



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

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор института Электроэнергетики
и электроники


Ившин И.В.
28 октября 2020г.



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)
Профессиональные компетенции (ПК)		
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

ПК-1 Способен проводить научно- исследовательские работы в области профессиональной деятельности	ПК-1.4 Использует специализированное программное обеспечение при проведении научно-исследовательских работ в области профессиональной деятельности	<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</p> <p><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</p> <p><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

ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	216	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, 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
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС), в том числе:	96	96
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, экзамен)	35	35
ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	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								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	Сдача зачета / экзамена						Итого
Раздел 1. Оптимизация в электроэнергетических системах															
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-B1, ПК-1.3-B2	Л1.1, Л2.3, Л2.4, Л2.1	С6С 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			
ИТОГО		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
Всего		16

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	Продemonстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы 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 формулировках	Сформированы знания методов моделирования ЭЭС с незначительными ошибками в формулировках	Сформированы знания методов моделирования ЭЭС со значительными ошибками в формулировках	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				

	1.4	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
		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 для определения мощности УКРМ	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 незначительных 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	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 для определения оптимальной схемы автоматического секционирования распределительных сетей	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	https://e.lanbook.com/book/67460	
2	Герасименко А.А., Федин В.Т.	Передача и распределение энергии	учебное пособие	М.: Кнорус.	2014	https://www.book.ru/915111	

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	https://e.larbook.com/book/104575	

6.2. Информационное обеспечение

6.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронная библиотека BOOK.RU	https://www.book.ru

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

6.2.2. Профессиональные базы данных

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

6.2.3. Информационно-справочные системы

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

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	Требуется для каждого пользователя или устройства	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2014.0310 от 05.11.2014
4	Visual Studio Express	Инструмент создания Web приложений	https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/express/
5	Браузер Firefox	Свободный веб-браузер	https://www.mozilla.org/ru/firefox/new/
6	Adobe Acrobat	Пакет программ	https://get.adobe.com/ru/reader/

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	<p>46 посадочных мест, доска аудиторная, моноблок (13 шт.), проектор, экран, подключение к сети "Интернет", доступ в электронную информационно-образовательную среду</p>

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. 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
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	216	216
КОНТАКТНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ, 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
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ (СРС), в том числе:	181	182
Подготовка к промежуточной аттестации в форме: (курсовой проект, экзамен)	35	35
ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	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 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
подготовки

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

Квалификация магистр

г. Казань, 2020

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Оптимизация электроэнергетических систем»

Содержание ОМ соответствует требованиям федерального государственного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» и учебному плану.

1. ОМ соответствует требованиям, предъявляемым к структуре, содержанию ОМ по дисциплине, а именно:

1) Перечень формируемых компетенций, которыми должен овладеть обучающийся в результате освоения дисциплины, соответствует ФГОС ВО и профстандарту, будущей профессиональной деятельности выпускника.

2) Показатели и критерии оценивания компетенций, а также шкалы оценивания обеспечивают возможность проведения всесторонней оценки результатов обучения, уровней сформированности компетенций.

3) Контрольные задания и иные материалы оценки результатов освоения разработаны на основе принципов оценивания: валидности, определённости, однозначности, надёжности, а также соответствуют требованиям к составу и взаимосвязи оценочных средств, полноте по количественному составу оценочных средств и позволяют объективно оценить результаты обучения, уровни сформированности компетенций.

4) Методические материалы ОМ содержат чётко сформулированные рекомендации по проведению процедуры оценивания результатов обучения и сформированности компетенций.

2. Направленность ОМ по дисциплине соответствует целям ОПОП ВО по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профстандартам.

3. Объём ОМ соответствует учебному плану подготовки.


4. Качество ОМ в целом обеспечивают объективность и достоверность результатов при проведении оценивания с различными целями.

Заключение. На основании проведенной экспертизы можно сделать заключение, что ОМ по дисциплине соответствует требованиям ФГОС ВО, профессионального стандарта, современным требованиям рынка труда и рекомендуются для использования в учебном процессе.

Следует отметить, что созданы условия для максимального приближения системы оценки и контроля компетенций обучающихся к условиям их будущей профессиональной деятельности.

Рассмотрено на заседании учебно-методического совета института электроэнергетики и электротехники «28» октября 2020 г., протокол № 3

Председатель УМС


личная подпись

Ившин И.В.

Рецензент: Фамин Д.А., заместитель технического директора АО «Сетевая компания» по основным сетям и ремонту


личная подпись

Дата

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 дис- циплин ы	Вид СРС	Наимено- вание оценочног о средства	Код индикатора достижения компетенци й	Уровень освоения дисциплины, баллы			
				неудов-н о	удов-но	хорошо	отлично
				не зачтено	зачтено		
				низкий	ниже среднег	средни й	высоки й
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	менее 7	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

Уровень усвоения	1 тема	2 тема	3 тема	4 тема
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 (δU 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 ²	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 на 3 кВт*ч на опору
5	25	40	230	20	200	с возрастанием на 4 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.

$\cos \varphi$ нагрузки принять равным 0,9.

Реактивная мощность в начале ЛЭП $Q_n = P_n \cdot \tan \varphi$

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

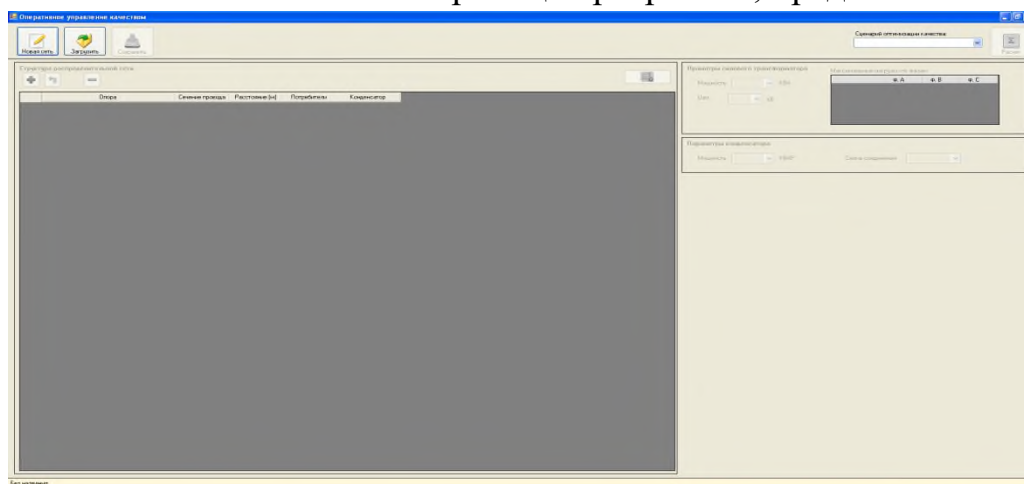


Рис. 4.1. Начальная форма программы.

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.

Опора	Сечение провода	Расстояние (м)	Потребитель	Конденсатор
Опора N1	16 кв.мм	40		
Опора N2	16 кв.мм	40		
Опора N3	16 кв.мм	40		
Опора N4	16 кв.мм	40		
Опора N5	16 кв.мм	40		
Опора N6	16 кв.мм	40		
Опора N7	16 кв.мм	40		
Опора N8	16 кв.мм	40		
Опора N9	16 кв.мм	40		
Опора N10	16 кв.мм	40		
Опора N11	16 кв.мм	40		
Опора N12	16 кв.мм	40		
Опора N13	16 кв.мм	40		
Опора N14	16 кв.мм	40		
Опора N15	16 кв.мм	40		
Опора N16	16 кв.мм	40		
Опора N17	16 кв.мм	40		
Опора N18	16 кв.мм	40		
Опора N19	16 кв.мм	40		
Опора N20	16 кв.мм	40		
Опора N21	16 кв.мм	40		
Опора N22	16 кв.мм	40		
Опора N23	16 кв.мм	40		
Опора N24	16 кв.мм	40		
Опора N25	16 кв.мм	40		
Опора N26	16 кв.мм	40		
Опора N27	16 кв.мм	40		
Опора N28	16 кв.мм	40		
Опора N29	16 кв.мм	40		
Опора N30	16 кв.мм	40		

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	234,312022	234,200312	234,093537	233,991
Опора №3	228,570859	230,001017	231,369277	232,712302	232,590689	232,475045	232,361094	232,252551	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	228,933952	226,622
Опора №7	216,564388	217,957402	219,289581	220,596992	221,880537	223,141581	224,381901	226,603648	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	220,186073	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.

	Потребление [кВт]	Потери [кВт]	Разница (потр.-пот.) [кВт]
Опора №14	199,951512	201,302945	202,594633
Опора №15	198,040338	199,387737	200,675484
Опора №16	196,246246	197,590002	198,874188
Опора №17	194,569802	195,910283	197,191263
Опора №18	193,011562	194,34911	195,627217
Опора №19	191,572051	192,906987	194,182533
Опора №20	190,251757	191,58438	192,857654
Опора №21	189,051111	190,381699	191,652974
Опора №22	187,970477	189,299291	190,56882
Опора №23	187,010142	188,337425	189,605447
Опора №24	186,170304	187,496283	188,76302
Опора №25	185,451061	186,77595	188,041612
Опора №26	184,852404	186,176405	187,441191
Опора №27	184,374213	185,697516	186,961613
Опора №28	184,016243	185,339032	186,60262
Опора №29	183,778131	185,00581	186,363833
Опора №30	183,659383	184,981665	186,244752

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 ²	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- установленного отклонения напряжения (δU доп $=\pm 10\%$) в точке отпуска электроэнергии наиболее удаленного потребителя (на опоре воздушной ЛЭП).

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

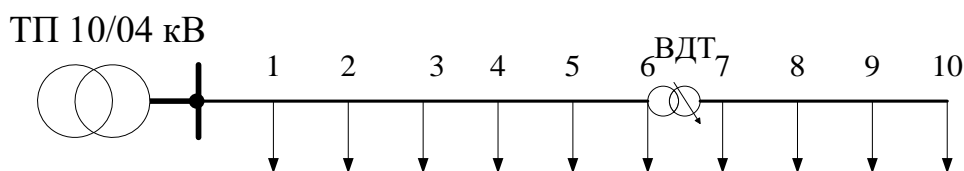


Рис. 5.1. Схема включения ВДТ в ЛЭП 0,4 кВ.

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 ²	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

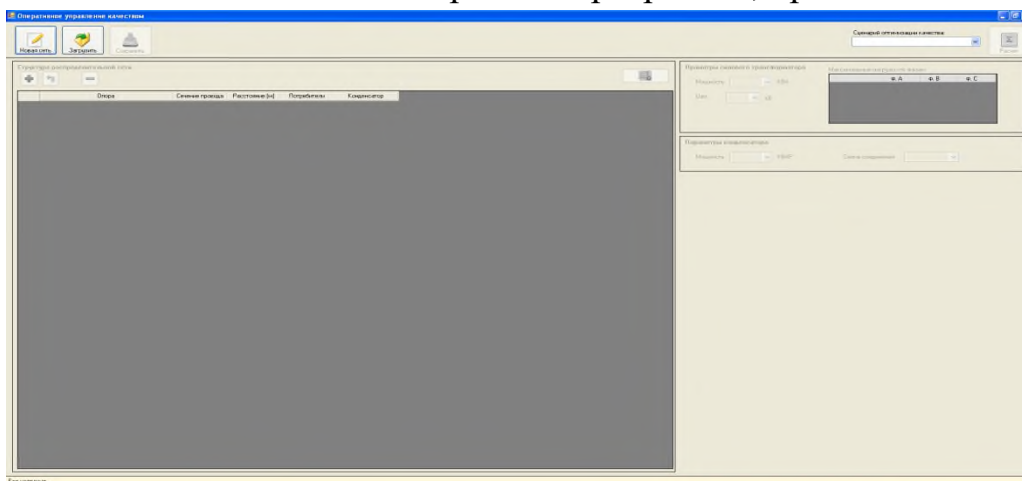


Рис. 5.2. Начальная форма программы.

2. Ввести в программу исходные данные варианта задания. Для этого нужно нажать кнопку «Новая сеть». Кнопка «+» означает ввод новой опоры ЛЭП, кнопка «-» - 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.

Оперативное управление качеством

Новая сеть Загрузить Сохранить

Структура распределительной сети

Опора	Сечение провода	Расстояние [м]	Потребитель	Конденсатор
Опора N1	16 квВ2	40		
Опора N2	16 квВ2	40		
Опора N3	16 квВ2	40		
Опора N4	16 квВ2	40		
Опора N5	16 квВ2	40		
Опора N6	16 квВ2	40		
Опора N7	16 квВ2	40		
Опора N8	16 квВ2	40		
Опора N9	16 квВ2	40		
Опора N10	16 квВ2	40		
Опора N11	16 квВ2	40		
Опора N12	16 квВ2	40		
Опора N13	16 квВ2	40		
Опора N14	16 квВ2	40		
Опора N15	16 квВ2	40		
Опора N16	16 квВ2	40		
Опора N17	16 квВ2	40		
Опора N18	16 квВ2	40		
Опора N19	16 квВ2	40		
Опора N20	16 квВ2	40		
Опора N21	16 квВ2	40		
Опора N22	16 квВ2	40		
Опора N23	16 квВ2	40		
Опора N24	16 квВ2	40		
Опора N25	16 квВ2	40		
Опора N26	16 квВ2	40		
Опора N27	16 квВ2	40		
Опора N28	16 квВ2	40		
Опора N29	16 квВ2	40		
Опора N30	16 квВ2	40		

Параметры силового трансформатора

Мощность: 100 KVA
Узел: 10 xB

Максимальные нагрузки по фазам

	ф. A	ф. B	ф. C
Зона Р4В1	15	15	15
Зона Q4В1	7	7	7
Лето Р4В1			
Лето Q4В1			

Параметры конденсатора

Мощность: 5 KBAP
Схема соединения: Треугольник

Опора и потребитель

Номер опоры: 5
Сечение провода: 16 квВ2
Расстояние до проводящей опоры [м]: 40

Потребитель

Конденсатор	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июн	Июль	Авг	Сент	Ок
Потребитель N5 [0]	300									

Очистить Сохранить

C:\Оптимизация сети\Сеть\Вариант 122.scp

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.

Оперативное управление качеством

Новая сеть Загрузить Сохранить

Структура распределительной сети

Опора	Сечение провода	Расстояние [м]	Потребитель	Конденсатор
Опора N1	16 квВ2	40		
Опора N2	16 квВ2	40		
Опора N3	16 квВ2	40		
Опора N4	16 квВ2	40		
Опора N5	16 квВ2	40		
Опора N6	16 квВ2	40		
Опора N7	16 квВ2	40		
Опора N8	16 квВ2	40		
Опора N9	16 квВ2	40		
Опора N10	16 квВ2	40		
Опора N11	16 квВ2	40		
Опора N12	16 квВ2	40		
Опора N13	16 квВ2	40		
Опора N14	16 квВ2	40		
Опора N15	16 квВ2	40		
Опора N16	16 квВ2	40		
Опора N17	16 квВ2	40		
Опора N18	16 квВ2	40		
Опора N19	16 квВ2	40		
Опора N20	16 квВ2	40		
Опора N21	16 квВ2	40		
Опора N22	16 квВ2	40		
Опора N23	16 квВ2	40		
Опора N24	16 квВ2	40		
Опора N25	16 квВ2	40		
Опора N26	16 квВ2	40		
Опора N27	16 квВ2	40		
Опора N28	16 квВ2	40		
Опора N29	16 квВ2	40		
Опора N30	16 квВ2	40		

Параметры силового трансформатора

Мощность: 100 KVA
Узел: 10 xB

Максимальные нагрузки по фазам

	ф. A	ф. B	ф. C
Зона Р4В1	15	15	15
Зона Q4В1	7	7	7
Лето Р4В1			
Лето Q4В1			

Параметры конденсатора

Мощность: 5 KBAP
Схема соединения: Треугольник

Опора и потребитель

Номер опоры: 5
Сечение провода: 16 квВ2
Расстояние до проводящей опоры [м]: 40

Потребитель

Конденсатор	Янв	Февр	Март	Апр	Май	Июн	Июль	Авг	Сент	Ок
Потребитель N5 [0]	300									

Очистить Сохранить

C:\Оптимизация сети\Сеть\Вариант 122.scp

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.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Выбор места установки конденсатора для схемы "Вариант122"												
2	Силовой трансформатор: мощность 100 МВА, напряжение 10 кВ.												
3	Конденсатор: мощность 0 мвар, Схема соединения ТРЭСГОПайка												
4	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
5	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
6	Сторона тр-ра 0.4кВ ф. А	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
7	Сторона тр-ра 0.4кВ ф. В	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
8	Сторона тр-ра 0.4кВ ф. С	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Опора №1 ф. А	228.10096	228.42935	228.41682	228.40485	228.39325	228.38158	228.37076	228.35995	228.34901	228.33883	228.32852	228.30815
11	Опора №1 ф. В	228.12152	228.44423	228.43214	228.42043	228.40845	228.3966	228.38753	228.37793	228.36789	228.35753	228.34753	228.32779
12	Опора №1 ф. С	228.13588	228.45779	228.4457	228.43385	228.42197	228.411	228.40011	228.38913	228.37896	228.36874	228.35836	228.34869
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Опора №2 ф. А	228.41722	227.07028	227.04451	227.02069	226.99723	226.97362	226.95174	226.92992	226.90782	226.88725	226.86429	226.83246
15	Опора №2 ф. В	228.24395	226.89704	226.87297	226.84897	226.82504	226.80169	226.78256	226.7621	226.74162	226.72055	226.69197	226.66198
16	Опора №2 ф. С	228.27583	226.92425	226.89979	226.87577	226.85173	226.82852	226.80793	226.78344	226.76477	226.74144	226.7212	226.69169
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Опора №3 ф. А	224.72823	225.37641	225.48244	225.54126	225.60068	225.57389	225.5467	225.50765	225.47419	225.44803	225.4146	225.3846
19	Опора №3 ф. В	224.36801	225.21628	225.52375	225.48714	225.45336	225.42005	225.38869	225.35542	225.3244	225.29293	225.26167	225.230182
20	Опора №3 ф. С	224.41027	225.06594	225.36232	225.32592	225.28945	225.25574	225.2224	225.18877	225.15759	225.12896	225.09487	225.06514
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Опора №4 ф. А	223.04	223.68131	223.86605	224.27873	224.23077	224.18234	224.13779	224.0931	224.04827	224.0031	223.96407	223.88079
23	Опора №4 ф. В	222.89281	223.53623	223.84342	224.13439	224.08877	224.04365	223.9986	223.9547	223.91492	223.87255	223.83144	223.79267
24	Опора №4 ф. С	222.74792	223.38939	223.69291	223.98479	223.93557	223.89005	223.84509	223.79976	223.75771	223.71566	223.67299	223.63132
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Опора №5 ф. А	221.55042	221.18944	222.48035	222.78088	223.08001	222.98032	222.88242	222.88623	222.82917	222.79638	222.7231	222.61801
27	Опора №5 ф. В	221.31837	221.18598	222.15986	222.45062	222.73903	222.67624	222.61905	222.56007	222.51332	222.45994	222.41009	222.35989
28	Опора №5 ф. С	221.0863	221.72999	222.02424	222.31395	222.59001	222.52999	222.47617	222.41889	222.36573	222.31265	222.25881	222.20861
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Опора №6 ф. А	220.96148	220.69619	220.89488	221.28165	221.54609	221.82487	221.79413	221.88801	221.81911	221.35485	221.49035	221.4247
31	Опора №6 ф. В	219.74097	220.37538	220.67616	220.96499	221.2435	221.51315	221.44591	221.38155	221.31798	221.25273	221.19238	221.13158
32	Опора №6 ф. С	219.42543	220.05734	220.35633	220.64386	220.91845	221.18474	221.15779	221.04632	220.98181	220.9174	220.85227	220.79144
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Опора №7 ф. А	218.97132	219.20156	219.30023	219.79705	220.06243	220.3246	220.57907	220.49879	220.4176	220.34187	220.26397	220.18679
35	Опора №7 ф. В	218.26417	219.19308	219.47996	219.73809	220.02683	220.28207	220.26067	220.13064	220.0421	219.96305	219.91148	219.83885
36	Опора №7 ф. С	217.56	218.56769	218.80468	219.17029	219.44205	219.70756	219.9607	219.78732	219.82255	219.72673	219.64985	219.57815
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Опора №8 ф. А	217.27934	217.90904	218.20396	218.48008	218.73983	219.02045	219.27341	219.51479	219.42098	219.33348	219.24391	219.15683
39	Опора №8 ф. В	216.76798	217.41378	217.72081	217.99206	218.27231	218.53553	218.79234	219.03877	218.90260	218.80483	218.70724	218.61025

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.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
106		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	Опора №25 ф. А	203,75508	204,34278	204,61935	204,88672	205,14343	205,38784	205,62505	205,85137	206,0645	206,272	206,46783	206,64922
108	Опора №25 ф. В	202,44934	203,03376	203,31096	203,57706	203,8355	204,08412	204,32105	204,55221	204,77318	204,98153	205,18556	205,37853
109	Опора №25 ф. С	201,16403	201,74336	202,01747	202,28107	202,53281	202,77894	203,01058	203,23166	203,44688	203,65109	203,84189	204,02776
110		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	Опора №26 ф. А	203,57467	204,16185	204,43817	204,70531	204,96179	205,20598	205,44299	205,6691	205,88204	206,08936	206,28502	206,46625
112	Опора №26 ф. В	202,09101	202,67439	202,9511	203,21673	203,47472	203,72289	203,9594	204,19015	204,41074	204,61871	204,82238	205,01502
113	Опора №26 ф. С	200,80856	201,38687	201,66049	201,92362	202,17492	202,41862	202,65185	202,87254	203,08737	203,29123	203,48149	203,66723
114		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Опора №27 ф. А	203,39427	203,98094	204,25701	204,52391	204,78017	205,02414	205,26994	205,50685	205,73967	205,96074	206,17222	206,37329
116	Опора №27 ф. В	201,91207	202,49484	202,77141	203,0368	203,29456	203,54251	203,77882	204,00936	204,22975	204,43754	204,64103	204,83149
117	Опора №27 ф. С	200,43313	201,03042	201,30356	201,56623	201,81708	202,06034	202,29316	202,51346	202,72792	202,93141	203,12134	203,30675
118		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	Опора №28 ф. А	203,21189	203,80003	204,07586	204,34253	204,59855	204,84231	205,0789	205,30461	205,51717	205,72412	205,91943	206,10034
120	Опора №28 ф. В	201,73116	202,31551	202,59173	202,85689	203,11441	203,36215	203,59824	203,82359	204,04078	204,25039	204,4597	204,65199
121	Опора №28 ф. С	200,27943	200,85343	201,12532	201,38776	201,63839	201,88144	202,11405	202,33415	202,54842	202,75173	202,94149	203,12674
122		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Опора №29 ф. А	203,21189	203,80003	204,07586	204,34253	204,59855	204,84231	205,0789	205,30461	205,51717	205,72412	205,91943	206,10034
124	Опора №29 ф. В	201,55425	202,13608	202,41206	202,67698	202,93428	203,1818	203,41768	203,64782	203,86782	204,07524	204,27837	204,47049
125	Опора №29 ф. С	200,08818	200,67443	200,94771	201,20931	201,45971	201,70255	201,93495	202,15488	202,36894	202,57207	202,76186	202,94675
126		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	Опора №30 ф. А	203,21188	203,80003	204,07586	204,34253	204,59855	204,84231	205,0789	205,30461	205,51717	205,72412	205,91943	206,10034
128	Опора №30 ф. В	201,55425	202,13608	202,41206	202,67698	202,93428	203,1818	203,41768	203,64782	203,86782	204,07524	204,27837	204,47049
129	Опора №30 ф. С	199,92073	200,49649	200,7689	201,03087	201,28106	201,52368	201,75587	201,97359	202,18948	202,39243	202,58185	202,76677
130		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131													
132	Потери [кВт]	1,24496	1,29512	1,32587	1,35767	1,39073	1,42525	1,46142	1,49944	1,5395	1,58175	1,62643	1,6737
133	Потребление [кВт]	40,80473	41,57187	41,66693	41,75394	41,83319	41,90491	41,96937	42,02675	42,07725	42,12106	42,15983	42,18912
134	Разница [потр.-пот.]	39,55977	40,27675	40,34106	40,39628	40,44246	40,47966	40,50795	40,52731	40,53775	40,53931	40,53187	40,51542
135													
136													
137													
138													
139													
140													
141													
142													
143													
144													
145													

Рис. 5.6. Результаты расчета.

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

- Путем расчета режимов при поочередным размещении 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 ²	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

Уровень усвоения	1 тема	2 тема	3 тема	4 тема
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).

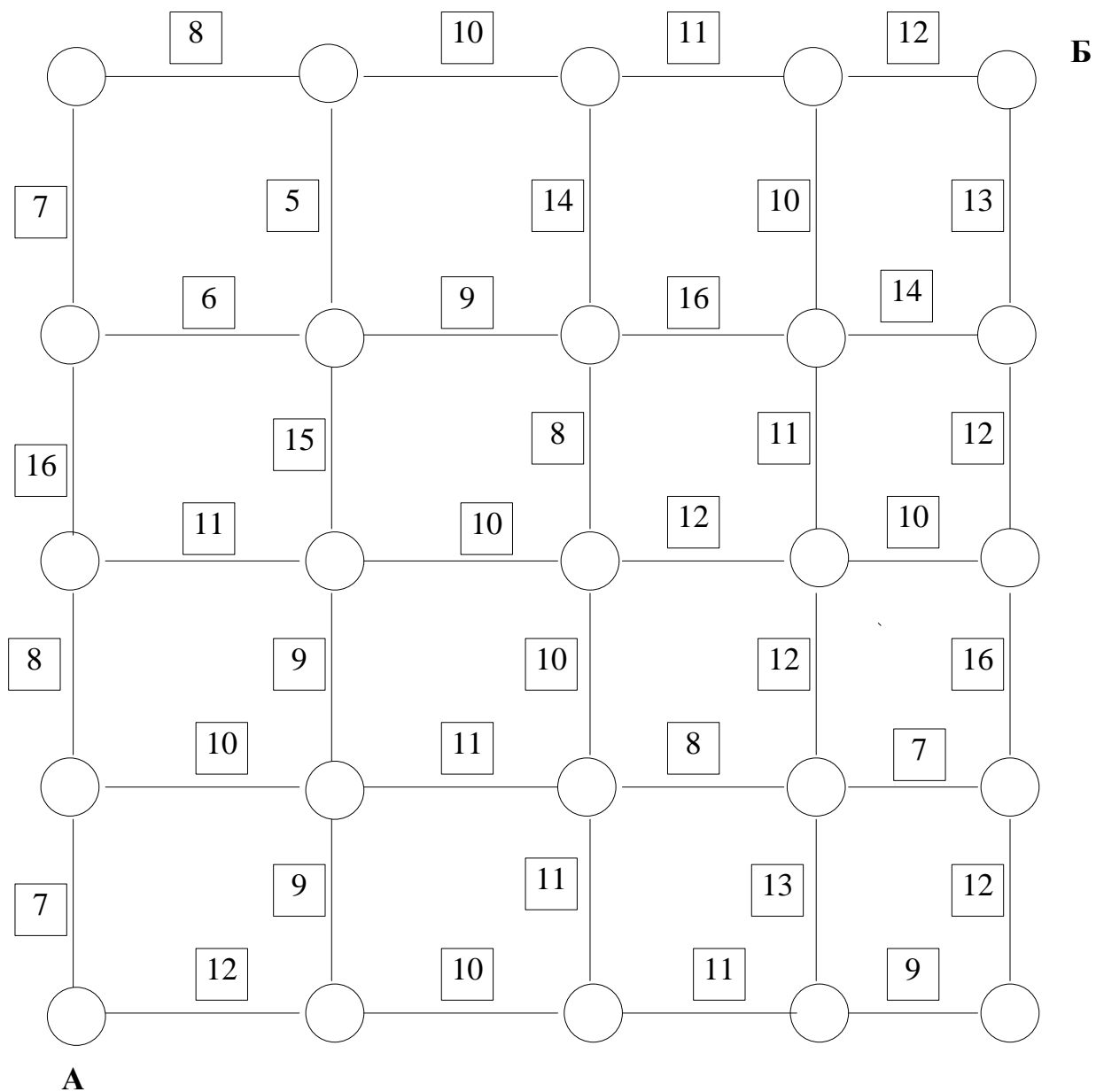


Рис. 1.1 Исходные данные задачи

Последний, к-ый шаг представлен на рис.1.2

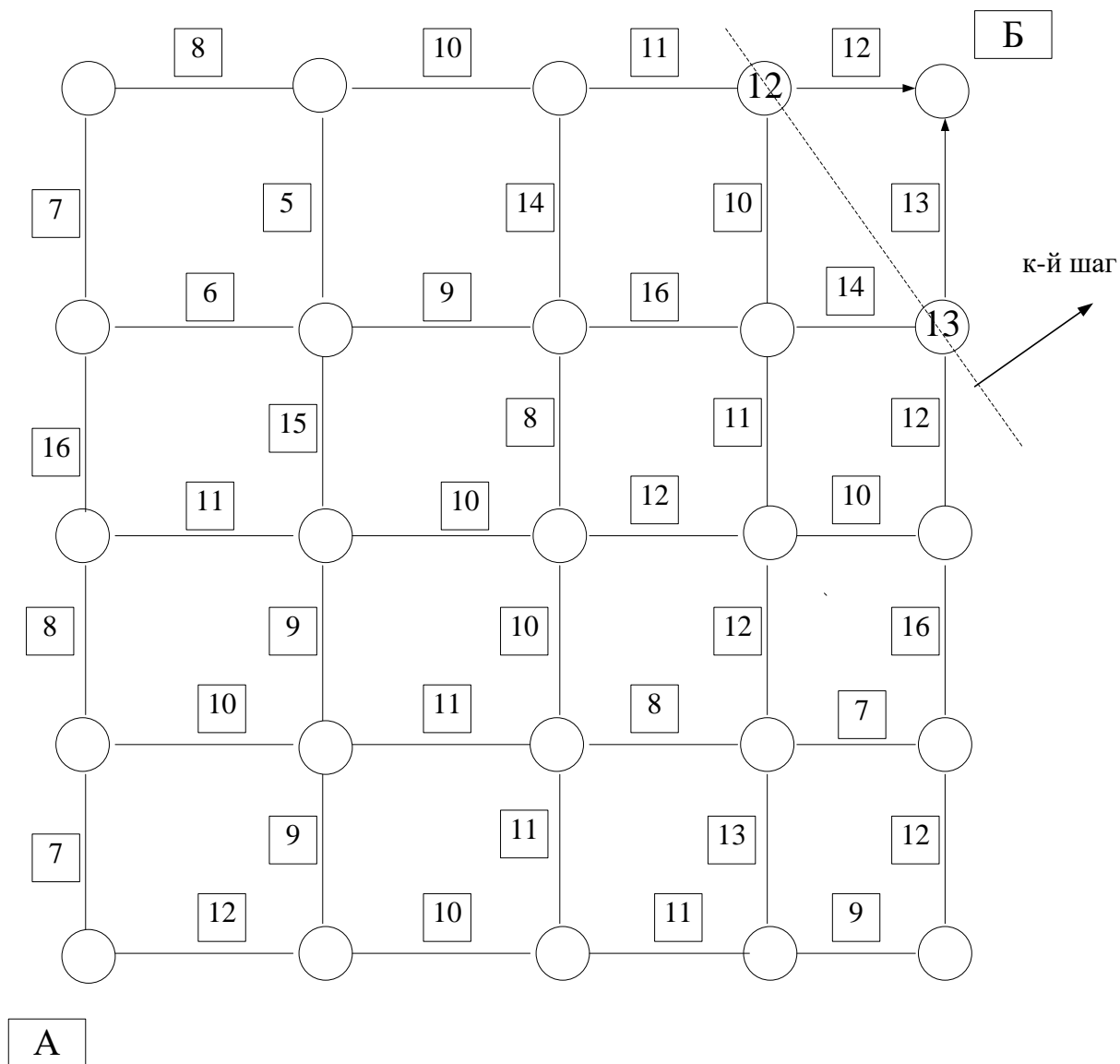


Рис.1.2. к-ый шаг задачи

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.

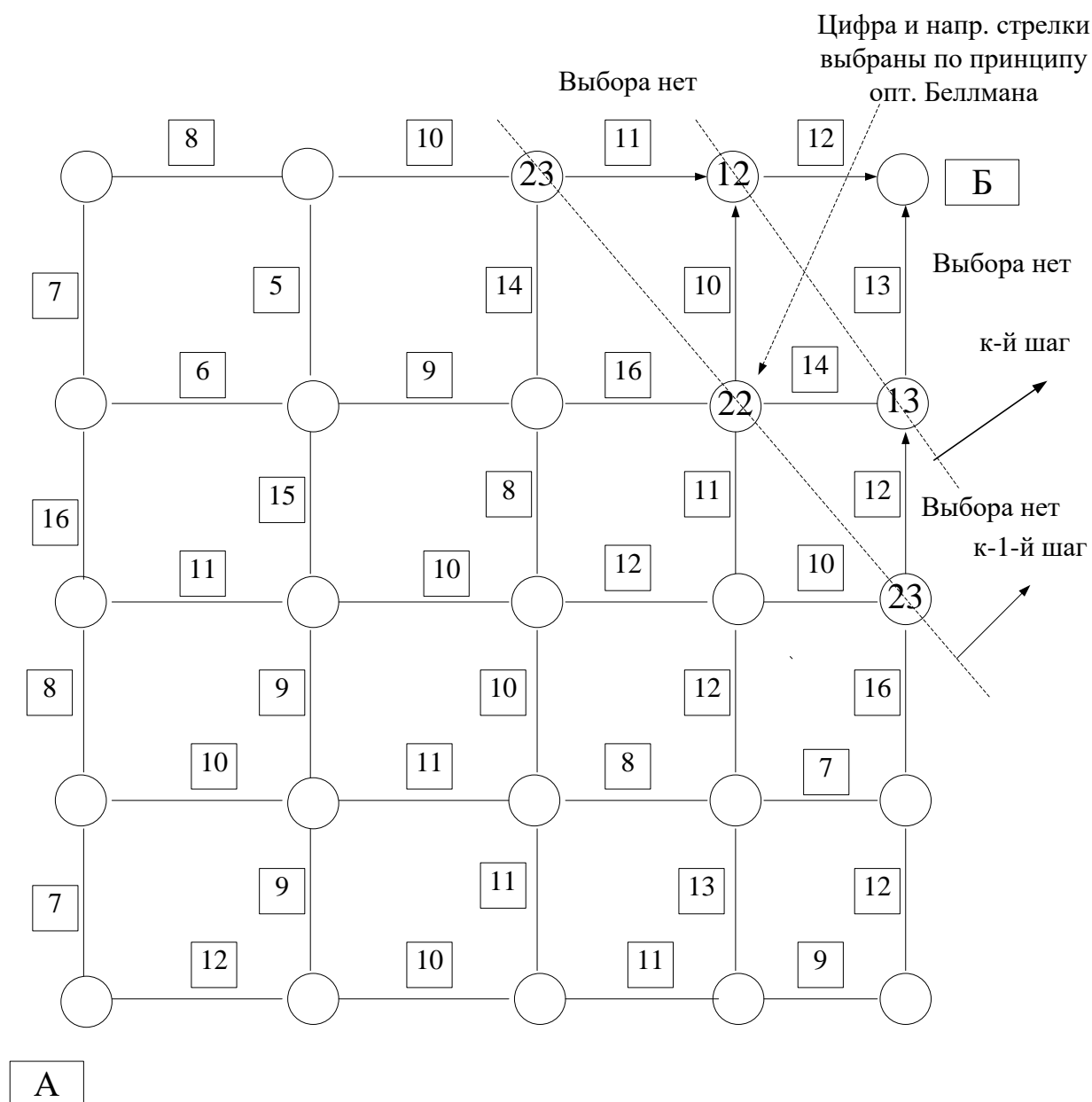


Рис.1.3 Два последних шага процесса оптимизации.

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

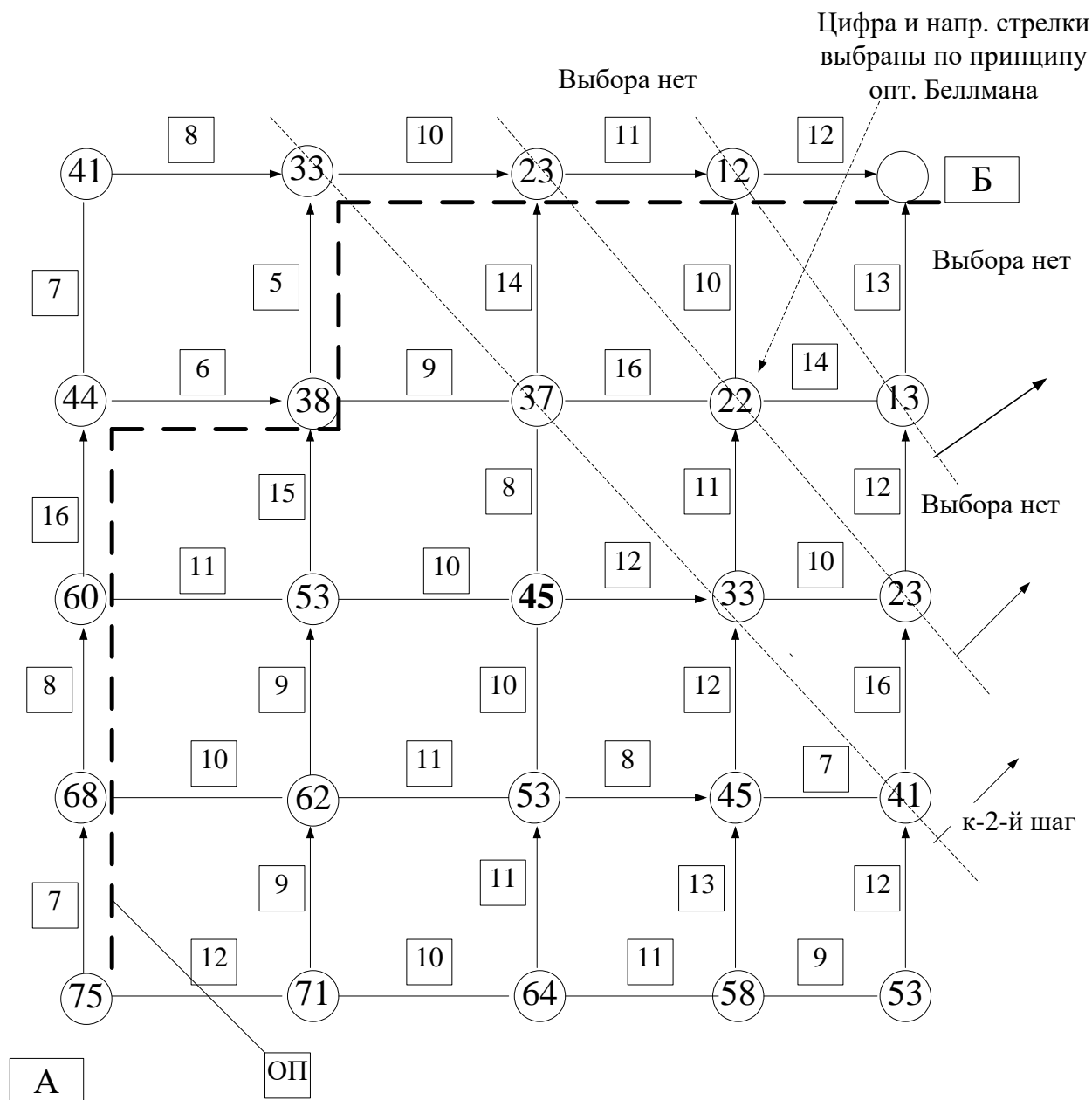


Рис. 1. 4. Оптимальная трасса кабельной ЛЭП.

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

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

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	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
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	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	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).

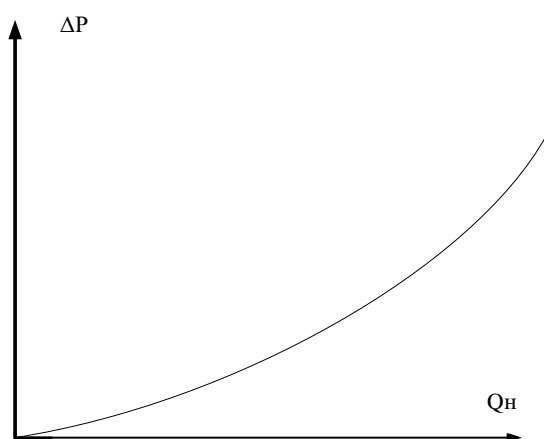


Рис. 2.1. Зависимость потери мощности от нагрузки узла

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 $\Delta P = f(Q_n)$.

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

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:

$$Z = Z_{\text{эо}} + Z_{\text{к}} = \frac{(Q_n - Q_{\text{ку}})^2}{U^2} R b_0 \tau + z_y Q_{\text{ку}},$$

Или, учитывая, что $Q_n - Q_{\text{ку}} = Q$ и $Q_{\text{ку}} = Q_n - Q$, то

$$Z = Z_{\text{эо}} + Z_{\text{к}} = \frac{Q^2}{U^2} R b_0 \tau + z_y (Q_n - Q), \quad (2.1)$$

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

R – активное сопротивление ветвей от источника до потребителя;

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

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

где: $K_{\text{ку}}$ – стоимость единицы мощности КУ; $t_{\text{окпр}}$ – 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:

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

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} ;

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

\mathbf{z}_y – 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_Q) и затрат на компенсирующие устройства (3_K) от передаваемой мощности (Q).

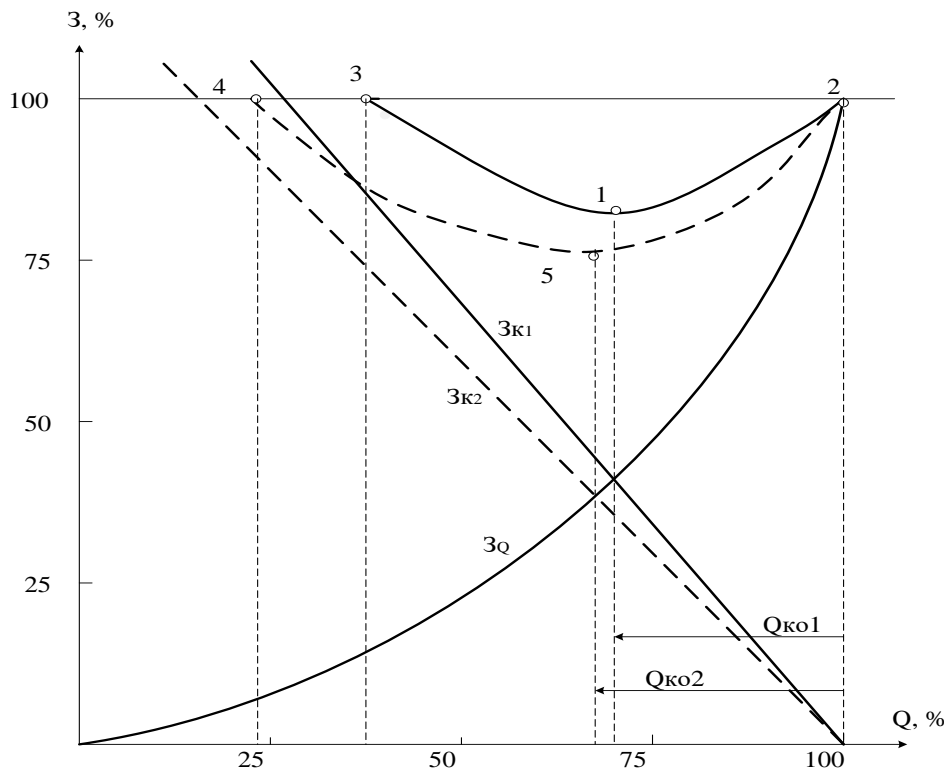


Рис. 2.2. Зависимости затрат на потери мощности и на КУ от передаваемой мощности.

При отсутствии компенсации реактивной мощности ($Q_K=0$) суммарные годовые затраты составляют 100% (точка 2 на рис. 4.2). При росте Q_K суммарные затраты уменьшаются за счет уменьшения потерь. Минимум затрат соответствует точке 1. При этом вблизи точки 1 срок окупаемости КУ составляет $t_{\text{окпр1}}$, 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 $t_{окпр1}$, так как экономия затрат на КУ вблизи точки 2 «съедается» ростом годовых затрат левее точки 1. Оптимальной мощностью КУ является Q_{kol} со сроком окупаемости меньше $t_{окпр1}$.

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

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

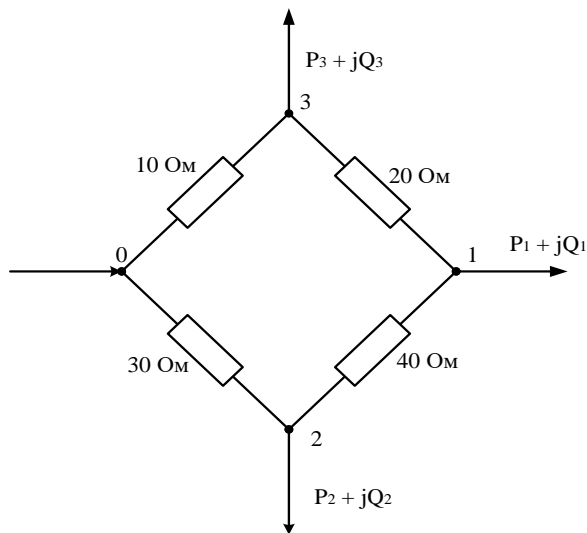


Рис.2.3. Расчетная схема сети 220 кВ

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

Тогда: $C_{\Sigma} = b_0 T = 2 * 4000 = 8$ 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

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

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 $\mathbf{R} =$

$$\begin{pmatrix} 9 & 7 & 3 \\ 7 & 21 & 9 \\ 3 & 9 & 60 \end{pmatrix}$$

Подставив все в (2.3) :

$$\sigma = 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot \begin{pmatrix} 21 & 9 & 7 \\ 9 & 21 & 3 \\ 7 & 3 & 3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 30 \\ 40 \\ 60 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Элементы матрицы \mathbf{C} :

$$C1 = 21 \cdot 30 + 9 \cdot 40 + 7 \cdot 60 = 1410$$

$$C2 = 9 \cdot 30 + 21 \cdot 40 + 3 \cdot 60 = 1290$$

$$C3 = 7 \cdot 30 + 3 \cdot 40 + 9 \cdot 60 = 870$$

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

$$\sigma = \begin{pmatrix} 0,465 & 0,2 & 0,265 \\ 0,426 & 0,2 & 0,266 \\ 0,287 & 0,2 & 0,087 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

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 σ 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
σ_1	0,265	0,125	0,076	0,026	0,012
σ_2	0,226	0,099	0,056	0,013	-0.002
σ_3	0,087	0,030	0,011	-0,007	-0,0012
$Q_{к1}$	13,8	18,7 (+4,9)	24 (+5,3)	26,4 (+2,4)	26,4
$Q_{к2}$	11,7	15,6 (+3,9)	19,5 (+3,9)	20,7 (+1,2)	20,7
$Q_{к3}$	4,5	5,7 (+1,2)	6,5 (+0,8)	5,9 (-0,6)	5,9
$Q_{куз}$	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 σ_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 σ по абсолютной величине оказались меньше 0,015, поэтому процесс решения заканчивается и $Q_{к}$ больше не изменяются.

Потери мощности в сети без компенсации:

$$\Delta P_1 = \frac{1}{U^2} Q C = \frac{1}{220^2} \begin{vmatrix} 30 & 40 & 60 \\ 1290 & 628 & 570 \end{vmatrix} = 3,02 \text{ МВт}$$

Потери мощности в сети после компенсации:

$$\Delta P_2 = \frac{1}{U^2} Q C = \frac{1}{220^2} \begin{vmatrix} 3,6 & 19,3 & 54,1 \\ 600 & 628 & 570 \end{vmatrix} = 0,92 \text{ МВт}$$

Снижение затрат на потери электроэнергии:

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

Капиталовложения на приобретение и монтаж КУ

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

Ежегодные затраты на обслуживание КУ

$$З_0 = P^0 K_{ку} / 100 = 5 * 42,4 / 100 = 2,12 \text{ млн. руб,}$$

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

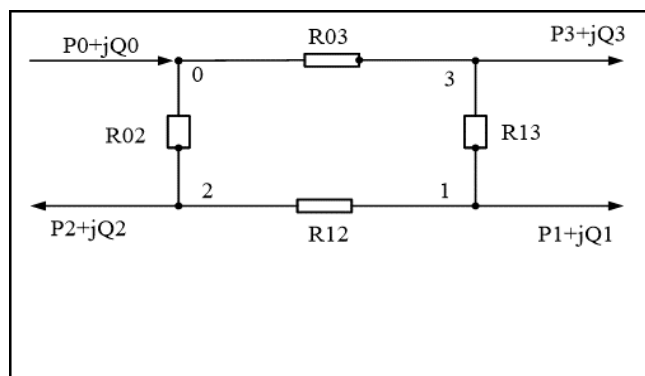
Тогда простой срок окупаемости КУ:

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

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,
 $K_{\text{ку}} = 800$ 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.