

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)

---

Электроснабжение  
(направленность (профиль) / специализация)

---

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения электронного завода

Студент

С.М. Мизробов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.п.н., профессор Н.П. Бахарев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

Название бакалаврской работы: «Проектирование системы электроснабжение электронного завода».

Выпускная работа состоит из введения, 16 разделов, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка системы электроснабжения электронного завода: расчет электрических нагрузок; выбор номинальных значений напряжений, количества и мощности силовых трансформаторов; расчет кабельных линий и подбор кабелей и проводов; выбор электрооборудования, защитной и коммутационной аппаратуры, осветительной арматуры, составление электрической схемы распределительной сети. Более подробно рассмотрен участок цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей: спроектирована схема электроснабжения цеха, подобрано силовое электрооборудование, кабели, шинопроводы, воздушные автоматические выключатели; выбранное электрооборудование проверено на коммутационную, электродинамическую стойкость; обоснована необходимость компенсации реактивной мощности и определен срок окупаемости компенсирующих устройств.

Объектом разработки является схема электроснабжения цехов электронного завода.

Целью бакалаврской работы является создание надежной и экономичной системы снабжения электроприемников завода электроэнергией требуемого качества.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для конкретного завода, но и других промышленных предприятий.

## **Abstract**

The title of the bachelor's work: "Designing a power supply system for an electronic plant."

The final work consists of an introduction, 16 sections, conclusions, tables, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is the development of a power supply system for an electronic plant: calculation of electrical loads; selection of rated values of voltages, number and power of power transformers; calculation of cable lines and selection of cables and wires; selection of electrical equipment, protective and switching equipment, lighting fixtures, drawing up an electrical diagram of the distribution network. The section of the workshop for the manufacture of cores for small-sized transformers and chokes is considered in more detail:

the workshop's power supply scheme was designed, power electrical equipment, cables, busbars, air circuit breakers were selected; the selected electrical equipment is tested for switching, electrodynamic resistance; the necessity of reactive power compensation is substantiated and the payback period of compensating devices is determined.

The object of development is the power supply scheme for the shops of the electronic plant.

The goal of the bachelor's work is to create a reliable and economical system for supplying the plant's electrical receivers with electricity of the required quality.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only for a specific plant, but also for other industrial enterprises.

## Содержание

Введение.....	5
1 Краткий анализ продукции предприятия .....	7
2 Заводские нагрузки .....	8
3 Электрические нагрузки цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей .....	9
4 Расчет нагрузок.....	18
5 Цеховая электрическая сеть .....	21
6 Цеховое освещение .....	24
7 Определение нагрузок заводских цехов .....	27
8 Определение мест установки ГПП и цеховых подстанций .....	32
9 Электрическая сеть выше 1 кВ .....	34
10 Расчет токов КЗ .....	36
11 Расчет кабелей и шинопроводов выше 1 кВ .....	42
12 Расчет электрической сети освещения.....	44
13 Релейная защита и автоматика.....	46
14 Энергоконтроль на предприятии .....	47
15 Техничко-экономические расчеты .....	48
16 Охрана труда.....	54
Заключение .....	56
Список используемых источников.....	57

## Введение

Энергетика любой страны обеспечивает качественное электроснабжение (ЭС) промышленных предприятий и решение бытовые проблем различных потребителей электроэнергии. Большую часть электричества потребляют заводы, фабрики, предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции. В последнее время бурно развивается парниковое сельское хозяйства, также потребляющее большое количество энергии.

«Электроэнергия применяется практически во всех областях народного хозяйства, преимущественно для питания электропривод промышленных механизмов, а в последнее время и для различных электротехнических установок, в главную очередь для печных, тигельных и электросварочных аппаратов электролиза, электроискровой и электрозвуковой обработки металлов и др» [1].

Значительную группу электроприемников образуют электроприводы общепромышленных конструкций, применяемые в различных отраслях промышленного производства: подъемно-транспортные механизмы, поточно-транспортные машины, компрессоры, насосы, вытяжки и т.д.

Для обеспечения поставок электроэнергии в достаточном количестве и необходимом качестве от электросетей к промышленным объектам, станкам, устройствам и механизмам служат системы ЭС промышленных предприятий. В данные энергообразования входят электросети уровнем напряжением до 1000 В и выше, трансформаторные, преобразовательные и распределительные подстанций. Различают следующие энергосистемы:

а) цеховая - обеспечивающая энергоснабжение цеховых электроприемников;

б) заводская - служит для электроснабжения основных заводских подразделений и вспомогательных цехов;

в) городские или районные - служат для подачи электроэнергии на промышленные предприятия, сельскохозяйственных потребителей, коммунальные объекты.

«Заказчики электроэнергии имеют разнообразные специфические особенности, чем и обусловлены различные требования к их электроснабжению – бесперебойность питания, качество поставок, резервирование и защита отдельных элементов и др» [29]. При планировании, сооружении и обслуживании систем электроснабжения заводских цехов, необходимо принимать во внимание технико-экономические моменты при осуществлении подбора напряжений, определении количественных нагрузок, выборе модели, числа и параметров трансформаторных подстанций, формы их защиты, устройств компенсации реактивной мощности и способов корректировки напряжений. При подборе напряжений питающих сетей, линий и числа трансформаторных подстанций, процессов управления и защиты, необходимо учитывать усовершенствования технического процесса, роста энергозатрат при номинальном уровне электропитания.

Целью работы является проектирование системы электроснабжения электронного завода.

Для достижения поставленной цели в работе должны быть решены следующие задачи:

- проанализировано электрооборудование, установленное на предприятии и рассчитаны электрические нагрузки;
- проведен расчет, выбор силового, защитного и коммуникационного оборудования и его проверка на динамическую стойкость.

Проект разработан с целью обеспечения предприятия качественной электроэнергией.

## **1 Краткий анализ продукции предприятия**

Основной продукцией предприятия являются источники питания различной мощности (от 0,5 до 30 кВт) и конструкции (линейные, импульсные и т.д) и различное измерительное оборудование и приборы (мультиметры, осциллографы, измерители RLC и т.д).

Основной технологический процесс включает в себя изготовление малогабаритных трансформаторов (МГТ) и дросселей, изготовление печатных плат, сборку различных приборов и устройств, содержащих электротехнические и электронные компоненты.

Для выполнения основного техпроцесса, на предприятии производится множество вспомогательных операций, подготавливающих материалы, комплектующие и полуфабрикаты для основного производства.

Для производства активной части МГТ и дросселей (обмоток с сердечником) на завод поставляют исходное сырьё: рулоны листовой трансформаторной стали, катушки с медной проволокой.

Из листов электротехнической стали, формируют ленты определенных параметров, из которых формируют магнитопроводы. Собранные сердечники намагничиваются. Затем сердечники делят на две половинки, которые шлифуют и проверяют на сходство их магнитных параметров с каталожными. Параллельно формируется каркас для навивки катушек. После сборки активные части помещаются в сушильную камеру на определенное период сушки.

На механическом участке из пластика или металла изготавливаются корпусные детали.

Вывод: на предприятии в технологическом процессе используется большое количество электроприемников, рассмотреть которые в одной работе не предоставляется возможным. Поэтому более подробно будет рассмотрен один из производственных участков цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей.

## 2 Заводские нагрузки

На предприятии используется большое количество самого разнообразного промышленного оборудования, потребляющего электрическую энергию:

- подъемные механизмы, транспортные механизмы, приводы станков, насосов, компрессоров и т.д. Данная группа электроприемников относится к I и II категории потребителей, диапазон изменения  $\cos\phi$  широкий от 0,2 до 0,85. Характерны скачки пусковых токов, нагрузка в основном трехфазная;

- осветительное оборудование. Нагрузка относительно равномерная, однофазная, пусковые токи незначительные,  $\cos\phi$  от 0,6 до 1,0;

- преобразователи переменного тока в постоянный, требуемый в ряде технологических процессов – электролизные ванны, двигатели постоянного тока и др.

Количественные показатели электропотребителей предприятия будут рассмотрены в разделе 7.

Вывод: объем и характеристики используемого на предприятии электрооборудования очень широкий и в рамках одной работы их все рассмотреть невозможно.



### 3 Электрические нагрузки цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей

Нагрузки потребителей, установленных в участке цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Мощности электроприемников участка цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей

№ п/п	Наименование электроприемников на участке цеха	Механическая мощность, кВт
1	Полуавтомат навивки сердечников НМ-13	14, 5
2	Печь отжига сердечников КО-8	35, 5
3	Пресс гидравлический П6320	3
4	Контаватель рулонов КР-574	5, 2
5	Автоматическая линия продольной резки рулонной стали Л-235	2x28, 15,10,1
6	Линия косога реза АЛ-166.00	18
7	Установка термообработки магнитопровода ТОМ-1	20, 2
8	Автоматическая линия изготовления магнитопроводов АЛИМ2-3	30, 7,5, 11
9	Кран электрический Q=5 т	2x1,7; 11; 5
10	Вентиляция	5

Электроснабжение электропривода производственных механизмов осуществляется по одной из схем, показанных на рисунках 1 или 2.

В рассматриваемом участке цеха применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором типа АИ,  $n_n=1500$  об/мин,  $U_n = 380$  В. Модели используемых электродвигателей сведены в таблицу 2.

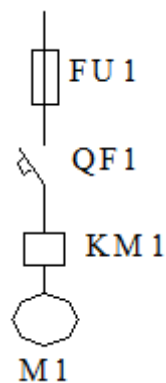


Рисунок 1 – Схема питания однодвигательного электропривода

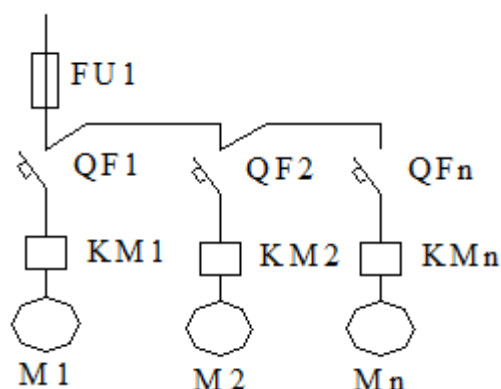


Рисунок 2 – Схема питания многодвигательного электропривода

Включение электродвигателей производится магнитными пускателями.  
Основное условие их выбора:

$$I_{\text{нп}} \geq I_p. \quad (1)$$

Тепловой элемент магнитного пускателя

$$I_{\text{тэ}} \geq I_p, \quad (2)$$

где  $I_{\text{нп}}$  - номинальный ток пускателя;

$I_{\text{тэ}}$  - ток теплового элемента;

$I_p$  - расчетный ток.

Условие выбора параметров плавкой вставки:

$$I_{нп} \geq I_p, \quad (3)$$

где  $I_{нп}$  – номинальный длительный ток, протекающий через плавкую вставку;

$I_p$  - расчетный длительный ток, протекающий через плавкую вставку.

Проверка плавкой вставки по стойкости к протеканию кратковременных пусковых токов:

$$I_{нп} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha}, \quad (4)$$

где  $I_{кр}$  – пусковой ток;

$\alpha$  - коэффициент перегрузки.

Принимаем  $I_{нп} = I_n$ , т.е. равным значению рабочего тока двигателя, который в свою очередь определяется по формуле [1]

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (5)$$

Пусковой ток двигателя

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_n, \quad (6)$$

где  $K_{п}$  - кратность величины значения пускового тока к рабочему.

Пиковый ток на линии определяется по выражению [1]

$$I_{кр} = I_{п.max} + (I_p - K_{и} \cdot I_{н.max}), \quad (7)$$

Расчетное сечение жилы кабеля выбирается их выражения [1]

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_p}{K_{\Pi}}, \quad (8)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\Pi}}, \quad (9)$$

где  $I_p$  – длительная расчетная величина тока в проводе;

$I_{\text{доп}}$  – допустимый ток проводника;

$K_{\Pi}$  – коэффициент, учитывающий условия прокладки;

$I_3$  – рабочий ток защитного прибора или его предельный ток;

$K_3$  – отношение максимально допустимого тока жилы кабеля к номинальному, определяемое по табл. П10 [1].

Условия выбора автоматических выключателей [1]:

$$I_{\text{на}} \geq I_p \quad (10)$$

$$I_{\text{нр}} \geq I_p \quad (11)$$

$$I_{\text{срз}} \geq 1,25 I_{\text{кр}} \quad (12)$$

Пример выбора коммутационных, защитных аппаратов и проводов для электропривода который указан на плане цеха под номером 32 (автоматическая линия изготовления магнитопроводов). Электропривод, которого состоит из трех двигателей  $P_1=30$  кВт,  $P_2=7,5$  кВт,  $P_3=11$  кВт.

По данным табл. 1 выписываем данные по двигателям:

М1: АИР0180М4  $P_{\text{н}}=30$  кВт,  $\eta_{\text{н}}=91,5\%$ ,  $\cos\varphi_{\text{н}}=0,86$ ,  $K_{\Pi}=7$ ;

М2: АИР132S4  $P_{\text{н}}=7,5$  кВт,  $\eta_{\text{н}}=87,5\%$ ,  $\cos\varphi_{\text{н}}=0,86$ ,  $K_{\Pi}=7,5$ ;

М3: АИР132М4  $P_{\text{н}}=11$  кВт,  $\eta_{\text{н}}=87,5\%$ ,  $\cos\varphi_{\text{н}}=0,87$ ,  $K_{\Pi}=7,5$ .

Определим номинальные токи двигателей по условию (5)

$$I_{\text{н1}}=30 / (1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,915 \cdot 0,86)=57,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{н2}}=7,5 / (1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,875 \cdot 0,86)=15,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{н3}}=11,0 / (1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,875 \cdot 0,87)=21,95 \text{ А}.$$

Выбор магнитного пускателя производим по условиям (1) и (2) из табл. П6 [2]

КМ1: ПМЛ410004  $I_{\text{нп}}=63$  А;

КМ2: ПМЛ210004  $I_{\text{нп}}=25$  А;

КМ3: ПМЛ210004  $I_{\text{нп}}=25$  А.

Выбор плавкой вставки предохранителя производим по условию (3) и (4).  $\cos(\varphi)$  для данного типа станка по [2] равен 0.65 . Найдём  $\operatorname{tg}(\varphi) = 1.17$ .  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования электроприемника по [2]  $K_{\text{и}}=0.24$ . Определим эффективное число проводников

$$N_{\text{эф}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{\text{нi}} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{нi}}^2}, \quad (13)$$

$$N_{\text{эф}} = \frac{(30 + 11 + 7.5)^2}{30^2 + 11^2 + 7.5^2} = 2,18.$$

Принимаем  $N_{\text{эф}}=2$ . Расчётные активная и реактивная мощности вычисляются по формулам (14) и (15)

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot \sum_{i=1}^n k_{\text{нi}} P_{\text{нi}}, \text{ кВт}, \quad (14)$$

$$Q_{\text{р}} = 1.1 \cdot P_{\text{см}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}. \quad (15)$$

Коэффициент 1,1 подставляется в формулу (15) при  $n_{\text{с}} \leq 10$  и 1,0 при  $n_{\text{с}} \geq 10$ . Полная расчетная нагрузка силовых электроприемников находим по выражению

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ ВА.} \quad (16)$$

Расчётный ток для группы приемников

$$I_p = S_p / (1.73 \cdot U_n), \text{ А.} \quad (17)$$

Подставляя численные значения в (14), (15), (16) и (17) получаем

$$\begin{aligned} P_p &= 3,014 \cdot 0,24 \cdot (30+11+7,5) = 35,1 \text{ кВт,} \\ Q_p &= 1,1 \cdot 0,24 \cdot 1,169 \cdot (30+11+7,5) = 15 \text{ квар,} \\ S_p &= \sqrt{35,1^2 + 15^2} = 38,17 \text{ кВА,} \\ I_p &= \frac{38170}{\sqrt{3} \cdot 380} = 58 \text{ А.} \end{aligned}$$

Пиковый ток группы находим по формуле (7)

$$I_{\text{пик}} = 405 + (58 - 0,24 \cdot 57,9) = 449,1 \text{ А.}$$

По условиям (10), (11) и (12) выбираем автоматические выключатели:

- QF1:  $I_{\text{на}} = 100 \text{ А} > I_p = 57,9 \text{ А}$ ;  $I_{\text{нр}} = 63 \text{ А} > I_p = 57,9 \text{ А}$ ;  $I_{\text{срз}} = 882 \text{ А} > 1,25$ ;  
 $I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot 405 = 506,25 \text{ А}$ . Выбираем автомат серии ВА51Г-31  $I_{\text{на}} = 100 \text{ А}$ ;  
 $I_{\text{нр}} = 63 \text{ А}$ ;

- QF2:  $I_{\text{на}} = 25 \text{ А} > I_p = 21,95 \text{ А}$ ;  $I_{\text{нр}} = 25 \text{ А} > I_p = 21,95 \text{ А}$ ;  $I_{\text{срз}} = 350 \text{ А} > 1,25$ ;  
 $I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot 164,6 = 205,8 \text{ А}$ . Выбираем автомат серии ВА51Г-25  $I_{\text{на}} = 25 \text{ А}$ ;  $I_{\text{нр}} = 25 \text{ А}$ ;

- QF3:  $I_{\text{на}} = 25 \text{ А} > I_p = 15,1 \text{ А}$ ;  $I_{\text{нр}} = 16 \text{ А} > I_p = 15,1 \text{ А}$ ;  $I_{\text{срз}} = 224 \text{ А} > 1,25$ ;  
 $I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot 113,5 = 141,8 \text{ А}$ . Выбираем автомат серии ВА51Г-25  $I_{\text{на}} = 25 \text{ А}$ ;  $I_{\text{нр}} = 16 \text{ А}$ .

Выбираем предохранитель FU1 по условию  $I_{\text{нп}} > I_p = 58 \text{ А}$  и  $I_{\text{вс}} > I_{\text{пик}} / \alpha = 449,1 / 2,5 = 179,6 \text{ А}$ . Исходя из приведенных условий по [2] выбираем предохранитель ПН2-250  $I_{\text{вс}} = 200 \text{ А}$ . Такие предохранители не

устанавливаются в ШРА4-400, поэтому применяем автоматический выключатель ВА51Г-31,  $I_{на}=100$  А,  $I_{нр}=63$  А [16]. Проверяем на селективность  $I_{нрмин}=63 \cdot 1,5=94,5$  А >  $I_{нрmax}=63$  А. По условию селективности принимаем автомат ВА51Г-31,  $I_{на}=100$  А,  $I_{нр}=100$  А.

Сечение провода выбираем по условиям (8) и (9)

$$I_{доп} \geq 58 / 1 = 58 \text{ А,}$$

$$I_{доп} = \frac{1 \cdot 100}{1} = 100 \text{ А,}$$

где  $Kз=1$ , т.к. защитный аппарат автоматический выключатель с комбинированным расцепителем по [2].

По [2] окончательно принимаем провод АПВ 3(1х35)+1х25,  $I_{дл.доп} = 95$ А, т.к. наличие аппаратов защиты с завышенными величинами  $Iз$  не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх определенного по выражению (8). По (9) разрешается применение ближайшего меньшего сечения, но не меньшего, чем это требуется по условию нагрева расчетным током. Для ЭП с одним двигателем расчёт аналогичен трехдвигательному ЭП, исключение составляет принятый к расчету электрический ток, который в данном случае принимается равным паспортному значению. В таблицах 2 и 3 показаны результаты определения параметров остальных цеховых нагрузок.

Таблица 2 - Выбор электродвигателей, их коммутационных и защитных аппаратов

№ на плане	$K_{и}$	$\cos\varphi$	Модель	$P_{н}$ , кВт	$\eta$ , %	$\cos\varphi$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	$I_{н}$ , А	$I_{пуск}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-7 40-46	0,21	0,6	АИР180М4	16	88,4	0,90	8	29,5	195
	0,21	0,6	АИР132М4	6,0	88,6	0,91	8	11,77	76,12
8-13 34,35,37, 38	0,95	0,9	-	40	-	-	-	52,19	-
	0,21	0,6	АИР112М4	6,0	88,9	0,90	8	11,77	76,12

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15,25-28,36,39	0,22	0,70	АИР100S4	2,9	79	0,83	8	7,1	50,1
16-19 49-52	0,22	0,70	АИР112М4	6,1	88,4	0,90	8	9,9	76,1
	0,22	0,70	АИР112L4	1,9	79	0,90	7,0	5,04	29,98
20,21 53-55 14	0,19	0,70	АИР180М4	28	89,4	0,92	8	58,1	399
	0,30	0,70	АИР180М4	28	89,4	0,92	8	58,2	395
	0,30	0,70	АИР160S4	14	90,1	0,92	8	29,4	198
	0,30	0,70	АИР132М4	9	90,1	0,91	8	22,14	158,4
	0,30	0,70	АИР100S4	2,8	79,5	0,9	8	7,0	45,8
22-24 56-58	0,20	0,70	АИР160М4	17,9	88	0,94	8	34,8	251,5
29-31	0,90	0,9	-	18	-	-	-	29,8	-
	0,22	0,40	АИР112L4	1,9	79	0,90	7,0	5,11	31,42
32,33 47,48	0,30	0,70	АИР180М4	28	89,4	0,92	8	6,02	398
	0,30	0,70	АИР132М4	9	88,4	0,90	8,0	22,32	159,7
	0,30	0,70	АИР132S4	8,0	88,4	0,90	8,0	14,98	109,7
61-63	0,90	0,9	АИР112М4	6,0	88,4	0,92	8	11,77	74,88
59,60	0,35	0,60	МТКФ	9	78,4	0,80	-	30,1	129
	0,35	0,60	МТКФ	4	69	0,80	-	14,2	49
	0,35	0,60	МТКФ	1,3	59,4	0,70	-	4,9	16
1-7	ПМЛ31 004	40	РТЛ205304	27	ВА51 Г-31	100	31,5	441	ПН2- 100/100
	ПМЛ21 004	25	РТЛ101604	12	ВА51 Г-25	25	12,5	175	
8-13 34,35,37, 38	ПМЛ41 004	63			ВА51 -31	100	63	189	ПН2- 100/63
	ПМЛ21 004	25	РТЛ101604	12	ВА51 Г-25	25	12,5	175	
15,25-28, 35,39	ПМЛ11 004	10	РТЛ101204	6,8	ВА51 Г-25	25	8	112	ПН2- 100/31. 5
16-19 49-52	ПМЛ21 004	25	РТЛ101604	12	ВА51 Г-25	25	12,5	175	ПН2- 100/40
	ПМЛ11 004	10	РТЛ101004	5	ВА51 Г-25	25	6,3	88,2	
20-21 53-55 14	ПМЛ41 004	63	РТЛ206104	60	ВА51 Г-31	100	63	882	ВА51Г- 31 I <sub>нв</sub> =100 А I <sub>нр</sub> =100 А k=14
	ПМЛ41 004	63	РТЛ206104	60	ВА51 Г-31	100	63	882	
	ПМЛ31 004	40	РТЛ205304	27	ВА51 Г-31	100	31,5	441	
	ПМЛ21 004	25	РТЛ102204	21,5	ВА51 Г-25	25	25	350	
	ПМЛ11 004	10	РТЛ101204	6,8	ВА51 Г-25	25	8	112	
22-24 56-58	ПМЛ31 004	40	РТЛ205304	27	ВА51 Г-31	100	40	560	ПН2- 100/100
29-31	ПМЛ31 004	40	-	-	ВА51 -31	100	31,5	94,5	ПН2- 100/40



	ПМЛ11 0004	10	РТЛ101004	5.0	ВА51 Г-25	25	6.3	88.2	
--	---------------	----	-----------	-----	--------------	----	-----	------	--

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32,33 47,48	ПМЛ31 004	63	РТЛ206104	60	ВА51 Г-31	100	63	882	ВА51Г- 31 I <sub>нв</sub> =100 А I <sub>нр</sub> =100 А k=14
	ПМЛ21 004	25	РТЛ102204	21.5	ВА51 Г-25	25	25	350	
	ПМЛ21 004	25	РТЛ102104	16	ВА51 Г-25	25	16	224	
59 60	ПМЛ21 004	25	-	-	ВА51 Г-25	25	20	280	ПН2- 100/50
	ПМЛ11 004	10	-	-	ВА51 Г-25	25	10	140	
	ПМЛ11 004	10	-	-	ВА51 Г-25	25	4	56	
61-63	ПМЛ21 004	25	РТЛ101604	12	ВА51 Г-25	25	12.5	175	ПН2- 100/40

Таблица 3 - Выбор электродвигателей, их кабельных линий

№ п/п	Провод	I <sub>р</sub> , А	к <sub>з</sub> ·I <sub>з</sub>	I <sub>доп</sub> , А
1-7 40-46	АПВ 4(1x6)	26,8	33	32
8-13 34,35,37,38	АПВ 3(1x16)+1x10	53,2	20,79	60
15,25-28, 35,39	АПВ 4(1x2)	6,7	10,4	18
16-19 49-52	АПВ 4(1x2)	9,88	13,2	18
20-21 53-55 14	АПВ 3(1x35)+1x16	79,4	100	95
22-24 56-58	АПВ 4(1x8)	35,1	33	40
29-31	АПВ 4(1x6)	30,4	13,2	32
32,33 47,48	АПВ 3(1x35)+1x16	57,3	100	95
61-63	АПВ-4(1x2)	10,85	13,2	18
59 60	АВВГ-4x2,5	18,65	16,5	19

Вывод: выбранные провода, кабельные линии и защитные аппараты обеспечивают максимальную защиту электродвигателей при их эксплуатации.

## 4 Расчет нагрузок

«Расчет электрических нагрузок будем производить методом расчетных коэффициентов» [3]:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ni}, \text{ кВт.} \quad (18)$$

$$K_{и\text{ ср.вз.}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}}. \quad (19)$$

$$N_{эф} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{ni} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2} \quad (20)$$

$$Q_p = K'_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot K_{ni} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар.} \quad (21)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА.} \quad (22)$$

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А.} \quad (23)$$

Максимальный ток группы рассчитывается по формуле

$$I_{кр} = I_{пм} + (I_p - K_{и} \cdot I_{нм}), \quad (24)$$

где  $I_{пм}$  – максимальное пиковое значение токов приемников в линии;

$I_{нм}$  – номинальный ток потребителя, имеющего наибольший скачок тока;

$K_{и}$  – коэффициент использования элемента нагрузки с максимальных начальным током [17].

Группировка цеховых электроприводов в соответствии с их схемами подключения к энергосети цеха показана в таблице 4. Получилось пять

групп, к станкам проведены пять шинопроводов к которым подключено различное количество электроприводов.

Таблица 4 – Группировка нагрузок

№ объединения	Номера электроприемников в соответствии с планом (см. графическая часть проекта)	Количество двигателей
1	1-7, 8-13, 14, 15,61-63	36
2	16-19, 20,21,22-24,25-28, 29-31, 32,33,34-39	47
3	40-46,47,48,49-52,53-55,56-58	46
4	59	4
5	60	4

Расчет  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$   $I_p$  проводится по формулам (18...24) [18]

Коэффициент использования линии

$$K_{исп} = (7 \cdot 150 \cdot 0,14 + 7 \cdot 5,5 \cdot 0,14 + 6 \cdot 35 \cdot 0,8 + 6 \cdot 5,5 \cdot 0,14 + 2 \cdot 30 \cdot 0,24 + 15 \cdot 0,24 + 11 \cdot 0,24 + 3 \cdot 0,24 + 3 \cdot 0,17 + 3 \cdot 5,5 \cdot 0,8) / 495 = 0,46 \quad (25)$$

Эффективное число электроприемников

$$N_{эф} = \frac{(15 \cdot 7 + 5,5 \cdot 7 + 35 \cdot 6 + 5,5 \cdot 6 + 30 \cdot 2 + 15 + 11 + 3 + 3 + 5,5 \cdot 3)^2}{7 \cdot 15^2 + 7 \cdot 5,5^2 + 6 \cdot 35^2 + 6 \cdot 5,5^2 + 2 \cdot 30^2 + 15^2 + 11^2 + 2 \cdot 3^2 + 3 \cdot 5,5^2} = 21,58. \quad (26)$$

Принимаем  $N_{эф} = 21$ . Тогда  $K_p = f(n_{эф}, K_{и.ср.вз}) = 1,0$  [4].

Расчетная активная мощность:

$$P_p = 1,00 \cdot (7 \cdot 15 \cdot 0,14 + 7 \cdot 5,5 \cdot 0,14 + 6 \cdot 35 \cdot 0,8 + 6 \cdot 5,5 \cdot 0,14 + 2 \cdot 30 \cdot 0,24 + 15 \cdot 0,24 + 11 \cdot 0,24 + 3 \cdot 0,24 + 3 \cdot 0,17 + 3 \cdot 5,5 \cdot 0,8) = 227,78 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивную мощность:

$$Q_p = 1,0 \cdot (7 \cdot 0,14 \cdot 15 \cdot 1,73 + 7 \cdot 0,14 \cdot 5,5 \cdot 1,73 + 6 \cdot 0,14 \cdot 5,5 \cdot 1,73 + 2 \cdot 0,24 \cdot 30 \cdot 1,17 + 0,24 \cdot 15 \cdot 1,17 + 0,24 \cdot 11 \cdot 1,17 + 0,24 \cdot 3 \cdot 1,17 + 0,14 \cdot 3 \cdot 1,73 + 2 \cdot 0,8 \cdot 5,5 \cdot 0,75) = 78,27 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность

$$S_p = (227,78^2 + 78,27^2) = 240,85 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток  $I_p = 366,04 \text{ А.}$

Пиковый ток линии [19]

$$I_{кр} = 405,4 + (365,94 - 57,9 \cdot 0,24) = 748 \text{ А.}$$

Для остальных линий расчет электрических мощностей производится аналогично.

Вывод: таким образом, на более подробно рассматриваемом участке цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей действуют нагрузки:

- $P_a = 227,7 \text{ кВт};$
- $Q_a = 78,2 \text{ квар};$
- полная мощность  $240,8 \text{ кВА};$
- сила потребляемого тока  $366,04 \text{ А.}$

## 5 Цеховая электрическая сеть

Для построения внутрицеховой системы электроснабжения применяют магистральные и распределительные линии, отличающиеся по передаваемой мощности. «Для питания значительного числа электроприемников небольшой мощности, расположенных компактно по площади цеха, следует применять распределительные шинопроводы (серии ШРА4). Радиальные схемы распределительных сетей с силовыми РП следует предусматривать в тех случаях, когда применение распределительных шинопроводов препятствуют условия среды, территориальные размещение электроприемников, наличие кранов и другие местные условия. При радиальных схемах питания рекомендуется использовать силовые распределительные шкафы серии ШР11. При построении схем необходимо стремиться к тому, чтобы длина линии была минимальной. Следует также исключать или сводить к минимуму случай обратного потока мощности» [5].

Результаты выбора распределительных шинопроводов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Выбор распределительных шинопроводов

№ группы	$I_p$ , А	$I_n$ , А	Марка шинопровода	Уровень защиты
1	364,87	400	ШРА4-400	IP40
2	399,6	400	ШРА4-400	IP40
3	300	400	ШРА4-400	IP40

Объединения электроприемников, представленных в таблице 5, подключены к энергосистеме через распределительный щит ЯВЗ-34-1 [20] через воздушный автомат с номинальным током 400А без средства защиты от КЗ.

Источником питания в цехе изготовления сердечников будет являться двух трансформаторный цеховой КТП, т.к.  $S_{p\text{ цеха}}=1500,8\text{ кВА}>300\text{ кВА}$ .

Результат выбора шин для питания электроприводов кран-балок сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Крановые троллеи

№ крана	$I_{30}$ , А	$I_{доп}$ , А	Стандартное сечение, мм	$I_{пик}$ , А	$l$ , м	$\Delta U_{доп}$ , %/м	$\Delta U_{доп}$ , %
27	15,5	150	25·25·3	63	30	0,12	3,6
58	23,2	150	25·25·3	93,08	30	0,13	3,9

Проверку троллейных линий на падение напряжения проведем по схеме рис. 3 и формулам из пособия [6]

$$\Delta U_T = \beta_T (U_A \cos \phi_T + U_P \sin \phi_T), \quad (26)$$

$$U_A = \frac{\Delta P_K}{S} \quad U_P = \sqrt{U_K^2 - U_A^2}, \quad (27)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 I_p l}{U_H} (r_0 \cos \phi + x_0 \sin \phi), \quad (28)$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0.5 I_p l_{ш}}{U_H} (r_{0ш} \cos \phi + x_{0ш} \sin \phi), \quad (29)$$

$$U_{\Sigma} = U_{XX} - \sum_{i=1}^n \Delta U_i, \quad (30)$$

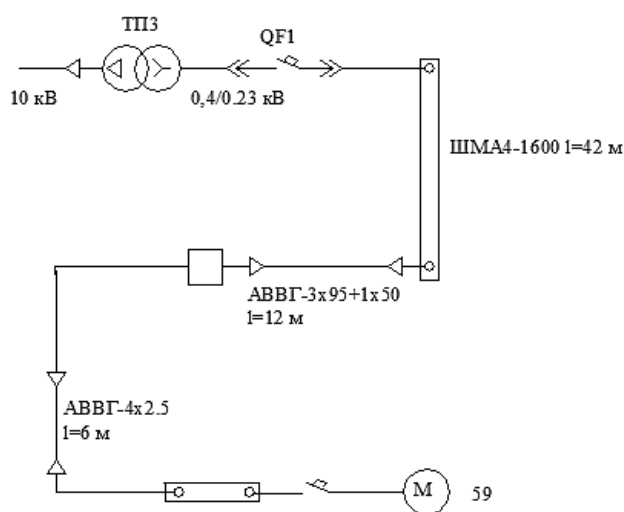


Рисунок 3- Расчетная схема для определения падения напряжения [21]

Активную часть напряжения

$$U_A = \frac{10,8}{1000} = 1,08 \%$$

Реактивная часть напряжения

$$U_P = \sqrt{5.5^2 - 1.08^2} = 5.39 \%$$

Падение напряжения на трансформаторе

$$\Delta U_T = 0.77 \cdot \left( 1.08 \frac{1447.5}{1550} + 5.39 \frac{554.2}{1550} \right) = 2.25 \%$$

Падение U в шинопроводе

$$\Delta U_{ш} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0.5 \cdot 1508 \cdot 0.042}{380} (0.0297 \cdot 0.72 + 0.0143 \cdot 0.68) = 0.36 \%$$

Падение U в кабельной линии КЛ1

$$\Delta U_{л1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0.5 \cdot 18.65 \cdot 0.012}{380} (0.329 \cdot 0.758 + 0.081 \cdot 0.652) = 0.3\%$$

Падение U в кабельной линии КЛ2

$$\Delta U_{л2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 18.65 \cdot 0.006}{380} (12.5 \cdot 0.758 + 0.116 \cdot 0.652) = 4.87 \%$$

Напряжение на зажимах электроприемников

$$U_э = 105 - 2,25 - 0,36 - 0,3 - 4,87 - 8,58 = 88,64 \%$$

Вывод: падение напряжения в наиболее удаленной точки (на клеммах электродвигателя) не превышает допустимые 85%.

## 6 Цеховое освещение

Для проектируемого участка цеха по [7] нормируемая наименьшая освещенность  $E=200$  лк; длина помещения  $A=70$  м, ширина  $B=32$  м, высота  $H=9,2$  м. Используем газоразрядные лампы.

Расстояние от светильника до пола

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (31)$$

где  $h_c$  – расстояние от корпуса светильника до потолка, по [8]  $h_c=1,1$  м;

$h_p$  – расстояние от пола до рабочего механизма, по [8]  $h_p=0,9$  м.

$$H_p = 9,2 - 1,1 - 0,9 = 7,2 \text{ м.}$$

«Отношение расстояний между соседними светильниками или рядами светильников  $L$  к высоте их установки  $H_p$  над освещаемой поверхностью выбираем в зависимости от типа кривой силы света светильников. Расстояние от крайних рядов светильников до стен принимаем  $l=0,5 \cdot L$ » [8].

По [8] принимаем

- кривую света типа Г;

-  $L/H_p=0,9$ ;

-  $L=H_p \cdot 0,9=6,6 \cdot 0,9=6$  м;

-  $l=0,5 \cdot L=0,5 \cdot 6=3$  м.

Количество рядов светильника

$$R = \frac{B-2l}{L} + 1, \quad (32)$$

$$R = \frac{30-2 \cdot 3}{6} + 1 = 6.$$

Количество светильников, приходящихся на один ряд



$$N_R = \frac{A-2l}{L} + 1, \quad (33)$$

$$N_R = \frac{72-2 \cdot 3}{6} + 1 = 12.$$

Общее число светильников рабочего освещения в проектируемом цехе

$$N = N_R \cdot R, \quad (34)$$

$$N = 12 \cdot 5 = 60.$$

Индекс помещения находим по формуле

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A+B)}, \quad (35)$$

$$i = \frac{72 \cdot 30}{6.6(72 + 30)} = 3,2.$$

По [8] принимаем коэффициенты отражения:

-  $\rho_{\text{П}}=0,5$ ;

-  $\rho_{\text{С}}=0,3$ ;

-  $\rho_{\text{Р}}=0,1$ .

- для  $i=3,2$  принимаем  $\eta=0,7$ .

Используя справочные данные по газоразрядным лампам и методику расчета [8] определим световой поток одного светильника

$$\Phi_{\text{СВ}} = \frac{E \cdot K \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (36)$$

$$\Phi_{\text{СВ}} = (200 \cdot 1,9 \cdot 2160 \cdot 1,15) / (60 \cdot 0,7) = 22474,3 \text{ лм.}$$

По [8] выбираем тип лампы ДРЛ – 400, РН=400 кВт, номинальный световой поток  $\Phi_{\text{ЛН}}=23000 \text{ лм.}$

## Отклонение светового потока лампы от расчетного

$$\Delta\Phi, \% = \frac{\Phi_{ЛН} - \Phi_{СВ}}{\Phi_{СВ}} 100\%, \quad (38)$$

$$\Delta\Phi, \% = (23000 - 22474.3) / 23000 = +2.3\%.$$

Для выбранных ламп применим светильники РСП17 (IP54) для типа ламп ДРЛ, РНЛ=400 кВт, кривая силы света Г.

Вывод: выбрали светильники с углом раскрытия светового потока  $60^{\circ}$ , что является наиболее оптимальным светораспределением для закрытых производственных помещений с высотой потолка более десяти метров. Отклонение номинального светового потока выбранной лампы типа ДРЛ-400  $\Phi_{ЛН}=23000$  лм от расчетного значения  $\Phi_{Л}=22474,3$  лм составило +2,3%, что допустимо.

## 7 Определение нагрузок заводских цехов

Расчет нагрузок цехов произведем по формулам (18...24) [23]. Результат сведем в таблицы 7.

Таблица 7 – Номинальная мощность оборудования

№	Электропотребители	Потребляемая мощность	$K_{и}$	$\cos\varphi$
1. Административный корпус				
1	Вытяжка	113	0,8	0,8
2	Насосы	39	0,7	0,85
3	Калориферы	388	0,8	1,0
4	Подъемники	99	0,35	0,5
5	Металлообрабатывающее оборудование	39	0,14	0,5
2. Сборочный цех				
1	Металлообрабатывающее оборудование	1849	0,14	0,5
2	--- в тяжелом режиме	1219	0,17	0,65
3	Тельферы	286	0,35	0,5
4	Вытяжка	149	0,8	0,8
5	Калориферы	658	0,8	1,0
6	Насосы	300	0,7	0,85
7	Транспортеры	229	0,55	0,75
3. Цех изготовления сердечников				
1	Металлообрабатывающее оборудование	749	0,14	0,5
2	--- в тяжелом режиме	1648	0,17	0,65
3	Тельферы	184	0,35	0,5
4	Вытяжка	89	0,8	0,8

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
5	Калориферы	979	0,8	1,0
6	Металлообрабатывающее оборудование в тяжелом режиме	2119	0,24	0,65
4. Цех изготовления катушек и дросселей				
1	Металлообрабатывающее оборудование	549	0,14	0,5
2	-//- в тяжелом режиме	1959	0,17	0,65
3	Тельферы	91	0,35	0,5
4	Вытяжка	44	0,8	0,8
5	Калориферы	329	0,8	1,0
6	Транспортеры	29	0,55	0,75
5. Цех изготовления корпусных изделий				
1	Металлообрабатывающее оборудование	1179	0,14	0,5
2	-//- в тяжелом режиме	2959	0,17	0,65
3	Тельферы	559	0,35	0,5
4	Вытяжка	449	0,8	0,8
5	Калориферы	1489	0,8	1,0
6	Транспортеры	279	0,55	0,75
7	Сварочные трансформаторы дуговой сварки	389	0,2	0,4
8	Установки нанесения электрохимического покрытия	679	0,5	0,8
6. Ремонтно-механический цех				
1	Металлообрабатывающее оборудование	619	0,14	0,5
2	-//- в тяжелом режиме	311	0,17	0,65
3	-//- в сверхтяжелом режиме	159	0,24	0,65

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
4	Тельферы	41	0,35	0,5
5	Вытяжка	19	0,8	0,8
7. Склад				
1	Тельферы	239	0,35	0,5
2	Вытяжка	99	0,8	0,8
8. Компрессорная				
1	Вытяжка	9	0,8	0,8
2	Компрессоры	89	0,7	0,85
9. Насосная				
1	Вытяжка	9	0,8	0,8
2	Насосы	179	0,7	0,85

Используя формулы (18...24) на примере цеха №2 рассчитаем электрические нагрузки (см. таблицу 8):

$$N_{эф} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{ни}}{p_{нмакс}} = \frac{2(1950 + 1220 + 285 + 150 + 660 + 145 + 235)}{85} = 109,3$$

$$K_{исрвз.} = \frac{0,14 \cdot 1950 + 0,17 \cdot 1220 + 285 \cdot 0,35 + 0,8 \cdot 150 + 0,8 \cdot 660 + 0,7 \cdot 295 + 0,55 \cdot 235}{1950 + 1220 + 285 + 150 + 660 + 295 + 235} = \frac{1563,9}{4795} = 0,32$$

$$P_p = 0,7 \cdot 1563,9 = 1094,73 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,7(1950 \cdot 0,14 \cdot 1,73 + 1220 \cdot 0,17 \cdot 1,17 + 285 \cdot 0,35 \cdot 1,73 + 150 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 0,7 \cdot 295 \cdot 0,62 + 235 \cdot 0,55 \cdot 0,88) = 873 \text{ квар.}$$

Таблица 8- Цеховые мощности

№ цеха	P <sub>рс</sub> , кВт	Q <sub>рс</sub> , квар	P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>ро</sub> , квар	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар
1	2	3	4	5	6	7
1	406,6	133,1	172,8	55,3	579,4	188,4
2	1094,7	873	169,3	225,2	1264	1098,2
3	1270	923,5	125	166,3	1395	1089,8

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
4	512,3	415,5	64,5	85,8	576,8	501,3
5	2095,7	1512,8	435,5	579,2	2531,2	2092
6	156,5	220,6	30,2	40,2	186,7	260,8
7	129	161,2	49,2	23,6	178,2	184,8
8	71	45,1	2,2	0	73,2	45,1
9	123,8	76,5	1,4	0	125,2	76,5
4,6	-	-	-	-	763,5	762,1
5,7,9	-	-	-	-	2834,6	2353,2
2,8	-	-	-	-	1337,2	1143,3

Выбор средств компенсации реактивной мощности производим в соответствии с РТМ 36.18.32.6-92 [9].

На примере цеховой подстанции №1 рассчитаем число устанавливаемых в ней трансформаторов и КУ [32]:

$$N_{T.min} = \frac{P_{PH}}{\beta_T \cdot S_T}, \quad (39)$$

$$N_{T.min} = \frac{579,4}{0,95 \cdot 630} = 0,968.$$

Принимаем один трансформатор ТМЗ-630/10 [24].

Предельное количество реактивной мощности

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot 630 \cdot 0,95 \cdot 1)^2 - 579,4^2} = 312,6 \text{ квар}$$

Общая реактивная мощность, компенсируемая компенсаторами реактивной мощности

$$Q_{HK1} = 188,4 - 312,6 = -124,2 \text{ квар.}$$

Результаты выбора трансформаторов ЦТП показаны в таблице 9.

Таблица 9- Выбор трансформаторов ЦТП

№ ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$\beta_T$	Трансформаторы	$Q_T$ , квар	$Q_{нк1}$ , квар
1	579,4	188,4	0,95	1·630	312,6	0
2	1337,2	1143,3	0,7	2·1000	763,8	379,4
3	1395	1089,8	0,7	2·1000	652	437,4
4	763,5	752,1	0,7	2·630	598,6	163,5
5	2834,6	2353,2	0,7	4·1000	1204,7	1148,4

Принимаем стандартные мощности БНК [25]:

ТП-2: 2·УКМ58-0,4-268-67-У3.

ТП-3: 2·УКМ58-0,4-268-67-У3.

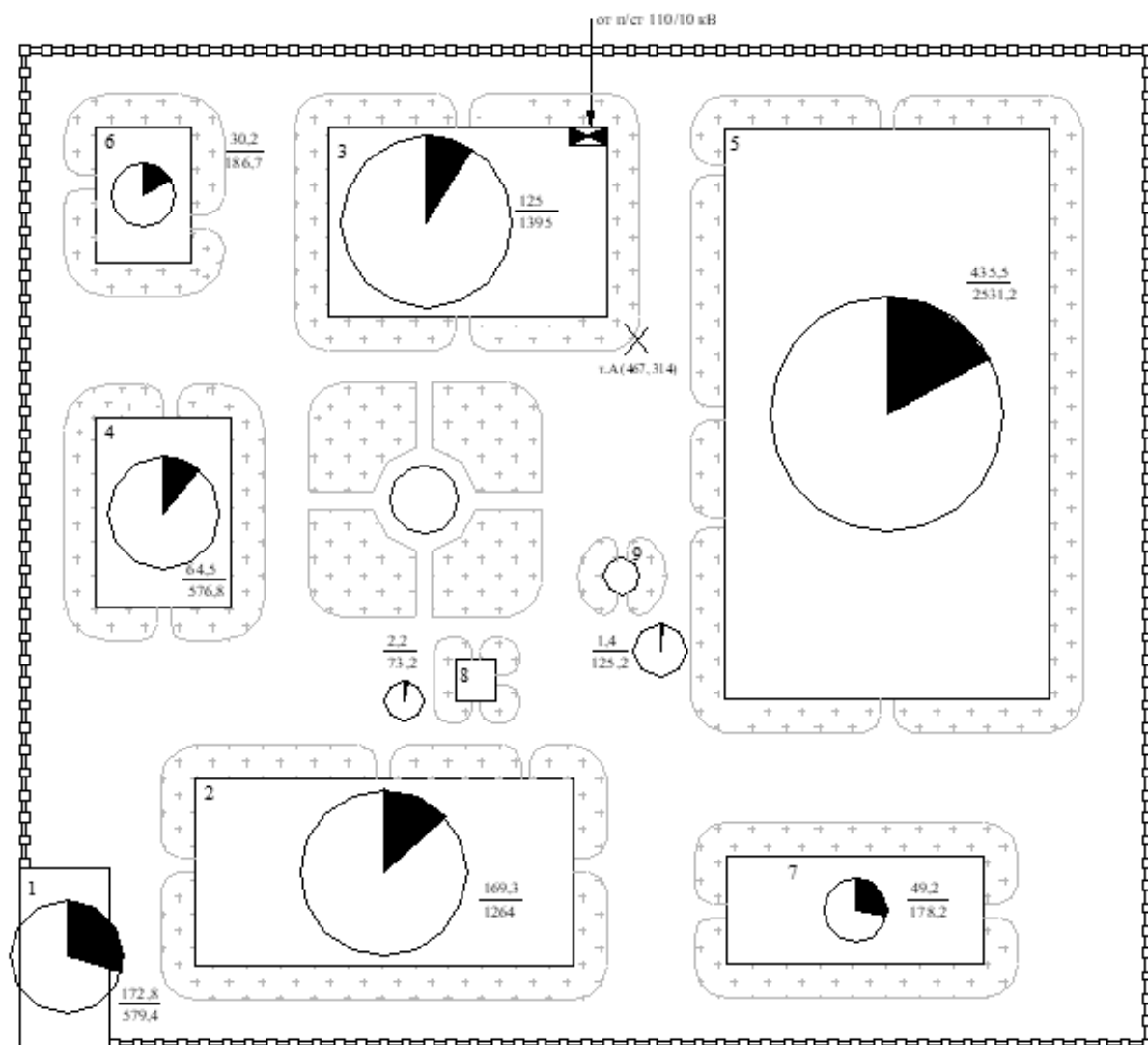
ТП-4: 2·УКМ58-0,4-200-33 1/3-У3.

ТП-5: 4·УКМ58-0,4-268-67-У3.

Выводы: применение компенсации реактивной мощности позволяет снизить полную потребляемую мощность цехов предприятия.

## 8 Определение мест установки ГПП и цеховых подстанций

План предприятия с сетью напряжения более 1 кВ и картограммой нагрузок представлена на рис. 4 и в графической части проекта.



1- административный корпус, 2- сборочный цех, 3- цех изготовления сердечников, 4- цех изготовления катушек и дросселей, 5- цех изготовления корпусных деталей, 6- ремонтно-механический цех, 7- склад, 8- компрессорная, 9- насосная

Рисунок 4- Генплан завода



Для определения картограммы нагрузок используем расчетные значения потребления по цехам (см. табл. 10) и результаты расчета их координат центров нагрузки (см. табл. 11)

Таблица 10 - Расчётные значения мощностей

№ цеха	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ррс, кВт	433,2	1077	1260	549	1920	210	161	72	96
Рро, кВт	153,6	254	187,5	93,7	653,2	45,4	49,2	2,2	1,4
Рр, кВт	586,8	1331	1447,5	642,7	2573,2	255,4	210,2	74,2	97,4

Координаты центра электрических нагрузок рассчитываются по формулам (44 и 45) [22] и сводятся в таблицу 11.

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pцi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{pцi}} \quad (44)$$

$$y_o = \frac{\sum_{i=1}^n P_{pцi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{pцi}}, \quad (45)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты центра нагрузок цеха;

$x_o, y_o$  – координаты центра нагрузок всего предприятия.

Таблица 11 - Координаты центров электрических нагрузок

№ цеха	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X, мм	251	393	430	295	617	286	603	434	499
Y, мм	122	160	449	320	364	461	144	246	292

Вывод: центр электрических нагрузок предприятия находится в точке А (512; 298).

## 9 Электрическая сеть выше 1 кВ

Для уменьшения последствий аварий, случающихся при эксплуатации электротехнического оборудования и электроприводов (короткое замыкание, перегрузка и т.п.) необходимо предусмотреть подключение силовых источников и линий в разных точках ввода.

«Распределение электрической сети на территории производственного предприятия на  $U=10$  кВ возможно выполнить всеми распространёнными (магистральными, распределительными, комбинированными) способами» [26]. Прокладка линий питания 10 кВ под землей.

Ящики силовых шин РП формируются из камер КСО – 285 [26]. Кабели  $U=10$  кВ расположены в земле. Прием и распределение  $U=10$  кВ с применением камер КСО-285.

«При разработке схемы электроснабжения предприятия на напряжение выше 1кВ необходимо учитывать:

- 1) категорию потребителей;
- 2) величину потребляемой мощности;
- 3) территориальное расположение потребителя.

Центральный распределительный пункт предназначен для распределения электроэнергии между потребителями на том же направлении, на каком электроэнергия поступила. Располагаем РП в цехе с большим потреблением электроэнергии и наиболее близко расположенному к центру электрической нагрузки» [10] . Так как центр нагрузок т.А (467; 314) располагается в 3 цехе, в нем расположим и ПРП. Разработанная схема СЭ предприятия представлена на рис. 5 и в графической части проекта.

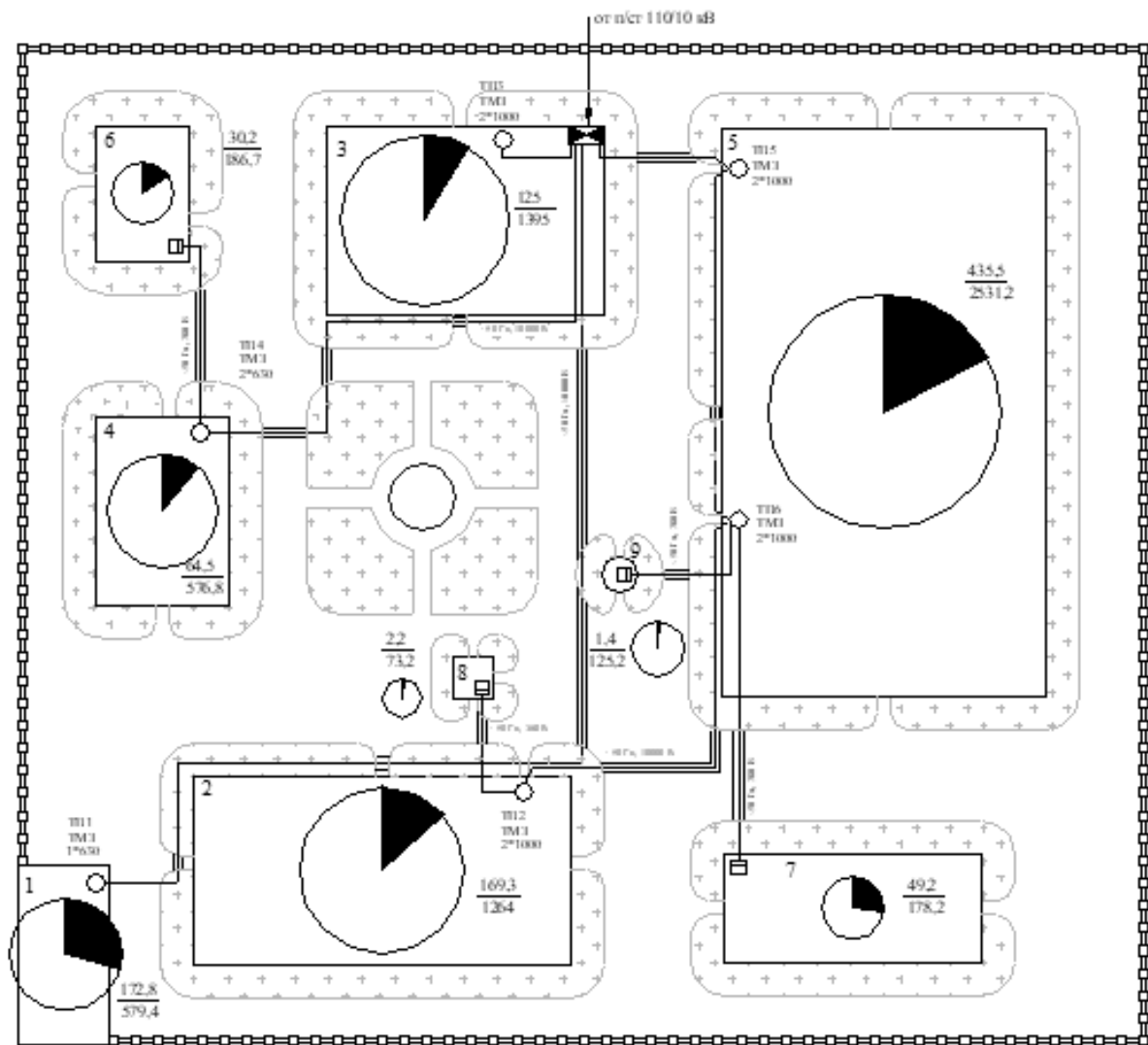


Рисунок 5- Схема электроснабжения предприятия

Вывод: наиболее оптимально выполнить электроснабжение по радиальной и двойной сквозной магистральной схеме.

## 10 Расчет токов КЗ

Зная географическое расположение объектов электроснабжения, цехов и их нагрузок составим внешнюю схему питания предприятия электроэнергией (см. рис. 6). На ее основе разработаем расчетную схему токов КЗ (см. рис. 7) [30].

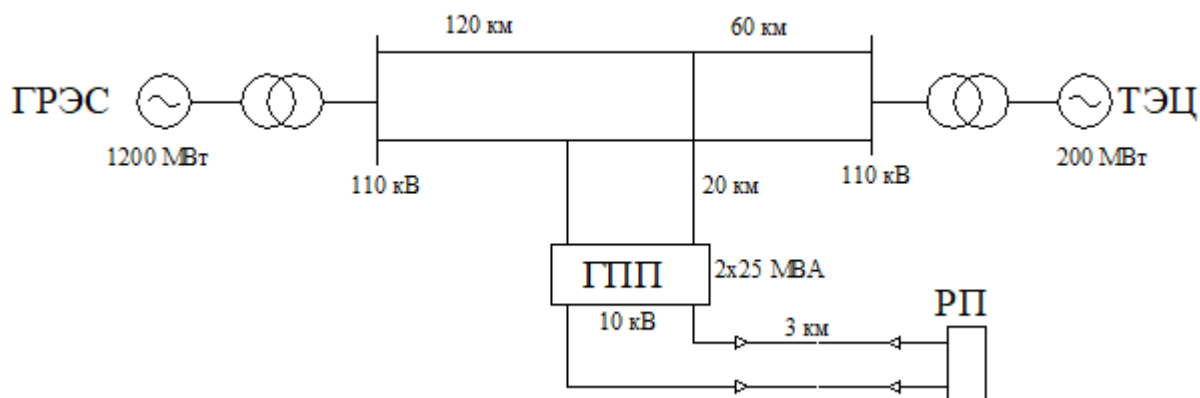


Рисунок 6- Схема питания

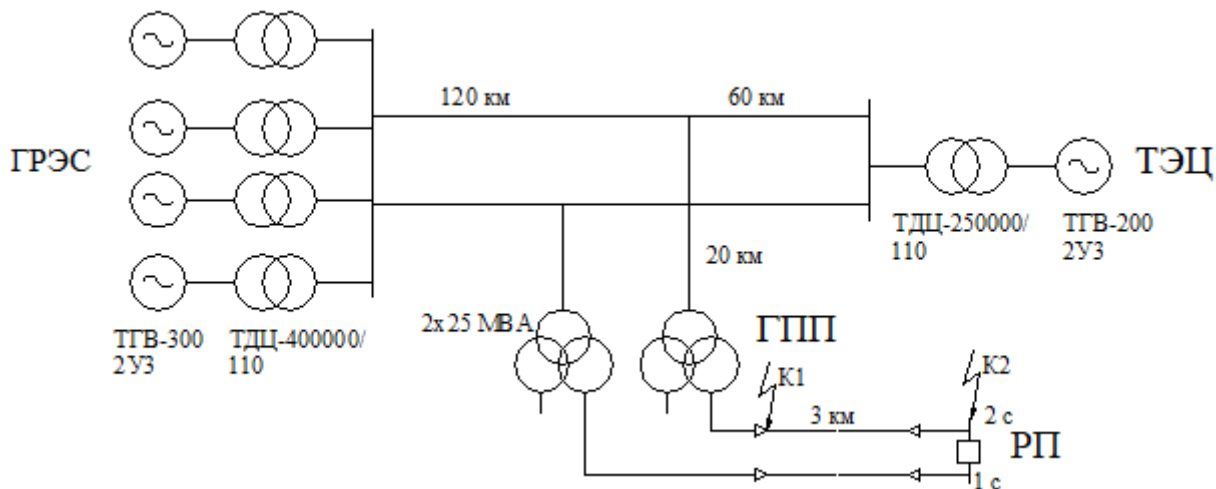


Рисунок 7 - Схема для расчета токов КЗ

«Для вычисления токов КЗ составляем расчетную схему, включая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. По расчетной схеме составляем схему замещения, в которой каждый элемент заменяем своим сопротивлением. Генераторы, трансформаторы, высоковольтные



$$X_{\Gamma} = X_d'' \frac{S_6}{P_H} \cos \phi_H, \quad (47)$$

$$X_1 = 0.195 \frac{300}{300} 0.85 = 0.166,$$

$$X_T = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{HT}}, \quad (48)$$

$$X_2 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{300}{400} = 0,0786,$$

$$X_3 = 0.19 \frac{300}{200} 0.85 = 0.242,$$

$$X_4 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{300}{250} = 0.126,$$

$$X_L = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2}, \quad (49)$$

$$X_5 = 0,4 \cdot 120 \cdot \frac{300}{115^2} = 1,089,$$

$$X_6 = 0.4 \cdot 60 \cdot \frac{300}{115^2} = 0.544,$$

$$X_7 = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{300}{115^2} = 0,181,$$

$$X_8 = \frac{1.875 \cdot U_K \cdot S_B}{100 \cdot S_{HT}}, \quad (50)$$

$$X_8 = \frac{1.875 \cdot 10,5 \cdot 300}{100 \cdot 25} = 2,363, \quad (50)$$

$$X_9 = 0,08 \cdot 3 \cdot \frac{300}{10,5^2} = 0,653.$$

Преобразуем схему замещения рис. 8 к виду рис. 9, исключив параллельные линии работы и рассчитаем ее параметры:

$$X_{15} = X_1 + X_2 = 0,166 + 0,076 = 0,245,$$

$$X_{16} = \frac{X_{15}}{4} = \frac{0.245}{4} = 0,061,$$

$$X_{17} = X_{17} + X_5 = 0,061 + 1,089 = 1,15,$$

$$X_{34} = X_3 + X_4 + X_6 = 0,242 + 0,126 + 0,544 = 0,912.$$

$$X_{78} = X_7 + X_8 = 0,181 + 2,363 = 2,544.$$

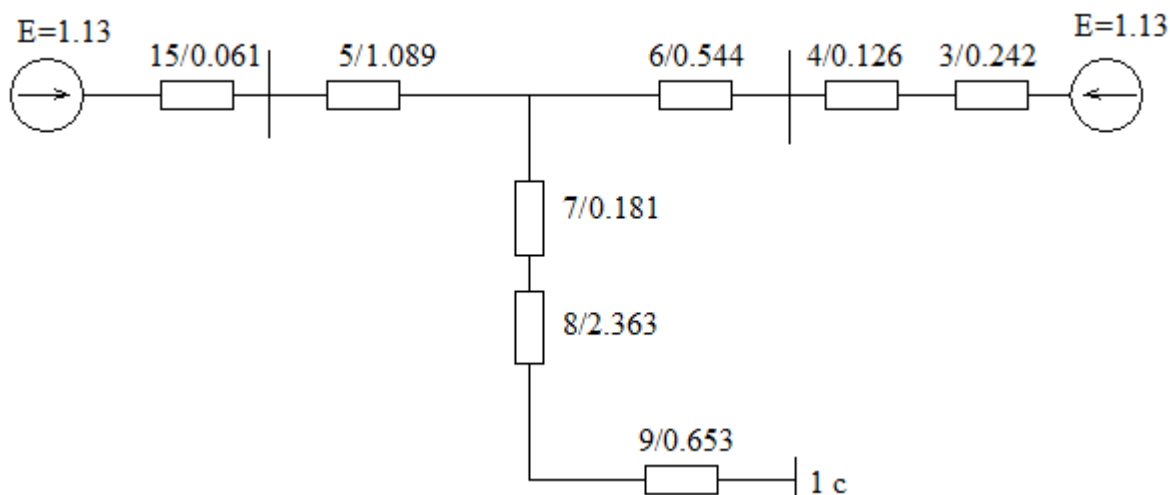


Рисунок 9- Преобразованная схема замещения

Преобразуем схему замещения, приведя ее к виду на рис. 10 и определим параметры

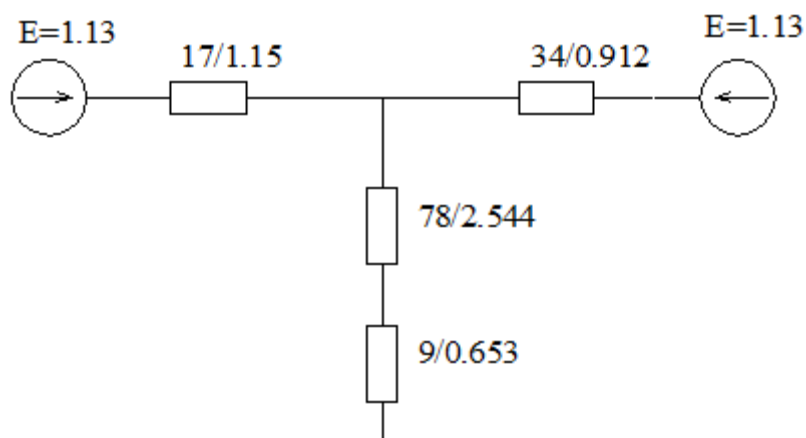


Рисунок 10 – Промежуточная схема замещения

Еще раз преобразуем схему замещения, приведя ее к окончательному виду (см. рис. 11) и определим ее новый параметр

$$X_{18} = \frac{X_{17} \cdot X_{34}}{X_{17} + X_{34}} = \frac{1.15 \cdot 0.912}{1.15 + 0.912} = 0.509.$$

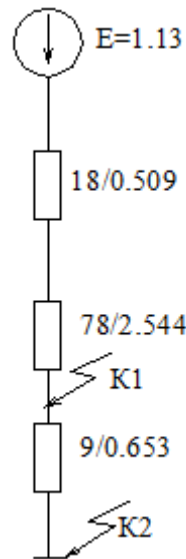


Рисунок 11 – Окончательная схема замещения

«Ток установившегося КЗ на шинах 10 кВ ГПП» [11]

$$I_{уст.гпп.} = E'' \cdot I_6 / (0,509 + 2,544), \quad (51)$$

$$I_{уст.гпп.} = 1,13 \cdot 16,5 / 3,053 = 6,1 \text{ кА.}$$

«Ударный ток на шинах 10 кВ ГПП» [11]:

$$I_{у.гпп.} = 1,41 \cdot K_y \cdot I_{уст.гпп.}, \quad (52)$$

$$I_{у.гпп.} = 1,41 \cdot 1,82 \cdot 6,1 = 15,7 \text{ кА.}$$

«Ток установившегося КЗ на шинах ЦРП завода» [11]

$$I_{уст.црп} = E'' \cdot I_6 / (X_{18} + X_{78} + X_9), \quad (53)$$

$$I_{уст.црп} = 1,13 \cdot 16,5 / (0,509 + 2,544 + 0,653) = 5,03 \text{ кА.}$$

«Ударный ток на шинах ЦРП завода» [11]



$$I_{y. \text{црп.}} = 1.41 \cdot K_y \cdot I_{\text{уст. црп.}} \quad (54)$$

$$I_{y. \text{црп.}} = 1,41 \cdot 1.37 \cdot 5,03 = 9,7 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов КЗ на напряжение  $U=10$  кВ сведены в таблицу 13.

Таблица 13 - Токи КЗ в сетях 10 кВ

Точка КЗ	$I_{\infty}^3$ , кА	$I_y$ , кА
$K_1$	6,1	15,7
$K_2$	5,03	9,7

Выводы: полученные значения токов КЗ и ударных токов КЗ соответствуют рекомендованным значениям и будут учтены при выборе электрооборудования подстанций и цехов.

## 11 Расчет кабелей и шинпроводов выше 1 кВ

Расчет производим аналогично п. 7, приняв  $k_p=1$  [27]. Результаты сводим в таблицу 14.

Таблица 14- Расчет нагрузки кабелей

№ п/п	$\Delta P_T$ кВт	$\Delta Q_T$ квар	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$P$ кВт	$Q$ квар	$S$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8
РП-ТП1	8,46	43,9	651,2	211,9	659,7	255,8	707,6
РП-ТП5	2,3	45,25	944,8	495	2800,8	1613	3232,1
ТП5-ТП6	2,3	45,25	944,8	495	1853,7	1072,7	2141,7
ТП6-ТП2	3,35	41,65	903,2	490,7	906,6	532,4	1051,4
РП-ТП3	3,4	42,95	970	474,8	973,4	517,8	1102,6
РП-ТП4	2,4	31,1	531,1	317,9	533,5	349	637,5
ГПП-РП	-	-	-	-	4098,8	2355,8	4727,6
ГПП-РП	-	-	-	-	4725,5	2598,8	5393

В таблице 14 в столбцах 2-5 указаны мощности, протекающие через трансформаторы и потери в трансформаторах, питающиеся от данной линии, а в столбцах 6-8 мощности, протекающие по этим линиям, с учетом того, что некоторые линии питают трансформаторы параллельно.

Выбираем вводной выключатель на шинах РП.

$$P_{p,РП1}=0,90 \cdot 9288,7=8359,83 \text{ кВт};$$

$$Q_{p,РП1}=0,90 \cdot 5215,4=4693,9 \text{ квар.}$$

Максимальный рабочий ток аппарата

$$I_{p, \max} = \frac{\sqrt{8359,83^2 + 4693,9^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 553,5 \text{ А.}$$

Выбираем ВМП-10-20,  $U_n=10$  кВ,  $I_n=630$  А,  $i_{дин}=52$  кА,  $I_t=20$  кА,  $t=4$  с.

Проверяем на термическую стойкость [28]

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 4 = 160,0 \cdot 10^7 \text{ A}^2 \text{c} > I_\infty^2 \cdot t_\infty = 5,04^2 \cdot 1,61 = 4,09 \cdot 10^7 \text{ A}^2 \text{c}.$$

Проверяем на динамическую стойкость

$$i_{дин} = 52 \text{ кА} > i_y = 9,7 \text{ кА}.$$

Условия выполняются, следовательно, выбранный высоковольтный выключатель удовлетворяет вышеперечисленным условиям.

Выбираем разъединитель для вводного выключателя РВФЗ-10/630,  $U_n=10$  кВ,  $I_n=630$  А,  $i_{дин}=52$  кА,  $I_t=20$  кА,  $t=4$  с.

Так как максимальный рабочий ток, ток КЗ, время действия КЗ, ударный ток для выбора выключателей отходящих линий РП будет меньше, чем соответствующие величины для выбора выключателей вводной линии, то принимаем для отходящих линий выключатели и разъединители такие же как и для вводной линии:

ВМП-10,  $U_n=10$  кВ,  $I_n=630$  А,  $i_{дин}=52$  кА,  $I_t=20$  кА,  $t=4$  с;

РВФЗ-10,  $U_n=10$  кВ,  $I_n=630$  А,  $i_{дин}=52$  кА,  $I_t=20$  кА,  $t=4$  с.

Выводы: выбранные аппарату напряжением выше 1 кВ прошли проверку на динамическую и термическую стойкость и могут быть применены на предприятии.

## 12 Расчет электрической сети освещения

Осветительные установки (рабочее и эвакуационное освещение) проектируемого цеха запитываем от цеховой двухтрансформаторной подстанции ТПЗ по схеме, показанной на рисунке 12.

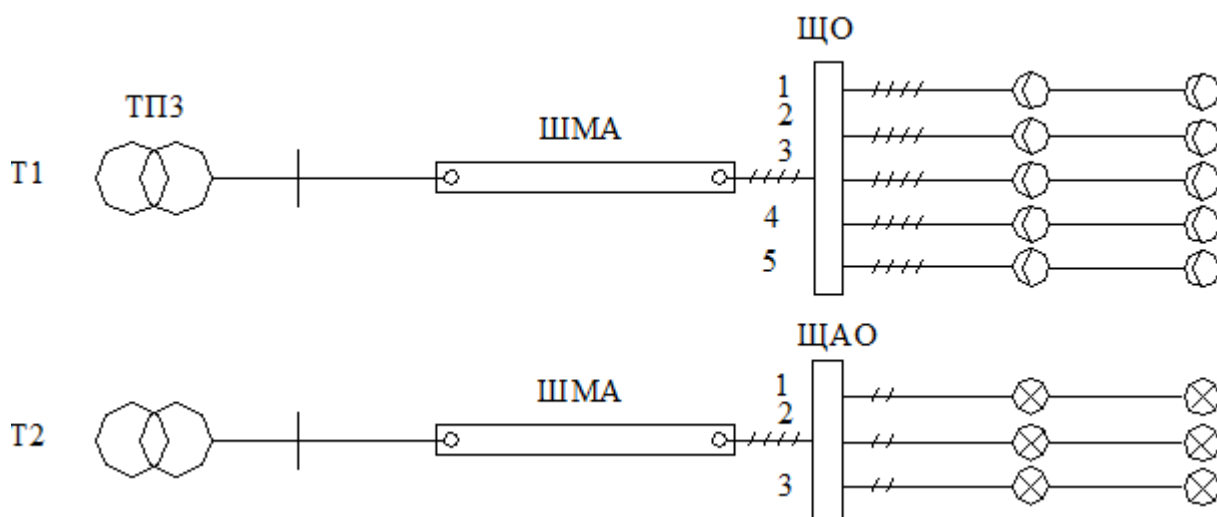


Рисунок 12 - Схема питания осветительных установок цеха

Как показано на рис.12 щиток рабочего освещения запитывается от одного магистрального шинпровода одного трансформатора подстанции ТПЗ, щиток эвакуационного освещения – от другого магистрального шинпровода другого трансформатора ТПЗ.

Расчет электрической сети рабочего освещения [31].

Выбираем распределительный пункта ПР8501-055, с ВА51-33 на вводе, с шестью трехполюсными ВА51-31, номинального напряжения  $U_n=660$  В.

Схема к расчету осветительной сети участка цеха для рабочего освещения одной линии показана на рисунке 13.

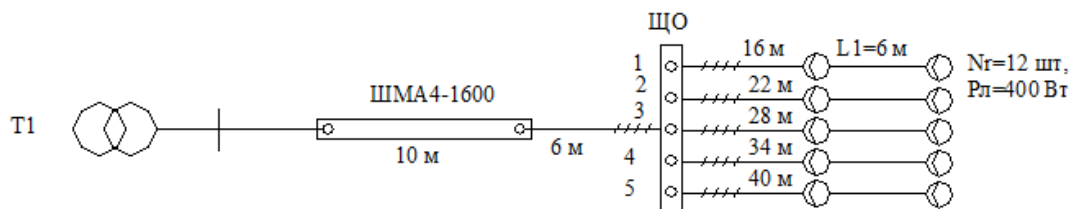


Рисунок 13 – Расчетная схема рабочего освещения

Суммарная расчетная мощность

$$P_{po} = K_{co} \cdot K_{п} \cdot P_{yo}, \quad (57)$$

$$P_{po} = 0,95 \cdot 1,1 \cdot 12 \cdot 400 = 5,016 \text{ кВт.}$$

Расчетный однофазный ток

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos \phi}, \quad (58)$$

$$I_p = \frac{5,016 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,75} = 12,7 \text{ А.}$$

Результаты расчета по остальным линиям сводим в таблицу 15.

Таблица 15- Расчет осветительной сети участка цеха

Но мер груп пы	$\Delta U_{д1}, \%$	C	M, кВт·м	Расчет ное значен ие g, мм <sup>2</sup>	Станда ртное значен ие g, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , А	P <sub>po</sub> , кВт	I <sub>po</sub> , А	$\Delta U_{\phi}, \%$
1	4,71	44	245,8	1,19	2	23	5,016	12,7	2,79
2	4,71	44	275,9	1,33	2	23	5,106	12,7	3,13
3	4,71	44	306	1,48	2	23	5,016	12,7	3,47
4	4,71	44	336,1	1,62	2	23	5,016	12,7	3,8
5	4,71	44	366,2	1,77	2	23	5,016	12,7	4,16

### 13 Релейная защита и автоматика

Для участка цеха по производству малогабаритных дросселей и трансформаторов выбрано:

1. «На подающих линиях РП завода от подстанций энергосистемы 110/10кВ – максимальная токовая защита (МТЗ), токовая отсечка (ТО) без выдержки времени, автоматическое повторное включение (АПВ);

2. На выключателе между блоками РП завода – МТЗ и автоматический ввод резерва (АВР);

3. Для блока «линия – ТП» устанавливаются МТЗ, ТО без временной задержки, защита от однофазных замыканий на землю, газовая защита трансформатора и, при необходимости, защита от коротких замыканий на стороне 0,4 кВ.

Основной защитой сети на 0,4 кВ является токовая. Для ее выполнения используют плавкие предохранители и автоматические выключатели, снабженные устройствами токовой защиты, причем предпочтение отдается плавким предохранителям, если нет необходимости в устройствах АПВ и АВР, не требуется обеспечить более быстрое по сравнению с плавкими предохранителями восстановление питания. Совокупность источников питания, кабельных линий, шин питания переключающих устройств и других элементов оперативных цепей составляет систему оперативного тока данной электроустановки» [12].

Выводы: ввиду того, что в РП установлены масляные выключатели марки ВМП, которые оснащены электромагнитным приводом, то защиту выполнили на выпрямленном оперативном токе.

## 14 Энергоконтроль на предприятии

В системе электроснабжения производственного предприятия необходимо измерять текущие параметры величин  $I$ ,  $U$  и мощности, показывающие режим работы, как самой системы, так и ее структурных компонентов, а также проводить учет потребляемой и вырабатываемой электроэнергии. Для комплексного решения данной проблемы на предприятии используется автоматизированная система энергоконтроля СИМЭК. Данные о применяемых приборах представлены в табл. 16

Таблица 16- Контрольно – измерительные приборы

Место установки	Устанавливаемые контрольно – измерительные приборы	Тип прибора	Количество
Ввод 10 кВ от трансформатора энергосистемы	Амперметр	Э-335	1
	Счетчик активной энергии	СА4-И672М	1
	Счетчик реактивной энергии	СР4-И676М	2
Шины 10 кВ	Вольтметр	Э-335	1
	Вольтметр для контроля изоляции	Э-335	3
Линии 10 кВ	Амперметр	Э-335	1
Цеховые ТП (сторона 0,4/0,23 кВ)	Амперметр	Э-335	3
	Вольтметр	Э-335	1
	Счетчик активной энергии	СА4-И672М	1

Выводы: АСЭ СИМЭК обеспечивает автоматизированный учет и контроль распределения и потребления электроэнергии, позволяет уменьшить количество аварий и потерь электроэнергии.

## 15 Техничко-экономические расчеты

Рассчитаем возможный экономический эффект от внедрения устройств баланса энергии в электросетях.

«Установка КУ снижает потери электрической энергии, при этом экономия полученная за счет этих потерь может покрыть затраты на установку КУ, а так же получить некоторый экономический эффект  $\Delta Z$ . По величине экономического эффекта и времени окупаемости КУ мы можем судить о целесообразности их установки и принять решение об их использовании» [13].

Экономическая выгода определяем разностью приведенных затрат

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2, \quad (71)$$

где « $Z_1$  – приведенные затраты на установку КУ;

$Z_2$  – после их установки» [13].

«В приведенных затратах также подсчитываются сэкономленные потери энергии и параметры компенсации реактивной энергии» [13]

$$Z_1 = I_{1\text{пот}}, \quad (72)$$

$$Z_2 = E_n K_{\text{ку}} + I_{\text{ку}} + I_{2\text{пот}} \quad (73)$$

где « $I_{1\text{пот}}$  и  $I_{2\text{пот}}$  – соответственно цена потерь электроэнергии до и после компенсации, имеющие место в электрических сетях цеха и системы;

$K_{\text{ку}}$  – стоимость применяемых КУ;

$I_{\text{ку}}$  – издержки по обслуживанию КУ» [13].

$$I_{\text{ку}} = I_{\text{ам ку}} + I_{\text{экс ку}} + I_{\text{пот ку}}, \quad (74)$$

где « $I_{\text{ам ку}}$  – отчисления на восстановление КУ;



$I_{\text{экс ку}}$  – эксплуатационные расходы на КУ;

$I_{\text{пот ку}}$  – стоимость расхода электроэнергии в КУ» [13].

Принимаем реактивные потери в КУ 0,0004 кВт/квар.

Цена электричества

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{a}{T_{\text{max}}} + b, \text{ руб./ кВт}\cdot\text{ч.} \quad (75)$$

$$\beta_{\text{ср}} = \frac{72000}{4500} + 50 = 66 \text{ руб./ кВт}\cdot\text{ч}$$

Активные потери трансформаторах

$$\Delta W_{\text{T}} = \Delta P_{\text{xx}} T_{\text{в}} + \Delta P_{\text{к}} \beta_{\text{T}}^2 \tau, \quad (76)$$

где  $\tau$  - время работы трансформатора с потерями. При  $T_{\text{max}}=4500$  ч  $\rightarrow \tau=2500$  ч. Данные о кабельных линиях показаны в табл. 19.

Таблица 19- Сечение кабельных линий

№ линии	Трансформаторы	$I_{\text{тр}}$ А	$j_{\text{s}}$ А/мм <sup>2</sup>	$F_{\text{s}}$ мм <sup>2</sup>	сечение кабеля	$r_{\text{уд}}$ Ом/км
ГПП-РП	2·630+ +4·1000	303,6	1,3	198	2·115	0,261
РП-ТП1	630	41,4	1,3	25	41	0,79
РП-ТП5	3·1000	173,2	1,3	131,2	116	0,198
ТП5-ТП6	2·1000	99,4	1,3	79,4	88	0,331
ТП6-ТП2	1000	60,1	1,3	39,1	48	0,59
РП-ТП3	1000	60,1	1,3	39,1	48	0,59
РП-ТП4	630	40,5	1,3	31	40	0,91

Величина годовых потерь в кабельных линиях

$$\Delta W_{\text{л}} = 3I_{\text{р}}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^3 \cdot \tau = \frac{S_{\text{р}}^2}{U^2} \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^3 \cdot \tau, \quad (77)$$

Потери между ГПП и ТП1:

$$\Delta W_T = 1.31 \cdot 8760 + 7,6 \cdot 0.97^2 \cdot 2500 = 11500 + 17900 = 24900 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$\Delta W_L = \frac{707.9^2}{10^2} 0.86 \cdot 0.55 \cdot 2500 = 5925 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Расчет потерь по остальным КЛ и трансформаторам представим в таблицах 20 и 21.

Таблица 20- Потери в трансформаторах

№ ТП	Трасфор маторы	$\Delta P_{xx}$ кВт	$\Delta P_{кз}$ кВт	S кВА	$\beta$	$\Delta W_{xx}$ кВт·ч	$\Delta W_{кз}$ кВт·ч
до компенсации							
ТП1	1·630	1,31	8,1	788,1	0,96	12140	18220
ТП2	2·1000	2,0	9,7	1812,2	0,86	34410	39980
ТП3	2·1000	2,0	9,7	1810,3	0,87	34410	39970
ТП4	2·630	1,31	8,1	1117,7	0,88	24550	31080
ТП5	4·1000	1,9	9,7	3790,2	0,94	71150	101100
ТП6							
$\Sigma$	-	-	-	-	-	176660	230350
после компенсации							
ТП1	1·630	1,31	7,6	609,3	0,97	11500	17900
ТП2	2·1000	1,9	10,8	1468,6	0,73	33300	28800
ТП3	2·1000	1,9	10,8	1500,8	0,75	33300	30400
ТП4	2·630	1,31	7,6	845	0,67	23000	17000
ТП5	4·1000	1,9	10,8	3110,7	0,78	66600	65700
ТП6							
$\Sigma$	-	-	-	-	-	167700	159800

Расходы электроэнергии после внедрения мероприятия

$$\Delta W_2 = 2 \cdot (25 \cdot 8760 + 120 \cdot 0,7^2 \cdot 2500) = 2(219000 + 147000) = 732 \text{ МВт}\cdot\text{ч}.$$

Таблица 21- Потери энергии в линиях

№ линии	$r_0$ Ом/км	$l$ км	$r$ Ом	$S$ кВА	$\Delta P$ кВт	$\Delta W$ МВт*ч
до компенсации						
ГПП-РП с1	0,258	3,0	0,387	2744,1·2	58,3	145,7
ГПП-РП с2	0,258	3,0	0,387	3062,0·2	72,6	181,4
РП-ТП1	0,86	0,55	0,473	707,6	2,4	5,9
РП-ТП5	0,208	0,06	0,012	3743,8	3,5	8,7
ТП5-ТП6	0,326	0,16	0,052	2483,4	6,4	16,1
ТП6-ТП2	0,62	0,2	0,124	1223,0	3,7	9,3
РП-ТП3	0,62	0,03	0,019	12464,0	0,6	1,5
РП-ТП4	0,86	0,29	0,249	772,7	3,0	7,4
$\Sigma$	-	-	-	-	150,4	376,1
после компенсации						
ГПП-РП с1	0,258	3,0	0,387	2363,7·2	43,2	108,1
ГПП-РП с2	0,258	3,0	0,387	2695,6·2	56,3	140,7
РП-ТП1	0,86	0,55	0,473	707,9	2,4	5,9
РП-ТП5	0,208	0,06	0,012	3232,1	2,6	6,5
ТП5-ТП6	0,326	0,16	0,052	2141,7	4,8	12,0
ТП6-ТП2	0,62	0,2	0,124	1051,4	2,7	6,9
РП-ТП3	0,62	0,03	0,019	1102,6	0,5	1,1
РП-ТП4	0,86	0,29	0,249	697,3	2,4	6,7
$\Sigma$	-	-	-	-	114,9	287,3

Расходы электроэнергии до внедрения мероприятия

$$\Delta W_1 = 2 \cdot \left( 25 \cdot 8760 + 120 \cdot \left( \frac{\sqrt{15700^2 + 8139^2}}{25000} \right)^2 \cdot 2500 \right) = 2(219000 + 150112) = 738,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

Расходы электроэнергии в линии после внедрения мероприятия

$$\Delta W_2 = \frac{17500^2}{110^2} \cdot 24,9 \cdot \frac{20}{100} \cdot 10^{-3} \cdot 3650 = 315,1 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Расходы электроэнергии в линии до внедрения мероприятия

$$\Delta W_1 = \frac{17728,7^2}{110^2} \cdot 24,9 \cdot \frac{20}{100} \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 323,4 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Расходы электроэнергии в ЛЭП после внедрения мероприятия

$$\Delta W_2 = 6 \cdot \frac{\left(\frac{223530}{6}\right)^2}{110^2} \cdot \frac{12}{6} \cdot \frac{60}{100} \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 2064,7 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Расходы электроэнергии в ЛЭП до внедрения мероприятия

$$\Delta W_1 = 6 \cdot \frac{\left(\frac{\sqrt{190000^2 + 120044^2}}{6}\right)^2}{110^2} \cdot \frac{12}{6} \cdot \frac{60}{100} \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 2087,2 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Затраты в КУ

$$\Delta P = 0,004 \cdot 2544 = 7,632 \text{ кВт},$$

$$\Delta W = 7,632 \cdot 2500 = 19,08 \text{ МВт}\cdot\text{ч.}$$

Цена УКМ58-0,4-268-67-У3 – 155500 руб, УКМ58-0,4-200-33 1/3-У3 – 164550 руб.

Суммарная стоимость КУ  $K_{\text{ку}} = (8 \cdot 155500 + 2 \cdot 164550) = 1573$  тыс.руб.

Эксплуатационные затраты КУ

$$I_{\text{ам ку}} = 0,044 \cdot 1580 = 69 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{экс ку}} = 0,03 \cdot 1580 = 47 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{пот ку}} = \Delta W \cdot \beta_{\text{ср}} = 19,08 \cdot 6 = 114 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\text{ку}} = I_{\text{ам ку}} + I_{\text{экс ку}} + I_{\text{пот ку}} = 69 + 47 + 114 = 230 \text{ тыс.руб.}$$

Общие затраты

$$\begin{aligned} I_{2\text{пот}} &= \beta_{\text{ср}} (\Delta W_{\text{т}} + \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{т25МВА}} + \Delta W_{\text{л до сист}} + \Delta W_{\text{сист}}) = \\ &= 6 \cdot (327,5 + 287,3 + 732 + 315,1 + 2064,7) = 31450 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{1\text{пот}} &= \beta_{\text{ср}} (\Delta W_{\text{т}} + \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{т25МВА}} + \Delta W_{\text{л до сист}} + \Delta W_{\text{сист}}) = \\ &= 6 \cdot (388,9 + 376,1 + 878,53 + 944,33 + 4758,8) = 3913,8 \cdot 6 = 23482 \text{ тыс.руб.} \end{aligned}$$

Срок окупаемости КУ

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ку}}}{I_{1\text{пот}} - (I_{2\text{пот}} + I_{\text{ку}})} = \frac{1580}{23482 - (31450 + 230)} = 1,92 \text{ лет.}$$

Вывод: так как  $T_{\text{ок}} = 1,92 < 8$  лет, то установка КУ экономически целесообразна.

## 16 Охрана труда

Требования безопасности во время производства электромонтажных работ.

При электромонтажных работах должны выполняться следующие требования безопасности, «общие для отдельных профессий и работ:

а) не допускается выполнение работы вне помещений на высоте, а также при применении электрооборудования, измерительных приборов во время тумана, дождя, грозы, гололеда и при ветре силой 12 м/с и более;

б) сверление и пробивку отверстий в кирпиче и бетоне, протяжку стального провода в трубы необходимо производить с использованием защитных очков с небьющимися стеклами. При пробивке отверстий ручным инструментом (шлямбуром, оправкой и т.п.) необходимо проверить, чтобы длина его рабочей части превышала толщину стены не менее чем на 200 мм;

в) при затягивании провода (кабеля) в трубу (канал) руки работающего должны быть на расстоянии не менее 1 м от торца трубы (канала);

г) при измерении сопротивления изоляции жил проводов и кабелей мегаомметром (выполняется персоналом с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III) концы проводов (кабелей) с противоположной стороны должны быть ограждены или находиться под контролем специально выделенного для этих целей дежурного, аттестованного по правилам электробезопасности;

д) электромонтажному персоналу запрещается производить какие-либо работы, относящиеся к эксплуатации электроустановок на строительной площадке;

е) при применении грузоподъемных кранов к строповке материалов, изделий и конструкций допускаются электромонтажники, имеющие удостоверение стропальщика (такелажника)» [14].

При работе на высоте электромонтажники должны выполнять следующие «требования безопасности:

а) применять инвентарные средства подмащивания, прошедшие испытания в установленные сроки;

б) при работе на высоте более 1,3 м рабочие места должны иметь защитные ограждения высотой 1,1 м;

в) подавать предметы работающему на высоте следует с помощью веревки. Во избежание раскачивания предмет необходимо придерживать оттяжкой;

г) запрещается работать на монтируемых конструкциях, шинопроводах, лотках, ходить по ним, а также перелезать через ограждения;

д) ограждать места установки приставных лестниц на участках движения транспорта или людей;

е) запрещается применять в качестве средств подмащивания ящики, бочки или другие случайные предметы;

ж) при выполнении верхолазных работ следует выполнять требования, изложенные в Типовой инструкции по охране труда для работников, выполняющих верхолазные работы» [15].

## Заключение

Основной продукцией предприятия являются источники питания различной мощности (от 0,5 до 30 кВт) и конструкции (линейные, импульсные и т.д) и различное измерительное оборудование и приборы (мультиметры, осциллографы, измерители RLC и т.д).

На более подробно рассматриваемом участке цеха по изготовлению сердечников малогабаритных трансформаторов и дросселей рассчитаны следующие электрические нагрузки:

- потребляемая активная мощность 227,7 кВт;
- потребляемая реактивная мощность 78,2 квар;
- полная мощность 240,8 кВА;
- сила потребляемого тока 366,04 А.

Внутрицеховая система электроснабжения построена на магистральных и распределительных линиях с шинопроводами ШРА4, ШР11, силовых ящиках ЯВЗ-34-1. В системе освещения применены светильники со световым потоком 23000 лм.

Для питания цехов предприятия использованы пять трансформаторных подстанций. Компенсация реактивной мощности построена на БНК УКМ58-0,4-268-67-УЗ. Срок окупаемости КУ 2 года.



## Список используемых источников

1. Алюнов, А.Н. Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения [Электронный ресурс]: URL: <https://online-electric.ru> (дата обращения 04.04.2020).
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
4. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий [Электронный ресурс] URL: <http://padaread.com/?book=60137> (дата обращения 10.03.2021).
5. Компенсация реактивной мощности [Электронный ресурс] / официальный сайт завода «Хомов Электро» URL: <https://khomovelectro.ru/articles/raschet-kompensiruyushchego-ustroystva.html> (дата обращения 01.04.2021).
6. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>
7. Королев О.П., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебно - метод. Пособие по курсовому и дипломному проектированию. [Электронный ресурс] URL: <https://scholar.google.com/citations?user=Ayi8y-gAAAAJ&hl=ru> (дата обращения 11.03.2021).
8. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс] URL: <http://www.electrolibrary.info/books/lipkin.htm> (дата обращения 14.03.2021).

9. Методические рекомендации Методические рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и линейных сооружений коммунальных распределительных электрических сетей. Выпуск 1. Техническое обслуживание и ремонт трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ [Электронный ресурс]: URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/Methodicheskie\\_rekomendaciiMeto395.html](https://znaytovar.ru/gost/2/Methodicheskie_rekomendaciiMeto395.html) (дата обращения 05.04.2020).

10. Нормы освещенности промышленных предприятий [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «ЭнергоРесурс» URL: <https://ener24.ru/cp45510-normy-osveschennosti-promyshlennyh-obektov-osveschenie-proizvodstvennyh-zdanij-pomeschenij-tsehov.html> (дата обращения 20.03.2021).

11. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

12. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс] / офиц. изд. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156148/b3ff40cееa8ae665280131c2b50f9892cb958415/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156148/b3ff40cееa8ae665280131c2b50f9892cb958415/) (дата обращения 10.04.2021).

13. Распределительный шинопровод [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Шинопровод.Ру» URL: <https://shinoprovod.ru/shinoprovod/terminologiya/raspredelitelnyy/> (дата обращения 14.03.2021).

14. Расчет и выбор параметров троллейных линий [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «ElectroDim» URL: <http://www.electrodim.ru/study-1317-11.html> (дата обращения 14.03.2021).

15. Расчет промышленного освещения. Учебный электронный текстовый ресурс [Электронный ресурс] / Информационный портал УрФУ URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13557/1/%D0%> (дата обращения 20.03.2021).

16. Релейная защита трансформаторов и оборудования [Электронный ресурс] / информационный ресурс «Электронщик». URL: <https://elektronchic.ru/relejnaya-zashhita/relejnaya-zashhita-silovyx-transformatorov.html> (дата обращения 28.03.2021).

17. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий [Электронный ресурс] / URL: [https://standartgost.ru/g/%D0%A0%D0%A2%D0%9C\\_36.18.32.6-2#:~:text=%D0%A0%D0%A2%D0%9C](https://standartgost.ru/g/%D0%A0%D0%A2%D0%9C_36.18.32.6-2#:~:text=%D0%A0%D0%A2%D0%9C) (дата обращения 20.03.2021).

18. Руководство по выполнению расчетов токов КЗ в сетях промышленных предприятий [Электронный ресурс] / офиц. изд. URL: <https://standartgost.ru/g/%D0%9C3662> (дата обращения 28.03.2021).

19. Сивков, А.С. Сайгаш, Д.Ю. Герасимов. Проектирование систем электроснабжения // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 184 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIVKOV/uchebnrab/Tab1/Power-supply-IDO.pdf> (дата обращения 05.04.2020).

20. СНиП 2.09.04-87 Административные и бытовые здания (с Изменениями N1, 2, 3) [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200093> (дата обращения 06.04.2020).

21. Справочник по проектированию электроснабжения/ Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. [Электронный ресурс] URL: <https://www.proektant.org/index.php?topic=284.0> (дата обращения 14.03.2021).

22. Стандарт IEEE 1366-2003 Индексы надежности распределения и факторы, влияющие на их расчеты [Электронный ресурс]: Информационный портал «Standart Association». URL: <https://standards.ieee.org/standard/1366-2003.html> (дата обращения 25.03.2020).

23. ТОИ Р-66-58-95 Типовая инструкция по охране труда для электромонтажников [Электронный ресурс] / офиц. изд. URL:

[https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/instructions/167/3041/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/167/3041/) (дата обращения 10.04.2021).

24. Центральный распределительный пункт [Электронный ресурс] / официальный сайт завода «Электрощит» URL: [https://vvelsh.ru/raspredelitelnyj\\_punkt](https://vvelsh.ru/raspredelitelnyj_punkt) (дата обращения 20.03.2021).

25. Черненко А.Н. Проектирование электрохозяйства промышленного предприятия // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2945>

26. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд., испр. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1009603>

27. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

28. Apostolov A. and Janssen M. IEC 61850 impact on substation design, paper number 0633, IEEE PES, 2018. 698 pages

29. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, Third Edition Edited by Leonard L. Grigsby. CRC Press, 2015. 489 pages

30. Electric Power Substations Engineering (Electric Engineering Handbook). Third Edition. Edited by John D. McDonald. CRC Press, May 16, 2016. 536 pages

31. Electric Power Transformer Engineering, Third Edition Edited by James H. Harlow. CRC Press, 2016. 657 pages.

32. GRID 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 years, United States Department of Energy, Office of Electric Transmission and Distribution, 2015. 389 pages