

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Энергосбережение и энергоаудит
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение энергетической эффективности прессового производства

Обучающийся

Н.В. Устинов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

(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

Выполнен проект повышения энергетической эффективности прессового производства промышленного предприятия.

Выполнен анализ объекта выпускной квалификационной работы позволивший определить направления повышения энергетической эффективности. Для прессового производства предложено выполнить модернизацию системы внутреннего освещения для цехов, относящихся к прессовому производству, а также выполнить замену трансформаторов, установленных на цеховых трансформаторных подстанциях, питающих цеха прессового производства.

Для системы внутреннего освещения цехов прессового производства выбраны современные светодиодные светильники марки Ledel модель L-Industry Extreme 150 с эффективностью 130 Лм/Вт. Замена установок внутреннего освещения в цехах прессового производства позволило снизить общую мощность и выполнить выбор трансформаторов с более низкой номинальной мощностью и сниженными потерями холостого хода и короткого замыкания марки ТС(Л) производства ОАО «Группа СВЭЛ». Внедрение разработанных мероприятий позволит сэкономить порядка 7 млн. руб. в год на оплате потребленной электрической энергии.

Пояснительная записка выполнена на 77 листах формата А4, содержит 13 таблиц и 6 рисунков. Список используемой литературы содержит 21 источник, в том числе пять на английском языке.

Abstract

A graduation work was completed to improve the energy efficiency of the press production of an industrial enterprise.

The analysis of the object of the final qualifying work was carried out, which made it possible to determine the directions for increasing energy efficiency. For press production, it is proposed to upgrade the internal lighting system for workshops related to press production, as well as to replace transformers installed at workshop transformer substations that supply press production workshops.

For the interior lighting system of the press production workshops, modern LED lamps of the Ledel brand, model L-Industry Extreme 150, with an efficiency of 130 lm/W, were chosen. The replacement of indoor lighting installations in the press production workshops made it possible to reduce the total power and to select transformers with a lower rated power and reduced no-load and short circuit losses of the TS (L) brand manufactured by SVEL Group OJSC. The implementation of the developed measures will save about 7 million rubles. per year to pay for consumed electricity.

The explanatory note is made on 71 sheets of A4 format, contains 13 tables and 6 figures. The list of used literature contains 21 sources, including five in English.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта	7
2 Определение направлений повышения энергетической эффективности.....	15
3 Расчет электрических нагрузок сборочно-прессового цеха	17
4 Модернизация системы освещения прессового производства	33
4.1 Модернизация системы освещения цеха №4	33
4.2 Модернизация системы освещения цеха №10	44
5 Определение нагрузок по предприятию	48
6 Компенсация реактивной мощности.....	52
7 Выбор распределительных трансформаторов.....	55
8 Оценка энергетической эффективности разработанных мероприятий.....	60
Заключение	71
Список используемой литературы	75

Введение

Предприятия относятся к различным отраслям промышленности. В состав промышленных предприятий различных отраслей могут входить цеха с различными технологическими циклами. Кроме того, часть цехов могут совмещать в себе несколько технологических операций, так как состав цехов определяется с точки зрения оптимизации технологического процесса.

Проектирование оптимальных технологических процессов позволяет сокращать время выполнения технологических операций, увеличивать производительность, а также повышать качество производимой продукции. Однако, эффективность работы промышленных предприятий определяется не только оптимальными и эффективными технологическими процессами, а еще и эффективностью потребления электрической энергии [16].

Как и оптимизация технологических процессов, повышение энергетической эффективности систем электроснабжения промышленных предприятий оказывает эффект на стоимости производимой продукции, а также в определении углеродного следа, что не маловажно при выходе предприятия на международные рынки [4], [18].

Таким образом повышение энергетической эффективности промышленных предприятий — это комплексная задача, которая должна решаться на любом предприятии в течении всего срока его функционирования, так как скорость разработки нового энергоэффективного оборудования снижается, а требования по высокой энергетической эффективности повышается [1].

Исходя из вышесказанного, тема выпускной квалификационной работы (ВКР) связанной с повышением энергетической эффективности прессового производства промышленного предприятия является актуальной.

Объектом ВКР является – прессовое производство промышленного предприятия по производству электротехнической продукции.

Предметом ВКР является система электроснабжения прессового производства промышленного предприятия по производству электротехнического оборудования.

Целью выпускной квалификационной работы является снижение потребления электрической энергии прессовым производством.

Для достижения поставленной цели в ВКР поставлены следующие задачи:

- Провести анализ предприятия с прессовым производством, определить состав оборудования, а также определить направления повышения энергетической эффективности;
- Разработать перечень технических мероприятий способных повысить энергетическую эффективность прессового производства промышленного предприятия;
- Провести оценку разработанных мероприятий по повышению энергетической эффективности для прессового производства промышленного предприятия.

Для выполнения поставленных задач в рамках ВКР необходимо использовать современное отечественное оборудование с высокими показателями энергетической эффективности. В рамках ВКР будут разработаны только технические мероприятия по повышению энергетической эффективности требующие замены оборудования в системе электроснабжения прессового производства [2].

1 Характеристика объекта

Объектом ВКР является прессовое производство, входящее в состав предприятия по производству электротехнической продукции. Генеральный план предприятия представлен на рисунке 1. Наименование цехов предприятия представлены в таблице 1, также в таблице 1 представлены данные по номинальной (установленной) мощности каждого цеха предприятия. Для цеха №4 (сборочно-прессового цеха) данные нагрузок не представлены, так как для данного цеха расчет нагрузок будет выполнен подробно с разработкой энергоэффективных технических решений [19]. К прессовому производству предприятия относятся цеха №4 и №10. Однако, при разработке проекта по повышению энергетической эффективности прессового производства предприятия будут рассмотрены и другие цеха предприятия, что позволит существенно повысить энергетическую эффективность всего предприятия.

Таблица 1 - Данные цехов предприятия

Полное наименование цеха	Краткое название	Номинальная (установленная) мощность, кВт	Эффективное число электроприемников шт.
Сборочный корпус	Цех №1	6030	140
Ремонтно-механический цех	Цех №2	435	39
Сборочный цех №1	Цех №3	640	48
Сборочно-прессовый цех	Цех №4	–	–
Гальванический цех	Цех №5	5100	36
Деревообрабатывающий цех	Цех №6	441	25
Литейный цех	Цех №7	4091	127
Механический цех №1	Цех №8	2360	73
Обмоточный цех	Цех №9	1799	160
Штамповочный цех	Цех №10	2015	45
Механический цех №2	Цех №11	4760	50
Сборочный электроцех	Цех №12	1882	84
Автоматический цех	Цех №13	2814	187
Компрессорная	Цех №14	32	5
Склад №1	Цех №15/1	40	8
Корпус №1	Цех №16	730	51
Склад №2	Цех №15/2	10	7

Инструментальный цех	Цех №17	2053	37
----------------------	---------	------	----

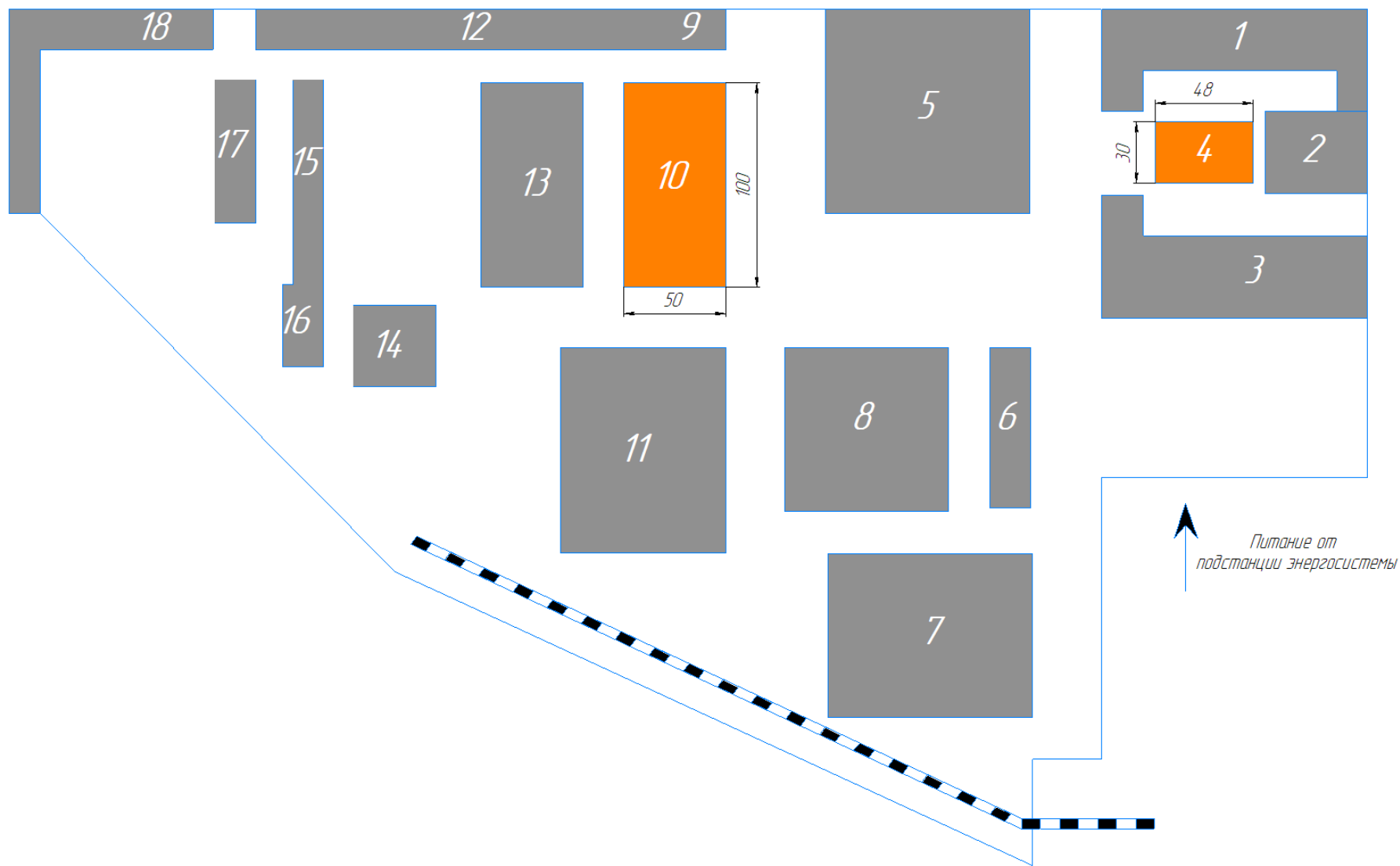


Рисунок 1 - Генеральный план предприятия

Внешнее электроснабжение всего предприятия происходит от подстанции энергосистемы, на напряжении 110 кВ. Подстанция энергосистемы расположена на расстоянии 14 км от предприятия. Режим работы предприятия – двухсменный.

Цех №4 (Сборочно-прессовый цех) оборудован различным оборудованием используемом в технологическом цикле сборки сварочных трансформаторов, производимых на предприятии. Перечень технологического оборудования и приемников цеха №4 представлены в таблице 2.

Основная категория надежности цеха № 4 – вторая, однако в цехе №4 и в остальных цехах присутствуют и потребители первой категории надежности, к которым относятся аварийное и эвакуационное освещение, а также противопожарные установки [6].

Таблица 2 - Данные технологического оборудования цеха №4

Наименование электроприёмника	Мощность одного электроприёмника, кВт	Число электроприёмников
Установка плазменной резки ПВ = 45%	13	1
Радиально-сверлильный станок	9,8	2
Токарный станок	21	3
Карусельно-фрезерный станок	8,2	5
Ковочный молот	14,3	1
Волочильный станок	10	1
Очистной барабан	15	9
Очистной барабан	7,5	2
Пресс кривошипный	14,2	1
Пресс одно-кривошипный	7,8	1
Фрезерный станок	8,8	1
Расточно-фрезерный станок	14,4	1
Токарно-фрезерный станок	12	1
Пресс одно-кривошипный	7,5	1
Горизонтально-фрезерный станок	6,5	3
Пресс 4-х кривошипный	55	1
Сушильная камера	14,2	1
Протяжно-вертикальный станок	15	1
Расточный станок	3	2
Сварочный полуавтомат	15	5
Горизонтально-фрезерный станок	30	1
Линия точной обработки валов	27	1

Основное освещение цеха №4 выполнено светильниками с лампами типа ДРЛ (дуговые ртутные люминофорные). Данные светильники имеют относительно хороший индекс цветопередачи и мощность светового потока на уровне 40000 Лм. Однако мощность данных светильников достаточно высока – 700 Вт. Высота подвеса светильников составляет 0,15 м, что обусловлено высотой производственного помещения – 8 м, а также видами работ, производимых в сборочно-прессовом цехе (цех №4). Цех №4 работает по двусменному графику – это значение необходимо для определения эффекта от модернизации системы освещения [8].

Определим текущую мощность системы внутреннего освещения цеха №4 (сборочно-прессового цеха) [9], [17] по выражению:

$$P_{осв} = P_{л} \cdot N_{общ} \cdot K_u \cdot K_{ПРА} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

где $P_{л}$ - мощность светильника, Вт;

$N_{общ}$ - число светильников, шт.;

K_u – коэффициент использования равный, примем равным 0,95;

$K_{ПРА}$ - коэффициент, учитывающий наличие в светильнике пускорегулирующей аппаратуры (ПРА), для светильников с лампами ДРЛ принимаем равным 1,1.

Используя выражение (1) получим:

$$P_{осв} = P_{л} \cdot N_{общ} \cdot K_u \cdot K_{ПРА} \cdot 10^{-3} = 700 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 43,89 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

Так как в установках внутреннего освещения цеха №4 установлены лампы типа ДРЛ с ПРА необходимо определить реактивную мощность системы освещения [12], [20]:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi \quad (3)$$

где $P_{осв}$ - активная мощность системы внутреннего освещения, кВт;

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности для светильников с лампами типа ДРЛ и ПРА.

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi = 43,89 \cdot 1,44 = 63,36 \text{ (квар)} \quad (4)$$

Значение полученное в (3) является очень высоким и требует применения технических мероприятий для компенсации реактивной мощности в системе освещения. Если не использовать данное мероприятие, то это приведет к использованию завышенных сечений проводников. Определим полную мощность системы освещения, используемой в цехе №4 в настоящее время по выражению:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{43,89^2 + 63,36^2} = 99,77 \text{ (кВА)} \quad (5)$$

Для второго цеха, относящегося к прессовому производству, а именно цех №10 Штамповочный цех отсутствуют подробные данные о системе освещения и данных по составу электроприемников, однако схожесть технологических процессов для цеха №4 и №10 позволяет утверждать, что в системе внутреннего освещения цеха №10 использованы аналогичные светильники, а именно светильники с лампами ДРЛ и ПРА. Принимая во внимание этот факт то для определения мощности системы освещения цеха №10 сначала определим удельную мощность системы освещения для цеха №4:

$$P_{осв.уд} = \frac{P_{осв.}}{S_{ц.№4}} = \frac{43,89}{48 \cdot 30} = 0,03 \text{ (кВт/м}^2\text{)} \quad (6)$$

где $P_{осв.}$ - активная мощность системы освещения, кВт;

$S_{ц.№4}$ - площадь цеха №4 сборочно-прессового цеха, определяется согласно генеральному плану предприятия, рисунок 1, м².

Используя значение полученное в (6) определим мощность системы освещения цеха №10:

$$P_{осв.10} = P_{осв.уд} \cdot S_{ц.№10} = 0,03 \cdot (50 \cdot 100) = 150 \text{ (кВт)} \quad (7)$$

По значению полученному в (7) определим число светильников в цехе №10:

$$N_{св.10} = \frac{P_{осв.10}}{P_{л}} = \frac{150}{0,7} = 214,38 \approx 214 \text{ (шт.)} \quad (8)$$

Таким образом принимаем, что в системе внутреннего освещения цеха №10 установлено 214 светильников с лампами ДРЛ и ПРА мощностью 700 Вт.

Так как для предприятия задан список цехов с установленными (номинальными мощностями), которые включают в себя и мощность системы освещения, то необходимо определить мощность цеха № 10 без системы освещения:

$$P_{уст.ц10,б/о} = P_{уст.ц10} - P_{осв.10} = 2015 - 150 = 1865 \text{ (кВт)} \quad (9)$$

Выводы по разделу. Определен объект ВКР – прессовое производство предприятия по производству электротехнического оборудования. Определены установленные (номинальные) мощности цехов предприятия. Составлен генеральный план предприятия. Получены данные о возможности внешнего электроснабжения предприятия по производству электротехнической продукции. Так как в составе предприятия находится

несколько цехов, относящихся к прессовому производству, будет подробно рассмотрен один из цехов, а именно цех №4.

2 Определение направлений повышения энергетической эффективности

В данном разделе, после проведенного анализа объекта ВКР в разделе 1 необходимо определить направления повышения энергетической эффективности прессового производства.

Для повышения энергетической эффективности могут использоваться как технические, так и организационные мероприятия. Однако, организационные мероприятия не дают столь значительного эффекта от внедрения и не способны существенно повысить энергетическую эффективность производства долгое время. Поэтому в ВКР предлагается разработать только технические мероприятия.

К основным техническим мероприятиям, которые могут существенно повысить энергетическую эффективность промышленных производств является:

- модернизация системы освещения;
- замена основного технологического оборудования на более современное;
- замена трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций на современные, имеющие пониженные значения потерь;
- повышение номинального напряжения внутриводской системы электроснабжения.

Все перечисленные технические мероприятия требуют серьезных финансовых затрат, поэтому предлагается в работе сделать упор на наименее затратных мероприятиях, таких как модернизация системы освещения, а также замена трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций на современные, имеющие пониженные значения потерь [10], [11], [17], [18].

Кроме повышения энергетической эффективности, данные мероприятия позволят улучшить условия труда в цехах прессового

производства, повысить безопасность персонала прессового производства, повысить надежность электроснабжения цехов прессового производства.

Полученные значения мощности системы внутреннего освещения, говорит необходимости ее реконструкции. Это мероприятие позволит существенно повысить эффективность системы освещения, так как показатель эффективности для светильников с лампами ДРЛ существенно ниже, чем светодиодных светильников.

Определение коэффициента эффективности светильника выполняется по выражению:

$$K_{\text{эфф.св}} = \frac{\Phi_{\text{св}}}{P_{\text{св}}} \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{св}}$ - номинальное значение светового потока для светильника, Лм;

$P_{\text{св}}$ - номинальная мощность светильника, Вт.

Для светильников установленных в настоящее время получим по выражению (10):

$$K_{\text{эфф.св.ДРЛ}} = \frac{\Phi_{\text{св}}}{P_{\text{св}}} = \frac{40000}{700} = 57,14 \quad (1)$$

Выводы по разделу. Для повышения энергетической эффективности прессового производства предложено внедрять только технические мероприятия, так как они оказывают максимально возможное повышение энергетической эффективности в отличие от организационных. Для светильников, используемых в системе внутреннего освещения определен коэффициент эффективности равный 57,14.

3 Расчет электрических нагрузок сборочно-прессового цеха

Расчет нагрузок сборочно-прессового цеха (цех №4) использован метод коэффициента максимума. При использовании метода коэффициента максимума на первом этапе необходимо распределить все электроприемники по группам [5], [12]. Выполним распределение всех электроприемников сборочно-прессового цеха (цех №4) по группам, группировку выполним в итоговой таблице 3 совмещенной со всеми расчетами нагрузок сборочно-прессового цеха предприятия [9].

Рассмотрим методику расчета нагрузок, а также выполним расчет на примере отдельных электроприемников [3], [4].

Для группы однотипных электроприемников номинальная мощность определяется выражением:

$$P_{ном.гр.i} = n_i \cdot P_{ном.i} \quad (1)$$

2)

где i - номер группы электроприемников;

n – число однотипных электроприемников в группе, шт.;

$P_{ном.i}$ - номинальная мощность одного однотипного электроприемника в группе, кВт.

Используя (12) для группы номер 18, группы токарных станков, определим мощность группы:

$$P_{ном.гр.18} = n_{18} \cdot P_{ном.18} = 21 \cdot 3 = 63 \text{ (кВт)} \quad (1)$$

3)

Для группы 18 коэффициент использования равен $K_{и.18} = 0,14$, коэффициент активной мощности равен $\cos \varphi_{18} = 0,5$, коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi_{18} = 1,73$.

Среднесменная активная мощность группы однотипных электроприемников определяется по выражению:

$$P_{см.i} = P_{ном.гр.i} \cdot K_{у.i} \quad (1)$$

4)

где i - номер группы электроприемников;

$P_{ном.гр.i}$ - мощность i -й группы электроприемников, кВт;

$K_{у.i}$ - коэффициент использования i -й группы электроприемников.

Используя выражение (14) для группы однотипных электроприемников №12 получим:

$$P_{см.12} = P_{ном.гр.12} \cdot K_{у.12} = 63,0,14 = 8,82 \text{ (кВт)} \quad (1)$$

5)

Среднесменная реактивная мощность группы однотипных электроприемников определяется по выражению:

$$Q_{см.i} = P_{см.i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad (1)$$

6)

где i - номер группы электроприемников;

$P_{см.i}$ - среднесменная активная мощность i -й группы однотипных электроприемников определяется выражением (14), кВт;

$\operatorname{tg} \varphi_i$ - коэффициент реактивной мощности для i -й группы однотипных электроприемников.

Используя выражение (16) для группы электроприемников №18 получим:

$$Q_{см.18} = P_{см.18} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{18} = 8,82 \cdot 1,73 = 15,259 \text{ (квар)} \quad (1)$$

7)

Для всех остальных групп электроприемников сборочно-прессового цеха расчет выполняется по методике представленной выражениями (12), (14), (16), аналогично группе 18.

Рассмотрим методику расчета для распределительного шинпровода и выполним расчет на примере распределительного шинпровода ШРА1.

Число электроприемников на шинпроводе определяется выражением:

$$n_{шра.i} = \sum_{j=1}^m n_j \quad (1)$$

8)

где i - номер шинпровода;

m - число электроприемников подключенных к шинпроводе, шт;

n_j - число электроприемников типа j , шт;

j - число однотипных электроприемников, шт;

Используя выражение (18) определим число электроприемников, подключенных к первому распределительному шинпроводу ШРА 1:

$$n_{шра1} = \sum_{j=1}^3 n_j = 3 + 5 + 1 = 9 \text{ (шт.)} \quad (1)$$

9)

Номинальная мощность групп электроприемников, подключенных к распределительному шинпроводе, определяется выражением:

$$P_{ном.шра.i} = \sum_{j=1}^n P_{ном.гп.j} \quad (2)$$

0)

где i - номер шинпровода;

j - число групп однотипных электроприемников подключенных к i -у шинопроводу, шт;

$P_{ном.гр.j}$ - номинальная мощность j -й группы однотипных электроприемников, подключенных к распределительному шинопроводу, кВт.

Используя выражение (20) для распределительного шинопровода ШРА1 сборочно-прессового цеха получим:

$$P_{ном.шра1} = \sum_{j=1}^3 P_{ном.гр.j} = 63 + 41 + 27 = 131 \text{ (кВт)} \quad (21)$$

Среднесменная активная нагрузка для распределительного шинопровода определяется выражением:

$$P_{см.шра.i} = \sum_{j=1}^n P_{см.j} \quad (2)$$

где i - номер шинопровода;

j - число групп однотипных электроприемников подключенных к i -у шинопроводу, шт;

$P_{см.j}$ - среднесменная нагрузка j -й группы однотипных электроприемников, кВт.

Для распределительного шинопровода ШРА1 по выражению (22) получим:

$$P_{см.шра.1} = \sum_{j=1}^{n=3} P_{см.j} = 8,82 + 5,74 + 3,78 = 18,34 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

3)

Среднесменная реактивная мощность для распределительного шинопровода определяется выражением:

$$Q_{см.шра.i} = \sum_{j=1}^n Q_{см.j} \quad (2)$$

где i - номер шинопровода;

j - число групп однотипных электроприемников подключенных к i -у шинопроводу, шт;

$P_{см.j}$ - среднесменная реактивная нагрузка j -й группы однотипных электроприемников, квар.

Для распределительного шинопровода ШРА1 определим среднесменную реактивную нагрузку используя выражение (24):

$$Q_{см.шра.i} = \sum_{j=1}^{n=3} Q_{см.j} = 15,259 + 9,93 + 6,54 = 31,729 \text{ (квар)} \quad (2)$$

Для группы электроприемников необходимо определить значение модуля силовой сборки по выражению:

$$m = \frac{P_{ном.макс.i}}{P_{ном.мин.i}} \quad (2)$$

где i - номер группы электроприемников;

$P_{ном.макс.i}$ - наибольшее значение номинальной мощности электроприемника i -й группы, кВт;

$P_{ном.мин.i}$ - наименьшее значение номинальной мощности электроприемника i -й группы, кВт.

Модуль силовой сборки для группы электроприемников 18 и приемников, подключенных к распределительному шинопроводу ШРА1 по (26) равен:

$$m = \frac{P_{ном.макс.i}}{P_{ном.мин.i}} = \frac{27}{8,2} = 3,293 \quad (2)$$

7)

Далее необходимо определить среднее значение коэффициента использования для электроприемников, подключенных к распределительному шинопроводу по выражению:

$$K_{и.шра.n} = \frac{P_{см.шра.n}}{P_{ном.шра.n}} \quad (28)$$

где n - номер шинопровода для которого определяется коэффициент использования;

$P_{см.шра.n}$ - расчетное значение среднесменной мощности подключенных к n -му шинопроводу электроприемников, кВт;

$P_{ном.шра.n}$ - номинальная мощность электроприемников подключенных к n -му шинопроводу, кВт.

Расчетное значение среднего коэффициента реактивной мощности для шинопровода определяется по выражению:

$$tg\varphi_{шра.n} = \frac{Q_{см.шра.n}}{P_{см.шра.n}} \quad (2)$$

9)

где n - номер шинопровода для которого определяется коэффициент использования;

$Q_{см.шра.n}$ - расчетное значение среднесменной реактивной мощности для электроприемников подключенных к n -му шинопроводу, квар;

$P_{см.шра.n}$ - расчетное значение среднесменной мощности подключенных к n -му шинопроводу электроприемников, кВт.

По (29) для распределительного шинопровода ШРА1 получим:

$$tg \varphi_{шра.1} = \frac{Q_{см.шра.1}}{P_{см.шра.1}} = \frac{31,729}{18,34} = 1,73 \quad (30)$$

Для значения коэффициента реактивной мощности, определенного в выражении (30) необходимо определить соответствующий коэффициент активной мощности по выражению:

$$\cos \varphi = \cos(\arctg(tg \varphi)) = \cos(\arctg(1,73)) = 0,5 \quad (31)$$

По значению полученному в (31) среднее значение коэффициента активной мощности для распределительного шинопровода ШРА1 равен 0,5.

Максимальная активная мощность для группы электроприемников, подключенных к одному источнику питания определяется выражением:

$$P_{макс.шра.n} = P_{см.шра.n} \cdot K_{макс.шра.n} \quad (32)$$

где n - номер распределительного шинопровода;

$P_{см.шра.n}$ - расчетное значение среднесменной активной мощности n -го шинопровода, полученное по выражению (22), кВт;

$K_{макс.шра.n}$ - коэффициент максимума для n -го шинопровода определяемый по справочным таблицам исходя из эффективного числа электроприемников.

Используя выражение (32), и приняв значение коэффициента максимума для распределительного шинпровода ШРА1 $K_{\text{макс.шра.1}} = 2,64$, найдем максимальную мощность:

$$P_{\text{макс.шра.n}} = P_{\text{см.шра.n}} \cdot K_{\text{макс.шра.n}} = 18,34 \cdot 2,64 = 48,418 \text{ (кВт)} \quad (3)$$

3)

Максимальная реактивная мощность для электроприемников, подключенных к одному источнику питания определяется исходя из эффективного числа электроприемников.

Если эффективное число электроприемников меньше 10 шт., то максимальная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{макс.шра.n}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см.шра.n}} \quad (3)$$

4)

где n - номер распределительного шинпровода;

$Q_{\text{см.шра.n}}$ - среднесменная реактивная мощность, определенная по выражению (24), квар.

Так как для распределительного шинпровода ШРА1 эффективное число электроприемников равно 6, то по выражению (34) получим:

$$Q_{\text{макс.шра.1}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см.шра.1}} = 1,1 \cdot 31,729 = 34,9 \text{ (квар)} \quad (3)$$

5)

Расчетное значение максимальной полной мощности для источника питания (распределительного шинпровода) определяется по выражению:

$$S_{\text{макс.шра.n}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра.n}}^2 + Q_{\text{макс.шра.n}}^2} \quad (3)$$

6)

где n - номер распределительного шинпровода;

$P_{\text{макс.шра.}n}$ - максимальная активная мощность для n -го шинпровода, определяемая выражением (32), кВт;

$Q_{\text{макс.шра.}n}$ - максимальная реактивная мощность для n -го шинпровода, определяемая выражением (34), квар.

Используя выражение (36), а также значения полученные в выражениях (33) и (35) определим полную мощность для распределительного шинпровода ШРА1:

$$S_{\text{макс.шра1}} = \sqrt{48,418^2 + 34,902^2} = 59,686 \text{ (кВА)} \quad (37)$$

Расчетное значение максимального тока для распределительного шинпровода определяется по выражению:

$$I_{\text{макс.шра.}n} = \frac{S_{\text{макс.шра.}n}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (38)$$

где n - номер распределительного шинпровода;

$S_{\text{макс.шра.}n}$ - расчетное значение максимальной полной мощности для n -го шинпровода, определяемая выражением (36), кВА;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение n -го шинпровода, кВ.

Используя (38) определим максимальный расчетный ток для распределительного шинпровода ШРА1 используя значение, полученное в выражении (37):

$$I_{\text{макс.шра1}} = \frac{59686}{\sqrt{3} \cdot 380} = 91 \text{ (A)} \quad (39)$$

Согласно распределению потребителей сборочно-прессового цеха (цех 4), используется четыре распределительных шинопровода. Используя методику представленную выражениями (12) - (39), аналогично расчетам для распределительного шинопровода ШРА1 выполним расчет для распределительных шинопроводов ШРА2 – ШРА5, а также для распределительного пункта (ПР1) в таблице 3.

Для цеха №4 предлагается использовать магистральный шинопровод ШМА1. Так как к магистральному шинопроводу подключаются распределительные шинопроводы и не подключаются отдельные электроприемники, то расчет выполняется аналогично расчетам для распределительного шинопровода. При этом используются расчетные данные нагрузок ШРА1 – ШРА5. Все расчеты также выполним в таблице 3.

Выводы по разделу. Для сборочно-прессового цеха относящегося к прессовому производству предприятия, а также учитывая оборудование, используемое в технологическом процессе выполнен расчет электрических нагрузок.

Для выполнения расчета электрических нагрузок все электроприемники были распределены по источникам питания, к которым относятся распределительные шинопроводы ШРА1-ШРА5, а также распределительный пункт ПР1. Для питания распределительных шинопроводов ШРА1-ШРА5 и ПР1 используется магистральный шинопровод ШМА1.

Представлена методика расчета электрических нагрузок для сборочно-прессового цеха и определены значения полной расчетной мощности, активной расчетной мощности и реактивной расчетной мощности как по ШРА1-ШРА5, так и по ПР1 и ШМА1. Для сборочно-прессового цеха расчетная активная мощность составила 186,038 кВт, расчетная реактивная мощность составила 170,18 квар, а расчетная полная мощность 252,133 кВА.

Далее эти значения будут использованы для выбора трансформаторов на цеховой трансформаторной подстанции сборочно-прессового цеха

совместно с результатами расчета мощности модернизированной системы освещения производственного помещения цеха №4.

Таблица 3 - Ведомость электрических нагрузок сборочно-прессового цеха

Наименование источника	Обозначение позиции	n , шт.	$P_{\text{ном}}$, кВт	$P_{\text{ном}}$, кВт	m	K_u	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg } \varphi}$	$P_{\text{см}}$, кВт	$Q_{\text{см}}$, квар	n_{Σ} , шт.	K_M	$P_{\text{макс}}$, кВт	$Q_{\text{макс}}$, квар	$S_{\text{макс}}$, кВА	$I_{\text{макс}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШРА1	19	3	21	63	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	8,82	15,259	–	–	–	–	–	–
	40	5	8,2	41	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	5,74	9,93	–	–	–	–	–	–
	20	1	27	27	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	3,78	6,54	–	–	–	–	–	–
Итого по ШРА1		9	–	131	3,293	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	18,34	31,729	6	$\frac{2,6}{4}$	48,418	34,902	$\frac{59,68}{6}$	91
ШРА2	21	1	14,3	14,3	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	2,86	3,3176	–	–	–	–	–	–
	22	1	10	10	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	2	2,32	–	–	–	–	–	–
	23	4	15	60	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	12	13,92	–	–	–	–	–	–
	39	1	7,5	7,5	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	1,5	1,74	–	–	–	–	–	–

	22	1	30	30	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	4,2	7,266	–	–	–	–	–	–
Итого по ШРА2		8	–	121,8	4	$\frac{0,18}{5}$	$\frac{0,62}{1,266}$	22,56	$\frac{28,563}{6}$	7	2,1	47,376	31,42	$\frac{56,84}{8}$	86

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ШРА3	23	5	15	75	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	15	17,4	–	–	–	–	–	–
	24	1	7,5	7,5	–	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	1,5	1,74	–	–	–	–	–	–
	25	1	14,2	14,2	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	2,414	2,8	–	–	–	–	–	–
Итого по ШРА3		7	-	96,7	2	0,2	$\frac{0,65}{1,16}$	18,914	21,94	7	2,1	39,711	24,134	46,47	71
ШРА4	26	1	7,8	7,8	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	1,326	1,538	–	–	–	–	–	–
	27	1	8,8	8,8	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	1,232	2,134	–	–	–	–	–	–
	28	1	14,4	14,4	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,016	3,492	–	–	–	–	–	–

	29	1	12	12	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	1,68	2,91	–	–	–	–	–	–
	6	1	7,5	7,5	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	1,275	1,479	–	–	–	–	–	–
Итого по ШРА-4		5	-	50,5	1,92	0,15	$\frac{0,546}{1,535}$	7,529	11,553	–	–	45,45	12,708	$47,19$ 3	72
ПР-1	30	2	9,8	19,6	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,744	4,753	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ПП-1	36	3	6,5	19,5	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,73	4,728	–	–	–	–	–	–
	37	1	15	15	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	2,1	3,637	–	–	–	–	–	–
	2	2	3	6	–	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	0,84	1,455	–	–	–	–	–	–
Итого по ПП-1		8	–	60,1	5	0,14	$\frac{0,5}{1,732}$	8,414	14,573	7	$\frac{2,4}{8}$	20,867	16,03	$\frac{26,31}{4}$	40
ШРА5	31	1	$\frac{5,232}{13}$	5,232	–	0,25	$\frac{0,6}{1,333}$	1,308	1,744	–	–	–	–	–	–
	32	1	55	55	–	0,17	$\frac{0,65}{1,16}$	9,35	10,846	–	–	–	–	–	–
	38	1	14,2	14,2	–	0,8	$\frac{0,95}{0,329}$	11,36	3,737	–	–	–	–	–	–
	39	5	15	75	–	0,35	$\frac{0,5}{1,732}$	26,25	45,465	–	–	–	–	–	–
Итого по ШРА5		16	–	209,532	$\frac{18,33}{3}$	$\frac{0,27}{1}$	$\frac{0,6}{1,347}$	56,682	76,365	8	$\frac{1,7}{2}$	97,493	84,002	$\frac{128,6}{9}$	196

Итого по ШМА1	45	–	609,532	18,33 3	0,20 4	$\frac{0,59}{1,372}$	124,025	170,18	22	1,5	186,038	170,18	252,1 33	383
---------------	----	---	---------	------------	-----------	----------------------	---------	--------	----	-----	---------	--------	-------------	-----

4 Модернизация системы освещения прессового производства

Как было определено в разделе 2 ВКР, одним из мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности, является использование современных установок внутреннего освещения [2], [18].

4.1 Модернизация системы освещения цеха №4

Для выполнения данного мероприятия выполним светотехнический расчет системы внутреннего освещения цеха №4, а также выполним расчет мощности системы освещения цеха №4, так как это необходимо для выбора оптимальной мощности трансформаторов цеховых подстанций.

Высота подвеса установки внутреннего освещения для цеха №4 определяется исходя из высоты помещения по выражению [13]:

$$H_p = H - (h_p + h_c) \quad (4)$$

где H - высота производственного помещения сборочно-прессового цеха (цех №4), м;

h_p - высота рабочей поверхности, для цеха №4 принимаем равным 0,8 м;

h_c - высота подвеса светильника, м.

Используя выражение (40) определим для сборочно-прессового цеха:

$$H_p = H - (h_p + h_c) = 8,5 - (0,8 + 1,7) = 6 \text{ (м)} \quad (4)$$

Используя значение полученное в (40) необходимо определить значение расчетного расстояния между рядами установок внутреннего освещения:

$$L_A = H_p \cdot \lambda = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ (м)} \quad (4)$$

2)

Определим расстояние от крайнего ряда светильников до стены цеха:

$$l_A = 0,5 \cdot L_A = 0,5 \cdot 4,8 = 2,4 \text{ (м)} \quad (43)$$

Число рядов светильников по ширине цеха учитывая, что ширина цеха $A = 48$ (м):

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L_A} + 1 = \frac{48 - 2 \cdot 2,4}{4,8} + 1 = 10 \text{ (шт.)} \quad (44)$$

Определим расстояние между рядами светильников по выражению:

$$L_B = H_p \cdot \lambda = 6 \cdot 0,833 = 5 \text{ (м)} \quad (4)$$

5)

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены по ширине:

$$l_B = 0,5 \cdot L_B = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ (м)} \quad (4)$$

6)

Число рядов светильников по длине цеха:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1 = \frac{30 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 6 \text{ (шт)} \quad (4)$$

7)

Определим общее число светильников для цеха №4:

$$N_{\text{общ}} = N_A \cdot N_B = 10 \cdot 6 = 60 \text{ (шт.)} \quad (4)$$

8)

Расчётное значение светового потока одного светильника определим по выражению:

$$\Phi_{\text{р.}} = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta} \quad (4) \quad (9)$$

где A - ширина цеха по плану, для сборочно-прессового цеха принято 48 м;

B - длина цеха по плану, для сборочно-прессового цеха принято 30 м;

E - нормированное значение освещенности, для сборочно-прессового цеха принимаем 300 лк;

K_3 - коэффициент запаса, учитывающий загрязненность воздуха в помещении, для сборочно-прессового цеха примем равным 1,4, так как запыленность воздуха в цехе №4 менее 1 мг/м³;

Z - коэффициент, учитывающий усредненное значение распределения освещенности, зависит от типа выбираемого светильника, принимаем равным 1,1;

$N_{\text{общ}}$ - общее число светильников для рассматриваемого сборочно-прессового цеха, шт.;

η - коэффициент использования светового потока, зависит от типа выбираемого светильника, а именно кривой силы света (КСС).

Для определения расчетного значения светового потока светильника устанавливаемого в здании сборочно-прессового цеха необходимо выбрать тип светильника.

Наибольшую энергетическую эффективность имеют светильники, выполненные на базе современных светодиодов. Так как значение коэффициента эффективности для светильников, установленных в цехе №4 в настоящее время составляет 57,14 необходимо сравнить выбранные светильники по этому критерию тоже. Определим тип светодиодного светильника и его параметры. Для выбора светильника определим тип КСС. Выбор типа КСС производится исходя из высоты производственного помещения. Для производственных помещений рекомендуется использовать КСС типа К (концентрированная), Д (косинусная) или Г (глубокая), все указанные типы КСС изображены на рисунке 2.

Для выбора оптимальной КСС для производственного помещения определим индекс помещения по выражению:

$$i = \frac{A \cdot B}{H \cdot (A + B)} = \frac{48 \cdot 30}{8 \cdot (48 + 30)} = 2,3 \quad (50)$$

Рассмотрим вариант установки светильников с КСС типа Д (косинусная). Для данного светильника определим расчетное значение светового потока учитывая, что $\eta = 0,64$, тогда по выражению (49) получим:

$$\Phi_p = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_z \cdot Z}{N_{\text{общ}} \cdot \eta} = \frac{48 \cdot 30 \cdot 300 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,64} = 17325 \text{ (Лм)} \quad (51)$$

По расчетному значению светового потока полученному в выражении (51), типу КСС – Д выберем светильник марки Ledel L-Industry Extreme 150 Вт. Световой поток светильника равен 19500 Лм.

Необходимо проверить освещенность в помещении цеха №4 при использовании выбранных светильников. Для этого определим расчетное значение освещенности при использовании данных светильников по выражению:

$$E_{p.} = \frac{\Phi_{LED} \cdot E}{\Phi_{p.}} = \frac{19500 \cdot 300}{17325} = 337,66 \text{ (Лк)} \quad (5)$$

2)

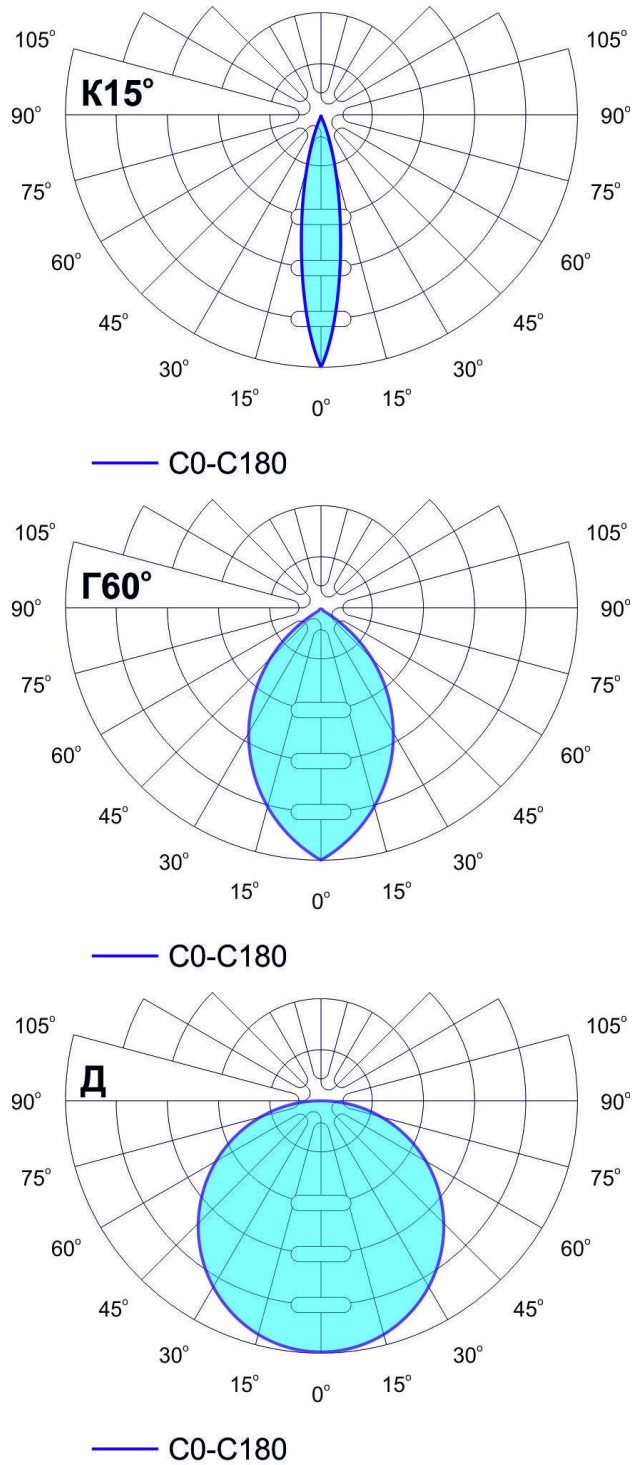


Рисунок 2 - Виды КСС для производственных помещений

По значению полученному в (52) определим относительное отклонение нормируемой освещенности от расчетной:

$$\Delta E = \left(1 - \frac{E}{E_p}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{300}{337,66}\right) \cdot 100 = 11,15 \text{ (\%)} \quad (5)$$

3)

Расчетная освещенность превышает нормируемую на 11,15%. По расчетным значениям предлагается принять к установке данные светильники Ledel L-Industry Extreme 150 в количестве 60 шт. Составим план расположения осветительных точек на плане сборочно-прессового цеха.

Далее необходимо определить нагрузки энергоэффективной системы внутреннего освещения для сборочно-прессового цеха (цех №4).

Активная мощность энергоэффективной системы внутреннего освещения с применением светодиодных светильников определяется аналогично выражению (2) без учета коэффициента пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) [14]:

$$P_{осв} = P_l \cdot N_{общ} \cdot K_u \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

4)

где P_l - мощность светильника, Вт;

$N_{общ}$ - число светильников, шт.;

K_u – коэффициент использования равный, примем равным 0,95.

$$P_{осв} = P_l \cdot N_{общ} \cdot K_u = 150 \cdot 60 \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} = 8,85 \text{ (кВт)} \quad (5)$$

5)

Реактивная мощность энергоэффективной системы внутреннего освещения:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi \quad (5)$$

6)

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности для выбранных светильников L-Industry Extreme 150 принимается 0,32.

Используя выражение (56) получим:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi = 8,85 \cdot 0,32 = 2,9 \text{ (квар)} \quad (57)$$

Тогда по значениям полученным в (56) и (57) определим полную мощность для энергоэффективной системы внутреннего освещения цеха №4:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{8,85^2 + 2,9^2} = 9,3 \text{ (кВА)} \quad (5)$$

8)

Выполним сравнение показателей для системы освещения до и после повышения энергетических мероприятий.

Определим значение коэффициента эффективности для выбранных светодиодных светильников по выражению (10):

$$K_{эфф.св.LED} = \frac{\Phi_{св}}{P_{св}} = \frac{19500}{150} = 130 \text{ (Лм/Вт)} \quad (5)$$

9)

Сравнивая значения, полученные в выражении (10) и (59) определим относительное превышение коэффициента эффективности:

$$\Delta K_{эфф.св} = \left(1 - \frac{K_{эфф.св.ДРЛ}}{K_{эфф.св.LED}} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{57,14}{130} \right) \cdot 100 = 56 \text{ (\%)} \quad (6)$$

0)

Таким образом получаем, что эффективность светильников выше на 56% по сравнению с используемыми в системе внутреннего освещения цеха №4.

Составим схему расположения установок внутреннего освещения на плане сборочно-прессового цеха, показанного на рисунке 3, все расстояния указаны в метрах

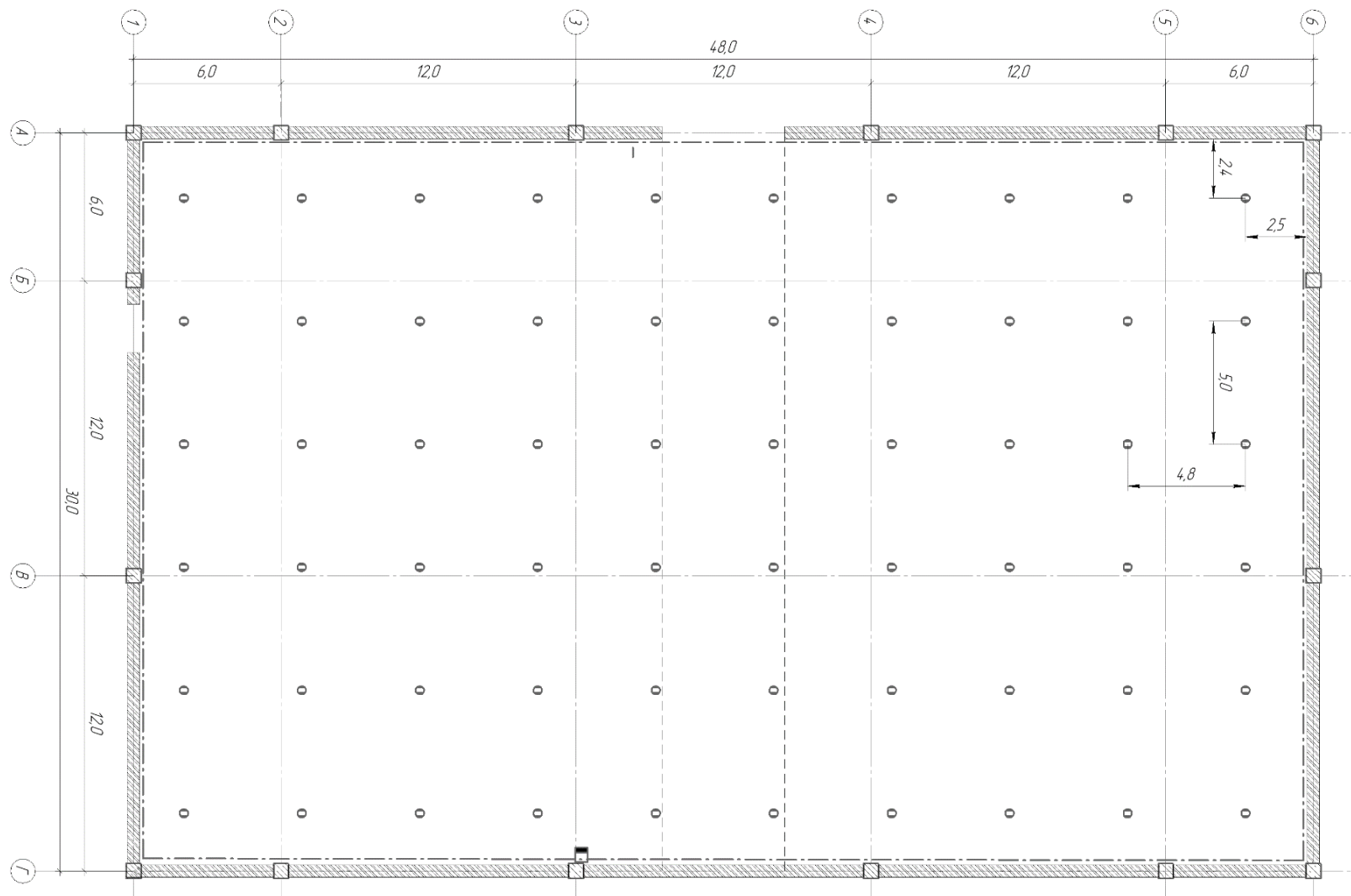


Рисунок 3 - План расположения светильников сборочно-прессового цеха

Определим расчетное значение максимального тока для системы освещения после модернизации [5]:

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (6) \quad 1)$$

где $S_{осв}$ - полная мощность системы освещения после модернизации, определено в выражении (58), кВА;

$K_{пуск}$ - коэффициент, учитывающий возрастание тока в питающих линиях при включении системы внутреннего освещения, принимаем равным 1,2;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение системы внутреннего освещения, принимаем равным 0,22 кВ.

Тогда по выражению (61) для модернизированной системы освещения получим:

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{8,85 \cdot 1,2}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 27,87 \text{ (A)} \quad (6) \quad 2)$$

Для модернизированной системы освещения выберем аппараты защиты, для этого определим номинальный ток теплового расцепителя по выражению:

$$I_{т.р.осв.} = 1,15 \cdot I_{осв} = 1,15 \cdot 27,87 = 32 \text{ (A)} \quad (6) \quad 3)$$

Определим значения пускового тока системы внутреннего освещения здания цеха №4 для выбора оптимальных параметров защитных коммутационных аппаратов.

Несмотря на то, что светодиодные светильники имеют сравнительно низкую мощность, при включении большого числа осветительных установок может произойти отключение автоматического выключателя, так как в момент включения появляются высокие значения пусковых токов, обусловленные зарядкой электролитического конденсатора входящего в состав драйвера светодиодного светильника, а также тем, что через холодный закрытый светодиод проходит ток. Производители внутреннего осветительного оборудования определяют пусковой ток на уровне 100% от номинального, однако продолжительность этого тока не продолжительна и может быть снижена до минимального значения за счет использования специализированного оборудования, например импульсных реле типа РИО-1 или РИО-2 для синхронизации момента включения системы освещения при прохождении синусоиды через 0. Таким образом, определим пусковой ток системы освещения по выражению [7]:

$$I_{\text{пуск.осв.}} = I_{\text{осв.}} \cdot K_n \quad (6)$$

4)

где K_n - кратность пускового тока для системы освещения примем равным 2.

Тогда по выражению (64) для модернизированной системы освещения получим:

$$I_{\text{пуск.осв.}} = I_{\text{осв.}} \cdot K_n = 27,87 \cdot 2 = 55,74 \text{ (A)} \quad (6)$$

5)

Для аппаратов защиты и коммутации системы внутреннего освещения необходимо дополнительно определить ток электромагнитного расцепителя по выражению:

$$I_{\text{эпр.осв.}} = I_{\text{пуск.осв.}} \cdot 1,25 = 55,74 \cdot 1,25 = 69,67 \text{ (А)} \quad (6)$$

6)

По значениям, полученным в выражениях (63), (65) и (66) Выбран автоматический выключатель типа ВА-51-35М1-34.

Определим активную мощность цеха №4 с учетом модернизированной системы внутреннего освещения:

$$P_{P.ц10} = P_{\text{осв.}} + P_{M.ц10} = 186,038 + 8,85 = 194,888 \text{ (кВт)} \quad (6)$$

7)

4.2 Модернизация системы освещения цеха №10

Как было определено ранее, в разделе 1 ВКР, в системе внутреннего освещения цеха №10 Штамповочного цеха установлено 214 светильников с лампами ДРЛ и ПРА мощностью 700 Вт необходимо также как и в цехе №4 выполнить модернизацию системы освещения с повышением энергетической эффективности [15].

Определим удельную мощность модернизированной системы освещения цеха №4:

$$P_{\text{уд.м}} = \frac{P_{\text{осв}}}{S_{\text{ц.№4}}} = \frac{8,85}{(48 \cdot 30)} = 0,006 \text{ (кВт/м}^2\text{)} \quad (6)$$

8)

Далее определим мощность системы освещения для цеха №10 (Штамповочного цеха):

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{уд.м}} \cdot S_{\text{ц.№10}} = 0,006 \cdot (50 \cdot 100) = 30,729 \text{ (кВт)} \quad (6)$$

9)

Таким образом мощность модернизированной системы внутреннего освещения цеха №10 (Штамповочный цех) составляет 30,729 кВт. Определим число светильников в модернизированной системе внутреннего освещения цеха №10 при условии использования аналогичных светильников, как и в цехе №4 - Ledel L-Industry Extreme 150. Число светильников определим по выражению:

$$N_{св.} = \frac{P_{осв}}{P_{св.}} = \frac{30,729}{0,15} = 204,86 \approx 205 \text{ (шт.)} \quad (70)$$

Реактивная мощность энергоэффективной системы внутреннего освещения цеха №10 (Штамповочный цех) по (56):

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 30,729 \cdot 0,32 = 9,833 \text{ (квар)} \quad (71)$$

Тогда полная мощность для энергоэффективной системы внутреннего освещения цеха №10:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{30,729^2 + 9,833^2} = 32,26 \text{ (кВА)} \quad (72)$$

Определим расчетное значение максимального тока для системы освещения после модернизации для цеха №10 (штамповочный цех) по выражению (61):

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{32,26 \cdot 1,2}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 101,59 \text{ (А)} \quad (73)$$

Для модернизированной системы освещения цеха №10 выберем аппараты защиты, для этого определим номинальный ток теплового расцепителя по выражению:

$$I_{т.р.осв.} = 1,15 \cdot I_{осв} = 1,15 \cdot 101,59 = 116,8 \text{ (A)} \quad (7)$$

4)

Определим значения пускового тока системы внутреннего освещения здания цеха №10 для выбора оптимальных параметров защитных коммутационных аппаратов по (64):

$$I_{пуск.осв.} = I_{осв} \cdot K_n = 101,59 \cdot 2 = 203,18 \text{ (A)} \quad (75)$$

Для аппаратов защиты и коммутации системы внутреннего освещения необходимо дополнительно определить ток электромагнитного расцепителя по выражению:

$$I_{эмп.осв.} = I_{пуск.осв.} \cdot 1,25 = 203,18 \cdot 1,25 = 253,97 \text{ (A)} \quad (7)$$

6)

По значениям, полученным в выражениях (73)-(76) выберем автоматический выключатель типа ВА-51-35М1-34.

Выводы по разделу. Для модернизации системы внутреннего освещения сборочно-прессового цеха определены возможные типы КСС светильников. Рассмотрены варианты использования в производственных помещениях КСС типа К (концентрированная), Д (косинусная) или Г (глубокая). Так как КСС типа – Д (косинусная), так как данная КСС обеспечивает равномерно распределение светового потока.

Анализ производителей светодиодных светильников позволил определить марку и модель светильника для использования в системе внутреннего освещения производственного помещения цеха №4. Выбран

светильник марки Ledel модель L-Industry Extreme 150. Мощность данного светильника составляет 150 Вт. Световой поток светильника равен 19500 Лм. Данный светильник обеспечивает нормируемую для цеха №4 освещенность в 300 лк с запасом порядка 11%.

Определено, что эффективность выбранного светильника марки Ledel модели L-Industry Extreme 150 составляет 130 Лм/Вт и превышает эффективность светильников, используемых в системе освещения производственного помещения в настоящее время на 56%.

Определена активная мощность системы освещения равная 8,85 кВт, реактивная мощность системы освещения равная 2,9 квар, а также полная мощность равная 9,3 кВА.

Выполнен расчет мощности энергоэффективной системы освещения для цеха №10 относящегося к прессовому производству предприятия.

Для энергоэффективной системы внутреннего освещения цеха №10 (Штамповочный цех) определено, что число светильников марки Ledel модели L-Industry Extreme 150 составляет 2050 шт.

Активная мощность модернизированной системы внутреннего освещения цеха №10 составляет 30,729 кВт, реактивная мощность 9,833 квар, а полная мощность 32,26 кВА.

Определенные в данном разделе ВКР значения мощностей для модернизированных систем освещения цеха №4 и цеха №10 будут использованы далее в ВКР для выбора трансформаторов для цеховых ТП и установок компенсации реактивной мощности.

5 Определение нагрузок по предприятию

После расчета нагрузок для цеха №4, а также разработки мероприятий по повышению энергетической эффективности для цеха №4 и цеха №10 необходимо определить мощность для предприятия в целом. Это необходимо выполнить для распределения трансформаторных подстанций между цехами предприятия.

Расчет выполним на примере цеха №10 (Штамповочного цеха), так как для цеха №4 был выполнен подробный расчет нагрузок в разделе 3 ВКР.

Определим установленную (номинальную) мощность для цеха №10 с учетом значения полученного в (9), а также значения полученного в (69):

$$P_{уст.ц10} = P_{уст.ц10,б/о} + P_{осв} = 1865 + 30,729 = 1895,729 \text{ (кВт)} \quad (7)$$

7)

Определим среднюю активную мощность для цеха №10:

$$P_{C_n} = P_{C_{10}} = K_{И_n} \cdot P_{\Sigma_{ин}} = K_{И_{10}} \cdot P_{уст.ц10} = 0,4 \cdot 1895,729 = 758,29 \text{ (кВт)} \quad (7)$$

8)

где n - номер цеха, для которого определяется средняя мощность;

$K_{И_n}$ - коэффициент использования n -го цеха, определяется по справочным данным;

$P_{\Sigma_{ин}}$ - номинальная (установленная) мощность n -го цеха, определяется по данным таблицы 1, кВт;

$K_{И_{10}}$ - коэффициент использования для цеха №10, принят равным 0,4;

$P_{уст.ц10}$ - номинальная (установленная) мощность цеха №10 с учетом мощности модернизированной системы освещения, определено в выражении (78), кВт.

Далее определяется средняя реактивная мощность для цеха №10 по выражению:

$$Q_{C_n} = Q_{C_{10}} = P_{C_n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n = P_{C_{10}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{10} = 758,29 \cdot 0,75 = 568,7 \text{ (квар)} \quad (79)$$

где n - номер цеха, для которого определяется средняя мощность;

$\operatorname{tg} \varphi_n$ - коэффициент реактивной мощности цеха.

Далее определим расчетную мощность для цеха №10:

$$P_{P_n} = P_{P_n} = K_{P_n} \cdot P_{C_n} = K_{P_{10}} \cdot P_{C_{10}} = 0,7 \cdot 758,29 = 530,8 \text{ (кВт)} \quad (80)$$

где n - номер цеха, для которого определяется расчетная мощность;

K_{P_n} - коэффициент расчетной мощности для n -го цеха;

P_{C_n} - средняя мощность для n -го цеха, кВт;

$K_{P_{10}}$ - коэффициент расчетной мощности для цеха №10, принят равным 0,7;

$P_{C_{10}}$ - средняя мощность цеха №10, полученная в выражении (78), кВт.

Определим расчетную реактивную мощность, которая определяется в зависимости от эффективного числа электроприемников цеха.

При числе эффективных электроприемников меньше, либо равным 10:

$$Q_{P_n} = 1,1 \cdot Q_{C_n} \text{ (квар)} \quad (81)$$

где Q_{C_n} - расчетное значение средней реактивной мощности n -го цеха, определяемая по выражению (79), квар.

При числе эффективных электроприемников выше 10 расчетная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{Pn} = Q_{Cn} \text{ (квар)} \quad (82)$$

где Q_{Cn} - расчетное значение средней реактивной мощности n -го цеха, определяемая по выражению (79), квар.

Так как согласно исходных данных, представленных в таблице 1 эффективное число электроприемников для цеха №10 (Штамповочный цех) равно 45, то для определения расчетной реактивной мощности цеха №10 воспользуемся выражением(82):

$$Q_{P10} = Q_{C10} = 568,7 \text{ (квар)} \quad (83)$$

Теперь можно определить полную расчетную мощность для цеха №10 по выражению:

$$S_{Pn} = \sqrt{P_{Pn}^2 + Q_{Pn}^2} = \sqrt{P_{P10}^2 + Q_{P10}^2} = \sqrt{530,8^2 + 568,7^2} = 777,93 \text{ (кВА)} \quad (84)$$

Для всех остальных цехов предприятия также определим все значения по выражениям (77) - (84), все расчетные значения систематизируем в таблице 4.

Выводы по разделу. Представлена методика определения расчетной мощности каждого цеха и предприятия в целом. Согласно представленной методике выполнен подробный расчет для цеха №10 (штамповочный цех) предприятия.

Составлена ведомость нагрузок по предприятию в которой выполнен расчет для каждого цеха предприятия, в том числе с учетом цехов прессового производства: цех №4 и цех №10.

Таблица 4 - Ведомость нагрузок цехов предприятия

Краткое название цеха	P_H , кВт	$n_э$	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_p	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Цех №1	6030	140	0,4	0,8	0,75	2412	1809	0,7	1688,4	1809	2474,50511
Цех №2	435	39	0,3	0,6	1,33	130,5	173,565	0,75	97,875	173,565	199,259441
Цех №3	640	48	0,4	0,8	0,75	256	192	0,75	192	192	271,529004
Цех №4	609,532	45	0,204	0,92	0,43	124,344528	53,468147	0,95	118,127302	53,468147	129,664575
Цех №5	5100	36	0,5	0,85	0,62	2550	1581	0,8	2040	1581	2580,92251
Цех №6	441	25	0,4	0,6	1,33	176,4	234,612	0,85	149,94	234,612	278,432746
Цех №7	4091	127	0,6	0,7	1,02	2454,6	2503,692	0,8	1963,68	2503,692	3181,90395
Цех №8	2360	73	0,5	0,6	1,33	1180	1569,4	0,75	885	1569,4	1801,73288
Цех №9	1799	160	0,4	0,8	0,75	719,6	539,7	0,7	503,72	539,7	738,247877
Цех №10	1895,729	45	0,6	0,75	0,88	1137,4374	1000,94491	0,85	966,82179	1000,94491	1391,63037
Цех №11	4760	50	0,5	0,6	1,33	2380	3165,4	0,75	1785	3165,4	3634,0036
Цех №12	1882	84	0,4	0,8	0,75	752,8	564,6	0,7	526,96	564,6	772,30823
Цех №13	2814	187	0,4	0,8	0,75	1125,6	844,2	0,7	787,92	844,2	1154,76905
Цех №14	32	5	0,8	0,8	0,75	25,6	19,2	0,93	23,808	21,12	31,8257013
Цех №15/1	40	8	0,3	0,7	1,02	12	12,24	0,95	11,4	13,464	17,6419754
Цех №16	730	51	0,4	0,8	0,75	292	219	0,7	204,4	219	299,566954
Цех №15/2	10	7	0,3	0,7	1,02	3	3,06	0,95	2,85	3,366	4,41049385
Цех №17	2053	37	0,3	0,6	1,33	615,9	819,147	0,75	461,925	819,147	940,412948
Итого по предприятию:	35722,26	–	0,4576357	0,728	0,936165	16347,7819	15304,2291	–	12409,8271	15307,6791	19706,0612

6 Компенсация реактивной мощности

По данным расчетов выполненным в предыдущих разделах ВКР определено, что модернизация систем освещения цехов №10 и №4 позволила существенно снизить реактивную мощность для этих цехов. Поэтому необходимо перед окончательным выбором трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП) проверить необходимость установки устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ), так как оптимальный выбор УКРМ позволяет снизить мощность выбираемых трансформаторов для ЦТП цехов №10 и №4 прессового производства.

Для выбора УКРМ необходимо определить требуемую мощность по выражению:

$$Q_{К.Рn} = \alpha \cdot P_{Pn} \cdot (tg\varphi_n - tg\varphi_{к.р}) \text{ (квар)} \quad (8)$$

5)

где α - коэффициент, учитывающий естественную компенсацию реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия, принимаем равным 0,9;

n - номер цеха, для которого рассчитывается мощность компенсирующего устройства;

P_{Pn} - расчетная активная мощность n -го цеха по данным таблицы 4, кВт;

$tg\varphi_n$ - коэффициент реактивной мощности по данным таблицы 4;

$tg\varphi_{к.р}$ - коэффициент реактивной мощности с учетом компенсации реактивной мощности, принимается равным 0,33.

Предварительно выполним распределение цеховых ТП между цехами предприятия в таблице 5.

По выражению (85) определим мощность УКРМ для цеха №4:

$$Q_{K.Pn} = \alpha \cdot P_{Pn} \cdot (tg\varphi_n - tg\varphi_{к.р}) = 0,9 \cdot 118,13 \cdot (0,43 - 0,33) = 10,63 \text{ (квар)} \quad (86)$$

По выражению (85) определим мощность УКРМ для цеха №10:

$$Q_{K.Pn} = \alpha \cdot P_{Pn} \cdot (tg\varphi_n - tg\varphi_{к.р}) = 0,9 \cdot 966,8 \cdot (0,88 - 0,33) = 478,56 \text{ (квар)} \quad (87)$$

Все УКРМ устанавливаются на шинах 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП). Если на ЦТП установлено два трансформатора, то устанавливается как минимум 2 установки УКРМ, если на ЦТП один трансформатор, то устанавливается минимум одна УКРМ.

К установке будем использовать автоматические, регулируемые установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ. Выбранные мощности АУКРМ для ЦТП предприятия отразим в таблице.

Вывод по разделу. Выполнен выбор автоматических регулируемых установок компенсации реактивной мощности типа АУКРМ. Выбор установок компенсации выполнен согласно числу трансформаторов ЦТП, и распределению цехов между ЦТП.

Таблица 5 - Выбор установок компенсации реактивной мощности

Наименование ТП	Краткое наименование цеха	P_p , кВт	$\text{tg } \varphi$	$Q_{\text{кр}}$, квар	$Q_{\text{кр.ТП}}$, квар	Число трансформаторов	Тип УКРМ	Число ступеней	Мощность ступени, квар
ЦТП-1	Цех №1	1688,4	0,75	638,2152	798,8787	2	2×АУКРМ 0,4-375-25 У3-У1	15	25
	Цех №2	97,875	1,33	88,0875					
	Цех №3	192	0,75	72,576					
ЦТП-2	Цех №4	118,1273	0,43	10,63146	10,6314571	1	АУКРМ -0,4-10-2,5-УХЛ4	4	2,5
ЦТП-3	Цех №5	2040	0,62	532,44	667,386	2	2×АУКРМ 0,4-325-25 У3-У1	13	25
	Цех №6	149,94	1,33	134,946					
ЦТП-4	Цех №7	1963,68	1,02	1219,445	1219,44528	2	2×АУКРМ 0,4-600-30 У3-У1	20	30
ЦТП-5	Цех №8	885	1,33	796,5	796,5	1	АУКРМ 0,4-800-40 У3-У1	20	40
ЦТП-6	Цех №9	503,72	0,75	190,4062	668,982946	2	2×АУКРМ 0,4-325-25 У3-У1	13	25
	Цех №10	966,8218	0,88	478,5768					
ЦТП-7	Цех №11	1785	1,33	1606,5	1606,5	1	2×АУКРМ 0,4-800-40 У3-У1	20	40
ЦТП-8	Цех №12	526,96	0,75	199,1909	1007,86901	2	2×АУКРМ 0,4-500-20 У3-У1	20	25
	Цех №13	787,92	0,75	297,8338					
	Цех №14	23,808	0,75	8,999424					
	Цех №16	204,4	0,75	77,2632					
	Цех №15/1	11,4	1,02	7,0794					
	Цех №15/2	2,85	1,02	1,76985					
	Цех №17	461,925	1,33	415,7325					

7 Выбор распределительных трансформаторов

Выбор трансформаторов для ЦТП выполняется исходя из значений расчетной полной мощности. Полная расчетная мощность должна определяться с учетом мощности выбранных установок компенсации реактивной мощности. При этом необходимо использовать трансформаторы с низкими значениями потерь, таким образом получится снизить потери активной мощности в трансформаторах ЦТП и тем самым повысить энергетическую эффективность как прессового производства, так и всего предприятия в целом [21]. Для определения полной расчетной мощности используем выражение:

$$S_{P.KVn} = \sqrt{P_{Pn}^2 + (Q_{Pn} - Q_{K.Pn})^2} \text{ (кВА)} \quad (8)$$

где n - номер ЦТП, для которой определяется полная расчетная мощность;

P_{Pn} - расчетная активная мощность для n -й ЦТП, кВт;

Q_{Pn} - расчетная реактивная мощность для n -й ЦТП, квар;

$Q_{K.Pn}$ - реактивная мощность установки компенсации реактивной мощности для n -й ЦТП, квар.

Определим по выражению (88) определим полную расчетную мощность для цеха №4 (сборочно-прессовый цех):

$$\begin{aligned} S_{P.KV.ЦТП2} &= \sqrt{P_{P.ЦТП2}^2 + (Q_{P.ЦТП2} - Q_{K.P.ЦТП2})^2} = & (8) \\ &= \sqrt{118,13^2 + (53,468 - 10)^2} = 125,87 \text{ (кВА)} & (9) \end{aligned}$$

Далее необходимо рассчитать мощность трансформатора ЦТП по выражению:

$$S_{T.расч} = \frac{S_{P.KVn}}{K_3 \cdot n_T} \text{ (кВА)} \quad (9)$$

где $S_{P.KVn}$ - расчетная полная мощность ЦТП с учетом компенсации реактивной мощности, значение получено по (88), кВА;

K_3 - коэффициент загрузки трансформаторов ЦТП, для однитрансформаторной подстанции равен 0,9, для двухтрансформаторной подстанции 0,7;

n_T - число трансформаторов ЦТП, шт.

По (90) определим расчетную мощность трансформатора для ЦТП-2, питающую цех №4 (сборочно-прессовый цех):

$$S_{T.расч} = \frac{S_{P.KVn}}{K_3 \cdot n_T} = \frac{125,87}{0,9 \cdot 1} = 139,8 \text{ (кВА)} \quad (9)$$

Для выбора номинальной мощности трансформатора необходимо использовать условие:

$$S_{T.расч} \leq S_{T.ном} \quad (9)$$

2)

где $S_{T.ном}$ - номинальная мощность трансформатора, определяемая по каталогам производителей, кВА.

Используя данные производителей оборудования для ЦТП-2 питающую цех №4 (сборочно-прессовый цех) получим, что для ЦТП-2 принимаем к установке трансформатор марки ТС(Л)-160/10/0,4 производства «Группа СВЭЛ» с номинальной мощностью $S_{T.ном} = 160$ кВА. При этом условие (92) выполняется:

$$S_{T.расч} = 139,8 \leq S_{T.ном} = 160 \quad (9)$$

3)

Далее по методике, представленной выражениями (88), (90) и (92) выполним выбор трансформаторов для всех ЦТП предприятия, в том числе и для ЦТП-4 питающей один из цехов прессового производства – цех №10 (штамповочный цех). Выбор трансформаторов ЦТП для всех предприятий сведем в таблицу 6.

Для всех ЦТП предприятия выбраны сухие трансформаторы с литой изоляцией марки ТС(Л) производства «Группа СВЭЛ» г. Екатеринбург.

Выводы по разделу. Представлена методика для определения расчетной мощности трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций промышленного предприятия с учетом выбранных установок компенсации реактивной мощности.

Согласно представленной методике выполнен выбор цеховых трансформаторов для всех ЦТП предприятия и в том числе трансформаторов для ЦТП-2 и ЦТП-6, питающих цеха прессового производства – цех №4 (сборочно-прессовый цех) и цех №10 (штамповочный цех).

Составлена ведомость выбранных трансформаторов. Для установки на всех ЦТП приняты сухие трансформаторы марки ТС(Л) с мощностями от 160 кВА до 3200 кВА. Составлены схемы для каждой цеховой трансформаторной подстанции.

Таблица 6 - Выбор трансформаторов для ЦТП

Наименование ТП	P_p , кВт	$\text{tg } \varphi$	$Q_{кр}$, квар	$Q_{кр.ТП}$, квар	$P_{р.ТП}$, кВт	$Q_{р.}$, квар	$Q_{р.ТП}$, квар	$S_{р.ТП}$, кВА	n_T , шт.	K_3	$S_{T.расч}$, кВА	$S_{T.ном}$, кВА	Тип трансформаторов УТП
ЦТП-1	1688,4	0,75	638,2152	798,8787	2174,565	1809	2174,565	2409,581867	2	0,7	1721,13	2000	ТС(Л)-2000
	97,875	1,33	88,0875			173,565							
	192	0,75	72,576			192							
ЦТП-2	118,1273	0,43	10,63146	10,6314571	53,46814704	53,46814704	53,46814704	125,6544523	1	0,9	139,6	160	ТС(Л)-160
ЦТП-3	2040	0,62	532,44	667,386	1815,612	1581	1815,612	2472,703005	2	0,7	1766,2	2000	ТС(Л)-2000
	149,94	1,33	134,946			234,612							
ЦТП-4	1963,68	1,02	1219,445	1219,44528	2503,692	2503,692	2503,692	2346,343705	2	0,7	1675,9	2000	ТС(Л)-2000
ЦТП-5	885	1,33	796,5	796,5	1569,4	1569,4	1569,4	1174,989111	1	0,9	1305,5	1600	ТС(Л)-1600
ЦТП-6	503,72	0,75	190,4062	668,982946	1540,644912	539,7	1540,644912	1709,470017	2	0,7	1221,1	1250	ТС(Л)-1250
	966,8218	0,88	478,5768			1000,944912							
ЦТП-7	1785	1,33	1606,5	1606,5	3165,4	3165,4	3165,4	2369,893291	1	0,9	2633,2	3200	ТС(Л)-3200
ЦТП-8	526,96	0,75	199,1909	1007,86901	2484,897	564,6	2484,897	2501,806294	2	0,7	1787	2000	ТС(Л)-2000
	787,92	0,75	297,8338			844,2							
	23,808	0,75	8,999424			21,12							
	204,4	0,75	77,2632			219							
	11,4	1,02	7,0794			13,464							
	2,85	1,02	1,76985			3,366							
	461,925	1,33	415,7325			819,147							

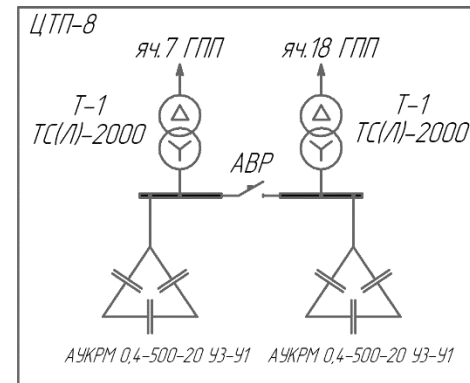
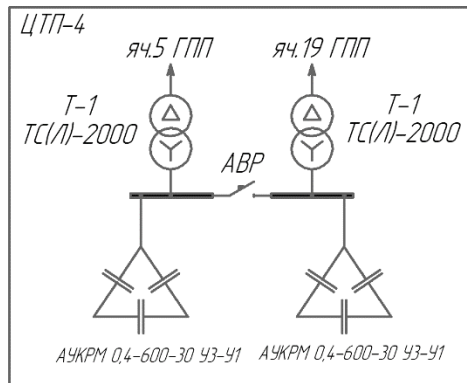
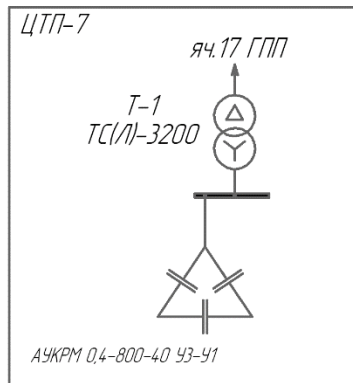
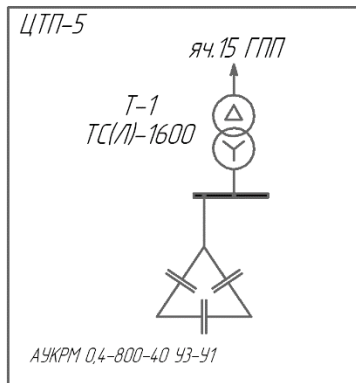
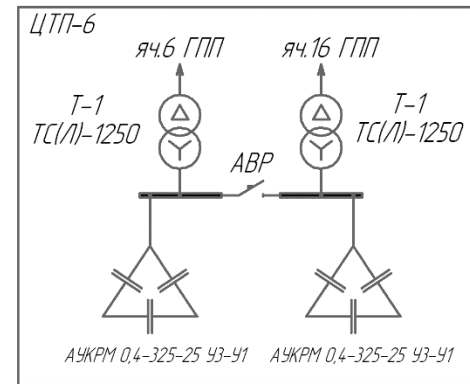
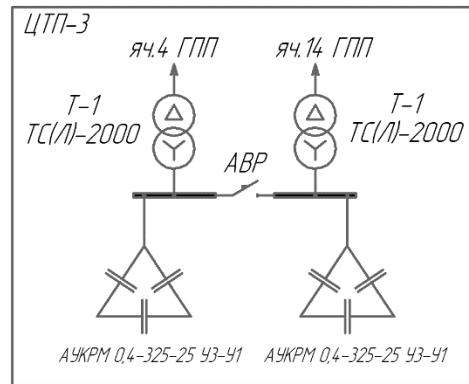
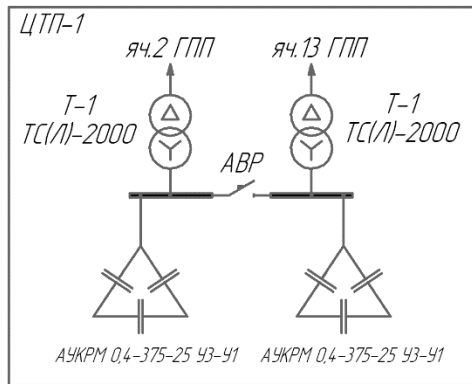
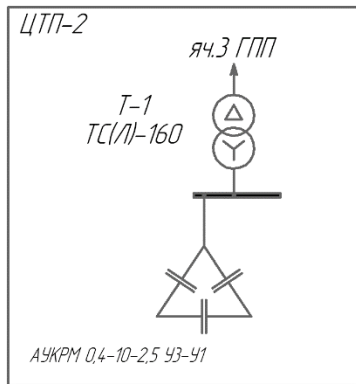


Рисунок 4 - Схемы цеховых трансформаторных подстанций предприятия

8 Оценка энергетической эффективности разработанных мероприятий

В данном разделе предлагается выполнить оценку энергетической эффективности разработанных мероприятий. Для системы освещения уже была выполнена оценка, на примере цеха №4 в разделе 4 ВКР. В данном разделе выполним оценку потерь в трансформаторах ЦТП, питающих цеха прессового производства.

До реконструкции на предприятии, в ЦТП, использовались сухие трансформаторы с воздушно-барьерной изоляцией марки ТСЗ (рисунок 5а). После реконструкции с повышением энергетической эффективности на ЦТП предприятия выбраны сухие трансформаторы с литой изоляцией марки ТС(Л) (рисунок 5б). В таблице 7 представлено сравнение трансформаторов до реконструкции и после реконструкции на ЦТП предприятия.

Таблица 7 - Трансформаторы ЦТП до и после реконструкции

Наименование источника питания	Трансформаторы до реконструкции	Трансформаторы после реконструкции
ЦТП-1	2×ТСЗ-3200-10-0,4	2×ТС(Л)-2000-10-0,4
ЦТП-2	ТСЗ-400-10-0,4	ТС(Л)-160-10-0,4
ЦТП-3	2×ТСЗ-3200-10-0,4	2×ТС(Л)-2000-10-0,4
ЦТП-4	2×ТС3200-10-0,4	2×ТС(Л)-2000-10-0,4
ЦТП-5	ТС31600-10-0,4	ТС(Л)-1600-10-0,4
ЦТП-6	2×ТС32500-10-0,4	2×ТС(Л)-1250-10-0,4
ЦТП-7	ТС32500-10-0,4	ТС(Л)-3200-10-0,4
ЦТП-8	2×ТС32500-10-0,4	2×ТС(Л)-2000-10-0,4

Рассмотрим ЦТП-2 и ЦТП-6, которые питают цех №4 и цех №10, которые относятся к прессовому производству – объекту ВКР. Составим таблицу 8 с паспортными параметрами трансформаторов для данных ЦТП до и после реконструкции.



а



б

Рисунок 5 - Вид трансформаторов марки ТСЗ (а) и ТС(Л) (б)

Таблица 8 - Параметры трансформаторов прессового производства

Наименование ЦТП	ЦТП-2						
Параметр	$S_{T,ном}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	ΔP_{xx} , Вт	$\Delta P_{кз}$, Вт	i_{xx} , %	$u_{кз}$, %
ТСЗ-400	400	10	0,4	1200	4200	1,8	5,5
ТСЛ-160	160	10	0,4	550	2150	0,9	4
Наименование ЦТП	ЦТП-6						
Параметр	$S_{T,ном}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	ΔP_{xx} , Вт	$\Delta P_{кз}$, Вт	i_{xx} , %	$u_{кз}$, %
ТСЗ-2500	2500	10	0,4	4600	20500	0,7	6
ТС(Л)-1250	1250	10	0,4	1950	10950	0,5	6

Из таблицы 8 мы видим, что кроме сниженной мощности трансформаторов установленных на ЦТП после реконструкции, они имеют более низкие потери холостого хода и потери короткого замыкания, что благоприятно скажется на величине потерь мощности и электрической энергии в системе электроснабжения прессового производства. Для этого

используем суточный график нагрузки (95) для производств, работающих по двусменному графику работы представленный на рисунке 6.

Определим число часов использования максимума нагрузки:

$$T_{.м} = \frac{W_{.год}}{T_{.год}} \quad (9)$$

где $W_{.год}$ - расчетное значение годового потребления электрической энергии предприятием, кВт·ч;

$T_{.год}$ - число часов в году, принято равным 8760 ч.

Далее определяется продолжительность максимальных потерь мощности для предприятия по выражению:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{.м}}{10000} \right)^2 \cdot T_{.год} \quad (9)$$

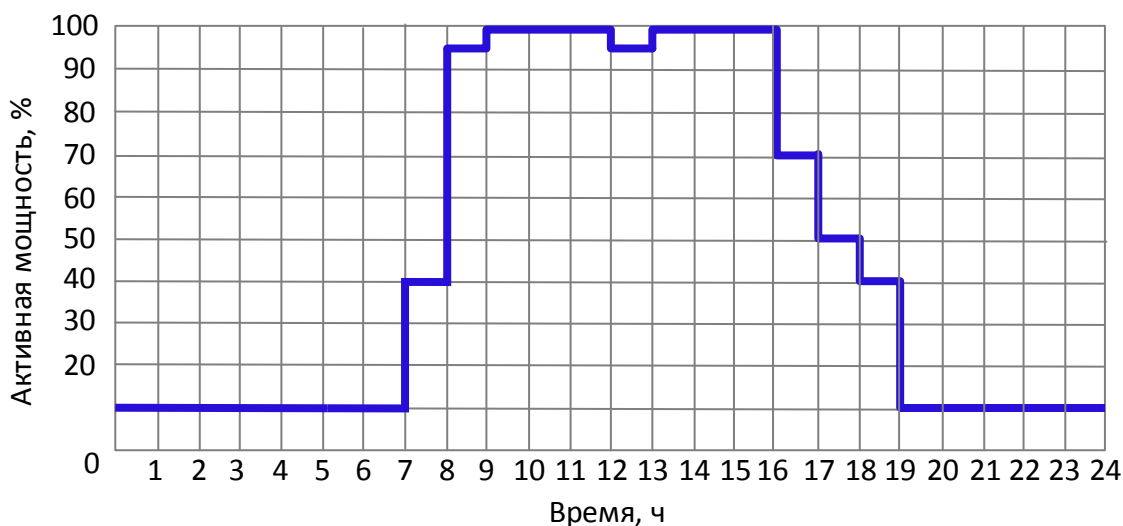


Рисунок 6 - Относительный график нагрузки для предприятий с двусменным режимом работы

Для суточного графика, представленного на рисунке 6 составим таблицу 9 в которую занесем данные суточного графика и значения

мощности согласно данным таблицы 4. Из таблицы 4 используем значение расчетной активной мощности по предприятию, приравненное к ступени 100% суточного графика. Кроме того, для каждой ступени суточного графика определим продолжительность в часах t в сутки.

Потребление электрической энергии в год согласно суточного графика определим по выражению:

$$W_{год} = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot t_i \cdot T_i \quad (9)$$

где i - ступень суточного графика нагрузки;

P_i - мощность на i -й ступени суточного графика нагрузки, кВт;

t_i - продолжительность i -й ступени суточного графика нагрузки, ч;

T_i - продолжительность нагрузки, соответствующей i -й ступени суточного графика нагрузки на годовом графике, ч.

Расчет по выражению (96) выполним в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет потребления электрической энергии

i	$P_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$t, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$
1	100	12409,83	6	2190	27177521,3
2	95	11789,34	2	730	8606215,09
3	70	8686,879	1	365	3170710,82
4	50	6204,914	1	365	2264793,45
5	40	4963,931	2	730	3623669,51
6	10	1240,983	12	4380	5435504,27
Годовое потребление энергии, $W_{год}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$					50278414,5

Используя значение годового потребления электрической энергии, полученное в таблице 9 используем выражение (94) для определения числа часов использования максимальной мощности:

$$T_M = \frac{W_{\text{зод}}}{T_{\text{зод}}} = \frac{50278414,5}{8760} = 4051,5 \text{ (ч)} \quad (9)$$

7)

Далее используя значение полученное в (97) определим продолжительность максимальных потерь мощности по выражению (95):

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_{\text{зод}} = \left(0,124 + \frac{4051,5}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2452,79 \text{ (ч)} \quad (9)$$

8)

Расчет потерь в трансформаторах ЦТП, обусловленных его конструкцией, выполняется по выражению:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{P_i / \cos \varphi}{S_{T.\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{хх}} \quad (9)$$

9)

где $\Delta P_{\text{кз}}$ - паспортное значение потерь короткого замыкания для трансформатора, установленного на ЦТП, кВт;

P_i - мощность на i -й ступени суточного графика нагрузки, кВт;

$\cos \varphi$ - коэффициент активной мощности принимается по таблице 4 равным 0,728;

$S_{T.\text{ном}}$ - паспортное значение номинальной мощности для трансформатора, установленного на ЦТП, кВА;

$\Delta P_{\text{хх}}$ - паспортное значение потерь холостого хода для трансформатора, установленного на ЦТП, кВт.

Составим расчетную таблицу 10, в которой выполним расчет потерь для ЦТП-2 до реконструкции, по суточному графику нагрузки (рисунок 6) приняв максимальную активную мощность равную 229,98 кВт, а также расчетную таблицу 11, которой выполним расчет потерь для ЦТП-2 после

реконструкции, по суточному графику нагрузки (рисунок 6) приняв максимальную активную мощность равную 118,1273 кВт.

Таблица 10 - Расчет потерь в трансформаторах ЦТП-2 до реконструкции

i	$P_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$t, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$S, \text{кВА}$	$\Delta P_{T, ДР}, \text{кВт}$
1	100	229,928	6	2190	503542,3	315,8352	3,818486
2	95	218,4316	2	730	159455,1	300,0434	3,563184
3	70	160,9496	1	365	58746,6	221,0846	2,483058
4	50	114,964	1	365	41961,86	157,9176	1,854622
5	40	91,9712	2	730	67138,98	126,3341	1,618958
6	10	22,9928	12	4380	100708,5	31,58352	1,226185
Годовое потребление электрической энергии по ЦТП-2, кВт·ч					931553,292	-	-
Суточные потери мощности на ЦТП-2, кВт							26,86199125
Годовые потери электрической энергии на ЦТП-2, кВт·ч							9804,626808

Таблица 11 - Расчет потерь в трансформаторах ЦТП-2 после реконструкции

i	$P_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$t, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$S, \text{кВА}$	$\Delta P_{T, ДР}, \text{кВт}$
1	100	118,1273	6	2190	258698,787	162,2627747	2,761242
2	95	112,220935	2	730	81921,28255	154,149636	2,545646
3	70	82,68911	1	365	30181,52515	113,5839423	1,633509
4	50	59,06365	1	365	21558,23225	81,13138736	1,102811
5	40	47,25092	2	730	34493,1716	64,90510989	0,903799
6	10	11,81273	12	4380	51739,7574	16,22627747	0,572112
Годовое потребление электрической энергии по ЦТП-2, кВт·ч					478592,756	-	-
Суточные потери мощности на ЦТП-2, кВт							9,519118359
Годовые потери электрической энергии на ЦТП-2, кВт·ч							3474,478201

Аналогично выполним расчет для ЦТП -6 до реконструкции (таблица 12) приняв значение максимальной мощности до реконструкции 1928,6 кВт, и после реконструкции (таблица 13) приняв максимальную мощность равную 1540,644912 кВт. Однако в отличии от ЦТП-2, где установлен один трансформатор, на ЦТП-6 установлено два трансформатора, поэтому выражение (99) для ЦТП-6 запишем в виде:

$$\Delta P_T = \frac{\Delta P_{кз}}{n} \cdot \left(\frac{P_i / \cos \varphi}{S_{T.ном}} \right)^2 + n \cdot \Delta P_{xx} \quad (100)$$

где n - число трансформаторов на ЦТП, для ЦТП-6 принято равным 2, шт.

Таблица 12 - Расчет потерь в трансформаторах ЦТП-6 до реконструкции

i	$P_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$t, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$S, \text{кВА}$	$\Delta P_{T.др}, \text{кВт}$
1	100	1928,6	6	2190	4223634	2649,175824	20,70973738
2	95	1832,17	2	730	1337484,1	2516,717033	19,58753798
3	70	1350,02	1	365	492757,3	1854,423077	14,83977132
4	50	964,3	1	365	351969,5	1324,587912	12,07743434
5	40	771,44	2	730	563151,2	1059,67033	11,04155798
6	10	192,86	12	4380	844726,8	264,9175824	9,315097374
Годовое потребление электрической энергии по ЦТП-6, кВт·ч					7813722,9	-	-
Суточные потери мощности на ЦТП-6, кВт							87,57113637
Годовые потери электрической энергии на ЦТП-6, кВт·ч							31963,46478

Таблица 13 - Расчет потерь в трансформаторах ЦТП-6 после реконструкции

i	$P_{\%}, \%$	$P, \text{кВт}$	$t, \text{ч}$	$T, \text{ч}$	$W, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$S, \text{кВА}$	$\Delta P_{T.др}, \text{кВт}$
1	100	1540,644912	6	2190	3374012,357	2116,270484	19,59301706
2	95	1463,612666	2	730	1068437,246	2010,456959	18,0629479
3	70	1078,451438	1	365	393634,775	1481,389338	11,58957836
4	50	770,322456	1	365	281167,6964	1058,135242	7,823254265
5	40	616,2579648	2	730	449868,3143	846,5081934	6,41088273
6	10	154,0644912	12	4380	674802,4715	211,6270484	4,056930171
Годовое потребление электрической энергии по ЦТП-6, кВт·ч					6241922,861	-	-
Суточные потери мощности на ЦТП-6, кВт							67,53661048
Годовые потери электрической энергии на ЦТП-6, кВт·ч							24650,86283

Относительное значение потерь в трансформаторах ЦТП от общего потребления электрической энергии определяется выражением:

$$\Delta W_{\%} = 100 - \left(1 - \frac{\Delta W_{цтп}}{W_{\text{од}}} \right) \cdot 100 \quad (101)$$

где $\Delta W_{\text{ЦТП}}$ - годовые потери электрической энергии на ЦТП, кВт·ч;

$W_{\text{год}}$ - годовое потребление электрической энергии на ЦТП, кВт·ч.

Определим по (101) процент потерь электрической энергии в год для ЦТП-2 до реконструкции от общего потребления электрической энергии для данной ЦТП используя значения таблицы 10:

$$\Delta W_{\% \text{ЦТП-2.ДР}} = 100 - \left(1 - \frac{9804,626808}{931553,292} \right) \cdot 100 = 1,0525 (\%) \quad (1 \quad 02)$$

Определим по (101) процент потерь электрической энергии в год для ЦТП-2 после реконструкции от общего потребления электрической энергии для данной ЦТП используя значения таблицы 11:

$$\Delta W_{\% \text{ЦТП-2.ПР}} = 100 - \left(1 - \frac{3474,478}{478592,8} \right) \cdot 100 = 0,72598 (\%) \quad (1 \quad 03)$$

Определим по (101) процент потерь электрической энергии в год для ЦТП-6 до реконструкции от общего потребления электрической энергии для данной ЦТП используя значения таблицы 12:

$$\Delta W_{\% \text{ЦТП-6.ДР}} = 100 - \left(1 - \frac{31963,4648}{7813722,9} \right) \cdot 100 = 0,41 (\%) \quad (1 \quad 04)$$

Определим по (101) процент потерь электрической энергии в год для ЦТП-6 после реконструкции от общего потребления электрической энергии для данной ЦТП используя значения таблицы 13:

$$\Delta W_{\% \text{ ЦТП-6.ПР}} = 100 - \left(1 - \frac{24650,86}{6241922,86} \right) \cdot 100 = 0,39 (\%) \quad (105)$$

По результатам полученных в выражениях (102) и (103) видно, что относительные потери после реконструкции снизились на 0,326525032 %, а по выражениям (104) и (105) потери снизились только на 0,014144135 %.

Количественное снижение потерь для ЦТП определим по выражению:

$$\Delta W_{\text{ЦТП}} = \Delta W_{\text{ЦТП.ДР}} - \Delta W_{\text{ЦТП.ПР}} \quad (106)$$

где $\Delta W_{\text{ЦТП.ДР}}$ - потери электрической энергии в трансформаторах ЦТП до реконструкции, кВт·ч;

$\Delta W_{\text{ЦТП.ПР}}$ - потери электрической энергии в трансформаторах ЦТП после реконструкции, кВт·ч.

Для ЦТП-2 по выражению (106) и данным таблицы 10 и таблицы 11 получим:

$$\Delta W_{\text{ЦТП-2}} = \Delta W_{\text{ЦТП-2.ДР}} - \Delta W_{\text{ЦТП-2.ПР}} = 9804,63 - 3474,48 = 6330,15 (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (107)$$

Для ЦТП-6 по выражению (106) и данным таблицы 12 и таблицы 13 получим:

$$\Delta W_{\text{ЦТП-6}} = \Delta W_{\text{ЦТП-6.ДР}} - \Delta W_{\text{ЦТП-6.ПР}} = 31963,46 - 24650,86 = 7312,6 (\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (108)$$

Для всех цехов прессового производства предприятия снижение потребляемой энергии определим по выражению:

$$\Delta W_{III} = W_{год. III. ДР} - W_{год. III. ПР}, \quad (109)$$

$$\Delta W_{III} = (W_{год. ЦТП-2. ДР} + W_{год. ЦТП-6. ДР}) - (W_{год. ЦТП-2. ПР} + W_{год. ЦТП-6. ПР})$$

где $W_{год. III. ДР}$ - суммарное потребление электрической энергии в год для ЦТП, питающих цеха прессового производства до реконструкции, кВт·ч;

$W_{год. III. ПР}$ - суммарное потребление электрической энергии в год для ЦТП, питающих цеха прессового производства после реконструкции, кВт·ч.

По (109) для прессового производства используя данные таблиц 10 - 13 получим:

$$\Delta W_{III} = W_{год. III. ДР} - W_{год. III. ПР} = 8745276 - 6720516 = 2024761 \text{ (кВт·ч)} \quad (110)$$

По (110) получено, что снижения годового электропотребления для цехов прессового производства 2024761 кВт·ч.

Определим стоимость разницы потребляемой электрической энергии до и после реконструкции для прессового производства:

$$C_{\Delta W} = C_{э} \cdot \Delta W_{III} = 3,5 \cdot 2024761 = 7,086 \text{ (млн.руб.)} \quad (11)$$

где $C_{э}$ - стоимость электрической энергии, принято равным 3,5 руб/кВт·ч.

Выводы по разделу. Для цеховых трансформаторных подстанций, питающих цеха прессового производства определены паспортные данные по каталогам производителей. Данные использованы для определения потерь мощности и электрической энергии в трансформаторах.

Кроме того, определен суточный график нагрузки для цехов прессового производства, использован типовой график нагрузки для предприятий с двухсменным режимом работы.

Представлена методика расчета потерь мощности для цехов прессового производства. Определено число часов использования максимальной мощности 4051,5 ч, а также число часов максимальных потерь равное 2452,79 ч. Также составлены таблицы расчета потерь по суточному графику нагрузок для ЦТП-2 и ЦТП-6 до и после реконструкции позволившие определить относительное значение потерь электрической энергии в зависимости от потребляемой электрической энергии.

Для ЦТП-2 получено, что относительное потребление до и после реконструкции снизилось 0,326%, а для ЦТП-6 снизилось на 0,014%.

Для ЦТП-6 малое снижение относительных потерь связано с тем, что данная ЦТП питает цех, в котором не были внедрены мероприятия по повышению энергетической эффективности.

Внедрение аналогичных мероприятий на всех цехах предприятия позволило бы более существенно снизить относительное потребление электрической энергии.

Определено, что для ЦТП-2 внедрение энергосберегающих мероприятий в сборочно-прессовом цехе позволило снизить потери электрической энергии на 6330,15 кВт·ч в год, а для ЦТП-6 потери электрической энергии снизилось на 7312,6 кВт·ч в год. Для ЦТП-2 и ЦТП-6 прессового производства снижения годового электропотребления составило 2024761 кВт·ч.

Внедрение разработанных энергосберегающих мероприятий позволит сэкономить порядка 7 млн. рублей в год.

Заключение

Объектом ВКР является прессовое производство предприятия по производству электротехнического оборудования. Для повышения энергетической эффективности прессового производства на первом этапе определены установленные (номинальные) мощности цехов предприятия. Составлен генеральный план предприятия. Получены данные о возможности внешнего электроснабжения предприятия по производству электротехнической продукции. Так как в составе предприятия находится несколько цехов, относящихся к прессовому производству, будет подробно рассмотрен один из цехов, а именно цех №4.

Для повышения энергетической эффективности прессового производства предложено внедрять только технические мероприятия, так как они оказывают максимально возможное повышение энергетической эффективности в отличие от организационных. Для светильников, используемых в системе внутреннего освещения определен коэффициент эффективности равный 57,14 Лм/Вт, что является низким показателем, поэтому были рассмотрен вопрос модернизации системы освещения.

Для сборочно-прессового цеха (цех №4) относящегося к прессовому производству предприятия, учитывая оборудование, используемое в технологическом процессе выполнен расчет электрических нагрузок.

Для выполнения расчета электрических нагрузок все электроприемники были распределены по источникам питания, к которым относятся распределительные шинопроводы ШРА1-ШРА5, а также распределительный пункт ПР1. Для питания распределительных шинопроводов ШРА1-ШРА5 и ПР1 используется магистральный шинопровод ШМА1.

Представлена методика расчета электрических нагрузок для сборочно-прессового цеха и определены значения полной расчетной мощности, активной расчетной мощности и реактивной расчетной мощности как по

ШРА1-ШРА5, так и по ПР1 и ШМА1. Для сборочно-прессового цеха расчетная активная мощность составила 186,038 кВт, расчетная реактивная мощность составила 170,18 квар, а расчетная полная мощность 252,133 кВА.

Далее эти значения будут использованы для выбора трансформаторов на цеховой трансформаторной подстанции сборочно-прессового цеха совместно с результатами расчета мощности модернизированной системы освещения производственного помещения цеха №4.

Для модернизации системы внутреннего освещения сборочно-прессового цеха определены возможные типы КСС светильников. Рассмотрены варианты использования в производственных помещениях КСС типа К (концентрированная), Д (косинусная) или Г (глубокая). Так как КСС типа – Д (косинусная), так как данная КСС обеспечивает равномерно распределение светового потока.

Анализ производителей светодиодных светильников позволил определить марку и модель светильника для использования в системе внутреннего освещения производственного помещения цеха №4. Выбран светильник марки Ledel модель L-Industry Extreme 150. Мощность данного светильника составляет 150 Вт. Световой поток светильника равен 19500 Лм. Данный светильник обеспечивает нормируемую для цеха №4 освещенность в 300 лк с запасом порядка 11%.

Определено, что эффективность выбранного светильника марки Ledel модели L-Industry Extreme 150 составляет 130 Лм/Вт и превышает эффективность светильников, используемых в системе освещения производственного помещения в настоящее время на 56%.

Определена активная мощность системы освещения равная 8,85 кВт, реактивная мощность системы освещения равная 2,9 квар, а также полная мощность равная 9,3 кВА.

Выполнен расчет мощности энергоэффективной системы освещения для цеха №10 относящегося к прессовому производству предприятия.

Для энергоэффективной системы внутреннего освещения цеха №10 (Штамповочный цех) определено, что число светильников марки Ledel модели L-Industry Extreme 150 составляет 2050 шт.

Активная мощность модернизированной системы внутреннего освещения цеха №10 составляет 30,729 кВт, реактивная мощность 9,833 квар, а полная мощность 32,26 кВА.

Определенные в данном разделе ВКР значения мощностей для модернизированных систем освещения цеха №4 и цеха №10 будут использованы далее в ВКР для выбора трансформаторов для цеховых ТП и установок компенсации реактивной мощности.

Представлена методика определения расчетной мощности каждого цеха и предприятия в целом. Согласно представленной методике выполнен подробный расчет для цеха №10 (штамповочный цех) предприятия.

Составлена ведомость нагрузок по предприятию в которой выполнен расчет для каждого цеха предприятия, в том числе с учетом цехов прессового производства: цех №4 и цех №10.

Выполнен выбор автоматических регулируемых установок компенсации реактивной мощности типа АУКРМ. Выбор установок компенсации выполнен согласно числу трансформаторов ЦТП, и распределению цехов между ЦТП.

Представлена методика для определения расчетной мощности трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций промышленного предприятия с учетом выбранных установок компенсации реактивной мощности.

Согласно представленной методике выполнен выбор цеховых трансформаторов для всех ЦТП предприятия и в том числе трансформаторов для ЦТП-2 и ЦТП-6, питающих цеха прессового производства – цех №4 (сборочно-прессовый цех) и цех №10 (штамповочный цех).

Составлена ведомость выбранных трансформаторов. Для установки на всех ЦТП приняты сухие трансформаторы марки ТС(Л) с мощностями от 160 кВА до 3200 кВА.

Составлены схемы для каждой цеховой трансформаторной подстанции.

Для цеховых трансформаторных подстанций, питающих цеха прессового производства определены паспортные данные по каталогам производителей. Данные использованы для определения потерь мощности и электрической энергии в трансформаторах.

Кроме того, определен суточный график нагрузки для цехов прессового производства, использован типовой график нагрузки для предприятий с двухсменным режимом работы.

Представлена методика расчета потерь мощности для цехов прессового производства. Определено число часов использования максимальной мощности 4051,5 ч, а также число часов максимальных потерь равное 2452,79 ч. Также составлены таблицы расчета потерь по суточному графику нагрузок для ЦТП-2 и ЦТП-6 до и после реконструкции позволившие определить относительное значение потерь электрической энергии в зависимости от потребляемой электрической энергии.

Для ЦТП-2 получено, что относительное потребление до и после реконструкции снизилось 0,326%, а для ЦТП-6 снизилось на 0,014%.

Для ЦТП-6 малое снижение относительных потерь связано с тем, что данная ЦТП питает цех, в котором не были внедрены мероприятия по повышению энергетической эффективности.

Внедрение аналогичных мероприятий на всех цехах предприятия позволило бы более существенно снизить относительное потребление электрической энергии.

Определено, что для ЦТП-2 внедрение энергосберегающих мероприятий в сборочно-прессовом цехе позволило снизить потери электрической энергии на 6330,15 кВт·ч в год, а для ЦТП-6 потери электрической энергии снизилось на 7312,6 кВт·ч в год. Для ЦТП-2 и ЦТП-6

прессового производства снижения годового электропотребления составило 2024761 кВт·ч.

Внедрение разработанных энергосберегающих мероприятий позволит сэкономить порядка 7 млн. рублей в год.

Список используемой литературы

1. Баранов А.В., Зарандия Ж.А. Энергосбережение и энергоэффективность: учебное пособие. Тамбов : Тамбовский государственный технический университет. 2017. 96 с.
2. Дашков В.М., Кубарьков Ю.П., Макаров Я.В. Способы экономии электрической энергии в системах электроснабжения объектов : учебно-методическое пособие. Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 54 с.
3. Зимин Л.С., Леоненко А.С. Проектирование систем электроснабжения : учебное пособие. Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 64 с.
4. Климова Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях : учебное пособие. Томск : Томский политехнический университет, 2014. 180 с.
5. Клочкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.Н. Электроснабжение цеха : учебно-методическое пособие. Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. 144 с.
6. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. М : Ай Пи Ар Медиа, 2021. 44 с.
7. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
8. Луппов В.П. , Мятёж Т.В., Сидоркин Ю.М. Энергосбережение и энергоэффективность в энергетике : учебное пособие. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. 107 с.

9. Лыков Ю. Ф. Расчеты систем электроснабжения : сборник задач и упражнений. Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. 54 с.
10. Мунц В.А., Мунц Ю.Г. Энергосбережение при производстве тепловой энергии и анализ его экономической эффективности : учебное пособие. Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. 232 с.
11. Никитин К.В. Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве: учебное пособие. Самара : Самарский государственный технический университет. 2020. 60 с.
12. Родыгина С. В. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. От теории к практике : учебное пособие. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. 100 с.
13. Синюкова Т.В. Проектирование систем электроснабжения : учебное пособие. Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2020. 49 с.
14. Синюкова Т.В., Синюков А.В., Лесникова В.В. Электроснабжение и электрооборудование электрических установок : учебное пособие. Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. 80 с.
15. Стрельников, Н. А. Энергосбережение : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. 72 с.
16. Шеина С.Г., Миненко Е.Н., Федяева П.В. Методы внедрения лучшего европейского опыта энергосбережения в Российской Федерации : учебное пособие. Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2020. 181 с.
17. Bertoldi P. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting. Springer Cham. 2022. 498 P.
18. Blesl M., Kessler A. Energy Efficiency in Industry. Springer Berlin: Heidelberg. 2021. 481 P.

19. Panos K., Margarete K. The Power Supply Industry. Springer Cham. 2018. 374 P.
20. 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.
21. Vukosavic S.N. Electrical Machines. New York: Springer NY. 2013. 650 P.