

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

---

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки/ специальности)

---

Энергосбережение и энергоаудит  
(направленность (профиль) / специализация)

---

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Повышение энергетической эффективности группы цехов ООО «Тольяттикаучук»

Обучающийся

А.А. Ренева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к. п. н., доцент, А.В. Кирилова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

Пояснительная записка содержит 46 страниц, графическая часть выполнена на шести листах формата А1, список используемых источников содержит 25 наименований.

Ключевые слова: энергоэффективность, электроснабжение, нагрузка, реактивная мощность, трансформатор.

Объектом исследования являются цеха ООО «Тольяттикаучук», питающиеся от подстанции №7.

Цель работы – разработка проекта мероприятий по повышению энергоэффективности цехов ООО «Тольяттикаучук», питающихся от подстанции №7.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- сбор исходных данных по объекту исследования;
- обоснование необходимости разработки мероприятий по повышению энергоэффективности;
- расчет актуальной нагрузки подстанции;
- расчет устройств компенсации реактивной мощности;
- выбор силовых трансформаторов подстанции;
- расчет экономических показателей проекта.

В результате выполнения работы проведены расчеты нагрузки цехов, выбраны устройства компенсации реактивной мощности, выбраны трансформаторы, а также, выполнены расчеты экономических показателей проекта.

## **Abstract**

The title of the thesis is Improving the energy efficiency of LCC Tolyattikauchuk workshops powered by the substation №7.

The graduation work consists of an introduction, three parts, a conclusion, tables, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the development of measures to improve the energy efficiency of workshops E-1 and E-2, which are powered by the substation №7 at LLC Tolyattikauchuk. The graduation work touches upon the problem of developing measures to increase energy efficiency, as well as the problem of the economic profitability of the proposed measures.

The purpose of the work is to develop a project of measures to improve the energy efficiency of the workshops, powered by the substation No. 7, at LLC Tolyattikauchuk.

The thesis can be divided into several logically related parts, which include the collection of initial data on the object of research; justification of the need to develop measures to improve energy efficiency; calculation of the load at the substation; calculation of reactive power compensation devices; selection of substation power transformers; calculation of economic indicators of the project.

As a result of the work, calculations of the load at the workshops were carried out, reactive power compensation devices and transformers were selected, and calculations of the economic indicators of the project were performed.

In conclusion, we would like to emphasize that this work is relevant to the problem of the energy efficiency at LCC Tolyattikauchuk workshops powered by the substation №7. The result of the work can be used to solve the same problems of other enterprises with a similar structure and configuration.

## Содержание

Введение.....	5
1 Общая часть .....	7
1.1 Общие сведения о предприятии .....	7
1.2 Характеристика системы электроснабжения предприятия .....	8
1.3 Обоснование необходимости модернизации .....	9
2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности.....	13
2.1 Расчет нагрузки ТП-7.....	13
2.2 Компенсация реактивной мощности.....	19
2.3 Уточненный расчет силовых трансформаторов.....	27
3 Экономическая часть .....	32
3.1 Расчет затрат .....	32
3.1.1 Расчет затрат на компенсацию реактивной мощности .....	32
3.1.2 Расчет затрат на замену силовых трансформаторов.....	34
3.2 Расчет окупаемости проекта модернизации.....	35
3.2.1 Расчет окупаемости компенсации реактивной мощности .....	35
3.2.2 Расчет окупаемости замены силовых трансформаторов.....	37
Заключение .....	41
Список используемых источников.....	45

## Введение

В социально и экономически развитых странах электроэнергетика является приоритетной отраслью в экономике, так как именно электроэнергетика составляет материальную базу научно-технического прогресса и социальной кухни общества.

Увеличение числа энергоемкого оборудования, а также темпы автоматизации и механизации приводят к росту потребления электроэнергии [22].

В настоящее время сложно представить любую сферу экономики страны без использования электроэнергетики.

Основная часть потребления электроэнергии приходится на промышленность – порядка 60%. Основными промышленными потребителями являются станки, механизмы, системы освещения, а также, системы управления технологическими процессами [21].

В тоже время, в последние годы показатели надежности электроснабжения в России остаются на достаточно невысоком уровне по сравнению показателями надежности в зарубежных странах.

Таким образом, для повышения надежности систем электроснабжения требуется развитие электросетевого комплекса путем внедрения современного оборудования и совершенствования управления процессом передачи электроэнергии.

В настоящее время, электроэнергия имеет очень важную роль на промышленном предприятии. Основная задача при проектировании системы электроснабжения – обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии. В данном случае, большую роль играет резервирование потребителей, так как, выход из строя одного из источников питания может привести серьезным проблемам [23].

Объектом исследования являются цеха ООО «Тольяттикаучук», питающиеся от подстанции №7.

Предметом исследования является энергоэффективность цехов ООО «Тольяттикаучук», питающихся от подстанции №7

Цель работы – разработка проекта мероприятий по повышению энергоэффективности цехов ООО «Тольяттикаучук», питающихся от подстанции №7.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- сбор исходных данных по объекту исследования;
- обоснование необходимости разработки мероприятий по повышению энергоэффективности;
- расчет актуальной нагрузки подстанции;
- расчет устройств компенсации реактивной мощности;
- выбор силовых трансформаторов подстанции;
- расчет экономических показателей проекта.

В результате выполнения работы проведены расчеты нагрузки цехов, выбраны устройства компенсации реактивной мощности, выбраны трансформаторы, а также, выполнены расчеты экономических показателей проекта.

## 1 Общая часть

### 1.1 Общие сведения о предприятии

Территория ООО «Тольяттикаучук» занимает площадь 280 га.

На предприятии осуществляется выпуск синтетических каучуков, а также углеводородные фракции, мономеры, присадки для бензинов и др. В дальнейшем каучук используется как сырье для изготовления резинотехнических изделий, в том числе, шин.

В таблице 1 приведены сведения о мощности производства ООО «Тольяттикаучук».

Таблица 1 – Сведения о мощности производства ООО «Тольяттикаучук»

Производство	Мощность, тыс. т. в год.
Бутилкаучук	75
Сополимерный каучук	60
Бутадиен	120
Высокооктановая добавка к бензину	39,2
Изопрен	90
Изопреновый каучук	100
Метил-трет-бутиловый эфир	200

Стоит отметить, что ООО «Тольяттикаучук» входит в число крупнейших предприятий, экспортирующих продукцию Самарской области.

В состав ООО «Тольяттикаучук» входят шесть основных производств, а также два вспомогательных производства. К тому же, на предприятии расположены цеха электроавтоматики и измерений, а также товарно-сырьевой цех.

Общее число цехов на предприятии – 155.

Общая численность рабочих на предприятии – 7 тыс.

## 1.2 Характеристика системы электроснабжения предприятия

Электроснабжение предприятия осуществляется по десяти линиям 6 кВ от ТоТЭЦ и шести линиям 110 кВ.

Линии 110 кВ приходят на четыре понизительные подстанции предприятия 110/6 кВ.

Распределительная сеть ООО «Тольяттикаучук» приведена на рисунке 1.

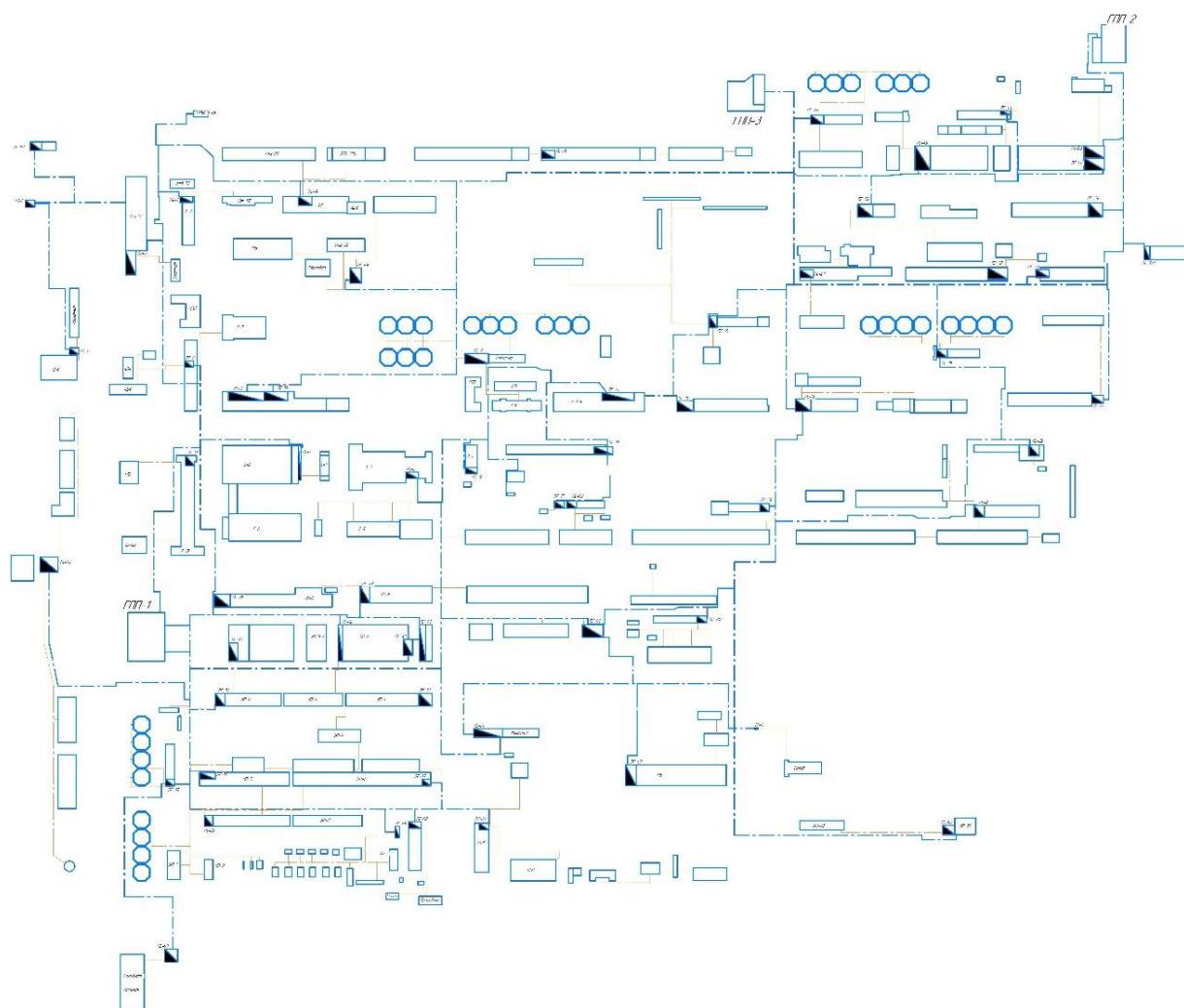


Рисунок 1 – Распределительная сеть ООО «Тольяттикаучук»



### 1.3 Обоснование необходимости модернизации

В работе рассматриваются цеха, питающиеся от ТП-7.

На рисунке 2 приведено расположение и общая информация о цехах, питающихся от ТП-7.

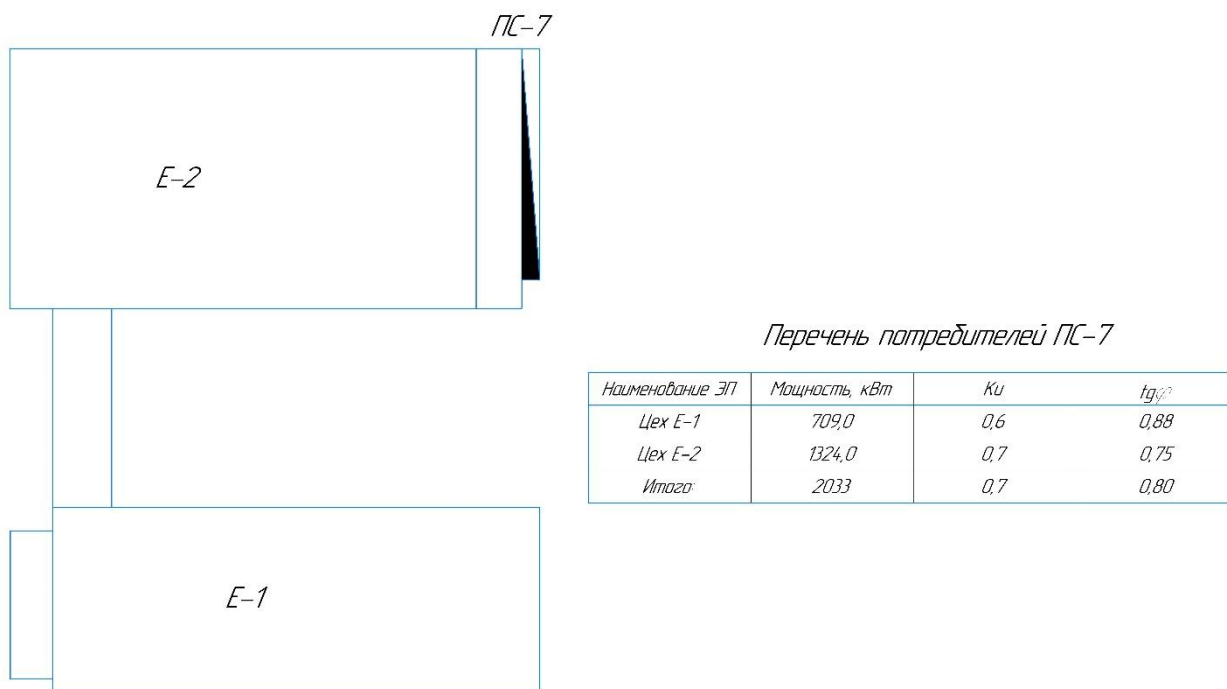


Рисунок 2 – Расположение и общая информация о цехах E-1 и E-2, питающихся от ТП-7.

Потребители ТП-7 относятся в первой категории надежности электроснабжения.

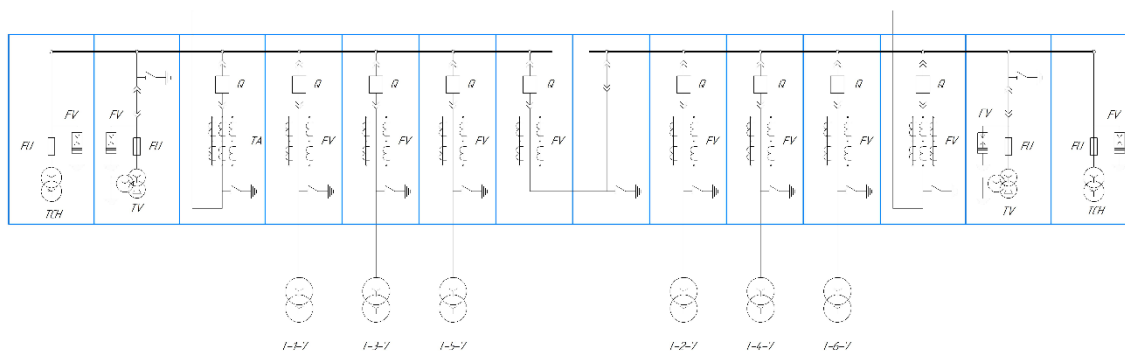
Потребитель относится к первой категории надежности в том случае, если перерыв в электроснабжении этого потребителя может нанести значительный материальный ущерб или повлечь за собой опасность для жизни людей. Электроснабжение таких потребителей должно осуществляться от двух независимых источников. Причем, переключение между источниками электроснабжения происходит автоматически.

В процессе написания работы будет разработан проект реконструкции ТП-7, в которая состоит из следующего оборудования:

- панели КСО в РУ-6 кВ;

- комплектное распределительное устройство 0,4 кВ;
- шесть силовых трансформаторов ТМЗ 1000/6/0,4;
- два трансформатора собственных нужд ТС-100/6/0,4 кВ.

Однолинейная схема электроснабжения ТП-7 ООО «Тольяттикаучук» приведена на рисунке 3.



Обозначение	Наименование	Кол-во
Q	Выключатель нагрузки ВНА-6/630	9
FU	Предохранитель ПКТ-104-6-200-315	4
FV	Разрядник РВО-6	4
TA	Трансформатор тока ТО/1-6 100/5	27
TV	Трансформатор напряжения ЗНОЛ-6	2
ТСН	Трансформатор собственных нужд ТС-100/6/0,4	2
T	Силовой трансформатор ТМЗ-1000/6/0,4	6

Рисунок 3 – Однолинейная схема электроснабжения ТП-7 «ООО» Тольяттикаучук

К недостаткам данной схемы можно отнести большое количество силовых трансформаторов, секционированных через рубильник. Это усложняет эксплуатацию оборудования ТП-7.

Сведения об установленном оборудовании в ТП-7 ООО «Тольяттикаучук» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сведения об установленном оборудовании в ТП-7

Наименование оборудования	Тип, марка	Год выпуска	Кол-во, шт.
Распределительное устройство 6 кВ	КСО	1960	24
Распределительное устройство 0,4 кВ	КРУ	1960	60
Щит управления	ППН-550-66	1690	1
Выпрямительный агрегат	БПРУ-66	1960	2
Силовой трансформатор	ТМЗ-1000/6/0,4	1959	6
Трансформатор собственных нужд	ТС-100/6/0,4	1965	2

Как видно по таблице 2, оборудование ТП-7 было установлено более 50 лет, что говорит о высоком физическом износе. Высокий износ оборудования и сложности в эксплуатации системы электроснабжения снижают надежность электроснабжения потребителей ТП-7 ООО «Тольяттикаучук».

В тоже время, в системе электроснабжения ТП-7 отсутствуют устройства компенсации реактивной мощности.

Замена устаревшего оборудования, снижения числа силовых трансформаторов за счет установки более мощных и установка устройств компенсации реактивной мощности позволит повысить надежность и энергоэффективность системы электроснабжения, а также упростит ее эксплуатацию.

Выводы по разделу 1.

Установлено, что территория ООО «Тольяттикаучук» занимает площадь 280 га. На предприятии осуществляется выпуск синтетических каучуков, а также углеводородные фракции, мономеры, присадки для бензинов и др. В дальнейшем каучук используется как сырье для изготовления резинотехнических изделий, в том числе, шин.

Установлено, что в процессе написания работы будет разработан проект реконструкции ТП-7, в которая состоит из следующего оборудования:

- панели КСО в РУ-6 кВ;
- комплектное распределительное устройство 0,4 кВ;
- шесть силовых трансформаторов ТМЗ 1000/6/0,4;
- два трансформатора собственных нужд ТС-100/6/0,4 кВ.

Проведенный анализ установленного на объекте ВКР оборудования позволил определить, оборудование ТП-7 было установлено более 50 лет назад, что говорит о высоком физическом износе. Срок службы установленного оборудования истек. Высокий износ оборудования и сложности в эксплуатации системы электроснабжения снижают надежность электроснабжения потребителей, получающих питание от трансформаторной подстанции №7 (ТП-7) ООО «Тольяттикаучук».

Определено, замена устаревшего оборудования, снижения числа силовых трансформаторов за счет установки более мощных и установка устройств компенсации реактивной мощности позволит повысить надежность и энергоэффективность системы электроснабжения, а также упростит ее эксплуатацию.

## **2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности**

### **2.1 Расчет нагрузки ТП-7**

Определяющими факторами при проектировании системы электроснабжения являются параметры потребителей электроэнергии и источников питания, в том числе расчет электрических нагрузок.

В том случае, если результат расчета будет превышать реальные значения, это приведет к перерасходу денежных средств на проводниковую продукцию. В случае же, если результат расчета окажется меньше реальных значений, это приведет к низкой пропускной способности и надежности системы электроснабжения.

Для определения электрических нагрузок существует несколько методов, в зависимости от требований к их точности, а также от наличия тех или иных исходных данных. Каждый метод определения нагрузки предприятия основывается на данных, полученных опытным путем с применением методов теории вероятности и математической статистики [1].

От ТП-7 запитаны два цеха – Е-1 и Е-2, запитанные по кабельным линиям протяженностью 300 м.

Информация о номинальной количестве электроприемников и мощности цехов была получена из проектной документации. Коэффициенты мощности и спроса были взяты по справочным данным.

Перечень потребителей ТП-7 приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень потребителей ТП-7

Исходные данные					
по заданию технологов				по справочным данным	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт	Номинальная (установленная) мощность, кВт		$k_{и}$	$tg\varphi$
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
1	2	3	4	5	6
Цех Е-1	1	709,0	709,0	0,6	0,88
Цех Е-2	1	1324,0	1324,0	0,7	0,75

В графе 7 и 8 заносятся результаты расчетов активной и реактивной мощности потребителей ТП-7.

Расчетная активная мощность для цеха Е-1 составит [28]:

$$k_{и} \cdot P_{н} = 0,6 \cdot (1 \cdot 709,0) = 425,4 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность для цеха Е-1 составит [28]:

$$k_{и} \cdot P_{н} \cdot tg\varphi = 0,6 \cdot (1 \cdot 709,0) \cdot 0,88 = 375,2 \text{ квар}$$

Расчетная активная мощность для цеха Е-2 составит [28]:

$$k_{и} \cdot P_{н} = 0,7 \cdot (1 \cdot 1324,0) = 926,8 \text{ кВт}$$

Расчетная реактивная мощность для цеха Е-2 составит [28]:

$$k_{и} \cdot P_{н} \cdot tg\varphi = 0,7 \cdot (1 \cdot 1324,0) \cdot 0,75 = 695,1 \text{ квар}$$

Таким образом, общее значение активной мощности для ТП-7 составит [28]:

$$\sum k_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} = 425,4 + 926,8 = 1352,2 \text{ кВт}$$

Таким образом, общее значение реактивной мощности для ТП-7 составит [28]:

$$\sum k_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \text{tg}\varphi = 375,2 + 695,1 = 1070,3 \text{ квар}$$

Групповой коэффициент использования определяется формулой [28]:

$$k_{\Sigma\text{и}} = \frac{\sum k_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}}}{\sum P_{\text{н}}}$$

Таким образом, групповой коэффициент использования для потребителей ТП-7 составит:

$$k_{\Sigma\text{и}} = \frac{1352,2}{2033,0} = 0,7$$

В графу 9 заносятся результаты расчетов квадрата мощности потребителей ТП-7:

$$\sum_1^n n P_{\text{н}}^2 = 2033,0^2 = 4133089,0 \text{ кВт}$$

В графе 10 заносятся результаты расчетов эффективного числа электроприемников потребителей ТП-7:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_H}{P_{H.макс}} \quad (1)$$

где  $P_{H.макс}$  – максимальная единичная мощность потребителя электроэнергии, кВт.

Для ТП-7 эффективное число электроприемников составит:

$$n_э = \frac{2 \cdot 2033,0}{1324,0} = 3,1$$

В [4] при  $n_э=3$  и  $k_{и}=0,7$  коэффициент расчётной нагрузки  $K_P$  равен 1,0.

В графах 12, 13 и 14 указываются результаты расчетов расчетной мощности [28].

Расчетная активная мощность определяется выражением:

$$P_P = K_P \cdot \sum k_{и} \cdot P_H \quad (2)$$

Расчетная реактивная мощность определяется выражением:

$$Q_P = K_P \cdot \sum k_{и} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

Расчетная полная мощность определяется выражением:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} \quad (4)$$

Таким образом, расчетная активная мощность для ТП-7, составит:

$$P_P = 1,0 \cdot 1352,2 = 1352,2 \text{ кВт}$$



Таким образом, расчетная реактивная мощность для ТП-7, составит:

$$Q_p = 1,0 \cdot 1070,3 = 1070,3 \text{ квар}$$

Таким образом, расчетная полная мощность для ТП-7, составит:

$$S_p = \sqrt{1352,2^2 + 1070,3^2} = 1724,5 \text{ кВА}$$

В графе 15 указываются результаты расчетов силы тока, определяющейся по формулам [28]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} \quad (5)$$

где  $U_{л}$  – линейное напряжение сети, кВ (в данном случае принимаем 0,4 кВ).

$$I_p = \frac{1724,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2489,1 \text{ А}$$

Результаты расчеты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов без учета компенсации реактивной мощности

Исходные данные						Расчетные величины			пэ	Кр	Расчетная мощность			I, А
по заданию технологов				по справочным данным		КиРН	КиРН tgφ	np2			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВт	
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт	Pн, кВт		ки	tgφ									
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Цех Е-1	1	709	709	0,6	0,88	425,4	375,2	-	-	-	-	-	-	-
Цех Е-2	1	1324	1324	0,7	0,75	926,8	695,1	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	2	-	2033	0,7	0,80	1352,2	1070,3	4133089	3,1	1	1352,2	1070,3	1724,5	2489,1

Потребители ООО «Тольяттикаучук» относятся к 1 категории надежности электроснабжения. Таким образом, для обеспечения необходимого уровня надежности требуется два силовых трансформатора.

Далее будет произведен расчет мощности силового трансформатора. Для первой категории надежности электроснабжения коэффициент загрузки силового трансформатора  $k_3$  составляет 0,7.

Расчетная мощность силового трансформатора определяется по формуле [31]:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{S_{\text{Р}}}{n \cdot k_3} \quad (6)$$

где  $k_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{\text{Р}}$  – полная мощность, согласно таблице 3, кВА;

$n$  – количество установленных трансформаторов, шт.

Таким образом, для ТП-7 расчетная мощность силовых трансформаторов составит:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{1724,5}{2 \cdot 0,7} = 1231,8 \text{ кВА}$$

По шкале мощности силовых трансформаторов выбираются трансформаторы мощностью 1600 кВА.

Таким образом, согласно результатам расчетов, для обеспечения требуемого уровня надежности, требуется два силовых трансформатора мощностью 1600 кВА.

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов определяется формулой [31]:

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{TP} \cdot n} \quad (7)$$

Таким образом, для двух силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА, установленных на ТП-7, коэффициент загрузки составит:

$$K_3 = \frac{1724,5}{1600 \cdot 2} = 0,54$$

После выбора мощности силовых трансформаторов нужно выполнить проверку на аварийную перегрузку в случае работы одного трансформатора (при выводе в ремонт второго трансформатора или аварийной ситуации) [31]:

$$K_a = \frac{S_p}{S_{TP} \cdot (n-1)} \quad (8)$$

Таким образом, для двух силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА, установленных на ТП-7, перегрузка составит:

$$K_a = \frac{1724,5}{1600 \cdot (2-1)} = 1,08$$

Коэффициент аварийной перегрузки 1,08 ниже паспортных данных (1,5), поэтому силовой трансформатор мощностью 1600 кВА отвечает требованиям надёжности [15-17].

Таким образом, без учета компенсации реактивной мощности, для обеспечения требуемого уровня надежности потребителей ТП-7, требуется два силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА.

## 2.2 Компенсация реактивной мощности

В таблице 5 приведены характеристики нагрузки потребителей ТП-7.

Таблица 5 – Характеристик нагрузки цеха

Наименование	Pp, кВт	Qp, квар	cosφ	tgφ
Цех Е-1	425,4	375,2	0,75	0,88
Цех Е-2	926,8	695,1	0,80	0,75
Итого	1352,2	1070,3	0,78	0,80

Для снижения потребления реактивной мощности предлагается установить устройства компенсации реактивной мощности [24] в ВРУ каждого цеха.

Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из соотношения [23]:

$$Q_{\text{кр}} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_K) \quad (9)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается равным 0,9;

$P$  – активная мощность, согласно таблице 4;

$tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности, согласно таблице 4;

$tg\varphi_K$  – требуемый коэффициент реактивной мощности, равный 0,4 по таблице 5.

Таким образом, для цеха Е-1 расчетная мощность компенсирующего устройства, необходимая для снижения потребления реактивной мощности до нормативных значений, составит:

$$Q_{\text{кр}} = 0,9 \cdot 425,4 \cdot (0,88 - 0,35) = 203,6 \text{ квар.}$$

По полученному значению реактивной мощности, требующей компенсации, для цеха Е-1 выбираем два устройства УКРМ, мощностью 105 квар [19].

Тогда итоговый фактический коэффициент мощности на ЦПП 19-1 (СШ1) будет равен:

Фактический коэффициент мощности, с учетом компенсации реактивной мощности определяется по формуле:

$$tg\varphi_{\text{факт}} = tg\varphi - \frac{Q_{\text{КУ}}}{\alpha \cdot P_p} \quad (10)$$

Тогда итоговый фактический коэффициент мощности для цеха Е-1 будет равен:

$$tg\varphi_{\text{факт}} = 0,88 - \frac{2 \cdot 105}{0,9 \cdot 425,4} = 0,33$$

Что соответствует косинусу угла  $\varphi$ :

$$\cos\varphi_{\text{факт}} = \cos(\arctg(\varphi_{\text{факт}})) \quad (11)$$

Тогда итоговый фактический косинус угла  $\varphi$  для цеха Е-1 будет равен:

$$\cos\varphi_{\text{факт}} = 0,95$$

С учетом полученных коэффициентов мощности реактивная мощность будет равна:

$$Q_{\text{КР}} = P \cdot tg\varphi_{\text{факт}} \quad (12)$$

Тогда, фактическая потребляемая реактивная мощность для цеха Е-1 составит:

$$Q_{\text{кр}} = 425,4 \cdot 0,33 = 141,8 \text{ квар.}$$

УКРМ-0,4-105 представляет собой семь конденсаторов по 15 квар и блок управления. Шаг регулирования, так образом, составляет 15 квар. Блок управления предназначен для отключения части конденсаторов в случае снижения потребления реактивной мощности, чтобы избежать перекомпенсации реактивной мощности.

Так образом, при потреблении реактивной мощности в пределах 141,8 квар – в работе остаются все конденсаторы. В случае же потребления, приближающимся к 127 квар, блок управления отключает один конденсатор от системы электроснабжения. Мощность установки, в таком случае, составляет 90 квар. При дальнейшем снижении потребления реактивной мощности, блок управления будет постепенно отключать конденсаторы. В случае дальнейшего увеличения потребления реактивной мощности, блок управления будет включать конденсаторы.

При отсутствии блока управления, мощность установки была бы постоянной – 105 квар. Это упрощает конструкцию и стоимость установки, но, в тоже время, приводит к перекомпенсации реактивной мощности в системе электроснабжения.

Перекомпенсация реактивной мощности приводит к росту емкостных токов, что является причиной нагрева кабельных линий и повышению напряжения электропитания.

Большое количество конденсаторов с небольшой мощностью в составе конденсаторной установки позволяет регулировать значения потребляемой реактивной мощности и коэффициента мощности в более узких пределах.

Далее будет проведен расчет для цеха Е-2.

Для цеха Е-2 расчетная мощность компенсирующего устройства, необходимая для снижения потребления реактивной мощности до нормативных значений, составит

$$Q_{\text{кр}} = 0,9 \cdot 926,8 \cdot (0,75 - 0,35) = 333,6 \text{ квар.}$$

По полученному значению реактивной мощности, требующей компенсации, для цеха Е-2 выбираем два устройства УКРМ, мощностью 162,5 квар [19].

Тогда итоговый фактический коэффициент мощности для цеха Е-2 будет равен:

$$\text{tg} \varphi_{\text{факт}} = 0,75 - \frac{2 \cdot 162,5}{0,9 \cdot 926,8} = 0,35$$

Тогда итоговый фактический косинус угла  $\varphi$  для цеха Е-2 будет равен:

$$\cos \varphi_{\text{факт}} = 0,94$$

Тогда, фактическая потребляемая реактивная мощность для цеха Е-2 составит:

$$Q_{\text{кр}} = 926,8 \cdot 0,35 = 328,4 \text{ квар.}$$

УКРМ-0,4-162,5 представляет собой тринадцать конденсаторов по 12,5 квар и блок управления. Шаг регулирования, так образом, составляет 12,5 квар.

Так образом, при потреблении реактивной мощности в пределах 328,4 квар – в работе остаются все конденсаторы. В случае же потребления, приближающимся к 316 квар, блок управления отключает один конденсатор



от системы электроснабжения. Мощность установки, в таком случае, составляет 150 квар. При дальнейшем снижении потребления реактивной мощности, блок управления будет постепенно отключать конденсаторы. В случае дальнейшего увеличения потребления реактивной мощности, блок управления будет включать конденсаторы.

Таким образом, в результате установки устройств УКРМ удалось снизить потребление реактивной мощности, что позволит снизить полную мощность потребителей ТП-7.

В таблице 6 приведены уточненные расчеты нагрузки потребителей ТП-7 с учетом компенсации реактивной мощности по формулам 1-5.

Схема подключения устройств УКРМ-0,4-105 и УКРМ-0,4-162,5 приведена на рисунке 4.

Таблица 3 – Результаты расчетов с учетом компенсации реактивной мощности

Исходные данные						Расчетные величины			пэ	Кр	Расчетная мощность			I, А
по заданию технологов				по справочным данным		КиРН	КиРН tgφ	np2			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВт	
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт	РН, кВт		ки	tgφ									
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Цех Е-1	1	709	709	0,6	0,88	425,4	141,8	-	-	-	-	-	-	-
Цех Е-2	1	1324	1324	0,7	0,75	926,8	328,4	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	2	-	2033	0,7	0,80	1352,2	470,3	4133089	3,1	1	1352,2	470,3	1431,6	2066,4

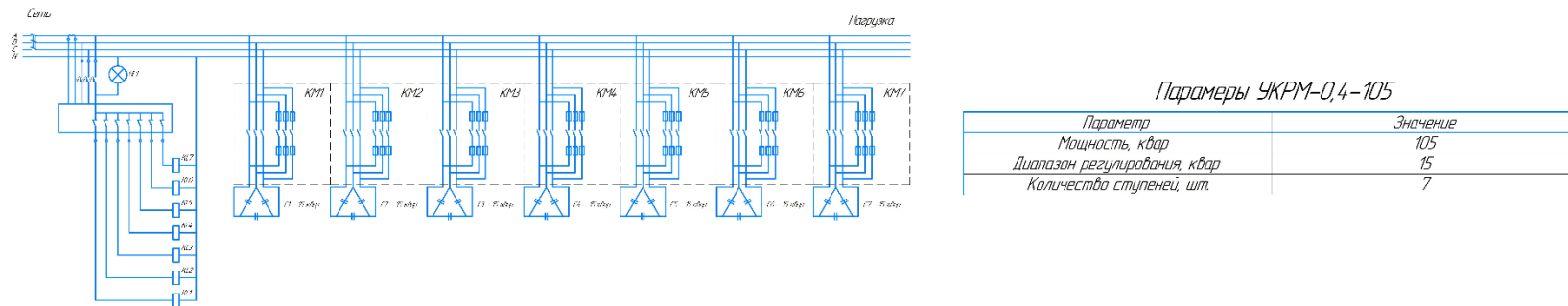
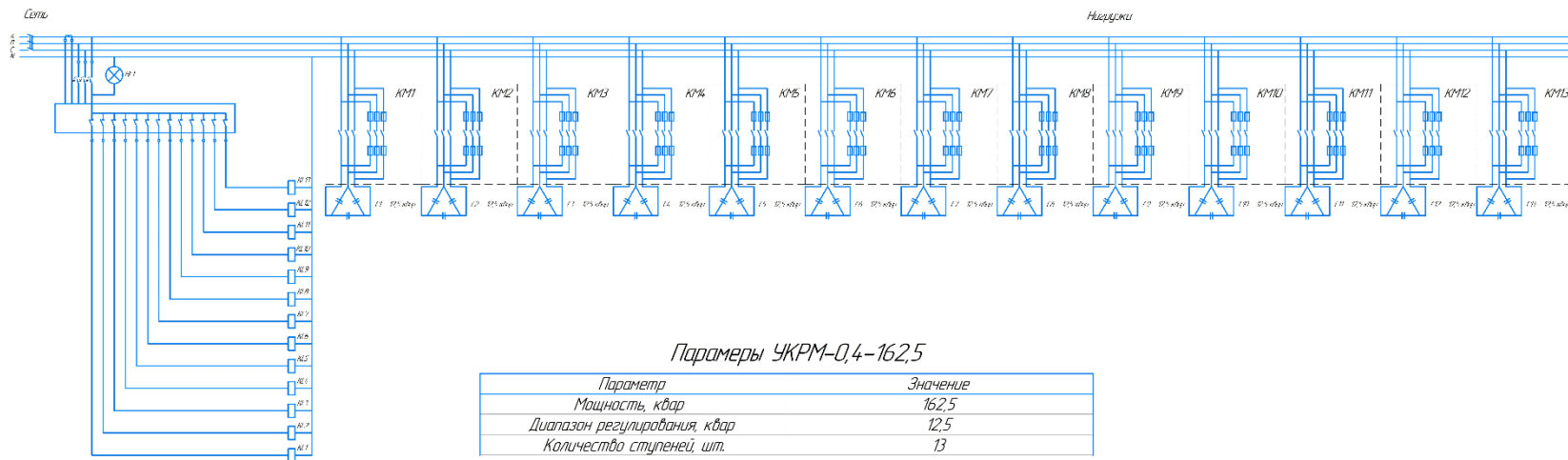


Рисунок 4 – Схема подключения устройств УCRM

### 2.3 Уточненный расчет силовых трансформаторов

Определяем итоговую мощность трансформатора по формуле 6:

$$S_{\text{ТР}} = \frac{1439,1}{2 \cdot 0,7} = 1022,6 \text{ кВА}$$

По результатам расчетов, с учетом компенсации реактивной мощности, выбираем трансформатор мощностью 1000 кВА [15-17].

Таким образом, для силовых трансформаторов, мощностью 1000 кВА, коэффициент загрузки составит:

$$K_z = \frac{1724,5}{1000 \cdot 2} = 0,72$$

Для двух силовых трансформаторов мощностью 1000 кВА, установленных на ТП-7, аварийная перегрузка составит:

$$K_a = \frac{1724,5}{1000 \cdot (2 - 1)} = 1,43$$

По результатам расчетов, с учетом компенсации реактивной мощности, к установке приняты два трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4 [27].

Для сухих трансформаторов допустимая перегрузка составляет 50% [25]. Таким образом, сухие трансформаторы мощностью 1000 кВА отвечает требованиям надёжности [16].

Ток трансформатора на напряжении 6 кВ вычисляется [1]:

$$I_{\text{трВН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} \quad (13)$$

Таким образом, для двух силовых трансформаторов мощностью 1000 кВА, установленных на ТП-7:

$$I_{\text{трВН}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6 \text{ А}$$

Ток трансформатора на напряжении 0,4кВ вычисляется [1]:

$$I_{\text{трНН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} \quad (14)$$

$$I_{\text{трНН}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,4 \text{ А}$$

Таким образом, в результате установки устройств УКРМ удалось снизить номинальную мощность силовых трансформаторов, установленных в ТП-7.

Внешний вид и основные технические характеристики силового трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4 приведены на рисунке 5.

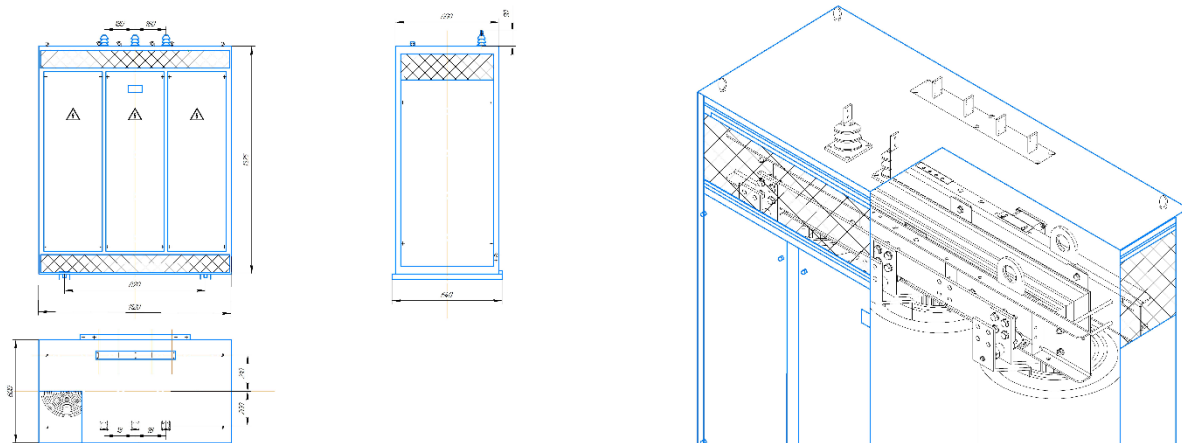
Схема электроснабжения с учетом замены силовых трансформаторов на ТП-7 приведена на рисунке 6.

Выводы по разделу 2.

Получено, что фактические значения коэффициента реактивной мощности превышают оптимальные.

Определено, что будут произведены расчеты индивидуальной компенсации реактивной мощности. То есть, конденсаторные устройства будут установлены непосредственно в ВРУ-0,4 кВ цехов.

Получено, что по расчетному значению реактивной мощности, требующей компенсации, для цеха Е-1 выбраны два устройства УКРМ, мощностью 105 квар, для цеха Е-2 выбираем два устройства УКРМ, мощностью 162,5 квар.



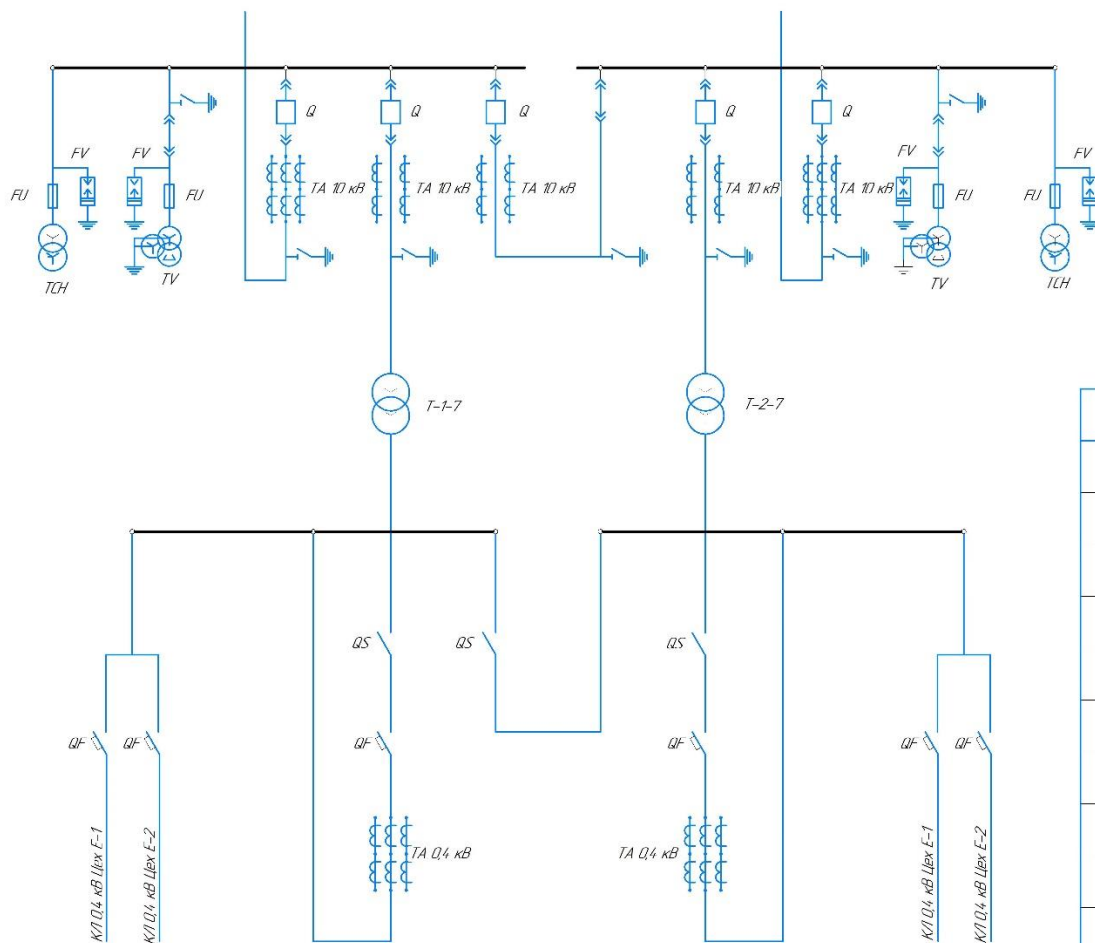
Технические характеристики ТСЗЛ-1000/6/0,4

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальная мощность	кВА	1000
Номинальное напряжение ВН	кВ	6,3
Номинальное напряжение НН	кВ	0,4
Номинальная частота	Гц	50
Регулирование напряжения обмотки ВН	%	2х2,5
Ток холостого хода	%	1,1
Потери холостого хода	кВт	2,5
Напряжение короткого замыкания	%	8
Потери короткого замыкания	кВт	1,2

Рисунок 5 – Внешний вид и основные технические характеристики силового трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4

Установлено, что в результате установки устройств УКРМ удалось снизить потребление реактивной мощности, что позволило снизить полную мощность потребителей ТП-7, а снизить номинальную мощность силовых трансформаторов, установленных в ТП-7.

Получено, что итоговому значению мощности цехов требуется два силовых трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4. К установке приняты два трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4.



### Перечень оборудования ПС-7

Обозначение	Наименование	Кол-во
Q	Выключатель нагрузки ВНА-6/630	5
FU	Предохранитель ПКТ-104-6-200-31,5	4
FV	Разрядник РВО-6	4
TA 10 кВ	Трансформтаар тока Т0/1-6 100/5	15
TV	Трансформатор напряжения ЗНО/1-6	2
ТСН	Трансформтаар сабстанных нужд ТС-100/6/0,4	2
T	Силовой трансформтаар ТСЗ/1-1000/6/0,4	2
QS	Разъединитель РЕ-19-43 1600 А	3
QF	Автоматический выключатель 55-43 1600 А	6
TA 0,4 кВ	Трансформтаар тока Т-0,66 1500/5	6

Рисунок 6 – Схема электроснабжения с учетом замены силовых трансформаторов на ТП-7

### **3 Экономическая часть**

#### **3.1 Расчет затрат**

Суть проекта заключается в установке нового оборудования – устройств компенсации реактивной мощности УКРМ-0,4, а также сухих силовых трансформаторов. Реализация данного мероприятия позволит достичь следующих результатов:

- нормализация напряжения питающей сети;
- снижение потерь электроэнергии в системе электроснабжения;
- снижение износа оборудования и кабельных линий.

Цель технико-экономического расчета заключается в определении стоимости затрат на реализацию проекта и экономического эффекта от внедряемого оборудования для последующей оценки экономической эффективности и целесообразности реализации проекта.

Инвестиционные издержки рассчитываются по формуле [13]:

$$C = C_{об} + C_{тр} + C_{монт} + C_{проч} \quad (15)$$

где:  $C$  – общие инвестиционные издержки, руб.;

$C_{об}$  – стоимость оборудования, руб.;

$C_{тр}$  – затраты на транспортировку оборудования, руб.;

$C_{монт}$  – затраты на установку и монтаж оборудования, руб.;

$C_{проч}$  – прочие инвестиционные издержки, руб.

##### **3.1.1 Расчет затрат на компенсацию реактивной мощности**

Стоимость и перечень технологического оборудования, необходимого для внедрения устройств компенсации реактивной мощности приведены в таблице 7.



Таблица 7 – Стоимость устройств компенсации реактивной мощности

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы, тыс руб.	Общие затраты, тыс руб.
УКРМ-0,4-105	2	130	260
УКРМ-0,4-162,5	2	200	400
Итого затрат	4	-	660

Затраты на транспортировку устройств компенсации реактивной мощности составят 6% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{тр}} = 0,06 \cdot 660,0 = 39,6 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на установку и монтаж устройств компенсации реактивной мощности составят 4% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{монт}} = 0,04 \cdot 660,0 = 26,4 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие инвестиционные издержки, связанные с проектом по компенсации реактивной мощности составят 15% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{проч}} = 0,15 \cdot 660,0 = 99,0 \text{ тыс. руб.}$$

В таком случае, инвестиционные издержки, связанные с проектом по компенсации реактивной мощности составят:

$$C = 660,0 + 39,6 + 26,4 + 99,0 = 825,0 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Затраты внедрение устройств компенсации реактивной мощности

Статья расходов	Величина расходов, тыс. руб.
Стоимость оборудования	660,0
Затраты на доставку	39,6
Затраты на установку и монтаж	26,4
Прочие издержки	99,0
Итого расходов:	825,0

Общая стоимость затрат на внедрение устройств компенсации реактивной мощности составит 825,0 тыс. руб.

### 3.1.2 Расчет затрат на замену силовых трансформаторов

Стоимость и перечень технологического оборудования, необходимого для замены силовых трансформаторов, приведены в таблице 7.

Таблица 9 – Стоимость сухих трансформаторов

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы, тыс руб.	Общие затраты, тыс руб.
ТСЗЛ-1000/6/0,4	2	900	1800
Итого затрат	2	-	1800

Затраты на транспортировку силовых трансформаторов составят 6% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{тр}} = 0,06 \cdot 1800,0 = 108,0 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на установку и монтаж уст силовых трансформаторов составят 4% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{монт}} = 0,04 \cdot 1800,0 = 72,0 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие инвестиционные издержки, связанные с проектом по замене силовых трансформаторов составят 15% от их стоимости. Таким образом [13]:

$$C_{\text{проч}} = 0,15 \cdot 1800,0 = 270,0 \text{ тыс. руб.}$$

В таком случае, инвестиционные издержки, связанные с проектом по замене силовых трансформаторов составят:

$$C = 1800,0 + 108,0 + 72,0 + 270,0 = 2250,0 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Затраты на компенсацию реактивной мощности

Статья расходов	Величина расходов, тыс. руб.
Стоимость оборудования	1800,0
Затраты на доставку	108,0
Затраты на установку и монтаж	72,0
Прочие издержки	270,0
Итого расходов:	2250,0

Общая стоимость затрат на замену силовых трансформаторов составит 2250,0 тыс. руб.

### **3.2 Расчет окупаемости проекта модернизации**

#### **3.2.1 Расчет окупаемости компенсации реактивной мощности**

Компенсация реактивной мощности позволит снизить общую потребляемую мощность, что позволит увеличить пропускную способность энергосистемы и снизить потери электроэнергии.

Параметры потребления предприятия до и после внедрения устройств компенсации реактивной мощности приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры нагрузки предприятия

Наименование	Рр, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
До компенсации	1352,2	1070,3	1724,5
После компенсации	1352,2	470,3	1431,6

Влияние потребления реактивной мощности на затраты предприятия на электроэнергию можно определить по формуле [24]:

$$\mathcal{E} = \frac{Q \cdot k_n \cdot T \cdot t}{1000} \quad (16)$$

где  $Q$  - потребляемая реактивная мощность, согласно таблице 11;

$k_n$  - коэффициент потерь, принимаем равным 0,1;

$T$  - себестоимость электроэнергии, принимаем равным 5,3 руб/кВт·ч;

$t$  - время работы электрооборудования, принимаем равным 2000 ч.

Таким образом, затраты предприятия на реактивную мощность до внедрения устройств компенсации реактивной мощности составят:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1070,3 \cdot 0,1 \cdot 5,3 \cdot 2000}{1000} = 1134,5 \text{ тыс. руб.}$$

В тоже время, затраты предприятия на реактивную мощность после внедрения устройств компенсации реактивной мощности составят:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{470,3 \cdot 0,1 \cdot 5,3 \cdot 2000}{1000} = 498,5 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, экономический эффект от внедрения устройств компенсации реактивной мощности составит:

$$\mathcal{E}_{\Delta} = 1134,5 - 498,5 = 636,0 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости внедрения установки компенсации реактивной мощности определяется формулой [17]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\mathcal{Z}_{\text{уст}}}{\mathcal{E}_{\Delta}} \quad (17)$$

где  $\mathcal{Z}_{\text{уст}}$  - стоимость УКРМ.

Таким образом, установка УКРМ окупится за срок, равный:

$$T_{\text{ок}} = \frac{825,0}{636,0} = 1,3 \text{ года}$$

Согласно расчетам, установка УКРМ окупится за 1,3 года. Стоит отметить, что при увеличении времени работы электрооборудования или тарифа за потребляемую электроэнергию, срок окупаемости будет снижаться.

### 3.2.2 Расчет окупаемости замены силовых трансформаторов

Замена существующих шести масляных трансформаторов на два сухих позволит снизить потери электроэнергии.

Потери электроэнергии холостого хода в силовых трансформаторах определяются по формуле [11]:

$$\Delta W_{\text{xx}} = n \cdot (\Delta P_{\text{x.x}} + K_{\text{III}} \cdot \frac{S_H \cdot I_{\text{x.x}}}{100}) \cdot T_0 \quad (18)$$

где  $\Delta P_{\text{xx}}$  – потери мощности холостого хода, кВт;

$K_{\text{ип}}$  – коэффициент изменения потерь, зависящий от передачи реактивной мощности (для промышленных предприятий, когда величина его не задана энергосистемой, следует принимать в среднем равным 0,07), кВт/кВАр;

$S_{\text{н}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$I_{\text{хх}}$  – ток холостого хода, %;

$T_0$  – полное число часов присоединения трансформатора к сети.

Нагрузочные потери электроэнергии в силовых трансформаторах определяются [11]:

$$\Delta W_{\text{хх}} = n \cdot (\Delta P_{\text{к.з.}} + K_{\text{ип}} \cdot \frac{S_{\text{н}} \cdot U_{\text{к.з.}}}{100}) \cdot T_0 \cdot K_3^2 \quad (19)$$

где  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери мощности короткого замыкания, кВт;

$K_{\text{ип}}$  – коэффициент изменения потерь, зависящий от передачи реактивной мощности (для промышленных предприятий, когда величина его не задана энергосистемой, следует принимать в среднем равным 0,07), кВт/кВАр;

$S_{\text{н}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания, %;

$T_p$  – число часов работы трансформатора;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора.

Тогда, потери электроэнергии холостого хода двух трансформаторов ТСЗЛ-1000/6/0,4 составят:

$$\Delta W_{\text{хх}} = 2 \cdot (2,4 + 0,07 \cdot \frac{1000 \cdot 1,1}{100}) \cdot 8760 = 55538,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Нагрузочные потери электроэнергии в двух трансформаторов ТСЗЛ-1000/6/0,4 составят:

$$\Delta W_{xx} = 2 \cdot (12,0 + 0,07 \cdot \frac{1000 \cdot 6,0}{100}) \cdot 8760 \cdot 0,72^2 = 147134,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

В тоже время, потери электроэнергии холостого хода шести трансформаторов ТМЗ-1000/6/0,4 составят:

$$\Delta W_{xx} = 6 \cdot (1,9 + 0,07 \cdot \frac{1000 \cdot 1,7}{100}) \cdot 8760 = 162410,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Нагрузочные потери электроэнергии в двух трансформаторов ТМЗ - 1000/6/0,4 составят:

$$\Delta W_{xx} = 6 \cdot (12,2 + 0,07 \cdot \frac{1000 \cdot 5,5}{100}) \cdot 8760 \cdot 0,29^2 = 70945,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчетов потерь в силовых трансформаторах

Марка трансформатора	п, шт	S <sub>н</sub> , кВА	P <sub>хх</sub> , кВт	I <sub>хх</sub> , %	P <sub>кз</sub> , кВт	U <sub>кз</sub> , %	T <sub>0</sub> , ч	K <sub>з</sub>	ΔW <sub>хх</sub> , кВт·ч	ΔW <sub>кз</sub> , кВт·ч
ТСЗЛ	2	1000	2,4	1,1	12	6	87 60	0, 72	55538,4	147134, 4
ТМЗ	6	1000	1,9	1,7	12,2	5,5	87 60	0, 29	162410, 4	70945,8
Общие потери									106872	-76188,6
Разница потерь										30683,4

Как видно по таблице 12, замена шести масляных трансформаторов ТМЗ-1000/6/0,4 на два сухих ТСЗЛ-1000/6/0,4 позволит снизить потери электрической энергии на 30683 кВт·ч. С учетом тарифа на электроэнергию 5,3 руб./кВт·ч, снижение затрат составит 162620 тыс. руб. таким образом, окупаемость замены силовых трансформаторов составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{2250,0}{162,620} = 13,8 \text{ лет}$$

Стоит отметить, что при расчете экономии от замены масляных трансформаторов на сухие не учтен эффект от исключения затрат на масляное хозяйство. К тому же, при увеличении тарифа на электроэнергию срок окупаемости будет снижаться.

Выводы по разделу 3.

Установлено, что общая стоимость затрат на внедрение устройств компенсации реактивной мощности составит 825,0 тыс. руб. Согласно расчетам, установка УКРМ окупится за 1,3 года. Стоит отметить, что при увеличении времени работы электрооборудования или тарифа за потребляемую электроэнергию, срок окупаемости будет снижаться.

Установлено, что общая стоимость затрат на замену силовых трансформаторов составит 2250,0 тыс. руб. Согласно расчетам, замена шести масляных трансформаторов ТМЗ-1000/6/0,4 на два сухих ТСЗЛ-1000/6/0,4 позволит снизить потери электрической энергии на 30683 кВт·ч. С учетом тарифа на электроэнергию 5,3 руб./кВт·ч, снижение затрат составит 162620 тыс. руб. Срок окупаемости составит 13,8 лет.



## Заключение

В результате написания работы была достигнута цель работы – разработка мероприятий по повышению энергоэффективности цехов ООО «Тольяттикаучук», питающихся от подстанции №7.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- выполнен сбор исходных данных по объекту исследования;
- приведено обоснование необходимости разработки мероприятий по повышению энергоэффективности;
- выполнен расчет актуальной нагрузки подстанции;
- выполнен расчет устройств компенсации реактивной мощности;
- выполнен выбор силовых трансформаторов подстанции;
- выполнен расчет экономических показателей проекта.

В первом разделе проведен анализ существующей системы электроснабжения.

Территория ООО «Тольяттикаучук» занимает площадь 280 га. На предприятии осуществляется выпуск синтетических каучуков, а также углеводородные фракции, мономеры, присадки для бензинов и др. В дальнейшем каучук используется как сырье для изготовления резинотехнических изделий, в том числе, шин.

В состав ООО «Тольяттикаучук» входят шесть основных производств, а также два вспомогательных производства. К тому же, на предприятии расположены цеха электроавтоматики и измерений, а также товарно-сырьевой цех.

Территория ООО «Тольяттикаучук» занимает площадь 280 га. На предприятии осуществляется выпуск синтетических каучуков, а также углеводородные фракции, мономеры, присадки для бензинов и др. В дальнейшем каучук используется как сырье для изготовления резинотехнических изделий, в том числе, шин.

В процессе написания работы будет разработан проект реконструкции ТП-7, в которая состоит из следующего оборудования:

- панели КСО в РУ-6 кВ;
- комплектное распределительное устройство 0,4 кВ;
- шесть силовых трансформаторов ТМЗ 1000/6/0,4;
- два трансформатора собственных нужд ТС-100/6/0,4 кВ.

Оборудование ТП-7 было установлено более 50 лет, что говорит о высоком физическом износе. Высокий износ оборудования и сложности в эксплуатации системы электроснабжения снижают надежность электроснабжения потребителей ТП-7 ООО «Гольяттикаучук».

Замена устаревшего оборудования, снижения числа силовых трансформаторов за счет установки более мощных и установка устройств компенсации реактивной мощности позволит повысить надежность и энергоэффективность системы электроснабжения, а также упростит ее эксплуатацию.

Во втором разделе выполнен расчет электрических нагрузок, расчет устройств компенсации реактивной мощности и уточненный расчет силовых трансформаторов.

От ТП-7 запитаны два цеха – Е-1 и Е-2, запитанные по кабельным линиям протяженностью 300 м.

В связи с тем, что от ТП-7 запитано всего два промышленных цеха, будут произведены расчеты индивидуальной компенсации реактивной мощности. То есть, конденсаторные устройства будут установлены непосредственно в ВРУ-0,4 кВ цехов.

По полученному значению реактивной мощности, требующей компенсации, для цеха Е-1 выбраны два устройства УКРМ, мощностью 105 квар, для цеха Е-2 выбираем два устройства УКРМ, мощностью 162,5 квар.

УКРМ-0,4-105 представляет собой семь конденсаторов по 15 квар и блок управления. Шаг регулирования, так образом, составляет 15 квар. Блок управления предназначен для отключения части конденсаторов в случае

снижения потребления реактивной мощности, чтобы избежать перекомпенсации реактивной мощности.

УКРМ-0,4-162,5 представляет собой тринадцать конденсаторов по 12,5 квар и блок управления. Шаг регулирования, так образом, составляет 12,5 квар.

Таким образом, в результате установки устройств УКРМ удалось снизить потребление реактивной мощности, что позволило снизить полную мощность потребителей ТП-7, а снизить номинальную мощность силовых трансформаторов, установленных в ТП-7.

По результатам расчетов, с учетом компенсации реактивной мощности, к установке приняты два трансформатора ТСЗЛ-1000/6/0,4.

В третьем разделе произведен расчет технико-экономических показателей проекта.

Суть проекта заключается в установке нового оборудования – устройств компенсации реактивной мощности УКРМ-0,4, а также сухих силовых трансформаторов. Реализация данного мероприятия позволит достичь следующих результатов:

- нормализация напряжения питающей сети;
- снижение потерь электроэнергии в системе электроснабжения;
- снижение износа оборудования и кабельных линий.

Цель технико-экономического расчета заключается в определении стоимости затрат на реализацию проекта и экономического эффекта от внедряемого оборудования для последующей оценки экономической эффективности и целесообразности реализации проекта.

Общая стоимость затрат на внедрение устройств компенсации реактивной мощности составит 825,0 тыс. руб. Согласно расчетам, установка УКРМ окупится за 1,3 года.

Стоит отметить, что при увеличении времени работы электрооборудования или тарифа за потребляемую электроэнергию, срок окупаемости будет снижаться.

Общая стоимость затрат на замену силовых трансформаторов составит 2250,0 тыс. руб. Согласно расчетам, замена шести масляных трансформаторов ТМЗ-1000/6/0,4 на два сухих ТСЗЛ-1000/6/0,4 позволит снизить потери электрической энергии на 30683 кВт·ч. С учетом тарифа на электроэнергию 5,3 руб./кВт·ч снижение затрат составит 162620 тыс. руб. Срок окупаемости составит 13,8 лет.

Стоит отметить, что при расчете экономии от замены масляных трансформаторов на сухие не учтен эффект от исключения затрат на масляное хозяйство. К тому же, при увеличении тарифа на электроэнергию срок окупаемости будет снижаться.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы выполнены все поставленные задачи и достигнута цель.

## Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. - 343 с.
3. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
5. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. - 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего

профессионального образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: ИЦ Академия, 2016. - 448 с.

12. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

13. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. - 312 с.

15. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 05.05.2022).

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 05.05.2022).

17. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/) (дата обращения: 05.05.2022).

18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.

21. Bertoldi P. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting. Springer Cham. 2022. 498 P.
22. Blesl M., Kessler A. Energy Efficiency in Industry. Springer Berlin: Heidelberg. 2021. 481 P.
23. Panos K., Margarete K. The Power Supply Industry. Springer Cham. 2018. 374 P.
24. Tabatabaei N.M., Aghbolaghi A.J., Bizon N., Blaabjerg F. Reactive Power Control in AC Power Systems. Fundamentals and Current Issues. Springer International Publishing AG. 2017. 634 P.
25. Vukosavic S.N. Electrical Machines. New York: Springer NY. 2013. 650 P.