

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – **Энергетический (ЭНИН)**

Направление подготовки **13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника**

Кафедра – **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
«Компенсация реактивной мощности на ЖБК-100»

УДК 621.3.016.666.982.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5E	Оринченко Ксения Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Климова Галина Николаевна	К.Т.Н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

и.о. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Электроснабжение промышленных предприятий</b>	<b>Сурков М.А.</b>	<b>к.т.н., доцент</b>		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – **Энергетический (ЭНИН)**

Направление подготовки **13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника**

Кафедра – **Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)**

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой ЭПП

\_\_\_\_\_ **Сурков М.А.**  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5AM5E	Оринченко Ксения Андреевна

Тема работы:

<b>«Компенсация реактивной мощности на ЖБК-100»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.02.2017 г. № 719/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Однолинейная внутривзаводская схема элетроснабжения ООО «ЗКПД ТДСК» площадка №2; показания суточных графиков потребляемой реактивной мощности на электрических нагрузках каждой трансформаторной подстанции; данные по кабельным, воздушным линиям и трансформаторам.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Определение параметров схемы замещения; определение платежа предприятия при отсутствии устройств компенсации реактивной мощности; расчет технико-экономических затрат на компенсацию реактивной мощности выше и ниже 1000В; выбор оптимального варианта для потребителя с точки зрения установки устройств компенсации реактивной мощности или платы услуг по передаче электрической энергии с учетом

	соответствующего коэффициента к тарифу.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в PowerPoint

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна
«Социальная ответственность»	Бородин Юрий Викторович
Раздел ВКР, выполненный на иностранном языке	Матухин Дмитрий Леонидович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1. Введение
2. Определение параметров схемы замещения и расчет режимов
3. Определение активных нагрузок, коэффициента мощности и коэффициента реактивной мощности
4. Заключение
Список использованных источников

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Климова Галина Николаевна	К.Т.Н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM5E	Оринченко Ксения Андреевна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования – магистр

Кафедра – Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

Период выполнения – осенний 2015/2016/, весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

**магистерская диссертация**

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02-28.02	1. Общие сведения о предприятии ООО «ЗКПД ТДСК»	15
07.03-13.03	2. Определение параметров схемы замещения и расчет режимов	15
15.03-28.03	3. Первый вариант. Плата потребителя за электрическую энергию в случае отсутствия компенсирующих устройств	25
30.03-18.04	4. Компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия	25
19.04-26.04	5. «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
28.04-05.05	6. «Социальная ответственность»	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Климова Галина Николаевна	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

и.о. Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Сурков М.А.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа – 136 с., 33 рис., 28 табл., 39 источников, 1 прил.

Ключевые слова: показатель энергетической эффективности, коэффициент мощности, коэффициент реактивной мощности, компенсация реактивной мощности, конденсаторная установка, режим максимальных и минимальных нагрузок.

Объектом исследования является завод крупнопанельного домостроения, площадка №2, расположенная в Томской области, город Томск.

Данная работа направлена на улучшение показателей качества электрической энергии, повышение надежности системы электроснабжения и сокращения эксплуатационных затрат за счет компенсации реактивной мощности.

В данной работе предлагаются возможные решения по уменьшению потребления реактивной мощности, экономии денежных средств за счет компенсации реактивных нагрузок, либо применения повышающих коэффициентов к тарифам на транзит электрической энергии по сетям энергоснабжающей организации.

Область применения: система электроснабжения промышленных предприятий.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа посвящена вопросу нахождения оптимального решения компенсации реактивной мощности на предприятии с точки зрения минимума затрат для потребителей.

Так как все расчеты основаны на реальных данных, снятых на предприятии (ООО «ЗКПД»), в будущем проект может быть реализован.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ RastrWin, MS Excel, MS Visio, в текстовом редакторе MS Word.

## Оглавление

Введение.....	6
1. Общие сведения о предприятии ООО «ЗКПД ТДСК».....	10
1.1. Нормативно-правовая база по вопросам компенсации реактивной мощности .....	12
1.2. Исходные данные .....	19
2. Определение параметров схемы замещения и расчет режимов .....	24
3. Расчет режимов в программе RastrWin .....	26
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	33
7.1. Расчет эффективности проекта.....	34
7.2. Техничко-экономические показатели компенсирующих устройств .....	35

## Введение

Завод крупнопанельного домостроения ООО «ЗКПД ТДСК» с первых лет существования производил детали крупнопанельного домостроения, в середине восьмидесятых годов до 245000 квадратных метров жилья в год. С 1996 года удельный вес деталей КПД составлял от 30 до 48% от общего объема железобетона, остальная часть – это дорожные плиты, сваи, плиты перекрытия, перемычки, блоки стен подвалов, утяжелители для трубопроводов и прочая продукция. С 1998 по 2000 годы объемы производства резко упали до 3000 кубометров в месяц, стала накапливаться кредиторская задолженность по налогам, поставщикам, заработной плате. С 1 февраля 2001 года вновь созданное предприятие ООО «ЗКПД ТДСК» работает устойчиво, наращивает объемы по выпуску деталей домов, а также прочего железобетона. Освоена серия домов, отвечающая современным теплотехническим характеристикам. Показатели 2007 года значительно превышают показатели 2006 – общий объем услуг по 2007 году – 2000 млн. рублей, прирост к прошлому году 40% [1].

Объемы предприятия говорят о том, что с каждым годом на заводе увеличивается и работают мощные агрегаты, неравномерное распределение нагрузки, которых приводит к тому, что реактивная мощность в сети повышается, а коэффициент мощности понижается, что не удовлетворяет требованиям.

Передача значительного количества реактивной мощности по сети не выгодна по следующим обстоятельствам:

1. Появляются дополнительные потери активной мощности во всех составляющих системы электроснабжения.
2. Возникают дополнительные потери реактивной мощности.
3. Возникают дополнительные потери напряжения.
4. Загрузка реактивной мощностью линий электропередач и трансформаторов снижает пропускную способность.

5. Загрузка реактивной мощностью трансформаторов уменьшает их коэффициент полезного действия.

6. Недопотребление полезной мощности генераторов электростанций и повышение удельного расхода топлива.

В данной работе проведен анализ минимального и нормального режимов работы предприятия для оценки потребления реактивной мощности. Выполнены технико-экономические сравнения вариантов компенсации реактивной мощности и определен оптимальный вариант размещения конденсаторных установок в системе электроснабжения предприятия. Техничко-экономическое решение компенсации реактивной мощности в основном и заключается в возможности приближения коэффициента мощности приемных устройств к единице.

Целью выпускной квалификационной работы является поиск оптимального решения, с точки зрения минимума затрат для потребителя с большими реактивными нагрузками.

Поставленные задачи: рассчитать параметры схемы замещения; оценить платеж предприятия при отсутствии устройств компенсации реактивной мощности; оценить платеж предприятия при отсутствии устройств компенсации реактивной мощности провести технико-экономические расчеты компенсации реактивной мощности выше и ниже 1000В; выбрать оптимальный вариант для потребителя с точки зрения установки устройств компенсации реактивной мощности или платы услуг по передаче электрической энергии с учетом соответствующего коэффициента к тарифу.

Методы и средства: метод оперативных расчетов для оценки потерь, методика согласно расчетам повышающих коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения пользования активной и реактивной мощности потребителей электрической энергии, метод аппроксимации, программный комплекс RastrWin.

Практическая значимость: проблема компенсации реактивной мощности постоянно занимала существенное место в вопросах о увеличении эффективности передачи, распределения и потребления электрической энергии. Правильное решение таких проблем предопределяет экономию денежных и материальных ресурсов, а также повышение качества электроснабжения.

Для визуального представления влияния реактивной мощности на характеристики и показатели системы электроснабжения на рисунках 1 и 2 приведены схемы переменного тока и для схем построены векторные диаграммы, которые наглядно показывают, что в зависимости от соотношения реактивных сопротивлений общий ток нагрузки может отставать или опережать напряжение.

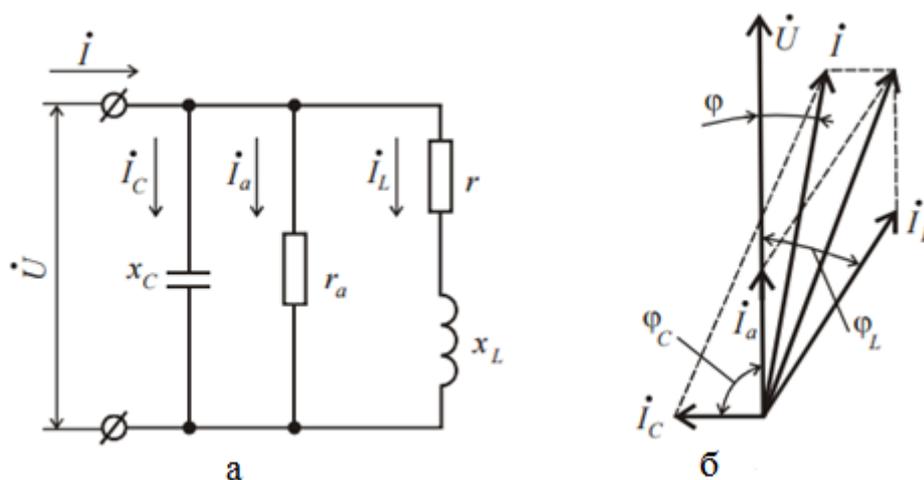


Рисунок 1 – Нагрузка в цепи переменного тока и ее векторная диаграмма:

а – эквивалентная схема нагрузки, б – векторная диаграмма

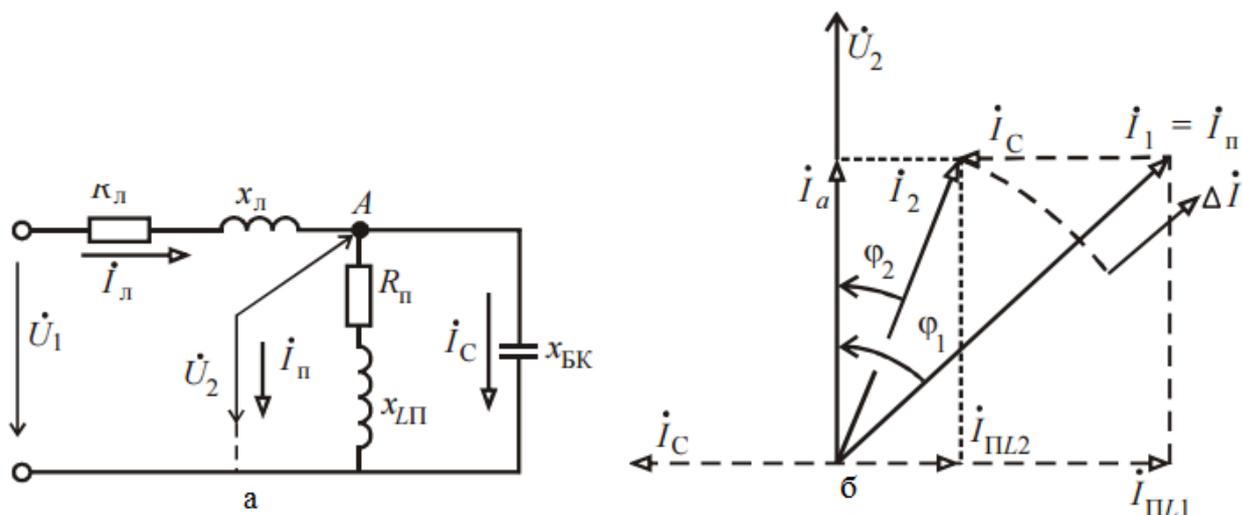


Рисунок 2 – Поперечная емкостная компенсация:

а – схема замещения, б – векторная диаграмма

Реактивная мощность, протекая по элементам электрической сети, обладающим активным сопротивлением, вызывает в них дополнительные потери мощности и электрической энергии. Помимо этого, перетоки реактивной мощности снижают пропускную способность линий электропередач и трансформаторов, заставляют увеличивать сечение проводов, прокладку дополнительных кабельных линий, замену трансформаторов на большую номинальную мощность.

Рассмотрим ущерб, который может возникать в системах электроснабжения при увеличении перетоков реактивной мощности.

1. При увеличении реактивной мощности до  $tg\varphi=1$ , ток в линии увеличился бы в 1,41 раза. Это привело бы к уменьшению пропускной способности линий электропередачи по нагреву, необходимости увеличения сечений проводов и жил кабелей на одну или две ступени стандартных сечений, а в ряде случаев возникает необходимость сооружения новых линий электропередач и замены трансформаторов на большую мощность.

2. Увеличение перетоков реактивной мощности связано с возрастанием активных и реактивных потерь мощности. При возрастании перетоков реактивной мощности до значений  $tg\varphi=1$  величина потерь может удвоиться.

Это, в свою очередь, приведет к перерасходу электроэнергии, увеличению тарифов на электроэнергию и перерасходу энергетического топлива.

3. Увеличение перетоков реактивной мощности вызывает дополнительные потери напряжения: при этом увеличивается скольжение асинхронных двигателей, понижается освещенность рабочих поверхностей, что приводит к снижению производительности труда. Снижение уровня напряжения оказывает влияние на статическую устойчивость электроэнергетической системы и на устойчивость узла нагрузки в результате возникновения явления «лавины напряжения».

Компенсации реактивной мощности может принести экономическую выгоду. По статистике там, где были установлены устройства компенсации реактивной мощности, деньги, потраченные на них, окупались меньше чем за год [2]. На стадии проектирования объектов, внедрение конденсаторных установок помогает удешевить приобретение кабелей путём уменьшения их сечения. Автоматическая конденсаторная установка может дать эффект увеличения коэффициента мощности с 0,6 до 0,97. Установка по компенсации реактивной мощности помогает существенно экономить финансы, а также увеличивает срок работы оборудования.

### **1. Общие сведения о предприятии ООО «ЗКПД ТДСК»**

Завод крупнопанельного домостроения был образован в 1972 году и существовал до 1986 года в структуре Томского Домостроительного комбината, затем стал самостоятельным юридическим лицом. Преобразован в товарищество с ограниченной ответственностью «Завод крупнопанельного домостроения» в 1991 году. В 2001 году создано ООО «ЗКПД ТДСК» [1].

С первых лет существования завод производил детали крупнопанельного домостроения. Завод крупнопанельного домостроения входит в холдинг ОАО «Томская домостроительная компания». Это крупное предприятие по изготовлению железобетона в Сибири и на Дальнем Востоке. На сегодняшний день завод известен в России как высоконадежный поставщик своей продукции, а также благодаря производству утяжелителей и

дорожных плит для нефтегазового комплекса. Кроме деталей крупнопанельного домостроения, которые поставляются в Новосибирскую, Кемеровскую, Томскую области комплексной застройки. В настоящее время более 50% сегмента строительного рынка Томской области – продукция завода [1].

Номенклатура изделий компании превосходит 2000 наименований. Основная продукция предприятия – производство деталей крупнопанельного домостроения для блок-секций серии 75, высотой от 5 до 17 этажей со встроенно-пристроенными магазинами. Разнообразие планировочных решений блок-секций, применений приставных лоджий шириной до 120см, устройство окон стеклопакетами, применение наружных стеновых панелей, отвечающих требованиям СНиП по теплотехническим характеристикам – все это позволяет делать дома конкурентоспособными на рынке жилья. Завод освоил конструкции блок-секций «малосемеек». Кроме элементов крупнопанельного домостроения, плит перекрытий, производятся сваи, лоджии, детали благоустройства для кирпичного и каркасно-монолитного жилищного строительства. Компания постоянно занимается техническим перевооружением завода, заменяя устарелое оборудование, активно внедряя новые технологии, строя новые здания и сооружения. Это новый парк автомобильной техники, уникальная установка для измельчения цемента, автоматизированные станки для арматурных работ[1].

Построенные цеха:

–полусухого вибропрессования, выпускающий бордюрный камень, тротуарную плитку трех расцветок:

–цех плит пустотного настила по безопалубочной технологии «тенсилэнд», выпускающий плиты повышенной прочности, любой длины и под любым углом.

–установлен новая площадка с целью изготовления железобетона, происходит комплексная ее застройка, включая пять пролетов по выпуску

железобетона, что даст возможность увеличить его производство на 130000 кубометров в год [1].

Система электроснабжения завода. Для электроснабжения площадки №2 предусмотрен центральный распределительный пункт (ЦРП) к ЦРП подходит две линии электропередачи (ЛЭП) от подстанции (ПС) 110/10кВ «ДОК», Д-11 и Д-12. ЛЭП1 от опоры №4 Д-11 до опоры №4 Д-12 кабель (АСБ 3x120) проложен в металлическом лотке. От опоры №4 Д-12 до стены ЦРП обе ЛЭП проложены в металлическом лотке. От ЦРП запитаны три трансформаторных ПС (ТП 2x1000/10/0,4) кабелем (ААШв 3x70) и (ААШв 3x120). По степени надежности электроснабжения объект относится к третьей категории. Разрешенная мощность 900кВт.

### **1.1. Нормативно-правовая база по вопросам компенсации реактивной мощности**

Из истории энергетики вопросы повышения эффективности ее функционирования являлись приоритетными. Одним из способов достижения эффективности, включая снижение потерь электроэнергии при ее передаче и преобразовании, является компенсация реактивной мощности. Установка компенсирующих устройств снижает потоки реактивной мощности в электрических сетях, причем наибольший эффект достигается эксплуатацией их в сетях потребителей.

На протяжении длительного времени (с начала 80-х годов прошлого века и вплоть до 2001г.) взаимоотношения энергоснабжающих организаций и потребителей в сфере пользования реактивной мощностью на территории РФ регулировались методикой расчета экономических значений реактивной мощности, потребляемой от сети энергоснабжающей организации, и скидками (надбавками) к тарифам на электрическую энергию при отклонениях фактического потребления от установленного в договоре. Величина скидок и надбавок приведена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Размер скидок и надбавок к тарифам на электроэнергию

$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Скидка, %	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Надбавка, %
1	0	20	0,85	0,62	-
0,99	0,14	20	0,84	0,65	1
0,98	0,20	20	0,83	0,67	2,5
0,97	0,25	20	0,82	0,70	4
0,96	0,29	18	0,81	0,72	5,5
0,95	0,33	16	0,80	0,75	7
0,94	0,36	14	0,79	0,78	8,5
0,93	0,40	12	0,78	0,80	10
0,92	0,43	10	0,77	0,83	11,5
0,91	0,46	8,5	0,76	0,86	13
0,90	0,48	7	0,75	0,88	14,5
0,89	0,51	5,5	0,70	1,02	25
0,88	0,54	4	0,65	1,17	40
0,87	0,57	2,5	0,60	1,33	55
0,86	0,59	1	0,50	1,73	85
0,85	0,62	-	0,40	2,29	115

Функционировавшая «Руководство о порядке расчетов за электрическую и тепловую энергию», которой устанавливались отмеченные скидки (надбавки), существовала в установленном порядке и зарегистрирована Министерством Юстиции России, однако была признана утратившей силу с 1 января 2001г. (приказ Министерства Энергетики России от 28 декабря 2000г. №167). Причиной для ее отмены стало то, что она вступила в разногласие с принятыми позднее нормативными документами более высокого уровня (Гражданский кодекс РФ и ФЗ от 14 апреля 1995г. №41-ФЗ «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации»), которые не учитывают надбавок к тарифу [3].

Возвращение к решению этой проблемы произошел в 2006г., когда реформа энергетики в государстве пришла к практическому окончанию. Постановлением Правительства РФ от 31 августа 2006г. №530 «Об утверждении правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики» [4] внесено изменение в «Правила недискриминационного доступа к услугам по

передаче электрической энергии и оказания этих услуг», утвержденные постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2004г. №861[5].

В соответствии с внесенным в Правила пунктом 14.1, потребители электрической энергии должны соблюдать соотношения потребления активной и реактивной мощности, установленные и прописанные в договоре. В случае несоблюдения соотношений потребитель должен установить устройства компенсации реактивной мощности или оплачивать услуги по передаче электрической энергии с учетом соответствующего повышающего коэффициента к тарифу. В случае участия потребителя в регулировании реактивной мощности согласно договору с сетевой организацией к стоимости услуг по передаче электрической энергии применяется понижающий коэффициент [3].

По факту выявления сетевой организацией нарушения условий потребления реактивной мощности составляется акт потребителю. Потребитель в течение 10 рабочих дней с даты получения акта должен письменно оповестить сетевую организацию о времени, в течение которого обеспечит соблюдение установленных характеристик средствами самостоятельной установки компенсирующих устройств, либо о невозможности выполнить данное требование и согласие на применение повышающего коэффициента к стоимости услуг по передаче электрической энергии. Указанный период не превышает 6 месяцев. Если в течение 10 рабочих дней уведомление не направлено, сетевая организация вправе применять повышающий коэффициент к тарифу [3].

К настоящему времени разработаны оба документа, указанные в упомянутых постановлениях:

1. «Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах

энергоснабжения)» утвержден приказом Минпромэнерго России от 22 февраля 2007г. №49 и зарегистрирован Министерством Юстиции РФ [6]. Утратил силу с 7 августа 2015 года на основании приказа Минэнерго России от 23 июня 2015 года №380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» [7].

Таблица 1.2 – Предельные значения коэффициента реактивной мощности

Положение точки присоединения потребителя к электрической сети	$tg\varphi$
110кВ (154кВ)	0,5
35кВ (60кВ)	0,4
1-20кВ	0,4
ниже 1кВ	0,35

2. «Методика по расчету повышающих коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности потребителей электрической энергии» находятся на согласовании в Федеральной службе по тарифам РФ (по состоянию на 01.01.2009г.) [8].

Процедура расчета повышающего (понижающего) коэффициента, используемого к тарифу на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности.

1. Повышающий (понижающий) коэффициент к тарифу рассчитывается по формуле:

$$K = 1 + П - С,$$

где П – составляющая повышения тарифа за потребление (генерацию) реактивной мощности сверх установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности; С – составляющая снижения тарифа за участие потребителя по соглашению с сетевой организацией в регулировании реактивной мощности.

2. Составляющая увеличения тарифа за потребление (генерацию)

реактивной мощности свыше установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности определяется согласно формуле:

$$П = \sum \pm 0,2 \times (tg\varphi_{\phi i} - tg\varphi_i) d_i,$$

где  $tg\varphi_{\phi i}$  – фактическое значение соотношения потребления активной и реактивной мощностей в  $i$ -й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);

$tg\varphi_i$  – предельное значение коэффициента реактивной мощности в  $i$ -й точке присоединения;  $d_i$  – отношение электрической энергии, потребленной в часы больших (малых) суточных нагрузок, установленных в порядке, к общему объему электрической энергии, потребленной в  $i$ -й точке присоединения за расчетный период (месяц).

Знак "+" в формуле используется для часов больших суточных нагрузок, в которых совершается потребление реактивной мощности, знак "-" – для часов малых суточных нагрузок, в которых происходит генерация реактивной мощности.

При значении меньше  $tg\varphi_i$  для часов, в которых происходит потребление реактивной мощности, разность  $(tg\varphi_{\phi i} - tg\varphi_i)$  принимается нулю. Значение  $d_i$  определяется за расчетный период с вычетом периодов привлечения потребителя к регулированию реактивной мощности.

3. Составляющая снижения тарифа за участие потребителя в регулировании реактивной мощности определяется по формуле:

$$С = 0,2 \times (tg\varphi_{\phi i} - tg\varphi_{\phi i}) d_{pi},$$

где  $tg\varphi_{\phi i}$  – верхняя граница диапазона регулирования коэффициента реактивной мощности в  $i$ -й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);  $tg\varphi_{\phi i}$  – фактическое значение соотношения потребления активной и реактивной мощностей в  $i$ -й точке присоединения в расчетном периоде (месяц);  $d_{pi}$  – отношение электрической энергии, потребленной в часы суток

привлечения потребителя к регулированию реактивной мощности, к общему объему электрической энергии, потребленной в  $i$ -й точке присоединения за расчетный период (месяц).

Если определенный диапазон регулирования, утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 861, учитывает увеличение потребления реактивной мощности по сравнению с обычным режимом потребления, то в таком случае  $tg\varphi_{vi}$  в формуле заменяется на нижнюю границу диапазона регулирования коэффициента реактивной мощности в расчетном периоде ( $tg\varphi_{ni}$ ), а коэффициент "0,2" на "0,2".

Тарифы на услуги по передаче электрической энергии состоят из двух составляющих: платы за содержание электрических сетей и платы за потери электроэнергии, происходящие при передаче электроэнергии по сети. Повышающие (понижающие) коэффициенты к тарифам на услуги по передаче электрической энергии используются только к плате за содержание электрических сетей.

Установление нормативных значений, как правило, осуществляется одним из трех способов, приведенных далее в порядке увеличения точности нормируемых величин и одновременного снижения бесспорности их использования.

Первый способ состоит в установлении конкретных однозначных численных значений норм. Такого рода метод применяется при установлении предельных, максимальных значений коэффициента реактивной мощности для потребителей, присоединенных к сетям 0,4–110кВ. Очевидно, что общее значение нормы не является теоретически правильным для любого узла сети, но использование таких норм при оформлении договорных отношений не может оспариваться, потому что цифра установлена нормативным документом, утвержденным в установленном порядке [3].

Второй способ заключается в установлении в нормативном документе формул, согласно которым рассчитывается нормируемая величина. При этом применяется несколько исходных данных, характеризующих условия электроснабжения определенного потребителя: его удаленность от источника электроэнергии, соотношение графика его нагрузки с графиком суммарной нагрузки сети и. т. п. Непосредственно расчет достаточно легок и может быть выполнен любой стороной с использованием обычного калькулятора. Такого рода способ применялся ранее (до 2001г.) при определении коэффициентов реактивной мощности, включаемых в договор с любым потребителем. Несомненно, что определяемые величины в данном случае наиболее точно соответствуют физическим законам влияния нагрузки данного потребителя на режим работы сети, но практика использования таких документов показала, что зачастую возникают разногласия между сторонами по поводу правильности тех или иных исходных данных, тем более что некоторые из них представляются энергоснабжающей организацией и практически не могут быть проверены потребителем [3].

Третий способ используется при нормировании параметров достаточно непростых технических процессов и состоит в использовании программных средств, расчетные алгоритмы которых в силу своей сложности не могут быть детально изложены в нормативном документе. В данном случае в документе формируются критерии расчета и основные принципы методики его выполнения, а кроме того необходимость сертификации программных средств для подтверждения соответствия алгоритма расчета методу, установленному нормативным документом [3].

Первый и второй способ применяются к «массовым» потребителям. Ошибки в определении точных значений для каждого потребителя компенсируются в их суммарном воздействии на режим работы сети, а установление единой нормы исключает необходимость сложных расчетов для каждого из многочисленных «малых» потребителей и последующие дискуссии по спорным моментам [3].

По суточным графикам реактивной мощности, которые являются исходными данными Завода крупнопанельного домостроения, можно сказать о том, что графики имеют резкопеременный, случайный характер, что говорит о неравномерном распределении нагрузок. Расчеты показывают, что трансформаторы на трансформаторных подстанциях загружены неравномерно. Одни более загружены другие менее, а, следовательно, и коэффициенты мощности и коэффициенты реактивной мощности не соответствуют требованиям. В соответствии с приказом, требуемый коэффициент реактивной мощности должен составлять 0,4 для шин 10кВ и 0,35 для шин 0,4кВ, в нашем случае значения больше почти в 2 раза.

## **1.2. Исходные данные**

Исходными данными для выполнения выпускной квалификационной работы являются: однолинейная внутривзаводская схема электроснабжения ООО «ЗКПД ТДСК» площадка №2; показания суточных графиков потребляемой реактивной мощности на электрических нагрузках каждой трансформаторной подстанции; а также данные по кабельным, воздушным линиям и трансформаторам.

Однолинейная схема электроснабжения предприятия представлена на рисунке 3.

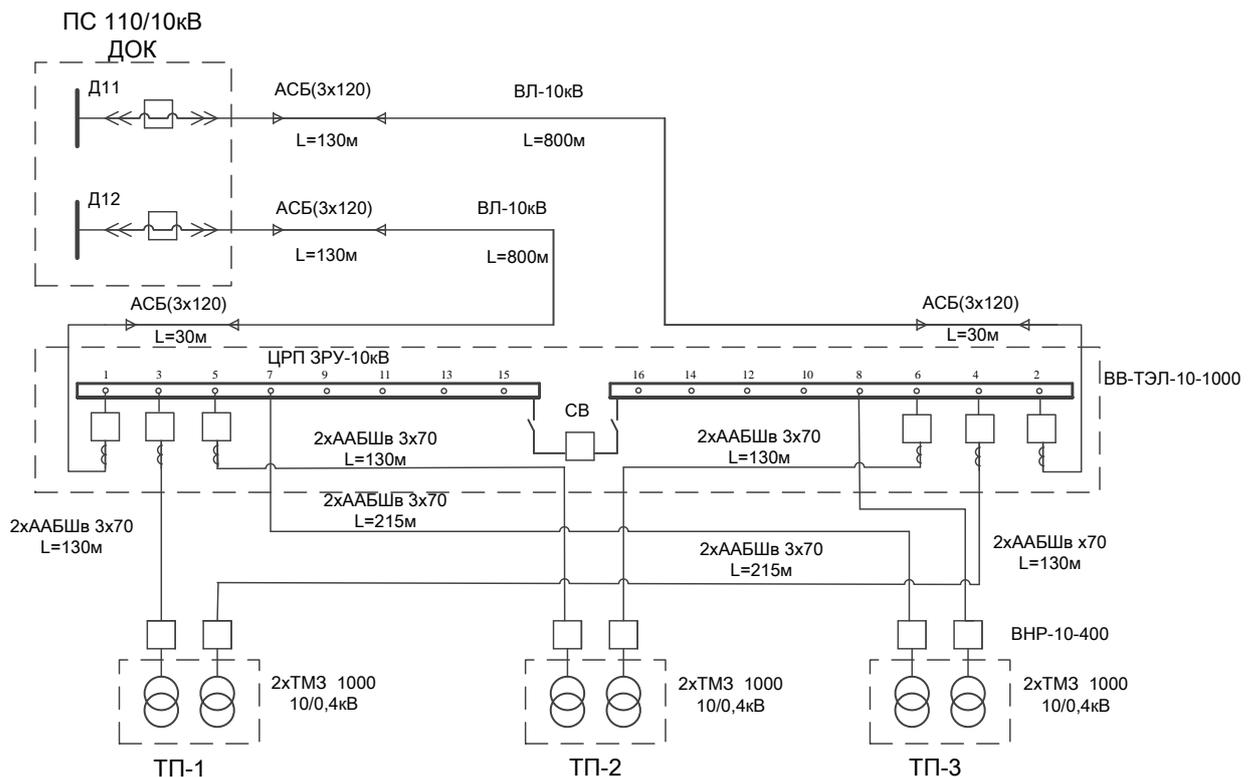


Рисунок 3 – Однолинейная схема электроснабжения ООО «ЗКПД ТДСК»  
площадка №2

Суточные графики потребляемой реактивной мощности по каждой трансформаторной подстанции приведены на рисунках 4 – 9.

ТП 1, ввод №1

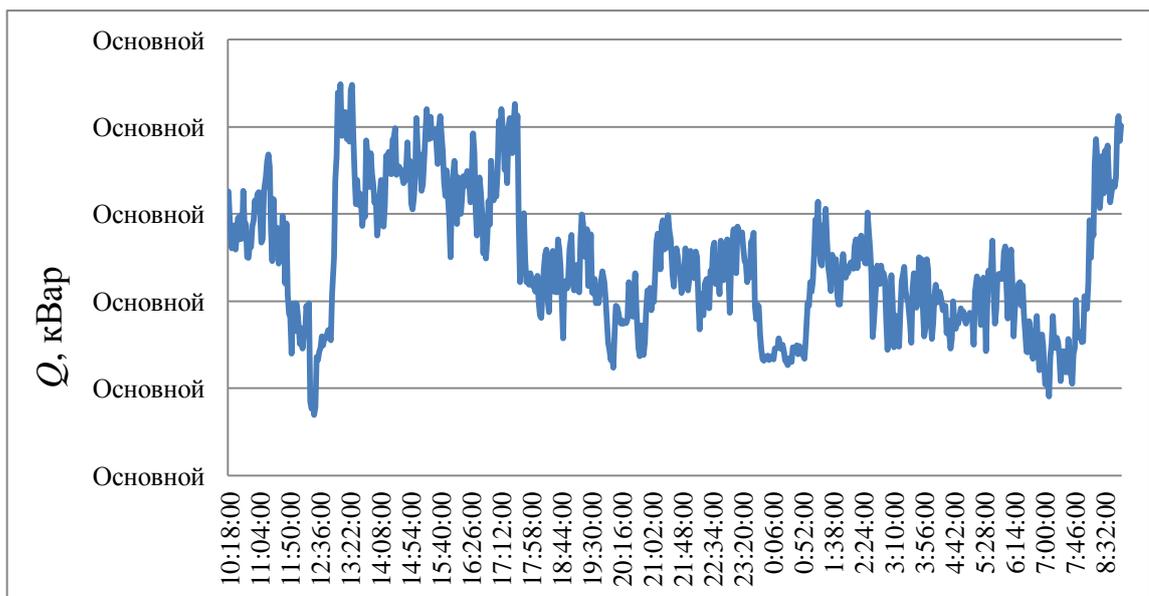


Рисунок 4 – Суточный график реактивной мощности ТП1 ввод1

Максимальное значение: 224,45кВар.

Минимальное значение: 34,55кВАр.

Среднее значение: 121,77кВАр.

Потребление реактивной мощности за сутки составило: 2764,36кВАр·ч.

Потребление электроэнергии за сутки составило: 2788,75кВт·ч.

ТП 1, ввод №2

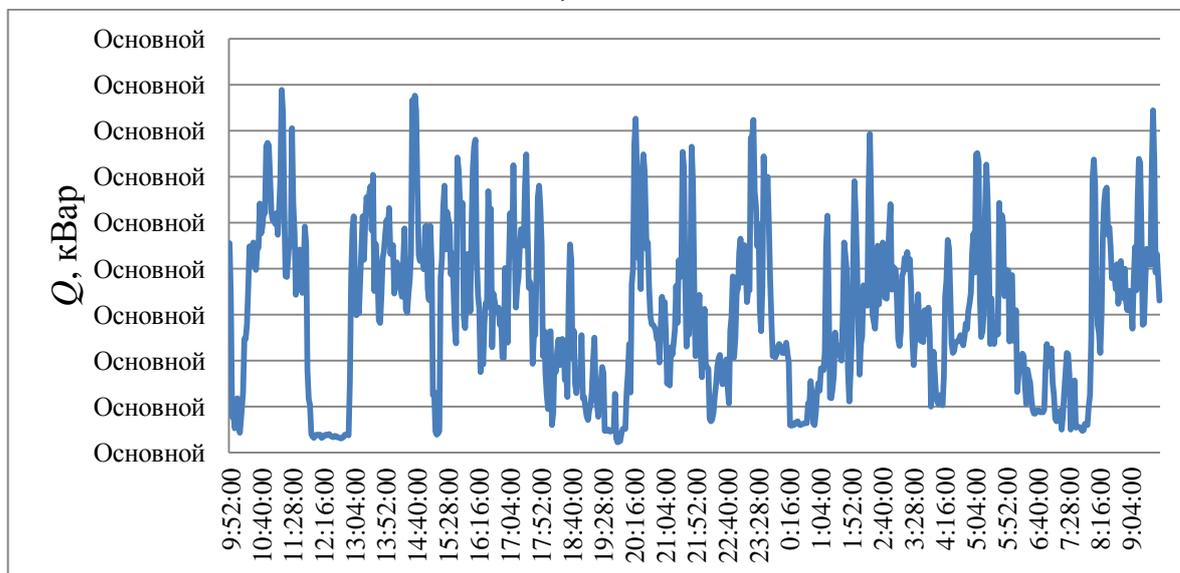


Рисунок 5 – Суточный график реактивной мощности ТП1 ввод2

Максимальное значение: 157,94кВАр.

Минимальное значение: 4,31кВАр.

Среднее значение: 60,58кВАр.

Потребление реактивной мощности за сутки составило: 1453,97кВАр·ч.

Потребление электроэнергии за сутки составило: 980,99кВт·ч.

ТП 2, ввод №1

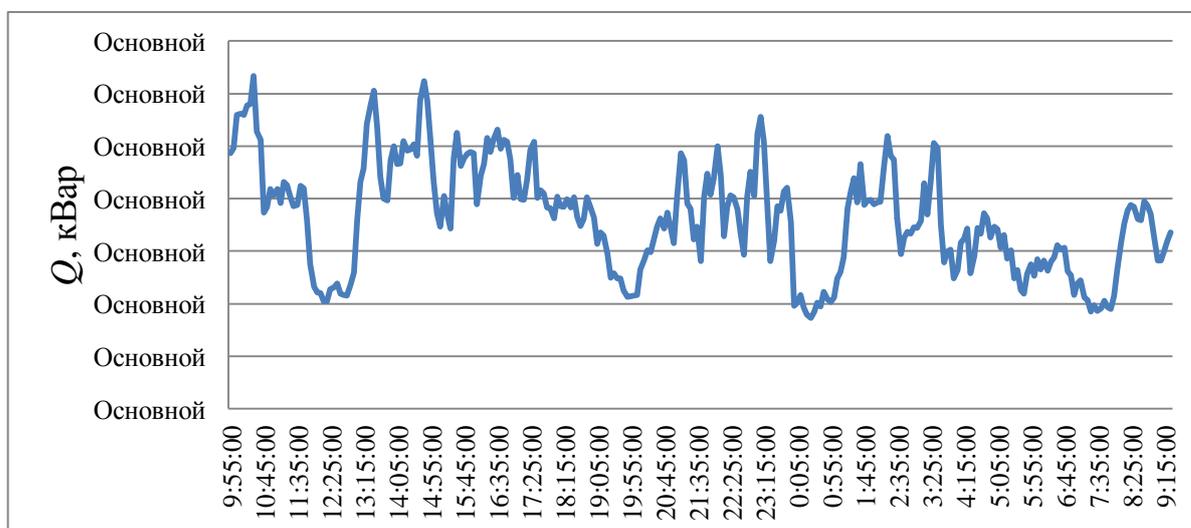


Рисунок 6 – Суточный график реактивной мощности ТП2 ввод1

Максимальное значение: 316,79кВАр.

Минимальное значение: 86,42кВАр.

Среднее значение: 181,52кВАр.

Потребление реактивной мощности за сутки составило: 4280,87кВАр·ч.

Потребление электроэнергии за сутки составило: 5031,06кВт·ч.

ТП 2, ввод №2

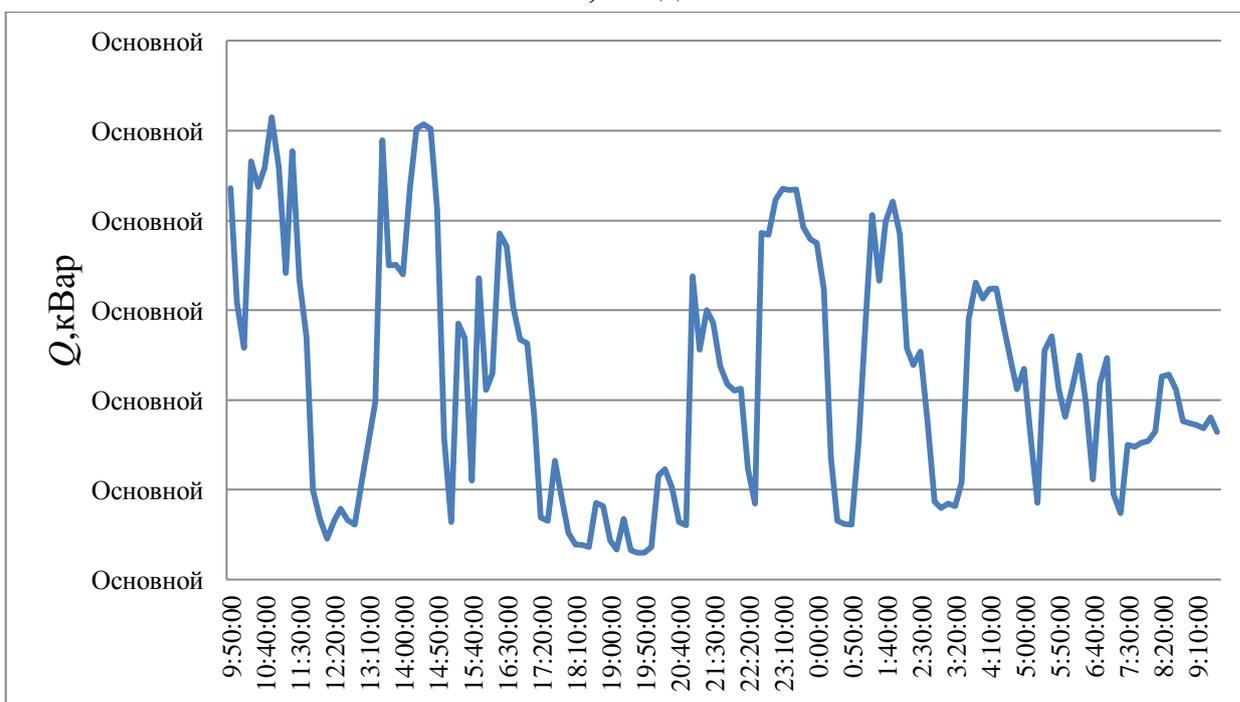


Рисунок 7 – Суточный график реактивной мощности ТП2 ввод2

Максимальное значение: 257,491кВАр

Минимальное значение: 14,92кВАр

Среднее значение: 112,39кВАр

Потребление реактивной мощности за сутки составило: 2697,45кВАр·ч

Потребление электроэнергии за сутки составило: 4532,07кВт·ч

ТП 3, ввод №1

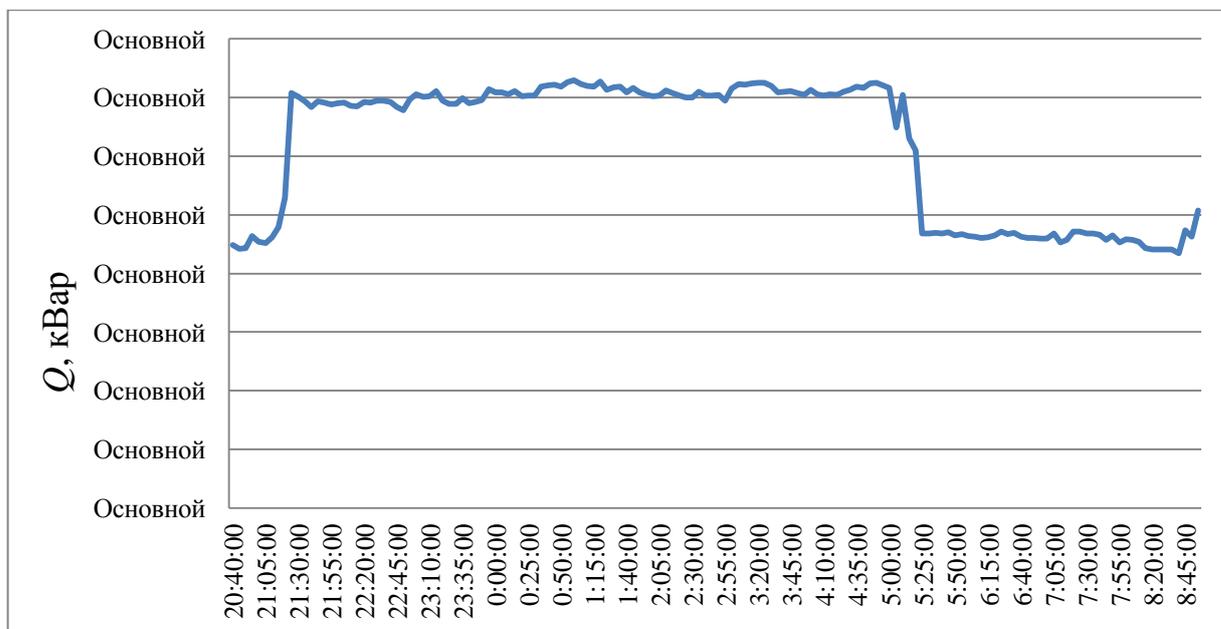


Рисунок 8 – Суточный график реактивной мощности ТПЗ ввод1

Максимальное значение: 14,58кВАр.

Минимальное значение: 8,68кВАр.

Среднее значение: 12,38кВАр.

Потребление реактивной мощности (за 12 ч) составило: 152,69кВАр·ч.

Потребление электроэнергии (за 12 ч) составило: 186,63кВт·ч.

#### ТП 3, ввод №2

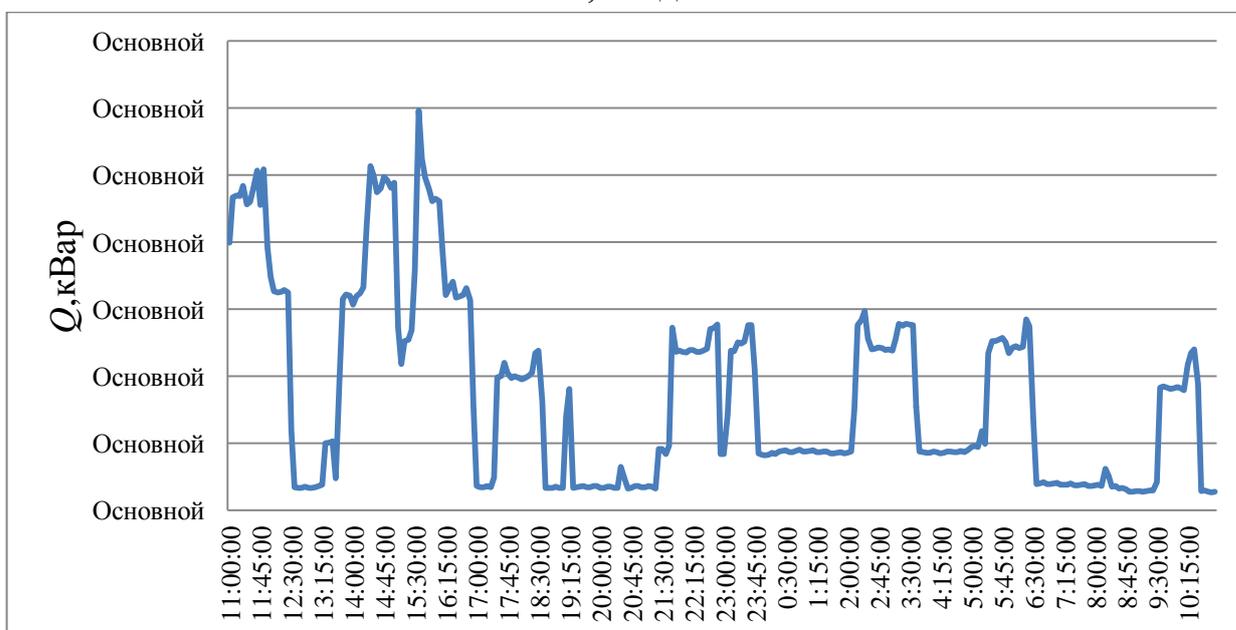


Рисунок 9 – Суточный график реактивной мощности ТПЗ ввод2

Максимальное значение: 59,61кВАр.

Минимальное значение: 2,66кВАр.

Среднее значение: 17,39кВАр.

Потребление реактивной мощности за сутки составило: 417,48кВАр·ч.

Потребление электроэнергии за сутки составило: 397,05кВт·ч.

## 2. Определение параметров схемы замещения и расчет режимов

В данной главе подготовлены необходимые расчеты параметров схемы электроснабжения, расчеты коэффициентов мощности и коэффициентов реактивной мощности, а также определены перетоки активной и реактивной мощности. Данные вычисления необходимы для определения потребляемой электроэнергии предприятием и платы за нее.

Схема замещения однолинейной схемы электроснабжения завода крупнопанельного домостроения представлена на рисунке 10.

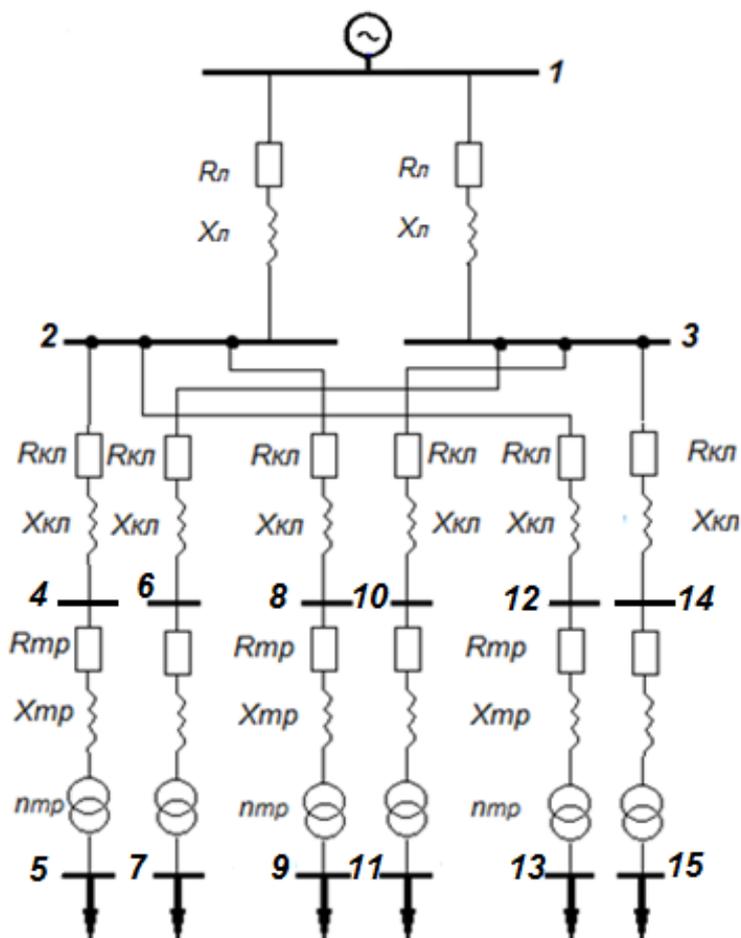


Рисунок 10 – Схема замещения ООО «ЗКПД ТДСК» площадка №2

Данные по воздушным и кабельным линиям, а также по трансформаторам на трех трансформаторных подстанциях сведены в таблицы 2.1 и 2.2 [1]. Данные для линий таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Данные линий

КЛ АСБ(3х120)							
$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$L_1$ , км	$L_2$ , км	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$X_1$ , Ом	$X_2$ , Ом
0,258	0,081	0,13	0,03	0,036	0,008	0,01	0,0024
КЛ 2хААБШВ(3х70)							
$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$L_1$ , км	$L_2$ , км	$R_{1/2}$ , Ом	$R_{2/2}$ , Ом	$X_{1/2}$ , Ом	$X_{2/2}$ , Ом
0,447	0,086	0,13	0,215	0,029	0,048	0,0056	0,00925
ВЛ-10 кВ АС-120/19							
$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$L$ , км	$R$ , Ом	$X$ , Ом			
0,244	0,414	0,8	0,195	0,33			

Формула для определения активного и реактивного сопротивления линии [9]:

$$R_{л} = r_0 \cdot L; \quad X_{л} = x_0 \cdot L.$$

Сведем данные о трансформаторах по трем трансформаторным подстанциям в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Данные трансформаторов

Трансформатор ТМЗ-1000 10/0,4								
$S_{НОМ}$ , кВА	$U_B$ , кВ	$U_H$ , кВ	$\Delta P_{XX}$ , кВт	$\Delta P_K$ , кВт	$U_K$ , %	$I_{XX}$ , %	$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом
1000	10	0,4	1,9	12,2	5,5	1,7	1,22	5,4

Формулы для нахождения активного, реактивного и полного сопротивления трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} = \frac{12,2 \cdot 10^2 \cdot 1000}{1000^2} = 1,22 \text{ Ом},$$

$$Z_T = \frac{U_K \% \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ} \cdot 100} = \frac{5,5 \cdot 10^2 \cdot 1000}{1000 \cdot 100} = 5,5 \text{ Ом},$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,22^2} = 5,4 \text{ Ом}.$$

На начальном этапе подготовим расчеты по активным, реактивным нагрузкам в максимальном (нормальном) и минимальном режимах работы предприятия. Затем найдем перетоки мощности, с учетом потерь в линиях и трансформаторах. Далее определим фактические значения коэффициентов

мощности и коэффициентов реактивной мощности, результаты сравним с требуемыми значениями и рассмотрим три варианта решения для поставленной задачи:

1. В первом варианте воспользуемся методикой расчета повышающих коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств [8].

2. Во втором варианте зададимся коэффициентом реактивной мощности на границе раздела балансовой принадлежности 10кВ, из соотношений фактических значений коэффициентов реактивной мощности и требуемых значений в соответствии с приказом [7] определим величину реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать. Затем оценим затраты на компенсацию реактивной мощности, связанные с установкой компенсирующих устройств на предприятии на напряжение 10кВ.

3. Третий вариант, коэффициент реактивной мощности задан на нагрузках потребителей 0,4кВ, также из соотношения фактических значений коэффициентов реактивной мощности и требуемых значений из приказа [7], определим величину реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать на шинах потребителей. Затем оценим затраты на компенсацию реактивной мощности, связанные с установкой компенсирующих устройств на напряжение 0,4кВ.

4. Произведем расчет режимов для всех трех вариантов в программе RastrWin и сравним данные с расчетными значениями.

### **3. Расчет режимов в программе RastrWin**

Для выполнения расчетов электрических режимов ЭЭС, в программном комплексе RastrWin, была создана цифровая расчетная модель ЭЭС (рисунок 16). Цифровая расчетная модель ЭЭС формировалась на основании исходных данных, и фактически представляет собой базу данных, отражающую параметры узлов и ветвей, входящих в схему замещения рассматриваемой ЭЭС.

Для создания цифровой модели, была составлена электрическая схема замещения ЭЭС с обозначением на ней номеров узлов и ветвей, представленная на рисунке 19.

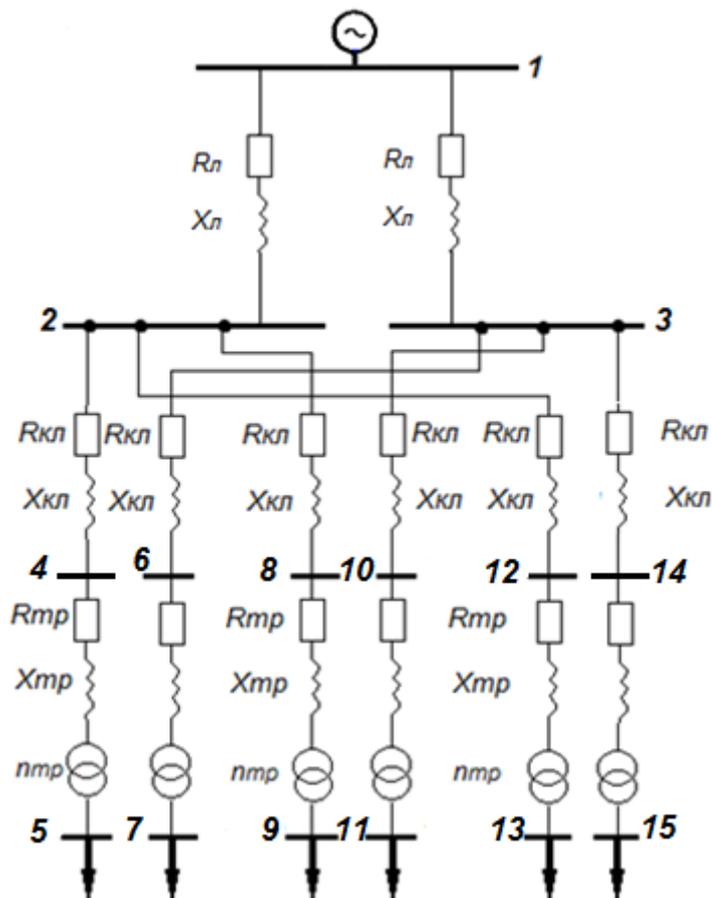


Рисунок 20 – Схема замещения

Расчет нормального установившегося режима без установки компенсирующих устройств представлен на рисунке 20.

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		База	1	1	10.500					1.223	1.043	10.5	-1000.0	1000.0		10.500	0.00
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	2	10.500											10.467	-0.04
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	3	10.500											10.471	-0.05
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	4	10.500											10.467	-0.04
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	5	0.400			0.226	0.224							0.413	-0.54
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	6	10.500											10.470	-0.04
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	7	7	0.400			0.107	0.158							0.415	-0.25
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	8	8	10.500											10.466	-0.04
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	9	9	0.400			0.373	0.317							0.410	-0.91
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	10	10.500											10.469	-0.04
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	11	0.400			0.432	0.258							0.411	-1.12
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	12	10.500											10.467	-0.04
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	13	13	0.400			0.018	0.015							0.418	-0.08
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	14	14	10.500											10.470	-0.05
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	15	15	0.400			0.057	0.060							0.417	-0.17

Рисунок 21 – Вкладка «Узлы»

	О	S	Тип	N_нач	N_кон	N_n	I...	Название	R	X	B	Кт/г	I_max	P_нач	Q_нач	P_кон	Q_кон
1	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	2			1 - 2	0.239	0.344			46	-0.622	-0.561	-0.621	-0.558
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	3			1 - 3	0.239	0.344			42	-0.601	-0.482	-0.599	-0.480
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	10			3 - 10	0.029	0.006			28	-0.435	-0.272	-0.434	-0.272
4	<input type="checkbox"/>		Тр-р	10	11			10 - 11	1.200	5.400	0.040		28	-0.435	-0.271	-0.432	-0.258
5	<input type="checkbox"/>		Тр-р	8	9			8 - 9	1.200	5.400	0.040		28	-0.376	-0.329	-0.373	-0.317
6	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	8			2 - 8	0.029	0.006			28	-0.375	-0.331	-0.375	-0.331
7	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	4			2 - 4	0.029	0.006			18	-0.227	-0.231	-0.227	-0.231
8	<input type="checkbox"/>		Тр-р	4	5			4 - 5	1.200	5.400	0.040		18	-0.227	-0.229	-0.226	-0.224
9	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	6			3 - 6	0.048	0.009			11	-0.107	-0.161	-0.107	-0.161
10	<input type="checkbox"/>		Тр-р	6	7			6 - 7	1.200	5.400	0.040		11	-0.107	-0.160	-0.107	-0.158
11	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	14			3 - 14	0.029	0.006			5	-0.057	-0.062	-0.057	-0.062
12	<input type="checkbox"/>		Тр-р	14	15			14 - 15	1.200	5.400	0.040		5	-0.057	-0.060	-0.057	-0.060
13	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	12			2 - 12	0.048	0.009			1	-0.018	-0.016	-0.018	-0.016
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	13			12 - 13	1.200	5.400	0.040		1	-0.018	-0.015	-0.018	-0.015

Рисунок 22 – Вкладка «Ветви»

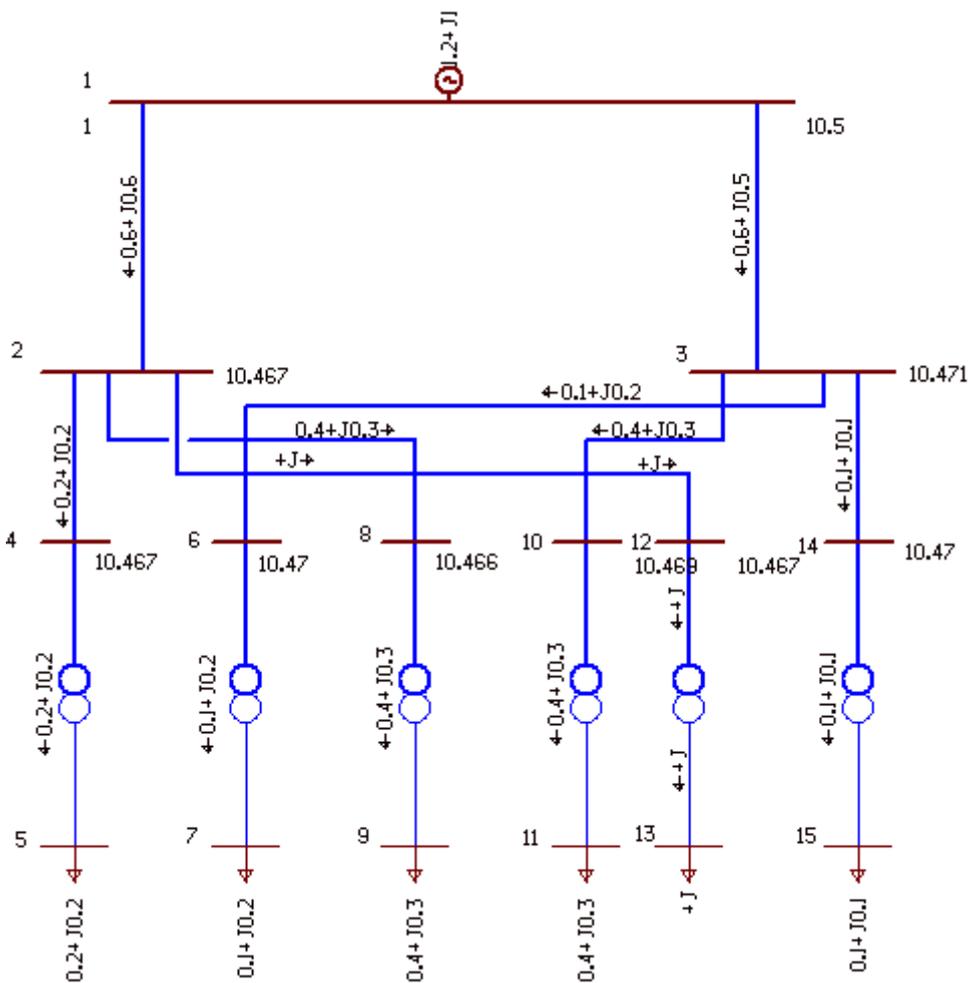


Рисунок 23 – Цифровая расчетная модель ЭЭС

### 3.1. Расчет режима максимальных нагрузок с установкой компенсирующих устройств на шинах 10кВ

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		База	1	1	10.500					1.216	0.463	10.5	-1000.0	1000.0		10.50	0.00
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	2	10.500										-2720.0	10.48	-0.08
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	3	10.500										-2720.0	10.48	-0.08
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	4	10.500											10.48	-0.07
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	5	0.400			0.226	0.224							0.41	-0.58
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	6	10.500											10.48	-0.08
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	7	7	0.400			0.107	0.158							0.42	-0.28
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	8	8	10.500											10.48	-0.07
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	9	9	0.400			0.373	0.317							0.41	-0.94
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	10	10.500											10.48	-0.08
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	11	0.400			0.432	0.258							0.41	-1.15
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	12	10.500											10.48	-0.08
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	13	13	0.400			0.018	0.015							0.42	-0.12
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	14	14	10.500											10.48	-0.08
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	15	15	0.400			0.057	0.060							0.42	-0.21

Рисунок 24 – Вкладка «Узлы»

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Кт/г	P_нач	Q_нач	P_кон	Q_кон
1	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	2			1 - 2	0.24	0.34			-0.619	-0.273	-0.618	-0.271
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	3			1 - 3	0.24	0.34			-0.597	-0.190	-0.596	-0.189
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	4			2 - 4	0.03	0.01			-0.227	-0.231	-0.227	-0.231
4	<input type="checkbox"/>		Тр-р	4	5			4 - 5	1.20	5.40		0.040	-0.227	-0.229	-0.226	-0.224
5	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	6			3 - 6	0.05	0.01			-0.107	-0.161	-0.107	-0.161
6	<input type="checkbox"/>		Тр-р	6	7			6 - 7	1.20	5.40		0.040	-0.107	-0.160	-0.107	-0.158
7	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	8			2 - 8	0.03	0.01			-0.376	-0.331	-0.376	-0.331
8	<input type="checkbox"/>		Тр-р	8	9			8 - 9	1.20	5.40		0.040	-0.376	-0.329	-0.373	-0.317
9	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	10			3 - 10	0.03	0.01			-0.435	-0.272	-0.435	-0.272
10	<input type="checkbox"/>		Тр-р	10	11			10 - 11	1.20	5.40		0.040	-0.435	-0.271	-0.432	-0.258
11	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	12			2 - 12	0.05	0.01			-0.018	-0.016	-0.018	-0.016
12	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	13			12 - 13	1.20	5.40		0.040	-0.018	-0.015	-0.018	-0.015
13	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	14			3 - 14	0.03	0.01			-0.057	-0.062	-0.057	-0.062
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	14	15			14 - 15	1.20	5.40		0.040	-0.057	-0.060	-0.057	-0.060

Рисунок 25 – Вкладка «Ветви»

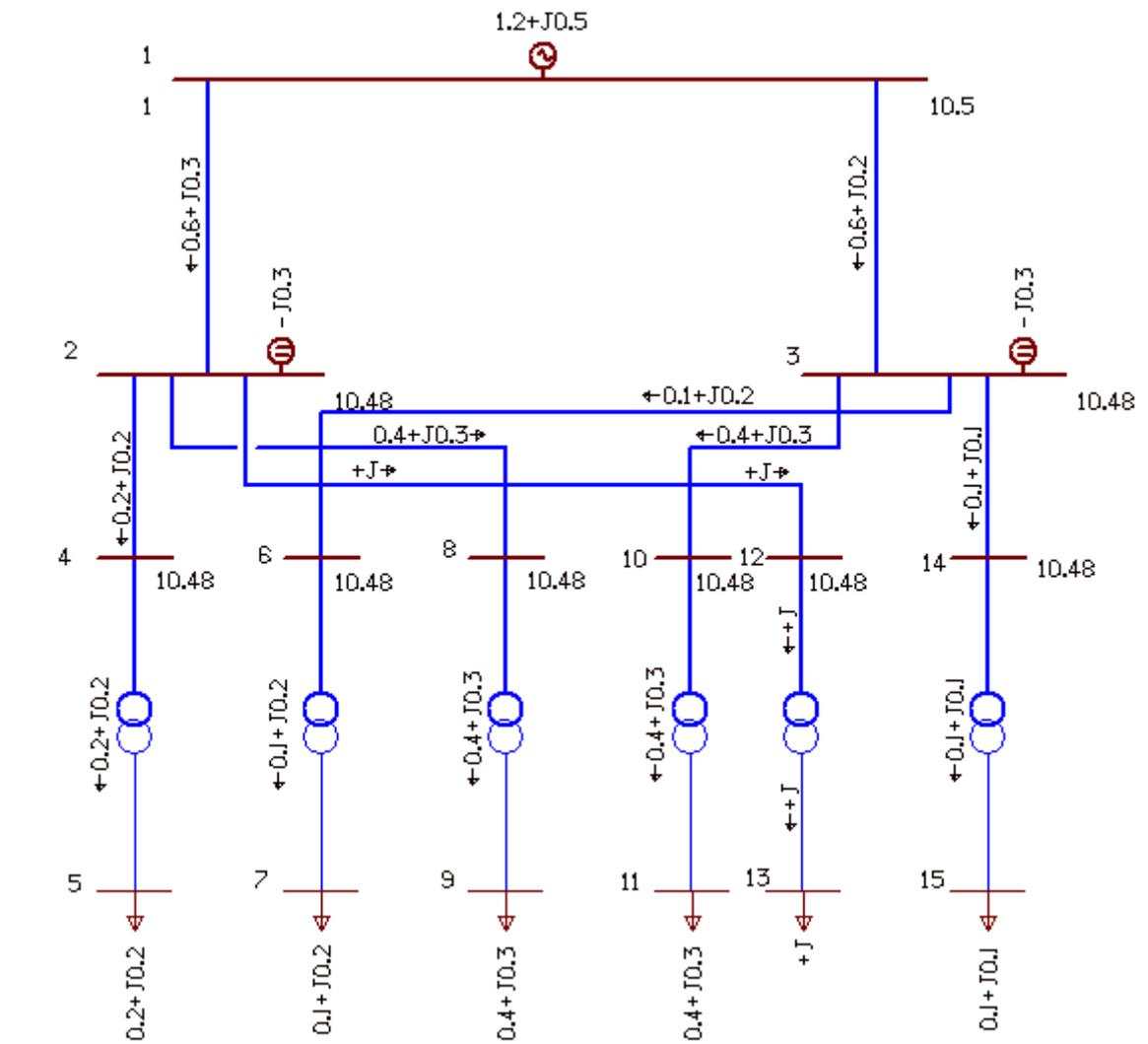


Рисунок 26 – Цифровая расчетная модель ЭЭС с установкой КУ на шинах 10кВ

### 3.2. Расчет режима максимальных нагрузок с установкой компенсирующих устройств на шинах 0,4кВ

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		База	1	1	10.50					1.219	0.408	10.5	-1000.0	1000.0		10.50	0.00
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	2	10.50											10.48	-0.08
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	3	10.50											10.48	-0.08
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	4	10.50											10.48	-0.08
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	5	0.40			0.226	0.224						-875 000.0	0.42	-0.68
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	6	10.50											10.48	-0.08
7	<input type="checkbox"/>		Нагр	7	7	0.40			0.107	0.158						-750 000.0	0.42	-0.37
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	8	8	10.50											10.48	-0.08
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	9	9	0.40			0.373	0.317						-1 125 000.0	0.41	-1.07
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	10	10.50											10.48	-0.08
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	11	0.40			0.432	0.258							10.48	-0.08
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	12	10.50											10.48	-0.08
13	<input type="checkbox"/>		Нагр	13	13	0.40			0.018	0.015							10.48	-0.08
14	<input type="checkbox"/>		Нагр	14	14	10.50											10.48	-0.08
15	<input type="checkbox"/>		Нагр	15	15	0.40			0.057	0.060							10.48	-0.08

Рисунок 27– Вкладка «Узлы»

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_л	I...	Название	R	X	B	Кт/r	P_нач	Q_нач	P_кон	Q_кон
1	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	2			1 - 2	0.24	0.34			-0.619	-0.273	-0.618	-0.271
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	3			1 - 3	0.24	0.34			-0.597	-0.190	-0.596	-0.189
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	4			2 - 4	0.03	0.01			-0.227	-0.231	-0.227	-0.231
4	<input type="checkbox"/>		Тр-р	4	5			4 - 5	1.20	5.40		0.040	-0.227	-0.229	-0.226	-0.224
5	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	6			3 - 6	0.05	0.01			-0.107	-0.161	-0.107	-0.161
6	<input type="checkbox"/>		Тр-р	6	7			6 - 7	1.20	5.40		0.040	-0.107	-0.160	-0.107	-0.158
7	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	8			2 - 8	0.03	0.01			-0.376	-0.331	-0.376	-0.331
8	<input type="checkbox"/>		Тр-р	8	9			8 - 9	1.20	5.40		0.040	-0.376	-0.329	-0.373	-0.317
9	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	10			3 - 10	0.03	0.01			-0.435	-0.272	-0.435	-0.272
10	<input type="checkbox"/>		Тр-р	10	11			10 - 11	1.20	5.40		0.040	-0.435	-0.271	-0.432	-0.258
11	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	12			2 - 12	0.05	0.01			-0.018	-0.016	-0.018	-0.016
12	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	13			12 - 13	1.20	5.40		0.040	-0.018	-0.015	-0.018	-0.015
13	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	14			3 - 14	0.03	0.01			-0.057	-0.062	-0.057	-0.062
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	14	15			14 - 15	1.20	5.40		0.040	-0.057	-0.060	-0.057	-0.060

Рисунок 28 – Вкладка «Ветви»

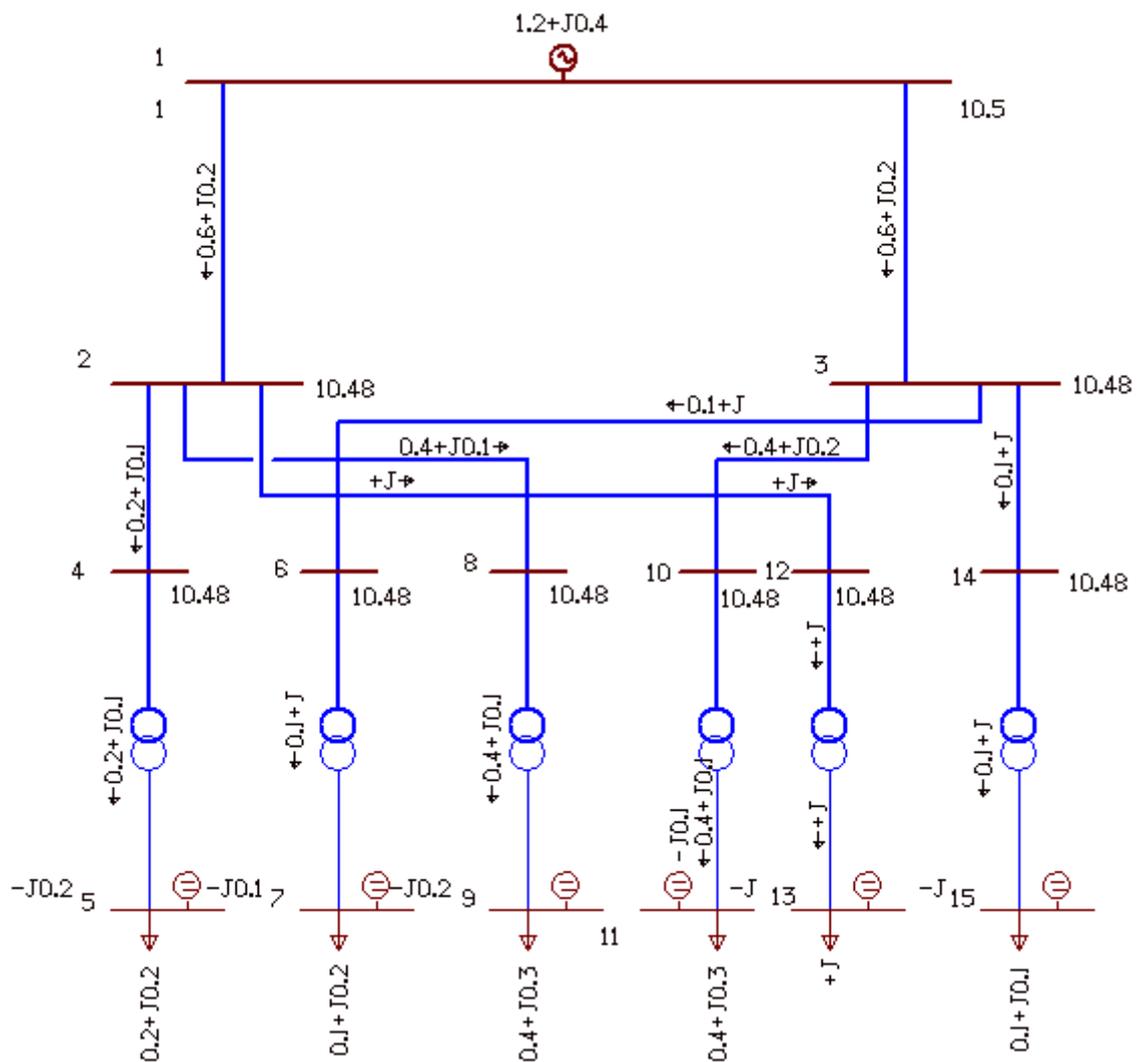


Рисунок 29 – Цифровая расчетная модель ЭЭС с установкой КУ на шинах 0,4кВ

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM5E	Оринченко Ксения Андреевна

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)</b>
<b>Уровень образования</b>	магистр	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость конденсаторных установок, стоимость регуляторов и вводных устройств
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Стоимость потерь электроэнергии до и после компенсации реактивной мощности
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Издержки на монтаж оборудования, на обслуживание электроустановок, амортизационные отчисления

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение простых показателей при внедрении конденсаторных батарей
	Определение интегрированных показателей, руб.
	Расчет экономической эффективности по критерию ЧДД, руб.

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

Данные конденсаторных установок напряжением 10кВ. Данные конденсаторных установок 0,4кВ. Потери активной мощности до и после компенсации реактивной мощности 10 и 0,4кВ. Некоторые показатели использования конденсаторных установок по годам расчетного периода. Интегрированные показатели использования конденсаторных установок, руб. Экономическая эффективность по критерию чистого дисконтированного дохода, руб. Графики дисконтированных показателей проекта.

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM5E	Оринченко Ксения Андреевна		

## **7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Данная работа направлена на улучшение показателей качества электрической энергии, повышение надежности системы электроснабжения и сокращения эксплуатационных затрат за счет компенсации реактивной мощности.

В данной работе предлагаются возможные решения по уменьшению потребления реактивной мощности, экономии денежных средств за счет компенсации реактивных нагрузок, либо применения повышающих коэффициентов к тарифам на транзит электрической энергии по сетям энергоснабжающей организации.

Область применения: система электроснабжения промышленных предприятий.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа посвящена вопросу нахождения оптимального решения компенсации реактивной мощности на предприятии с точки зрения минимума затрат для потребителей.

Так как все расчеты основаны на реальных данных, снятых на предприятии (ООО «ЗКПД»), в будущем проект может быть реализован.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ RastrWin, MS Excel, MS Visio, в текстовом редакторе MS Word.

## 7.1. Расчет эффективности проекта

Составляем таблицу простых показателей для конденсаторных установок напряжением 10 и 0,4кВ (таблицы 7.5 и 7.8).

На основе простых показателей рассчитываем интегральные показатели и делаем вывод об эффективности проекта. Принимаем долю налоговых отчислений  $H$ , отнимаемых от балансовой прибыли  $Pr^6$ , равной 20% [18].

Интегральные показатели:

- балансовая прибыль:  $Pr^6 = РП - И$ ;
- чистая прибыль:  $Pr^ч = Pr^6 \cdot (1 - H)$ ;
- чистая прибыль с амортизацией:  $Pr^ч' = Pr^ч + I_a$ ;
- чистый доход:  $ЧД = Pr^ч' + I_a - K_{вл}$ .

Учет фактора времени позволяет определить эффективность проекта за длительную перспективу.

Для учета фактора времени, то есть для более достоверной оценки эффективности проекта, применяются дисконтированные показатели. Они учитывают разную ценность денежных потоков в течение расчетного периода.

Процедура приведения разновременных платежей к дате начала процесса инвестирования называется дисконтированием. Дисконтирование осуществляется умножением текущих годовых потоков на коэффициент приведения  $d_t = 1/(1+E)^t$ , где  $E$  – показатель дисконтирования (ставка дисконта) – предполагаемая ставка за пользование инвестициями, принимаем  $E=0,0925$ ;  $t$  – текущий год расчетного периода. Полученные величины денежных потоков называются дисконтированными [18].

Один из методов использования дисконтированных потоков для определения эффективности проекта называется методом чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [18].

Чистый дисконтированный доход (таблицы 7.7 и 7.10) определяют по годам как разницу между дисконтированной стоимостью чистой прибыли и

дисконтированной стоимостью капиталовложений:

$$\text{ЧДД}_t = \sum (\text{Пр}_t^q \cdot d_t) - \sum (\text{К}_{\text{вл}_t} \cdot d_t).$$

Положительное значение  $\sum \text{ЧДД}_t$ , за какой-либо период позволяет считать проект эффективным, отрицательное — убыточным. То есть условием эффективности проекта считается  $\sum \text{ЧДД}_t \geq 0$ . Кроме того, можно определить индекс доходности проекта за весь период как отношение чистой дисконтированной прибыли за период к сумме дисконтированных капиталовложений за тот же период:

$$\alpha_d = \sum (\text{Пр}_t^q \cdot d_t) / \sum (\text{К}_{\text{вл}_t} \cdot d_t).$$

При  $\alpha_d \geq 1$  проект считается эффективным [18].

## 7.2. Технико-экономические показатели компенсирующих устройств

Характеристики конденсаторных батарей напряжением 10 и 0,4кВ приведены в таблицах 7.1 и 7.3. Снижения потерь до и после компенсации представлены в таблицах 7.2 и 7.4.

Таблица 7.1 – Данные конденсаторной установки напряжением 10кВ

Тип установки	Мощность кВАр	Удельная стоимость, руб./кВАр	Удельные потери, кВт/кВАр	Стоимость регулятора мощности, руб.	Стоимость вводного устройства для присоединения к сети БК, руб.	$U_{\text{б.к}}^*$	$U^*$
УКРЛ56-10,5-300-100УЗ	300	600	0,0025	36000	68700	1,05	1

Суммарные приведенные затраты на компенсацию реактивной мощности 10кВ (приведенные к первому году эксплуатации):

$$Z^{300} = (E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p) + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{\text{б.к}}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\text{б.к}}) \cdot Q_k = (0,223 \cdot 68700 + 0,27 \cdot 36000) + (0,2 \cdot 600 \cdot \left(\frac{1,05}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0025) \cdot 2 \cdot 300 = 105600 \text{ руб.}$$

Таблица 7.2 – Потери активной мощности до и после компенсации реактивной мощности, кВтч

№ТП	Потери до компенсации		Потери после компенсации	
	ЛЭП	Трансформатор	ЛЭП	Трансформатор
В.1 ТП1	0,03	1,239	0,019	0,802
В.2 ТП1	0,018	0,433	0,012	0,297
В.1 ТП2	0,072	2,919	0,053	2,247
В.2 ТП2	0,076	3,086	0,064	2,694
В.1 ТП3	0,0003	0,007	0,0003	0,007
В.2 ТП3	0,002	0,083	0,002	0,083
Шина 2	4,3		3,128	
Шина 3	3,7		3,152	

Переведем потери мощности в потери энергии:

$$T_{\max 2} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\max 2}} = \frac{3003950}{621} = 4837,3 \text{ ч,}$$

$$T_{\max 3} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\max 3}} = \frac{2133060}{598,9} = 3561,6 \text{ ч,}$$

$$W_{\max 2} = (\Delta P_{\text{до}} - \Delta P_{\text{после}}) \cdot T_{\max 2} = (4,3 - 3,128) \cdot 4837,3 = 5669,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$W_{\max 3} = (\Delta P_{\text{до}} - \Delta P_{\text{после}}) \cdot T_{\max 3} = (3,7 - 3,152) \cdot 3561,6 = 1951,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$W_{\max 1} = W_{\max 2} + W_{\max 3} = 5669,3 + 1951,8 = 7621 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Плата потребителя за потери электроэнергии с учетом установки компенсирующих устройств:

$$\Pi = W \cdot T_{\text{ЦК}}^1 \cdot \text{НДС} = 7621 \cdot 4,36062 \cdot 1,18 = 39214 \text{ руб./год,}$$

$$\Pi = (W \cdot T_{\text{ЦК}}^1 \cdot \text{НДС}) / 12 = (7621 \cdot 4,36062 \cdot 1,18) / 12 = 3268 \text{ руб./мес.}$$

Срок окупаемости:

$$T = n \cdot \Pi_1 \cdot k_m / (\Pi_2 - \Pi_3),$$

где  $\Pi_1$  – стоимость конденсаторной установки, руб.;  $\Pi_2$  – стоимость потерь электрической энергии без компенсации, руб./мес.;  $\Pi_3$  – стоимость потерь электрической энергии при применении конденсаторных установок, руб./мес.;  $k_m$  – коэффициент, учитывающий монтаж оборудования,  $n$  – количество конденсаторных установок.

$$T = 2 \cdot 284700 \cdot 1,1 / 39214 = 16 \text{ лет}$$

Таблица 7.3 – Данные конденсаторных установок напряжением 0,4кВ

Тип установки	Мощность кВАр	Удельная стоимость, руб. /кВАр	Стоимость регулятора мощности, руб.	Стоимость вводного устройства для присоединения к сети БК, руб.	Удельные потери, кВт/кВАр	$U_{б.к}^*$	$U^*$
УКРМ-0,4-140-У3	140	407	11400	6200	0,0045	1	1
УКРМ-0,4-120-У3	120	440	10560	4128	0,0045	1	1
УКРМ-0,4-180-У3	180	378	13620	11058	0,0045	1	1
УКРМ-0,4-105-У3	105	474	9960	4700	0,0045	1	1
УКРМ-0,4-9-У3	9	2422	4360	514	0,0045	1	1
УКРМ-0,4-40-У3	40	752	6020	720	0,0045	1	1

Суммарные приведенные затраты на компенсацию реактивной мощности (приведенные к первому году эксплуатации):

$$Z^{140} = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{б.к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{б.к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 6200 + 0,27 \cdot 11400 + (0,2 \cdot 407 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 140 = 16340 \text{ руб,}$$

$$Z^{120} = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{б.к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{б.к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 4128 + 0,27 \cdot 10560 + (0,2 \cdot 440 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 120 = 14750 \text{ руб,}$$

$$Z^{180} = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{б.к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{б.к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 11058 + 0,27 \cdot 13620 + (0,2 \cdot 378 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 180 = 20370 \text{ руб,}$$

$$Z^{105} = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{б.к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{б.к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 4700 + 0,27 \cdot 9960 + (0,2 \cdot 474 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 105 = 14050 \text{ руб,}$$

$$Z^9 = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{б.к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{б.к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 514 + 0,27 \cdot 4360 + (0,2 \cdot 2422 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 9 = 5683 \text{ руб,}$$

$$Z^{40} = E \cdot K_0 + E_p \cdot K_p + (E \cdot K_y \cdot \left(\frac{U_{6,к}^*}{U}\right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{6,к}) \cdot Q_k = 0,223 \cdot 720 + 0,27 \cdot 6020 + (0,2 \cdot 752 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 + 768 \cdot 0,0045) \cdot 1 \cdot 40 = 7940 \text{ руб.}$$

Таблица 7.4 – Потери активной мощности до и после компенсации реактивной мощности, кВтч

№ТП	Потери до компенсации		Потери после компенсации	
	ЛЭП	Трансформатор	ЛЭП	Трансформатор
В.1 ТП1	0,03	1,239	0,017	0,712
В.2 ТП1	0,018	0,433	0,006	0,156
В.1 ТП2	0,072	2,919	0,047	1,923
В.2 ТП2	0,076	3,086	0,063	2,561
В.1 ТП3	0,0003	0,007	0,0002	0,004
В.2 ТП3	0,002	0,083	0,001	0,044
Шина 2	4,3		2,70	
Шина 3	3,7		2,83	

Переведем потери мощности в потери энергии:

$$T_{\max 2} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\max 2}} = \frac{3003950}{621} = 4837,3 \text{ ч,}$$

$$T_{\max 3} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\max 2}} = \frac{2133060}{598,9} = 3561,6 \text{ ч,}$$

$$W_{\max 2} = (\Delta P_{\text{до}} - \Delta P_{\text{после}}) \cdot T_{\max 2} = (4,3 - 2,7) \cdot 4837,3 = 7740 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$W_{\max 3} = (\Delta P_{\text{до}} - \Delta P_{\text{после}}) \cdot T_{\max 3} = (3,7 - 2,83) \cdot 3561,6 = 3099 \text{ кВт} \cdot \text{ч,}$$

$$W_{\max 1} = W_{\max 2} + W_{\max 3} = 7740 + 3099 = 10840 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Плата потребителя за потери электроэнергии с учетом установки компенсирующих устройств:

$$\Pi = W \cdot T_{\text{ЦК}}^1 \cdot \text{НДС} = 10840 \cdot 4,36062 \cdot 1,18 = 55780 \text{ руб./год,}$$

$$\Pi = (W \cdot T_{\text{ЦК}}^1 \cdot \text{НДС}) / 12 = (10840 \cdot 4,36062 \cdot 1,18) / 12 = 4648 \text{ руб./мес.}$$

Срок окупаемости:

$$T = n \cdot \Pi_1 \cdot k_m / (\Pi_2 - \Pi_3),$$

где  $\Pi_1$  – стоимость конденсаторной установки, руб.;  $\Pi_2$  – стоимость потерь электрической энергии без компенсации, руб./мес.;  $\Pi_3$  – стоимость потерь электрической энергии при применении конденсаторных установок, руб./мес.;  $k_m$  – коэффициент, учитывающий монтаж оборудования,  $n$  – количество конденсаторных установок.

$$T = (285600 + 55920 + 27320) \cdot 1,1 / 55780 = 7,3 \text{ лет.}$$

Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования, транспортировку, монтажные работы, пусконаладочные работы, следовательно, монтаж оборудования учтем в капитальных вложениях как 11%. Основная ставка налога на прибыль составляет 20%.

В рассмотренных вариантах использования конденсаторных батарей на разное напряжения для компенсации реактивной и достижения требуемых показателей энергоэффективности, амортизационные отчисления и затраты на обслуживание электроустановок не будем учитывать, также случае установки конденсаторных батарей на 10кВ не будем учитывать налог на прибыль, а при установке на напряжение 0,4кВ налог на прибыль учитываем. Так как экономия затрат за счет снижения потерь мы рассчитываем, как прирост прибыли, а прибыль отрицательной быть не может.

Далее в таблицах (7.5 – 7.10) представлены сначала простые показатели объектов, затем на основе простых показателей определяются интегрированные показатели, которые и учитываю налоговые отчисление, амортизационные отчисления, но мы не учитываем их. Для более достоверной оценки эффективности внедрения электроустановок применим дисконтированные показатели.

Таблица 7.5 – Некоторые показатели использования конденсаторных установок напряжением 10кВ по годам расчетного периода

Год	Число КУ	Снижение потерь электроэнергии до и после КРМ, кВтч			Снижение платежа за потери электроэнергии до и после КРМ, руб.		
		До КРМ, кВтч	После КРМ, кВтч	Всего снижение, кВтч	До КРМ, руб.	После КРМ, руб.	Всего снижение, руб.
1	2	33978	26357	7621	174836	135622	39215
2	2	33978	26357	7621	184452	143081	41371
3	2	33978	26357	7621	185327	143759	41568
4	2	33978	26357	7621	186201	144437	41764
5	2	33978	26357	7621	187075	145115	41960
6	2	33978	26357	7621	187949	145793	42156
7	2	33978	26357	7621	188823	146472	42352
8	2	33978	26357	7621	189698	147150	42548
9	2	33978	26357	7621	190572	147828	42744
10	2	33978	26357	7621	191446	148506	42940
11	2	33978	26357	7621	192320	149184	43136
12	2	33978	26357	7621	201062	155965	45097
13	2	33978	26357	7621	209804	162746	47058
14	2	33978	26357	7621	184452	143081	41371
15	2	33978	26357	7621	218546	169527	49018
16	2	33978	26357	7621	227287	176308	50979
17	2	33978	26357	7621	236029	183089	52940
18	2	33978	26357	7621	244771	189871	54901
19	2	33978	26357	7621	253513	196652	56861
20	2	33978	26357	7621	262255	203433	58822

21	2	33978	26357	7621	270997	210214	60783
22	2	33978	26357	7621	279738	216995	62743
23	2	33978	26357	7621	288480	223776	64704
24	2	33978	26357	7621	297222	230557	66665
25	2	33978	26357	7621	305964	237338	68626
26	2	33978	26357	7621	314706	244119	70586
27	2	33978	26357	7621	323447	250900	72547
28	2	33978	26357	7621	332189	257681	74508
29	2	33978	26357	7621	340931	264463	76469
30	2	33978	26357	7621	347925	269887	78037
<b>Итого</b>	<b>2</b>	<b>33978</b>	<b>26357</b>	<b>7621</b>	<b>347925</b>	<b>269887</b>	<b>78037</b>

Таблица 7.6 – Интегрированные показатели использования конденсаторных установок напряжением 10кВ, руб.

Год	РП		Пр <sup>б</sup>		Пр <sup>ч</sup>		Пр <sup>ч/</sup>		Квл		ЧД	
	РП <sub>t</sub>	ΣРП <sub>t</sub>	Пр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	ΣПр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	Пр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>	ΣПр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>	Пр <sup>ч/</sup> <sub>t</sub>	ΣПр <sup>ч/</sup> <sub>t</sub>	Квл <sub>t</sub>	ΣКвл <sub>t</sub>	ЧД <sub>t</sub>	ΣЧД <sub>t</sub>
1	39215	39215	39215	39215	39215	39215	39215	39215	632034	632034	-592819	-592819
2	41371	80586	41371	80586	41371	80586	41371	80586	0	0	41371	-551448
3	41568	122154	41568	122154	41568	122154	41568	122154	0	0	41568	-509880
4	41764	163917	41764	163917	41764	163917	41764	163917	0	0	41764	-468117
5	41960	205877	41960	205877	41960	205877	41960	205877	0	0	41960	-426157
6	42156	248033	42156	248033	42156	248033	42156	248033	0	0	42156	-384001
7	42352	290385	42352	290385	42352	290385	42352	290385	0	0	42352	-341649
8	42548	332932	42548	332932	42548	332932	42548	332932	0	0	42548	-299102
9	42744	375676	42744	375676	42744	375676	42744	375676	0	0	42744	-256358
10	42940	418617	42940	418617	42940	418617	42940	418617	0	0	42940	-213417
11	43136	461753	43136	461753	43136	461753	43136	461753	0	0	43136	-170281
12	45097	506850	45097	506850	45097	506850	45097	506850	0	0	45097	-125184

13	47058	553907	47058	553907	47058	553907	47058	553907	0	0	47058	-78127
14	41371	595279	41371	595279	41371	595279	41371	595279	0	0	41371	-36755
15	49018	644297	49018	644297	49018	644297	49018	644297	0	0	49018	12263
16	50979	695276	50979	695276	50979	695276	50979	695276	0	0	50979	63242
17	52940	748216	52940	748216	52940	748216	52940	748216	0	0	52940	116182
18	54901	803116	54901	803116	54901	803116	54901	803116	0	0	54901	171082
19	56861	859978	56861	859978	56861	859978	56861	859978	0	0	56861	227944
20	58822	918800	58822	918800	58822	918800	58822	918800	0	0	58822	286766
21	60783	979582	60783	979582	60783	979582	60783	979582	0	0	60783	347548
22	62743	1042326	62743	1042326	62743	1042326	62743	1042326	0	0	62743	410292
23	64704	1107030	64704	1107030	64704	1107030	64704	1107030	0	0	64704	474996
24	66665	1173695	66665	1173695	66665	1173695	66665	1173695	0	0	66665	541661
25	68626	1242321	68626	1242321	68626	1242321	68626	1242321	0	0	68626	610287
26	70586	1312907	70586	1312907	70586	1312907	70586	1312907	0	0	70586	680873
27	72547	1385454	72547	1385454	72547	1385454	72547	1385454	0	0	72547	753420
28	74508	1459962	74508	1459962	74508	1459962	74508	1459962	0	0	74508	827928
29	76469	1536430	76469	1536430	76469	1536430	76469	1536430	0	0	76469	904396
30	78037	1614468	78037	1614468	78037	1614468	78037	1614468	0	0	78037	982434
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1614468</b>	<b>-</b>	<b>1614468</b>	<b>-</b>	<b>1614468</b>	<b>-</b>	<b>1614468</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>982434</b>

Таблица 7.7 – Экономическая эффективность по критерию чистого дисконтированного дохода, руб.

Год	К-т дис-ния	Чистая прибыль без амортизацией			Капиталовложения			ЧДД
	$d_t$	$Pr^u_i$	$Pr^u_i \cdot d_t$	$\sum Pr^u_i \cdot d_t$	$Kвл_t$	$Kвл_t \cdot d_t$	$\sum Kвл_t \cdot d_t$	
1	0.924	39215	36226	36226	632034	583865	583865	-547639
2	0.853	41371	35306	71532	0	0	583865	-512333
3	0.788	41568	32770	104301	0	0	583865	-479564
4	0.728	41764	30415	134716	0	0	583865	-449149

5	0.673	41960	28229	162945	0	0	583865	-420920
6	0.621	42156	26199	189144	0	0	583865	-394721
7	0.574	42352	24315	213459	0	0	583865	-370406
8	0.530	42548	22566	236025	0	0	583865	-347840
9	0.490	42744	20942	256968	0	0	583865	-326897
10	0.453	42940	19435	276403	0	0	583865	-307462
11	0.418	43136	18036	294438	0	0	583865	-289427
12	0.386	45097	17419	311857	0	0	583865	-272008
13	0.357	47058	16791	328648	0	0	583865	-255218
14	0.330	41371	13637	342284	0	0	583865	-241581
15	0.304	49018	14926	357210	0	0	583865	-226655
16	0.281	50979	14340	371550	0	0	583865	-212315
17	0.260	52940	13756	385307	0	0	583865	-198559
18	0.240	54901	13179	398485	0	0	583865	-185380
19	0.222	56861	12609	411095	0	0	583865	-172771
20	0.205	58822	12050	423144	0	0	583865	-160721
21	0.189	60783	11503	434647	0	0	583865	-149218
22	0.175	62743	10969	445616	0	0	583865	-138250
23	0.161	64704	10449	456065	0	0	583865	-127800
24	0.149	66665	9946	466011	0	0	583865	-117855
25	0.138	68626	9458	475468	0	0	583865	-108397
26	0.127	70586	8987	484455	0	0	583865	-99410
27	0.118	72547	8532	492987	0	0	583865	-90878
28	0.109	74508	8095	501082	0	0	583865	-82783
29	0.100	76469	7675	508757	0	0	583865	-75108
30	0.093	78037	7235	515993	0	0	583865	-67873
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1614468</b>	<b>515993</b>	<b>515993</b>	<b>632034</b>	<b>583865</b>	<b>583865</b>	<b>-67873</b>

Таблица 7.8 – Некоторые показатели использования конденсаторных установок напряжением 0,4кВ по годам расчетного периода

Год	Число КУ	Снижение потерь электроэнергии до и после КРМ, кВтч			Снижение платежа за потери электроэнергии до и после КРМ, руб.		
		До КРМ, кВтч	После КРМ, кВтч	Всего снижение, кВтч	До КРМ, руб.	После КРМ, руб.	Всего снижение, руб.
1	6	33978	23140	10838	174836	119068	55769
2	6	33978	23140	10838	184452	125617	58836
3	6	33978	23140	10838	185327	126212	59115
4	6	33978	23140	10838	186201	126807	59394
5	6	33978	23140	10838	187075	127403	59672
6	6	33978	23140	10838	187949	127998	59951
7	6	33978	23140	10838	188823	128593	60230
8	6	33978	23140	10838	189698	129189	60509
9	6	33978	23140	10838	190572	129784	60788
10	6	33978	23140	10838	191446	130379	61067
11	6	33978	23140	10838	192320	130975	61346
12	6	33978	23140	10838	201062	136928	64134
13	6	33978	23140	10838	209804	142881	66922
14	6	33978	23140	10838	218546	148835	69711
15	6	33978	23140	10838	227287	154788	72499
16	6	33978	23140	10838	236029	160742	75288
17	6	33978	23140	10838	244771	166695	78076
18	6	33978	23140	10838	253513	172648	80865
19	6	33978	23140	10838	262255	178602	83653
20	6	33978	23140	10838	270997	184555	86441

<b>Итого</b>	<b>6</b>	<b>33978</b>	<b>23140</b>	<b>10838</b>	<b>270997</b>	<b>184555</b>	<b>86441</b>
--------------	----------	--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	--------------

Таблица 7.9 – Интегрированные показатели использования конденсаторных установок напряжением 0,4кВ, руб.

Год	РП		Пр <sup>б</sup>		Пр <sup>ч</sup>		Пр <sup>ч/</sup>		Квл		ЧД	
	РП <sub>t</sub>	∑РП <sub>t</sub>	Пр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	∑Пр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	Пр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>	∑Пр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>	РП <sub>t</sub>	∑РП <sub>t</sub>	Пр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	∑Пр <sup>б</sup> <sub>t</sub>	Пр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>	∑Пр <sup>ч</sup> <sub>t</sub>
1	55769	55769	55769	55769	44615	44615	44615	44615	409412	409412	-364797	-364797
2	58836	114605	58836	114605	47069	91684	47069	91684	0	0	47069	-317728
3	59115	173719	59115	173719	47292	138976	47292	138976	0	0	47292	-270436
4	59394	233113	59394	233113	47515	186490	47515	186490	0	0	47515	-222922
5	59672	292785	59672	292785	47738	234228	47738	234228	0	0	47738	-175184
6	59951	352737	59951	352737	47961	282189	47961	282189	0	0	47961	-127223
7	60230	412967	60230	412967	48184	330374	48184	330374	0	0	48184	-79038
8	60509	473476	60509	473476	48407	378781	48407	378781	0	0	48407	-30631
9	60788	534264	60788	534264	48630	427411	48630	427411	0	0	48630	17999
10	61067	595330	61067	595330	48853	476264	48853	476264	0	0	48853	66852
11	61346	656676	61346	656676	49076	525341	49076	525341	0	0	49076	115929
12	64134	720810	64134	720810	51307	576648	51307	576648	0	0	51307	167236
13	66922	787732	66922	787732	53538	630186	53538	630186	0	0	53538	220774
14	69711	857443	69711	857443	55769	685955	55769	685955	0	0	55769	276543
15	72499	929942	72499	929942	57999	743954	57999	743954	0	0	57999	334542
16	75288	1005230	75288	1005230	60230	804184	60230	804184	0	0	60230	394772
17	78076	1083306	78076	1083306	62461	866645	62461	866645	0	0	62461	457233
18	80865	1164171	80865	1164171	64692	931337	64692	931337	0	0	64692	521925
19	83653	1247824	83653	1247824	66922	998259	66922	998259	0	0	66922	588847
20	86441	1334265	86441	1334265	69153	1067412	69153	1067412	0	0	69153	658000
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1334265</b>	<b>-</b>	<b>1334265</b>	<b>-</b>	<b>1067412</b>	<b>-</b>	<b>1067412</b>	<b>-</b>	<b>409412</b>	<b>-</b>	<b>658000</b>

Таблица 7.10 – Экономическая эффективность по критерию чистого дисконтированного дохода, руб.

Год	К-т дис-ния	Чистая прибыль без амортизацией			Капиталовложения			ЧДД
	$d_t$	$Пр^ч_i$	$Пр^ч_i \cdot d_t$	$\sum Пр^ч_i \cdot d_t$	Квл <sub>t</sub>	Квл <sub>t</sub> · $d_t$	$\sum Квл_t \cdot d_t$	
1	0.915	44615	40837	40837	409412	374748	374748	-333910
2	0.838	47069	39436	80273	0	0	374748	-294475
3	0.767	47292	36268	116541	0	0	374748	-258207
4	0.702	47515	33354	149895	0	0	374748	-224853
5	0.643	47738	30673	180568	0	0	374748	-194180
6	0.588	47961	28207	208775	0	0	374748	-165973
7	0.538	48184	25939	234714	0	0	374748	-140034
8	0.493	48407	23853	258567	0	0	374748	-116181
9	0.451	48630	21934	280501	0	0	374748	-94247
10	0.413	48853	20169	300669	0	0	374748	-74078
11	0.378	49076	18545	319215	0	0	374748	-55533
12	0.346	51307	17747	336962	0	0	374748	-37786
13	0.317	53538	16951	353912	0	0	374748	-20836
14	0.290	55769	16162	370074	0	0	374748	-4674
15	0.265	57999	15385	385459	0	0	374748	10711
16	0.243	60230	14624	400083	0	0	374748	25335
17	0.222	62461	13882	413965	0	0	374748	39217
18	0.203	64692	13160	427125	0	0	374748	52377
19	0.186	66922	12461	439586	0	0	374748	64839
20	0.170	69153	11786	451373	0	0	374748	76625
<b>Итого</b>	<b>-</b>	<b>1067412</b>	<b>451373</b>	<b>451373</b>	<b>409412</b>	<b>374748</b>	<b>374748</b>	<b>76625</b>

Графически дисконтированные показатели экономической эффективности проекта представлены на рисунках 25 и 26.

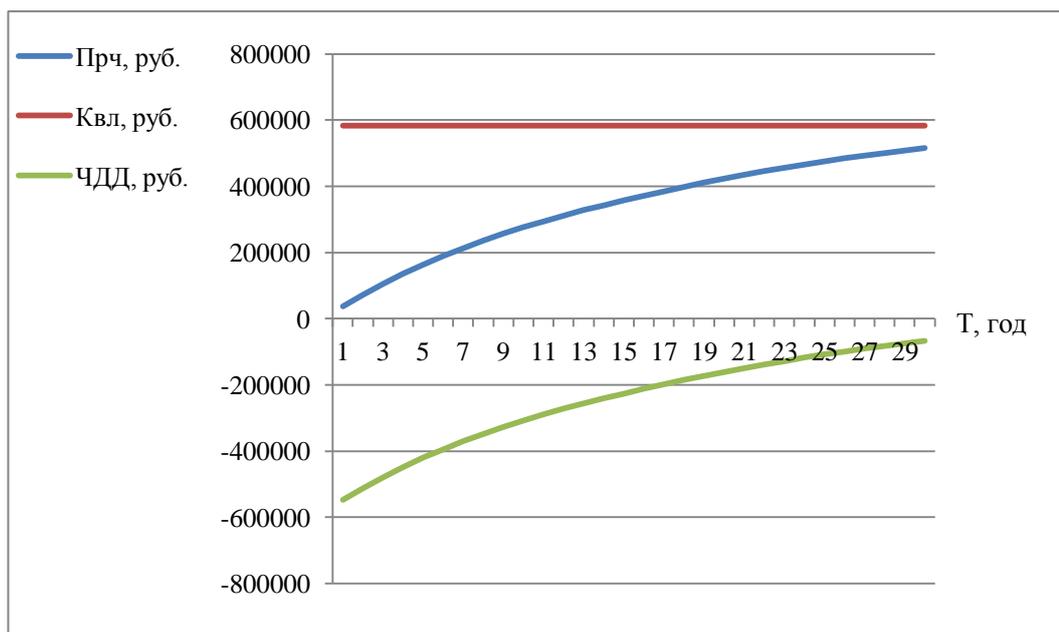


Рисунок 25 – Дисконтированные показатели экономической эффективности внедрения конденсаторных установок напряжением 10кВ

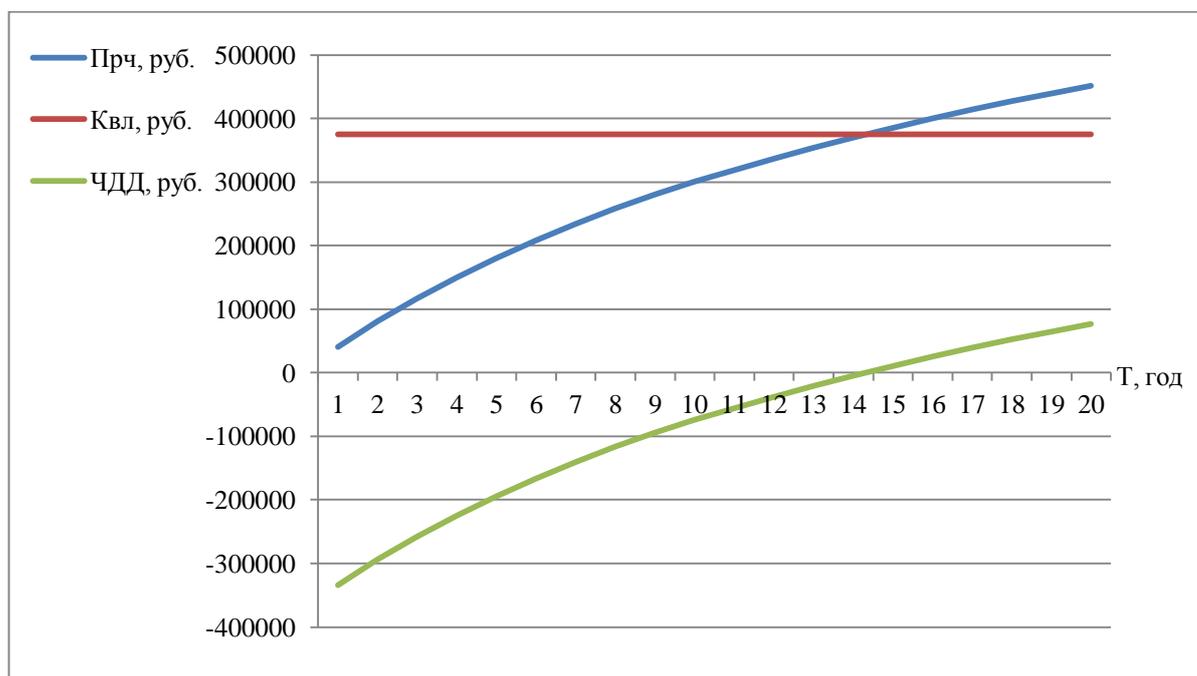


Рисунок 26 – Дисконтированные показатели экономической эффективности внедрения конденсаторных установок напряжением 0,4кВ

## Заключение

В данном разделе произведена оценка экономической эффективности проекта на приобретение и установку компенсирующих устройств на предприятии, на основе сопоставления результатов от реализации проекта с затраченными на него средствами.

Разберем первый вариант внедрения двух конденсаторных установок напряжением 10кВ. Капитальная составляющая 632034руб. Снижение потерь до и после компенсации реактивной мощности при внедрении установок по сравнению с затратами на оборудование малы и по расчетным данным проект окупится после 30 лет, при сроке эксплуатации конденсаторных установок 15 лет.

Второй вариант – установка 6 конденсаторных батарей на напряжение 0,4кВ, капитальная составляющая которых 409419руб. В данном случае снижение потерь при внедрении установок больше, чем в первом варианте, а затраты на их приобретение меньше, проект окупится по истечению срока эксплуатации на 15 год.

Из трех рассмотренных вариантов: в случае утверждения «Методики по расчету повышающих коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности потребителей электрической энергии» на территории г. Томска и Томской области переплата за год составит 687613,2 руб.

Технико – экономически в выпускной квалификационной работе были рассмотрены и обоснованы два варианта компенсации реактивной мощности. Первый, из которых установка компенсирующих устройств на стороне 10кВ. Данный вариант с технической точки зрения является выгодным, по исходным данным нагрузки на трансформаторных подстанциях распределены неравномерно, соответственно и показатели энергоэффективности выходят за допустимые пределы. Так до компенсации реактивной мощности: коэффициенты мощности на шинах 10кВ равны 0,734 и 0,773; коэффициенты реактивной мощности 0,925 и 0,820; потери напряжения находятся в

допустимых пределах, КПД трансформатора из-за пониженного  $\cos\phi$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \phi}{S \cdot \cos \phi + P_{xx} + P_{кз}} \cdot 100\% = \frac{1000 \cdot 0,559}{1000 \cdot 0,559 + 1,9 + 12,2} \cdot 100\% = 97,5\% .$$

После компенсации реактивной мощности показатели улучшились: коэффициенты мощности на шинах 10кВ равны 0,919 и 0,953; коэффициенты реактивной мощности 0,442 и 0,319; снижение электроэнергии 7621кВтч.

Второй вариант - установка компенсирующих устройств на шинах потребителей 0,4кВ. В этом случае показатели энергоэффективности после компенсации реактивной мощности стали еще лучше. Коэффициент мощности на ТП1 Ввод1 стал равным 0,937; коэффициент реактивной мощности 0,373; снижение электроэнергии 10840кВтч.

Уменьшая количество передаваемой реактивной мощности по сети, мы улучшаем показатели энергоэффективности, от которых зависит нормальная работа оборудования на предприятии. Так, например, один и тот же трансформатор при одной и той же нагрузке будет давать различное напряжение на вторичных зажимах при изменении коэффициента мощности. Чем ниже коэффициент мощности вторичной цепи, тем потери напряжения больше. Низкий  $\cos\phi$  системы электроснабжения требует увеличения номинальной мощности трансформаторов, установки дополнительного оборудования, увеличения сечения проводов, что в итоге приведет к дополнительным затратам. Поэтому вложения в конденсаторные установки являются рационально-правильным способом, чтобы не переплачивать за электроэнергию и гарантировать нормальную работу оборудования.