

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 энергоэффективности предприятия легкой промышленности

Обучающийся

Д.А. Кляузов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Егорова

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

Тольятти 2022

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлены результаты выполнения проекта повышения энергетической эффективности предприятия легкой промышленности.

Выпускная квалификационная работа включает в себя введение, где определена актуальность работы, поставлена цель и задачи ВКР. Основная часть пояснительной записки состоит из семи разделов, в которых последовательно представлены результаты повышения энергетической эффективности предприятия легкой промышленности. Дана краткая характеристика объекта ВКР и определены направления повышения энергоэффективности предприятия легкой промышленности.

В качестве основных направлений выделены замена системы внутреннего освещения на современные энергоэффективные светодиодные светильники, а также замена трансформаторов на трансформаторы с низкими потерями холостого хода и короткого замыкания. Кроме того, для предприятия выбраны автоматические установки компенсации реактивной мощности, за счет этого удалось снизить мощность трансформаторов для питания предприятия легкой промышленности.

В заключении выполнения ВКР определены основные показатели повышения энергетической эффективности. Для предприятия легкой промышленности разработанные мероприятия позволили повысить класс энергетической эффективности до значения А++.

Пояснительная записка представлена на 68 листах, включая 18 таблиц и 5 рисунков. Список использованных источников представлен 23 наименованиями, в том числе пять источников на английском языке.

## **Abstract**

The graduation work presents the results of the implementation of the project to improve the energy efficiency of a light industry enterprise.

The graduation work includes an introduction, where the relevance of the work is determined, the goal and objectives of the WRC are set. The main part of the explanatory note consists of seven sections, which consistently present the results of improving the energy efficiency of a light industry enterprise. A brief description of the WRC object is given and directions for improving the energy efficiency of a light industry enterprise are determined.

The main areas highlighted are the replacement of the internal lighting system with modern energy-efficient LED lamps, as well as the replacement of transformers with transformers with low no-load and short-circuit losses. In addition, automatic reactive power compensation units were selected for the enterprise, due to which it was possible to reduce the power of transformers for supplying light industry enterprises.

In the conclusion of the implementation of the WRC, the main indicators for increasing energy efficiency were determined. For a light industry enterprise, the developed measures made it possible to increase the energy efficiency class to A ++.

The explanatory note is presented on 68 sheets, including 18 tables and 5 figures. The list of sources used is represented by 23 titles, including five English sources.

## Содержание

Введение.....	5
1 Краткая характеристика объекта.....	7
2 Расчет электрических нагрузок предприятия легкой промышленности.....	12
2.1 Расчет нагрузок технологического оборудования.....	12
2.2 Расчет освещения предприятия легкой промышленности .....	17
3 Выбор энергоэффективных трансформаторов.....	26
4 Схема электроснабжения предприятия легкой промышленности.....	37
5 Расчет токов короткого замыкания .....	42
6 Выбор оборудования.....	50
6.1 Выбор проводов и кабелей.....	50
6.2 Выбор способа прокладки электропроводки .....	52
6.3 Выбор коммутационных аппаратов и трансформаторов тока .....	53
6.4 Выбор распределительных устройств для системы электроснабжения предприятия легкой промышленности .....	54
7 Определение параметров энергоэффективности предприятия легкой промышленности.....	56
Заключение .....	62
Список используемых источников.....	67

## Введение

Легкая промышленность является одной из востребованных населением отраслей промышленности так как производит товары широкого потребления. Типичными предприятиями, относящимися к отрасли легкой промышленности, являются предприятия по пошиву одежды, изготовления обуви, производству постельного белья, а также другие виды предприятий. Основной отличительной особенностью предприятий легкой промышленности является необходимость постоянного изменения технологического процесса в связи с необходимостью следования тенденциям моды, спроса и т.д. В основном предприятия легкой промышленности, которые не включают в технологический процесс переработки сырья — это мелкие предприятия, которые занимают площадь сравнимую с одним цехом крупного промышленного предприятия.

Электрические нагрузки предприятий легкой промышленности, в сравнении с крупной или тяжелой промышленностью существенно ниже [21]. Однако большое количество предприятий данной отрасли делает ее одной из основных в составе ВВП страны. Для производства востребованной, качественной и современной продукции, предприятия легкой промышленности должны иметь возможность быстрого ориентирования или изменения технологического процесса, а также возможность быстрой замены исходного сырья.

В отрасли легкой промышленности задействовано большое количество персонала, поэтому данная отрасль, учитывая ее вклад в ВВП страны является очень важной для экономики России.

В выпускной квалификационной работе рассматривается предприятие, производящее специальную одежду, которое является предприятием легкой промышленности. Вся цепочка производственного процесса реализована в одном производственном корпусе.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение энергетической эффективности предприятия легкой промышленности за счет внедрения технических мероприятий.

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

- Выполнить анализ предприятия легкой промышленности и определит технические мероприятия, направленные на повышение его энергетической эффективности, которые будут подробно рассмотрены в рамках выполнения выпускной квалификационной работы;
- Выполнить расчет технических показателей для предлагаемых мероприятий по повышению энергетической эффективности и выбрать соответствующее оборудование для замены;
- Выполнить оценку энергетической эффективности предприятия легкой промышленности после внедрения разработанных технических мероприятий.

При выполнении выпускной квалификационной работы должно быть использовано оборудование, преимущественно производимое на территории Российской Федерации. При разработке и оценке технических мероприятий по повышению энергетической эффективности предприятия легкой промышленности должны быть использованы действующие и утвержденные нормативные акты, нормы и методики проектирования.

## 1 Краткая характеристика объекта

Объектом реконструкции в ВКР выступает предприятие легкой промышленности, специализирующееся на производстве специальной одежды. Предприятие расположено в регионе Средняя-Волга [2], [3] (Приволжский ФО), Самарская обл.

Продукцией предприятия легкой промышленности выступает:

- хлопчатобумажные куртки;
- хлопчатобумажные комбинезоны;
- фартуки для слесарных работ;
- хлопчатобумажные рукавицы.

Предприятие представляет собой один цех, в котором осуществляется полный цикл производства – от приема сырья до выпуска конечного продукта.

Освещение в помещениях предприятия реализовано газоразрядными светильниками низкого давления с лампами типа ЛБ, суммарное количество светильников по предприятию – 406, параметры системы освещения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Система внутреннего освещения предприятия

Наименование помещения	N <sub>св</sub> , шт	S, кВА	P, кВт	Тип светильника
Администрация	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Бытовка	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Комната отдыха	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Склад	66	2,4	2,37	ЛПО 2×18
ТП	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Щитовая	24	0,9	0,86	ЛПО 2×18
Инструментальная	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Раскроечная	36	1,4	1,29	ЛПО 2×18
Производственное отделение	100	11,9	11,6	ЛПО 2×58

Внутри цеха размещен парк оборудования, включающий в себя все необходимое для производственного процесса технологическое оборудование такое как краеобметочные машины, пуговичные машины, швейные автоматы. Полный перечень технологического оборудования предприятия представлен в таблице 2. Электроснабжение предприятия легкой промышленности выполняется от собственной трансформаторной подстанции (ТП) с высшим напряжением 10 кВ, низшее напряжение составляет 0,4 кВ. Предприятие легкой промышленности расположено на расстоянии 1,2 км от районной подстанции 110/10 кВ от которой осуществляется питание ТП 10/0,4 кВ предприятия.

Количество рабочих смен предприятия – 2. По надежности электроснабжения на предприятии присутствуют потребители 2 и 3 категории.

Размеры предприятия: А×В×Н=48×30×8 м. Все помещения, кроме производственного участка двухэтажные с высотой 3,6 м17.

Таблица 2 - Перечень технологического оборудования предприятия легкой промышленности

№ на плане	Наименование оборудования	Мощность одного ЭП, кВт	Примечание
1,2,40,41,46	Краеобметочная машина	17	-
3,5-7,28-31	Электрический раскроечный нож	20	-
4,8,32-34	Пуговичная машина	2,2	-
9-15,26,27	Прямострочная швейная машина	55	-
16,17,19,20,44,45	Петельная машина	4,8	-
18,21-25,37,38	Швейный автомат	12,5	-
35,36,50,51	Краеобметочно-стачивающая машина	2,5	1-фазные
39,47	Дублирующий пресс	10	ПВ=60 %
42,43,48,49,52,53	Раскройная машина	3	1-фазные



На рисунке 1 показан план производственного корпуса предприятия легкой промышленности.

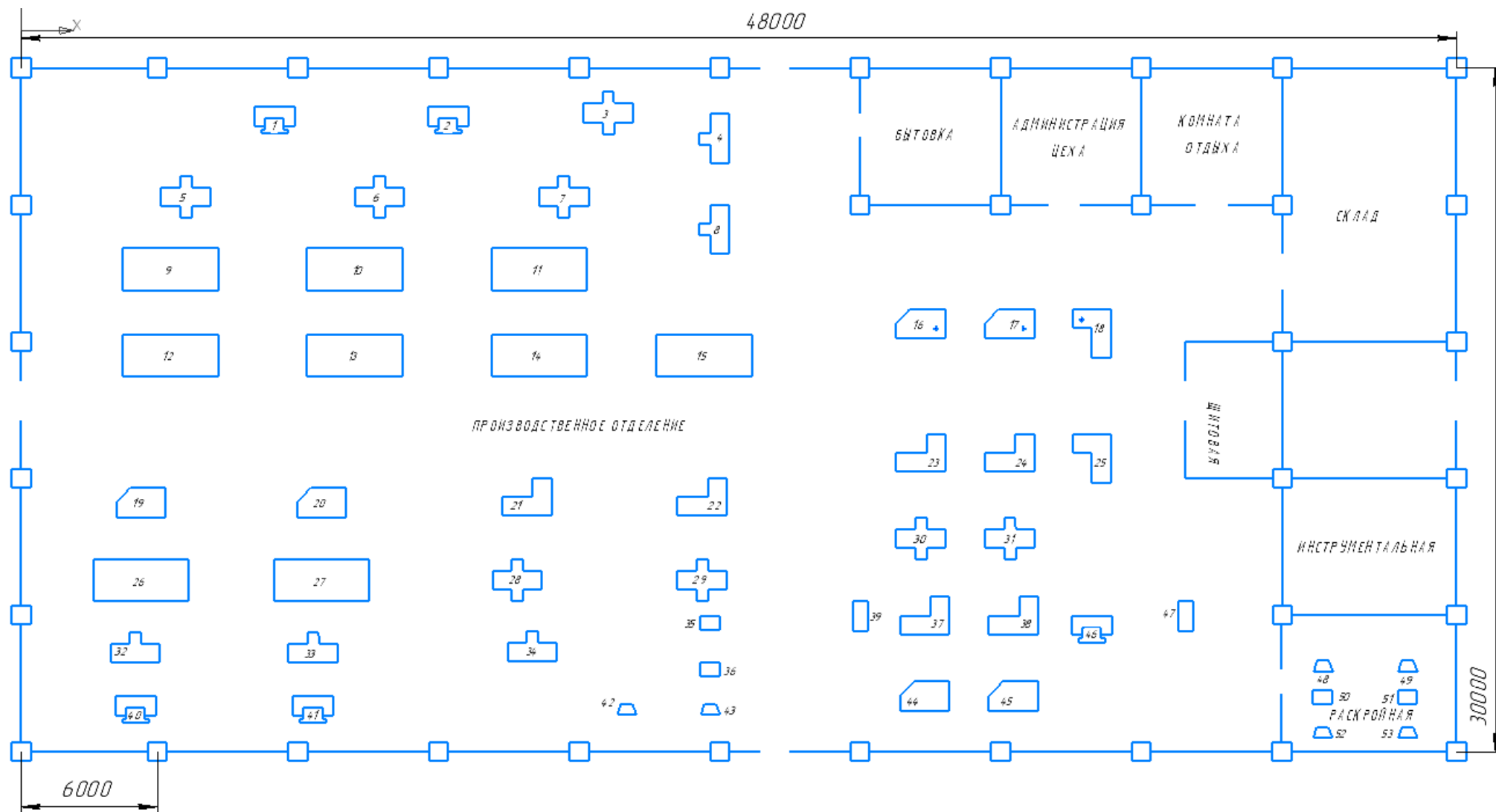


Рисунок 1 - План предприятия легкой промышленности с расположением технологического оборудования

Выводы по разделу. Выполнен анализ предприятия легкой промышленности. Определен состав электроприемников, относящихся к технологическому циклу производства продукции.

Представлена краткая характеристика выпускаемой продукции, к которой относятся различные виды специализированной одежды.

Установлено, что предприятие легкой промышленности размещено в одном производственном корпусе. Питание предприятия осуществляется на напряжении 10 кВ от районной подстанции, которая расположена на расстоянии 1,2 км от предприятия.

Определено, что на предприятии установлены и эксплуатируются однотипные установки внутреннего освещения – это светильники ЛПО (светильник люминесцентный потолочный для общественных зданий) с лампами типа ЛБ (лампа люминесцентная с излучением белого цвета). Общее число установок внутреннего освещения на предприятии 406 шт. Данный факт позволяет предложить, как одно из мероприятий по повышению энергетической эффективности замену светильников типа ЛПО на светодиодные светильники. Данное предприятие позволит снизить потребляемую и расчетную мощности предприятия. Подробнее мероприятие по замене светильников будет выполнено в разделе 2 ВКР.

## 2 Расчет электрических нагрузок предприятия легкой промышленности

### 2.1 Расчет нагрузок технологического оборудования

При расчете нагрузок предприятия необходимо руководствоваться РТМ 36.18.32.4-92 [17].

Вначале рассчитаем установленную мощность группы электроприемников по формуле (1):

$$P = n \cdot p_n \quad (1)$$

где  $P$  – установленная мощность группы электроприемников, кВт;

$n$  – число электроприемников в группе, шт;

$p_n$  – установленная мощность одного электроприемника, кВт.

Рассчитаем установленную мощность группы прямострочных швейных машин по (1):

$$P = 9 \cdot 20 = 180 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

Теперь необходимо рассчитать среднюю активную нагрузку группы прямострочных швейных машин, для этого вводится коэффициент использования, который берется из справочных таблиц для расчета нагрузок. Для прямострочных швейных машин коэффициент использования равен 0,17. Рассчитаем среднюю активную мощность:

$$P_c = K_{и} \cdot P \quad (3)$$

где  $P_c$  – средняя активная нагрузка группы ЭП, кВт;

$K_{и}$  – коэффициент использования;

$P$  – установленная мощность группы ЭП, кВт.

Рассчитываем среднюю активную мощность по (3):

$$P_c = 0,17 \cdot 180 = 30,6 \text{ (кВт)} \quad (4)$$

Для расчета средней реактивной нагрузки воспользуемся формулой (3):

$$Q_c = K_{\text{и}} \cdot P \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (5)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Используем (5) для расчета средней реактивной нагрузки:

$$Q_c = 1,17 \cdot 14,4 = 35,8 \text{ (квар)} \quad (6)$$

Для определения мощности группы однофазных ЭП необходимо определить нагрузку каждой фазы [13]. Сначала распределим нагрузку по фазам. На предприятии имеется 4 краеобметочно-стачивающих машины, к фазе А подключим 2 станка к фазам В и С подключим по одному станку, наиболее загруженная фаза – А. Определим коэффициент несимметрии:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нб}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$  – активная нагрузка по наиболее загруженной фазе, кВт;

$P_{\text{ф.нм}}$  – активная нагрузка по наименее загруженной фазе, кВт.

По (7) определяем коэффициент несимметрии:

$$H = \frac{5 - 2,5}{5} \cdot 100\% = 50\% \quad (8)$$

Расчетное значение несимметрии после группировки электроприемников больше 15 %, а значит, при расчете мы можем воспользоваться выражением:

$$P = 3P_{\text{ф.нб}} \quad (9)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$  - активная нагрузка по наиболее загруженной фазе, кВт.

Теперь определяем активную мощность группы красобметочно-стачивающих машин с помощью выражения (9):

$$P = 3P_{\text{ф.нб}} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ (кВт)} \quad (10)$$

В парке технологического оборудования имеются дублирующие прессы. Эти ЭП работают в повторно-кратковременном режиме, а значит, их мощность необходимо привести к длительному режиму работы по выражению [10]:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{н}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} \quad (11)$$

где ПВ% – продолжительность включения ЭП, работающего в повторно-кратковременном режиме, %.

Применяя выражение (11) приводим мощность дублирующих прессов к длительному режиму:

$$p_{\text{пр}} = p_{\text{н}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{60}{100}} = 7,7 \text{ (кВт)} \quad (12)$$

Теперь необходимо определить эффективное число электроприемников предприятия, которое определяется выражением [11]:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{н}}}{p_{\text{м}}} \quad (13)$$

где  $\Sigma P_{\text{н}}$  – суммарная активная мощность всех ЭП предприятия, кВт;

$p_{\text{max}}$  установленная мощность самого мощного ЭП цеха, кВт.

Используя (13) определяем эффективное число электроприемников предприятия:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{н}}}{p_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 893,2}{55} = 32,3 \approx 32 \text{ (шт.)} \quad (14)$$

Определим групповой коэффициент использования электроприемников предприятия по выражению:

$$K_{\text{г}} = \frac{\Sigma K_{\text{г}} \cdot P_{\text{н}}}{\Sigma P_{\text{н}}} \quad (15)$$

Применяя выражение (15) определяем групповой коэффициент использования электроприемников предприятия легкой промышленности:

$$K_{\text{г}} = \frac{\Sigma K_{\text{г}} \cdot P_{\text{н}}}{\Sigma P_{\text{н}}} = \frac{149,2}{893,2} = 0,16 \quad (16)$$

Для определения расчетных нагрузок предприятия вводится коэффициент расчетной нагрузки, который берется из таблиц РТМ 36.18.32.4-92. В данном случае значение  $K_{\text{р}}$  составляет 0,75. Расчет проводится по формуле:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P \quad (17)$$

где  $\sum K_{и} \cdot P$  – сумма средних активных мощностей всех ЭП, кВт;

$K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки.

Используя (17) рассчитываем расчетную нагрузку предприятия:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P = 0,75 \cdot 155,2 = 116,4 \text{ (кВт)}$$

Расчетная реактивная нагрузка предприятия определяется выражением:

$$Q_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P \cdot tg\varphi \quad (18)$$

где  $tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

Используя (18) рассчитываем расчетную реактивную нагрузку предприятия:

$$Q_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P \cdot tg\varphi = 0,75 \cdot 197,1 = 147,8 \text{ (квар)} \quad (19)$$

Далее рассчитывается полная мощность предприятия. Расчет проводится по выражению [8]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (20)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка предприятия легкой промышленности, кВт;

$Q_p$  – расчетная реактивная нагрузка предприятия легкой промышленности, квар.

Определим полную мощность предприятия по формуле (20):



$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{116,4^2 + 147,8^2} = 188,5 \text{ (кВА)} \quad (21)$$

Теперь необходимо определить силу тока на сборных шинах низшего напряжения трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ предприятия по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (22)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение, кВ.

Применяя (22) рассчитываем силу тока на сборных шинах ТП предприятия легкой промышленности:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{188,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 272,4 \text{ (А)} \quad (23)$$

Расчет остальных ЭП ведется аналогично, результаты расчетов сведены в таблицу 4 с учетом замены установок внутреннего освещения на светодиодные расчет которых выполнен в подразделе 2.2 ВКР.

## **2.2 Расчет освещения предприятия легкой промышленности**

В качестве примера выполним расчет освещения в бытовке. В настоящий момент на предприятии используются светильники с лампами типа ЛБ (рисунок 2).

Для повышения энергетической эффективности предприятия легкой промышленности предполагается замена светильников с лампами ЛБ на светодиодные светильники [20].

Светильники установленные в настоящее время на предприятии легкой промышленности



Вид лампы

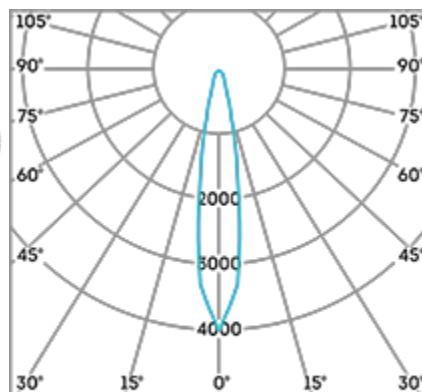


Вид светильника

Светильник предлагаемый к установке на предприятии легкой промышленности



Вид светильника



Вид КСС (косинусная)

Рисунок 2 – Светильники, установленные в настоящее время и предлагаемые к установке на предприятии легкой промышленности

Вначале определяется высота подвеса светильников по выражению:

$$h_p = H - (h_c - h_{\pi}) \quad (24)$$

где  $H$  – высота от пола до перекрытия, м;

$h_c$  – свес светильника, м;

$h_{\pi}$  – высота рабочей поверхности, м.

Рассчитаем высоту подвеса светильников в бытовке по (24):

$$h_p = H - (h_c + h_{\text{п}}) = 3,6 - (0,8 + 0,8) = 2 \text{ (м)} \quad (25)$$

Теперь определим максимально допустимое расстояние между светильниками используя выражение:

$$L_A = h_p \cdot \lambda_c \quad (26)$$

где  $\lambda_c$  – коэффициент кривой силы света (КСС).

У используемых светильников косинусная кривая силы света, соответственно значение принимается равным 1,4, допустимое расстояние по (26) равно:

$$L_A = h_p \cdot \lambda_c = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ (м)} \quad (27)$$

Расстояние между соседними рядами равно 3 м.

Для дальнейшего расчета необходимо знать коэффициенты отражения от потолка, стен и рабочей поверхности, а также необходимо знать коэффициент запаса и коэффициент минимальной освещенности. На рассматриваемом предприятии легкой промышленности атмосфера средней загрязненности, примем следующие коэффициенты:  $\rho_{\text{п}}=50\%$ ,  $\rho_{\text{с}}=30\%$ ,  $\rho_{\text{р}}=10\%$ . Коэффициент запаса примем равным 1,5, а коэффициент минимальной освещенности примем равным 1,1.

Теперь необходимо определить индекс помещения используя выражение [12]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} \quad (28)$$

Используя (28) определяем индекс помещения на примере бытовки:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{48 \cdot 30}{2 \cdot (48 + 30)} = 1,5 \quad (29)$$

Зная коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности находим по справочным данным коэффициент использования светового потока, в нашем случае он равен 0,44.

Определим требуемый световой поток светильников по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (30)$$

где  $E$  – освещенность, лк;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$N$  – число рядов;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Перед расчетом наметим число рядов, расстояние между стенами и крайними рядами и определим минимальную освещенность. Примем число рядов равным 3, расстояние между стенами и крайними рядами примем равным 1 м, минимальную освещенность примем равной 300 лк. Проведем расчет используя (30):

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,1}{3 \cdot 0,44} = 13500 \text{ (лм)} \quad (31)$$

Теперь определим число светильников в ряду используя выражение:

$$n = \frac{\Phi}{n_l \cdot \Phi_l} \quad (32)$$

где  $\Phi_l$  – световой поток одной лампы, лм;

$n_l$  – число ламп в светильнике, шт.

Используя (32) определяем число светильников в ряду:

$$n = \frac{\Phi}{n_{\text{л}} \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{13500}{1 \cdot 3259} = 4 \text{ (шт.)} \quad (33)$$

Определим активную мощность светильников по выражению:

$$P_{\text{с}} = p_{\text{с}} \cdot N_{\text{св}} \quad (34)$$

где  $p_{\text{с}}$  – установленная мощность одного светильника, Вт;

$N_{\text{св}}$  – число светильников в помещении, шт.

Используя формулу (34) рассчитываем активную мощность светильников на примере бытовки:

$$P_{\text{с}} = p_{\text{с}} \cdot N_{\text{св}} = 26 \cdot 12 = 312 \text{ (Вт)} \quad (35)$$

Теперь определим реактивную мощность, потребляемую светильниками по выражению:

$$Q = P_{\text{с}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (36)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности для выбираемых светильников, так как к установке выбираются светодиодные светильники с коэффициентом мощности 0,98, то значение  $\operatorname{tg} \varphi = 0,18$ .

Используя (36) определяем реактивную мощность, потребляемую светильниками:

$$Q = P_{\text{с}} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 312 \cdot 0,18 = 56,8 \text{ (вар)} \quad (37)$$

Определим полную мощность, потребляемую светильниками используя выражение:

$$S_{л} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (38)$$

Определяем полную мощность, потребляемую светильниками по выражению (38):

$$S_{л} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{312^2 + 56,8^2} = 317,13 \text{ (ВА)} \quad (39)$$

С учетом того, что все вспомогательные помещения в производственном здании двухэтажные, то соответственно мощности светильников в вспомогательных помещениях будут равны  $P=624$  Вт;  $Q=113,6$  вар;  $S=634,26$  ВА.

В остальных помещениях расчет проводится аналогично по выражениям (30), (32), (34), (35) и (38). Результаты расчетов сведены в таблицу 4.

Таблица 3 - Результаты расчета светодиодного освещения для предприятия легкой промышленности

Наименование помещения	$N_{св}$ , шт	$S$ , ВА	$P$ , Вт	Тип светильника
Администрация	24	636	624	Ledel/L-industry New
Бытовка	24	636	624	Ledel/L-industry New
Комната отдыха	24	636	624	Ledel/L-industry New
Склад	43	1140	1118	Ledel/L-industry New
ТП	24	636	624	Ledel/L-industry New
Щитовая	24	636	624	Ledel/L-industry New
Инструментальная	24	636	624	Ledel/L-industry New
Раскроечная	24	636	624	Ledel/L-industry New
Производственное отделение	66	1751	1716	Ledel/L-industry New
Итого	253	7349	7202	-

Таблица 4 - Расчет электрических нагрузок с учетом использования светодиодных светильников

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП	$K_p$	Расчетная мощность			$I_p, A$
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \times$ $\times \text{tg} \varphi$	$n \cdot p_n^2$			$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	
Наименование ЭП	$n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт		$K_u$	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$									
		одного ЭП	общая											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Краеобметочная машина	5	17	85	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	14,4	16,8	1445	-	-	-	-	-	-
Электрический раскройный нож	8	20	160	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	27,2	31,8	3600						
Пуговичная машина	5	2,2	11	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	1,5	2,5	24,2						
Прямострочная швейная машина	9	55	495	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	84,2	98,5	24200						
Петельная машина	6	4,8	28,8	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	4,0	6,9	138,2						
Швейный автомат	8	12,5	100	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	14	24,2	1250						
Краеобметочно- стачивающая машина	4	2,5	15	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	2,1	3,6	25						
Дублирующий пресс	2	7,7	15,4	0,35	$\frac{0,5}{1,73}$	5,3	9,1	118,5						
Раскройная машина	6	3	18	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	2,5	4,3	54						

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Итог (без освещения)	53	55/2,5	928,2	0,16	-/1,27	155,2	197,1	824154,7	32	0,75	116,4	147,8	188,2	271,9
Итог (освещение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	1,8	7,4	19,4
Итог по предприятию	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123,6	149,6	195,6	291,3



Выводы по разделу. Для предприятия легкой промышленности одним из мероприятий по повышению его энергетической эффективности предложена замена установок внутреннего освещения типа ЛПО с лампами типа ЛБ на светодиодные светильники. Для этого выполнен расчет системы освещения для производственного корпуса предприятия легкой промышленности и выбраны соответствующие светодиодные светильники марки L-Industry-New, отечественного производителя, компании «Ledel». Применение выбранных светильников на предприятии легкой промышленности позволило сократить число точек освещения с 406 шт. (при использовании светильников ЛПО), до 253 шт. Также уменьшилась мощность, потребляемая системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности. С учетом изменившейся мощности был выполнен расчет электрических нагрузок по предприятию, учитывающий все технологическое оборудование, участвующее в производстве продукции, а также изменившуюся нагрузку системы освещения. В результате расчета нагрузок получено, что значение расчетной мощности предприятия с учетом светодиодных установок внутреннего освещения составило:  $P_p = 123,6$  (кВт);  $Q_p = 149,6$  (квар);  $S_p = 195,6$  (кВА). Полученные значения расчетных мощностей будут использованы для выбора трансформаторов и установок компенсации реактивной мощности.

### 3 Выбор энергоэффективных трансформаторов

В настоящий момент на предприятии легкой промышленности используются два распределительных масляных трансформатора типа ТМГ-160/10 УХЛ1.

Характеристики трансформаторов:

- Номинальное напряжение обмотки высокого напряжения (ВН):  $U_{ВН}$ ;
- Номинальное напряжение обмотки низкого напряжения (НН):  $U_{НН}$ ;
- Мощность трансформатора  $S$ .
- Потери холостого хода в трансформаторе  $\Delta P_T$ ;
- Потери реактивной мощности в трансформаторе  $\Delta Q_T$ .

Для повышения уровня энергоэффективности предприятия предполагается замена существующих распределительных трансформаторов марки ТМГ на трансформаторы с пониженными потерями [23]. Такими характеристиками обладают сухие трансформаторы марки ТСЛ производства «Группа компаний СВЭЛ», г. Екатеринбург.

Так как на предприятии предлагается внедрение технических мероприятий по повышению энергетической эффективности, то перед выбором новых распределительных трансформаторов производится выбор средств компенсации реактивной мощности [1].

При расчетах используется РТМ 36.18.32.6-92 [18], а также учитываются требования ПУЭ [16].

Выбор трансформаторов и установок компенсации реактивной мощности (УКРМ) производится на основе технико-экономического сравнения. Перед выполнением расчетов зададимся исходными данными:

- плата за мощность  $\alpha=5000$  руб/кВт;
- плата за электроэнергию  $\beta=1,1$  руб/кВт·ч.

Рассчитаем удельные стоимостные показатели.

Определим число часов использования максимальной реактивной мощности:

$$T_{mQэ} = \frac{T_r \cdot (K_M - 2\psi + 1)}{2(1 - \psi)} \quad (40)$$

где  $T_r$  – годовой фонд рабочего времени, для двусменных предприятий (цехов) принимается 4000 ч;

$K_M$  – Коэффициент сменности;

$\psi$  – Степень компенсации, принимается равной 0,6 для предприятий получающих питание от сети 10 кВ.

Для предприятия легкой промышленности по (40) получим число часов использования максимальной реактивной мощности равное:

$$T_{mQэ} = \frac{T_r \cdot (K_M - 2\psi + 1)}{2(1 - \psi)} = \frac{4000 \cdot (0,9 - 2 \cdot 0,6 + 1)}{2(1 - 0,6)} = 3500 \text{ (ч)} \quad (41)$$

Удельная стоимость потерь активной мощности за год определяется по выражению:

$$C_{пг} = (\alpha + \beta \cdot T_r \cdot 10^{-2}) \quad (42)$$

где  $\alpha$  – плата за мощность, руб/кВт;

$\beta$  - плата за электроэнергию руб/кВт·ч;

$T_r$  – годовой фонд рабочего времени, для двусменных предприятий (цехов) принимается 4000 ч.

Используя (42) определяем стоимость потерь активной мощности для предприятия легкой промышленности за год:

$$C_{пг} = (5000 + 1,1 \cdot 4000 \cdot 10^{-2}) = 54400 \left( \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} \cdot \text{год} \right) \quad (43)$$

Определим удельные затраты на потери активной мощности в батареях низковольтных конденсаторов, относящихся к УКРМ используя выражение:

$$Z_{\text{рнк}} = C_{\text{п}} \cdot P_{\sigma} \quad (44)$$

где  $P_{\sigma}$  – удельные потери активной мощности на генерирование реактивной мощности, кВт/квар.

Используя (44) определяем затраты на потери активной мощности в батареях низковольтных конденсаторов для предприятия легкой промышленности:

$$Z_{\text{рнк}} = C_{\text{п}} \cdot P_{\sigma} = 54400 \cdot 0,004 = 217,6 \left( \frac{\text{руб.}}{\text{квар}} \right) \quad (45)$$

Удельные затраты на компенсацию реактивной мощности определяются выражением:

$$Z_{\text{нк}} = 0,22C_{\text{нк}} + Z_{\text{рнк}} \quad (46)$$

где  $C_{\text{нк}}$  – стоимость конденсаторной батареи, определяется по данным производителя, руб.

Используя (46) определяем удельные затраты на компенсацию реактивной мощности для предприятия легкой промышленности:

$$Z_{\text{нк}} = 0,22 \cdot 30100 + 217,6 = 6839,6 \left( \frac{\text{руб.}}{\text{квар}} \right) \quad (47)$$

Теперь мы рассчитываем мощности трансформаторов и компенсирующих устройств.

Вначале определим расчетную мощность трансформатора по формуле:

$$S_{\text{т.расч}} = \frac{P_{\text{р}}}{K_{\text{з}} \cdot N_{\text{т}}} \quad (48)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность, потребляемая предприятием легкой промышленности, кВт;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора, в данном случае принимается равным 0,7;

$N_T$  – число трансформаторов, шт.

По (48) получаем для предприятия легкой промышленности:

$$S_{T.расч} = \frac{138,2}{0,7 \cdot 2} = 98,5 \text{ (кВА)} \quad (49)$$

Округляем значение полученное в (49) до ближайшего значения мощности трансформатора 100 кВА. Таким образом к установке на ТП питающей предприятие к установке принимаем 2 энергоэффективных распределительных трансформатора марки ТСЛ 100/10/0,4 кВ, мощностью 100 кВА каждый производства Группа компаний «СВЭЛ», г. Екатеринбург. Паспортные данные выбранного трансформатора представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры выбранного сухого трансформатора с литой изоляцией

Параметр	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3	4
Номинальная мощность	$S_{T.ном}$	кВА	100
Номинальное напряжение обмотки ВН	$U_{ВН}$	кВ	10
Номинальное напряжение обмотки НН	$U_{НН}$	кВ	0,4
Потери холостого хода	$\Delta P_{XX}$	Вт	400
Потери короткого замыкания при температуре 75°С	$\Delta P_{КЗ.75}$	Вт	1350
Потери короткого замыкания при температуре 115°С	$\Delta P_{КЗ.115}$	Вт	1500
Напряжение короткого замыкания	$U_{КЗ}$	%	4
Ток холостого хода	$i_0$	%	2,5

Используя паспортные данные выбранных трансформаторов, определим потери активной ( $\Delta P_T$ ) и реактивной ( $\Delta Q_T$ ) мощности в трансформаторах используя выражения [8]:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{XX} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3.75}) \quad (50)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_T}{100} \quad (51)$$

где  $\Delta P_{XX}$  – активные потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{K3}$  – активные потери короткого замыкания, кВт;

$U_{K3}$  – напряжение короткого замыкания, %;

$i_0$  – ток холостого хода, %.

Используя (50) и (51) для выбранных трансформаторов определяем потери активной ( $\Delta P_T$ ) и реактивной ( $\Delta Q_T$ ) мощностей:

$$\Delta P_T = 2 \cdot (0,4 + 0,7^2 \cdot 1,35) = 2,1 \text{ (кВт)} \quad (52)$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (2,5 + 0,7^2 \cdot 4) \cdot \frac{100}{100} = 8,9 \text{ (квар)} \quad (53)$$

Определим активную ( $P_{p\Sigma}$ ) и реактивную ( $Q_{p\Sigma}$ ) мощность, потребляемую предприятием легкой промышленности с учетом потерь в трансформаторах используя выражения:

$$P_{p\Sigma} = P_p + \Delta P_T \quad (54)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + \Delta Q_T \quad (55)$$

где  $P_p$ - расчетная активная мощность предприятия с учетом замены

светильников внутренней системы освещения, значение определено в таблице 4, кВт.

$Q_p$  - расчетная реактивная мощность предприятия с учетом замены светильников внутренней системы освещения, значение определено в таблице 4, квар.

Используя формулы (54) и (55) определяем потребляемую предприятием легкой промышленности с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_{p\Sigma} = P_p + \Delta P_T = 123,6 + 2,1 = 125,7 \text{ (кВт)} \quad (56)$$

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + \Delta Q_T = 149,6 + 8,9 = 158,5 \text{ (квар)} \quad (57)$$

Реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ для предприятия легкой промышленности определяется по выражению [1] [18]:

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_{T.\text{НОМ}} \cdot K_3 \cdot N_T)^2 - P_{p\Sigma}} \quad (58)$$

где  $S_{T.\text{НОМ}}$  – номинальная мощность одного трансформатора установленного на ТП предприятия, для предприятия легкой промышленности определено  $S_{T.\text{НОМ}} = 100$  кВА;

$K_3$  – значение нормируемого коэффициента загрузки одного трансформатора установленного на ТП предприятия легкой промышленности, принимается равным 0,7;

$N_T$  – число трансформаторов, установленных на ТП предприятия легкой промышленности, принимается равным 2;

$P_{p\Sigma}$  – расчетное значение активной мощности предприятия с учетом потерь в распределительных трансформаторах, установленных на ТП предприятия легкой промышленности, определено в выражении (56).

Используя (58) определяем реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot 100 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 125,7^2} = 88,97 \text{ (квар)} \quad (59)$$

Определим реактивную мощность, выдаваемую установками компенсации реактивной мощности (УКРМ) используя выражение [1]:

$$Q_{HK} = Q_{p\Sigma} - Q_T \quad (60)$$

Используя (60) определяем реактивную мощность, выдаваемую УКРМ:

$$Q_{HK} = 158,5 - 88,97 = 69,53 \text{ (квар)} \quad (61)$$

По значению полученному (61) для установки на ТП предприятия легкой промышленности принимаем две автоматических установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ, которые устанавливаются по одной на каждую секцию шин ТП. Общая мощность выбранных АУКРМ составляет 70 квар, степень регулирования 5 квар, всего ступеней регулирования 7 шт.

Число часов максимальных потерь в трансформаторе определяется выражением [21]:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p \quad (62)$$

где  $T_M$  – число часов использования максимальной мощности, для двусменного графика работы предприятия принято равным 3500 ч.

$T_p$  – время работы трансформатора, принимается равным числу часов в году 8760 ч., так как предприятие функционирует круглогодично.



Используя (62) определяем число часов максимальных потерь для предприятия легкой промышленности:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p = \left(0,124 + \frac{3500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 1968 \text{ (ч)} \quad (63)$$

Стоимость максимальных потерь активной мощности за год определяется выражением:

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau \quad (64)$$

Используя (64) определяем стоимость максимальных потерь активной мощности за год для предприятия легкой промышленности:

$$C = \left(\frac{5000}{3500} + 1,1 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 1968 = 2,8 \left(\frac{\text{тыс. руб}}{\text{кВт}}\right) \quad (65)$$

Определим удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора по выражению:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_p \quad (66)$$

Используя (72) определяем удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора:

$$C_0 = \left(\frac{5000}{3500} + 1,1 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 12,6 \left(\frac{\text{тыс. руб}}{\text{кВт}}\right) \quad (67)$$

Определим стоимость потерь активной мощности в трансформаторах:

$$C_{\Delta P_T} = N_T \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{XX} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3.75}) \quad (68)$$

Используя (68) определяем стоимость потерь активной мощности в трансформаторах, устанавливаемых на ТП предприятия легкой промышленности:

$$C_{\Delta P_T} = 2 \cdot (12,6 \cdot 0,4 + 2,8 \cdot 0,7^2 \cdot 1,35) = 6,89 \left( \frac{\text{тыс. руб}}{\text{кВт}} \right) \quad (69)$$

Определим затраты на оборудование трансформаторной подстанции выполняемой комплектной - КТП и затраты на компенсирующие устройства типа АУКРМ, которые определяются следующим выражением:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (N_T \cdot K_T + N_K \cdot K_{\text{КУ}}) \quad (70)$$

где  $E$  – суммарный коэффициент отчислений от капиталовложений;

$K_T$  – стоимость трансформатора, тыс. руб.;

$N_K$  – число батарей конденсаторов, шт.;

$K_{\text{КУ}}$  – стоимость конденсаторных батарей, тыс. руб.

Используя (70) определяем приведенные затраты на комплектную трансформаторную подстанцию и компенсирующие устройства, выбранные для предприятия легкой промышленности:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,338 \cdot (2 \cdot 120,2 + 2 \cdot 50,5) = 115,4 \text{ (тыс. руб.)} \quad (71)$$

Устанавливаемое на трансформаторной подстанции предприятия легкой промышленности оборудование представлено в таблице 6.

Таблица 6 - Оборудование, выбранное для установки на ТП предприятия легкой промышленности

Наименование оборудования	Количество, шт.
ТСЛ-100/10-УХЛ1	2
АУКРМ 0,4-35-5-УХЛ3	2

Выводы по разделу. Для питания нагрузок предприятия легкой промышленности, значение которых определены в разделе 2 ВКР с учетом замены установок внутреннего освещения на светодиодные, выполнен расчет требуемой мощности трансформаторов на ТП предприятия.

Определено, что в настоящее время на трансформаторной подстанции предприятия установлено два распределительных трансформатора марки ТМГ 160/10/0,4. Для данных трансформаторов представлены паспортные данные.

Согласно выполненному расчету требуемой мощности трансформаторов на ТП после внедрения мероприятий по повышению энергетической эффективности получено расчетное значение требуемой мощности трансформатора равное  $S_{т.расч} = 98,5$  (кВА).

Полученное значение мощности позволяет установить на ТП предприятия легкой промышленности трансформаторы с более низкой мощностью чем эксплуатируемые в настоящее время ТМГ 160/10/0,4, а именно трансформаторы марки ТСЛ 100/10/0,4. Предлагаемые трансформаторы являются энергосберегающими, т.е. имеют сниженное значение потерь мощности в режиме короткого замыкания и потерь мощности холостого хода. Выбранные трансформаторы марки ТСЛ 100/10/0,4 – это сухие трансформаторы с литой изоляцией производства Группа компаний «СВЭЛ» г. Екатеринбург.

Кроме того, для предприятия легкой промышленности выбраны установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ 0,4-35-5-УХЛ3. Данные установки имеют мощность 35 квар, а также возможность

регулирования со ступенью 5 квар, общее число ступеней регулирования данных установок 7 шт. Выполнены данные установки компенсации реактивной мощности на напряжение 0.4 кВ. Для предприятия выбрано две установки АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ так как в ТП предприятия установлено два трансформатора, каждая установка подключается к одному трансформатору. Определена стоимость потерь в трансформаторах ТП предприятия легкой промышленности, которые по результатам расчета составили  $6,89 \left( \frac{\text{тыс.руб}}{\text{кВт}} \right)$ . Определено значение приведенных затрат на ТП предприятия легкой промышленности и на АУКРМ, устанавливаемые на ТП. Расчетное значение приведенных затрат составило  $Z_{\text{ТП}} = 115,4$  (тыс. руб.). Данное значение получено исходя из стоимости одного трансформатора марки ТСЛ 100/10/0,4  $K_{\text{T}} = 120,2$  (тыс. руб.), а стоимость одной установки АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ  $K_{\text{КУ}} = 50,5$  (тыс. руб.)

#### 4 Схема электроснабжения предприятия легкой промышленности

При выборе и построении схем внутрицехового, внутризаводского электроснабжения используется НТП ЭПП-94, ПУЭ, ГОСТ 21.210-2014. Влияющими факторами на схему внутрицехового электроснабжения являются:

- Условия окружающей среды;
- План расположения технологического оборудования;
- Требования по бесперебойности электроснабжения;
- Количество и расположение ТП;
- Вероятность изменения технологического процесса.

С учетом расположения технологического оборудования и условий окружающей среды для предприятия легкой промышленности принимается магистрально-радиальная питающая сеть и радиальная распределительная сеть. Распределение всех электроприемников (ЭП) предприятия легкой промышленности по источникам питания приведено в таблице 7. Источниками питания названия щит силовой (ЩС) и вводное-распределительное устройство (ВРУ) и шина распределительная (ШР).

Таблица 7 – Ведомость распределения электроприемников

Источник питания	Наименование ЭП	Номер на плане	$K_n$	$K_n \cdot P$
1	2	3	4	5
ЩС-1	Краеобметочно-стачивающая машина	50,51	0,14	0,7
	Раскройная машина	48,49,52,53	0,14	1,6
ЩС-2	Петельная машина	44,45	0,14	1,3
	Швейный автомат	37,38	0,14	3,5
	Электрический раскроечный нож	31	0,17	3,4
	Краеобметочная машина	46	0,17	2,8
	Дублирующий пресс	39,47	0,35	5,3
ЩС-3	Петельная машина	19,20	0,14	1,3
	Швейный автомат	21,22	0,14	3,5
	Пуговичная машина	32,33,34	0,14	0,9
	Раскройная машина	42,43	0,14	0,8
	Краеобметочно-стачивающая машина	35,36	0,14	0,7

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
ЩС-3	Краеобметочная машина	40,41	0,17	5,8
	Электрический раскроечный нож	28,29	0,17	6,8
	Прямострочная швейная машина	26,27	0,17	18,7
ЩС-4	Краеобметочная машина	1,2	0,17	5,8
	Электрический раскроечный нож	3,5-7	0,17	13,6
	Пуговичная машина	4,8	0,14	0,7
ШР-1	Прямострочная швейная машина	9-15	0,17	65,4
	Петельная машина	16,17	0,14	1,3
	Швейный автомат	18,23,24,25	0,14	7,0
	Электрический раскроечный нож	30	0,17	3,4

Расчетные нагрузки по источникам питания, распределенные в таблице 7 с использованием данных таблицы 4 представлены в таблице 8.

Выводы по разделу. Выполнено распределение всех технологических потребителей предприятия легкой промышленности по источникам питания. В качестве источников питания принято использовать силовые щитки (ЩС) и распределительную шину (ШР). Все источники подключаются к водному распределительному устройству (ВРУ), расположенному в производственном здании предприятия легкой промышленности. Согласно плану распределения нагрузок предприятия по источникам питания выполнен расчет мощности каждого источника питания. Эти данные необходимы для выбора кабелей и автоматических выключателей.

Таблица 8 - Расчетные нагрузки распределенные по источникам питания

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП	$K_p$	Расчетная мощность			$I_p, A$
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \times \text{tg} \varphi$	$n \cdot P_n^2$			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	
Наименование ЭП	$n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт		$K_u$	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$									
		одного ЭП	общая											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ЩС-1														
Краеобметочно-стачивающая машина	2	2,5	5	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	0,7	1,2	12,5	5	2,09	5,2	4,5	6,9	10,0
Раскройная машина	4	3	12	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	1,7	2,9	36						
Итог по ЩС	6	3/2,5	17	0,14	-	2,4	4,1	48,5						
ЩС-2														
Петельная машина	2	4,8	9,6	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	1,3	2,2	46,1	6	1,62	26,4	27,0	37,7	54,5
Швейный автомат	2	12,5	25	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	3,5	6,1	312,5						
Электрический раскроечный нож	1	20	20	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	3,4	3,9	400						
Краеобметочная машина	1	17	17	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	2,8	3,2	289						
Дублирующий пресс	2	7,7	15,4	0,35	$\frac{0,5}{1,73}$	5,3	9,1	118,6						
Итог по ЩС	8	20/4,8	87	0,19	-	16,3	24,5	1166,2						
ЩС-3														
Петельная машина	2	4,8	9,6	0,14	0,5/1,73	1,3	2,2	46,1	-					

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Швейный автомат	2	12,5	25	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	3,5	6,1	312,5						
Пуговичная машина	3	2,2	6,6	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	0,9	1,6	14,5						
Раскройная машина	2	3	6	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	0,8	1,4	18						
Краеобметочно-стачивающая машина	2	2,5	5	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	0,7	1,2	12,5	-					
Краеобметочная машина	2	17	34	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	5,8	6,8	578						
Электрический раскройный нож	2	20	40	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	6,8	8	800						
Прямострочная швейная машина	2	55	110	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	18,7	21,8	6050						
Итого по ЦС	17	55/2,5	236,2	0,16	-	38,5	49,1	7831,6	7	1,86	71,6	54,0	89,7	129,6
ЦС-4														
Краеобметочная машина	2	17	34	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	5,8	6,8	578						
Электрический раскройный нож	4	20	80	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	13,6	15,9	1600	-					
Пуговичная машина	2	2,2	4,4	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	0,6	1,0	9,7						
Итого по ЦС	8	20/2,2	118,4	0,16	-	20	23,7	2187,7	6	1,96	46,5	26,1	53,3	59,3
ШР-1														
Прямострочная швейная машина	7	55	385	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	65,5	76,6	21175	-					



Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Петельная машина	2	4,8	9,6	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	1,3	2,2	46,1	-					
Швейный автомат	4	12,5	50	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	7	12,1	625						
Электрический раскроечный нож	1	20	20	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	3,4	4,0	400						
Итого по ШРА-1	14	55/4,8	465	0,16	-	77,2	94,9	22246,1	9	1,71	132,0	104,3	168,3	243,2

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет проводится по ГОСТ 28249-93 [5]. Определяется ток трехфазного КЗ для самого мощного электроприемника цеха, далее по этому значению проверяются все коммутационные аппараты на отключающую способность и электродинамическую стойкость [7], [14]. Расчетная схема [4] приведена на рисунке 3, схема замещения на рисунке 4.

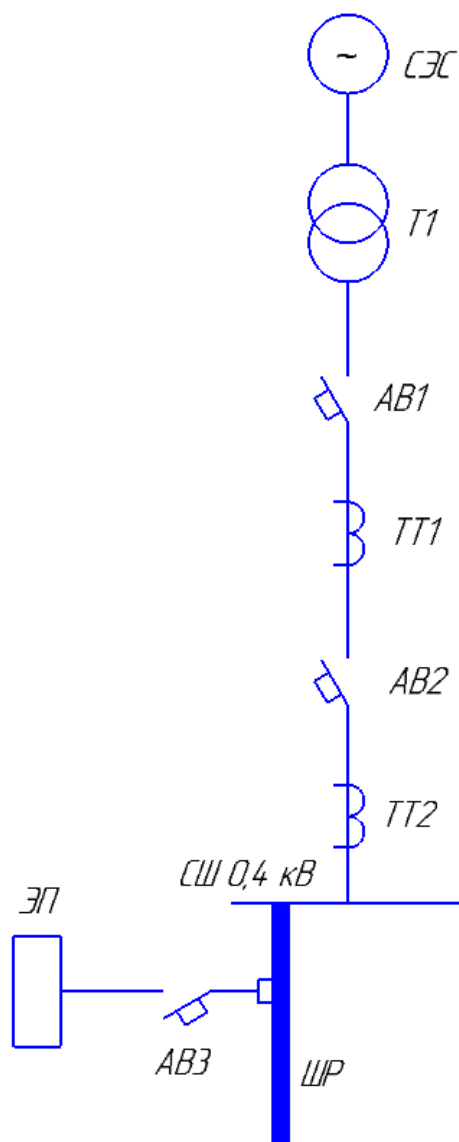


Рисунок 3 – Схема для расчета токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия легкой промышленности

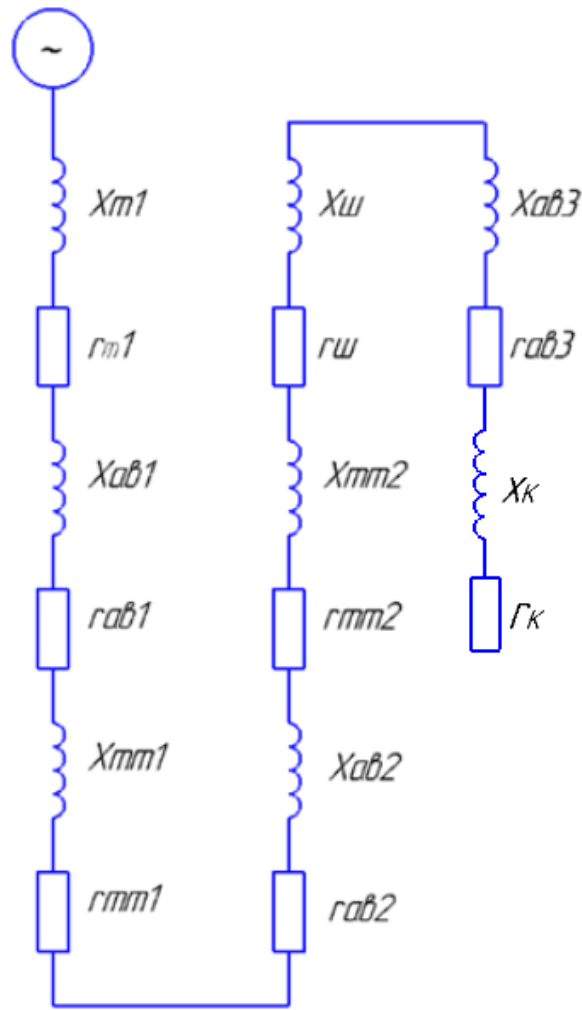


Рисунок 4 – Схема замещения для определения параметров необходимых для расчета токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия легкой промышленности

Для расчета токов короткого замыкания необходимо определить все параметры схемы замещения (рисунок 4) [13]. Вначале определим активное сопротивление трансформатора Т1 определяется выражением:

$$r_T = \frac{\Delta P_{кз.75} \cdot U_{НН}^2}{S_{Т.НОМ}^2} \quad (72)$$

где  $\Delta P_{кз.75}$  – паспортное значение потерь короткого замыкания в трансформаторе, представлено в таблице 5, кВт;

$U_{\text{НН}}$  – номинальное напряжение обмотки НН трансформатора установленного на ТП предприятия легкой промышленности, представлено в таблице 5, 0,4 кВ;

$S_{\text{Т.НОМ}}$  – номинальная мощность трансформатора установленного на ТП предприятия легкой промышленности, принимается равной 100 кВА по данным таблицы 5, .

По (72) получим:

$$r_{\text{T}} = \frac{\Delta P_{\text{КЗ.75}} \cdot U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{Т.НОМ}}^2} = \frac{1,35 \cdot 0,4^2}{100^2} = 0,0000216 \text{ (Ом)} \quad (73)$$

Определим реактивное сопротивление трансформатора Т1 по формуле:

$$x_{\text{T}} = \sqrt{U_{\text{КЗ}}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{КЗ.75}}}{S_{\text{Т.НОМ}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}}{S_{\text{Т.НОМ}}} \quad (74)$$

Используя данные таблицы 5 и выражение (74) получим:

$$x_{\text{T}} = \sqrt{4^2 - \left(\frac{100 \cdot 1,35}{100}\right)^2} \cdot \frac{0,4}{100} = 0,023 \text{ (Ом)} \quad (75)$$

Определим активное сопротивление кабеля К1 по формуле:

$$r_{\text{к}} = c_0 \cdot r_0 \cdot l \quad (76)$$

где  $c_0$  – коэффициент увеличения сопротивления кабеля при нагреве;

$r_0$  – погонное активное сопротивление кабеля, Ом/м;

$l$  – длина кабеля, м.

По (76) получим:

$$r_k = c_0 \cdot r_0 \cdot l = 1,5 \cdot 0,11 \cdot 2 = 0,3 \text{ (Ом)} \quad (77)$$

Определим реактивное сопротивление кабеля К1 по формуле:

$$x_k = x_0 \cdot l \quad (78)$$

где  $x_0$  – погонное реактивное сопротивление кабеля, Ом/м.

$l$  – длина кабеля, м.

По (78) получим:

$$x_k = x_0 \cdot l = 0,0079 \cdot 2 = 0,0158 \text{ (Ом)} \quad (79)$$

Определим активное сопротивление шинпровода ШР по формуле:

$$r_{ш} = \rho \vartheta_{\text{норм}} \cdot \frac{l}{S} \cdot \frac{T + \vartheta}{T + \vartheta_{\text{норм}}} \cdot K_d \quad (80)$$

$$r_{ш} = 0,027 \cdot \frac{30}{62,5} \cdot \frac{236 + 25}{236 + 20} \cdot 1,02 = 0,01 \text{ (Ом)} \quad (81)$$

Определим реактивное сопротивление шинпровода ШР по формуле:

$$x_{ш} = 0,145 \cdot \frac{\lg d}{g_0} = 0,145 \cdot \frac{\lg d}{0,22(b + h)} \quad (82)$$

$$x_{ш} = 0,145 \cdot \frac{\lg d}{0,22(b + h)} = 0,145 \cdot \frac{\lg 7}{0,22(25 + 2,5)} = 0,0087 \text{ (Ом)} \quad (83)$$

Сопротивления, автоматических выключателей (АВ), трансформаторов тока (ТТ) и контактов берутся из приложений ГОСТ 28249-93:  $r_{ав} =$

0,01 (Ом),  $x_{ав} = 0,01$  (Ом),  $r_{тт} = 0,01$  (Ом),  $x_{тт} = 0,01$  (Ом),  $r_{конт} = 0,1$  (Ом).

Определим суммарные активное ( $r_{\Sigma}$ ) и реактивное ( $x_{\Sigma}$ ) сопротивления по формулам:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{ш} + r_{ав} + r_{тт} + r_{конт} + r_K \quad (84)$$

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{ш} + x_{ав} + x_{тт} + x_K \quad (85)$$

Используя выражение (84) и (85), а также расчетные значения полученные в (73), (75), (77), (79), (81) и (83) для расчетной схемы получим:

$$r_{\Sigma} = 0,000216 + 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,3 = 0,34 \text{ (Ом)} \quad (86)$$

$$x_{\Sigma} = 0,023 + 0,0087 + 0,01 + 0,01 + 0,0156 = 0,067 \text{ (Ом)} \quad (87)$$

Определим начальное значение периодической составляющей ТКЗ по формуле:

$$I_{по} = \frac{U_{НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,34^2 + 0,067^2}} = 666,6 \text{ (А)} \quad (88)$$

Определим ток подпитки КЗ от электродвигателя по формуле:

$$I_{по.АД} = \frac{E''_{\phi}}{\sqrt{(x''_{АД} + x_{\Sigma})^2 + (r_{АД} + r_{\Sigma})^2}} \quad (89)$$

где  $E''_{\phi}$  - сверхпереходная ЭДС асинхронного двигателя, В;

$x''_{АД}$  - индуктивное сопротивление асинхронного двигателя, Ом;

$r_{АД}$  – активное сопротивление асинхронного двигателя, Ом.

Сверхпереходная ЭДС для асинхронного двигателя определяется выражением:

$$E''_{\phi} = \sqrt{(U_{\phi 0} \cdot \cos\varphi - I_0 \cdot r_{\text{АД}})^2 + (U_{\phi 0} \cdot \sin\varphi - I_0 \cdot x''_{\text{АД}})^2} \quad (90)$$

$$E''_{\phi} = \sqrt{(380 \cdot 0,65 - 146 \cdot 0,06)^2 + (380 \cdot 0,5 - 146 \cdot 0,18)^2} = \\ = 289,1 \text{ (В)} \quad (91)$$

Определим ток подпитки от асинхронного двигателя по (89) используя значения полученные (91):

$$I_{\text{п0.АД}} = \frac{289,1}{\sqrt{(0,18 + 0,067)^2 + (0,06 + 0,34)^2}} = 614,95 \text{ (А)} \quad (92)$$

Полный ток короткого замыкания с учетом подпитки от асинхронного двигателя в точке К2 определяется по формуле:

$$I_{\text{КЗ.К2}} = I_{\text{п0}} + I_{\text{п0.АД}} = 666,6 + 614,95 = 1281,55 \text{ (А)} \quad (93)$$

Определим ток КЗ в точке К1.

В начале определим суммарные активное ( $r_{\Sigma}$ ) и реактивное ( $x_{\Sigma}$ ) сопротивления по формулам:

$$r_{\Sigma} = r_{\text{ав}} + r_{\text{ТТ}} + r_{\text{конт}} + r_{\text{т}} = 0,01 + 0,01 + 0,1 + 0,000216 = \quad (94)$$

$$x_{\Sigma} = x_{\text{ав}} + x_{\text{ТТ}} + x_{\text{т}} \quad (95)$$

$$r_{\Sigma} = 0,01 + 0,01 + 0,1 + 0,000216 = 0,12 \text{ (Ом)} \quad (96)$$

$$x_{\Sigma} = 0,01 + 0,01 + 0,023 = 0,043 \text{ (Ом)} \quad (97)$$

Определим начальное значение периодической составляющей ТКЗ используя выражение (88) для расчетной точки К1:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,12^2 + 0,043^2}} = 1811,69 \text{ (A)} \quad (98)$$

Определим ток подпитки от асинхронного двигателя по формуле (89) для расчетной точки К1:

$$I_{\text{п0.АД}} = \frac{289,1}{\sqrt{(0,18 + 0,043)^2 + (0,06 + 0,12)^2}} = 1008,78 \text{ (A)} \quad (99)$$

Полный ток КЗ определим по выражению (93) для расчетной точки К1:

$$I_{\text{КЗ.К1}} = I_{\text{п0}} + I_{\text{п0.АД}} = 1811,69 + 1008,78 = 2820,57 \text{ (A)} \quad (100)$$

По результатам расчетов токов короткого замыкания (ТКЗ) составим таблицу 9, где выполним проверку и выбор выключателей для установки в системе электроснабжения предприятия легкой промышленности. Также проверим и выберем трансформаторы тока для установки на стороне низкого напряжения после трансформатора, выбор и проверка представлены в таблице.

Таблица 9 – Проверка выбранных выключателей

Тип	Расчетное значение ТКЗ, кА	Отключающая способность, кА
IEK 1п С/ 6А ВА 47-29	1,28155	4,5
IEK 1п С/ 10А ВА 47-29		
IEK 3п С/ 16А ВА 47-29		
IEK 3п С/ 25А ВА 47-29		
IEK 4п С/ 63А ВА 47-29		
ВА-СЭЩ-АС	2820,57	65,0
ВА-СЭЩ-АС		

Таблица 10 – Проверка измерительных трансформаторов на электродинамическую стойкость

Тип	Наибольший ток КЗ, кА	Ток электродинамической стойкости, кА
-----	-----------------------	---------------------------------------



ТШЛ-СЭЩ	2,9	15,0
---------	-----	------

Выводы по разделу. В связи с заменой трансформаторов на ТП предприятия легкой промышленности необходимо определить токи короткого замыкания, значения которых должны быть использованы для выбора и проверки оборудования. Выполнен расчет трехфазных токов короткого замыкания в двух расчетных точках. Так как на предприятии легкой промышленности используется технологическое оборудования с электродвигателями, выполнен расчет значений ТКЗ с условием подпитки от асинхронного двигателя.

В результате расчетов получено, что ток короткого замыкания на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции (расчетная точка К1) составил  $I_{кз.к1} = 2820,57$  (А), а ток короткого замыкания на шинах вводного распределительного устройства (ВРУ) составил  $I_{кз.к2} = 1281,55$  (А). В результате расчета выполнена проверка выключателей, устанавливаемых в распределительной сети предприятия легкой промышленности после замены силовых трансформаторов. К установке приняты выключатели ИЕК 1п С/ 6А ВА 47-29, ИЕК 1п С/ 10А ВА 47-29, ИЕК 3п С/ 16А ВА 47-29, ИЕК 3п С/ 25А ВА 47-29, ИЕК 4п С/ 63А ВА 47-29, ВА-СЭЩ-АС, произведенные на территории РФ.

Для выполнения учета потребляемой предприятием электрической энергии выбраны трансформаторы тока ТШЛ-СЭЩ, удовлетворяющие условию электродинамической стойкости токам короткого замыкания. Дополнительная проверка выбранного оборудования выполнена в разделе 6 ВКР.

## 6 Выбор оборудования

### 6.1 Выбор проводов и кабелей

Выбор проводников проводится согласно гл. 1.3 ПУЭ [16]. Проведем выбор провода питающего ЩС-1. Допустимый длительный ток определяется по таблице 1.3.4. ПУЭ [16]. Выбираем сечение жилы равное 1 мм<sup>2</sup>. Выбираем из каталога провод ВВГ(А)нг-LS 2×1. Расчетные данные и марки проводов приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Расчетные данные и марки проводов питающей сети

Расчетный ток, А	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Длительно допустимый ток, А	Марка провода	Линия
10,0	1,0	17	ВВГнг(А)-LS 2×1	ВРУ-ЩС-1
184,1	50	215	ВВГнг(А)-LS 4×50	ВРУ-ЩС-2
129,6	25	140	ВВГнг(А)-LS 4×25	ЩС-2-ЩС-3
59,3	10	80	ВВГнг(А)-LS 3×10	ВРУ-ЩС-4
243,2	25×2,5	265	ШП-1	ВРУ-ШП-1

Ток, протекающий по распределительной линии, определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} \quad (101)$$

где  $P_p$  – расчетное значение активной мощности для питаемой линии, все значения определены в таблице 8, кВт;

$U_n$  – номинальное напряжение линии, принимается равным 0,4 кВ;

$\cos\varphi$  – коэффициент активной мощности приемников, питающихся от линии.

Определим ток линии ЩС-2-петельная машина по формуле (101):

$$I_p = \frac{1,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,5} = 3,7 \text{ (A)} \quad (102)$$

Аналогично по выражению (101) определим расчетные токи для остальных ЭП. Результатом расчета является выбор кабелей распределительной сети предприятия легкой промышленности, представленный в таблице 12.

Таблица 12 – Расчетные данные и марки проводов распределительной сети

Источник питания	Наименование электроприемника	Расчетный ток, А	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Марка провода
1	2	3	4	5	6
ЩС-1	Краеобметочно-стачивающая машина	2,0	0,75	11,0	ВВГнг 2×0,75
	Раскройная машина	5,0	0,75	11,0	ВВГнг 2×0,75
ЩС-2	Петельная машина	3,7	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Швейный автомат	10,1	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Электрический раскроечный нож	7,6	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Краеобметочная машина	13,0	1,0	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Дублирующий пресс	17,4	1,5	23,0	КГТп 3×1,5
	Петельная машина	46,0	15×3	216,0	LSV 4/14-4 HS
ЩС-3	Швейный автомат	3,7	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Пуговичная машина	10,1	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Раскройная машина	1,7	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Краеобметочно-стачивающая машина	2,0	1	17	ВВГ(А)нг 2×1
	Краеобметочная машина	5,0	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 2×1

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6
ЩС-3	Электрический раскроечный нож	13,0	1,0	17	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Прямострочная швейная машина	7,6	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Краеобметочная машина	146,0	35	170	ВВГнг(А)-LS 3×35
ЩС-4	Электрический раскроечный нож	13,0	1,0	17	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Пуговичная машина	7,6	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Прямострочная швейная машина	1,7	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
ШР-1	Петельная машина	3,7	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Швейный автомат	10,1	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Электрический раскроечный нож	7,6	1	17,0	ВВГнг(А)-LS 3×1
	Краеобметочно-стачивающая машина	146,0	35	170	ВВГнг(А)-LS 3×35

## 6.2 Выбор способа прокладки электропроводки

Выбор способа прокладки электропроводки зависит от условий окружающей среды [15], а именно:

- Взрыво- и пожароопасность;
- Агрессивность среды;
- Наличие проводящей пыли;
- Влажность воздуха;
- Архитектурные особенности здания (сооружения)

Электропроводка должна соответствовать гл. 2.1 ПУЭ [16].

На предприятии легкой промышленности отсутствуют взрыво- и пожароопасные зоны, отсутствует агрессивная среда, проводящая пыль.

Учитывая вышеприведенные условия окружающей среды, примем к монтажу электропроводку открытого типа. Питающие сети прокладываются

в кабельных лотках, распределительные – в гибких рукавах. Перечень применяемых материалов приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Материалы, применяемые для монтажа распределительной сети

Наименование материала	Марка
Кабельный лоток 50×50×3000	S5 Combitech
Защитный рукав	SILVYN FPAS PA6 21 / 16,7×21,2
Коробка распределительная 100×100×50	TYCO
Протяжной ящик	K-655

### 6.3 Выбор коммутационных аппаратов и трансформаторов тока

В этом пункте выбираются коммутационные аппараты. Выбранные коммутационные аппараты должны соответствовать гл. 1.4 ПУЭ [16]. Выбор коммутационных аппаратов осуществляется по номинальному току и по условиям КЗ. Выбранные коммутационные аппараты приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Выбранные типы автоматических выключателей

Источник питания	Электроприемник	Номинальный ток ЭП, А	Тип аппарата	Марка	Номинальный ток аппарата, А
1	2	3	4	5	6
ЩС-1	Краеобметочно-стачивающая машина	2,0	AB	IEK	6,0
	Раскройная машина	5,0	AB	IEK	10,0
ЩС-2	Петельная машина	3,7	AB	IEK	10,0
	Швейный автомат	10,1	AB	IEK	16,0
	Электрический раскроечный нож	7,6	AB	IEK	16,0
	Краеобметочная машина	13,0	AB	IEK	25,0
	Дублирующий пресс	46,0	AB	IEK	63,0
ЩС-3	Швейный автомат	3,7	AB	IEK	10,0
	Пуговичная машина	10,1	AB	IEK	16,0
	Раскройная машина	1,7	AB	IEK	6,0
	Краеобметочно-стачивающая машина	2,0	AB	IEK	6,0

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6
ЩС-3	Краеобметочная машина	5,0	АВ	ІЕК	10,0
	Электрический раскроечный нож	13,0	АВ	ІЕК	25,0
	Прямострочная швейная машина	7,6	АВ	ІЕК	16,0
	Краеобметочная машина	46,0	АВ	ІЕК	63,0
ЩС-4	Электрический раскроечный нож	13,0	АВ	ІЕК	25,0
	Пуговичная машина	7,6	АВ	ІЕК	16,0
	Прямострочная швейная машина	146,0	АВ	ВА-СЭЩ	160,0
ШР-1	Петельная машина	3,7	АВ	ІЕК	10,0
	Швейный автомат	10,1	АВ	ІЕК	16,0
	Электрический раскроечный нож	7,6	АВ	ІЕК	16,0
	Краеобметочно-стачивающая машина	146,0	АВ	ВА-СЭЩ	160,0
ТП	ВРУ	305,9	АВ	ВА-СЭЩ	400,0

Выбранные измерительные трансформаторы тока, которые в разделе 5 ВКР проверены на электродинамическую стойкость в таблице 10 представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Измерительные трансформаторы тока

Место установки	Номинальный первичный и вторичный ток трансформатора, А	Номинальное напряжение, кВ	Марка
РУ ТП 0,4 кВ	400/5	0,66	ТШЛ-СЭЩ
ВРУ 0,4 кВ	400/5	0,66	ТШЛ-СЭЩ

#### 6.4 Выбор распределительных устройств для системы электроснабжения предприятия легкой промышленности

Выбранные РУ должны соответствовать требованиям гл. 4.1 и 4.2 ПУЭ [16]. Выбранные силовые щитки исходя из числа подключений представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Выбранные силовые щиты (ЩС)

Номер ЩС	Наименование	Марка	Количество модулей DIN
ЩС-1	Щит распределительный навесной ЩРН-12з-1	IEK	12
ЩС-2	Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1	IEK	24
ЩС-3	Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1	IEK	24
ЩС-4	Щит распределительный навесной ЩРН-24з-1	IEK	24

В качестве вводно-распределительного устройства применим 3 блока НКУ-СЭЩ-М на напряжение 0,4 кВ. Параметры выбранного ВРУ приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры вводного распределительного устройства предприятия легкой промышленности

Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Число присоединений	Тип коммутационных аппаратов
0,4	630	4	ВА-СЭЩ-АС

В качестве ТП предприятия легкой промышленности примем КТПП-СЭЩ 10/0,4 кВ. Параметры приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Параметры трансформаторной подстанции предприятия легкой промышленности

Марка трансформаторов	Число и мощность, кВА	Сечение сборных шин, мм	Схема подстанции
ТСЛ-100/10/0.4	2×100	25×3	Одиночная секционированная система шин

Выводы по разделу. Выбрано оборудование системы электроснабжения предприятия легкой промышленности. Выбраны кабели питающие все силовые щиты и оборудование, подключенное к ним, а также оборудование, подключенное к ШР. Преимущественно выбраны кабели марки ВВГнг различных сечений. Выбраны силовые щиты марки ЩРН-12з-1 и ВРУ типа НКУ-СЭЩ-М.

## 7 Определение параметров энергоэффективности предприятия легкой промышленности

Для повышения энергетической эффективности предприятия [9] легкой промышленности были предложены следующие технические решения:

- Замена установок внутреннего освещения [19] с люминесцентных, выполненных светильниками марки ЛПО и лампами ЛБ на светодиодные Ledel-L-Industry-New;
- Замена трансформаторов на ТП предприятия с трансформаторов ТМГ 160/10/0,4 на сухие трансформаторы с литой изоляцией марки ТСЛ 100/10/0,4. Кроме более низкой мощности, трансформаторы ТСЛ имеют повышенную энергетическую эффективность из-за пониженных потерь мощности [21], [23].

Выполним оценку предложенных технических мероприятий с точки зрения энергетической эффективности. Для системы освещения выполним сравнение потребляемой электрической энергии до и после реконструкции. Для трансформаторов выполним оценку годовых потерь мощности до и после реконструкции. Снижение данных показателей для каждого из вариантов будет говорить о том, что задача повышения энергетической эффективности предприятия легкой промышленности, поставленная в рамках выполнения ВКР выполнена.

Электрическую энергию, потребляемую системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности в год, определим по выражению:

$$W_{всу} = P_{всу} \cdot T_{всу} \quad (103)$$

где  $P_{всу}$  – мощность внутренней системы освещения, кВт;

$T_{всу}$  – время работы внутренней системы освещения в год, ч.



Так как предприятие легкой промышленности работает по двусменному графику работы, необходимо определить число часов работы системы освещения [19], [20]. Для этого составим таблицу 19 в которой отразим продолжительность светового дня для региона размещения предприятия легкой промышленности.

Для таблицы 19 число часов работы системы внутреннего освещения определено исходя из условий:

- Время начала работы первой смены предприятия легкой промышленности 7:30;
- Время окончания работы первой смены предприятия легкой промышленности 16:15;
- Время начала работы второй смены предприятия легкой промышленности 16:15;
- Время окончания работы второй смены предприятия легкой промышленности 00:45.

По данным таблицы 19, используя выражение (103) выполним расчет для системы внутреннего освещения предприятия легкой промышленности. Данные мощности системы освещения до реконструкции представлены в таблице 1, а после реконструкции в таблице 3.

Потребление электроэнергии внутренней системой освещения (ВСО) до реконструкции (ДР):

$$W_{\text{ВСО}_{\text{у.др}}} = P_{\text{ВСО}_{\text{др}}} \cdot T_{\text{ВСО}} = 11,6 \cdot 1582,70 = 18359,3 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (104)$$

Потребление электроэнергии внутренней системы освещения (ВСО) после реконструкции (ПР):

$$W_{\text{ВСО}_{\text{пр}}} = P_{\text{ВСО}_{\text{пр}}} \cdot T_{\text{ВСО}} = 7,2 \cdot 1582,70 = 11395,44 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (105)$$

Таблица 19 – Продолжительность светового дня для региона размещения предприятия легкой промышленности

Наименование параметра	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Время захода солнца, чч:мм	16:35	17:30	18:30	19:25	20:13	21:10	21:00	20:00	19:00	17:50	17:00	16:25
Нормируемое время включения системы освещения, чч:мм	16:35	17:30	18:30	19:25	20:13	21:10	21:00	20:00	19:00	17:50	17:00	16:25
Нормируемое время отключения системы освещения, чч:мм	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00	1:00
Время восхода солнца, чч:мм	8:50	7:50	6:45	5:50	5:00	4:10	4:25	5:10	6:10	7:15	8:15	8:40
Время работы системы освещения, ч	8:25	7:30	6:30	5:35	4:47	3:50	4:00	5:00	6:00	7:10	8:00	8:35
Число дней, шт.	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Число часов работы в месяц, ч	176,75	157,50	136,50	117,25	100,45	80,50	84,00	105,00	126,00	150,50	168,00	180,25
Число часов работы в году, ч	1582,70											

Определим количественное снижение потребления электрической энергии внутренней системой освещения в год для предприятия легкой промышленности:

$$\Delta W_{\text{BCO}} = W_{\text{BCOy.др}} - W_{\text{BCOy.др}} \quad (106)$$

$$\Delta W_{\text{BCO}} = 18359,3 - 11395,44 = 6963,86 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (107)$$

Относительное снижение потребления электрической энергии в год:

$$\Delta W_{\text{BCO.}\%} = \left( \frac{W_{\text{BCOy.др}}}{W_{\text{BCOy.др}}} - 1 \right) \cdot 100 = \left( 1 - \frac{11395,44}{18359,3} \right) \cdot 100 = 37,9 \text{ (\%)} \quad (108)$$

Таким образом потребление электрической энергии системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности снизилось на 37,9% за счет замены светильников, что соответствует 6963,89 кВт·ч сэкономленной электрической энергии в год.

Потери активной мощности в трансформаторе были определены ранее в разделе 3 ВКР в выражении (52). Используя значение потерь активной мощности в трансформаторах, определим годовые потери электрической энергии в трансформаторах ТП предприятия легкой промышленности по выражению [6]:

$$\Delta W_{\text{T}} = \Delta P_{\text{T}} \cdot \tau = 2,1 \cdot 1968 = 4132,8 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (109)$$

где  $\Delta P_{\text{T}}$  – значение нагрузочных потерь активной мощности в трансформаторах, значение определено (52), кВт;  
 $\tau$  – значение времени максимальных потерь, определено в выражении (63).

Определим потребление электрической энергии предприятием легкой промышленности без учета потерь мощности в трансформаторах ТП. Для этого используем значения, полученные в таблице 4:

$$W_{\text{год}} = P_p \cdot \tau = 123,6 \cdot 1968 = 243\,244,8 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \quad (110)$$

Тогда доля потерь в общем потреблении предприятием легкой промышленности электрической энергии составит:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{ПЛП.}\%} &= 100 - \left(1 - \frac{\Delta W_T}{W_{\text{год}}}\right) \cdot 100 = W_{\text{ПЛП.}\%} = \\ &= 100 - \left(1 - \frac{4132,8}{243\,244,8}\right) \cdot 100 = 1,69 \text{ (\%)} \end{aligned} \quad (111)$$

Таким образом по (111) получено, что уровень потерь электрической энергии в распределительных трансформаторах, питающих предприятие легкой промышленности 1,69% от общего потребления электрической энергии предприятием, что доказывает повышение энергетической эффективности предприятия легкой промышленности. Чем выше класс энергетической эффективности, тем меньше уровень относительных потерь ( $\Delta W_{\text{ПЛП.}\%}$ ) электрической энергии в системе электроснабжения предприятия легкой промышленности. Класс энергетической эффективности определяется по рисунку 5 как A++.

Выводы по разделу. Для оценки мероприятий по повышению энергетической эффективности выполнен расчет потребляемой электрической энергии системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности. Значение потребляемой электрической энергии до реконструкции составило  $W_{\text{ВСОу.др}} = 18359,3 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$ , а после реконструкции с установкой светодиодных светильников  $W_{\text{ВСО.лр}} =$

11395,44 (кВт · ч). При определении потребляемой системой освещения электрической энергии учитывался двусменный режим работы предприятия.

Класс энергетической эффективности	$\Delta W_{\%}$
A+++	<1
A++	1,1 – 2,0
A+	2,1 – 3,0
A	3,1 – 4,0
B	4,1 – 5,0
C	5,1 – 6,0
D	>6,1

Рисунок 5 – Расчетный класс энергетической эффективности

Технической мероприятием по замене установок внутреннего освещения предприятия легкой промышленности позволит сэкономить  $\Delta W_{\text{BCO}} = 6963,86$  (кВт · ч) в год электрической энергии. Снижение годового потребления электроэнергии системой освещения составляет 37,9 %.

Для определения класса энергетической эффективности предприятия легкой промышленности после реконструкции выполнен расчет потребляемой в год электрической энергии и годовые потери электрической энергии в трансформаторах ТП. Потери в трансформаторах ТП составили  $\Delta W_{\text{ПЛП.}\%} = 1,69\%$  от общего потребления электрической энергии предприятием. Поэтому для предприятия принят класс энергетической эффективности A++.

## Заключение

Для достижения поставленной в рамках выполнения ВКР цели, повышение энергетической эффективности предприятия легкой промышленности за счет внедрения технических мероприятий. Решены все задачи, поставленные во введении.

Выполнен анализ предприятия легкой промышленности. Определен состав электроприемников, относящихся к технологическому циклу производства продукции. Представлена краткая характеристика выпускаемой продукции, к которой относятся различные виды специализированной одежды. Установлено, что предприятие легкой промышленности размещено в одном производственном корпусе. Питание предприятия осуществляется на напряжении 10 кВ от районной подстанции, которая расположена на расстоянии 1,2 км от предприятия. Определено, что на предприятии установлены и эксплуатируются однотипные установки внутреннего освещения – это светильники ЛПО (светильник люминесцентный потолочный для общественных зданий) с лампами типа ЛБ (лампа люминесцентная с излучением белого цвета). Общее число установок внутреннего освещения на предприятии 406 шт. Данный факт позволяет предложить, как одно из мероприятий по повышению энергетической эффективности замену светильников типа ЛПО на светодиодные светильники. Данное предприятие позволит снизить потребляемую и расчетную мощности предприятия. Подробнее мероприятие по замене светильников будет выполнено в разделе 2 ВКР. Для предприятия легкой промышленности одним из мероприятий по повышению его энергетической эффективности предложена замена установок внутреннего освещения типа ЛПО с лампами типа ЛБ на светодиодные светильники. Для этого выполнен расчет системы освещения для производственного корпуса предприятия легкой промышленности и выбраны соответствующие светодиодные светильники марки L-Industry-New, отечественного производителя, компании

«Ledel». Применение выбранных светильников на предприятии легкой промышленности позволило сократить число точек освещения с 406 шт. (при использовании светильников ЛПО), до 253 шт. Также уменьшилась мощность, потребляемая системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности. С учетом изменившейся мощности был выполнен расчет электрических нагрузок по предприятию, учитывающий все технологическое оборудование, участвующее в производстве продукции, а также изменившуюся нагрузку системы освещения. В результате расчета нагрузок получено, что значение расчетной мощности предприятия с учетом светодиодных установок внутреннего освещения составило:  $P_p = 123,6$  (кВт);  $Q_p = 149,6$  (квар);  $S_p = 195,6$  (кВА). Полученные значения расчетных мощностей будут использованы для выбора трансформаторов и установок компенсации реактивной мощности [22].

Для питания нагрузок предприятия легкой промышленности, значение которых определены в разделе 2 ВКР с учетом замены установок внутреннего освещения на светодиодные, выполнен расчет требуемой мощности трансформаторов на ТП предприятия. Определено, что в настоящее время на трансформаторной подстанции предприятия установлено два распределительных трансформатора марки ТМГ 160/10/0,4. Для данных трансформаторов представлены паспортные данные. Согласно выполненному расчету требуемой мощности трансформаторов на ТП после внедрения мероприятий по повышению энергетической эффективности получено расчетное значение требуемой мощности трансформатора равное  $S_{т.расч} = 98,5$  (кВА). Полученное значение мощности позволяет установить на ТП предприятия легкой промышленности трансформаторы с более низкой мощностью чем эксплуатируемые в настоящее время ТМГ 160/10/0,4, а именно трансформаторы марки ТСЛ 100/10/0,4. Предлагаемые трансформаторы являются энергосберегающими, т.е. имеют сниженное значение потерь мощности в режиме короткого замыкания и потерь мощности холостого хода. Выбранные трансформаторы марки ТСЛ

100/10/0,4 – это сухие трансформаторы с литой изоляцией производства Группа компаний «СВЭЛ» г. Екатеринбург. Кроме того, для предприятия легкой промышленности выбраны установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ. Данные установки имеют мощность 35 квар, а также возможность регулирования со ступенью 5 квар, общее число ступеней регулирования данных установок 7 шт. Выполнены данные установки компенсации реактивной мощности на напряжение 0.4 кВ. Для предприятия выбрано две установки АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ так как в ТП предприятия установлено два трансформатора, каждая установка подключается к одному трансформатору. Определена стоимость потерь в трансформаторах ТП предприятия легкой промышленности, которые по результатам расчета составили  $6,89 \left( \frac{\text{тыс.руб}}{\text{кВт}} \right)$ . Определено значение приведенных затрат на ТП предприятия легкой промышленности и на АУКРМ, устанавливаемые на ТП. Расчетное значение приведенных затрат составило  $Z_{\text{ТП}} = 115,4$  (тыс. руб.). Данное значение получено исходя из стоимости одного трансформатора марки ТСЛ 100/10/0,4  $K_{\text{T}} = 120,2$  (тыс. руб.), а стоимость одной установки АУКРМ 0,4-35-5-УХЛЗ  $K_{\text{КУ}} = 50,5$  (тыс. руб.).

Выполнено распределение всех технологических потребителей предприятия легкой промышленности по источникам питания. В качестве источников питания принято использовать силовые щитки (ЩС) и распределительную шину (ШР). Все источники подключаются к водному распределительному устройству (ВРУ), расположенному в производственном здании предприятия легкой промышленности. Согласно плану распределения нагрузок предприятия по источникам питания выполнен расчет мощности каждого источника питания. Эти данные необходимы для выбора кабелей и автоматических выключателей.

В связи с заменой трансформаторов на ТП предприятия легкой промышленности необходимо определить токи короткого замыкания, значения которых должны быть использованы для выбора и проверки



оборудования. Выполнен расчет трехфазных токов короткого замыкания в двух расчетных точках. Так как на предприятии легкой промышленности используется технологическое оборудования с электродвигателями, выполнен расчет значений ТКЗ с условием подпитки от асинхронного двигателя.

В результате расчетов получено, что ток короткого замыкания на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции (расчетная точка К1) составил  $I_{КЗ.К1} = 2820,57$  (А), а ток короткого замыкания на шинах вводного распределительного устройства (ВРУ) составил  $I_{КЗ.К2} = 1281,55$  (А). В результате расчета выполнена проверка выключателей, устанавливаемых в распределительной сети предприятия легкой промышленности после замены силовых трансформаторов. К установке приняты выключатели IEK 1п С/ 6А ВА 47-29, IEK 1п С/ 10А ВА 47-29, IEK 3п С/ 16А ВА 47-29, IEK 3п С/ 25А ВА 47-29, IEK 4п С/ 63А ВА 47-29, ВА-СЭЩ-АС, произведенные на территории РФ. Для выполнения учета потребляемой предприятием электрической энергии выбраны трансформаторы тока ТШЛ-СЭЩ, удовлетворяющие условию электродинамической стойкости токам короткого замыкания. Дополнительная проверка выбранного оборудования выполнена в разделе 6 ВКР.

Выбрано оборудование системы электроснабжения предприятия легкой промышленности. Выбраны кабели питающие все силовые щиты и оборудование, подключенное к ним, а также оборудование, подключенное к ШР. Преимущественно выбраны кабели марки ВВГнг различных сечений. Выбраны силовые щиты марки ЩРН-12з-1 и ВРУ типа НКУ-СЭЩ-М.

Для оценки мероприятий по повышению энергетической эффективности выполнен расчет потребляемой электрической энергии системой внутреннего освещения предприятия легкой промышленности. Значение потребляемой электрической энергии до реконструкции составило  $W_{\text{ВСОу,др}} = 18359,3$  (кВт · ч), а после реконструкции с установкой

светодиодных светильников  $W_{\text{BCO.пр}} = 11395,44$  (кВт · ч). При определении потребляемой системой освещения электрической энергии учитывался двусменный режим работы предприятия.

Технической мероприятием по замене установок внутреннего освещения предприятия легкой промышленности позволит сэкономить  $\Delta W_{\text{BCO}} = 6963,86$  (кВт · ч) в год электрической энергии. Снижение годового потребления электроэнергии системой освещения составляет 37,9 %.

Для определения класса энергетической эффективности предприятия легкой промышленности после реконструкции выполнен расчет потребляемой в год электрической энергии и годовые потери электрической энергии в трансформаторах ТП. Потери в трансформаторах ТП составили  $\Delta W_{\text{ПЛП.}\%} = 1,69\%$  от общего потребления электрической энергии предприятием. Поэтому для предприятия принят класс энергетической эффективности А++.

Таким образом цель ВКР достигнута, повышен класс энергетической эффективности предприятия легкой промышленности до А++. Установлено современное энергосберегающее оборудование и обеспечена возможность ежегодной экономии финансовых средств из фонда оплаты энергоресурсов. Что в целом должно благоприятно сказаться на качестве выпускаемой предприятием продукции и на конкурентоспособности продукции.

## Список используемой литературы

1. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. Пособие. Тольятти: ТГУ, 2006. 69 с.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: метод. указания по курсовому проектированию. Тольятти: ТГУ, 2008. 80 с.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. Пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 54 с.
4. ГОСТ 21.210-2014 Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения электрооборудования и электропроводок на планах. – М: Стандартиформ, 2015. – 16 с.
5. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Стандартиформ, 2006. – 45 с.
6. ГОСТ 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2007. – 45 с.
7. ГОСТ 53768-2010 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2012. – 22 с.
8. Зимин Л.С., Леоненко А.С. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 64 с.
9. Климова Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 180 с.

10. Ключкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.Н. Электроснабжение цеха: учебно-методическое пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. 144 с.
11. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. М : Ай Пи Ар Медиа, 2021. 44 с.
12. Нормы технологического проектирования. Проектирование осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутренне освещение. – М.: 1996. – 33 с.
13. Нормы технологического проектирования. Проектирование силовых электроустановок. – М.: 1996. – 21 с.
14. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. 1-я редакция. – М.: 1994. – 70 с.
15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Издательство «Омега-Л», 2016. – 262 с.
16. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.
17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. – М.: 1992. – 9 с.
18. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. – М.: 1992. – 32 с.
19. Bertoldi P. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting. Springer Cham. 2022. 498 P.
20. Blesl M., Kessler A. Energy Efficiency in Industry. Springer Berlin: Heidelberg. 2021. 481 P.
21. Panos K., Margarete K. The Power Supply Industry. Springer Cham. 2018. 374 P.

22. 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.

23. Vukosavic S.N. Electrical Machines. New York: Springer NY. 2013. 650 P.