



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
КГЭУ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

**АКТУАЛИЗИРОВАНО**  
решением ученого совета ИЭЭ  
протокол №7 от 16.04.2024

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор института электроэнергетики  
и электроники

Ившин И.В.

28 октября 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптимизация электроэнергетических систем

Направление  
подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) Электроэнергетические системы, сети,  
электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность

Квалификация магистр

г. Казань, 2020

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень магистратура) (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 144)

Программу разработали:

Доцент, к.т.н.

Маклецов А.М.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры-разработчика Электроэнергетические системы и сети, протокол № 8 от 21.10.2020

Заведующий кафедрой В.В. Максимов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании выпускающей кафедры Электроэнергетические системы и сети, протокол № 8 от 21.10.2020

Заведующий кафедрой В.В. Максимов

Программа одобрена на заседании методического совета института Электроэнергетики и электроники, протокол № 3 от 28.10.2020

Зам. директора ИЭЭ

Ахметова Р.В.

Программа принята решением Ученого совета института Электроэнергетики и электроники протокол № 4 от 28.10.2020

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью изучения дисциплины «Оптимизация электроэнергетических систем» является получение теоретических и практических навыков анализа процессов развития электроэнергетических систем. При этом основное внимание уделяется методам научно обоснованного поиска оптимальных решений по повышению эффективности функционирования ЭЭС в различных схемно-режимных условиях.

Задачей изучения дисциплины является овладение методами оптимального планирования развития электроэнергетических систем.

Компетенции, формируемые у обучающихся, запланированные результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)
<b>Профессиональные компетенции (ПК)</b>		
ПК-1 Способен проводить научно- исследовательские работы в области профессиональной деятельности	ПК-1.3 Применяет методы моделирования и оптимизации, позволяющие прогнозировать свойства и поведения объектов в области электроэнергетических систем, сетей, электропередач, их режимов, устойчивости и надежности	<i>Знать:</i> методы моделирования ЭЭС методы оптимизации развития ЭЭС методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии <i>Уметь:</i> определять необходимые методы внедрения и контроля результатов разработок определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии <i>Владеть:</i> методами моделирования ЭЭС математическими методами оптимизации развития ЭЭС методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии

<p>ПК-1 Способен проводить научно- исследовательские работы в области профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-1.4 Использует специализированное программное обеспечение при проведении научно-исследовательских работ в области профессиональной деятельности</p>	<p><i>Знать:</i>  программное обеспечение для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях  программное обеспечение выбора мест установки ВДТ  программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей  <i>Уметь:</i>  определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ  определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ  определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей  <i>Владеть:</i>  использованием необходимого программного обеспечения для определения мощности УКРМ  использованием необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ  использование необходимого программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей</p>
---	---	--

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Оптимизация электроэнергетических систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений учебного плана по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Код компетенции	Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.	Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.
УК-1	Математические методы моделирования и прогнозирования	
УК-2	Управление проектами в энергетике Энергетическая политика	
УК-3	Управление проектами в энергетике	
УК-4	Энергетическая политика	
ПК-1	Управление проектами в энергетике Инновационные планы и программы развития электроэнергетики	

ПК-1		Современные проблемы электроэнергетики Перспективы развития электроэнергетики Управление качеством электроэнергии Средства управления режимами в электроэнергетических системах
ПК-2		Управление качеством электроэнергии Средства управления режимами в электроэнергетических системах
ПК-2	Управление проектами в энергетике Инновационные планы и программы развития электроэнергетики	

Для освоения дисциплины обучающийся должен:

До освоения дисциплины «Оптимизация электроэнергетических систем» обучающийся должен:

Знать:

- Информационные технологии, используемые для получения информации в целях решения задач оптимизации в ЭЭС ;
- Методы расчета режимов работы ЭЭС;
- Математический аппарат, используемый для определения экстремумов функций многих переменных.

Уметь:

- Выявлять сущность проблем, возникающих при решении оптимизационных задач;
- Использовать информационные технологии для решения оптимизационных задач;
- Определять основные характеристики и состав оборудования для расчета режимов ЭЭС .

Владеть:

- Навыками выявления сущности проблем задач оптимизации ;
- Навыками выбора оптимальных информационных технологий для решения конкретных задач;
- Навыками оптимизации расчетов режимов ЭЭС.

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) (ЗЕ), всего 216 часов, из которых 85 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа 16 час., занятия семинарского типа (практические, семинарские занятия, лабораторные работы и т.п.) 32 час., групповые и индивидуальные консультации 2 час., прием экзамена (КПА), зачета с оценкой - 1 час., самостоятельная работа обучающегося 96 час. Практическая подготовка по виду профессиональной деятельности составляет 4,8 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		2

<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	216	216
<b>КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ,</b> в том числе:	83	85
Лекционные занятия (Лек)	16	16
Лабораторные занятия (Лаб)	16	16
Практические занятия (Пр)	16	16
Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)*	2	2
Консультации (Конс)	2	2
Консультации, сдача и защита Курсового проекта (ККП)	32	32
Контактные часы во время аттестации (КПА)	1	1
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС),</b> в том числе:	96	96
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, экзамен)	35	35
<b>ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ</b>	КП, Эк	Эк

### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Семестр	Распределение трудоемкости (в часах) по видам учебной работы, включая СРС							Итого	Формируемые результаты обучения (знания, умения, навыки)	Литература	Формы текущего контроля успеваемости	Формы промежуточной аттестации	Максимальное количество баллов по балльно - рейтинговой системе
		Занятия лекционного типа	Занятия практического / семинарского типа	Лабораторные работы	Групповые консультации	Самостоятельная работа студента, в т.ч.	Контроль самостоятельной работы (КСР)	подготовка к промежуточной аттестации						
<b>Раздел 1. Оптимизация в электроэнергетических системах</b>														
1. Оптимизационные задачи развития ЭЭС	2	2	2	4	20			28	ПК-1.3 -31, ПК-1.3 -32, ПК-1.3 -33, ПК-1.3 -В1, ПК-1.3 -В2	Л1.1, Л2.3, Л2.4, Л2.1	СбС ОЛР	экз	25	

2. Методы оптимального управления развитием ЭЭС	2	4	4	4		20				34	ПК-1.3-32, ПК-1.3-33, ПК-1.3-У2, ПК-1.4-31, ПК-1.3-В2, ПК-1.3-У1, ПК-1.4-У1, ПК-1.4-В3	Л1.1, Л2.1, Л2.4, Л2.3	СбС ОЛР	Экз	25
3. Развитие ЭЭС по пути их интеллектуализации	2	6	6	4	1	26				43	ПК-1.4-31, ПК-1.4-У3, ПК-1.4-В3, ПК-1.3-В3, ПК-1.3-32, ПК-1.3-У1, ПК-1.3-31, ПК-1.3-33, ПК-1.3-В1, ПК-1.3-У2, ПК-1.3-В2, ПК-1.3-У3	Л1.1, Л2.3, Л2.4, Л2.2	СбС ОЛР Тест	Экз	25

4. Построение оптимальной системы развития ЭЭС с элементами искусственного интеллекта	2	4	4	4		30	1			43	ПК-1.4-31, ПК-1.4-32, ПК-1.4-У1, ПК-1.4-У2, ПК-1.4-В1, ПК-1.4-В2, ПК-1.4-33, ПК-1.4-У3, ПК-1.4-В3	Л1.1, Л2.4, Л2.1	С6С ОЛР Тест	Экз	25
5. Консультации и сдача курсового проекта, сдача экзамена	2							1		33	ПК-1.3-32, ПК-1.3-31, ПК-1.3-В2, ПК-1.3-В1	Л1.1, Л2.4			
<b>ИТОГО</b>		16	16	16	1	96	1	35	1	216					100

### 3.3. Тематический план лекционных занятий

Номер раздела дисциплины	Темы лекционных занятий	Трудоемкость, час.
1	Оптимизационные задачи развития ЭЭС	2
2	Метод динамического программирования для определения мест сооружения генерирующих мощностей	2
3	Градиентный метод оптимизации развития ЭЭС	2
4	Общие понятия об интеллектуальной ЭЭС	2
5	Умная генерация	2
6	Умное потребление	2
7	Оптимизация развития сетей 0,4 кВ	2
8	Оптимизация построения схем автоматического секционирования эл. сетей	2
	<b>Всего</b>	<b>16</b>



### 3.4. Тематический план практических занятий

Номер раздела дисциплины	Темы практических занятий	Трудоемкость, час.
1	Долгосрочное прогнозирование нагрузок	2
2	Определение оптимальной системы компенсации реактивной мощности методом Лагранжа	2
3	Определение оптимальной трассы кабельной ЛЭП	2
4	Обсуждение возможностей и перспектив интеллектуализации ЭЭС	4
5	Влияние активно-адаптивных элементов регулирования напряжения на потери электроэнергии в сетях	2
6	Обсуждение возможностей оптимизации развития сетей 0,4- 10кВ	4
Всего		16

### 3.5. Тематический план лабораторных работ

Номер раздела дисциплины	Темы лабораторных работ	Трудоемкость, час.
1	Определение оптимального места включения ВДТ 0,4 кВ	4
2	Определение оптимальной конфигурации сети 110 кВ	4
3	Определение оптимальной схемы подключения объектов малой генерации	4
4	Определение мощности и места включения УКРМ на ЛЭП 0,4 кВ	4
Всего		16

### 3.6. Самостоятельная работа студента

Номер раздела дисциплины	Вид СРС	Содержание СРС	Трудоемкость, час.
1	Выполнение КП, подготовка докладов по основным оптимизационным задачам	Выполнение КП, подготовка докладов	20
2	Выполнение КП, подготовка презентаций по темам лекций	Выполнение КП	20
3	Выполнение КП, подготовка презентаций по темам лекций	Выполнение КП, подготовка презентаций	26
4	Выполнение КР, подготовка презентаций по темам лекций	Выполнение КР, подготовка презентаций по темам лекций	30
Всего			96

#### 4. Образовательные технологии

При реализации дисциплины «Оптимизация электроэнергетических систем» направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

В процессе обучения используются:

- дистанционные курсы (ДК), размещенные на площадке LMS Moodle, URL: <http://lms.kgeu.ru/>;

- электронные образовательные ресурсы (ЭОР), размещенные в личных кабинетах студентов Электронного университета КГЭУ, URL: <http://e.kgeu.ru/>

#### 5. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Обобщенные критерии и шкала оценивания уровня сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции) по итогам освоения дисциплины:

Планируемые результаты обучения	Обобщенные критерии и шкала оценивания результатов обучения			
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
	не зачтено	зачтено		
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место	Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме
Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов
Характер	Компетенция в	Сформированность	Сформированность	Сформированность

истика сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)	полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач	компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач	компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач	компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач
Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)	Низкий	Ниже среднего	Средний	Высокий

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности компетенции (индикатора достижения компетенции)			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.3	Знать				
		методы моделирования ЭЭС	Сформированы знания методов моделирования ЭЭС без ошибок в формулировке	Сформированы знания методов моделирования ЭЭС с незначительными ошибками в формулировке	Сформированы знания методов моделирования ЭЭС со значительными ошибками в формулировке	Не сформированы знания методов моделирования ЭЭС

		методы оптимизации развития ЭЭС	Сформированы знания методов оптимизации развития ЭЭС без ошибок в формулировках	Сформированы знания методов оптимизации развития ЭЭС при наличии незначительных ошибок в формулировках	Сформированы знания методов оптимизации развития ЭЭС при наличии значительных ошибок в формулировках	Не сформированы знания методов оптимизации развития ЭЭС
		методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии	Сформированы знания методов прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии без ошибок в формулировках	Сформированы знания методов прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии при наличии незначительных ошибок в формулировках	Сформированы знания методов прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии при наличии значительных ошибок в формулировках	Не сформированы знания методов прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии
Уметь						
		определять необходимые методы внедрения и контроля результатов разработок	Демонстрирует умения выбора необходимого метода внедрения и контроля без ошибок в формулировках	Демонстрирует умения выбора необходимого метода внедрения и контроля при наличии незначительных ошибок в формулировках	Демонстрирует умения выбора необходимого метода внедрения и контроля при наличии значительных ошибок в формулировках	Не демонстрирует умения выбора необходимого метода внедрения и контроля
		определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС	Демонстрирует умения определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС без ошибок в формулировках	Демонстрирует умения определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС с незначительными ошибками в формулировках	Демонстрирует умения определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС со значительными ошибками в формулировках	Не демонстрирует умения определять необходимые методы оптимизации развития ЭЭС

		определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии	Демонстрирует умение определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии без ошибок в формулировках	Демонстрирует умение определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии с незначительными ошибками в формулировках	Демонстрирует умение определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии со значительными ошибками в формулировках	Не демонстрирует умение определять необходимые методы прогнозирования поведения объектов ЭЭС при их развитии
	Владеть					
		методами моделирования ЭЭС	Демонстрирует владение методами моделирования ЭЭС без ошибок в формулировках	Демонстрирует владение методами моделирования ЭЭС при наличии незначительных ошибок в формулировках	Демонстрирует владение методами моделирования ЭЭС при наличии значительных ошибок в формулировках	Не демонстрирует владение методами моделирования ЭЭС
		математическими методами оптимизации развития ЭЭС	Демонстрирует владение математическими методами оптимизации развития ЭЭС без ошибок в формулировках	Демонстрирует владение математическими методами оптимизации развития ЭЭС при наличии незначительных ошибок в формулировках	Демонстрирует владение математическими методами оптимизации развития ЭЭС при наличии значительных ошибок в формулировках	Не демонстрирует владение математическими методами оптимизации развития ЭЭС
		методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии	Демонстрирует владение методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии без ошибок в формулировках	Демонстрирует владение методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии при наличии незначительных ошибок в формулировках	Демонстрирует владение методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии при наличии значительных ошибок в формулировках	Не демонстрирует владение методами определения прогнозирования поведения объектов при их развитии при наличии
ПК-	Знать					

		программное обеспечение для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях без ошибок в формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях с незначительными ошибками в формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях со значительными ошибками в формулировках	Не сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения мощности и мест установки УКРМ в распределительных сетях
	1.4	программное обеспечение выбора мест установки ВДТ	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения выбора мест установки ВДТ без ошибок в формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения выбора мест установки ВДТ при наличии незначительных ошибок в формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения выбора мест установки ВДТ при наличии значительных ошибок в формулировках	Не сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения выбора мест установки ВДТ
		программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей без ошибок при формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей при незначительных ошибках при формулировках	Сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей при значительных ошибках при формулировках	Не сформированы знания об алгоритмах программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей
		Уметь				

		определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ	Демонстрирует умение правильно определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ без ошибок при формулировках	Демонстрирует умение правильно определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ при незначительных ошибках при формулировках	Демонстрирует умение правильно определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ при значительных ошибках при формулировках	Не демонстрирует умение правильно определять необходимое программное обеспечение для определения мощности УКРМ
		определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ без ошибок при формулировках	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ при наличии незначительных ошибок при формулировках	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ при наличии значительных ошибок при формулировках	Не демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для выбора мощности и мест установки ВДТ
		определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей без ошибок при формулировках	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей при наличии незначительных ошибок при формулировках	Демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей при наличии значительных ошибок при формулировках	Не демонстрирует умение определять необходимое программное обеспечение для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей
	Владеть					

		использованием необходимого программного обеспечения определения мощности УКРМ	для	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения мощности УКРМ без ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения мощности УКРМ при наличии незначительны х ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения мощности УКРМ при наличии значительных ошибок при формулировк х	Не демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения мощности УКРМ
		использованием необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ	для	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ без ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ при наличии незначительны х ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ при наличии значительных ошибок при формулировк х	Не демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для выбора мощности и мест установки УКРМ
		использование необходимого программного обеспечения определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей	для	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматическог о секционирован ия распределител ьных сетей без ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматическог о секционирован ия распределител ьных сетей при наличии незначительны х ошибок при формулировк х	Демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматическог о секционирован ия распределител ьных сетей при наличии значительных ошибок при формулировк х	Не демонстрирует владение использования необходимого программного обеспечения для определения оптимальной схемы автоматическог о секционирован ия распределител ьных сетей



Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины. Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

#### Основная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие, др.)	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ
1	Пантелеев А. В., Летова Т. А.	Методы оптимизации в примерах и задачах	учебное пособие	Лань	2015	<a href="https://e.lanbook.com/book/67460">https://e.lanbook.com/book/67460</a>	
2	Герасименко А.А., Федин В.Т.	Передача и распределение энергии	учебное пособие	М.: Кнорус.	2014	<a href="https://www.book.ru/915111">https://www.book.ru/915111</a>	

#### Дополнительная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие, др.)	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ
1	Грачева Е. И., Сафин А.Р	Оптимизационные задачи электроэнергетики	учебное пособие	Казань: КГЭУ	2010		149
2	Ю.С. Железко	Потери электроэнергии и Реактивная мощность Качество электроэнергии	Руководство для практических расчетов	М: Энас	2016	<a href="https://e.larbook.com/book/104575">https://e.larbook.com/book/104575</a>	

### 6.2. Информационное обеспечение

#### 6.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронная библиотека BOOK.RU	<a href="https://www.book.ru">https://www.book.ru</a>

2	ЭБС Лань	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>
3	LMS MOODLE	<a href="http://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=228">http://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=228</a>

### 6.2.2. Профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования РФ	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>
2	Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования	<a href="http://fgosvo.ru">http://fgosvo.ru</a>	<a href="http://fgosvo.ru">http://fgosvo.ru</a>
3	Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации	<a href="https://minenergo.gov.ru/opendata">https://minenergo.gov.ru/opendata</a>	<a href="https://minenergo.gov.ru/opendata">https://minenergo.gov.ru/opendata</a>
4	Российская национальная библиотека	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>	<a href="http://nlr.ru/">http://nlr.ru/</a>
5	Фонд «Общественное мнение»	<a href="https://fom.ru/">https://fom.ru/</a>	<a href="https://fom.ru/">https://fom.ru/</a>
6	Web of Science	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>
7	Платформа SpringerLink	<a href="http://www.link.springer.com">www.link.springer.com</a>	<a href="http://www.link.springer.com">www.link.springer.com</a>
8	zbMATH	<a href="http://www.zbmath.org">www.zbmath.org</a>	<a href="http://www.zbmath.org">www.zbmath.org</a>
9	SpringerMaterials	<a href="http://www.materials.springer.com">www.materials.springer.com</a>	<a href="http://www.materials.springer.com">www.materials.springer.com</a>
10	КиберЛенинка	В <a href="https://cyberleninka.ru/">https://cyberleninka.ru/</a>	В <a href="https://cyberleninka.ru/">https://cyberleninka.ru/</a>
11	Scopus	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
12	Book On Lime	<a href="http://bookonlime.ru">bookonlime.ru</a>	<a href="http://bookonlime.ru">bookonlime.ru</a>
13	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>

### 6.2.3. Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование информационно-справочных систем	Адрес	Режим доступа
1	ИСС «Кодекс» / «Техэксперт»	<a href="http://app.kgeu.local/Home/Apps">http://app.kgeu.local/Home/Apps</a>	<a href="http://app.kgeu.local/Home/Apps">http://app.kgeu.local/Home/Apps</a>
2	«Гарант»	<a href="http://www.garant.ru/">http://www.garant.ru/</a>	<a href="http://www.garant.ru/">http://www.garant.ru/</a>
3	«Консультант плюс»	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### 6.2.4. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Способ распространения (лицензионное/свободно)	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	№2011.25486 от 28.11.2011
2	Windows 7 Профессиональная (Pro)	Пользовательская операционная система	№2011.25486 от 28.11.2011

3	Exchange Standard CAL 2013 Russian OLP NL Academic Edition Device CAL	Требуются для каждого пользователя или устройства	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2014.0310 от 05.11.2014
4	Visual Studio Express	Инструмент создания Web приложений	<a href="https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/express/">https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/express/</a>
5	Браузер Firefox	Свободный веб-браузер	<a href="https://www.mozilla.org/ru/firefox/new/">https://www.mozilla.org/ru/firefox/new/</a>
6	Adobe Acrobat	Пакет программ	<a href="https://get.adobe.com/ru/reader/">https://get.adobe.com/ru/reader/</a>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для СРС	Оснащенность специальных помещений и помещений для СРС
1	Самостоятельная работа	Учебная аудитория Компьютерный класс	<p>24 посадочных места, доска аудиторная, подключение к сети "Интернет", моноблок (13 шт) доступ в электронную информационно-образовательную среду доска аудиторная, моноблок (13 шт.), проектор, интерактивная доска</p> <p>1. Windows 7 Профессиональная (Pro): договор №2011.25486 от 28.11.2011, лицензиар – ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>2. LabVIEW Professional Development System for Windows, договор №2013.39442, лицензиар - ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>3. LMS Moodle, свободная лицензия, тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>. Браузер Chrome, свободная лицензия, тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>6. AutoCAD 2008 EDU 20 pack NLM (+ teacher license) RUS, договор №CS 08/15 от 25.03.2008, лицензиар - ЗАО "СиСофт Казань", тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p>
2	Практические занятия	Учебная аудитория	46 посадочных мест, доска аудиторная, моноблок (13 шт.), проектор, экран, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду

3	Лекционные занятия	Учебная аудитория	<p>68 посадочных мест, доска аудиторная, проектор, экран, ноутбук, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду</p> <p>1. Windows 7 Профессиональная (Pro): договор №2011.25486 от 28.11.2011, лицензиар – ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>2. Optimization Toolbox Academic new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License) Модуль решения задач линейной, квадратичной, целочисленной и нелинейной оптимизации для MATLAB, договор №2013.39442, лицензиар - ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>3. Компас-3D V18 Проектирование в строительстве и архитектуре, договор 231/20 от 3.08.2020, лицензиар - ООО "Аскон-кама консалтинг", тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>4. LMS Moodle, свободная лицензия, тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p> <p>5. Браузер Chrome, свободная лицензия, тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.</p>
4	Лабораторные занятия	Учебная аудитория	<p>18 посадочных мест, доска аудиторная, экран, моноблок (12 шт) проектор, компьютер, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду. Программа «Оптимизация» разработки КГЭУ.</p>

## **8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## Структура дисциплины по заочной форме обучения

Вид учебной работы	Всего часов	курс
		2
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ</b>	216	216
<b>КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ,</b> в том числе:	27	27
Лекционные занятия (Лек)	4	4
Лабораторные занятия (Лаб)	8	8
Практические занятия (Пр)	6	6
Контроль самостоятельной работы и иная контактная работа (КСР)*	4	4
Консультации (Конс)	2	2
Консультации, сдача и защита Курсового проекта (ККП)	32	32
<b>САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС), в том числе:</b>	181	182
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, экзамен)	35	35
<b>ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ</b>	КП, Эк	Эк

## .Лист внесения изменений

Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины на 2020  
/2021 учебный год

В программу вносятся следующие изменения:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

*Указываются номера страниц, на которых внесены изменения,  
и кратко дается характеристика этих изменений*

Программа одобрена на заседании кафедры –разработчика ЭСиС «\_\_\_»  
\_\_\_\_\_ 20\_\_г., протокол № \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Подпись, дата

В.В. Максимов

Программа одобрена методическим советом института Электроэнергетики и  
электроники «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_г., протокол № \_\_\_\_\_

Зам. директора по УМР \_\_\_\_\_

Подпись, дата

Р.В. Ахметова

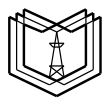
Согласовано:

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_

Подпись, дата

В.К. Козлов





КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ по дисциплине

Оптимизация электроэнергетических систем

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность

Квалификация магистр

г. Казань, 2020

Оценочные материалы по дисциплине «Оптимизация электроэнергетических систем» - комплект контрольно-измерительных материалов, предназначенных для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенции(й):

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские работы в области профессиональной деятельности

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля успеваемости, проводимого по балльно-рейтинговой системе (БРС), и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание процесса обучения по дисциплине. При текущем контроле успеваемости используются следующие оценочные средства: собеседование, отчет по лабораторной работе, тестирование, самостоятельная работа, экзамен.

Промежуточная аттестация имеет целью определить уровень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине за 2 семестр. Форма промежуточной аттестации кп, 2 семестр. Форма промежуточной аттестации экзамен.

Оценочные материалы включают задания для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, разработанные в соответствии с рабочей программой дисциплины.

## 1. Технологическая карта

### Семестр 2

Номер раздела/ темы дисциплины	Вид СРС	Наименование оценочного средства	Код индикатора достижения компетенции	Уровень освоения дисциплины, баллы			
				неудов-но	удов-но	хорошо	отлично
				не зачтено	зачтено		
				низкий	ниже среднего	средний	высокий
Текущий контроль успеваемости							
1	Выполнение КП, подготовка презентаций по темам лекций	СБС	ПК-1	менее 7	7- 8	8- 10	10-11
2	Выполнение КП, подготовка презентаций по темам лекций	(СБС)	ПК-1	менее 7	7- 8	8- 10	10- 11

3	Выполнение КП, подготовка докладов по основным оптимизационным задачам	СБС	ПК-1	менее 7	7 - 9	9- 10	10-11
4	Выполнение КП, подготовка презентаций по темам лекций	СБС	ПК-1	менее 7	7- 9	9- 10	10-12
5	Подготовка отчетов по лабораторным работам	ОЛР	ПК1	менее7	7-9	9-11	11-13
Всего баллов				менее 35	35-43	43-53	53-60
Промежуточная аттестация							
6	Промежуточная аттестация	Экз.	ПК-1	менее 20	20-26	27-32	33-40
Всего баллов				0-54	55-69	70-84	85-100

## 2. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Оценочные материалы
собеседование (СБС)	средство контроля, организованное, как беседа преподавателя с обучающимся	Вопросы по темам дисциплины
Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	средство контроля, организованное, как беседа преподавателя с обучающимся	Вопросы по результатам ЛР
тестирование (тест)	средство контроля, организованное, как беседа преподавателя с обучающимся	Перечень тестовых вопросов
Самостоятельная работа (СР)	Средства контроля выполнения КП Отчет о выполнении ЛР, Доклады по изучаемой тематике	Вопросы по разделам КР, доклады, рефераты
Экзамен (Экз)	Комплект вопросов к экзамену	Комплект

## 3. Оценочные материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

### 3.1. Наименование оценочного средства – собеседование (СБС)

**Перечень вопросов по темам дисциплины:**

## **Базовый уровень**

### **Вопрос 1.**

Что является основным критерием оптимизации размещения генерирующих мощностей энергосистемы?

- + Расход топлива на электростанциях;
- Потери мощности в электрических сетях;
- Показатели качества электроэнергии;
- Недоотпуск электроэнергии потребителям;
- Вероятностный ущерб от недоотпуска электроэнергии.

### **Вопрос 2.**

Что является основным критерием оптимизации размещения передающих мощностей

- Расход топлива на электростанциях;
- + Потери мощности в электрических сетях;
- Показатели качества электроэнергии;
- Недоотпуск электроэнергии потребителям;
- Вероятностный ущерб от недоотпуска электроэнергии.

### **Вопрос 3.**

Какая задача решается при оптимизации долгосрочных режимов энергосистемы?

- Снижение потерь электроэнергии;
- + Определение состава работающих агрегатов;
- Снижение недоотпуска энергии потребителям.

### **Вопрос 4.**

Каков главный недостаток метода Лагранжа при решении задачи распределения нагрузок в энергосистеме?

- Большой объем вычислений;
- Сложность определения неопределенных множителей Лагранжа;
- Трудности с учетом ограничений на параметры режима в виде равенств;
- + Невозможность решения задачи при наличии ограничений в виде неравенств.

### **Вопрос 5.**

Укажите правильную формулировку принципа оптимальности Беллмана

- + Каково бы не было состояние системы перед очередным шагом оптимизации необходимо оптимизировать процесс на этом шаге таким образом, чтобы выигрыш на данном шаге плюс оптимальный выигрыш на последующих шагах был максимальным;

Каково бы не было состояние системы перед очередным шагом оптимизации необходимо оптимизировать процесс на этом шаге таким образом, чтобы выигрыш на данном шаге плюс выигрыш на последующих шагах был максимальным;

Каково бы не было состояние системы перед очередным шагом оптимизации необходимо оптимизировать процесс на этом шаге таким образом, чтобы выигрыш на данном шаге был максимальным;

Каково бы не было состояние системы перед очередным шагом оптимизации необходимо оптимизировать процесс на этом шаге таким образом, чтобы выигрыш на последующих шагах был максимальным;

**Вопрос 6.**

Для оптимизации каких функций применим метод динамического программирования?

Только для дифференцируемых функций;

+ Только для суммируемых функций;

Только для линейных функций;

Только периодических функций.

**Вопрос 7.**

Каково условие оптимального распределения нагрузок между генераторами электростанции?

Одинаковая нагрузка генераторов;

Загрузка генераторов, пропорциональная их номинальной мощности;

Равенство приростов топлива генераторов при увеличении нагрузки;

Равенство относительных приростов топлива генераторов.

**Вопрос 8.**

Какие устройства позволяют реализовывать результаты расчетов оптимальных краткосрочных режимов энергосистемы?

Устройства РПН трансформаторов;

Вольтодобавочные трансформаторы;

Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ);

Регуляторы скорости вращения турбин;

+ Все перечисленные устройства.

**Вопрос 9.**

Потребляет ли реактивную мощность лампа накаливания?

Потребляет пропорционально потреблению активной мощности;

Совсем не потребляет;

+Потребляет в незначительном количестве.

**Вопрос 10.**

От чего зависит оптимальное число работающих трансформаторов на подстанции?

От напряжения на стороне ВН

От напряжения на стороне НН

+ От суммарной нагрузки подстанции

**Продвинутый уровень**

**Вопрос 1.**

Какая задача решается при оптимизации развития генерирующих мощностей энергосистемы?

- Снижение потерь электроэнергии;
- + Определение состава работающих агрегатов;
- Снижение недоотпуска энергии потребителям.

### **Вопрос 2.**

От чего зависит в большей мере оптимальные топология и мощность УКРМ?

- От характера потребителей;
- От схемы электроснабжения потребителей;
- +От приемлемого срока окупаемости УКРМ.

### **Вопрос 3.**

На что влияет уровень напряжения в центрах питания распределительных сетей?

- + Расход электроэнергии на ее транспорт;
- +Количество потребленной электроэнергии;
- + Потери холостого хода трансформаторов;
- Потери короткого замыкания трансформаторов.

### **Вопрос 4.**

Каков математический критерий наличия экстремума функции нескольких переменных.

- + Равенство нулю первых частных производных по переменным;
- Равенство нулю вторых частных производных по переменным;
- + Неизменность функции при малых изменениях всех переменных.

### **Вопрос 5.**

Какие математические методы используются для решения оптимизационных задач при ограничениях на переменные в виде неравенств?

- Метод динамического программирования;
- Метод штрафных функций;
- Градиентные методы;
- + Все перечисленные методы.

### **Вопрос 6.**

Алгоритм решения задачи фильтрации исходной информации о параметрах режима ЭЭС обеспечивает:

- +Отстройку от помех при передаче информации;
- Отстройку от погрешности первичных датчиков;
- Отстройку от погрешностей квантования.

### **Вопрос 7.**

Какая из приведенных выше формулировок информационной задачи оценивания состояния (ОС) электрической сети является верной?

Найти измеренные параметры режимов электрической сети, которые как можно меньше отличались бы от расчетных и, в то же время, удовлетворяли бы основным законам электрических цепей;

+ Найти расчетные параметры режимов электрической сети, которые как можно меньше отличались бы от измеренных и, в то же время, удовлетворяли бы основным законам электрических цепей;

Найти расчетные параметры режимов электрической сети, которые не отличались бы от измеренных и, в то же время, удовлетворяли бы основным законам электрических цепей;

Найти расчетные параметры электрической сети, которые как можно меньше отличались бы от измеренных и, в то же время, удовлетворяли бы основным законам электрических цепей;

### **Вопрос 8.**

Каковы возможности кафедрального программного продукта «ОПТИМА»?

- + Расчет режимов работы разомкнутых электрических сетей;
- + Расчет режимов работы замкнутых электрических сетей;
- Выбор оптимальной точки размыкания электрических сетей;
- Решение задачи ОС.

### **Вопрос 9.**

Как небаланс активной мощности может влиять на частоту напряжения?

- Никак;
- + Дефицит активной мощности приводит к снижению частоты;
- Дефицит активной мощности приводит к повышению частоты.

### **Вопрос 10.**

Как небаланс реактивной мощности может повлиять на частоту напряжения?

- + Никак;
- Дефицит реактивной мощности приводит к снижению частоты;
- Дефицит реактивной мощности приводит к повышению частоты

## **Высокий уровень**

### **Вопрос 1.**

Каков главный недостаток метода Лагранжа при решении задачи оптимизации состава генерирующих мощностей в энергосистеме?

- Большой объем вычислений;
- Сложность определения неопределенных множителей Лагранжа;
- Трудности с учетом ограничений на параметры режима в виде равенств;
- + Невозможность решения задачи при наличии ограничений в виде неравенств.

### **Вопрос 2.**

Как небаланс реактивной мощности может влиять на величину напряжения в сети?

Никак;

+Дефицит реактивной мощности приводит к снижению напряжения;  
Дефицит реактивной мощности приводит к повышению напряжения.

### **Вопрос 3.**

Какая исходная информация в реальном времени не позволяет в настоящее время оптимизировать режимы работы распределительных сетей?

+ Отсутствие данных о потреблении мощности в сетях 0,4 кВ;

Отсутствие данных о потреблении мощности в сетях 6-10кВ;

Отсутствие данных о напряжениях в центрах питания распределительных сетей.

### **Вопрос 4.**

Каким математическим методом оптимизации может производиться аппроксимация расходных характеристик ТЭЦ?

Методом Лагранжа;

Методом динамического программирования;

+Методом наименьших квадратов;

Методом исключения Гаусса.

### **Вопрос 5.**

Как учитываются ограничения в виде неравенств при построении эквивалентных расходных характеристик эл. станции в методе динамического программирования?

Градиентными методами;

Методом наименьших квадратов;

Принципом оптимальности Беллмана;

+Никаких из перечисленных методов.

### **Вопрос 6.**

От каких факторов зависит выбор состава работающего оборудования?

+ От погоды;

+От прогноза нагрузки;

+От стоимости топлива.

### **Вопрос 7.**

От каких факторов зависит оптимальная схема распределительной сети 10-0,4 кВ?

+От величины нагрузки;

+От расстояния от центра питания до потребителей;

+От наличия РПН на трансформаторах питающей подстанции.

### **Вопрос 8.**



Что определяет естественное и экономичное распределение мощности в замкнутых сетях?

- + Степень однородности электрической сети;
- Уровень напряжения электрической сети;
- Стоимость расхода электроэнергии на ее транспорт.

### **Вопрос 9.**

Какие задачи решает оптимизация мест размыкания в замкнутых сетях?

- + Снижение расхода электроэнергии на ее транспорт;
- + Снижение вероятностного ущерба от недоотпуска электроэнергии;
- Снижение расходов на эксплуатацию электрических сетей.

### **Вопрос 10.**

Какие ВДТ влияют на перетоки активной мощности в замкнутых сетях?

Никакие

ВДТ с продольным регулированием напряжения

- + ВДТ с поперечным регулированием напряжения

Критерии оценки и шкала оценивания в баллах

<b>Уровень усвоения</b>	<b>1 тема</b>	<b>2 тема</b>	<b>3 тема</b>	<b>4 тема</b>
Согласно БРС	До 10 баллов	До 14 баллов	До 16 баллов	До 20 баллов
Базовый	4-6	8-10	10-12	14-16
Продвинутый	6-8	10-12	12-14	16-18
Высокий	8-10	12-14	14-16	18-20

## **3.2. Наименование оценочного средства - отчет по лабораторной работе (ОЛР)**

(лабораторные работы, перечень контрольных вопросов, правила оформления отчета).

Лабораторные работы проводятся на базе ПО «Оптимизация», разработанного на кафедре ЭСиС КГЭУ

**Лабораторная работа №1 (8 часов, два занятия по 4 часа)**

**Оптимизация установки компенсирующих устройств на воздушных ЛЭП 0,4 кВ**

**Цель работы:** Закрепить знания студентов по компенсации реактивной мощности, качеству электроэнергии и оптимизации топологии и мощности устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ).

### **Особенности установки УКРМ в сетях 0,4 кВ.**

В сетях 0,4 кВ установка УКРМ преследует, в первую очередь, обеспечение требуемого показателя качества электроэнергии-установившегося отклонения напряжения ( $\delta U$  доп  $=\pm 10\%$ ) в точке отпуска электроэнергии наиболее удаленного потребителя (на опоре воздушной ЛЭП). Установка УКРМ повышает напряжение на опорах ЛЭП, что приводит к увеличению потребления электроэнергии в соответствии со статическими характеристиками нагрузки, что обеспечивает сетевым предприятиям дополнительную прибыль. В то же время, возможно увеличение потерь электроэнергии в ЛЭП (расхода электроэнергии на ее транспорт) из-за увеличения перетоков реактивной мощности (В ряде случаев для обеспечения необходимого напряжения у потребителей мощность УКРМ выбирается такой, что реактивная мощность из сети 0,4 кВ перетекает в сети 6-10 кВ). Поэтому критерием оптимизации является разность между отпущенной электроэнергией и потерями электроэнергии при условии равенства стоимости потерь и дополнительной прибыли от увеличения передаваемой активной мощности.

### **Исходные данные для выполнения работы:**

Исходными данными для определения напряжений в узлах, потерь электроэнергии и ее отпуска являются:

- Схема электрической сети;
- Сечения проводов ЛЭП;
- Пофазные нагрузки всех потребителей вдоль ЛЭП;
- Статические характеристики нагрузки;
- Мощность питающего трансформатора 6-10/0,4 кВ;
- Напряжение на шинах ТП;
- Максимальная активная мощность в начале ВЛ;
- $\cos \varphi$  потребления;

Пофазные нагрузки всех потребителей в настоящее время не регистрируются. Поэтому для их приблизительного определения используются показания электросчетчиков всех потребителей за определенный период. В данной работе. Нагрузки отдельных потребителей определяются распределением нагрузки в начале ЛЭП пропорционально показаниям счетчиков. Статические характеристики нагрузки приняты стандартными, как для сетей 10 кВ с активно-индуктивной нагрузкой.

Часть исходных данных для первых 12 вариантов представлена в таблице 4.1

Таблица 4.1.

№ варианта	Сечение проводов ЛЭП мм <sup>2</sup>	Расстояние между опорами, м	Напряжение на шинах ТП, В	Активная мощность в начале ЛЭП, кВт	Показ. счетчика на опоре №1, кВт*ч	Распределение показ. счетчиков вдоль ЛЭП
1	16	40	230	15	200	равномерно
2	16	40	230	15	200	с возрастанием на 1 кВт*ч на опору
3	16	40	230	15	200	с возрастанием на 2кВт*ч на опору
4	25	40	230	20	200	с возрастанием на3 кВт*ч на опору
5	25	40	230	20	200	с возрастанием на4 кВт*ч на опору
6	25	40	230	20	220	равномерно
7	25	40	230	20	330	с убыванием на 2 кВт*ч на опору
8	35	40	230	30	330	с убыванием на 2 кВт*ч на опору
9	35	40	230	30	330	с убыванием на 4 кВт*ч на опору
10	35	40	230	30	300	с убыванием на 5 кВт*ч на опору
11	35	40	230	30	300	равномерно
12	35	40	230	250	300	с возрастанием на 3 кВт*ч на опору

Следующие 13 – 48 вариантов должны отличаться напряжением на шинах ТП:

235, 240, 245 В.

Cos φ нагрузки принять равным 0,9.

Реактивная мощность в начале ЛЭП  $Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$

Мощность питающего трансформатора во всех вариантах следует принять равной 320 кВА.

ВЛ 0,4 кВ содержит 30 опор. Для упрощения расчетов сеть считается симметрированной. К каждой опоре подключен три потребителя (фазы А, В, С) с потреблением каждой фазы в соответствии с табл. 4.1.

В таких условиях допустим пофазный расчет сети (расчет проводить для фазы А)

Лабораторная работа проводится с помощью программы «Оптимизация сети», разработанной в КГЭУ.

## Порядок выполнения работы

1. В соответствии с табл. 4. 1 определить показания счетчиков на каждой опоре ЛЭП (пример – табл. 4.2 для варианта №8 из табл. 4.1).

Таблица 4.2.

№ оп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пок.	330	328	326	324	322	320	318	316	314	312	310	308	306	304	302
Сч.															

№ оп	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	130
Пок.	300	298	296	294	292	290	288	286	284	282	280	278	276	274	272
Сч.															

2. Осуществить запуск программы «щелчком» на ее ярлыке. При этом появится ее начальная страница программы, представленная на рис. 4.1

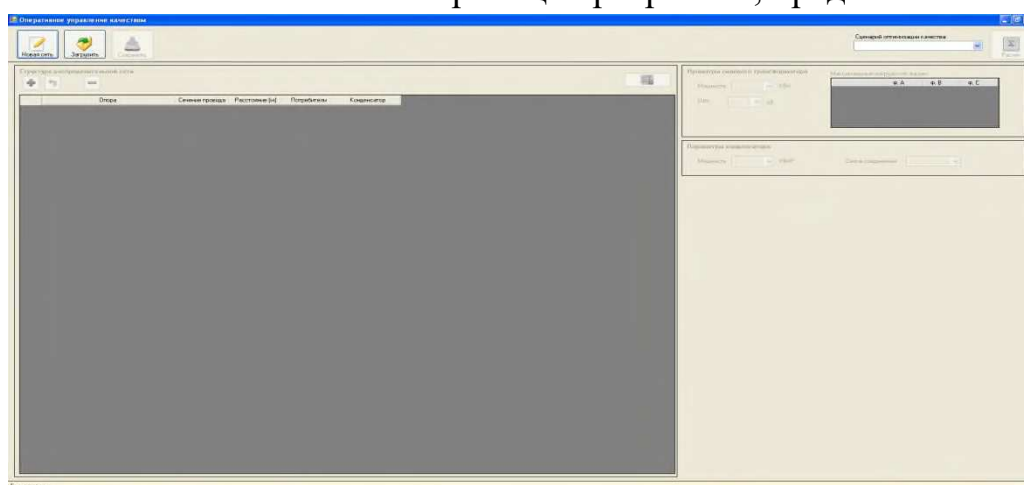


Рис. 4.1. Начальная форма программы.

3. Ввести в программу исходные данные варианта задания. Для этого нужно нажать кнопку «Новая сеть». Кнопка «+» означает ввод новой опоры ЛЭП, копка «+» - удаление опоры. Одновременно с вводом первой опоры ЛЭП необходимо заполнить правую часть главной формы программы. Форма программы после ввода первой опоры представлена на рис. 4.1.

В правой части представленной формы необходимо ввести очередные исходные данные. Параметры потребителя введенной опоры осуществляются нажатием клавиши «+» в правой части формы. После ввода исходных данных необходимо нажать кнопки «Сохранить» в левой и правой частях формы.

Один из вариантов задания после введения всех исходных данных приведен на рис. 4.2.

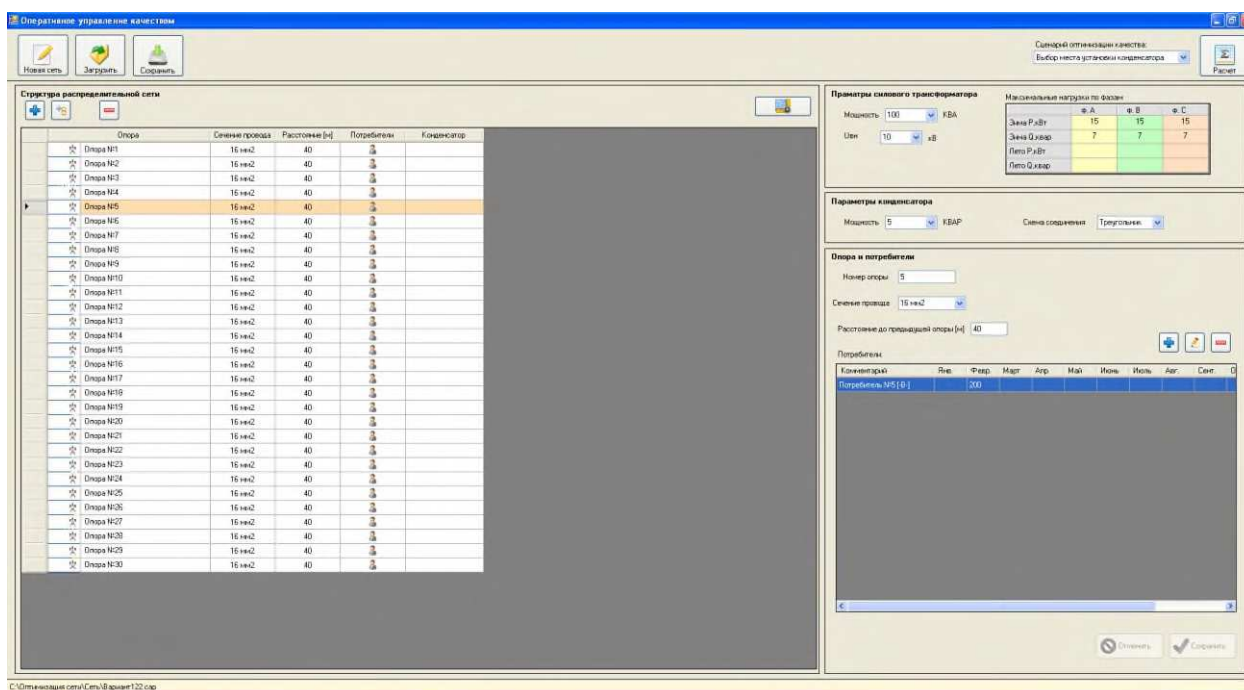


Рис. 4.2. Исходные данные для расчета.

4. Произвести расчет режима сети. Для расчета параметров режима необходимо нажать кнопку «Расчет» в правом верхнем углу формы. После этого необходимо дождаться на экране результатов расчета (рис.4.3). Программа «Оптимизация сети» решает при этом систему нелинейных уравнений установившегося режима сети.

	Без конд.	Конд. на оп.№1	Конд. на оп.№2	Конд. на оп.№3	Конд. на оп.№4	Конд. на оп.№5	Конд. на оп.№6	Конд. на оп.№7	Конд. на оп.№8
Опора №1	235,261082	236,714498	236,643307	236,575189	236,510031	236,447717	236,388125	236,331131	236,276
Опора №2	231,858299	233,299655	234,678788	234,551066	234,428874	234,303122	234,200312	234,093537	233,991
Опора №3	228,570859	230,001017	231,369277	232,712302	232,530689	232,357045	232,191094	232,032551	231,881
Опора №4	225,398118	226,817888	228,176061	229,50912	230,818104	230,585373	230,363019	230,150675	229,947
Опора №5	222,339622	223,749767	225,098592	226,422421	227,722249	228,999507	228,718562	228,45036	228,194
Опора №6	219,395087	220,796327	222,136501	223,451794	224,743156	226,011982	227,26008	226,933952	226,622
Опора №7	216,564388	217,957402	219,289581	220,596992	221,880537	223,141581	224,381901	225,603648	225,235
Опора №8	213,847538	215,232966	216,557777	217,857913	219,134255	220,388124	221,621275	222,835839	224,034
Опора №9	211,244672	212,623119	213,94113	215,234586	216,504301	217,75157	218,978122	220,186673	221,377
Опора №10	208,756034	210,128067	211,439837	212,727151	213,990782	215,231991	216,452483	217,654358	218,840
Опора №11	206,381958	207,748115	209,05416	210,335848	211,593905	212,829561	214,044499	215,240802	216,420
Опора №12	204,122856	205,48364	206,78445	208,060994	209,313957	210,544539	211,754398	212,945603	214,120
Опора №13	201,979201	203,335087	204,63112	205,902974	207,151295	208,37725	209,582478	210,769031	211,939
Опора №14	199,951512	201,302945	202,594633	203,862224	205,106326	206,328075	207,52909	208,71141	209,877
Опора №15	198,040338	199,387737	200,675484	201,939213	203,179491	204,39743	205,594626	206,773104	207,935
Опора №16	196,246246	197,590002	198,874188	200,134429	201,371257	202,585754	203,779498	204,954504	206,113

Рис. 4.3. Результаты расчета.

На рис.4.3 Представлена только часть таблицы в формате EXCEL. Выбор оптимального места установки конденсатора осуществляется по критерию разности потребления и потерь. Указанный критерий определяется в нижней части таблицы результатов расчета (рис. 4,4). Опора с оптимальным местом установки определяется по максимуму этой разности.

Опора №14	199,951512	201,302945	202,594633	203,862224	205,106326	206,328075	207,52909	208,71141	209,877
Опора №15	198,040338	199,387737	200,675484	201,939213	203,179491	204,39743	205,594626	206,773104	207,935
Опора №16	196,246246	197,590002	198,874188	200,134429	201,371257	202,585754	203,779498	204,954504	206,113
Опора №17	194,569802	195,910283	197,191263	198,448367	199,682092	200,893493	202,084131	203,256008	204,411
Опора №18	193,011562	194,34911	195,627217	196,881512	198,112458	199,321087	200,508941	201,678011	202,830
Опора №19	191,572051	192,906987	194,182533	195,434325	196,662796	197,868953	199,054324	200,22089	201,371
Опора №20	190,251757	191,58438	192,857654	194,107229	195,333507	196,537476	197,720645	198,884988	200,032
Опора №21	189,051111	190,381699	191,652974	192,900598	194,124948	195,32699	196,508221	197,670605	198,816
Опора №22	187,970477	189,299291	190,56882	191,814744	193,037411	194,237772	195,417311	196,577983	197,722
Опора №23	187,010142	188,337425	189,605447	190,849902	192,071117	193,270027	194,448103	195,607294	196,749
Опора №24	186,170304	187,496283	188,76302	190,006224	191,226204	192,423877	193,600706	194,758634	195,900
Опора №25	185,451061	186,77595	188,041612	189,28377	190,502716	191,699354	192,875314	194,03201	195,172
Опора №26	184,852404	186,176405	187,441191	188,682496	189,900599	191,096393	192,271327	193,427334	194,566
Опора №27	184,374213	185,697516	186,961613	188,202249	189,419689	190,614821	191,789086	192,944413	194,085
Опора №28	184,016243	185,339032	186,60262	187,842761	189,059713	190,254356	191,428126	192,582951	193,721
Опора №29	183,778131	185,100581	186,363833	187,603649	188,820279	190,014599	191,188044	192,342538	193,480
Опора №30	183,659383	184,981665	186,244752	187,484406	188,700876	189,895037	191,06832	192,22265	193,360
Потребление [кВт]	20	20,1586	20,3049	20,4435	20,5739	20,6976	20,8139	20,9224	21,024
Потери [кВт]	3,7503	3,8147	3,8733	3,9299	3,9859	4,0405	4,095	4,151	4,206
Разница (потр.-пот.) [кВт]	16,2497	16,3439	16,4316	16,5136	16,5883	16,6571	16,7189	16,7714	16,816

Рис. 4.4. Результаты расчета.

Максимальное значение критерия (16,8989) соответствует размещению конденсаторной батареи на опоре №12.

5. Путем расчета разных режимов построить зависимости распределения напряжений по опорам сети для разных мощностей УКР (5,10,15,20 кВАр) при их оптимальном размещении. При этом для разных сечений проводов ВЛ следует применять следующие параметры нагрузок в начале ВЛ (табл. 4.2)

Таблица 4.2.

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	P, кВт	Q, кВАр
16	17	8
25	22	11
35	28	14

### **Содержание отчета по лабораторной работе**

- Схема электрической сети
- Исходные данные
- Номера опор для оптимального размещения УКРМ разной мощности
- Зависимости распределения напряжения по порам вдоль ЛЭП при оптимальном размещении УКРМ разной мощности.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое реактивная мощность?
2. Почему установка УКРМ на ЛЭП повышает напряжение в точке установки?
3. От чего зависит оптимальное место установки УКРМ и его мощность?
4. Почему установка УКРМ на ЛЭП может привести к увеличению потерь электроэнергии в ЛЭП?
5. Почему установка УКРМ нецелесообразна в случае выполнения ВЛ СИП?

**Лабораторная работа №2** (8 часов, 2 занятия по 4 часа)

**Оптимизация установки вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) на ЛЭП 0,4 кВ**

**Цель работы:** Закрепить знания студентов по оптимизации напряжения в сетях 0,4 кВ с помощью ВДТ.

### Особенности установки ВДТ в сетях 0,4 кВ.

В сетях 0,4 кВ установка ВДТ преследует, в первую очередь, обеспечение требуемого показателя качества электроэнергии - установившегося отклонения напряжения ( $\delta U$  доп.  $\approx \pm 10\%$ ) в точке отпуска электроэнергии наиболее удаленного потребителя (на опоре воздушной ЛЭП).

Схема включения ВДТ в ЛЭП 0,4 кВ приведена на рис. 5.1

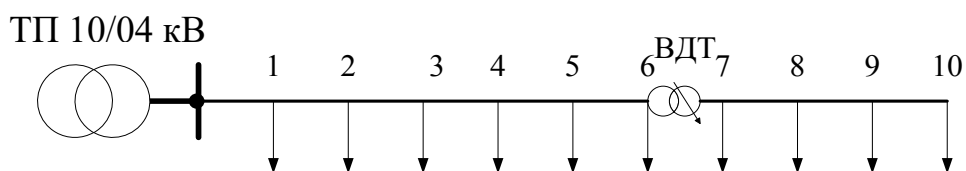


Рис. 5.1. Схема включения ВДТ в ЛЭП 0,4 кВ.

ВДТ 0,4 кВ имеют бесступенчатую регулировку напряжения за счет регулируемого поперечного подмагничивания сердечника. В России не производятся, или производятся с использованием зарубежных компонентов. Стоимость таких ВДТ на порядок выше отечественных силовых трансформаторов. Поэтому ВДТ рассматриваются в качестве временной меры до устранения причин недопустимого снижения напряжения. После этого ВДТ переносится на другую проблемную ЛЭП.

Установка ВДТ повышает напряжение на опорах ЛЭП, что приводит к увеличению потребления электроэнергии в соответствии со статическими характеристиками нагрузки, что обеспечивает сетевым предприятиям дополнительную прибыль. В то же время, возможно увеличение потерь электроэнергии в ЛЭП из-за увеличения потребления. из сети 0,4 кВ перетекает в сети 6-10 кВ). Поэтому критерием оптимизации является разность между отпущенной электроэнергией и потерями электроэнергии при условии равенства стоимости потерь и дополнительной прибыли от увеличения передаваемой активной мощности.

При выборе места установки ВДТ приходится также следить за напряжением перед ВДТ, так как увеличение потребления участка 7-10 вызовет увеличение падения напряжения на участке 1-6 ЛЭП.



## Исходные данные для выполнения работы:

Исходными данными для определения напряжений в узлах, потерь электроэнергии и ее отпуска являются:

- Схема электрической сети;
- Сечения проводов ЛЭП;
- Пофазные нагрузки всех потребителей вдоль ЛЭП;
- Статические характеристики нагрузки;
- Мощность питающего трансформатора 6-10/0,4 кВ;
- Напряжение на шинах ТП;
- Максимальная активная мощность в начале ВЛ;
- $\cos \varphi$  потребления;

Пофазные нагрузки всех потребителей в настоящее время не регистрируются. Поэтому для их приблизительного определения используются показания электросчетчиков всех потребителей за определенный период. В данной работе вводятся показания счетчиков за февраль. Нагрузки отдельных потребителей определяются распределением нагрузки в начале ЛЭП пропорционально показаниям счетчиков. Статические характеристики нагрузки приняты стандартными, как для сетей 10 кВ с активно-индуктивной нагрузкой.

Часть исходных данных для первых 12 вариантов представлена в таблице 4.1

Таблица 4.1.

№ варианта	Сечение проводов ЛЭП мм <sup>2</sup>	Расстояние между опорами, м	Напряжение на шинах ТП, В	Показ. счетчиков потребителей каждой опоры за февраль, кВт*ч
1	16	40	230	150
2	16	40	230	200
3	16	40	230	250
4	25	40	230	200
5	25	40	230	250
6	25	40	230	300
7	25	40	230	350
8	35	40	230	150
9	35	40	230	200
10	35	40	230	250
11	35	40	230	300
12	35	40	230	350

Следующие 13 – 48 вариантов должны отличаться напряжением на шинах ТП:

235, 240, 245 В.

Мощность питающего трансформатора во всех вариантах следует принять равной 100 кВА.

ВЛ 0,4 кВ содержит 30 опор. Для упрощения расчетов сеть считается симметрированной. К каждой опоре подключен три потребителя (фазы А, В, С) с потреблением каждой фазы в соответствии с табл. 4.1.

Лабораторная работа проводится с помощью программы «Оптимизация сети», разработанной в КГЭУ.

## Порядок выполнения работы

1. Осуществить запуск программы «щелчком» на ее ярлыке. При этом появится ее начальная страница программы, представленная на рис. 5.2

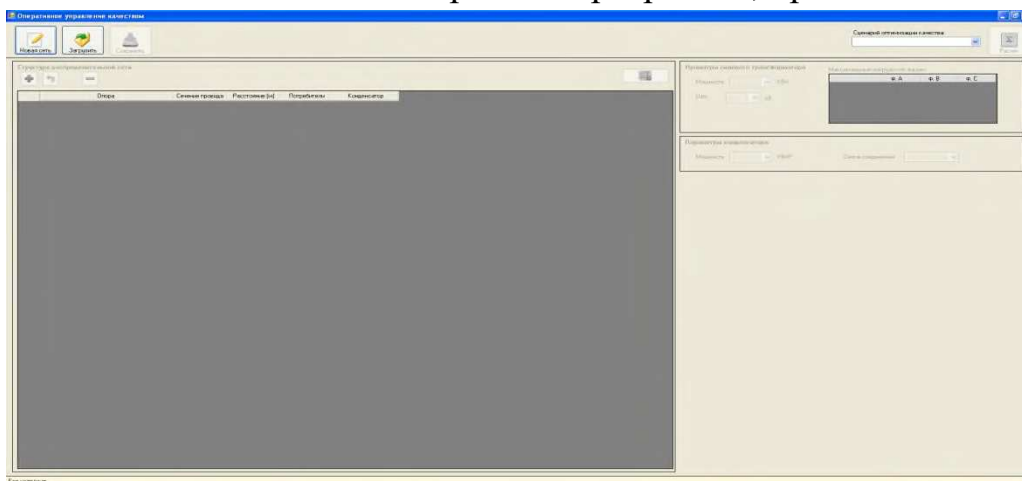


Рис. 5.2. Начальная форма программы.

2. Ввести в программу исходные данные варианта задания. Для этого нужно нажать кнопку «Новая сеть». Кнопка «+» означает ввод новой опоры ЛЭП, копка «+» - удаление опоры. Одновременно с вводом первой опоры ЛЭП необходимо заполнить правую часть главной формы программы. Форма программы после ввода первой опоры представлена на рис. 5.3.

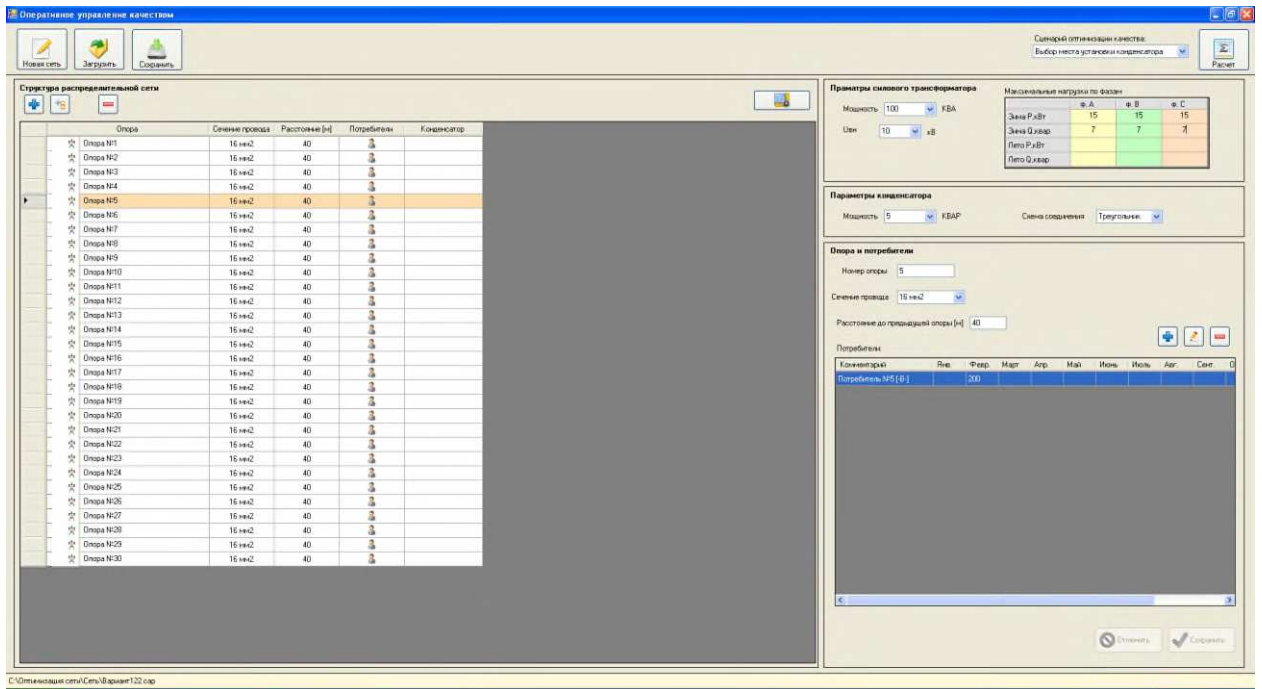


Рис. 5.3. Очередная форма программы.

В правой части представленной формы необходимо ввести очередные исходные данные. Параметры потребителя введенной опоры осуществляются нажатием клавиши «+» в правой части формы.

Один из вариантов задания после введения всех исходных данных приведен на рис. 5.4.

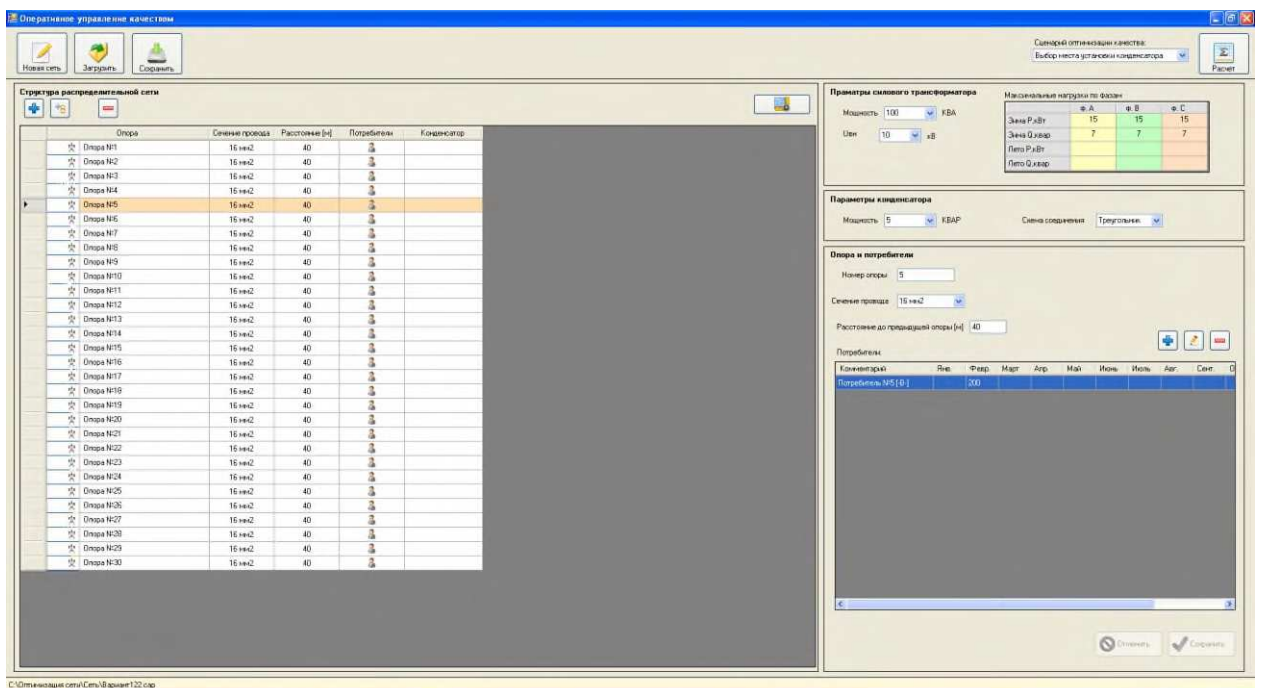


Рис. 5.4. Исходные данные для расчета.

3. Произвести расчет режима сети. Для расчета необходимо выбрать его сценарий (определение места установки ВДТ) а затем необходимо нажать кнопку «Расчет» в правом верхнем углу формы. После этого необходимо дождаться на экране результатов расчета (рис.5.5). Программа «Оптимизация сети» решает при этом систему нелинейных уравнений установившегося режима сети.

	Без конд.	Конд. на оп. №2	Конд. на оп. №3	Конд. на оп. №4	Конд. на оп. №5	Конд. на оп. №6	Конд. на оп. №7	Конд. на оп. №8	Конд. на оп. №9	Конд. на оп. №10	Конд. на оп. №11	Конд. на оп. №12	Конд. на оп. №13	Конд. на оп. №14
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	228,10088	228,42935	228,41662	228,40485	228,39325	228,38158	228,37076	228,35995	228,34901	228,33881	228,32852	228,31852	228,30819	228,29785
12	228,12152	228,44423	228,43214	228,42043	228,40865	228,39686	228,38505	228,37323	228,36139	228,34958	228,33773	228,32582	228,31387	228,30198
13	228,13588	228,45778	228,44557	228,43385	228,42197	228,41011	228,40011	228,38913	228,37816	228,36720	228,35624	228,34528	228,33432	228,32336
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	228,41722	227,07028	227,04451	227,02069	226,99723	226,97362	226,95174	226,92992	226,90782	226,88723	226,86647	226,84529	226,82346	226,80198
16	228,34995	226,89704	226,87297	226,84997	226,82694	226,80409	226,78256	226,76211	226,74162	226,72154	226,70154	226,68198	226,66198	226,64198
17	228,37081	226,92425	226,89979	226,87577	226,85178	226,82822	226,80533	226,78344	226,76177	226,74144	226,72144	226,70169	226,68198	226,66198
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	228,42823	225,97841	225,95444	225,94236	225,93068	225,91889	225,90707	225,89565	225,88419	225,87283	225,86146	225,85016	225,83886	225,82756
20	228,46801	225,21628	225,23375	225,48714	225,45336	225,42005	225,38669	225,35342	225,32044	225,28791	225,25467	225,22165	225,18886	225,15617
21	228,41027	225,02654	225,18212	225,32592	225,28945	225,25574	225,22244	225,18877	225,15496	225,12136	225,08783	225,05454	225,02151	224,98877
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	228,04	228,88131	228,88605	228,87873	228,87077	228,86234	228,85379	228,84511	228,83631	228,82741	228,81841	228,80941	228,80041	228,79141
24	228,80281	228,58621	228,54424	228,51319	228,48317	228,45315	228,42313	228,39311	228,36311	228,33311	228,30311	228,27311	228,24311	228,21311
25	228,74791	228,18918	228,49291	228,18479	228,19357	228,18005	228,16409	228,14797	228,13176	228,11546	228,09929	228,08312	228,06695	228,05078
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	228,30542	222,18944	222,48015	222,78958	222,80001	222,80903	222,81842	222,82823	222,83837	222,84873	222,85931	222,86985	222,88061	222,89151
28	228,31837	221,85998	222,15986	222,45062	222,73303	222,67634	222,61905	222,56207	222,50542	222,44911	222,39312	222,33746	222,28211	222,22707
29	228,0881	221,72999	222,02424	222,31999	222,60601	222,56299	222,47617	222,38889	222,30217	222,21601	222,13041	222,04531	221,96071	221,87661
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	228,06148	220,99619	220,99488	221,28163	221,56029	221,84087	222,12431	222,41051	222,69951	222,99131	223,28581	223,58301	223,88291	224,18541
32	228,74897	220,37538	220,67614	220,96499	221,24515	221,51535	221,78591	222,05701	222,32861	222,59971	222,87041	223,14071	223,41061	223,68011
33	228,42343	220,05734	220,35633	220,64386	220,91843	221,18474	221,44579	221,70367	221,95841	222,21091	222,46101	222,70871	222,95401	231,19727
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	228,97312	228,20356	228,30023	228,39705	228,49403	228,59126	228,68874	228,78647	228,88436	228,98241	229,08061	229,17886	229,27721	229,37566
36	228,26417	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328	228,19328
37	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26	228,26
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	228,27934	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996
40	228,27934	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996	228,20996

Рис. 5.5. Результаты расчета.

На рис.5.5. Представлена только часть таблицы в формате EXCEL. Выбор оптимального места установки ВДТ осуществляется по критерию разности потребления и потерь. Указанный критерий определяется в нижней части таблицы результатов расчета (рис. 5,6). Опора с оптимальным местом установки определяется по максимуму этой разности.

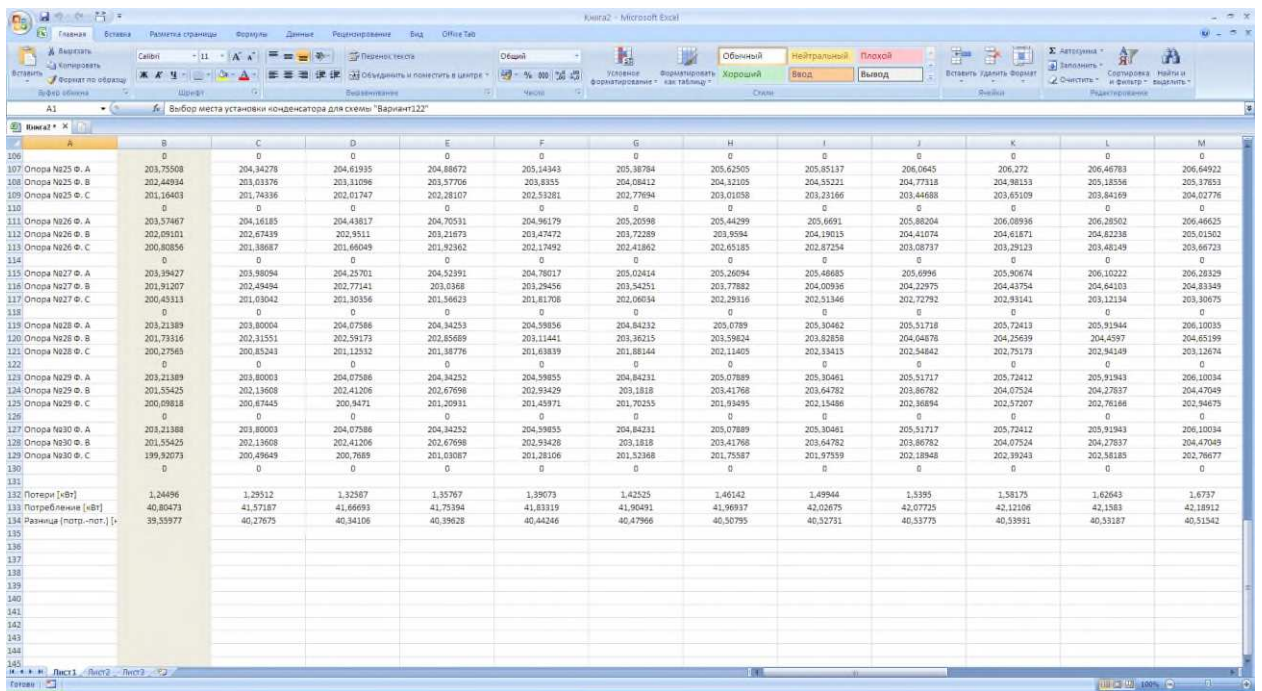


Рис. 5.6. Результаты расчета.

Максимальное значение критерия (40,5391) соответствует размещению ВДТ на опоре **№10**.

4. Путем расчета режимов при поочередным размещением ВДТ по опорам построить зависимости распределения напряжений по опорам сети, а также потерь электроэнергии и ее отпуска. При этом для разных сечений проводов ВЛ следует применять следующие параметры фазных нагрузок в начале ВЛ (табл. 5.2)

Таблица 5.2.

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	P, кВт	Q, кВАр
16	17	8
25	22	11
35	28	14

## Содержание отчета по лабораторной работе

- Схема электрической сети
- Исходные данные
- Номер опоры для оптимального размещения ВДТ;

- Зависимости распределения напряжений по опорам сети, а также потерь электроэнергии и ее отпуска при поочередном размещении ВДТ по опорам.

### **Контрольные вопросы**

6. Почему напряжение у удаленного потребителя может быть недопустимо низким ?
7. Почему установка ВДТ на ЛЭП понижает напряжение до точки установки?
8. От чего зависит оптимальное место установки ВДТ ?
9. Почему установка ВДТ на ЛЭП может привести к увеличению потерь электроэнергии в ЛЭП?

**Оценка каждой лабораторной работы производится в форме зачета без оценки**

### **3.3. Наименование оценочного средства – тест (ТЕСТ)**

#### **Перечень тестовых вопросов:**

#### **Вопросы для базового уровня**

#### **1 . Общие понятия об ЭЭС как объекте управления в процессе ее развития, о режимах работы и проблемах автоматизации**

- 1.1. Задачи оптимизации режимов энергосистемы
- 1.2. Погрешности исходных данных для решения задач оптимизации
- 1.3. Основные критерии задач оптимизации режимов
- 1.4. Основные устройства для обеспечения оптимальных режимов

#### **2. Методы оптимального управления развитием ЭЭС**

- 2.1. Оптимизация распределения нагрузок между генераторами электростанций методом Лагранжа
- 2.2. Оптимизация распределения нагрузок между генераторами электростанций методом динамического программирования
- 2.3. Распределение нагрузок между электростанциями
- 2.4. Оптимизация распределения реактивной мощности в системообразующей сети

#### **3. Методы построения систем управления режимами и развитием ЭЭС с элементами искусственного интеллекта**

- 3.1. Расходные характеристики агрегатов и характеристики относительных приростов расхода топлива
- 3.2. Построение расходных характеристик ТЭЦ для оптимизационных расчетов

- 3.3. Построение эквивалентных характеристик электростанций методом динамического программирования
- 3.4. Характеристики ГЭС в оптимизационных расчетах
- 4. Развитие ЭЭС по пути их интеллектуализации**
  - 4.1. Оптимизация мощности УКРМ
  - 4.2. Оптимизация очередности ввода УКРМ в сложных сетях
  - 4.3. Оптимизация законов регулирования напряжений в центрах питания
  - 4.4. Оптимизация мест размыкания в замкнутых сетях
  - 4.5. Оптимизация трасс кабельных ЛЭП
  - 4.6. Симметрирование нагрузок в сетях 0,4 кВ
- 5. Новые методы и подходы к созданию систем управления ЭЭС**
  - 5.1. Применение новых технологий при создании систем управления ЭЭС
  - 5.2. Энергетический подход к определению алгоритмов управления ЭЭС
  - 5.3. Принципы построения сложных кибернетических систем
  - 5.4. Системы управления потоками активной мощности

### **Вопросы для продвинутого уровня**

- 1. Общие понятия об ЭЭС как объекте управления в процессе ее развития, о режимах работы и проблемах автоматизации**
  - 1.1. Расставьте приоритеты задач оптимизации
  - 1.2. Технические пути уменьшения погрешностей первичных датчиков
  - 1.3. Расставьте критерии задач оптимизации по степени важности
  - 1.4. Целесообразность применения РПН на трансформаторах с ВН 6-10 кВ.
- 2. Методы оптимального управления развитием ЭЭС**
  - 2.1. Назначение неопределенных множителей Лагранжа?
  - 2.2. Формулировка принципа оптимальности Беллмана
  - 2.3. Главная особенность распределения нагрузок между электростанциями
  - 2.4. Определение реактивной мощности
- 3. Методы построения систем управления режимами и развитием ЭЭС с элементами искусственного интеллекта**
  - 3.1. Причина различия расходных характеристик однотипного оборудования?
  - 3.2. Построение расходных характеристик ТЭЦ методом наименьших квадратов
  - 3.3. Сколько матричных таблиц необходимо рассчитать для построения эквивалентной характеристики ТЭС с тремя генераторами ( по 100 МВт) и с шагом расчета 1 МВт?
  - 3.4. Как определить характеристику Нижнекамской ГЭС для оптимизационных расчетов?

#### **4. Развитие ЭЭС по пути их интеллектуализации**

- 4.1. Оптимизация мощности УКРМ. Главный критерий?
- 4.2. Оптимизация очередности ввода УКРМ в сложных сетях. Дайте определение первой матрицы соединений.
- 4.3. Оптимизация законов регулирования напряжений в центрах питания. Каков закон регулирования ?
- 4.4. Оптимизация мест размыкания в замкнутых сетях. В сетях каких напряжений применяется?
- 4.5. Оптимизация трасс кабельных ЛЭП. Метод динамического программирования.
- 4.6. Симметрирование нагрузок в сетях 0,4 кВ. Трансформаторы с симметрирующей обмоткой.

#### **5. Новые методы и подходы к созданию систем управления ЭЭС**

- 5.1. Системы управления ВТД
- 5.2. Системы управления секционирующими элементами
- 5.3. Новые подходы построения систем управления распределенной энергетикой
- 5.4. Системы противоаварийного управления

### **Впросы для высокого уровня**

#### **1. Общие понятия об ЭЭС как объекте управления в процессе ее развития, о режимах работы и проблемах автоматизации**

- 1.1. Как изменятся оптимизационные задачи развития при массовом внедрении термоядерной энергетики?
- 1.2. Каковы возможности программного уменьшения погрешностей измерения
- 1.3. Как изменятся критерии для задач оптимизации при повышении к.п. фотоэлементов до 70%?
- 1.4. Как изменятся устройства для обеспечения оптимальных режимом при очень резком изменении стоимости полупроводниковых устройств?

#### **2 . Методы оптимального управления развитием ЭЭС**

2.1. В каких случаях метод Лагранжа определит оптимальное распределение нагрузок?

2.2. Почему метод динамического программирования приемлем только для суммирующихся функций (аддитивных)?

2.3. Почему не включили в работу единственную в России ЛЭП 1150 кВ?

2.4. Почему конденсатор-источник реактивной мощности, а индуктивность – потребитель?



## **3ю Методы построения систем управления режимами и развитием ЭЭС с элементами искусственного интеллекта**

- 3.1. Технические мероприятия для улучшения расходных характеристик?
- 3.2. Построение расходных характеристик ТЭЦ с помощью метода штрафных функций
- 3.3. Построение эквивалентных характеристик электростанций методом динамического программирования
- 3.4. Каковы характеристики «русловых» ГЭС?

### **4. Развитие ЭЭС по пути их интеллектуализации**

- 4.1. Оптимизация мощности УКРМ. Какова может быть роль инвестора проекта?
- 4.2. Оптимизация очередности ввода УКРМ в сложных сетях. Какова роль стоимости оборудования?
- 4.3. Оптимизация законов регулирования напряжений в центрах питания. Главная проблема.
- 4.4. Оптимизация мест размыкания в замкнутых сетях. Реклоузеры, или выключатели нагрузки?
- 4.5. Оптимизация трасс кабельных ЛЭП. Новые методы прокладки кабельных ЛЭП
- 4.6. Симметрирование нагрузок в сетях 0,4 кВ. Что нужно делать ЖКЖ?

### **5. Новые методы и подходы к созданию систем управления ЭЭС**

- 5.1. Принципы управления интеллектуальной энергетической системой
- 5.2. Системы управления «умными» потребителями.
- 5.3. Система управления по критерию минимума расхода топлива.
- 5.4. Система управления ЭЭС в условиях дефицита активной мощности

<b>Уровень усвоения</b>	<b>1 тема</b>	<b>2 тема</b>	<b>3 тема</b>	<b>4 тема</b>
Согласно БРС	До 10 баллов	До 14 баллов	До 16 баллов	До 20 баллов
Базовый	4-6	8-10	10-12	14-16
Продвинутый	6-8	10-12	12-14	16-18
Высокий	8-10	12-14	14-16	18-20

## **Наименование оценочного средства СрС – КП**

### **Задания и методические указания к выполнению КП**

Целью КП является знакомство студентов с методом динамического программирования и градиентным методом для решения оптимизационных

задач в электроэнергетике. Знакомство с методами закрепляется решением соответствующих задач по индивидуальным заданиям.

Курсовой проект предусматривает решение задач по двум заданиям:

1. Выбор оптимальной трассы кабельной ЛЭП методом динамического программирования.
2. Оптимизация устройств компенсации реактивной мощности в сложных электрических сетях

## **Примеры выполнения заданий и варианты индивидуальных исходных данных**

### **Задание №1**

#### **Выбор оптимальной трассы кабельной ЛЭП методом динамического программирования**

Метод динамического программирования (МДП) позволяет относительно просто учитывать ограничения на параметры оптимизационной задачи в виде неравенств (расчетная нагрузка на генераторы не должна быть больше их номинальной мощности, расчетные сечения проводников ВЛ должны превышать сечения, при которых развивается коронный разряд и т. д).

Ограничения на параметры задачи в виде равенств (например, сумма мощностей в узлах сети должна быть равна нулю) математически корректно учитываются методом неопределенных множителей Лагранжа. Однако при этом возможно получение недопустимых решений (например, напряжение в узле может оказаться выше допустимого). Поэтому метод Лагранжа для

решения оптимизационных задач в чистом виде практически не используется, а дополняется другими методами (например, методом штрафных функций).

В то же время возможность МДП учитывать ограничения в виде неравенств ограничивает область его применения. МДП применим только для слагающихся (аддитивных) функций, например, вида

$$B = \sum_1^n B_i(P_i),$$

(1.1)

где  $B$  – суммарный расход топлива на электростанции;  $n$  – число генераторов электростанции;  $B_i(P_i)$  – расходная характеристика  $i$  – го генератора.

При использовании МДП процесс оптимизации разбивается на несколько шагов, что легко сделать для аддитивных функций. На первый взгляд можно искать оптимальное решение шаг за шагом. Это было бы правильным, если процесс оптимизации на каждом шаге можно было бы выбирать независимо от последующих шагов. Однако, большой выигрыш на каком-то шаге может привести к значительным потерям на последующих шагах. Есть исключение: последний шаг можно планировать без оглядки на будущее. Однако, выбирать процесс оптимизации на последнем,  $k$ -ом шаге возможно только в том случае, если известно чем закончился процесс на предыдущем  $k-1$  шаге. Поскольку это неизвестно, то необходимо задаваться различными предположениями на этот счет. Для каждого такого предположения определяется оптимальное решение на  $k$ -ом шаге. После этого производится процесс оптимизации на  $k-1$  шаге. Здесь опять необходимы предположения о том, чем закончился процесс на  $k-2$  шаге. Процесс выбора оптимального решения в МДП основывается на **принципе оптимальности Беллмана: процесс оптимизации на любом шаге должен выполняться таким образом, чтобы выигрыш на этом шаге плюс оптимальный выигрыш на последующих шагах был максимальным.**

Достаточно наглядно МДП представлен в задаче выбора оптимальной трассы кабельной ЛЭП в городских условиях (рис.1.1). На рисунке представлены 16 кварталов. Кружками обозначены перекрестки, линиями – улицы. Предполагается, что кабельную ЛЭП целесообразно прокладывать вдоль улиц. ЛЭП необходимо проложить от точки А до точки Б. Перед выбором оптимальной трассы необходимо определить стоимость прокладки ЛЭП вдоль каждой улицы (стоимости прокладки на рис. 1.1 показаны цифрами в прямоугольниках).

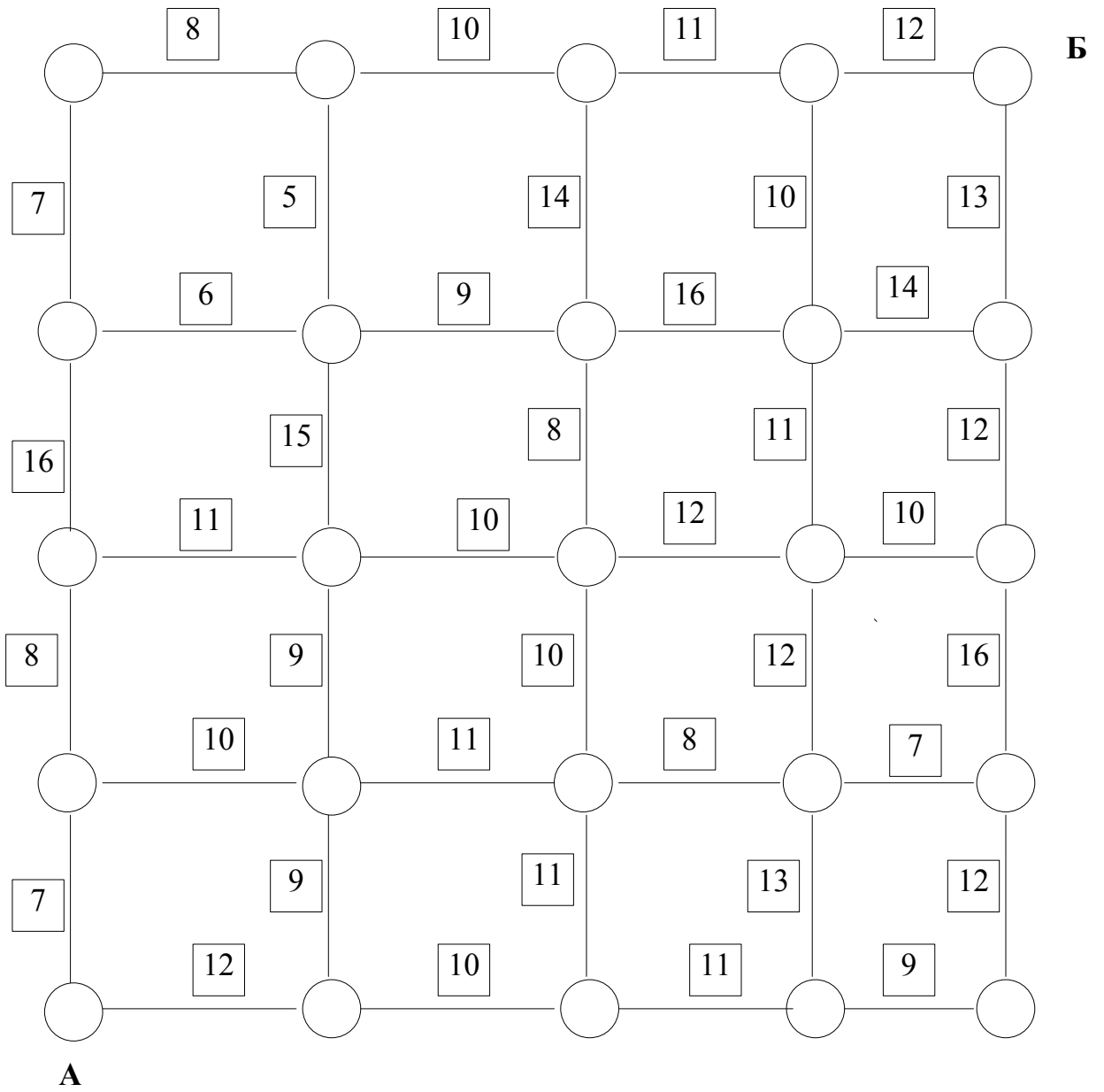


Рис. 1.1 Исходные данные задачи

Последний,  $k$ -ый шаг представлен на рис.1.2

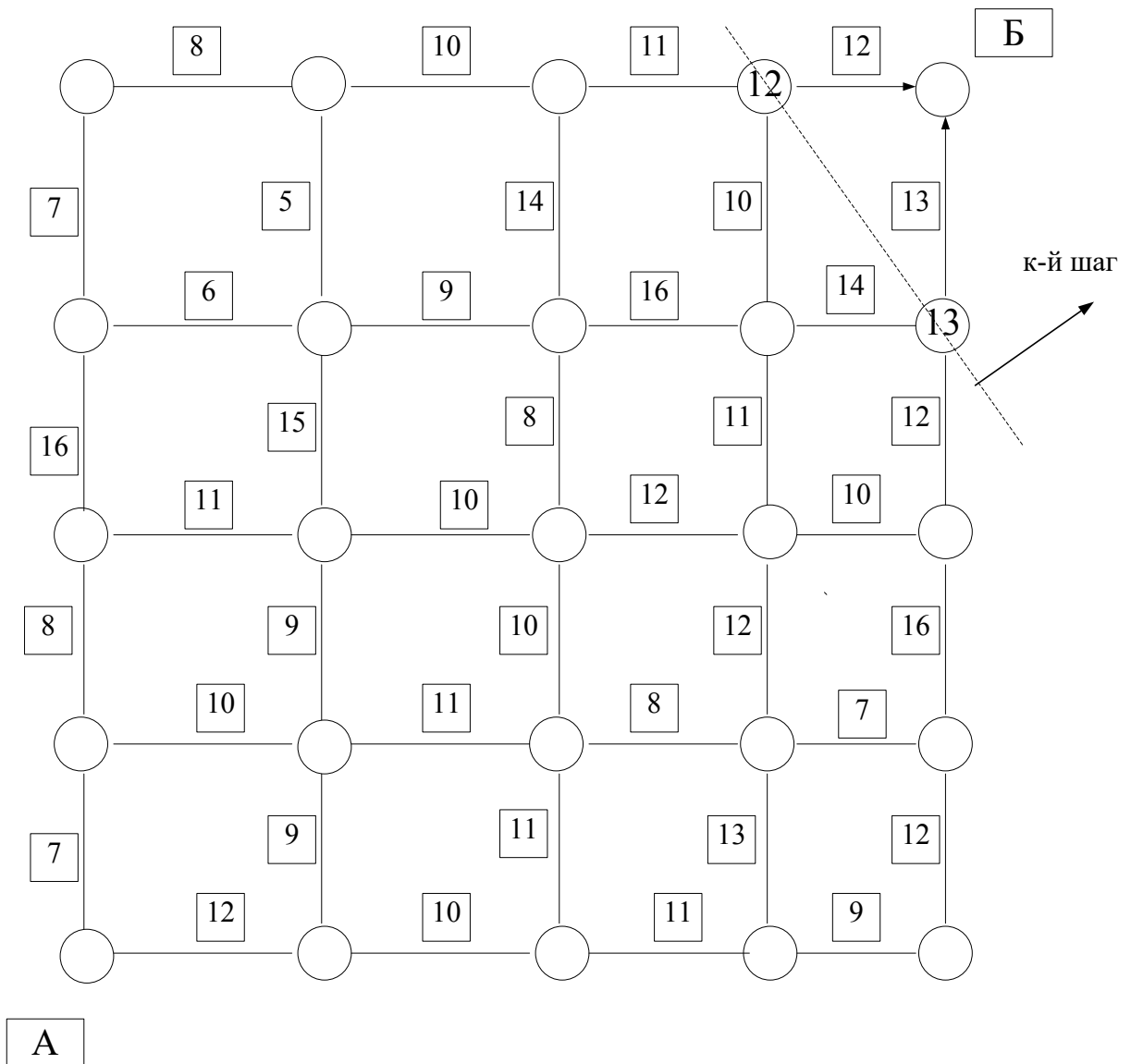


Рис.1.2. к-ый шаг задачи

Цифры в кружках показывают стоимость прокладки кабеля от перекрестка до точки Б. Шаг сделан без оглядки на будущее. Есть два предположения. Стрелки на улицах показывают направление прокладки кабеля.

На рис.1.3 представлены два последних шага процесса оптимизации.

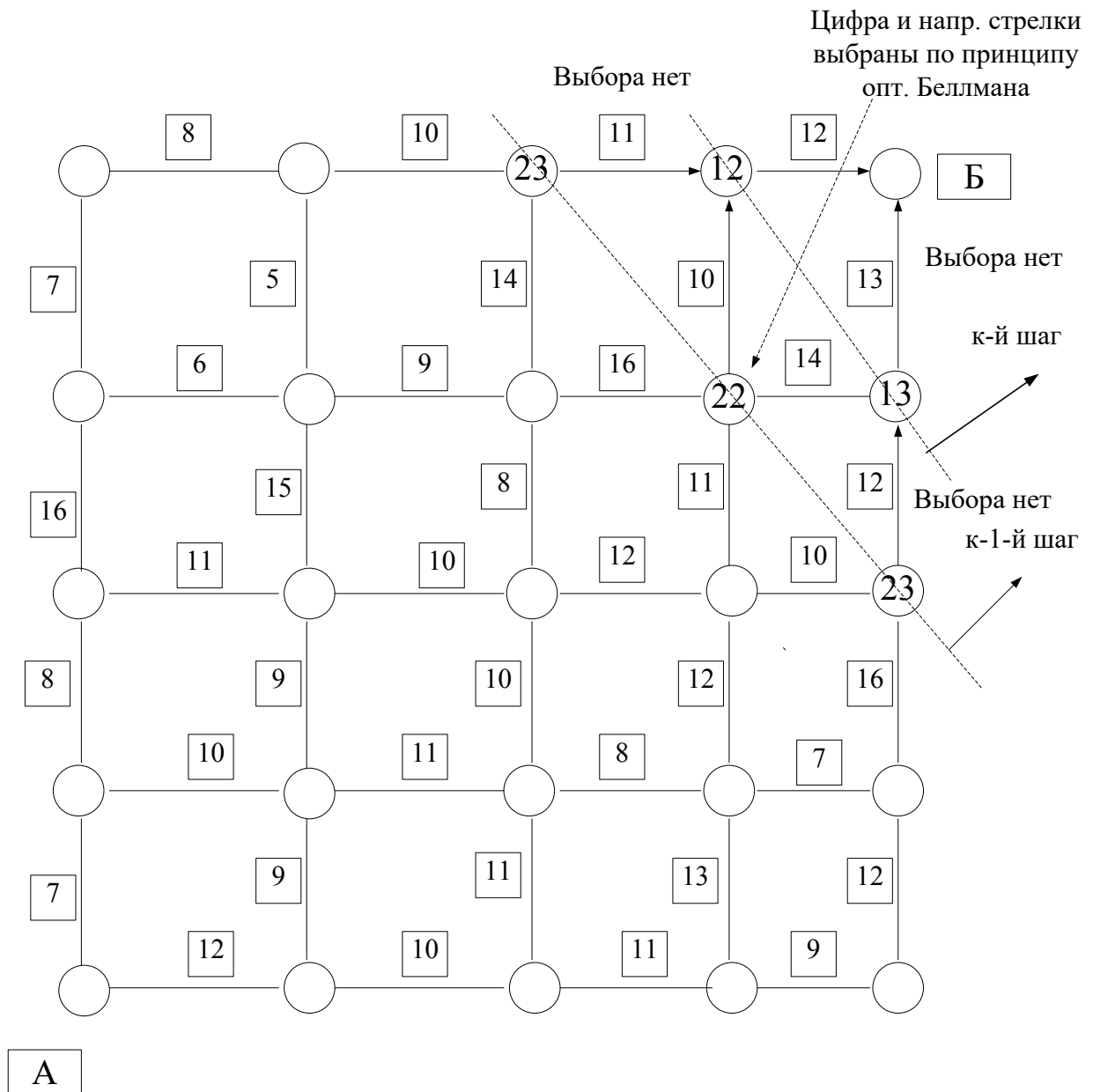


Рис.1.3 Два последних шага процесса оптимизации.

Цифра 22 и направление стрелок определены по принципу оптимальности Беллмана (наименьшая стоимость прокладки кабеля от соответствующего перекрестка до точки Б).

На рис. 1.4 представлены 3 последних шага и конечный результат оптимизации

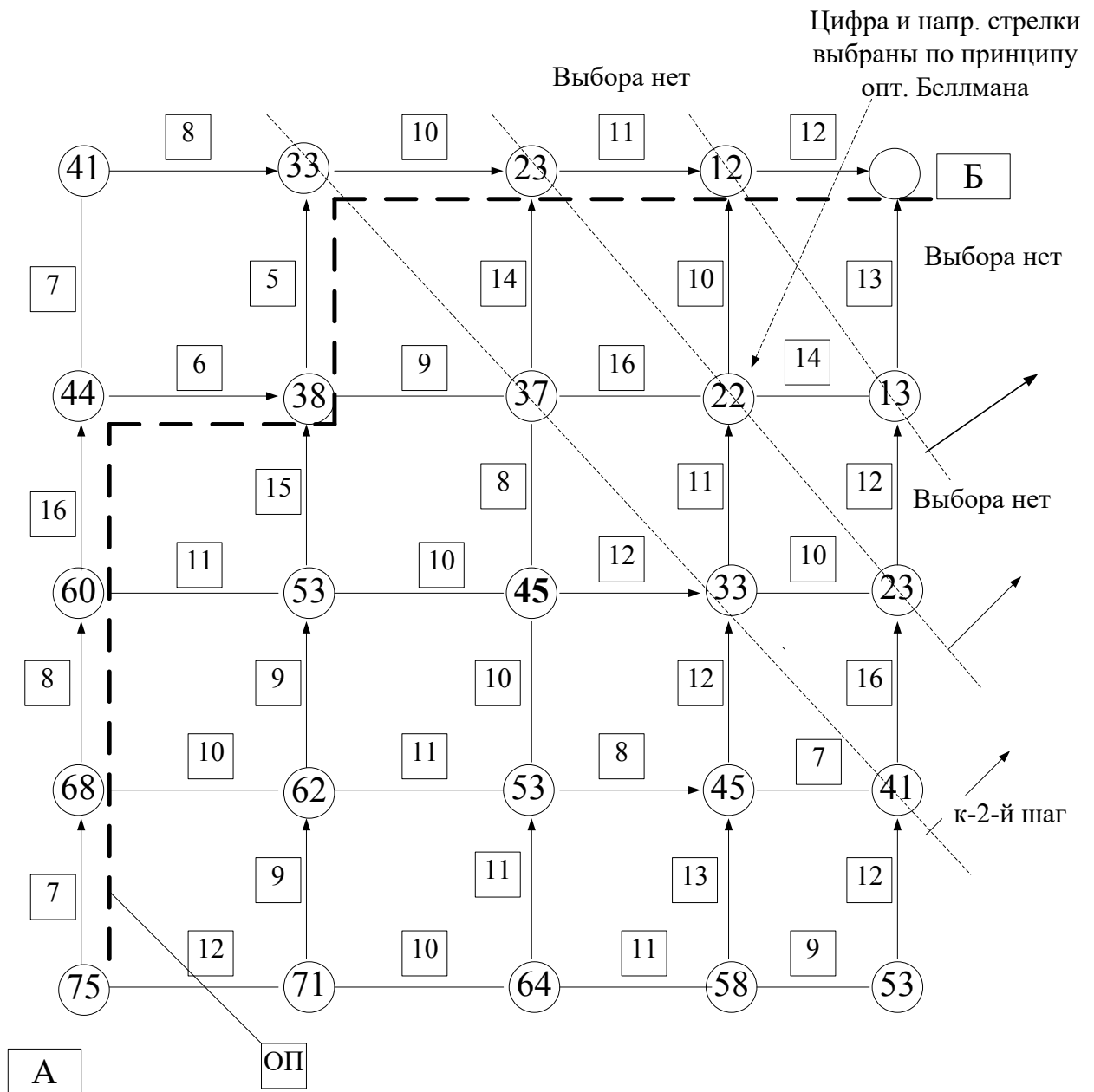


Рис. 1. 4. Оптимальная трасса кабельной ЛЭП.

Стоимость оптимальной трассы составляет 75 условных единиц. Оптимальная трасса (показана жирным пунктиром) прокладывается по стрелкам на улицах.

Следует отметить, что в соответствии с принципом Беллмана из перекрестка с цифрой **45** (выделена жирным шрифтом) кабель можно прокладывать как вверх, так и вправо. При этом в любом случае



максимальный выигрыш остается равным 45. В подобных ситуациях стрелку можно к любому перекрестку.

Ниже представлены варианты исходных данных для 3-х студенческих групп

**Выбор оптимальной трассы кабельной ЛЭП  
методом динамического программирования**

Таблица 1.1

	1	2	3	4	5	6	
43	44	45	46	47	48	49	
	7	8	9	10	11	12	
50	51	52	53	54	55	56	
	13	14	15	16	17	18	
57	58	59	60	61	62	63	
	19	20	21	22	23	24	
64	65	66	67	68	69	70	
	25	26	27	28	29	30	
71	72	73	74	75	76	77	
	31	32	33	34	35	36	
78	79	80	81	82	83	84	
<b>А</b>	37	38	39	40	41	42	<b>Б</b>

В табл. 1.1 цифрами отмечены **номера улиц городского квартала**

Стоимость прокладки кабеля по каждой из 84 улиц представлена в табл. 1.2

Задание:

Выбрать оптимальную трассу от пункта А до пункта Б

Таблица 1.2.  
Варианты Группа 1

№ ул.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9
3	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13
4	8	11	13	9	8	7	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	15	5	6	7	8	9
5	9	7	8	9	10	11	12	13	14	5	6	12	9	10	11	12	13	14	7	8	9	10	11	12	13
6	10	14	13	12	11	10	9	8	7	6	11	12	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	7	8	9
7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
8	9	16	8	11	12	10	8	10	8	10	12	10	7	11	12	8	12	11	12	12	11	11	7	7	11
9	10	12	10	7	8	12	10	12	16	11	10	12	14	7	8	8	11	7	8	8	12	12	14	14	7
10	11	10	12	14	12	11	12	11	12	11	12	11	8	14	12	10	12	8	8	12	8	8	7	7	7
11	11	12	11	8	7	12	11	12	10	11	11	7	8	8	7	12	8	12	12	8	12	12	14	14	14
12	11	11	7	8	14	8	7	8	12	9	12	14	12	8	14	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8
13	9	12	14	12	8	12	14	12	11	9	8	8	8	12	8	7	10	8	8	10	8	8	8	16	8
14	9	8	8	8	16	8	8	7	12	9	12	16	8	8	16	14	12	10	10	12	10	10	12	12	10
15	9	12	16	8	12	8	8	14	8	12	8	12	10	8	12	8	11	12	12	11	12	12	8	10	12
16	12	8	12	10	10	10	12	8	12	10	8	10	12	12	14	12	7	11	11	7	11	11	8	12	11
17	10	8	10	12	12	12	8	16	8	12	10	12	11	8	8	8	14	7	7	14	7	7	10	11	7
18	12	10	12	11	11	11	8	12	8	11	12	11	7	8	8	8	8	14	14	8	14	14	12	12	14
19	11	12	11	7	12	7	10	10	10	12	11	12	14	10	10	10	8	8	8	12	11	11	7	7	11
20	12	11	12	14	8	14	12	12	12	8	7	8	8	12	12	12	10	12	8	8	12	12	14	14	7
21	8	7	8	8	12	7	11	11	11	10	12	10	7	11	11	11	12	11	10	12	8	8	7	7	7
22	12	14	12	7	7	7	7	12	7	11	10	12	14	7	7	7	8	14	8	12	7	11	11	11	10
23	8	8	8	14	14	14	14	8	14	11	12	11	8	14	14	14	8	8	7	7	7	7	12	7	11
24	8	8	8	8	8	8	8	12	7	11	11	7	8	8	8	8	12	8	14	14	14	14	8	14	11
25	10	10	10	8	16	8	8	16	8	9	12	14	12	8	16	8	8	12	8	8	8	8	12	7	11

26	12	12	12	12	12	10	12	12	10		9	8	8	8	12	12	10	8	8	8	16	8	8	16	8	9
27	11	11	11	8	10	12	8	10	12		9	12	16	8	8	10	12	10	8	12	12	10	12	12	10	9
28	7	7	7	8	12	11	8	12	11		12	8	12	10	8	12	11	12	12	8	10	12	8	10	12	9
29	14	14	14	10	11	7	10	11	7		10	8	10	12	10	11	7	11	8	8	12	11	8	12	11	12
30	8	8	8	12	12	14	12	12	14		12	10	12	11	12	12	14	7	8	10	11	7	10	11	7	10
31	8	16	8	11	8	8	11	8	8		11	12	11	7	11	8	8	14	10	12	12	14	12	12	14	12
32	12	12	10	7	12	16	7	12	16		12	11	12	14	7	12	16	8	12	11	8	8	11	8	8	11
33	8	10	12	14	8	12	14	8	12		8	7	8	8	14	8	12	7	11	7	12	16	7	12	16	12
34	8	12	11	8	8	10	8	8	10		12	8	12	10	8	8	10	14	7	14	8	12	14	8	12	8
35	10	11	7	8	10	12	8	10	12		10	8	10	12	8	10	12	10	12	8	8	10	8	8	10	12
36	12	12	14	8	12	11	10	12	11		12	10	12	11	10	12	11	12	11	8	10	12	8	10	12	10
37	11	8	8	10	11	7	12	11	12		11	12	11	7	12	11	12	11	12	8	12	11	10	12	11	12
38	7	12	16	12	12	14	11	7	8		12	11	12	14	11	7	8	7	8	10	11	7	12	11	12	11
39	14	8	12	6	7	8	9	10	11		8	7	8	8	15	11	12	10	11	12	12	14	11	7	8	12
40	8	8	10		10	8	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	7	8	9	10	11	8
41	8	10	12	8	12	16	10	10	9		9	9	9	9	9	9	9	10	9		10	8	12	12	12	12
42	10	12	11	10	11	12	12	12	12		12	13	13	13	13	13	13	12	12	8	12	16	10	10	9	9
43	12	11	12	12	12	10	12	13	14		15	5	6	7	8	9	5	13	14	10	11	12	12	12	12	12
44	11	7	8	11	8	12	13	14	7		8	9	10	11	12	13	14	14	7	12	12	10	12	13	14	15
45	7	14	12	7	12	11	9	10	11		12	13	14	7	8	9	10	10	11	11	8	12	13	14	7	8
46	14	8	7	14	7	12	12	12	12		12	12	12	12	12	12	12	12	12	7	12	11	9	10	11	12
47	8	8	14	8	14	8	12	11	12		12	11	11	7	7	11	8	11	12	14	7	12	12	12	12	12
48	16	12	8	8	8	12	11	7	8		8	12	12	14	14	7	8	7	8	8	14	8	12	11	12	12
49	12	8	16	10	10	8	12	8	8		12	8	8	7	7	7	12	8	8	8	8	12	11	7	8	8
50	10	8	12	8	12	16	8	12	12		8	12	12	14	14	14	8	12	12	10	10	8	12	8	8	12
51	12	10	10	10	11	12	8	8	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	16	8	12	12	8
52	11	12	12	12	12	10	10	8	8		10	8	8	8	16	8	10	8	8	10	11	12	8	8	8	8
53	12	11	11	11	8	12	12	10	10		12	10	10	12	12	10	12	8	12	12	12	10	10	8	8	10
54	8	7	12	7	12	11	11	12	12		11	12	12	8	10	12	11	12	11	11	8	12	12	10	10	12
55	12	14	8	14	7	12	7	11	11		7	11	11	8	12	11	7	7	12	7	12	11	11	12	12	11
56	8	8	12	8	14	8	14	7	7		14	7	7	10	11	7	14	14	8	14	7	12	7	11	11	7

57	8	8	8	8	8	12	8	14	14		8	14	14	12	12	14	8	8	12	8	14	8	14	7	7	14
58	10	10	8	11	11	7	8	8	8		12	11	11	7	7	11	8	11	7	8	8	12	8	14	14	8
59	12	12	10	9	12	14	10	12	8		8	12	12	14	14	7	8	12	14	11	11	7	8	8	8	12
60	11	11	12	9	8	8	12	11	10		12	8	8	7	7	7	12	8	8	9	12	14	10	12	8	8
61	7	7	11	9	12	16	14	12	7		7	7	7	12	7	11	10	12	16	9	8	8	12	11	10	12
62	14	14	7	12	8	12	8	8	14		14	14	14	8	14	11	12	8	12	9	12	16	14	12	7	7
63	8	8	14	10	8	10	8	8	8		8	8	8	12	7	11	11	8	10	12	8	12	8	8	14	14
64	12	16	8	12	10	12	10	10	8		16	8	8	16	8	9	12	10	12	10	8	10	8	8	8	8
65	10	12	12	11	12	11	12	12	12		12	10	12	12	10	9	8	12	11	12	10	12	10	10	8	16
66	12	10	10	12	11	12	11	11	8		10	12	8	10	12	9	12	11	12	11	12	11	12	12	12	12
67	11	12	12	8	7	8	7	7	8		12	11	8	12	11	12	8	7	8	12	11	12	11	11	8	10
68	12	11	11	12	11	11	14	14	10		11	7	10	11	7	10	8	11	11	8	7	8	7	7	8	12
69	8	12	12	8	12	12	8	8	12		12	14	12	12	14	12	10	12	12	12	11	11	14	14	10	11
70	12	8	8	12	8	8	16	8	11		8	8	11	8	8	11	12	8	8	8	12	12	8	8	12	12
71	8	12	12	8	12	12	12	10	7		12	16	7	12	16	12	11	11	8	12	8	8	16	8	11	8
72	8	8	8	8	8	8	10	12	14		8	12	14	8	12	8	7	7	12	8	12	12	12	10	7	12
73	10	8	8	10	8	8	12	11	8		8	10	8	8	10	12	8	14	8	8	8	8	10	12	14	8
74	12	10	10	12	10	10	11	7	8		10	12	8	10	12	10	8	8	8	10	8	8	12	11	8	8
75	11	12	12	11	12	12	12	14	8		12	11	10	12	11	12	10	8	10	12	10	10	11	7	8	10
76	7	11	11	7	11	11	8	8	10		11	7	12	11	12	11	12	8	12	11	12	12	12	14	8	12
77	14	7	7	14	7	7	12	16	12		12	14	11	7	8	12	11	10	11	7	11	11	8	8	10	11
78	8	14	14	8	14	14	8	12	6		7	8	9	10	11	8	7	12	12	14	7	7	12	16	12	12
79	8	8	8	8	8	8	8	10	11		10	8	12	12	12	12	12	6	7	8	14	14	8	12	6	7
80	10	12	8	10	12	8	10	12	8		12	16	10	10	9	9	9	11	10	8	8	8	8	10	11	10
81	12	11	10	7	12	11	12	11	10		11	12	12	12	12	12	13	8	12	10	12	8	10	12	8	12
82	11	7	10	14	7	12	11	12	12		12	10	12	13	14	15	5	10	11	7	12	11	12	11	10	11
83	7	14	10	8	14	8	7	8	11		8	12	13	14	7	8	9	12	12	14	7	12	11	12	12	12
84	14	8	10	8	8	12	7	8	11		8	12	13	14	7	8	9	11	8	8	14	8	7	8	11	8

### Варианты Группа 2

№ ул.	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
1	12	12	12	12	12	12	12	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	12	12	8	12	12	14	14	14
2	9	9	9	9	9	9	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	8	8	8	8	8	8	8	8	8
3	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	5	6	7	8	9	10	10	12	7	10	8	10	12	7	8
4	5	6	7	8	9	10	11	12	11	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	12	11	14	12	10	12	11	14	10
5	14	9	10	11	14	7	8	9	10	9	10	11	12	13	14	15	16	8	9	10	11	7	8	11	12	11	7	8	12
6	10	11	12	9	10	11	12	13	14	7	8	9	10	11	10	12	10	7	8	14	7	14	16	12	11	12	14	7	11
7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	7	11	10	12	14	8	8	14	8	12	8	7	8	8	14	7
8	8	7	12	12	11	12	12	11	11	7	7	11	8	14	11	12	11	8	12	8	11	8	10	12	8	12	10	10	12
9	8	14	8	11	7	8	8	12	12	14	14	7	8	7	11	11	7	8	8	12	7	8	12	10	8	10	12	12	11
10	12	8	12	12	8	8	12	8	8	7	7	7	12	8	9	12	14	12	8	8	7	12	11	12	10	12	11	11	12
11	8	16	8	8	12	12	8	12	12	14	14	14	8	10	9	8	8	8	10	8	10	12	12	11	12	11	7	7	8
12	8	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	9	12	16	8	12	12	11	10	8	12	11	12	14	10	11
13	10	10	10	10	8	8	10	8	8	8	16	8	10	11	12	8	12	10	11	8	11	12	11	8	7	8	8	12	12
14	12	12	12	12	10	10	12	10	10	12	12	10	12	7	10	8	10	12	7	8	11	11	12	12	12	12	12	10	9
15	11	11	11	11	12	12	11	12	12	8	10	12	11	14	12	10	12	11	14	10	9	12	9	9	9	9	9	12	12
16	7	12	7	7	11	11	7	11	11	8	12	11	7	8	11	12	11	7	8	12	9	8	12	12	13	13	13	13	14
17	14	8	14	14	7	7	14	7	7	10	11	7	14	16	12	11	12	14	7	11	9	12	14	15	5	6	7	14	7
18	8	12	7	8	14	14	8	14	14	12	12	14	8	12	8	7	8	8	14	7	12	8	7	8	9	10	11	10	11
19	8	7	12	8	8	8	12	11	11	7	7	11	8	10	12	8	12	10	10	12	8	8	12	11	11	7	7	11	8
20	8	14	8	10	12	8	8	12	12	14	14	7	8	12	10	8	10	12	12	11	12	8	8	12	12	14	14	7	8
21	12	8	12	12	11	10	12	8	8	7	7	7	12	11	12	10	12	11	11	12	11	10	12	8	8	7	7	7	12

22	12	10	7	8	14	8	12	7	11	11	11	10	12	12	11	12	11	7	7	8	14	8	12	7	11	11	11	10	12
23	10	12	14	8	8	7	7	7	7	12	7	11	10	8	12	11	12	14	10	11	8	7	7	7	7	12	7	11	10
24	12	11	8	12	8	14	14	14	14	8	14	11	12	11	8	7	8	8	12	12	8	14	14	14	14	8	14	11	12
25	11	7	8	8	12	8	8	8	8	12	7	11	11	12	12	12	12	12	10	9	12	8	8	8	8	12	7	11	11
26	12	14	12	8	8	8	16	8	8	16	8	9	12	9	9	9	9	9	12	12	8	8	16	8	8	16	8	9	12
27	8	8	8	10	8	12	12	10	12	12	10	9	8	12	12	13	13	13	13	14	8	12	12	10	12	12	10	9	8
28	12	16	8	12	12	8	10	12	8	10	12	9	12	14	15	5	6	7	14	7	12	8	10	12	8	10	12	9	12
29	8	12	10	11	8	8	12	11	8	12	11	12	8	7	8	9	10	11	10	11	8	8	12	11	8	12	11	12	8
30	8	10	12	7	8	10	11	7	10	11	7	10	8	11	12	13	14	7	12	12	14	10	12	12	14	12	12	14	12
31	10	12	11	14	10	12	12	14	12	12	14	12	10	12	12	12	12	12	11	12	10	12	11	14	10	12	12	14	12
32	12	11	7	8	12	11	8	8	11	8	8	11	12	12	12	11	11	7	7	8	12	11	7	8	12	11	8	8	11
33	11	12	14	7	11	7	12	16	7	12	16	12	11	8	8	12	12	14	8	8	11	12	14	7	11	7	12	16	7
34	7	8	8	14	7	14	8	12	14	8	12	8	7	8	12	8	8	7	12	12	7	8	8	14	7	14	8	12	14
35	8	12	10	10	12	8	8	10	8	8	10	12	8	12	8	12	12	14	8	8	8	12	10	10	12	8	8	10	8
36	8	10	12	12	11	8	10	12	8	10	12	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	12	12	11	8	10	12	8
37	10	12	11	11	12	8	12	11	10	12	11	12	10	8	10	8	8	8	8	12	10	12	11	11	12	8	12	11	10
38	12	11	7	7	8	10	11	7	12	11	12	11	12	10	12	10	8	10	12	12	12	11	7	7	8	10	11	7	12
39	11	12	14	10	11	12	12	14	11	7	8	12	11	12	11	12	10	12	11	11	11	12	14	10	11	12	12	14	11
40	7	8	8	12	12	6	7	8	9	10	11	8	7	11	12	11	12	11	7	7	7	8	8	12	12	6	7	8	9
41	12	12	12	10	9	9	10	8	12	12	12	12	12	7	8	12	11	12	14	10	12	12	12	10	9	10	8	12	
42	9	9	9	12	12	8	12	16	10	10	9	9	9	10	11	8	7	8	8	12	9	9	9	12	12	8	12	16	10
43	13	13	13	13	14	10	11	12	12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12	10	13	13	13	13	14	10	11	12	12
44	5	6	7	14	7	12	12	10	12	13	14	15	5	10	9	9	9	9	9	12	5	6	7	14	7	12	12	10	12
45	9	10	11	10	11	11	8	12	13	14	7	8	9	12	12	12	13	13	13	13	9	10	11	10	11	11	8	12	13
46	13	14	7	12	12	7	12	11	9	10	11	12	13	13	14	15	5	6	7	14	13	14	7	12	12	7	12	11	9
47	12	12	12	11	12	14	7	12	12	12	12	12	12	14	7	8	9	10	11	10	12	12	12	11	12	14	7	12	12
48	11	11	7	7	8	8	14	8	12	11	12	12	11	10	11	12	13	14	7	12	11	11	7	7	8	8	14	8	12
49	12	12	14	8	8	8	8	12	11	7	8	8	12	12	12	12	12	12	12	11	12	12	14	8	8	8	8	12	11
50	8	8	7	12	12	10	10	8	12	8	8	12	8	11	12	12	11	11	7	7	8	8	7	12	12	10	10	8	12
51	12	12	14	8	8	8	12	16	8	12	12	8	12	7	8	8	12	12	14	8	12	12	14	8	8	8	12	16	8

52	8	8	8	8	8	10	11	12	8	8	8	8	8	8	8	12	8	8	7	12	8	8	8	8	8	10	11	12	8
53	8	8	8	8	12	12	12	10	10	8	8	10	8	12	12	8	12	12	14	8	8	8	8	8	12	12	12	10	10
54	10	10	12	12	11	11	8	12	12	10	10	12	10	8	8	8	8	8	8	10	10	12	12	11	11	8	12	12	
55	12	12	8	7	12	7	12	11	11	12	12	11	12	8	8	10	8	8	8	8	12	12	8	7	12	7	12	11	11
56	11	11	8	14	8	14	7	12	7	11	11	7	11	10	10	12	10	10	12	12	11	11	8	14	8	14	7	12	7
57	7	7	10	8	12	8	14	8	14	7	7	14	7	12	12	11	12	12	8	7	7	7	10	8	12	8	14	8	14
58	14	14	12	11	7	8	8	12	8	14	14	8	14	11	11	7	11	11	8	14	14	14	12	11	7	8	8	12	8
59	11	11	7	12	14	11	11	7	8	8	8	12	11	7	7	14	7	7	10	8	11	11	7	12	14	11	11	7	8
60	12	12	14	8	8	9	12	14	10	12	8	8	12	14	14	8	14	14	12	11	10	12	10	8	16	8	8	16	12
61	8	8	7	12	16	9	8	8	12	11	10	12	8	8	8	12	11	11	7	12	10	12	8	8	8	12	11	11	7
62	7	7	12	8	12	9	12	16	14	12	7	7	7	12	8	8	12	12	14	8	7	7	7	12	8	8	12	12	14
63	14	14	8	8	10	12	8	12	8	8	14	14	14	11	10	12	8	8	7	12	14	14	14	11	10	12	8	8	7
64	8	8	12	10	12	10	8	10	8	8	8	8	8	12	7	7	7	7	12	8	8	8	8	12	7	7	7	7	12
65	8	8	16	12	11	12	10	12	10	10	8	16	8	8	14	14	14	14	8	8	8	16	8	8	14	14	14	14	8
66	10	12	12	11	12	11	12	11	12	12	12	12	10	8	8	8	8	8	12	10	12	12	10	8	8	8	8	8	12
67	12	8	10	7	8	12	11	12	11	11	8	10	12	10	8	16	8	8	16	12	8	10	12	10	8	16	8	8	16
68	11	8	12	11	11	8	7	8	7	7	8	12	11	12	12	12	10	12	12	11	8	12	11	12	12	12	10	12	12
69	7	10	11	12	12	12	11	11	14	14	10	11	7	11	8	10	12	8	10	7	10	11	7	11	8	10	12	8	10
70	14	12	12	8	8	8	12	12	8	8	12	12	14	7	8	12	11	8	12	11	12	12	14	7	8	12	11	8	12
71	8	11	8	11	8	12	8	8	16	8	11	8	8	8	8	11	8	11	8	12	11	8	8	8	8	11	8	11	8
72	16	7	12	7	12	8	12	12	12	10	7	12	16	12	16	7	12	7	12	8	7	12	16	12	16	7	12	7	12
73	12	14	8	14	8	8	8	8	10	12	14	8	12	8	12	14	8	14	8	8	14	8	12	8	12	14	8	14	8
74	10	8	8	8	8	10	8	8	12	11	8	8	10	8	10	8	8	8	8	10	8	8	10	8	10	8	8	8	8
75	12	8	10	8	10	12	10	10	11	7	8	10	12	10	12	8	10	8	10	12	8	10	12	10	12	8	10	8	10
76	11	10	12	8	12	11	12	12	12	14	8	12	11	12	11	10	12	8	12	11	8	12	11	12	11	10	12	8	12
77	7	12	11	10	11	7	11	11	8	8	10	11	7	11	7	12	11	10	11	7	10	11	7	11	7	12	11	10	11
78	14	11	7	12	12	14	7	7	12	16	12	12	14	12	14	11	7	12	12	14	12	12	14	12	14	11	7	12	12
79	8	9	10	6	7	8	14	14	8	12	6	7	8	7	8	9	10	6	7	8	6	7	8	7	8	9	10	6	7
80	8	12	12	11	10	8	8	8	8	10	11	10	8	10	8	12	12	11	10	8	11	10	8	10	8	12	12	11	10

81	16	10	10	8	12	10	12	8	10	12	8	12	16	12	16	10	10	8	12	10	8	12	16	12	16	10	10	8	12
82	12	12	12	10	11	7	12	11	12	11	10	11	12	11	12	12	12	10	11	7	10	11	12	11	12	12	12	10	11
83	10	12	13	12	12	14	7	12	11	12	12	12	10	12	10	12	13	12	12	14	12	12	10	12	10	12	13	12	12
84	12	13	14	11	8	8	14	8	7	8	11	8	12	8	12	13	14	11	8	8	11	8	12	8	12	13	14	11	8

### Варианты Группа 3

№ ул.	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
1	12	10	12	10	10	8	16	8	8	12	12	12	7	7	7	7	7	7	7	7	8	12	12	8	12	12	
2	11	12	11	12	12	12	12	10	8	9	9	14	14	14	14	14	14	14	14	14	8	8	8	8	8	8	8
3	12	11	12	11	11	8	10	12	10	13	13	12	12	12	5	6	7	8	9	10	10	12	7	10	8	10	
4	8	7	8	7	7	8	12	11	12	9	10	11	12	9	9	12	10	12	10	10	8	16	8	8	10	12	
5	12	11	11	14	14	10	11	7	11	14	7	8	9	13	14	11	12	11	12	12	12	12	10	8	12	11	
6	8	12	12	8	8	12	12	14	7	10	11	12	13	11	10	12	11	12	11	11	8	10	12	10	11	12	
7	12	8	8	16	8	11	8	8	8	12	12	12	12	7	11	8	7	8	7	7	8	12	11	12	7	8	
8	8	12	12	12	10	7	12	16	12	11	12	12	11	14	11	12	11	11	14	14	10	11	7	11	8	12	
9	8	8	8	10	12	14	8	12	8	7	8	8	12	7	11	8	12	12	8	8	12	12	14	7	8	10	
10	10	8	8	12	11	8	8	10	8	8	8	12	8	8	9	12	8	8	16	8	11	8	8	8	10	12	
11	12	10	10	11	7	8	10	12	10	12	12	8	12	10	9	8	12	12	12	10	7	12	16	12	12	11	
12	11	12	12	12	14	8	12	11	12	8	8	8	8	12	9	8	8	8	10	12	14	8	12	8	11	12	
13	7	11	11	8	8	10	11	7	11	8	10	11	12	8	8	10	8	8	12	11	8	8	10	8	7	8	
14	8	12	11	11	7	7	11	8	10	10	12	12	6	8	12	12	10	10	11	7	8	10	12	10	12	12	
15	8	8	12	12	14	14	7	8	12	12	10	9	9	12	8	11	12	12	12	14	8	12	11	12	9	9	



16	12	11	7	7	8	10	7	12	11	11	12	12	8	8	8	7	11	11	8	8	10	11	7	11	13	13
17	11	12	14	10	11	12	10	12	12	7	13	14	10	8	10	8	12	14	7	11	9	12	14	15	5	6
18	7	8	8	12	12	6	11	10	11	12	14	7	12	10	12	10	12	14	14	7	12	8	7	8	9	10
19	12	12	12	10	9	9	11	12	12	6	10	11	11	12	11	12	8	8	10	12	8	8	12	11	11	7
20	9	9	9	12	12	8	11	10	9	9	12	12	7	11	12	11	12	16	12	11	12	8	8	12	12	14
21	13	13	13	13	14	10	9	12	12	8	11	12	14	7	8	12	8	12	11	12	11	10	12	8	8	7
22	5	6	7	14	7	12	9	13	14	10	7	8	8	10	11	8	8	10	7	8	14	8	12	7	11	11
23	9	10	11	10	11	11	9	14	7	12	8	8	8	12	12	12	10	12	10	11	8	7	7	7	7	12
24	13	14	7	12	12	7	12	10	11	11	12	12	10	10	9	9	12	11	12	12	8	14	14	14	14	8
25	12	12	12	11	12	14	10	12	12	7	8	8	8	12	12	12	11	12	10	9	12	8	8	8	8	12
26	11	11	7	10	11	12	8	8	12	14	7	8	12	12	14	11	7	8	12	12	8	8	16	8	8	16
27	12	12	14	12	12	6	8	12	8	8	10	11	8	7	8	9	10	11	13	14	8	12	12	10	12	12
28	8	8	7	10	9	9	12	8	12	8	12	12	12	10	8	12	12	12	14	7	12	8	10	12	8	10
29	12	12	14	12	12	8	8	8	8	10	10	9	9	12	16	10	10	9	10	11	8	8	12	11	8	12
30	8	8	8	13	14	10	8	10	8	8	12	12	12	11	12	12	12	12	12	14	10	12	12	14	12	
31	12	12	8	12	12	7	11	12	11	12	14	12	10	12	12	12	12	10	12	10	10	8	16	8	8	
32	12	11	7	11	12	14	7	8	12	7	7	8	10	12	12	11	11	11	12	11	12	12	12	12	10	8
33	11	12	14	7	8	8	10	11	8	14	10	11	12	8	8	12	12	12	11	12	11	11	8	10	12	10
34	7	8	8	8	8	8	12	12	12	8	12	12	6	8	12	8	8	8	7	8	7	7	8	12	11	12
35	8	12	10	12	12	10	10	9	9	12	10	9	9	12	8	12	12	12	11	11	14	14	10	11	7	11
36	8	10	12	8	8	8	12	12	12	9	12	12	8	8	8	8	8	8	12	12	8	8	12	12	14	7
37	10	12	11	11	12	8	12	13	13	13	13	14	10	8	10	8	8	12	8	8	16	8	11	8	8	8
38	12	11	7	7	8	10	11	12	10	12	10	10	8	16	8	8	8	8	12	12	12	10	7	12	16	12
39	11	12	14	10	11	12	12	11	12	11	12	12	12	12	10	8	10	8	8	8	10	12	14	8	12	8
40	7	8	8	12	12	6	7	12	11	12	11	11	8	10	12	10	12	10	8	8	12	11	8	8	10	8
41	12	12	12	10	9	9	10	8	7	8	7	7	8	12	11	12	11	12	10	10	11	7	8	10	12	10
42	9	9	9	12	12	8	12	12	11	11	14	14	10	11	7	11	7	11	12	12	12	14	8	12	11	12
43	13	13	13	13	14	10	11	8	12	12	8	8	12	12	14	7	12	7	11	11	8	8	10	11	7	11
44	5	6	7	14	7	12	12	12	8	8	16	8	11	8	8	8	9	12	10	10	11	7	8	10	12	10
45	9	10	11	10	11	11	8	8	12	12	12	10	7	12	16	12	13	11	12	12	12	14	8	12	11	12

46	13	14	7	12	12	7	12	8	8	8	10	12	14	8	12	8	5	7	11	11	8	8	10	11	7	11
47	12	12	12	11	12	14	7	10	8	8	12	11	8	8	10	8	9	10	11	10	12	12	12	11	12	14
48	11	11	7	7	8	8	14	12	10	10	11	7	8	10	12	10	13	14	7	12	11	11	7	7	8	8
49	12	12	14	8	8	8	8	11	12	12	12	14	8	12	11	12	12	12	10	12	10	10	8	16	8	8
50	8	8	7	12	12	10	10	7	11	11	8	8	10	11	7	11	11	11	12	11	12	12	12	12	10	8
51	12	12	14	8	8	8	12	16	8	12	12	8	12	7	8	8	12	12	11	12	11	11	8	10	12	10
52	8	8	8	8	8	10	11	12	8	8	8	8	8	8	8	12	8	8	7	8	7	7	8	12	11	12
53	8	8	8	8	12	12	12	10	10	8	8	10	8	12	12	8	12	12	11	11	14	14	10	11	7	11
54	10	10	12	12	11	11	8	12	12	10	10	12	10	8	8	8	8	8	12	12	8	8	12	12	14	7
55	12	12	8	7	12	7	12	11	11	12	12	11	12	8	8	10	8	12	8	8	16	8	11	8	8	8
56	11	11	8	14	8	14	7	12	7	11	11	7	11	10	10	12	10	8	12	12	12	10	7	12	16	12
57	7	7	10	8	12	8	14	8	14	7	7	14	7	12	12	11	12	8	8	8	10	12	14	8	12	8
58	14	14	12	11	7	8	8	12	8	14	14	8	14	11	11	7	11	10	8	8	12	11	8	8	10	8
59	11	11	7	12	14	11	11	7	8	8	8	12	11	7	7	14	7	12	10	10	11	7	8	10	12	10
60	12	12	14	8	8	9	12	14	10	12	8	8	12	14	14	8	14	11	12	12	12	14	8	12	11	12
61	8	8	7	12	16	9	8	8	12	11	10	12	8	8	8	12	11	7	11	11	8	8	10	11	7	11
62	7	7	12	8	12	9	12	16	14	12	7	7	7	12	8	8	12	12	14	8	7	7	7	12	8	8
63	14	14	8	8	10	12	8	12	8	8	14	14	14	11	10	12	8	8	7	12	14	14	14	11	10	12
64	7	10	9	9	11	11	16	15	11	12	9	9	10	8	7	10	11	12	14	15	9	8	7	8	9	10
65	8	8	16	12	11	12	10	12	10	10	8	16	8	8	14	14	14	14	8	8	8	16	8	8	14	14
66	10	12	12	11	12	11	12	11	12	12	12	12	10	8	8	8	8	8	12	10	12	12	10	8	8	8
67	12	8	10	7	8	12	11	12	11	11	8	10	12	10	8	16	8	8	16	12	8	10	12	10	8	16
68	11	8	12	11	11	8	7	8	7	7	8	12	11	12	12	12	10	12	10	10	8	16	8	8	12	12
69	7	10	11	12	12	12	11	11	14	14	10	11	7	11	12	10	12	10	10	8	16	8	8	8	8	10
70	14	12	12	8	8	8	12	12	8	8	12	12	14	7	11	12	11	12	12	12	12	10	8	10	8	12
71	8	11	8	11	8	12	8	8	16	8	11	8	8	8	12	11	12	11	11	8	10	12	10	12	8	11
72	16	7	12	7	12	8	12	12	12	10	7	12	16	12	8	7	8	7	7	8	12	11	12	11	16	7
73	12	14	8	14	8	8	8	8	10	12	14	8	12	8	12	11	11	14	14	10	11	7	11	7	12	14
74	10	8	8	8	8	10	8	8	12	11	8	8	10	8	8	12	12	8	8	12	12	14	7	8	10	8
75	12	8	10	8	10	12	10	10	11	7	8	10	12	10	12	8	8	16	8	11	8	8	8	12	12	8

76	11	10	12	8	12	11	12	12	12	14	8	12	11	12	8	12	12	12	10	7	12	16	12	8	11	10
77	7	12	11	10	11	7	11	11	8	8	10	11	7	11	8	8	8	10	12	14	8	12	8	8	7	12
78	14	11	7	12	12	14	7	7	12	16	12	12	14	12	10	8	8	12	11	8	8	10	8	10	14	11
79	8	9	10	6	7	8	14	14	8	12	6	7	8	7	12	10	10	11	7	8	10	12	10	12	8	9
80	8	12	12	11	10	8	8	8	8	10	11	10	8	10	11	12	12	12	14	8	12	11	12	11	8	12
81	16	10	10	8	12	10	12	8	10	12	8	12	16	12	7	11	11	8	8	10	11	7	11	12	16	10
82	12	12	12	10	11	7	12	11	12	11	10	11	12	11	12	12	12	10	11	7	10	11	12	11	12	12
83	10	12	13	12	12	14	7	12	11	12	12	12	10	12	10	12	13	12	12	14	12	12	10	12	10	12
84	12	13	14	11	8	8	14	8	7	8	11	8	12	8	12	13	14	11	8	8	11	8	12	8	12	13

## Задание №2

### Оптимизация мощности компенсирующих устройств в узлах сложной сети

Под сложной сетью далее понимается электрическая сеть с числом узлов больше 2-х. В рассматриваемой электрической сети нельзя определять оптимальную мощность УКРМ в каждом  $J$  – ом узле ( $Q_{куj}$ ), рассчитывая ее отдельно. Поток мощности в каждой ЛЭП определяется с учетом  $Q_{ку}$  во всех узлах. Причем установка КУ в одном узле влияет на эффективность установки КУ в других узлах. В общем случае решается задача: определить оптимальное сочетание  $Q_{ку}$ , обеспечивающее минимум расчетных затрат при ограничениях:

$$U_{jmin} < U_j \leq U_{jmax}, \quad S_i \leq S_{imax},$$

где  $J$ - номер узла,  $i$  – номер ветви.

В курсовом проекте в целях упрощения указанные ограничения не учитываются.

Поскольку потери мощности в электрических сетях пропорциональны току ( $\Delta P = I^2 R$ ), то эти потери нелинейно зависят от  $Q_n$  (рис. 2.1).

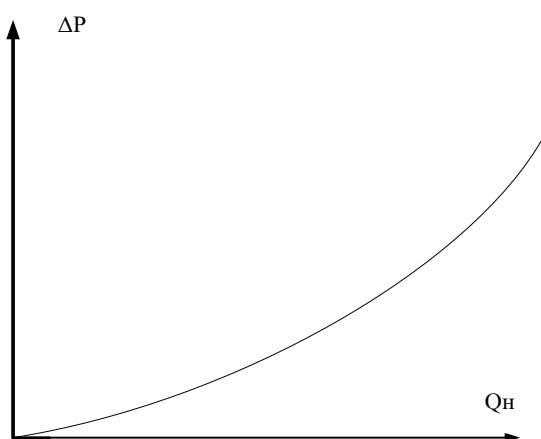


Рис. 2.1. Зависимость потери мощности от нагрузки узла

Как видно из рис. 2.1., наибольшая экономия потерь мощности достигается при снижении  $Q_n$  в области наибольших ее значений. Это означает, что в первую очередь

целесообразно устанавливать КУ в узлах с наибольшим наклоном кривой  $\Delta P = f(Q_H)$ .

Причем наклон указанной кривой определяется производной  $d \frac{\Delta P}{Q_H}$ .

При решении задачи оптимизации мощности и мест установки УКРМ необходимо также учитывать затраты на КУ.

Тогда целевая функция – годовые расчетные затраты для одного узла определяется формулой:

$$Z = Z_{э0} + Z_k = \frac{(Q_H - Q_{ку})^2}{U^2} R b_0 \tau + z_y Q_{ку},$$

Или, учитывая, что  $Q_H - Q_{ку} = Q$  и  $Q_{ку} = Q_H - Q$ , то

$$Z = Z_{э0} + Z_k = \frac{Q^2}{U^2} R b_0 \tau + z_y (Q_H - Q), \quad (2.1)$$

где:  $Z_{э0}$  – затраты на потери электроэнергии от перетоков  $Q$  – реактивной мощности, подтекаемой к узлу;  $Z_k$  – затраты на компенсирующие устройства (приобретение, эксплуатация);  $Q_H$  – реактивная нагрузка узла;  $Q_{ку}$  – мощность компенсирующего устройства;  $Q$  – реактивная мощность, подтекаемая к узлу;

$R$  – активное сопротивление ветвей от источника до потребителя;

$b_0$  – удельная стоимость потерь электроэнергии;  $\tau$  – число часов использования максимальной нагрузки;  $z_y$  – приведенные к году удельные затраты на компенсирующие устройства. (приобретение, эксплуатация):

$$z_y = K_{ку} \left( \frac{1}{t_{окпр}} + \frac{P^0}{100} \right), \quad (2.2)$$

где:  $K_{ку}$  – стоимость единицы мощности КУ;  $t_{окпр}$  – предельный срок окупаемости КУ, приемлемый для инвестора (например для ОАО «Сетевая компания»);  $P^0$  – процент на обслуживание КУ за год.

Подобные задачи обычно решаются градиентными методами. При этом реализуется итерационный алгоритм постепенного приближения к оптимальному решению. Для определения направления движения к оптимальному решению рассчитывают частные производные суммарных годовых затрат  $Z$  по мощности  $Q_j$ , подтекающей к каждому узлу по прилегающим ветвям. Вектор частных производных, дифференцируя выражения (2.1) для каждого узла:

$$\sigma = d \frac{3}{Q} = \frac{2C_{\text{э}}}{U^2} \mathbf{RQ} - 3_{\text{у}} = b \mathbf{C} - 3_{\text{у}}, \quad (2.3)$$

где: жирным шрифтом выделены вектора, или матрицы;  $C_{\text{э}} = b_0 \tau$  – стоимость потерь электроэнергии за год;  $\mathbf{C}$  – столбцовая матрица, элементами которой являются произведения  $i$ -ой строки матрицы узловых сопротивлений  $\mathbf{R}$  и столбцовой матрицы  $\mathbf{Q}$ ;

$$b = 2 \frac{C_{\text{э}}}{U^2}; \quad (2.4)$$

$3_{\text{у}}$  – столбцовая матрица удельных приведенных затрат на КУ (далее считаем, что удельные затраты во всех узлах одинаковы).

На рис. 2.1. представлены зависимости потерь электроэнергии за год ( $3_{\text{Q}}$ ) и затрат на компенсирующие устройства ( $3_{\text{к}}$ ) от передаваемой мощности ( $Q$ ).

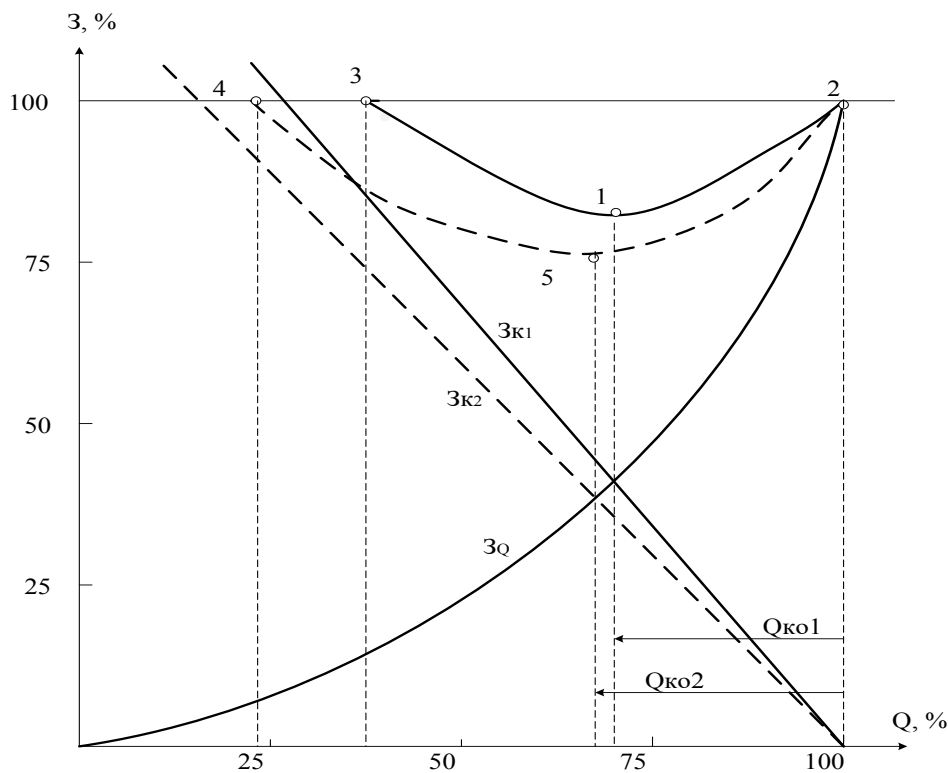


Рис. 2.2. Зависимости затрат на потери мощности и на КУ от передаваемой мощности.

При отсутствии компенсации реактивной мощности ( $Q_{\text{к}}=0$ ) суммарные годовые затраты составляют 100% (точка 2 на рис. 4.2). При росте  $Q_{\text{к}}$  суммарные затраты уменьшаются за счет уменьшения потерь. Минимум затрат соответствует точке 1. При этом вблизи точки 1 срок окупаемости КУ составляет  $t_{\text{окп}1}$ , например, 5 лет. Мощность

КУ Правее точки 1 включение единицы мощности УК осуществляется с меньшим сроком окупаемости. Дальнейшее увеличение мощности КУ будет осуществляться со все большим сроком окупаемости. В точке 3 уменьшение затрат за счет снижения потерь полностью компенсируется увеличением затрат на КУ. Причем срок окупаемости КУ, соответствующему точке 3 будет равным  $t_{\text{окпр1}}$ , так как экономия затрат на КУ вблизи точки 2 «съедается» ростом годовых затрат левее точки 1. Оптимальной мощностью КУ является  $Q_{\text{kol}}$  со сроком окупаемости меньше  $t_{\text{окпр1}}$ .

Пунктирными линиями на рис 2.1. представлены те же зависимости при  $t_{\text{окпр2}} > t_{\text{окпр1}}$ .

Физически частные производные (2.3) представляют собой удельные снижения суммарных затрат (руб\кВАр\*год) при снижении величины подтекаемой мощности к  $j$ -му узлу на единицу (при установке единичной мощности КУ в различных узлах). Далее определенную мощность КУ (порцию КУ) распределяют по узлам пропорционально частным производным. При таком распределении порции КУ большая часть этой порции попадает в узлы с большими значениями производных, так как снижение суммарной реактивной мощности в этих узлах наиболее значительно снижает суммарные затраты. При новых значениях реактивных мощностей в узлах вновь определяют частные производные, которые будут иметь меньшие значения, чем на предыдущем шаге и т.д. На каждом шаге оптимизации рассчитывают режим сети и проверяют соблюдение граничных условий. В расчете учитывают РПН с АРН трансформаторов, которые позволяют ввести уровни напряжений в сети в допустимые условия (в данных расчетах для упрощения задачи указанные расчеты режимов не производятся). После нескольких итераций некоторые частные производные могут стать отрицательными, что говорит о завышенной мощности КУ в соответствующих узлах. При распределении новой порции КУ в эти узлы необходимо добавить отрицательную порцию мощности КУ.

Расчет заканчивается, когда все частные производные  $\frac{\partial Z}{\partial Q_j}$  становятся достаточно малой, менее заранее установленной величины.

Ниже приводится расчет оптимальной мощности КУ в узлах 1,2,3 для схемы, приведенной на рис. 2.3

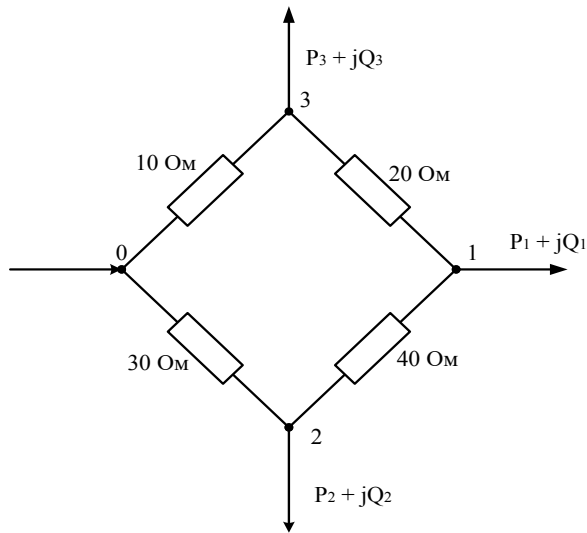


Рис.2.3. Расчетная схема сети 220 кВ

Исходные данные:  $Q_1 = 30$  МВАр,  $Q_2 = 40$  МВАр,  $Q_3 = 60$  МВАр;  
 $T = 4000$  час\год,  $b_0 = 2$  руб/кВт\*ч,  $K_{кв} = 800$  руб/кВАр = 0,8 млн. руб/МВАр,  $P^0 = 5\%$ ,  
 $t_{окпр} = 5$  лет.

Тогда:  $C_э = b_0 T = 2 * 4000 = 8$  млн. руб/кВт\*год;

$$z_y = 0,8 \left( \frac{1}{5} + \frac{5}{100} \right) = 0,2 \text{ млн. руб/МВАр*год};$$

$$b = 2 * 8 / 220^2 = 0,33 * 10^{-3}$$

Для определения матрицы узловых сопротивлений сначала определяем матрицу узловых проводимостей (элементы собственных проводимостей узлов равны суммам проводимостей ветвей, примыкающих к узлу, а взаимные проводимости равны проводимостям, связывающих узлы ветвей со знаком минус).

Матрица узловых проводимостей

$$G = \begin{vmatrix} \frac{1}{20} + \frac{1}{40} & -\frac{1}{40} & & \\ -\frac{1}{40} & \frac{1}{40} + \frac{1}{30} & & \\ & & 0 & \\ -\frac{1}{20} & & & \frac{1}{10} + \frac{1}{20} \end{vmatrix}$$



Матрица узловых сопротивлений  $\mathbf{R}$  равна обратной матрице  $G^{-1}$ .

Процесс вычисления  $\mathbf{R}$  достаточно сложен, поэтому при этом целесообразно обратиться к Интернету.

В рассматриваемом случае матрица  $\mathbf{R} =$

$$\begin{array}{ccc|c} 9 & & & 21 \\ & 7 & & \\ \hline & & 9 & 21 \\ & & & 3 \\ \hline & & & 7 \\ 3 & & 9 & \end{array}$$

Подставив все в (2.3) :

$$(2.5) \quad \sigma = 0,33 * 10^{-3} * \begin{array}{ccc|c} 21 & 9 & 7 & \\ \hline 9 & 21 & 3 & \\ \hline & 7 & 3 & 3 \end{array} * \begin{array}{c} 30 \\ 40 \\ 60 \end{array} = \begin{array}{c} 0,2 \\ - \\ 0,2 \end{array}$$

Элементы матрицы  $\mathbf{C}$  :

$$C1 = 21 * 30 + 9 * 40 + 7 * 60 = 1410$$

$$C2 = 9 * 30 + 21 * 40 + 3 * 60 = 1290$$

$$C3 = 7 * 30 + 3 * 40 + 9 * 60 = 870$$

После умножения  $\mathbf{C}$  на  $0,33 * 10^{-3}$

$$(2.6) \quad \sigma = \begin{array}{ccc|c} & & 0,465 & \\ & & 0,426 & \\ \hline & & & 0,2 \\ & & & \\ \hline & & & 0,2 \end{array} = \begin{array}{c} 0,265 \\ \\ 0,266 \\ \\ 0,287 \\ 0,2 \\ 0,087 \end{array}$$

Физический смысл частных производных значит, что, например, при включении в узел 1  $Q_{ку} = 1$  МВАр суммарные годовые затраты в сети от перетоков реактивной мощности уменьшатся на 0,265 млн. руб.

Примем в качестве первой порции распределяемой мощности  $Q_{куз} = 30$  МВАр. Существуют методы определения оптимальной «порции»- оптимального шага итерации. Однако они существенно усложняют процесс решения и в данной работе не рассматриваются.

Выбранную порцию распределяем согласно (2.6):

$$Q_{к1} = \frac{30 \cdot 0,265}{0,265 + 0,226 + 0,089} = 13,8 \text{ МВАр.}$$

Аналогично  $Q_{к2} = 11,7 \text{ МВАр}$ ,  $Q_{к3} = 4,5 \text{ МВАр}$ .

Новые реактивные нагрузки узлов:

$$Q_1 = 30 - 13,8 = 16,2 \text{ МВАр}, Q_2 = 28,3 \text{ МВАр}, Q_3 = 55,5 \text{ МВАр.}$$

Полученные нагрузки подставляем в (2.5) и вновь определяем частные производные (2-я итерация).

Процесс закончим, когда все  $\sigma$  станут меньше 0,015 (в идеале, близки к нулю).

На каждой итерации изменяем ее шаг (порцию  $Q_{куз}$ ) желательно в сторону уменьшения, относительно произвольно. (1-й шаг – 30 МВАр, 2-ой – 10 МВАр, 3-й – 10 МВАр, 4-й – 3 МВАр)

Результаты всех итераций сведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Итерация	1	2	3	4	5
Q1	30	16,2	11,3	6	3,6
Q2	40	28,3	24,4	20,5	19,3
Q3	60	55,5	54,3	53,5	54,1
$\sigma_1$	0,265	0,125	0,076	0,026	0,012
$\sigma_2$	0,226	0,099	0,056	0,013	-0,002
$\sigma_3$	0,087	0,030	0,011	-0,007	-0,0012
Qк1	13,8	18,7 (+4,9)	24 (+5,3)	26,4 (+2,4)	26,4
Qк2	11,7	15,6 (+3,9)	19,5 (+3,9)	20,7 (+1,2)	20,7
Qк3	4,5	5,7 (+1,2)	6,5 (+0,8)	5,9 (-0,6)	5,9
Q <sub>куз</sub>	30	40 (+10)	50 (+10)	53 (+3)	53
C1	1410	983	837	685	628
C2	1290	907	777	645	600
C3	870	698	641	585	670

На 4-ой итерации  $\sigma_3$  становится отрицательной, что говорит об избытке реактивной мощности в узле. Поэтому после этой итерации  $Q_{к3}$  необходимо уменьшить на величину, приблизительно равную увеличению  $Q_{к3}$  на предыдущей итерации.

На 5-ой итерации все  $\sigma$  по абсолютной величине оказались меньше 0,015, поэтому процесс решения заканчивается и  $Q_{к}$  больше не изменяются.

Потери мощности в сети без компенсации:

$$\Delta P_1 = \frac{1}{U^2} Q C = \frac{1}{220^2} \quad 30 \quad 40 \quad 60 \quad 1290 = 3,02 \text{ МВт} \\ 870$$

Потери мощности в сети после компенсации:

$$\Delta P_2 = \frac{1}{U^2} Q C = \frac{1}{220^2} \quad 3,6 \quad 19,3 \quad 54,1 \quad 600 = 0,92 \text{ МВт} \\ 570$$

Снижение затрат на потери электроэнергии:

$$\Delta \mathcal{E} = (3,02 - 0,92) C_{\mathcal{E}} = 2,8 * 8 * 10^{-3} = 16,8 \text{ млн.руб/год.}$$

Капиталовложения на приобретение и монтаж КУ

$$K_{ку} = 53 * 0,8 = 42,4 \text{ млн. руб.}$$

Ежегодные затраты на обслуживание КУ

$$Z_0 = P^0 K_{ку} / 100 = 5 * 42,4 / 100 = 2,12 \text{ млн. руб.}$$

что уменьшает ежегодный эффект от капиталовложений до  $16,8 - 2,12 = 14,68$  млн. руб/год.

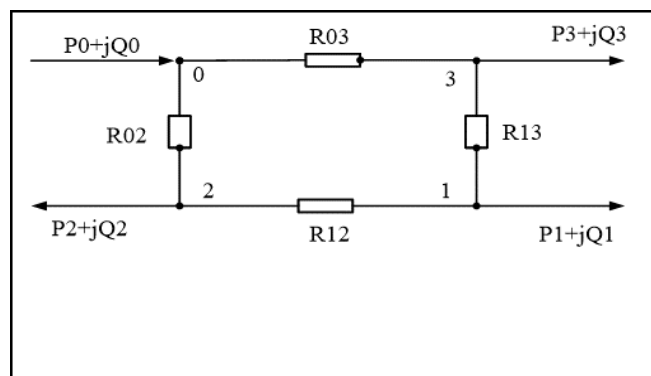
Тогда простой срок окупаемости КУ:

$$T_{ок} = 42,4 / 14,68 = 2,9 \text{ года}$$

## Варианты заданий задачи №2

### Схема сети

Группа 1



№ вар	Q1, МВАр	Q2, МВАр	Q3, МВАр	R03, Ом	R02, Ом	R12, Ом	R13, Ом
1	10	18	30	10	15	20	25
2	20	30	40	10	15	20	25
3	25	35	45	10	15	20	25
4	25	40	50	10	15	20	25
5	15	25	40	10	15	20	25
6	15	25	40	20	20	10	30
7	15	25	40	20	20	10	30
8	15	25	40	20	20	10	30
9	15	25	40	20	20	10	30
10	15	25	40	20	20	10	30
11	10	18	30	15	25	20	30
12	10	18	30	15	25	20	30
13	10	18	30	15	25	20	30
14	10	18	30	15	25	20	30
15	10	18	30	15	25	20	30
16	30	40	25	20	20	10	30
17	30	40	25	20	20	10	30
18	30	40	25	20	20	10	30
19	30	40	25	20	20	10	30
20	30	40	25	20	20	10	30
21	40	20	30	18	18	25	25
22	40	20	30	18	18	25	25
23	40	20	30	18	18	25	25
24	40	20	30	18	18	25	25
25	40	20	30	18	18	25	25

Группа 2

№ вар	Q1, МВАр	Q2, МВАр	Q3, МВАр	R03, Ом	R02, Ом	R12, Ом	R13, Ом
1	10	18	30	18	18	25	25
2	20	30	40	18	18	25	25
3	25	35	45	18	18	25	25
4	25	40	50	18	18	25	25
5	15	25	40	18	18	25	25
6	20	25	40	20	20	25	30
7	20	25	40	20	20	15	30
8	20	25	40	20	20	15	30
9	20	25	40	20	20	15	30
10	20	25	40	20	20	15	30
11	10	18	30	15	18	25	25
12	10	18	30	15	18	25	25
13	10	18	30	15	18	25	25
14	10	18	30	15	18	25	25
15	10	18	30	15	18	25	25

16	30	35	25	20	20	10	30
17	30	35	25	20	25	10	30
18	30	35	25	20	25	10	30
19	30	35	25	20	25	10	30
20	30	35	25	20	25	10	30
21	45	20	30	18	30	20	25
22	45	20	30	18	30	20	25
23	45	20	30	18	30	20	25
24	45	20	30	18	30	20	25
25	45	20	30	18	30	20	25

Выбрать оптимальные мощности КУ в узлах 1,2,3 При следующих условиях:

$T_{\max} = 4000$  час/год (число часов максимальных потерь),  $b_0 = 2$  руб/кВт\*час  
(стоимость потерь электроэнергии),  $C_{\Sigma} = 2 \cdot 4000 = 8000$  руб/кВт = 8 млн.руб/МВт,  
 $K_{ку} = 800$  руб/кВАр = 0,8 млн. руб/МВАр ( удельная стоимость КУ),  $P_0 = 5\%$   
(годовые затраты на обслуживание КУ в % от стоимости КУ),  $t_{\text{ок. пр.}} = 5$  лет

**КП оценивается комиссией в форме зачета с оценкой**

#### 4. Оценочный материал промежуточной аттестации – экзамен

##### Перечень вопросов к экзаменам:

1. Оптимизация генерирующих мощностей. Развитие ПГУ
2. Оптимизация развития генерирующих мощностей. Оптимизация развития АЭС
3. Оптимизация развития генерирующих мощностей. Развитие солнечных электростанций.
4. Оптимизация развития генерирующих мощностей. Развитие ветроэлектростанций.
5. Оптимизация развития передающих мощностей. Развитие проводниковых конструкций.
6. Оптимизация развития передающих мощностей. Развитие трансформаторов.
7. Оптимизация развития распределительных сетей. Реклоузеры
8. Оптимизация развития распределительных сетей. Автоматическое секционирование ЛЭП 6-10 кВ.
9. Метод динамического программирования
10. Выбор оптимальной трассы кабельной ЛЭП методом динамического программирования.
11. Компенсация реактивной мощности с помощью УКРМ. Цели
12. Выбор УКРМ в узлах сложной сети
13. Оптимизация развития распределительных сетей. Повышение напряжения
14. Оптимизация развития распределительных сетей. Столбовые подстанции
15. Проблемы солнечных электростанций
16. Проблемы ветроэлектростанций
17. Повышение пропускной способности передающих элементов с помощью УКРМ

- 18. Понятие реактивной мощности
- 19. Источники реактивной мощности
- 20. Потребители реактивной мощности

Оценочные материалы по дисциплине «Оптимизация электроэнергетических систем» разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВПО, с учетом рекомендаций ПрООП ВПО по направлению подготовки 13.03.2 «Электроэнергетика и электротехника»

Автор(ы):

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

к.т.н., проф. Маклецов А.М.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

Фонд оценочных средств обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электроэнергетические системы и сети» от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_.

Заведующий кафедрой «Электроэнергетические системы и сети»

\_\_\_\_\_  
подпись

к.т.н., доцент Максимов В.В.  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Директор «Института электроэнергетики и электроники»

И.В.

\_\_\_\_\_  
подпись

д.т.н., профессор Ившин  
ученая степень (звание), расшифровка подписи

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.