случаях может поставить человека в положение «белой вороны»;

\*самоутверждение в собственных глазах может быть причиной сознательного игнорирования безопасных методов труда. Часто это объясняется врожденной неуверенностью в себе или упреками каких-либо лиц, не связанных с конкретным производством;

\*переоценка собственных возможностей часто приводит к тому, что зная об опасности и ее последствиях, человек рискует, думая, что его расторопность и опыт помогут или даже гарантируют возможность быстро принять меры для предотвращения аварии или несчастного случая, выскочить из опасной зоны и т.д.;

\*склонность к риску как личностная характеристика. В психической структуре некоторых лиц имеется повышенная тенденция к рискованным действиям. Такие люди испытывают потребность «поставить все на карту»;

\*надситуативный риск, т.е. спонтанный, немотивированный, риск ради риска. Некоторые люди могут, успешно осуществляя какие либо действия, как бы «вдруг» ставить перед собой цель, появление которой не продиктовано ситуацией и прямо не вытекает из нее.

Причины нарушения правил безопасности по сути своей направлены на одну цель: искать ближайшие допустимые и наиболее легкие пути удовлетворения вызвавших их потребностей. Следовательно, для предупреждения нарушения правил безопасности необходимо применять меры, исключающие возможность создания условий для выполнения опасных действий, и лишаящие рабочего возможности делать выбор между опасным и безопасным способом деятельности.

### **Особенности групповой психологии**

Поведение больших масс людей, особенно в экстремальных условиях, имеет свои законы и отличается от поведения одного человека.

Известно, что в экстремальной ситуации своевременное и правильно выбранное решение зачастую предотвращает развитие аварии с катастрофическими последствиями. В условиях производства люди, выполняя общие задачи, действуют совместно, и решения в сложных ситуациях также принимаются совместно. В психологии это называется групповое принятие решений в условиях взаимного обмена информацией.

Процедура группового принятия решений предполагает обязательное согласование мнений членов группы. В процессе обсуждения могут

возникать некоторые деформации восприятия, снижающие качество принимаемых решений, могут наблюдаться и феномены сдвига к риску и групповой поляризации.

Сдвиг к риску - возрастание рискованности групповых или индивидуальных решений после проведения групповых дискуссий по сравнению с первоначальными решениями членов группы. Это происходит из-за того, что каждый член группы в процессе дискуссии пересматривает свое решение, чтобы приблизить его к ценностному стандарту группы. Суть таких изменений состоит в так называемом «заражении» - процессе передачи эмоционального состояния от одного индивида к другому на психофизическом уровне. Заражение происходит помимо смыслового воздействия, т.е. фактически помимо воли членов группы, и этот процесс может идти произвольно. При наличии обратной связи заражение способно нарастать, приобретая вид цепной реакции. В ряде случаев такая реакция способствует эффективности принятия решения и служит дополнительным сплачивающим фактором, пока не превысит некоторой оптимальной интенсивности. Вышедшее из-под контроля заражение приводит к распаду сложившихся связей и вырождению организованно взаимодействующей группы в толпу. Толпа представляет собой бесструктурное скопление людей, лишенных ясно осознанной общности целей, но связанных между собой сходством эмоционального состояния и общим объектом внимания.

Отсутствие ясных целей и структуры порождают наиболее важное свойство толпы - ее легкий переход от одного вида поведения к другому (любопытство, паника, агрессивные действия и т.д.). Такие переходы происходят спонтанно и в условиях чрезвычайных ситуаций весьма опасна толпа, зараженная массовой паникой и трудно поддающаяся управлению.

Массовая паника - один из видов поведения толпы. Психологически она характеризуется состоянием массового страха перед реальной или воображаемой опасностью, нарастающего в процессе взаимного заражения. Этот страх блокирует способность рациональной оценки обстановки,

мобилизацию волевых ресурсов и организацию совместного противодействия. Организованная группа людей тем легче превращается в паническую толпу, чем менее ясны или субъективно значимы общие цели, чем ниже сплоченность группы и авторитет ее лидеров.

Законы групповой психологии необходимо учитывать при разработке мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

### **Организация безопасной деятельности**

Создание психологического настроения на безопасность

Как известно, существует два главных направления в обеспечении безопасности труда:

\*снижение уровня производственных опасностей путем создания более безопасных орудий, предметов и условий труда или более эффективных средств защиты;

\*повышение уровня индивидуальной защищенности рабочих путем организации их более безопасного поведения.

Наиболее распространенным путем является первый, так как считается, что управлять поведением человека очень сложно, точно предсказать его поведение невозможно, да и сам человек не всегда способен полностью контролировать свои поступки. Тем не менее, второй путь заслуживает не меньшего внимания, чем первый.

Безопасная деятельность является, прежде всего, следствием правильного отношения рабочего к вопросам охраны труда, его настрою на работу без несчастных случаев. Научить человека правильному отношению к чему-либо нельзя, это отношение он должен перенять. Отношение к мерам безопасности рабочие перенимают у своих руководителей. Рабочий будет верить в безопасность своего труда только в той мере, в какой будет верить в это его непосредственный и вышестоящий руководитель. Поэтому все звенья управления производством должны постоянно проявлять «видимый» и «слышимый» рабочими интерес к обеспечению их безопасности труда.

Политика в области безопасности труда должна быть направлена на коллективный поиск всеми участниками производства на всех его ступенях путей предупреждения несчастных случаев. Каждый на своем месте обязан искать пути решения этой проблемы и вносить свои предложения, причем такие предложения должны всемерно поощряться. Любой несчастный случай, независимо от степени его тяжести, должен привлекать к себе внимание руководителей всех уровней. Все это должно создавать на производстве общественное мнение, что здесь каждый несет ответственность за безопасность. Только в таком случае у рабочего появится уверенность в том, что все вокруг него в порядке, появится настрой на безопасную работу.

Появление новой техники или новой технологии должно во всех случаях являться объектом особого внимания службы безопасности труда на предприятии. Здесь может выявиться непригодность ранее действовавших правил, могут выявиться новые производственные опасности, которые ранее нельзя было предвидеть. Как правило, несчастные случаи наиболее часто возникают в период освоения. Повышенное внимание руководства в это время не останется незамеченным рабочими и тоже будет содействовать лучшему их настрою на безопасную работу. Этому способствует и четкое распределение служебных обязанностей между рабочими, с указанием конкретных опасных факторов, от которых каждый из них обязан защищать себя, а в некоторых случаях и других рабочих.

Все перечисленные способы создания настроения рабочего на безопасный труд одновременно способствуют и повышению престижности такого труда. У рабочего должно возникать чувство гордости уже только потому, что он работает безопасно. Очень важно выработать отрицательное отношение рабочего коллектива к нарушителям правил безопасности.

Также как в некоторых странах стало неприличным переходить улицу при красном свете светофора, независимо от того, есть ли на дороге транспорт, для рабочего должно стать неприличным нарушение правил техники безопасности.

## **Обучение безопасной деятельности**

Выбор методов обучения осуществляется на основе анализа допущенных рабочими ошибок. Все ошибки можно разделить на две категории:

- \*ошибки психомоторные;
- \*ошибки принятия решения.

Ошибки психомоторной сферы возникают на уровне двигательных операций и проявляются в неловких двигательных актах. Несмотря на то, что рабочих специально обучают выполнению ручных операций, вырабатывают у них необходимые для этого навыки и умения, причинами несчастных случаев нередко являются именно ошибки такого типа. И как показывает опыт, возникают они чаще всего, не столько из-за недостаточного развития навыков или их нарушения (в связи с утомлением, болезнью и пр.), сколько в результате неправильной оценки ситуации. Неучет отдельных внешних условий ведет к неверной оценке обстановки, самой задачи, а поэтому и к выбору неправильного способа действия по ее разрешению. Все эти взаимосвязанные факторы и порождают ошибки психомоторной сферы. Поэтому для безопасного выполнения моторных действий следует, прежде всего, выработать умение полно и правильно оценивать сложившуюся ситуацию. При наличии необходимых двигательных навыков такие умения будут способствовать исключению психомоторных ошибок и несчастных случаев этой категории.

Значительно сложнее обучать рабочих умению принимать правильные решения и избегать при этом опасных ошибок. Ошибки принятия решения можно разделить на два типа:

- \*ошибки, допускаемые в задачах с ограниченным выбором (когда требуется принимать решение о выборе одного из ряда возможных действий);
- \*ошибки в задачах с открытым концом (где тоже есть ряд путей, но при выборе любого из них возникают новые задачи).

Предположим, рабочему необходимо произвести замену перегоревшей лампы в светильнике. Для этого можно забраться на стол, а можно это сделать, используя лестницу. Использование в таком случае лестницы будет решением с ограниченным выбором. Но может оказаться, что имеющаяся лестница для данной работы коротка, и нужно найти способ ее удлинить или установить на промежуточную поверхность и т.д. Получается задача с открытым концом.

Принятию целесообразного и безопасного решения в задачах с ограниченным выбором обучить не столь уж трудно. Труднее научить принятию решения в задачах с открытым концом. Здесь следует уделять большое внимание развитию аналитических способностей ученика, выработке у него умения критически оценивать различные трудовые задачи. Он всегда должен быть готов к действиям в новых, неожиданно возникающих ситуациях. Все этапы обучения должны иллюстрироваться конкретными практическими примерами.

Таким образом, способность критической оценки оказывается важной для избежания всех названных категорий ошибок и именно ее следует развивать для обеспечения безопасной работы. Кроме того, обучение безопасному труду должно быть органически связано с обучением профессии. Выработку трудовых навыков следует ориентировать не только на экономное получение высоких результатов, но и на достижение их непременно безопасным путем.

### **Использование правил по технике безопасности**

Правила безопасности труда можно определить как узаконенные нормы, указывающие, как можно, как должно и как нельзя действовать в процессе труда и на территории предприятия, чтобы избежать несчастных случаев и аварий. Положительный эффект правил достигается как за счет предупреждения рабочих о наличии тех или иных опасных производственных факторов, так и путем запрещения тех действий, операций, способов поведения, которые могут повлечь за собой указанные

происшествия. Таким образом, правила и вытекающие из них запрещения фактически в какой-то мере ограничивают свободу выбора действий рабочего, но благодаря этому и защищают его от опасности.

Современное производство характеризуется постоянным усложнением техники и технологии, ростом энерговооруженности. Естественно, возрастают также число и уровень производственных опасностей. Для ограждения рабочих от новых опасностей, очевидно, приходится увеличивать и объем правил безопасности труда. Это вполне естественная тенденция. Однако она порождает ряд трудностей чисто психологического характера. Ведь все пункты, записанные в правилах, рабочий должен не только понимать, он обязан их еще и помнить и по мере необходимости выполнять в процессе своей практической деятельности. Когда таких пунктов было 10-16, он мог запомнить их сравнительно легко. Когда их стало несколько десятков, запоминать стало сложнее. Когда же их количество стало исчисляться сотнями, ограниченные возможности человеческой памяти превратились в прямое препятствие к их запоминанию и выполнению. Следовательно, чрезмерно большое число правил по технике безопасности может привести, вместо повышения, к понижению защищенности рабочих от опасности. Некоторые исследования это подтверждают.

Анализ инструкций по безопасности в некоторых отраслях промышленности показал, что они содержат от 1 до 15% ненужных пунктов, нарушение которых не влечет за собой несчастных случаев; от 4 до 28% пунктов, передающих лишь общую информацию, и только от 62 до 95% пунктов были признаны в той или иной степени важными. При этом 72% процента несчастных случаев приходились на 3% наиболее важных пунктов инструкций.

Увеличение объема правил безопасности за счет ненужных и общих пунктов вредно также тем, что среди них растворяются и теряются действительно важные пункты. Уже сам факт, что в инструкции есть пункты, невыполнение которых обычно не влечет за собой никаких отрицательных

последствий, подрывает авторитет документа и способствует тому, что, наряду с этими «безопасными» пунктами, рабочие начнут нарушать и другие, «опасные». Все это способствует адаптации рабочих к нарушениям правил и, следовательно, росту травматизма.

При составлении инструкций по технике безопасности следует руководствоваться следующими правилами:

- \*исключать требования, очевидные для нормальных, здравомыслящих людей (типа «не влезай - убьют»);

- \*пункты, содержащие общие положения, переводить в инструкции по эксплуатации и учебные пособия;

- \*не допускать дублирования одних и тех же пунктов в разных инструкциях;

- \*специально выделять (шрифтом, рамками и т.д.) те пункты, нарушение которых связано с особо тяжелыми последствиями;

- \*отдельно выделять пункты, которые обычно чаще всего нарушаются.

Число выделенных пунктов не должно быть слишком большим.

При появлении изменений в правилах необходимо специально акцентировать внимание рабочих на новых элементах правил, соотнося их со старой редакцией и обязательно обосновывая причину изменений, так как люди всегда лучше выполняют те правила, необходимость которых они осознают. Например, шоферы, чаще всего нарушают установленные ограничения скорости в тех местах, где причины их введения непонятны. Если же рядом со знаком, ограничивающим скорость движения, стоит другой знак, поясняющий причину установки такого ограничения (например «скользкая дорога» и т.п.), превышения скорости допускаются гораздо реже.

### **Профессиональный отбор**

Задача профотбора - определение пригодности человека к данной работе. Следует различать готовность и пригодность к работе по той или иной профессии. Профессиональная готовность определяется уровнем образования, опыта и подготовки исполнителя. Профессиональная

пригодность определяется степенью соответствия индивидуальных психофизиологических качеств данного человека конкретному виду деятельности.

Профотбор осуществляется по специальным методикам, основанным на качественных и количественных оценках индивидуальных психофизиологических качеств человека. Для изучения профессионально важных качеств человека используют анкетный, аппаратный и тестовый методы.

Анкетный метод заключается в том, что с помощью определенным образом сформулированных и сгруппированных вопросов получают информацию о профессиональных интересах и некоторых психофизиологических качествах человека. Анкеты могут быть самооценочными, когда испытуемый сам дает оценку своих качеств, и внешнеоценочными, когда оценку дает эксперт на основе обобщения полученных данных.

Аппаратный метод состоит в том, что отдельные психофизиологические качества выявляются с помощью специальной аппаратуры. Наряду с приборами, обеспечивающими общее исследование психофизиологических свойств, могут использоваться специальные установки, имитирующие тот или иной вид деятельности. Они служат для выявления у испытуемого качеств, необходимых для данной работы, а также используются как тренажеры при обучении соответствующей профессии.

Тестовый метод использует наборы тестов, предлагаемых испытуемому, в процессе решения которых выявляются те или иные психофизиологические качества. Тесты делятся на следующие категории:

- \*определения способностей, служащие для оценки общего уровня интеллекта, пространственного воображения, точности восприятия, психомоторных способностей;

- \*проверки зрения и слуха;

\*личностные - ставящие цель оценить такие качества, как импульсивность, активность, чувство ответственности, уравновешенность, общительность, осторожность, уверенность в себе, оригинальность мышления;

\*определения уровня квалификации, применяемые для проверки профессиональных навыков.

Профессиональный отбор ведется на основе профессиограмм. Они составляются на основе всестороннего изучения трудового процесса, проведения необходимых исследований, и представляют собой описание профессионально важных качеств работника. В профессиограммах объективные особенности трудового процесса - технические, технологические, организационные - находят выражение в физиологических, психических и социально-психологических показателях человека.

Работник считается профессионально пригодным при наличии следующих качеств: положительная мотивация к данной специальности; высокий порог ощущения опасности; хороший глазомер; устойчивость; концентрация; распределение внимания; нормальное состояние двигательного аппарата; высокая пропускная способность анализаторов и т.д.

## Заключения

Предложен метод параметрического анализа компенсации реактивной мощности тяговой сети в зависимости от положения нагрузки на перегоне между двумя тяговыми подстанциями. Получены решения задачи в явном виде при одностороннем и двустороннем питании комплексной нагрузки тяговой сети от тяговых подстанций с неограниченной мощностью.

Выполнен параметрический анализ влияния активной нагрузки на характеристики компенсирующих устройств, смонтированных на шинах низкого напряжения тяговых подстанций в зависимости от местоположения этой нагрузки между источниками питания и значения нагрузки. В зависимости от точки присоединения нагрузки к сети и ее значения компенсирующее устройство в общем случае должно генерировать как индуктивную, так и емкостную реактивную мощность для обеспечения значения коэффициента мощности тяговой сети  $\cos\varphi = 1$ .

При двустороннем питании нагрузки имеем зеркальную симметрию изменения мощностей компенсирующих устройств на левом и правом концах тяговой сети в зависимости от положения нагрузки между источниками питания. При уменьшении значения потребляемой мощности нагрузкой диапазон требуемого регулирования компенсирующей мощности уменьшается.

## Список использованной литературы

1. Послание Президента Республики Узбекистан Шавката Мирзиёева Олий Мажлису. Ташкент – “Узбекистан” – 2017.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга курашимиз. “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 485 б.
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги ПФ-4947-сонли Фармони. Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами, 2017 й., 6-сон, 70-модда.
4. Дж. Абдусаламов. Национальный доклад по Республике Узбекистан составлен в рамках проекта Европейской экономической комиссии ООН «Повышение синергетического эффекта национальных программ стран-членов СНГ по энергоэффективности и энергосбережению для повышения их энергетической безопасности», 2013г.
5. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана – Т.: Молия, 2007 - 388 с.
6. Amirov S.F. Elektrlashgan temir yo'llar elektr ta'minoti: Oliy temir yo'l o'quv yurtlari talabalari uchun darslik. – Toshkent.: «ADAD PLYUS» MChJ, 2016. – 492 б.
7. Odilxo'jayev A.E., Amirov S.F., Jumaboyev S.X., Badretdinov T.N. Temir yo'llar elektr ta'minoti: 5310200 – Elektr energetikasi (temir yo'l transporti) ta'lim yo'nalishi talabalari uchun o'quv qo'llanma. – Toshkent.: «ADAD PLYUS» MChJ, 2017.
8. Хамидов Н., Турдибеков К.Х. Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва автоматлаштириш. Т: 2010 й. – 188 б.
9. Паули В.К., Воротников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии// Энергоэксперт. – 2007. – № 2.
10. Бородулин Б. М., Герман Л.А. и др. Конденсаторные установки электрофицированных железных дорог переменного тока. Москва: Транспорт, 1983.-183с.

11. Берзан В.П., Пацюк В.И., Римский В.К. и др. Компенсация реактивной мощности тяговой сети электрифицированного железнодорожного транспорта//Problemele energeticii regionale – 2010. - №2 (13). С. 19-34.

12. П.Э. Шлендер. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Вузовский учебник, - 304 с. - 2008 год

13. В. П. Петров, С. В. Петров. Информационная безопасность человека и общества: учебное пособие - 2007 год

14. Сычев Ю.Н.. Безопасность жизнедеятельности: Учебно-практическое пособие / Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. - М.: МЭСИ. - 147 с. - 2007 год

15. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. АО «Ўзбекистон темир йўллари». – Ташкент: типография АО «Ўзбекистон темир йўллари», 2014. – 128 с.

16. Экономика и организация промышленного транспорта: Учебник для вузов ж-д. транспорта. Под.ред. Н.П. Журавлева. – Москва.: Желдориздат, 2006г., 440с.

17. Экономика железных дорог. Учебник для вузов ж-д. транспорта. Под.ред. Н.П. Терешина. – Москва.: УМК МПС, 2001г., 600с.

18. Janaka Ekanayake, Kithiri Liyanage, Jianzhong Wu and others. Smart Grid Technology and Application. John Wiley and Sons. UK, 2012.

19. Francis M. Vanek. Louis D. Energy Systems Engineering Evaluation and Implementation. Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies.

20. [www.energoinform.ru](http://www.energoinform.ru)

21. [www.bilim.uz](http://www.bilim.uz)

22. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)