

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение текстильного предприятия

Обучающийся

В.В. Новиков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

Аннотация

В выпускной квалификационной работе представлены результаты проектирования внутризаводской системы электроснабжения текстильного предприятия.

Выполнен анализ объекта выпускной квалификационной работы – текстильного предприятия и представлена его краткая характеристика с исходными данными. Выполнен расчет электрических нагрузок текстильного предприятия, на основании которого построена картограмма электрических нагрузок позволившая определить оптимальное место размещения главной понизительной подстанции текстильного предприятия. Выполнен выбор количества распределительных цеховых подстанций внутризаводской системы электроснабжения текстильного предприятия. Для цеховых распределительных подстанций выбраны трансформаторы, мощность которых определена с учетом компенсации реактивной мощности. Выбраны кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена для питания цеховых распределительных подстанций, производственных и административных зданий фабрики, а также высоковольтных электроприемников и распределительного пункта. Для главной понизительной подстанции выбраны силовые трансформаторы.

Пояснительная записка выполнена на 73 листах формата А4, содержит 9 рисунков и 18 таблиц. В списке используемой литературы представлено 20 источников. Графическая часть выпускной квалификационной работы выполнена на шести листах формата А1 и отражает основные результаты проектирования внутризаводской системы электроснабжения текстильного предприятия.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристики объекта.....	6
2 Электрические нагрузки текстильного предприятия.....	10
2.1 Мощность внутренней системы освещения зданий текстильного предприятия.....	10
2.2 Система уличного освещения.....	13
2.3 Суммарная установленная и расчетная нагрузки текстильного предприятия.....	19
3 Картограмма нагрузок текстильного предприятия.....	27
4 Компенсация реактивной мощности.....	32
5 Выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.....	35
6 Выбор мощности трансформаторов главной понизительной подстанции...	49
7 Выбор питающих линий.....	61
7.1 Выбор линии от подстанции электроэнергетической системы.....	61
7.2 Выбор кабелей сети 6 кВ.....	63
Заключение.....	68
Список используемой литературы и используемых источников.....	72

Введение

Текстильная промышленность является отраслью народного хозяйства, которая занимается производством пряжи, нитей, тканей и изделий на их основе. Предприятия текстильной промышленности могут производить продукцию на основе волокон растительного, животного или искусственного происхождения. Предприятия текстильной промышленности не только занимаются производством продукции, но и обеспечивают сырьем предприятия легкой промышленности.

На территории России имеются все условия для развития промышленных предприятий, выпускающих синтетические и искусственные пряжи и ткани, так как главным сырьем в их производстве являются углеводороды. Кроме того, на территории России имеются крупные запасы лесных ресурсов, которые могут быть использованы для выпуска целлюлозы и вискозы. Развитие производства хлопковых тканей в России невозможно по климатическим факторам. Основными поставщиками хлопка для производства хлопковых тканей являются страны Средней Азии. Республика Таджикистан занимает первое место среди экспортеров нечесаного хлопкового волокна с долей рынка 34%, на втором месте Республика Казахстан с долей рынка 29%, на третьем месте Республика Киргизия с долей рынка 24% и на четвертом месте стоит Республика Узбекистан с уровнем экспорта 11%. В настоящее время поставки сырья для производства хлопковых тканей в Россию сокращаются. Это связано с тем, что основные экспортеры хлопка стараются развивать собственные предприятия текстильной промышленности. Однако развитие текстильной промышленности требует огромных финансовых затрат, что является сдерживающим фактором развития текстильной промышленности в странах Средней Азии.

При этом на территории России наблюдается высокий рост спроса на изделия из тканей, в том числе растительного происхождения. Поэтому правительство РФ рассматривает возможности развития не только

текстильной промышленности, но и развитие производства хлопка. По оценкам Министерства сельского хозяйства на территории России для возделывания хлопка доступны около 220 тыс. гектар при условии обеспечения мелиорации этих территорий.

В России в настоящее время производством хлопка занимаются несколько регионов. На первом месте по производству хлопка находится Волгоградская область с долей производимой продукции 39%, на втором месте находится Астраханская область с долей рынка 26,3% и на третьем месте находится Ставропольский край с долей производства хлопка 25,7%. Развитие производственных мощностей в указанных регионах позволит повысить долю производимой продукции, поэтому для поддержания отрасли необходимо развивать крупные предприятия текстильной промышленности. Исходя из этого тематика выпускной квалификационной работы, связанная с электроснабжением текстильной фабрики, является актуальной.

Объектом выпускной квалификационной работы является текстильное предприятие полного цикла производства.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта системы электроснабжения текстильного предприятия.

Для достижения поставленной цели в рамках выпускной квалификационной работы необходимо выполнить решение следующих задач:

- проанализировать объект выпускной квалификационной работы и определить исходные данные для проектирования;
- выполнить расчет электрических нагрузок по объекту выпускной квалификационной работы и определить оптимальное размещение центров питания внутризаводской системы электроснабжения;
- выполнить выбор основного электротехнического оборудования внутризаводской системы электроснабжения на основании соответствия расчетным параметрам внутризаводской системы электроснабжения.

1 Краткая характеристики объекта

Объектом выпускной квалификационной работы является текстильное предприятие полного цикла производства. В состав объекта выпускной квалификационной работы входят производственные и административные здания, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Производственные и административные здания текстильного предприятия

Наименование здания	Номер здания
Административный корпус	1
Прядильно-кордная фабрика №1	2
Ткацкая фабрика №1	3
Ткацкая фабрика №2	4
Отбельно-красильный корпус отделочной фабрики	5
Печатно-аппретурный корпус отделочной фабрики	6
Станция водоподготовки	7
Склад масел	8
Склад реагентов	9
Склад готовой продукции	10
Склад вспомогательных материалов	11
Ремонтно-механический цех	12
Склад хлопка	13
Депо электрокар	14
Блок подсобных цехов	15
Хлопковая база	16
Компрессорная	17
Склад декоративных тканей	18
Холодильная станция	19
Насосная	20
Ремонтно-строительный цех	21
Прядильно-ниточная фабрика	22
Прядильно-гребенная фабрика №1	23
Прядильно-гребенная фабрика №2	24
Ткацкая фабрика №3	25

Расположение производственных и административных зданий текстильного предприятия по территории представлено на рисунке 1. Площадь территории, занимаемая объектом выпускной квалификационной работы $S_{\text{тер.ТП}} = 401475 \text{ (м}^2\text{)}$.



Рисунок 1 - Генеральный план текстильного предприятия

Источник питания – подстанция электроэнергетической системы, расположенная с юго-восточной стороны на расстоянии 10 км от объекта выпускной квалификационной работы. Мощность электроэнергетической системы $S_{ЭЭС} = 800$ (МВА).

На объекте выпускной квалификационной работы присутствуют как низковольтные потребители – на напряжении 0,4 кВ, так и высоковольтные электроприемники – приводы компрессоров на напряжении 6 кВ. Нагрузки потребителей – производственных и административных зданий, объекта выпускной квалификационной работы представлены в таблице 2. Кроме того, данные таблицы 2, дополнены значениями площадей производственных и административных зданий, которые необходимы для расчета нагрузки внутренней системы освещения и использования полученных данных для выполнения задач выпускной квалификационной работы.

Таблица 2 - Установленная мощность электроприемников производственных и административных зданий

Номер цеха	Установленная мощность, кВт		Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	Коэффициент спроса (K_c)	Площадь, м ²
	на напряжении 0,4 кВ	на напряжении 6 кВ			
1	100	-	0,8	0,8	18765,44883
2	7010	-	0,75	0,5	74095,2965
3	3200	-	0,8	0,6	159912,6603
4	2150	-	0,8	0,6	159374,8424
5	1770	-	0,8	0,5	46203,04419
6	4600	-	0,75	0,5	45578,67873
7	1100	-	0,8	0,55	30524,73126
8	20	-	0,85	0,3	3236,882925
9	15	-	0,8	0,4	2580,035235
10	30	-	0,8	0,3	8052,93495
11	120	-	0,8	0,3	17355,77382
12	80	-	0,65	0,2	38772,69768
13	20	-	0,8	0,3	14861,00418
14	250	-	0,8	0,5	2989,27671
15	70	-	0,7	0,3	11356,95627
16	30	-	0,8	0,3	22148,31299
17	1170	4×1500	0,75	0,8	18812,57105
18	15	-	0,8	0,3	13009,46975
19	2210	-	0,8	0,6	25176,08108
20	380	-	0,75	0,8	8387,91699
21	120	-	0,65	0,2	10459,14528

Продолжение таблицы 2

Номер цеха	Установленная мощность, кВт		Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	Коэффициент спроса (K_c)	Площадь, м ²
	на напряжении 0,4 кВ	на напряжении 6 кВ			
22	8810	-	0,75	0,55	76239,03866
23	8190	-	0,75	0,6	70765,17081
24	10300	-	0,75	0,5	63272,38803
25	8350	-	0,8	0,65	480816,9508

Данные таблицы 2, а также генеральный план объекта выпускной квалификационной работы являются исходными данными для проектирования системы электроснабжения текстильного предприятия. Исходные данные по размещению производственных зданий текстильного предприятия, а также данные по установленной мощности всех производственных зданий предприятия определены согласно [20], значения коэффициентов мощностей и коэффициентов спроса для каждого производственного здания текстильного предприятия определены в соответствии с отраслью объекта выпускной квалификационной работы по [11].

Выводы по разделу.

В первом разделе выпускной квалификационной работы (ВКР) представлены исходные данные и краткая характеристика объекта выпускной квалификационной работы. На объекте ВКР только в одном здании – цех №17 (компрессорная) присутствуют высоковольтные электроприемники на напряжение 6 кВ – синхронные двигатели приводов компрессоров, поэтому для внутризаводской распределительной сети необходимо рассматривать преимущественно именно этот класс напряжения для снижения числа используемого оборудования – трансформаторов.

2 Электрические нагрузки текстильного предприятия

В разделе представлены результаты расчета нагрузок системы освещения производственных и административных зданий текстильного предприятия, а также определены суточные и годовые графики электрических нагрузок всего предприятия.

2.1 Мощность внутренней системы освещения зданий текстильного предприятия

Для определения электрических нагрузок системы освещения объекта выпускной квалификационной работы воспользуемся методикой удельной мощности. Для каждого производственного и административного здания, размещенного на объекте выпускной квалификационной работы.

Метод расчета мощности системы освещения по величине удельной мощности предполагает определение индексов помещений и требуемой (нормируемой) освещенности рабочих поверхностей. Используя данные по каждому помещению из таблицы 1 и таблицы 2, а также данные [5] и [16] составим таблицу 3 в которой отразим исходные данные для расчета мощности внутренней системы освещения зданий расположенных на территории текстильного предприятия.

Для расчета предварительной мощности системы внутреннего освещения необходимо использовать выражение:

$$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}} = p_{\text{уд.осв.}i} \cdot S_i \quad (1)$$

где $p_{\text{уд.осв.}i}$ – удельная мощность системы освещения для i -го здания текстильного предприятия. Принимается по данным таблицы 3, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

S_i – площадь i -го здания текстильного предприятия. Принимается по данным таблицы 3, м^2 .

Таблица 3 - Данные для расчета системы мощности внутренней системы освещения

Номер цеха, i	Значение общего уровня освещенности, лк	Площадь (S_i), м ²	Максимальная удельная установленная мощность ($p_{уд.осв.i}$), $\frac{Вт}{м^2}$
1	300	18765,44883	2,75
2	500	74095,2965	4,4
3	500	159912,6603	4,4
4	500	159374,8424	4,4
5	300	46203,04419	2,75
6	300	45578,67873	4,4
7	150	30524,73126	1,65
8	75	3236,882925	1,1
9	75	2580,035235	1,1
10	75	8052,93495	1,1
11	75	17355,77382	1,1
12	300	38772,69768	2,75
13	75	14861,00418	1,1
14	75	2989,27671	1,1
15	75	11356,95627	1,1
16	75	22148,31299	1,1
17	150	18812,57105	1,65
18	75	13009,46975	1,1
19	150	25176,08108	1,65
20	100	8387,91699	1,38
21	300	10459,14528	2,75
22	500	76239,03866	4,4
23	500	70765,17081	4,4
24	500	63272,38803	4,4
25	500	480816,9508	4,4

Используя данные таблицы 3, по выражению (1), для производственного здания №2 (прядаильно-кордная фабрика №1) (позиция 2 рисунок 1) получим:

$$P_{осв.2}^{пр} = p_{уд.осв.2} \cdot S_2 = 8 \cdot 74095,2965 = 592762,372 \text{ (Вт)}$$

Для всех остальных производственных и административных зданий текстильного предприятия расчет мощности системы внутреннего освещения выполняется аналогично производственного здания №2 (прядаильно-кордная фабрика №1) с использованием выражения (1) и таблицы 3. Расчетные значения предварительной мощности системы внутреннего освещения для

всех производственных и административных зданий текстильного предприятия сведем в таблицу 4. Итоговое значение общей мощности системы внутреннего освещения текстильного предприятия найдем, используя выражение:

$$P_{\text{осв.}\Sigma}^{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{n=25} P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$$

где n – общее число производственных и административных зданий текстильного предприятия, принимается по данным таблицы 3 $n = 25$, шт.;

$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$ - предварительная мощность системы внутреннего освещения i -го здания текстильного предприятия, Вт.

Таблица 4 - Расчет предварительной мощности системы внутреннего освещения помещений текстильного предприятия

Номер цеха, i	Площадь (S_i), м ²	$p_{\text{уд.осв.}i}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$, Вт	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$, кВт
1	18765,45	2,75	51604,98	51,60498
2	74095,3	4,4	326019,3	326,0193
3	159912,7	4,4	703615,7	703,6157
4	159374,8	4,4	701249,3	701,2493
5	46203,04	2,75	127058,4	127,0584
6	45578,68	4,4	200546,2	200,5462
7	30524,73	1,65	50365,81	50,36581
8	3236,883	1,1	3560,571	3,560571
9	2580,035	1,1	2838,039	2,838039
10	8052,935	1,1	8858,228	8,858228
11	17355,77	1,1	19091,35	19,09135
12	38772,7	2,75	106624,9	106,6249
13	14861	1,1	16347,1	16,3471
14	2989,277	1,1	3288,204	3,288204
15	11356,96	1,1	12492,65	12,49265
16	22148,31	1,1	24363,14	24,36314
17	18812,57	1,65	31040,74	31,04074
18	13009,47	1,1	14310,42	14,31042
19	25176,08	1,65	41540,53	41,54053
20	8387,917	1,38	11575,33	11,57533
21	10459,15	2,75	28762,65	28,76265
22	76239,04	4,4	335451,8	335,4518

Продолжение таблицы 4

Номер цеха, i	Площадь (S_i), м ²	$p_{уд.осв.i}$, $\frac{Вт}{м^2}$	$P_{осв.i}^{пр}$, Вт	$P_{осв.i}^{пр}$, кВт
23	70765,17	4,4	311366,8	311,3668
24	63272,39	4,4	278398,5	278,3985
25	480817	4,4	2115595	2115,595
Итого ($P_{осв.Σ}^{пр}$), кВт				5525,965159

Стоит отметить, что значение мощности системы освещения, полученное являются предварительным, т.е. не учитывает типа и количества светильников системы внутреннего освещения, а также освещенность, в том числе нормируемую, всех производственных участков. Значения мощности системы внутреннего освещения могут быть завышены и должны корректироваться на этапе проектирования внутренней системы электроснабжения производственных и административных зданий. Однако полученные данные могут быть использованы для проектирования внутризаводской системы электроснабжения согласно цели выпускной квалификационной работы.

2.2 Система уличного освещения

Для расчета мощности личного освещения текстильного предприятия, также как и для системы внутреннего освещения, используем метод удельной мощности.

Для применения метода удельной мощности для системы уличного освещения необходимо определить на первом этапе высоту установки световых мачт. Для унификации проекта, для системы уличного освещения используем световые опоры высотой 7 (м) типа ОГК-7. Данные световые опоры устанавливаются вдоль проезжей части и крепятся с помощью болтовых соединений к анкерным элементам фундамента.

На объекте выпускной квалификационной работы присутствуют два типа проезжих частей. Первый тип – это проезжая часть шириной 7,5 м и

второй тип – это проезжая часть шириной 4,5 м. Рассматривая два типа проезжих частей текстильного предприятия примем, что для проезжей части первого типа требуемый уровень освещенности 10 лк, а для проезжей части второго типа 5 лк. Принятые требования по уровню освещенности полностью согласуются с требованиями [2], [3] и [7].

Расчет освещенности выполним с использованием специализированного программного обеспечения DiaLuxEvo [15]. DiaLuxEvo позволяет проводить расчеты не только уличного, но и внутреннего освещения, однако для расчета внутреннего освещения необходимо наличие плана помещения и плана расстановки технологического оборудования. Поэтому данное специализированное программное обеспечение не применялось при проведении расчетов мощности внутреннего освещения производственных и административных зданий текстильного предприятия.

Для системы уличного освещения предлагается использовать светодиодные светильники типа Simple Evo, производства российской компании «Световые технологии».

Для проезжей части первого типа принято установить световые опоры со светильниками типа Simple Evo в шахматном порядке, угол наклона консоли светильника принят 15° . Расстояние вылета световой точки составило 0,5 (м), расстояние между светильниками с одной стороны проезжей части первого типа $L_{M.CB}^I = 32$ (м). Результаты расчета освещенности для проезжей части первого типа полученные с помощью специализированного программного обеспечения DiaLuxEvo представлены на рисунке 2.

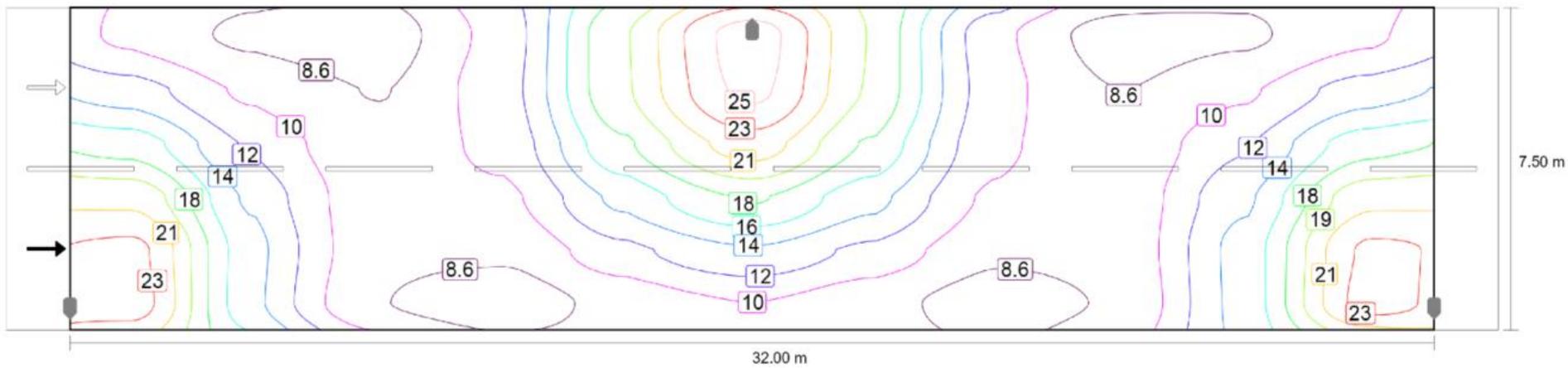


Рисунок 2 - Результаты расчета горизонтальной освещенности для проезжей части шириной 7,5 м

Для проезжей части второго типа примем к установки светильники типа Simple Evo производства «Световые технологии». Светильники размещаем на высоте 7 (м) с одной стороны проезжей части. Расстояние между светильниками принимаем $L_{\text{м.св}}^{\text{II}} = 20$ (м). Наклон консоли светильника принимаем 45° , а расстояние вылета светильника принимаем 0,3 (м). Результаты расчета освещенности для проезжей части второго типа полученные с помощью специализированного программного обеспечения DiaLuxEvo представлены на рисунке 3.

Для определения числа светильников для проезжих частей воспользуемся генеральным планом текстильного предприятия и определим общую длину для проезжих частей первого и второго типов.

Общая длина проезжей части первого типа $L_{\text{пр.ч}}^{\text{I}} = 3926,487$ (м), а второго типа $L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}} = 2516,715$ (м).

Определим число светильников для проезжей части второго типа используя выражение:

$$n_{\text{св.}}^{\text{II}} = K_{\text{ряд}} \cdot \left\lceil \frac{L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}}}{L_{\text{м.св}}^{\text{II}}} \right\rceil = 1 \cdot \left\lceil \frac{2516,715}{20} \right\rceil = 126 \text{ (шт.)}$$

где $K_{\text{ряд}}$ – коэффициент, определяющий размещение светильников. При одностороннем размещении принимается $K_{\text{ряд}} = 1$;

$L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}}$ – суммарная длина проезжей части второго типа согласно генеральному плану текстильного предприятия, м;

$L_{\text{м.св}}^{\text{II}}$ – расстояние между светильниками, принятое для проезжей части второго типа, м.

Определим число светильников для проезжей части первого типа используя выражение:

$$n_{\text{св.}}^I = K_{\text{ряд}} \cdot \left\lceil \frac{L_{\text{пр.ч}}^I}{L_{\text{м.св}}^I} \right\rceil = 2 \cdot \left\lceil \frac{3926,487}{32} \right\rceil = 246 \text{ (шт.)}$$

где $K_{\text{ряд}}$ – коэффициент, определяющий размещение светильников. При двухстороннем размещении принимается $K_{\text{ряд}} = 2$;

$L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}}$ – суммарная длина проезжей части второго типа согласно генеральному плану текстильного предприятия, м;

$L_{\text{м.св}}^{\text{II}}$ – расстояние между светильниками, принятое для проезжей части второго типа, м.

Определим мощность системы освещения согласно расчетным значениям числа светильников. Мощность каждого светильника составляет $P_{\text{ном.УС}} = 40$ (Вт), тогда с учетом расчетного значения количества светильников для дорог первого $n_{\text{св.}}^I = 246$ (шт.) и второго $n_{\text{св.}}^{\text{II}} = 126$ (шт.) типов, общая мощность системы уличного освещения составит:

$$P_{\text{уст.УС}} = P_{\text{ном.УС}} \cdot (n_{\text{св.}}^I + n_{\text{св.}}^{\text{II}}) = 40 \cdot (246 + 126) = 14880 \text{ (Вт)}$$

Значение мощности системы уличного освещения $P_{\text{уст.УС}} = 14,88$ (кВт) будет использована при расчете электрических нагрузок всего текстильного предприятия.

Расчетные данные системы уличного освещения представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты расчета уличного освещения

Тип проезжей части	Расчетные значения освещенности, лк		
	$E_{\text{ср}}$	E_{min}	E_{max}
1	13,4	7,71	25,7
2	10,6	4,45	19,1

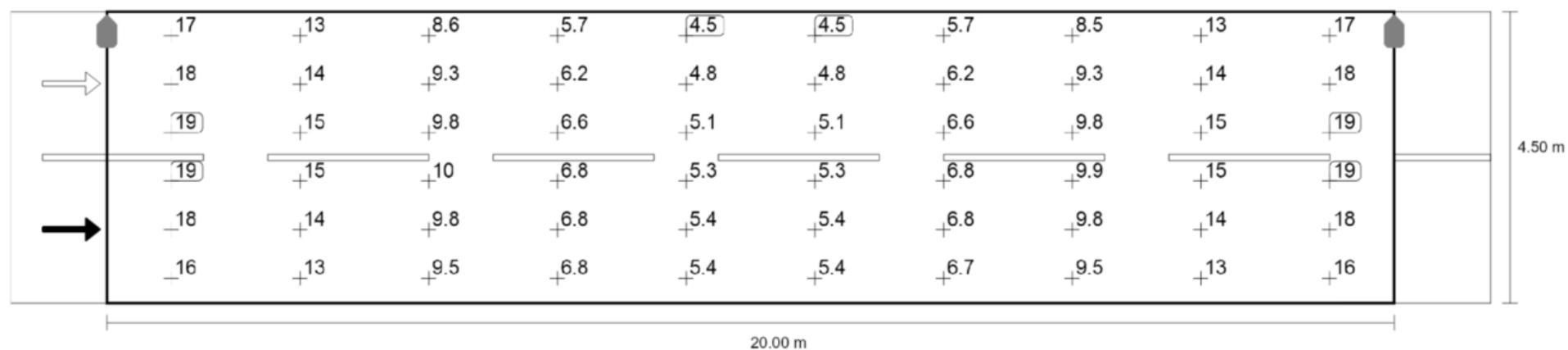
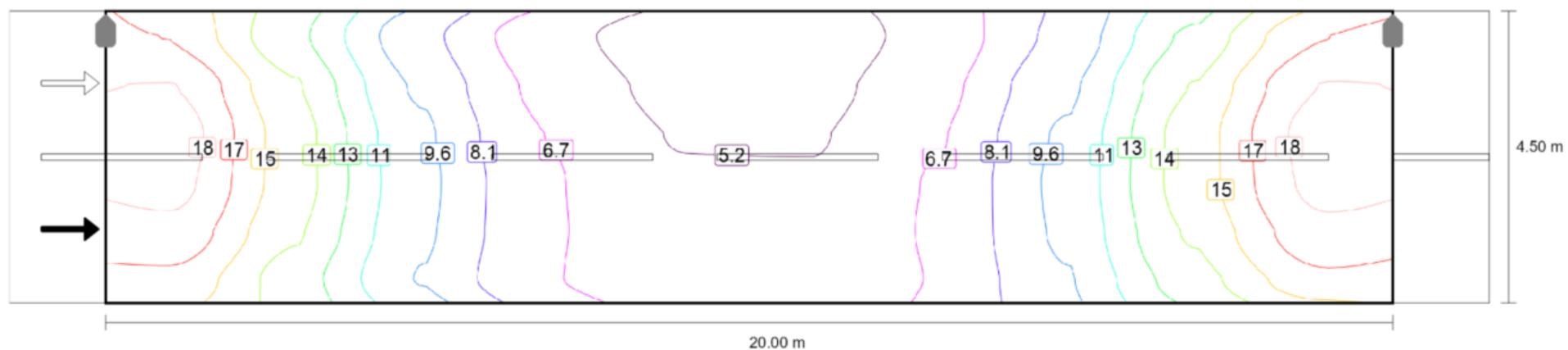


Рисунок 3 - Результаты расчета горизонтальной освещенности для проезжей части шириной 4,5 м

Выбор варианта размещения уличных светильников для проезжих частей первого и второго типа (таблица 5) определялся значениями средней освещенности расчетного участка $E_{\text{ср}}$ (лк).

Полученные результаты расчета мощности системы уличного освещения должны быть скорректированы с учетом размещения уличных светильников вдоль проезжих частей первого и второго типов. После корректировки расположения уличных светильников мощность системы уличного освещения может увеличиться, однако для выполнения цели выпускной квалификационной работы будут использованы текущие расчетные значения.

2.3 Суммарная установленная и расчетная нагрузки текстильного предприятия

График электрических нагрузок текстильного предприятия необходим для выбора типа и мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции. Кроме того, в данном подразделе выпускной квалификационной работы будет определена суммарная установленная мощность всего предприятия с учетом исходных данных представленных в таблице 2, а также данных полученных при расчете мощности системы внутреннего освещения каждого цеха и мощности системы уличного освещения.

Для определения установленной мощности всего текстильного предприятия составим сводную ведомость, представленную в таблице 6. В таблицу 6 также внесем полученное ранее значение мощности системы уличного освещения и мощность освещения каждого цеха ($P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$), кВт. Для систем уличного и внутреннего освещения коэффициент мощности не указываем, так как используются светодиодные светильники с коэффициентом мощности $\cos \varphi \cong 1$.

Суммарная установленная мощность определяется выражением:

$$P_{\text{уст.}\Sigma.i} = P_{\text{уст.}(0,4).i} + P_{\text{уст.}(6).i} + P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}} \quad (2)$$

где i – номер или наименование электроприемника (ЭП), столбец 1 таблицы 6;

$P_{\text{уст.}(0,4).i}$ – установленная мощность i -го электроприемника на напряжении $U_{\text{сети}} = 0,4$ кВ, столбец 2 таблица 6, кВт;

$P_{\text{уст.}(6).i}$ – установленная мощность i -го электроприемника на напряжении $U_{\text{сети}} = 6$ кВ, столбец 3 таблица 6, кВт;

$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$ – установленная предварительная мощность системы внутреннего освещения i -го цеха текстильного предприятия, столбец 4 таблица 6, кВт.

Установленная полная мощность определяется выражением:

$$S_{\text{уст.}(6).i} = \frac{P_{\text{уст.}\Sigma.i}}{\cos \varphi_i} \quad (3)$$

где $P_{\text{уст.}\Sigma.i}$ – суммарная установленная мощность i -го электроприемника полученная по выражению (2) (столбец 5 таблицы 6), кВт;

$\cos \varphi_i$ – коэффициент активной мощности i -го электроприемника (столбец 6 таблицы 6).

Установленная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{\text{уст.}(6).i} = \sqrt{S_{\text{уст.}(6).i}^2 - P_{\text{уст.}\Sigma.i}^2} \quad (4)$$

где $S_{\text{уст.}(6).i}$ – установленная полная мощность i -го электроприемника полученная по выражению (3) (столбец 7 таблицы 6), кВА;

$P_{\text{уст.}\Sigma.i}$ – суммарная установленная мощность i -го электроприемника полученная по выражению (2) (столбец 5 таблицы 6), кВт.

Выполним расчет согласно методике представленной выражениями (2) - (4) для цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$.

Суммарная установленная мощность цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$ по (2):

$$P_{\text{уст.}\Sigma.2} = P_{\text{уст.}(0,4).2} + P_{\text{уст.}(6).2} + P_{\text{осв.}2}^{\text{пр}}$$
$$P_{\text{уст.}\Sigma.2} = 7010 + 0 + 326,02 = 7336,02 \text{ (кВт)}$$

Установленная полная мощность цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$ по (3):

$$S_{\text{уст.}(6).2} = \frac{P_{\text{уст.}\Sigma.2}}{\cos \varphi_2}$$
$$S_{\text{уст.}(6).2} = \frac{7336,02}{0,75} = 9781,359073 \text{ (кВА)}$$

Установленная реактивная мощность цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$ по (4):

$$Q_{\text{уст.}(6).2} = \sqrt{S_{\text{уст.}(6).2}^2 - P_{\text{уст.}\Sigma.2}^2}$$
$$Q_{\text{уст.}(6).2} = \sqrt{9781,359073^2 - 7336,02^2} = 6469,760898 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных цехов текстильного предприятия расчеты выполняются аналогично цеху №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$, по выражениям (2) - (4). Итоговая ведомость с расчетными значениями установленной мощности для каждого ЭП представлена в таблице 6.

Таблица 6 - Сводная ведомость нагрузок текстильного предприятия

Номер цеха и наименование ЭП, (i)	Установленная мощность, кВт				$\cos \varphi_i$	$S_{уст.(6).i}$, кВА	$Q_{уст.(6).i}$, квар
	$P_{уст.(0,4).i}$	$P_{уст.(6).i}$	$P_{осв.i}^{пп}$	$P_{уст.Σ.i}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	-	51,60498	151,605	0,8	189,5062	136,3552
2	7010	-	326,0193	7336,019	0,75	14672,04	12706,36
3	3200	-	703,6157	3903,616	0,8	4879,52	2927,712
4	2150	-	701,2493	2851,249	0,8	3564,062	2138,437
5	1770	-	127,0584	1897,058	0,8	2371,323	1422,794
6	4600	-	200,5462	4800,546	0,75	6400,728	4233,684
7	1100	-	50,36581	1150,366	0,8	1437,957	862,7744
8	20	-	3,560571	23,56057	0,85	27,71832	14,60153
9	15	-	2,838039	17,83804	0,8	22,29755	13,37853
10	30	-	8,858228	38,85823	0,8	48,57279	29,14367
11	120	-	19,09135	139,0914	0,8	173,8642	104,3185
12	80	-	106,6249	186,6249	0,65	287,1153	218,1887
13	20	-	16,3471	36,3471	0,8	45,43388	27,26033
14	250	-	3,288204	253,2882	0,8	316,6103	189,9662
15	70	-	12,49265	82,49265	0,7	117,8466	84,15934
16	30	-	24,36314	54,36314	0,8	67,95393	40,77236
17	1170	6000	31,04074	7201,041	0,75	9601,388	6350,721
18	15	-	14,31042	29,31042	0,8	36,63802	21,98281
19	2210	-	41,54053	2251,541	0,8	2814,426	1688,655
20	380	-	11,57533	391,5753	0,75	522,1004	345,337
21	120	-	28,76265	148,7626	0,65	228,8656	173,9228
22	8810	-	335,4518	9145,452	0,75	12193,94	8065,53
23	8190	-	311,3668	8501,367	0,75	11335,16	7497,501
24	10300	-	278,3985	10578,4	0,75	14104,53	9329,271
25	8350	-	2115,595	10465,59	0,8	13081,99	7849,196
Уличное освещение (УО)	14,88	-	0	14,88	0,98	15,18367	3,021513

Суммарные мощности $P_{уст.(6).\Sigma}$, $S_{уст.(6).\Sigma}$ и $Q_{уст.(6).\Sigma}$ определим путем сложения значений в столбцах 5, 7, 8 таблицы 6 соответственно.

Значения суммарной активной установленной мощности по текстильному предприятию $P_{уст.(6).\Sigma} = 71650,84516$ (кВт), реактивной установленной мощности $Q_{уст.(6).\Sigma} = 66475,04127$ (квар) и полной установленной мощности $S_{уст.(6).\Sigma} = 98556,76439$ (кВА).

Суммарные значения установленных мощностей имеют очень высокие значения, что объясняется отсутствием учета работы каждого производственного и административного здания текстильного предприятия. Учет вклада мощности каждого производственного и административного здания текстильного предприятия в общее потребление мощности учитывается значением коэффициента спроса, которое было задано для каждого здания текстильного предприятия в исходных данных (таблица 2).

Для определения значения расчетной мощности используется выражение:

$$P_{расч.\Sigma.i} = P_{уст.\Sigma.i} \cdot K_c \quad (5)$$

По (5) для цеха №2 (прядильно-кордная фабрика №1), $i = 2$, с учетом данных таблицы 6 расчетное значение активной мощности составит:

$$P_{расч.\Sigma.2} = P_{уст.\Sigma.2} \cdot K_c = 7336,019 \cdot 0,5 = 3831,019305 \text{ (кВт)}$$

Тогда расчетная полная мощность цеха №2 (прядильно-кордная фабрика №1), $i = 2$ по (3) с учетом значения полученного по (5):

$$S_{расч.\Sigma.2} = \frac{P_{расч.\Sigma.2}}{\cos \varphi_2} = \frac{3831,019305}{0,75} = 5108,025739 \text{ (кВА)}$$

Расчетная реактивная мощность цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$ по (4) с учетом значения полученного по (5):

$$Q_{\text{расч.}\Sigma.2} = \sqrt{S_{\text{расч.}\Sigma.2}^2 - P_{\text{расч.}\Sigma.2}^2}$$

$$Q_{\text{расч.}\Sigma.2} = \sqrt{5108,025739^2 - 3831,019305^2} = 3378,641449 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных производственных и административных зданий текстильного предприятия определение расчетных значений мощностей определим аналогично цеха №2 (прядельно-кордная фабрика №1), $i = 2$. Значения расчетных мощностей сведем в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчетные нагрузки текстильного предприятия

Номер цеха и наименование ЭП, (i)	K_c	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$S_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВА	$Q_{\text{расч.}\Sigma.i}$, квар
1	0,8	131,605	164,5062	98,70374
2	0,5	3831,019	5108,026	3378,641
3	0,6	2623,616	3279,52	1967,712
4	0,6	1991,249	2489,062	1493,437
5	0,5	1012,058	1265,073	759,0438
6	0,5	2500,546	3334,062	2205,274
7	0,55	655,3658	819,2073	491,5244
8	0,3	9,560571	11,24773	5,92511
9	0,4	8,838039	11,04755	6,628529
10	0,3	17,85823	22,32279	13,39367
11	0,3	55,09135	68,86419	41,31851
12	0,2	122,6249	188,6537	143,3644
13	0,3	22,3471	27,93388	16,76033
14	0,5	128,2882	160,3603	96,21615
15	0,3	33,49265	47,84665	34,16934
16	0,3	33,36314	41,70393	25,02236
17	0,8	5767,041	7689,388	5086,052
18	0,3	18,81042	23,51302	14,10781
19	0,6	1367,541	1709,426	1025,655
20	0,8	315,5753	420,7671	278,3113
21	0,2	52,76265	81,17331	61,68637
22	0,55	5180,952	6907,936	4569,17
23	0,6	5225,367	6967,156	4608,34
24	0,5	5428,399	7237,865	4787,397
25	0,65	7543,095	9428,868	5657,321

Продолжение таблицы 7

Номер цеха и наименование ЭП, (i)	K_c	$P_{расч.Σ.i}$, кВт	$S_{расч.Σ.i}$, кВА	$Q_{расч.Σ.i}$, квар
26 (УО)	1	14,88	15,18367	3,021513
$\sum_{i=1}^{26} P_{расч.Σ.i}$, кВт		44091,34516	-	-
$\sum_{i=1}^{26} S_{расч.Σ.i}$, кВА			57520,71042	-
$\sum_{i=1}^{26} Q_{расч.Σ.i}$, квар				36868,19791

Полученные в таблице 7 значения $\sum_{i=1}^{26} P_{расч.Σ.i} = 44091,35$ (кВт), $\sum_{i=1}^{26} S_{расч.Σ.i} = 57520,71$ (кВА) и $\sum_{i=1}^{26} Q_{расч.Σ.i} = 36868,2$ (квар) необходимо уточнить после проверки необходимости компенсации реактивной мощности в проектируемой системе электроснабжения текстильного предприятия.

Выводы по разделу.

Выполнен расчет предварительной мощности систем внутреннего освещения всех производственных и административных зданий текстильного предприятия. Расчетные значения мощности системы внутреннего освещения получены по методу удельной мощности.

Выполнен расчет системы уличного освещения для проезжих частей на территории текстильного предприятия. Все проезжие части разделены на два типа по ширине. Общая длина проезжей части первого типа шириной 7,5 м составила $L_{пр.ч}^I = 3926,487$ (м). Для проезжей части первого типа выбрана расстановка светильников в «шахматном» порядке. Общее число светильников $n_{св.}^I = 246$ (шт.). Общая длина проезжей части второго типа шириной 4,5 м составила $L_{пр.ч}^{II} = 2516,715$ (м). Для проезжей части второго типа выбрана расстановка светильников с одной стороны проезжей части. Общее число светильников $n_{св.}^{II} = 126$ (шт.). Все уличные светильники имеют мощность 40 Вт и устанавливаются на опорах высотой 7 м. Расчетная мощность системы освещения составила $P_{уст.УС} = 14,88$ (кВт).

С учетом расчетных значений системы внутреннего и уличного освещения выполнен расчет установленной активной, реактивной и полной мощностей. Значения суммарной активной установленной мощности по

текстильному предприятию $P_{уст.(6).\Sigma} = 71650,84516$ (кВт), реактивной установленной мощности $Q_{уст.(6).\Sigma} = 66475,04127$ (квар) и полной установленной мощности $S_{уст.(6).\Sigma} = 98556,76439$ (кВА).

Суммарные значения установленных мощностей имеют очень высокие значения, что объясняется отсутствием учета режимов работы каждого производственного и административного здания текстильного предприятия. Учет вклада мощности каждого производственного и административного здания текстильного предприятия в общее потребление мощности в расчетах учитывалось значением коэффициента спроса, заданного исходными данными для каждого здания текстильного предприятия.

Учет коэффициента спроса позволил определить расчетные нагрузки текстильного предприятия, необходимы для дальнейшего проектирования системы электроснабжения. По результатам расчета получены значения суммарной расчетной активной мощности $\sum_{i=1}^{26} P_{расч.\Sigma.i} = 44091,35$ (кВт), суммарной полной расчетной мощности $\sum_{i=1}^{26} S_{расч.\Sigma.i} = 57520,71$ (кВА) и суммарной реактивной расчетной мощности $\sum_{i=1}^{26} Q_{расч.\Sigma.i} = 36868,2$ (квар). Значения суммарной полной расчетной мощности и суммарной реактивной расчетной мощности будут уточнены в разделе выбора типа и мощности установок компенсации реактивной мощности.

3 Картограмма нагрузок текстильного предприятия

В рамках третьего раздела необходимо построить картограмму электрических нагрузок текстильного предприятия с учетом расчетных значений, полученных в таблице 7. Картограмма электрических нагрузок строится по активной мощности, так как картограмма по реактивной мощности используется для определения наиболее эффективного места установки устройств компенсации. Для текстильного предприятия установки компенсации будут установлены на стороне 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций в разделе 4 ВКР.

В рамках построения картограммы электрических нагрузок определяются координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) по выражениям:

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma.i}} \quad (6)$$

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma.i}} \quad (7)$$

где n – число зданий текстильного предприятия, принимаем согласно исходным данным $n = 25$, шт.;

x_i – координаты i -го здания текстильного предприятия по оси абсцисс, м;

y_i – координаты i -го здания текстильного предприятия по оси ординат, м.

Радиусы окружностей для каждого здания текстильного предприятия отражающие величину расчетной активной мощности цеха определяются выражением:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{расч.}\Sigma.i}}{\pi \cdot m}} \quad (8)$$

где m – масштаб для определения площади круга. Принимаем $m = \frac{1}{10} = 0,1$ кВт/мм².

Доля мощности системы внутреннего освещения в суммарной расчетной мощности здания текстильного предприятия отображается сегментом окружности с углом:

$$\alpha_{\text{осв.}i} = \frac{P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}}{P_{\text{расч.}\Sigma.i}} \quad (9)$$

где $P_{\text{осв.}i}$ – расчетное значение мощности системы освещения i -го здания текстильного предприятия, кВт;

$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – суммарная расчетная мощность i -го здания текстильного предприятия, кВт.

Используя выражения (6) - (9) заполним таблицу 8.

Таблица 8 - Расчетная ведомость картограммы нагрузок

Номер цеха, i	x_i , м	y_i , м	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot x_i$, кВт·м	$P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot y_i$, кВт·м	r_i , м	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$, кВт	$\alpha_{\text{осв.}i}$, °
1	477,7	395	131,6	62863,9	51988	6,5	51,6	141,2
2	506	275,2	3831	1938662	1054458	34,9	326	30,6
3	625	291,6	2623,6	1639792	764932,7	28,9	703,6	96,5
4	622,8	218,2	1991,2	1240212	434500,1	25,2	701,2	126,8
5	716,5	275,2	1012,1	725155,4	278561,2	17,9	127,1	45,2
6	763,3	275,2	2500,5	1908588	688255,9	28,2	200,5	28,9
7	648,1	101,4	655,4	424750,6	66440,6	14,4	50,4	27,7
8	767,7	108,3	9,6	7339,5	1035	1,7	3,6	134,1
9	766,6	139	8,8	6774,9	1228,2	1,7	2,8	115,6
10	708	139	17,9	12643,7	2481,6	2,4	8,9	178,6
11	634,9	139	55,1	34979,6	7655,6	4,2	19,1	124,8
12	519,8	62,8	122,6	63743,4	7702,8	6,2	106,6	313
13	479,5	139	22,3	10715,9	3105,4	2,7	16,3	263,3
14	452,6	104,3	128,3	58057,5	13381,7	6,4	3,3	9,2

Продолжение таблицы 8

Номер цеха, i	x_i , м	y_i , м	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot x_i$, кВт·м	$P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot y_i$, кВт·м	r_i , м	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$, кВт	$\alpha_{\text{осв.}i}$, °
15	428,2	41	33,5	14340,1	1374,4	3,3	12,5	134,3
16	236,8	38,8	33,4	7901	1293,5	3,3	24,4	262,9
17	370,5	139	5767	2136801	801401,9	42,8	31	1,9
18	262,8	139	18,8	4943,9	2613,9	2,4	14,3	273,9
19	322	27,2	1367,5	440333,1	37224,3	20,9	41,5	10,9
20	378,4	72,3	315,6	119407,2	22804,9	10	11,6	13,2
21	34,1	38,6	52,8	1797,1	2039	4,1	28,8	196,2
22	92,5	170,7	5181	479412,7	884382,6	40,6	335,5	23,3
23	391,5	273,9	5225,4	2045900	1431386	40,8	311,4	21,5
24	449,3	278,3	5428,4	2438879	1510829	41,6	278,4	18,5
25	265,9	266,3	7543,1	2005660	2008686	49	2115,6	101
$\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт			44076,46	-	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot x_i$, кВт·м				17829654,38	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot y_i$, кВт·м					10079762,8	-	-	-

По данным таблицы 8 определим координаты центра электрических нагрузок по (6) и (7):

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i}} = \frac{17829654,3}{44076,46} = 391,53 \text{ (м)}$$

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{25} P_{\text{расч.}\Sigma.i}} = \frac{10079762,8}{44076,46} = 273,93 \text{ (м)}$$

Используя генеральный план текстильного предприятия (рисунок 1) построим картограмму электрических нагрузок, представленную на рисунке 4. На картограмме отметим расчетный центр электрических нагрузок с координатами $x_{\text{ЦЭН}} = 391,53$ (м) и $y_{\text{ЦЭН}} = 273,93$ (м).

Расчетный ЦЭН попадает на цех № 23 (прядельно-гребенная фабрика №1). Размещение главной понизительной подстанции в данной точке невозможно, поэтому сместим размещение ГПП в направлении прихода питания от внешней энергосистемы: северо-восточнее расчетного ЦЭН.

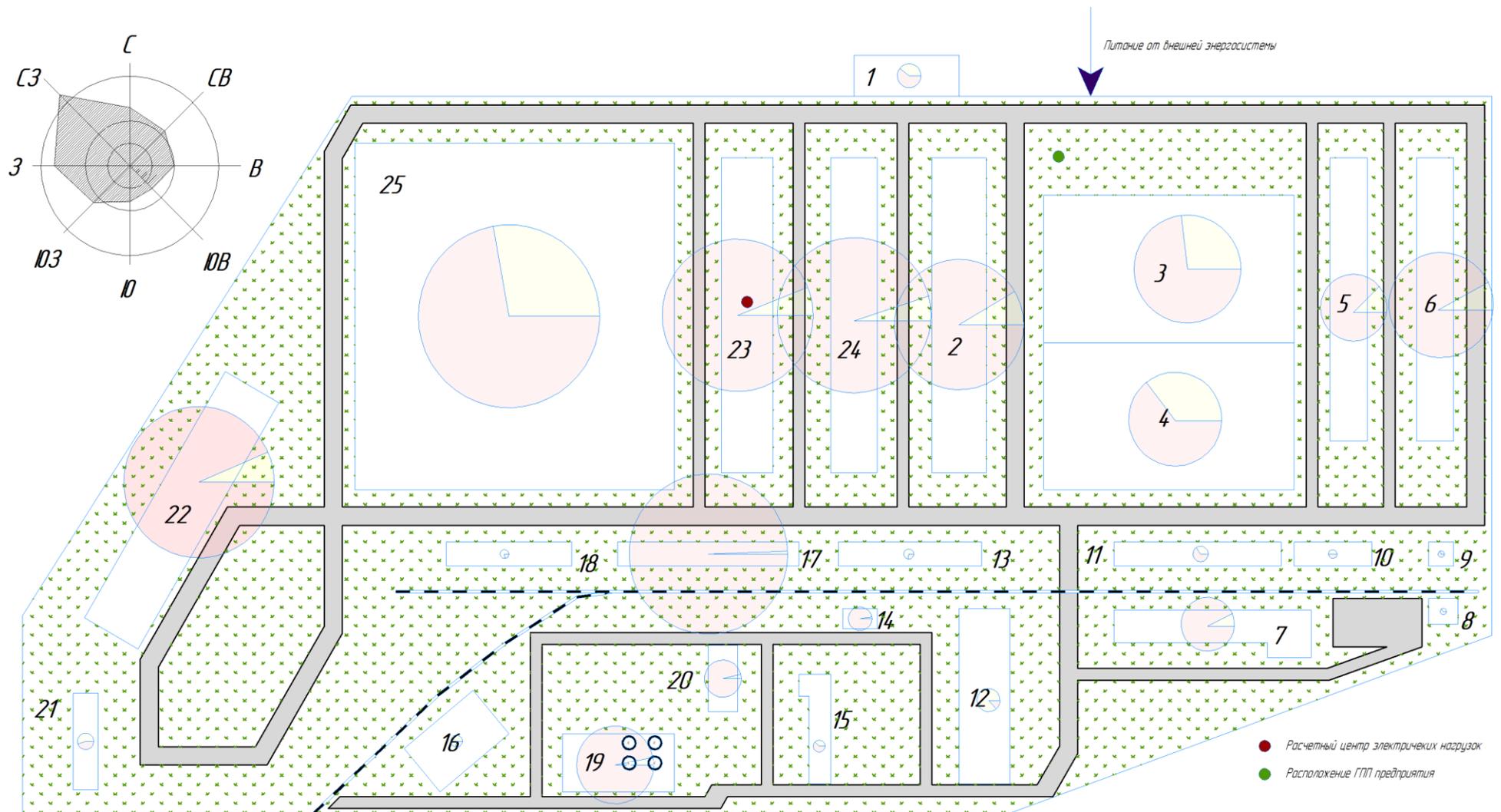


Рисунок 4 - Картограмма электрических нагрузок текстильного предприятия

Главная понизительная подстанция будет размещаться в точке с координатами $x_{ГПП} = 559,85$ (м) и $y_{ГПП} = 351,8$ (м).

Выводы по разделу.

Для текстильного предприятия построена картограмма электрических нагрузок и определен расчетный центр электрических нагрузок с координатами $x_{ЦЭН} = 391,53$ (м) и $y_{ЦЭН} = 273,93$ (м). Построение картограммы выполнено для расчетной активной мощности цехов текстильного предприятия с учетом технологического оборудования и мощности системы внутреннего освещения.

По результатам расчета получено, что центр электрических нагрузок попадает на цех № 23 (прядильно-гребенная фабрика №1). Размещение главной понизительной подстанции в данной точке невозможно, поэтому сместим размещение ГПП в направлении прихода питания от внешней энергосистемы: северо-восточнее расчетного ЦЭН в точку с координатами $x_{ГПП} = 559,85$ (м) и $y_{ГПП} = 351,8$ (м).

4 Компенсация реактивной мощности

Для снижения перетоков реактивной мощности в распределительной сети текстильного предприятия необходимо выполнить расчет и выбор типа и мощности установок компенсации реактивной мощности. Кроме того, использование установок компенсации реактивной мощности позволит снизить расчетную мощность не только силовых трансформаторов на главной понизительной подстанции, но и снизить мощность трансформаторов цеховых подстанций.

Для расчета требуемой мощности установок компенсации реактивной мощности необходимо определить для каждого цеха значение коэффициента реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$. Значение коэффициента реактивной мощности определяется через величину коэффициента активной мощности $\cos \varphi$ значение которого для каждого цеха текстильного предприятия представлены в таблице 6.

Значение коэффициента реактивной мощности определяется выражением:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_i)) \quad (10)$$

Для Цеха №2 (прядильно-кордная фабрика №1) по выражению (9) с учетом данных таблицы 6 получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_2)) = \operatorname{tg}(\arccos(0,75)) = \operatorname{tg}(41,41) = 0,88$$

Расчетное значение мощности конденсаторной установки, размещаемой со стороны 0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции, определяется выражением:

$$Q_{\text{КУ.расч.}i} = P_{\text{расч.}\Sigma.i} \cdot (\text{tg}(\varphi_i) - \text{tg}(\varphi_{\text{норм.}})) \quad (11)$$

где $P_{\text{расч.}\Sigma.i}$ – значение расчетной активной мощности потребителей i -го здания текстильного предприятия, определенное в таблице 7, кВт;
 $\text{tg}(\varphi_i)$ – коэффициент реактивной мощности i -го цеха, определяемый по значению $\cos \varphi_i$, для каждого здания текстильного предприятия по выражению (10);
 $\text{tg}(\varphi_{\text{норм.}})$ – нормируемый коэффициент реактивной мощности принимается $\text{tg}(\varphi_{\text{норм.}}) = 0,2$.

Для цеха №2 (прядильно-кордная фабрика №1) по выражению (11) с учетом данных таблицы 7 и расчетного коэффициента реактивной мощности $\text{tg} \varphi_2 = 0,88$ получим:

$$Q_{\text{КУ.расч.}2} = P_{\text{расч.}\Sigma.2} \cdot (\text{tg}(\varphi_2) - \text{tg}(\varphi_{\text{норм.}}))$$

$$Q_{\text{КУ.расч.}2} = 3831,02 \cdot (0,88 - 0,2) = 2605,09 \text{ (квар)}$$

По полученному значению $Q_{\text{КУ.расч.}2} = 2605,09$ (квар) необходимо по каталогам производителей компенсирующих устройств выбрать компенсирующую установку соответствующей мощности. Для выбора компенсирующей установки необходимо учитывать количество трансформаторных подстанций каждого цеха и число секций напряжением 0,4 кВ. Число секций определяется числом трансформаторов на цеховой подстанции и категорией надежности цеха. Выбор числа и типа трансформаторов цеховых подстанций будет выполнен в разделе 5 ВКР поэтому выполним предварительный расчет требуемой мощности установок компенсации реактивной мощности для каждого цеха аналогично расчетам для цеха №2 (прядильно-кордная фабрика №1). Результаты расчета сведем в таблицу 9.

Таблица 9 - Расчетные значения мощности установок компенсации реактивной мощности

Номер цеха, i	$P_{\text{расч.}\Sigma.i}$, кВт	$\cos \varphi_i$	$\text{tg } \varphi_i$	$Q_{\text{КУ,расч.}i}$, квар
1	131,6049843	0,8	0,75	72,38274
2	3831,019305	0,75	0,88	2605,093
3	2623,615705	0,8	0,75	1442,989
4	1991,249307	0,8	0,75	1095,187
5	1012,058372	0,8	0,75	556,6321
6	2500,546186	0,75	0,88	1700,371
7	655,3658066	0,8	0,75	360,4512
8	9,560571218	0,85	0,62	4,01544
9	8,838038759	0,8	0,75	4,860921
10	17,85822845	0,8	0,75	9,822026
11	55,0913512	0,8	0,75	30,30024
12	122,6249186	0,65	1,17	118,9462
13	22,3471046	0,8	0,75	12,29091
14	128,2882044	0,8	0,75	70,55851
15	33,4926519	0,7	1,02	27,46397
16	33,36314429	0,8	0,75	18,34973
17	967,0407422	0,75	0,88	657,5877
18	18,81041673	0,8	0,75	10,34573
19	1367,540534	0,8	0,75	752,1473
20	315,5753254	0,75	0,88	214,5912
21	52,76264952	0,65	1,17	51,17977
22	5180,95177	0,75	0,88	3523,047
23	5225,366752	0,75	0,88	3553,249
24	5428,398507	0,75	0,88	3691,311
25	7543,094584	0,8	0,75	4148,702

Выводы по разделу.

Для выбора мощности, типа и числа установок компенсации реактивной мощности определены расчетные значения реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать на шинах 0,4 кВ цеховых подстанций.

Определены значения коэффициентов реактивной мощности для каждого цеха текстильного предприятия.

5 Выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

Для питания нагрузок здания текстильного предприятия необходимо определить число подстанций, а также число и мощности трансформаторов устанавливаемых на каждой их цеховых подстанций.

Для выбора мощности и числа трансформаторных подстанций необходимо в первую очередь ориентироваться на категорию надежности электроснабжения цеха согласно ПУЭ [14]. Для первой и второй категорий используются два источника питания, а для потребителей третьей категории, согласно ПУЭ [14], допускается питание от одного источника. Выполним группировку цехов для питания от подстанции., результаты группировки цехов по цеховым трансформаторным подстанциям (ЦТП) представим в таблице 10.

Таблица 10 - Группировка цехов по цеховым подстанциям

Номер ЦТП	Номер цеха, i	$P_{расч.Σ.i}$, кВт	$Q_{кв.расч.i}$, квар
ЦТП 1	1	131,605	72,38274
	2	3831,019	2605,093
Итого по ЦТП 1		3962,624	2677,476
ЦТП 2	3	2623,616	1442,989
	4	1991,249	1095,187
Итого по ЦТП 2		4614,865	2538,176
ЦТП 3	5	1012,058	556,6321
	6	2500,546	1700,371
Итого по ЦТП 3		3512,605	2257,004
ЦТП 4	7	655,3658	360,4512
	8	9,560571	4,01544
	9	8,838039	4,860921
	10	17,85823	9,822026
	11	55,09135	30,30024
Итого по ЦТП 4		746,714	746,714
ЦТП 5	12	122,6249186	118,9461711
	14	128,2882	70,55851
	15	33,49265	27,46397
	16	33,36314	18,34973
	19	167,5405	92,14729
	20	315,5753	214,5912
Итого по ЦТП 5		800,8848	542,0569

Продолжение таблицы 10

Номер ЦТП	Номер цеха, i	$P_{расч.Σ.i}$, кВт	$Q_{КУ.расч.i}$, квар
ЦТП 6	21	52,76265	51,17977
	22	5180,952	3523,047
Итого по ЦТП 6		5233,714	3574,227
ЦТП 7	25	7543,094584	4148,702021
	18	18,81041673	10,3457292
Итого по ЦТП 7		7561,905	4159,048
ЦТП 8	23	5225,366752	3553,249391
	17	967,0407422	657,5877047
Итого по ЦТП 8		6192,407	4210,837
ЦТП 9	24	5428,398507	3691,310985
	13	22,3471046	12,29090753
Итого по ЦТП 9		5450,746	3703,602

Для каждой цеховой подстанции необходимо выбрать число, тип и мощность устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). Все цеховые подстанции являются двух трансформаторными, каждая ЦТП, представленная в таблице 10 – это группа цеховых подстанций, поэтому число УКРМ выбираем исходя из условия кратности числу секций шин напряжения 0,4 кВ.

Расчет требуемой мощности компенсирующих устройств выполним, используя выражение:

$$Q_{КУ.р.ТП.i} = \sum_{j=1}^n Q_{КУ.расч.j} \quad (12)$$

где n – количество зданий, подключенных к i -й трансформаторной подстанции, шт.;

$Q_{КУ.расч.j}$ – расчетное значение требуемой для компенсации реактивной мощности j -го здания, подключенного к ЦТП, значения для каждого здания определены в таблице 9, квар.

Мощность одной компенсирующей установки для рассматриваемой подстанции определим по выражению:

$$Q_{\text{ном.КУ.р.ТП.}i} = \frac{Q_{\text{КУ.р.ТП.}i}}{n_{\text{КУ}}} \quad (13)$$

где $n_{\text{КУ}}$ – число компенсирующих устройств устанавливаемых на i -й трансформаторной подстанции, шт.

Количество компенсирующих устройств для каждой трансформаторной подстанции проектируемой системы электроснабжения определим с учетом стандартных мощностей компенсирующих устройств представленных в каталогах производителей [9] исходя из условия:

$$n_{\text{КУ}} = \begin{cases} n_{\text{КУ}} \geq 2 \\ n_{\text{КУ}} \div 2 = m \\ Q_{\text{ном.КУ.р.ТП.}i} \leq Q_{\text{ном.КУ.кат.}} \end{cases} \quad (14)$$

где $n_{\text{КУ}}$ – число установок компенсации для рассматриваемой трансформаторной подстанции, шт.;

m – целое число;

$Q_{\text{ном.КУ.р.ТП.}i}$ – расчетное значение номинальной мощности одной установки компенсации реактивной мощности на рассматриваемой ТП, квар;

$Q_{\text{ном.КУ.кат.}}$ – номинальная мощность установки компенсации, принятой по каталогу производителя [9], квар.

Выполним выбор мощности и числа установок компенсации по выражениям (12) - (14) для ТП 1 питающей цеха №1 (административный корпус) и №2 (отбельно-красильный корпус отделочной фабрики).

Используя данные таблицы 9 по выражению (12) требуемая мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = \sum_{j=1}^2 Q_{\text{КУ.расч.}j} = Q_{\text{КУ.расч.1}} + Q_{\text{КУ.расч.2}}$$

$$Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = 72,38274136 + 2605,093127 = 2677,475868 \text{ (квар)}$$

Используя условие (13) получим, предварительно приняв $n_{\text{КУ}} = 8$:

$$Q_{\text{НОМ.КУ.р.ТП.1}} = \left\lceil \frac{Q_{\text{КУ.р.ТП.1}}}{n_{\text{КУ}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{2677,475868}{8} \right\rceil = 335 \text{ (квар)}$$

В каталоге производителя [9] примем для ЦТП 1 установку мощностью $Q_{\text{НОМ.КУ.р.ТП.1}} = 325$ (квар). Поэтому воспользуемся условием (14) и для ТП 1 выберем компенсирующие установки с номинальной мощностью $Q_{\text{НОМ.КУ.кат.}} = 325$ (квар) в количестве $n_{\text{КУ}} = 8$ (шт.).

После выбора числа и номинальной мощности установок компенсации, суммарная реактивная мощность установок компенсации определяется по выражению:

$$Q_{\text{КУ.ТП.i}} = n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{НОМ.КУ.кат.}} \quad (15)$$

Для ТП 1 по (15) получим:

$$Q_{\text{КУ.ТП.1}} = n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{НОМ.КУ.кат.}} = 8 \cdot 325 = 2600 \text{ (квар)}$$

Для ТП 1 выполняются условие:

$$Q_{\text{КУ.ТП.i}} \leq Q_{\text{КУ.р.ТП.i}} \quad (16)$$

$$Q_{\text{КУ.ТП.1}} = 2600 \text{ (квар)} \leq Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = 2677,475868 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных цеховых трансформаторных подстанций текстильного предприятия выбор мощности и числа установок компенсации выполняется аналогично выбору для ТП 1 по выражениям (12) - (14). Все результаты расчетов сведем в таблицу 11.

Таблица 11 - Результаты выбора номинальной мощности и количества установок компенсации

Номер ЦТП, i	$P_{\text{расч.}\Sigma,i}$, кВт	$Q_{\text{КУ.р.ТП},i}$, квар	$Q_{\text{НОМ.КУ.кат.}}$, квар	$n_{\text{КУ}}$, шт.	$Q_{\text{КУ.ТП},i}$, квар
ЦТП 1	3962,624289	2677,475868	325	8	2600
ЦТП 2	4614,865012	2538,175757	300	8	2400
ЦТП 3	3512,604558	2257,003511	275	8	2200
ЦТП 4	746,7139962	746,7139962	180	4	720
ЦТП 5	800,8847784	542,0569023	125	4	500
ЦТП 6	5233,71442	3574,226974	425	8	3400
ЦТП 7	7561,905	4159,04775	325	12	3900
ЦТП 8	6192,407494	4210,837096	500	8	4000
ЦТП 9	5450,745612	3703,601893	450	8	3600

После выбора номинальной мощности установок компенсации и их количества для каждой цеховой трансформаторной подстанции необходимо определить полную мощность каждой ЦТП и коэффициент мощности каждой ЦТП.

Полная мощность ЦТП с учетом использования установки компенсации реактивной мощности определяется выражением:

$$S_{\text{ТП},i} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma,j}\right)^2 + (Q_{\text{КУ.р.ТП},i} - Q_{\text{КУ.ТП},i})^2} \quad (17)$$

где n – количество цехов, подключенных к i -й цеховой трансформаторной подстанции, шт.;

$P_{\text{расч.}\Sigma,j}$ – активная мощность j -го цеха, подключенного к ТП с учетом мощности технологического оборудования и системы внутреннего освещения, согласно таблице 10, кВт;

$Q_{\text{КУ.р.ТП},i}$ – расчетное значение требуемой мощности компенсирующих устройств i -й цеховой трансформаторной подстанции полученное по выражению (12), квар;

$Q_{\text{КУ.ТП.}i}$ – мощность компенсирующих устройств для i -й цеховой трансформаторной подстанции полученное по (15) и представленное в таблице 11, квар.

Далее определяется коэффициент активной мощности цеховой трансформаторной подстанции по выражению:

$$\cos \varphi_{\text{ТП.}i} = \frac{\sum_{j=1}^n P_{\text{расч.}\Sigma.j}}{S_{\text{ЦТП.}i}} \quad (18)$$

Далее определяется коэффициент реактивной мощности подстанции с учетом значения полученного в (18) по выражению (10).

Для выбора типа и мощности трансформаторов ТП используется значение полученное в (18). Расчетная мощность трансформатора, требуемого для установки на ТП, определяется выражением:

$$S_{\text{транс.ЦТП.}i.\text{расч.}} = \frac{S_{\text{ТП.}i}}{K_{\text{ном}} \cdot n_{\text{транс.}}} \quad (19)$$

где $S_{\text{ТП.}i}$ – полная мощность i -й трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности определенная по (17), кВА;

$K_{\text{ном}}$ – коэффициент номинальной загрузки трансформатора подстанции, определяется по [14] в зависимости от числа трансформаторов, принятых к установке на ТП;

$n_{\text{транс.}}$ – число трансформаторов, принимаемых к установке на ТП, шт.

По каталогам производителей трансформаторов [13], а также с учетом [6] и [4] необходимо выбрать требуемый тип трансформатора. Для всех ТП системы электроснабжения текстильного предприятия предлагается использовать герметичные (Г) масляные (М) трехфазные (Т) трансформаторы

серии ТМГ производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» [13]. Так как напряжения распределительной сети текстильного предприятия принято равным 6 кВ из-за наличия силовых электроприемников данного класса напряжения, то и все трансформаторы, принимаемые для установки на ЦТП, должны иметь напряжение обмотки высокого напряжения (ВН) 6 кВ.

Выполним подробный выбор трансформаторов для группы ЦТП 1 текстильного предприятия.

Полная мощность ЦТП 1 с учетом использования установки компенсации реактивной мощности по с учетом данных таблиц 10 и 11:

$$S_{\text{ЦТП.1}} = \sqrt{3962,624289^2 + (2677,475868 - 2600)^2} = 3963,381607 \text{ (кВА)}$$

Коэффициент активной мощности трансформаторной подстанции группы ЦТП 1 по (18):

$$\cos \varphi_{\text{ЦТП.1}} = \frac{3962,624289}{3963,381607} = 0,99$$

Коэффициент реактивной мощности для ЦТП 1 с учетом полученного значения $\cos \varphi_{\text{ЦТП.1}} = 0,99$ по (10) составит $\text{tg } \varphi_{\text{ЦТП.1}} = 0,14$.

Расчетная мощность трансформатора на ЦТП 1 по (19):

$$S_{\text{транс.ЦТП.1.расч.}} = \frac{S_{\text{ЦТП.1}}}{K_{\text{ном}} \cdot n_{\text{транс.}}} = \frac{3963,381607}{0,7 \cdot 4} = 1415,49 \text{ (кВА)}$$

По расчетному значению $S_{\text{транс.ЦТП.1.расч.}} = 1415,49$ по [13], а также с учетом [6] и [4] примем номинальную мощность трансформатора для ЦТП 1 $S_{\text{транс.ЦТП.1.ном.}} = 1600 \text{ (кВА)}$.

Оптимальность выбора трансформатора для установки на ЦТП необходимо проверить по коэффициенту загрузки в режиме максимальной нагрузки используя условие:

$$K_{\text{загр.мах}} = \frac{S_{\text{ЦТП.}i}}{n_{\text{транс.}} \cdot S_{\text{транс.ЦТП.}i.\text{ном.}}} \leq 0,7 \quad (20)$$

Для ЦТП 1 условие (20) с учетом выбранного трансформатора запишется в виде:

$$K_{\text{загр.мах}} = \frac{3963,381607}{2 \cdot 1600} = 0,62 < 0,7$$

Трансформатор ТМГ 1600/6/0,4 принятый к установке на ЦТП 1 обеспечивает допустимый коэффициент загрузки ЦТП в режиме максимальных нагрузок, поэтому окончательно для группы ЦТП 1 питающей цеха №1 (административный корпус) и №2 (отбельно-красильный корпус отделочной фабрики) примем 4 трехфазных герметичных масляных трансформатора ТМГ 1600/6/0,4 кВ производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

Выбор трансформаторов для всех остальных ЦТП проектируемой системы электроснабжения текстильного предприятия выполним аналогично выбору трансформаторов для ЦТП 1. Результаты выбора сведем в таблицу 12.

По результатам, представленным в таблице 12 составим итоговую ведомость выбранных трансформаторов для ЦТП проектируемой системы электроснабжения (таблица 13).

Таблица 12 - Результаты выбора и проверки трансформаторов для ЦТП системы электроснабжения текстильного предприятия

Номер ЦТП, i	$P_{расч.Σ,i}$ кВт	$Q_{ку.р.ЦТП,i}$, квар	$Q_{ку.ЦТП,i}$, квар	$S_{ЦТП,i}$, кВА	$\cos \varphi_{ЦТП}$	$\operatorname{tg} \varphi_{ЦТП}$	$n_{транс,i}$, шт.	$S_{транс.ЦТП,i.расч.}$, кВА	$S_{транс.ЦТП,i.ном.}$, кВА	$K_{загр.max}$
ЦТП 1	3962,62	2677,48	2600	3963,38	0,99	0,14	4	1415,49	1600	0,62
ЦТП 2	4614,87	2538,18	2400	4616,93	0,99	0,14	4	1648,9	2500	0,46
ЦТП 3	3512,6	2257	2200	3513,07	0,99	0,14	4	1254,67	1600	0,55
ЦТП 4	746,71	746,71	720	747,19	0,99	0,14	2	533,71	630	0,59
ЦТП 5	800,88	542,06	500	801,99	0,99	0,14	2	572,85	630	0,64
ЦТП 6	5233,71	3574,23	3400	5236,61	0,99	0,14	4	1870,22	2500	0,52
ЦТП 7	7561,91	4159,05	3900	7566,34	0,99	0,14	6	1801,51	2500	0,5
ЦТП 8	6192,41	4210,84	4000	6196	0,99	0,14	4	2212,86	2500	0,62
ЦТП 9	5450,75	3703,6	3600	5451,73	0,99	0,14	4	1947,05	2500	0,55
Итого	38076,46	24409,15	23320	38093,24	-	-		-	-	-

Таблица 13 - Ведомость выбранных трансформаторов

Номер ЦТП, i	$S_{транс.ТП.i.ном.}$ кВА	Марка трансформатора	Паспортные данные трансформаторов						
			$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	P_0 , кВт	P_K , кВт	i_0 , %	u_K , %	Схема, группа соединения
ЦТП 1	1600	ТМГ/1600/10/0,4	6,3	0,4	2,10	16,50	0,60	5,5	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 2	2500	ТМГ/2500/10/0,4	6,3	0,4	2,60	26,50	0,5	6,0	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 3	1600	ТМГ/1600/10/0,4	6,3	0,4	2,10	16,50	0,60	5,5	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 4	630	ТМГ/630/10/0,4	6,3	0,4	1,24	7,60	0,60	5,5	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 5	630	ТМГ/630/10/0,4	6,3	0,4	1,24	7,60	0,60	5,5	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 6	2500	ТМГ/2500/10/0,4	6,3	0,4	2,60	26,50	0,5	6,0	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 7	2500	ТМГ/2500/10/0,4	6,3	0,4	2,60	26,50	0,5	6,0	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 8	2500	ТМГ/2500/10/0,4	6,3	0,4	2,60	26,50	0,5	6,0	Y/Y ₀ ,11
ЦТП 9	2500	ТМГ/2500/10/0,4	6,3	0,4	2,60	26,50	0,5	6,0	Y/Y ₀ ,11

В таблице 13 определим по каталогам производителя следующие паспортные данные выбранных трансформаторов:

- класс обмотки высокого напряжения (ВН) $U_{ВН}$, кВ;
- класс обмотки низкого напряжения (НН) $U_{НН}$, кВ;
- потери активной мощности в магнитопроводе трансформатора (потери холостого хода) P_0 , кВт;
- потери активной мощности в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания) P_k , кВт;
- ток холостого хода (относительное значение), i_0 , %;
- напряжение короткого замыкания (относительное значение), u_k , %;
- схему и группу соединения обмоток ВН и НН трансформатора.

Для каждой трансформаторной подстанции, с учетом выбранных трансформаторов, необходимо рассчитать потери активной и реактивной мощностей для режима максимальной загрузки используя данные для каждого выбранного трансформатора из таблицы 13, а также данные по нагрузкам из таблицы 12.

Потери в трансформаторах цеховых подстанций определяется потерями активной ($\Delta P_{ТП.i}$) и реактивной ($\Delta Q_{ТП.i}$) мощностей, складывающихся из потерь в обмотках и потерь в обмотках и потерь в магнитопроводе трансформатора:

$$\Delta P_{ТП.i} = \Delta P_{ТП.обм.i} + \Delta P_{ТП.магн.i} \quad (21)$$

$$\Delta Q_{ТП.i} = \Delta Q_{ТП.обм.i} + \Delta Q_{ТП.магн.i} \quad (22)$$

где $\Delta P_{ТП.обм.i}$ – потери в обмотках трансформаторов i -й цеховой подстанции по активной мощности, кВт;

$\Delta P_{ТП.магн.i}$ – потери в магнитопроводе трансформаторов i -й цеховой подстанции по активной мощности, кВт;

$\Delta Q_{ТП.обм.i}$ – потери в обмотках трансформаторов i -й цеховой подстанции по реактивной мощности, квар;

$\Delta Q_{\text{ТП.магн.}i}$ – потери в магнитопроводе трансформаторов i -й цеховой подстанции по реактивной мощности, квар.

Потери в обмотках трансформаторов цеховой подстанции определяются выражениями:

$$\Delta P_{\text{ТП.обм.}i} = \frac{1}{n_{\text{транс.}}} \cdot K_{\text{загр.маx.}i}^2 \cdot P_{\text{к.}i} \quad (23)$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.обм.}i} = \frac{1}{n_{\text{транс.}}} \cdot K_{\text{загр.маx.}}^2 \cdot \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}} \quad (24)$$

где $n_{\text{транс.}}$ – число трансформаторов, устанавливаемых в цеховой подстанции, шт;

$K_{\text{загр.маx.}i}$ – коэффициент загрузки трансформаторов i -й цеховой подстанции по выражению (20) и таблице 12;

$P_{\text{к.}i}$ - потери активной мощности в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания) i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, кВт;

$u_{\text{к}}$ - напряжение короткого замыкания трансформаторов i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, %;

$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$ – номинальная мощность трансформатора i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, кВА.

Потери в магнитопроводе трансформаторов i -й цеховой подстанции определяются выражениями:

$$\Delta P_{\text{ТП.магн.}i} = n_{\text{транс.}} \cdot P_0 \quad (25)$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.магн.}i} = n_{\text{транс.}} \cdot \frac{i_0}{100} \cdot S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}} \quad (26)$$

где $n_{\text{транс.}}$ – число трансформаторов, устанавливаемых в цеховой подстанции, шт.;

P_0 - потери активной мощности в магнитопроводе трансформатора (потери холостого хода) i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, кВт;

i_0 – ток холостого хода трансформатора i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, %;

$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$ – номинальная мощность трансформатора i -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 13, кВА.

По выражениям (21) - (26) выполним расчет потерь для цеховой подстанции ЦТП 1 питающей цеха №1 (административный корпус) и №2 (отбельно-красильный корпус отделочной фабрики).

Потери в магнитопроводе трансформаторов ТМГ/1600/10/0,4 кВ установленных на ЦТП 1 по (25) и (26):

$$\Delta P_{\text{ТП.магн.1}} = n_{\text{транс.}} \cdot P_0 = 4 \cdot 2,10 = 8,4 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.магн.1}} = n_{\text{транс.}} \cdot \frac{i_0}{100} \cdot S_{\text{транс.ТП.1.ном.}}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.магн.1}} = 4 \cdot \frac{0,61}{100} \cdot 1600 = 38,4 \text{ (квар)}$$

Потери в обмотках трансформаторов ТМГ/1600/6/0,4 кВ установленных на ЦТП 1 по (23) и (24):

$$\Delta P_{\text{ТП.обм.1}} = \frac{1}{n_{\text{транс.}}} \cdot K_{\text{загр.мах.1}}^2 \cdot P_{\text{к.1}} = \frac{1}{4} \cdot 0,62^2 \cdot 16,50 = 1,58 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.обм.1}} = \frac{1}{n_{\text{транс.}}} \cdot K_{\text{загр.мах.}}^2 \cdot \frac{u_{\text{к}}}{100} \cdot S_{\text{транс.ТП.1.ном.}}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.обм.1}} = \frac{1}{4} \cdot 0,62^2 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 1600 = 8,46 \text{ (квар)}$$

Потери в трансформаторах цеховой подстанции ЦТП 1 с четырьмя трансформаторами ТМГ/1600/6/0,4 кВ по (21) и (22):

$$\Delta P_{\text{ТП.1}} = \Delta P_{\text{ТП.обм.1}} + \Delta P_{\text{ТП.магн.1}} = 1,58 + 8,4 = 9,98 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.1}} = \Delta Q_{\text{ТП.обм.1}} + \Delta Q_{\text{ТП.магн.1}} = 8,46 + 38,4 = 46,86 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных цеховых подстанций расчеты выполняются аналогично расчетам для ЦТП 1 текстильного предприятия. Все результаты расчетов потерь сведем в таблицу 14.

Таблица 14 - Потери в трансформаторах цеховых подстанций

Номер ЦТП, <i>i</i>	$S_{\text{ТП},i}$, кВА	$S_{\text{транс.ТП},i,\text{ном.}}$ кВА	$K_{\text{загр.мах}}$	$\Delta P_{\text{ТП},i}$, кВт	$\Delta Q_{\text{ТП},i}$, квар	$\Delta S_{\text{ТП},i}$, кВА
ЦТП 1	3963,382	1600	0,62	9,98565	46,8568	47,90901
ЦТП 2	4616,933	2500	0,46	11,80185	57,935	59,12485
ЦТП 3	3513,067	1600	0,55	9,647813	45,055	46,07639
ЦТП 4	747,1917	630	0,59	3,80278	13,59083	14,11283
ЦТП 5	801,9883	630	0,64	4,03648	14,65632	15,202
ЦТП 6	5236,614	2500	0,52	12,1914	60,14	61,36326
ЦТП 7	7566,341	2500	0,5	16,70417	81,25	82,94933
ЦТП 8	6195,996	2500	0,62	12,94665	64,415	65,70318
ЦТП 9	5451,73	2500	0,55	12,40406	61,34375	62,58527

По результатам расчета потерь в трансформаторах цеховых ТП наибольшие значения получены для группы цеховых подстанций ЦТП 7, на которых установлены шесть трансформаторов ТМГ/2500/6/0,4 кВ.

Выводы по разделу.

Для восьми трансформаторных подстанций проектируемой системы электроснабжения текстильного предприятия выбраны трансформаторы марки ТМГ, производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» с номинальными мощностями 400 – 1600 кВА. На каждой из восьми

трансформаторных подстанции принято установить по два трансформатора. Трансформаторы выбраны с учетом компенсации реактивной мощности со стороны 0,4 кВ. Выбрано количество и номинальные мощности установок компенсации. На всех ТП проектируемой системы электроснабжения текстильного предприятия приняты к установке автоматические (А) установки (У) компенсации (К) реактивной (Р) мощности (М) типа АУКРМ производства компании ООО «Элком Энерго» [9] с номинальными мощностями 125 – 500 квар.

Оптимальность выбора трансформаторов проверена по расчетному значению коэффициента загрузки подстанции в режиме максимальных нагрузок. Все полученные значения коэффициентов находятся в пределах [0,46 , 0,64] и не превышают нормируемого коэффициента загрузки для двух трансформаторных подстанций 0,7.

6 Выбор мощности трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор мощности трансформаторов главной понизительной подстанции выполним на основании годовых графиков нагрузок текстильного предприятия, расположенного в Волгоградской области.

Суточные графики активной и реактивной мощностей текстильного предприятия строятся на основании типовых графиков электрических нагрузок представленных в [10] и [1].

Зимние суточные графики активной мощности для текстильного предприятия, строятся на основании типового графика из [10] относительно суммарной расчетной активной мощности потребителей на стороне 6 кВ полученной во втором разделе ВКР $P_{уст.(6).\Sigma} = 6000$ (кВт) в таблице 6. Для построения суточного графика реактивной мощности необходимо использовать расчетные значения реактивной мощности на стороне 0,4 кВ с учетом компенсации, а также данные по реактивной мощности высоковольтных потребителей (ВП).

Полная мощность для потребителей 6 кВ текстильного предприятия определится по выражению:

$$S_{уст.(6).\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{уст.(6).i}}{\cos \varphi_i} \quad (27)$$

где n – число высоковольтных потребителей на текстильном предприятии, по данным таблицы 6 принимаем $n = 1$ шт.;

$P_{уст.(6).i}$ – установленная активная мощность i -го высоковольтного потребителя по данным таблицы 6, кВт;

$\cos \varphi_i$ – коэффициент активной мощности i -го высоковольтного потребителя по данным таблицы 6.

Реактивная мощность потребителей 6 кВ текстильного предприятия определится по выражению:

$$Q_{уст.(6).\Sigma} = \sqrt{S_{уст.(6).\Sigma}^2 - \left(\sum_{i=1}^n P_{уст.(6).i} \right)^2} \quad (28)$$

Итоговая реактивная мощность всего текстильного предприятия определится по выражению:

$$Q_{уст.\Sigma} = Q_{уст.(6).\Sigma} + (Q_{кв.р.ТП.\Sigma} - Q_{кв.ТП.\Sigma}) \quad (29)$$

По (27) и (28) для высоковольтного потребителя, расположенного в цехе № 19 получим:

$$S_{уст.(6).\Sigma} = \frac{P_{уст.(6).19}}{\cos \varphi_{19}} = \frac{6000}{0,8} = 7500 \text{ (кВА)}$$
$$Q_{уст.(6).\Sigma} = \sqrt{7500^2 - 6000^2} = 4500 \text{ (квар)}$$

Тогда с учетом таблицы 12 и мощности высоковольтных потребителей по (29) получим:

$$Q_{уст.\Sigma} = 4500 + (24409,15 - 23320) = 5589,15 \text{ (квар)}$$

Так как типовые суточные графики нагрузок представлены только для зимнего периода, то построение летних графиков выполняется аналогично зимним с учетом небольшого снижения мощности. Летние суточные графики активной и реактивной мощности для текстильного предприятия, построенные на основании типового графика из [10] относительно суммарной

расчетной активной мощности $P_{\text{расч.}\Sigma} = 41676,46$ (кВт) и суммарной реактивной мощности $Q_{\text{расч.}\Sigma} = 5589,15$ (квар) представлены на рисунке 6.

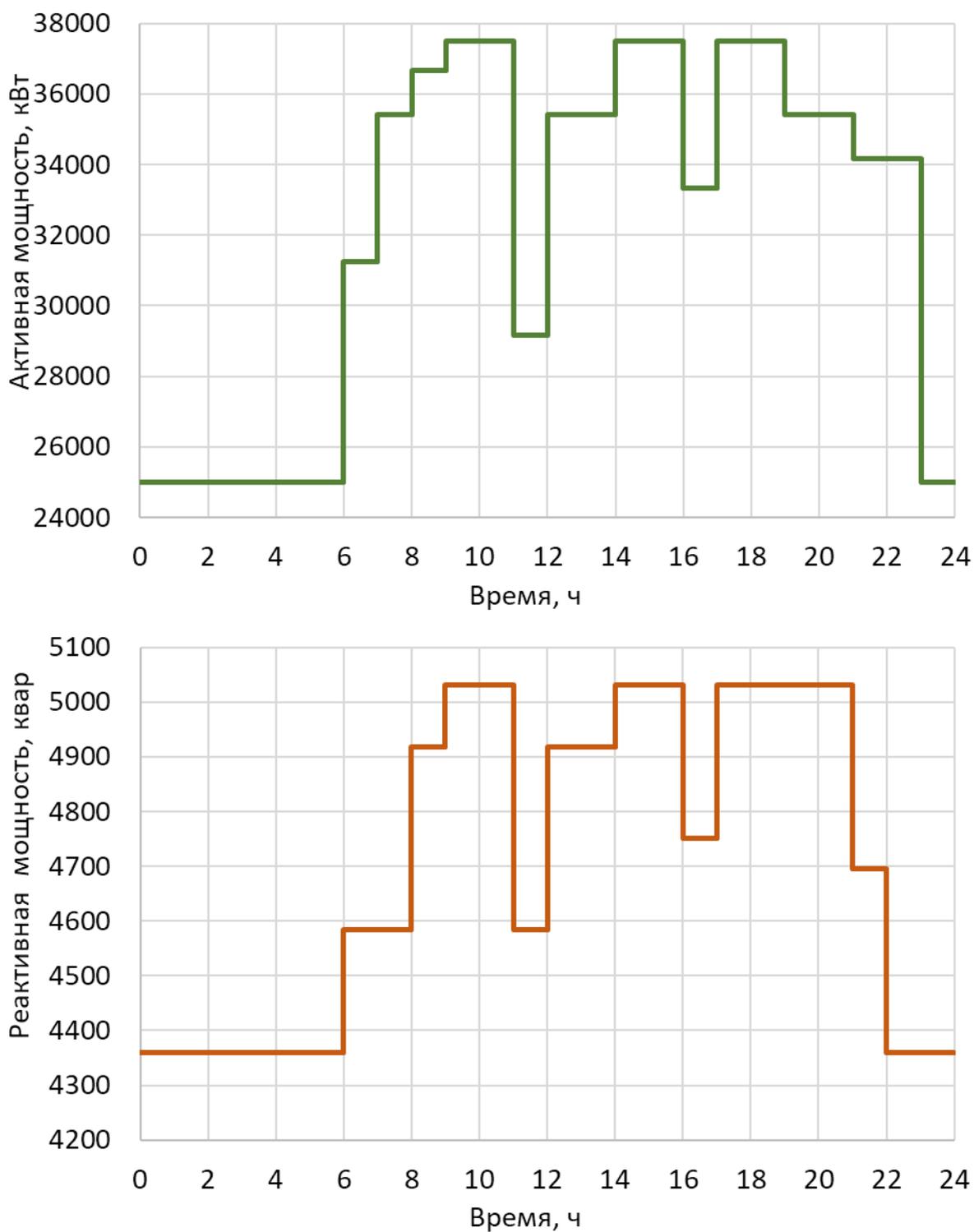


Рисунок 5 – Зимние суточные графики активной и реактивной мощностей текстильного предприятия

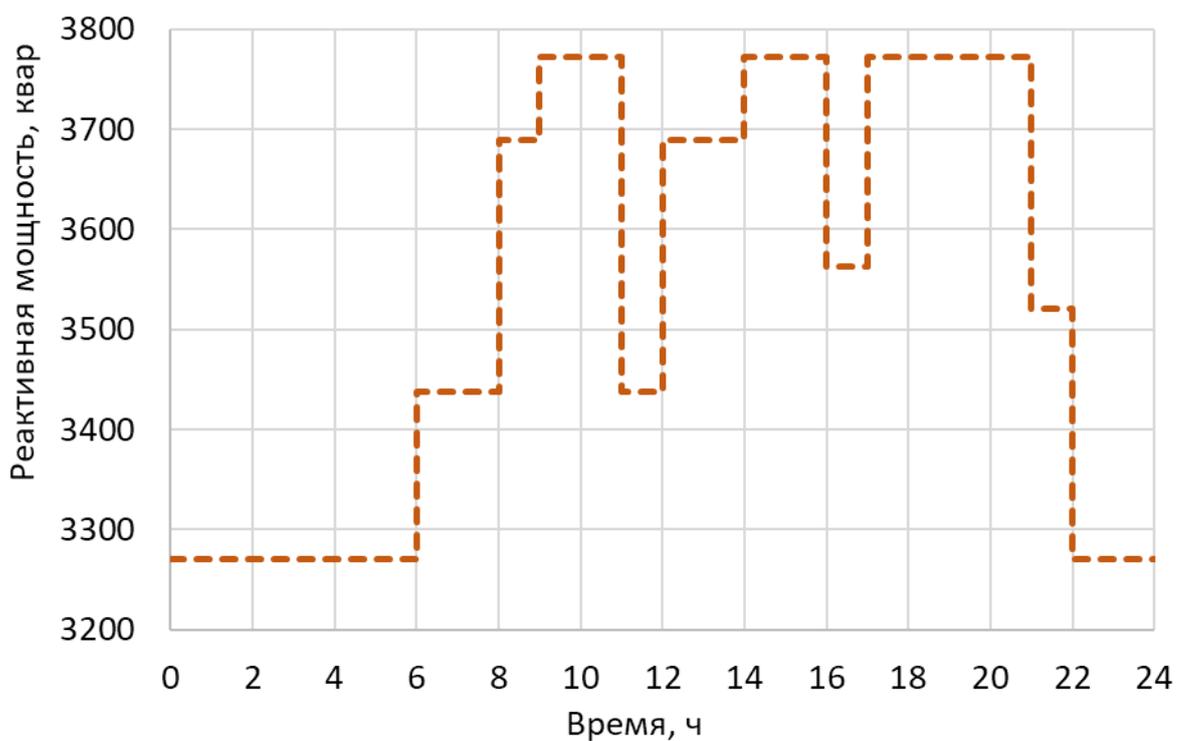
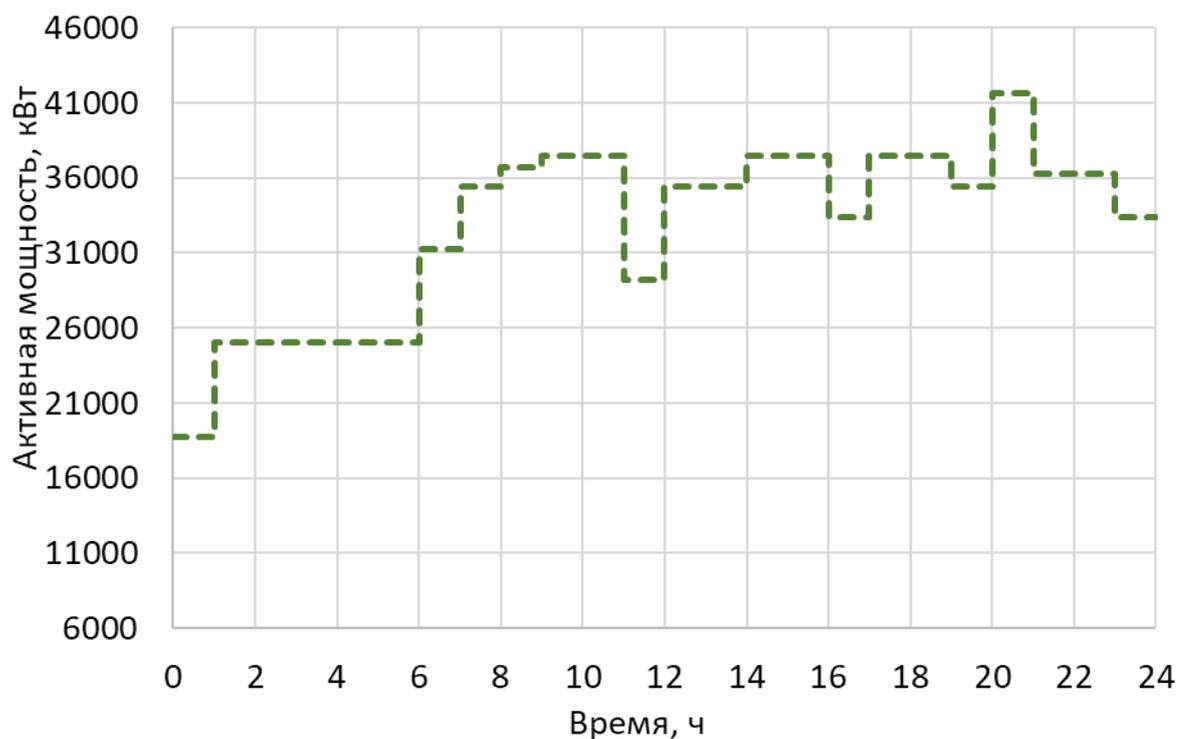


Рисунок 6 – Летние суточные графики активной и реактивной мощности текстильного предприятия

Данные для построения суточных графиков активной и реактивной мощностей для зимнего и летнего периодов представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Параметры суточных графиков нагрузки

Период суток (i), ч	Параметры типового графика		Расчетные значения мощности			
			Зимний график (j = 1)		Летний график (j = 2)	
	P _i , %	Q _i , %	P _{i,j} , кВт	Q _{i,j} , квар	P _{i,j} , кВт	Q _{i,j} , квар
24-1	60	78	25005,88	4359,537	18754,41	3269,653
1-2	60	78	25005,88	4359,537	25005,88	3269,653
2-3	60	78	25005,88	4359,537	25005,88	3269,653
3-4	60	78	25005,88	4359,537	25005,88	3269,653
4-5	60	78	25005,88	4359,537	25005,88	3269,653
5-6	60	78	25005,88	4359,537	25005,88	3269,653
6-7	75	82	31257,35	4583,103	31257,35	3437,327
7-8	85	82	35424,99	4583,103	35424,99	3437,327
8-9	88	88	36675,28	4918,452	36675,28	3688,839
9-10	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
10-11	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
11-12	70	82	29173,52	4583,103	29173,52	3437,327
12-13	85	88	35424,99	4918,452	35424,99	3688,839
13-14	85	88	35424,99	4918,452	35424,99	3688,839
14-15	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
15-16	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
16-17	80	85	33341,17	4750,778	33341,17	3563,083
17-18	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
18-19	90	90	37508,81	5030,235	37508,81	3772,676
19-20	85	90	35424,99	5030,235	35424,99	3772,676
20-21	85	90	35424,99	5030,235	41676,46	3772,676
21-22	82	84	34174,7	4694,886	36258,52	3521,165
22-23	82	78	34174,7	4359,537	36258,52	3269,653
23-24	60	78	25005,88	4359,537	33341,17	3269,653

Для построения годового графика нагрузок текстильного предприятия необходимо учесть, что для региона размещения текстильного предприятия – Волгоградская область, продолжительность летнего периода составляет 270 дней, а зимнего периода 95 дней.

Для построения годового графика для активной и реактивной мощностей по суточным графикам нагрузок выражением:

$$T_{i,j,год.} = t_{i,c} \cdot n_j \quad (30)$$

где i – степень суточного графика нагрузок для j -го периода;

$t_{i.сут.лет}$ – продолжительность i -й ступени суточного графика для j -го периода. Для суточного летнего графика ($j = 2$) и суточного зимнего графика ($j = 1$) принято $t_{i.c.} = 1$, ч;

n_j – число дней в j -м периоде. Для летнего периода $n_2 = 270$, для зимнего периода $n_1 = 95$, дней.

Для построения годового графика полной мощности, необходимо для каждой ступени суточного графика нагрузок зимнего и летнего периодов определить значение полной мощности по выражению:

$$S_{i.j.} = \sqrt{P_{i.j.}^2 + Q_{i.j.}^2} \quad (31)$$

Расчеты для построения годовых графиков реактивной (рисунок 7), активной (рисунок 8) и полной (рисунок 9) мощностей текстильного предприятия выполним с использованием MS Excel по выражениям (30) и (31) и данным таблицы 15. Результаты для годовых графиков сведем в таблицу 16.

Дополнительно таблицу 16 дополним расчетами потребляемой электрической энергии на каждой ступени годового графика активной мощности используя выражение [17]:

$$W_{э.э} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i,$$

где n – количество степеней годового графика активной мощности, шт.;

P_i – активная мощность потребляемая на i -й ступени годового графика, кВт

t_i – продолжительность i -й ступени годового графика, ч.

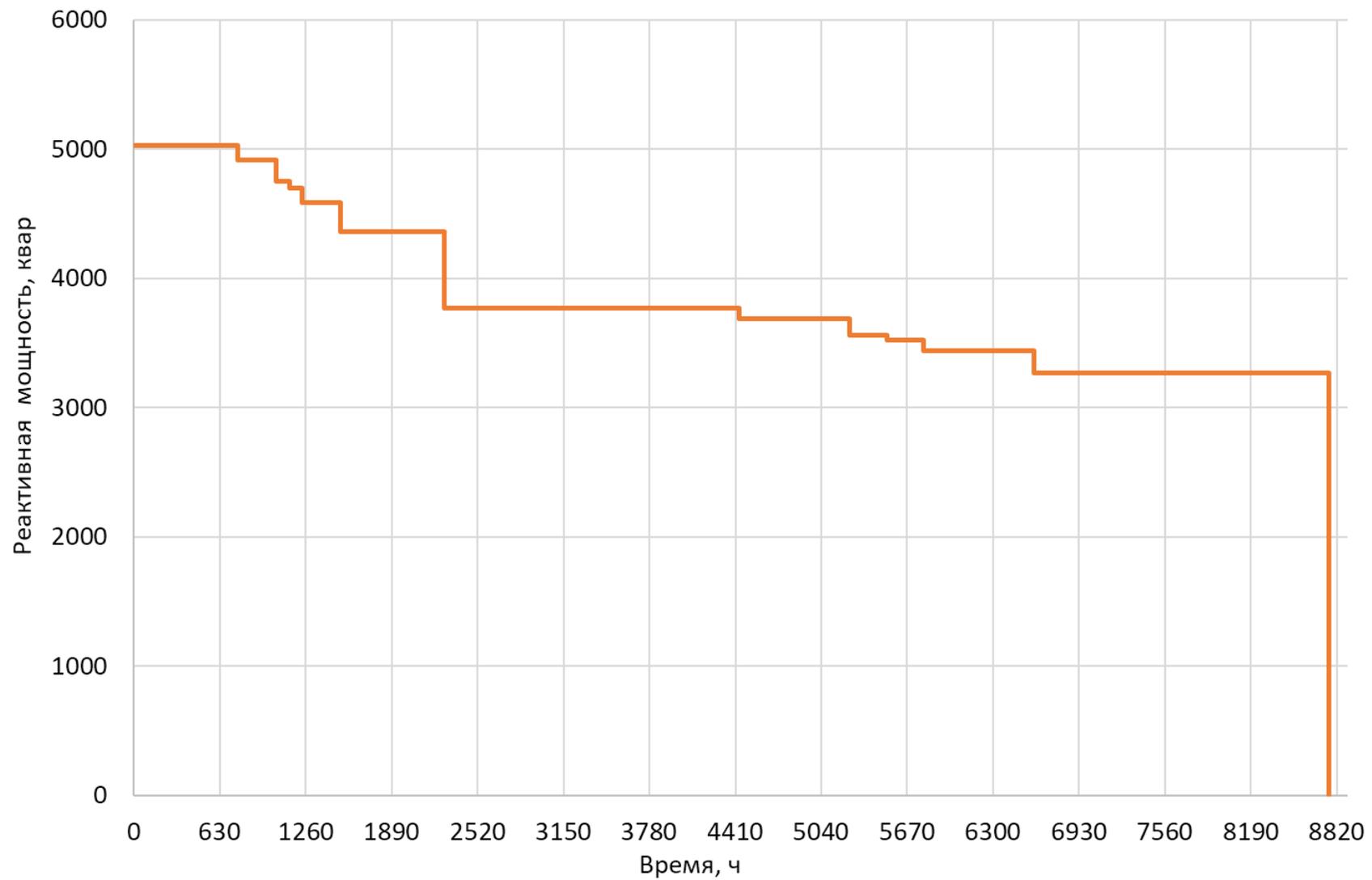


Рисунок 7 - Годовой график реактивной мощности текстильного предприятия

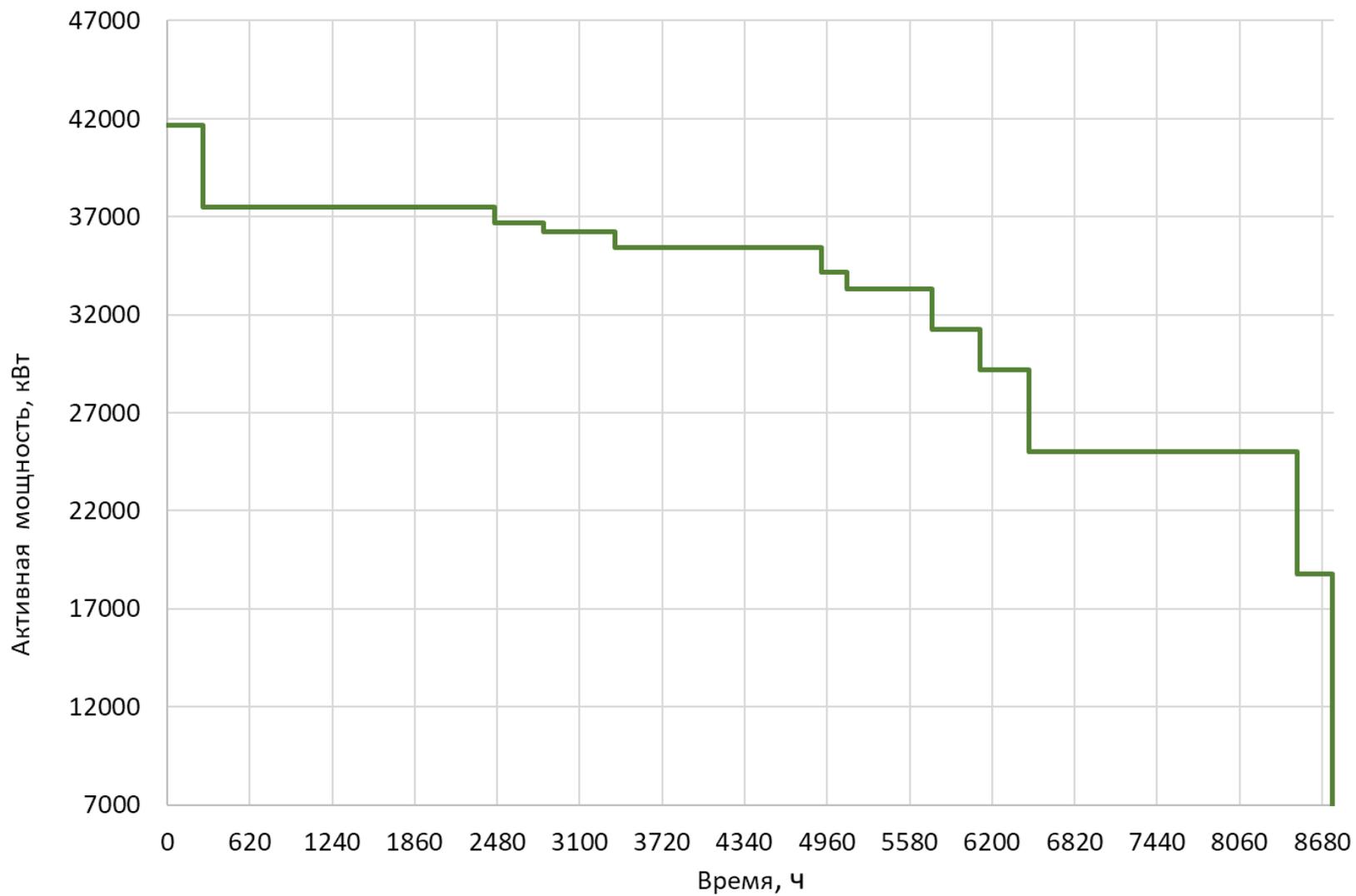


Рисунок 8 - Годовой график активной мощности текстильного предприятия

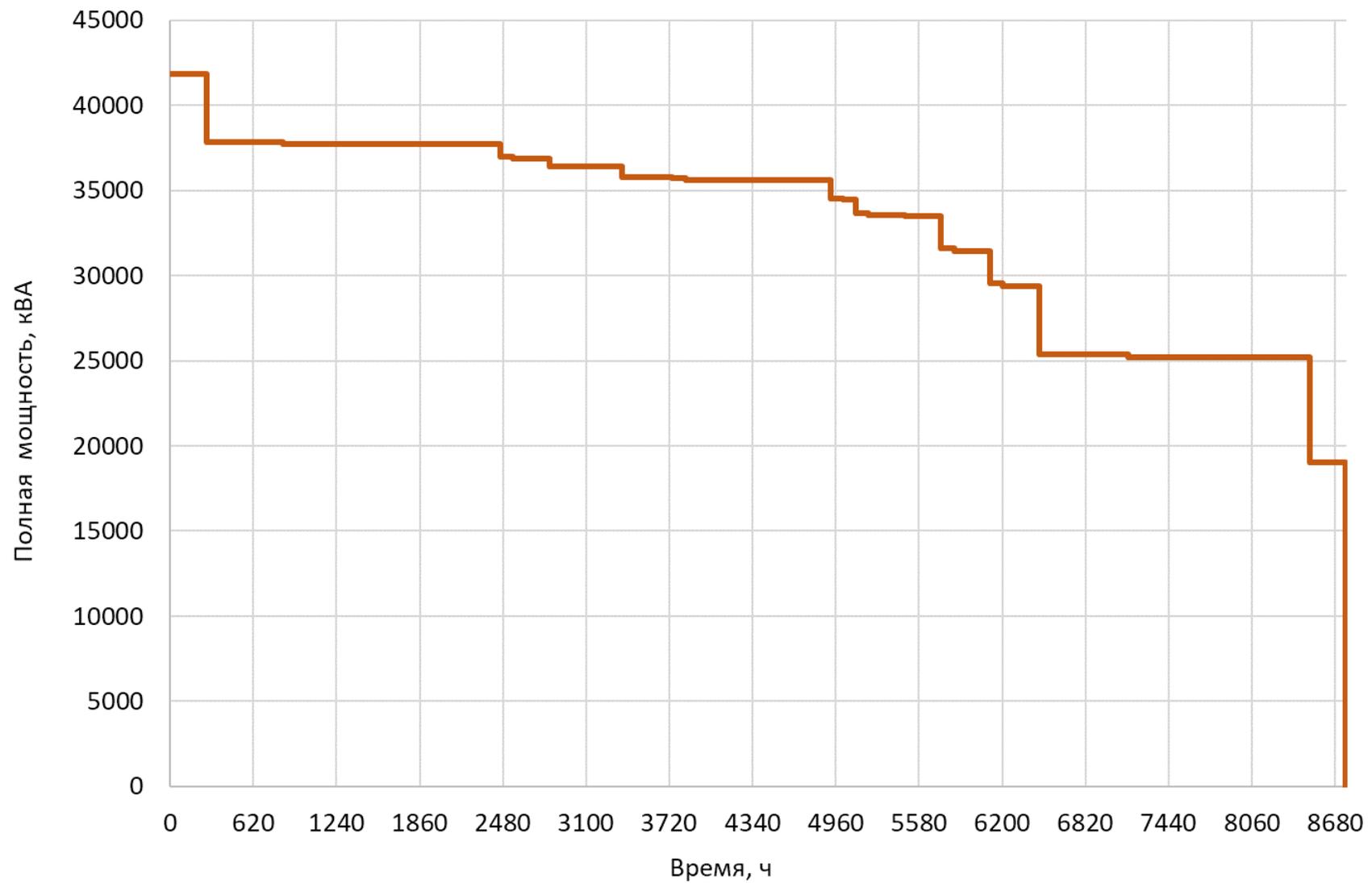


Рисунок 9 - Годовой график полной мощности текстильного предприятия

Таблица 16 - Данные годовых графиков мощности и потребления электрической энергии

График активной мощности			График реактивной мощности		График полной мощности		Потребляемая электрическая энергия, $W_{э,и}$, кВт·ч
P_i , кВт	t_i , ч	T_i , ч	Q_i , квар	T_i , ч	S_i , кВА	T_i , ч	
41676,46	270	270	5030,235	95	41846,86851	270	11252644,2
37508,81	95	365	5030,235	190	37844,60849	365	3563337,33
37508,81	95	460	5030,235	285	37844,60849	460	3563337,33
37508,81	95	555	5030,235	380	37844,60849	555	3563337,33
37508,81	95	650	5030,235	475	37844,60849	650	3563337,33
37508,81	95	745	5030,235	570	37844,60849	745	3563337,33
37508,81	95	840	5030,235	665	37844,60849	840	3563337,33
37508,81	270	1110	5030,235	760	37698,06645	1110	10127379,78
37508,81	270	1380	4918,452	855	37698,06645	1380	10127379,78
37508,81	270	1650	4918,452	950	37698,06645	1650	10127379,78
37508,81	270	1920	4918,452	1045	37698,06645	1920	10127379,78
37508,81	270	2190	4750,778	1140	37698,06645	2190	10127379,78
37508,81	270	2460	4694,886	1235	37698,06645	2460	10127379,78
36675,28	95	2555	4583,103	1330	37003,61719	2555	3484152,056
36675,28	270	2825	4583,103	1425	36860,33164	2825	9902326,896
36258,52	270	3095	4583,103	1520	36429,09396	3095	9789800,454
36258,52	270	3365	4359,537	1615	36405,64402	3365	9789800,454
35424,99	95	3460	4359,537	1710	35780,34728	3460	3365374,145
35424,99	95	3555	4359,537	1805	35780,34728	3555	3365374,145
35424,99	95	3650	4359,537	1900	35764,80333	3650	3365374,145
35424,99	95	3745	4359,537	1995	35764,80333	3745	3365374,145
35424,99	95	3840	4359,537	2090	35720,22985	3840	3365374,145
35424,99	270	4110	4359,537	2185	35625,31506	4110	9564747,57
35424,99	270	4380	4359,537	2280	35616,53437	4380	9564747,57
35424,99	270	4650	3772,676	2550	35616,53437	4650	9564747,57
35424,99	270	4920	3772,676	2820	35591,36421	4920	9564747,57
34174,7	95	5015	3772,676	3090	34495,6792	5015	3246596,234

Продолжение таблицы 16

График активной мощности			График реактивной мощности		График полной мощности		Потребляемая электрическая энергия, $W_{э,и}$, кВт·ч
P_i , кВт	t_i , ч	T_i , ч	Q_i , квар	T_i , ч	S_i , кВА	T_i , ч	
34174,7	95	5110	3772,676	3360	34451,6399	5110	3246596,234
33341,17	95	5205	3772,676	3630	33677,93596	5205	3167410,96
33341,17	270	5475	3772,676	3900	33531,01616	5475	9002115,36
33341,17	270	5745	3772,676	4170	33501,10614	5745	9002115,36
31257,35	95	5840	3772,676	4440	31591,55662	5840	2969447,775
31257,35	270	6110	3688,839	4710	31445,77611	6110	8439483,15
29173,52	95	6205	3688,839	4980	29531,32606	6205	2771484,59
29173,52	270	6475	3688,839	5250	29375,32305	6475	7876850,94
25005,88	95	6570	3563,083	5520	25383,05335	6570	2375558,22
25005,88	95	6665	3521,165	5790	25383,05335	6665	2375558,22
25005,88	95	6760	3437,327	6060	25383,05335	6760	2375558,22
25005,88	95	6855	3437,327	6330	25383,05335	6855	2375558,22
25005,88	95	6950	3437,327	6600	25383,05335	6950	2375558,22
25005,88	95	7045	3269,653	6870	25383,05335	7045	2375558,22
25005,88	95	7140	3269,653	7140	25383,05335	7140	2375558,22
25005,88	270	7410	3269,653	7410	25218,7324	7410	6751586,52
25005,88	270	7680	3269,653	7680	25218,7324	7680	6751586,52
25005,88	270	7950	3269,653	7950	25218,7324	7950	6751586,52
25005,88	270	8220	3269,653	8220	25218,7324	8220	6751586,52
25005,88	270	8490	3269,653	8490	25218,7324	8490	6751586,52
18754,41	270	8760	3269,653	8760	19037,29001	8760	5063689,89
$W_{э,и}$, кВт·ч							286621518,4

Для выбора трансформаторов главной понизительной подстанции определим расчетную мощность одного трансформатора по выражению:

$$S_{\text{транс.ГПП.расч.}} = \frac{S_1}{K_{\text{ДАП}} \cdot (n_{\text{транс.}} - 1)} = \frac{34451,6399}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 24608,31 \text{ (кВА)}$$

Для расчетного значения мощности трансформатора необходимо по каталогам производителей выбрать трансформатор с мощностью ($S_{\text{транс.ГПП.ном.}}$) выше расчетного значения по условию:

$$S_{\text{транс.ГПП.расч.}} \leq S_{\text{транс.ГПП.ном.}} \quad (32)$$

Условию (32) соответствует стандартная мощность трансформатора $S_{\text{транс.ГПП.ном.}} = 25000 \text{ (кВА)}$:

$$S_{\text{транс.ГПП.расч.}} = 24608,31 < S_{\text{транс.ГПП.ном.}} = 25000$$

Окончательно по каталогу производителя [18] выбираем трансформатор ТДН/25000/110/6 кВ.

Выводы по разделу.

В шестом разделе выпускной работы определены суточные графики нагрузок текстильного предприятия. С использованием суточных графиков нагрузок построены годовые графики активной, реактивной и полной мощностей. По данным годового графика активной мощности определено значение годового потребления электрической энергии текстильным предприятием $W_{3,э} = 286621518,4 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$. По годовому графику полной мощности определена расчетная мощность трансформатора ГПП. Для установки на ГПП принято два трансформатора ТДН/25000/110/6 кВ.

7 Выбор питающих линий

Выполнен выбор питающих линий от подстанции внешней электроэнергетической системы и внутризаводской распределительной сети напряжением 6 кВ.

7.1 Выбор линии от подстанции электроэнергетической системы

Внешняя электроэнергетическая система имеет класс напряжения $U_{\text{ЭЭС}} = 110$ (кВ) и расположена на расстоянии 10 км от текстильного предприятия.

Для выбора сечения питающей линии необходимо определить расчетный ток линии с учетом аварийной перегрузки силового трансформатора используя выражение:

$$I_{\text{расч.ЭЭС}} = \frac{K_{\text{ДАП}} \cdot S_{\text{транс.ГПП.ном.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ЭЭС}}} = \frac{1,4 \cdot 25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 183,7 \text{ (А)}$$

Расчетное сечение провода определим по выражению:

$$F_{\text{расч.}}^{110} = \frac{I_{\text{расч.ЭЭС}}}{J_{\text{ПУЭ}}} \quad (33)$$

где $I_{\text{расч.ЭЭС}}$ – максимальный расчетный ток проектируемой линии, А;

$J_{\text{ПУЭ}}$ – значение экономической плотности тока определяемая по [14] в зависимости от числа часов использования максимума нагрузки,

$$\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Для определения экономической плотности тока определим число часов использования максимума нагрузки текстильным предприятием:

$$T_{max} = \frac{W_{э.э}}{P_1} \quad (34)$$

где $W_{э.э}$ – годовое потребление электрической энергии, определено в таблице 16, кВт·ч;

P_1 – значение потребляемой активной мощности на первой ступени годового графика нагрузок (рисунок 8), кВт.

По (34) получим:

$$T_{max} = \frac{286621518,4}{34174,7} = 8386,95 \text{ (ч)}$$

Значению $T_{max} = 8386,95$ (ч) соответствует $J_{пуэ} = 1,0 \left(\frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$, тогда по (33) с учетом ранее определенного значения расчетного тока получим:

$$F_{\text{расч.}}^{110} = \frac{183,7}{1,0} = 183,7 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Расчетному сечению $F_{\text{расч.}}^{110} = 183,7$ соответствует провод АС-185/24 [12].

Проверим выбранный провод на по потери напряжения.

$$\Delta U_{110}^{\text{ВЛ}} = U_{\text{ЭЭС}} - \left(3 \cdot I_{\text{расч.ЭЭС}} \cdot l_{\text{ЭЭС}} \cdot (r_0^{\text{ВЛ}} \cdot \cos \varphi + x_0^{\text{ВЛ}} \cdot \sin \varphi) \right) \quad (35)$$

где $U_{\text{ЭЭС}}$ – номинальное напряжение подстанции внешней энергосистемы, принято $U_{\text{ЭЭС}} = 110$, кВ;

$I_{\text{расч.ЭЭС}}$ – максимальный расчетный ток;

$r_0^{\text{ВЛ}}$ – активное удельное сопротивление провода при температуре 20°C по [12], Ом/км;

$l_{\text{ЭЭС}}$ – длина линии от подстанции энергосистемы до ГПП, км;

$\cos \varphi, \sin \varphi$ – коэффициенты мощности для максимального режима нагрузки, определяется показателем $\text{tg } \varphi$ с учетом компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения;

$x_0^{\text{ВЛ}}$ – индуктивное удельное сопротивление линии по [12], Ом/км.

Длина линии до ГПП с учетом прохода по территории предприятия составляет $l_{\text{ээс}} = 10,3$ (км). Тогда по (35) с учетом данных [12] получим:

$$\Delta U_{110}^{\text{ВЛ}} = 110 \cdot 10^3 - (3 \cdot 183,7 \cdot 10,3 \cdot (0,157 \cdot 0,98 + 0,377 \cdot 0,26))$$

$$\Delta U_{110}^{\text{ВЛ}} = 108570,25 \text{ (кВ)}$$

Полученное значение допустимо так как падение напряжение в линии от номинального составляет 1,3 % и не превышает 5%. Провод АС-185/24 принимается для питания ГПП текстильного предприятия. Линия от электроэнергетической системы до ГПП текстильного предприятия выполняется двухцепной воздушной линией с проводом АС-185/24. Для защиты от приходящих с линии внешних перенапряжений необходимо защитить ВЛ установкой грозотроса на расстоянии 5 км от ГПП.

7.2 Выбор кабелей сети 6 кВ

Для внутриводской системы электроснабжения текстильного предприятия примем петлевую схему. Выбор типа схемы обусловлен большой территорией предприятия, а также распределением нагрузок по территории. Применение петлевой схемы позволит обеспечить требуемые категории надежности электроснабжения всех производственных и административных зданий текстильного предприятия. Кроме того, данная схема позволит резервировать питание технологических потребителей и систем первой категории надежности (аварийное освещение, эвакуационное освещение, системы пожаротушения и т.д.) за счет использования блоков автоматического ввода резерва на стороне 0,4 кВ каждого вводного устройства производственного и административного зданий текстильного предприятия [14].

Схема питания групп цеховых подстанций будет включать в себя несколько петель. Для выбора кабелей каждой из петель распределительной схемы необходимо определить мощность, протекающую в каждой линии петли [19].

Мощность, протекающая в линии, пели, определяется выражением:

$$S_{\text{нач.-кон.}} = K_{\text{см}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{ТП.}i}}{k} \quad (36)$$

где $K_{\text{см}}$ – коэффициент одновременности максимумов нагрузки, принимается по [9] в зависимости от числа трансформаторов, подключенных к линии.

n – число цеховых подстанций, подключенных к линии, шт.;

$S_{\text{ТП.}i}$ – мощность потребителей цеховой подстанции, подключенной к линии, кВА;

k – число трансформаторов отнесенных к i -группе цеховых подстанций, шт.

Далее определяется расчетный ток линии:

$$I_{\text{расч.нач.-кон.}} = \frac{S_{\text{нач.-кон.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \quad (37)$$

где $U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение сети. Для распределительной сети текстильного предприятия принято $U_{\text{ном.}} = 6$, кВ.

По значению расчетного тока определяется сечение кабельной линии каждого участка петли на основании каталога производителя кабелей [8]. В распределительной сети текстильного предприятия будут использованы только кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и медными жилами. Выбор в пользу медных жил продиктован высокими значениями токов в проектируемой распределительной сети текстильного предприятия.

Для автоматизации расчета требующего сложения большого числа значений воспользуемся инструментами MS Excel по результатам расчета составим таблицы 17 и 18.

Для всех линий первой петли распределительной сети текстильного предприятия выбраны кабели типа ПвЭаП - кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, с металлическим экраном из алюминиевых проволок, с наружной оболочкой из полиэтилена. Прокладка кабельных линий выполняется в земле. В одной траншее допускается прокладка нескольких кабелей при условии защиты от замыкания, для этого между каждыми ветками кабельных линий необходимо расположить кирпич по всей длине участка совместной прокладки. Разделение кабельных веток кирпичом применено из-за высокой плотности застройки производственных зданий северной части текстильного предприятия, где сконцентрированы основные производственные здания.

Для всех остальных петель кабельные линии выбираются аналогично первой петле питающей подстанции групп:

- ЦТП 2 для цехов №3 и №4: ЦТП 2-1 (ткацкая фабрика №1) и ЦТП 2-2 (ткацкая фабрика №2);
- ЦТП 1 цехов №1 и №2: ЦТП 1-1 (административный корпус и прядильно-кордная фабрика №1) и ЦТП 1-2 (прядильно-кордная фабрика №1);
- ЦТП 8 для цехов №17 и №23: ЦТП 8-1 (прядильно-гребенная фабрика №1) и ЦТП 8-2 (прядильно-гребенная фабрика №1 и компрессорная);
- ЦТП 9 для цехов №13 и №24: ЦТП 9-1 (прядильно-гребенная фабрика №2) и ЦТП 9-2 (прядильно-гребенная фабрика №2 и склад хлопка).

Таблица 17 - Выбор кабелей для линий от первой секции шин ГПП и питания подстанций первой петли

Линия	Полная мощность цеховой подстанции входящей в петлю, кВА								Расчетные данные		Выбранный кабель
	1-1	9-1	8-1	8-2	9-2	1-2	2-2	2-1	$S_{\text{нач.-кон.}}$, кВА	$I_{\text{расч.нач.-кон.}}$, А	
ГПП-ТП 1-1	990,85	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	1154,23	1154,23	8091,22	778,58	ПвЭаП-2×(3×240)
ТП 1-1-ТП 9-1	-	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	1154,23	1154,23	7298,54	702,3	ПвЭаП-2×(3×185)
ТП 9-1-ТП 8-1	-	-	1549	1549	1362,93	990,85	1154,23	1154,23	6208,19	597,38	ПвЭаП-2×(3×120)
ТП 8-1-ТП 8-2	-	-	-	1549	1362,93	990,85	1154,23	1154,23	5279,56	508,03	ПвЭаП-2×(3×95)
ТП 8-2-ТП 9-2	-	-	-	-	1362,93	990,85	1154,23	1154,23	3962,91	381,33	ПвЭаП-2×(3×70)
ТП 9-2-ТП 1-2	-	-	-	-	-	990,85	1154,23	1154,23	2804,42	269,85	ПвЭаП-3×150
ТП 1-2-ТП 2-2	-	-	-	-	-	-	1154,23	1154,23	2077,62	199,92	ПвЭаП-3×70
ТП 2-2-ТП 2-1	-	-	-	-	-	-	-	1154,23	1154,23	111,07	ПвЭаП-3×35

Таблица 18 - Выбор кабелей для линий от второй секции шин ГПП и питания подстанций первой петли

Линия	Полная мощность цеховой подстанции входящей в петлю, кВА								Расчетные данные		Выбранный кабель
	1-1	9-1	8-1	8-2	9-2	1-2	2-2	2-1	$S_{\text{нач.-кон.}}$, кВА	$I_{\text{расч.нач.-кон.}}$, А	
ГПП-ТП 2-1	1154,23	990,85	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	8091,22	778,58	778,58	ПвЭаП-2×(3×240)
ТП 2-1-ТП 2-2	1154,23	990,85	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	7167,83	689,72	689,72	ПвЭаП-2×(3×185)
ТП 2-2-ТП 1-2	-	990,85	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	6244,44	600,87	600,87	ПвЭаП-2×(3×120)
ТП 1-2-ТП 9-2	-	-	1362,93	1549	1549	1362,93	990,85	5792,5	557,38	557,38	ПвЭаП-2×(3×95)
ТП 9-2-ТП 8-2	-	-	-	1549	1549	1362,93	990,85	4634,01	445,91	445,91	ПвЭаП-2×(3×70)
ТП 8-2-ТП 8-1	-	-	-	-	1549	1362,93	990,85	3317,36	319,21	319,21	ПвЭаП-3×150
ТП 8-1-ТП 9-1	-	-	-	-	-	1362,93	990,85	2118,4	203,84	203,84	ПвЭаП-3×70
ТП 9-1-ТП 1-1	-	-	-	-	-	-	990,85	990,85	95,34	95,34	ПвЭаП-3×35

Выводы по разделу.

Для питания главной понизительной подстанции текстильного предприятия выбран тип и сечения провода воздушной линии электропередачи от подстанции внешней электроэнергетической системы. Для воздушной линии принят провод марки АС-185/24. Общая длина воздушной линии с учетом ее прохода по территории текстильного предприятия составила 10,3 км. Провод для воздушной линии выбран по экономической плотности тока и проверен по величине падения напряжения которая составила 1,3%. Для защиты от приходящих с воздушной линии волн внешних перенапряжений необходимо защитить ее путем установки грозотроса на расстоянии 5 км от ГПП.

Для питания цеховых подстанций текстильного предприятия принята петлевая схема, включающая в себя три петли. Представлен подробный расчет и выбор кабельных линий для первой петли распределительной сети текстильного предприятия. Первая петля обеспечивает питание групп подстанций: ЦТП 2 для цехов №3 и №4; ЦТП 2-1 (ткацкая фабрика №1) и ЦТП 2-2 (ткацкая фабрика №2); ЦТП 1 цехов №1 и №2: ЦТП 1-1 (административный корпус и прядильно-кордная фабрика №1) и ЦТП 1-2 (прядильно-кордная фабрика №1); ЦТП 8 для цехов №17 и №23: ЦТП 8-1 (прядильно-гребенная фабрика №1) и ЦТП 8-2 (прядильно-гребенная фабрика №1 и компрессорная); ЦТП 9 для цехов №13 и №24: ЦТП 9-1 (прядильно-гребенная фабрика №2) и ЦТП 9-2 (прядильно-гребенная фабрика №2 и склад хлопка).

Для первой петли выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвЭаП с сечениями от 35 до 240 мм². Выбранная схема распределительной сети позволит резервировать питание технологических потребителей и систем первой категории надежности (аварийное освещение, эвакуационное освещение, системы пожаротушения и т.д.) за счет использования блоков автоматического ввода резерва на стороне 0,4 кВ каждого вводного устройства производственного и административного зданий текстильного предприятия.

Заключение

В первом разделе представлены исходные данные и краткая характеристика объекта выпускной квалификационной работы. На объекте ВКР только в одном здании – цех №17 (компрессорная) присутствуют высоковольтные электроприемники на напряжение 6 кВ – синхронные двигатели приводов компрессоров, поэтому для внутризаводской распределительной сети необходимо рассматривать преимущественно именно этот класс напряжения для снижения числа используемого оборудования – трансформаторов.

Выполнен расчет предварительной мощности систем внутреннего освещения всех производственных и административных зданий текстильного предприятия. Расчетные значения мощности системы внутреннего освещения получены по методу удельной мощности.

Выполнен расчет системы уличного освещения для проезжих частей на территории текстильного предприятия. Все проезжие части разделены на два типа по ширине. Общая длина проезжей части первого типа шириной 7,5 м составила $L_{\text{пр.ч}}^I = 3926,487$ (м). Для проезжей части первого типа выбрана расстановка светильников в «шахматном» порядке. Общее число светильников $n_{\text{св.}}^I = 246$ (шт.). Общая длина проезжей части второго типа шириной 4,5 м составила $L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}} = 2516,715$ (м). Для проезжей части второго типа выбрана расстановка светильников с одной стороны проезжей части. Общее число светильников $n_{\text{св.}}^{\text{II}} = 126$ (шт.). Все уличные светильники имеют мощность 40 Вт и устанавливаются на опорах высотой 7 м. Расчетная мощность системы освещения составила $P_{\text{уст.УС}} = 14,88$ (кВт).

С учетом расчетных значений системы внутреннего и уличного освещения выполнен расчет установленной активной, реактивной и полной мощностей. Значения суммарной активной установленной мощности по текстильному предприятию $P_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 71650,84516$ (кВт), реактивной

установленной мощности $Q_{уст.(6).\Sigma} = 66475,04127$ (квар) и полной установленной мощности $S_{уст.(6).\Sigma} = 98556,76439$ (кВА).

Суммарные значения установленных мощностей имеют очень высокие значения, что объясняется отсутствием учета режимов работы каждого производственного и административного здания текстильного предприятия. Учет вклада мощности каждого производственного и административного здания текстильного предприятия в общее потребление мощности в расчетах учитывалось значением коэффициента спроса, заданного исходными данными для каждого здания текстильного предприятия.

Учет коэффициента спроса позволил определить расчетные нагрузки текстильного предприятия, необходимы для дальнейшего проектирования системы электроснабжения. По результатам расчета получены значения суммарной расчетной активной мощности $\sum_{i=1}^{26} P_{расч.\Sigma.i} = 44091,35$ (кВт), суммарной полной расчетной мощности $\sum_{i=1}^{26} S_{расч.\Sigma.i} = 57520,71$ (кВА) и суммарной реактивной расчетной мощности $\sum_{i=1}^{26} Q_{расч.\Sigma.i} = 36868,2$ (квар).

Для текстильного предприятия построена картограмма электрических нагрузок и определен расчетный центр электрических нагрузок с координатами $x_{цэн} = 391,53$ (м) и $y_{цэн} = 273,93$ (м). Построение картограммы выполнено для расчетной активной мощности цехов текстильного предприятия с учетом технологического оборудования и мощности системы внутреннего освещения.

По результатам расчета получено, что центр электрических нагрузок попадает на цех № 23 (прядельно-гребенная фабрика №1). Размещение главной понизительной подстанции в данной точке невозможно, поэтому сместим размещение ГПП в направлении прихода питания от внешней энергосистемы: северо-восточнее расчетного ЦЭН в точку с координатами $x_{гпп} = 559,85$ (м) и $y_{гпп} = 351,8$ (м).

На первом этапе выбора числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций определены расчетные значения реактивной мощности, которую

необходимо скомпенсировать на шинах 0,4 кВ, а также определены значения коэффициентов реактивной мощности для каждого цеха текстильного предприятия.

Для восьми трансформаторных подстанций проектируемой системы электроснабжения текстильного предприятия выбраны трансформаторы марки ТМГ, производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» с номинальными мощностями 400 – 1600 кВА. На каждой из восьми трансформаторных подстанции принято установить по два трансформатора. Трансформаторы выбраны с учетом компенсации реактивной мощности со стороны 0,4 кВ. Выбрано количество и номинальные мощности установок компенсации. На всех ТП проектируемой системы электроснабжения текстильного предприятия приняты к установке автоматические (А) установки (У) компенсации (К) реактивной (Р) мощности (М) типа АУКРМ производства компании ООО «Элком Энерго» [9] с номинальными мощностями 125 – 500 квар.

Оптимальность выбора трансформаторов проверена по расчетному значению коэффициента загрузки подстанции в режиме максимальных нагрузок. Все полученные значения коэффициентов находятся в пределах [0,46 , 0,64] и не превышают нормируемого коэффициента загрузки для двух трансформаторных подстанций 0,7.

В шестом разделе выпускной работы определены суточные графики нагрузок текстильного предприятия. С использованием суточных графиков нагрузок построены годовые графики активной, реактивной и полной мощностей. По данным годового графика активной мощности определено значение годового потребления электрической энергии текстильным предприятием $W_{3,э} = 286621518,4$ (кВт · ч). По годовому графику полной мощности определена расчетная мощность трансформатора ГПП. Для установки на ГПП принято два трансформатора ТДН/25000/110/6 кВ.

Для питания главной понизительной подстанции текстильного предприятия выбран тип и сечения провода воздушной линии электропередачи

от подстанции внешней электроэнергетической системы. Для воздушной линии принят провод марки АС-185/24. Общая длина воздушной линии с учетом ее прохода по территории текстильного предприятия составила 10,3 км. Провод для воздушной линии выбран по экономической плотности тока и проверен по величине падения напряжения которая составила 1,3%. Для защиты от приходящих с воздушной линии волн внешних перенапряжений необходимо защитить ее путем установки грозотроса на расстоянии 5 км от ГПП.

Для питания цеховых подстанций текстильного предприятия принята петлевая схема, включающая в себя три петли. Представлен подробный расчет и выбор кабельных линий для первой петли распределительной сети текстильного предприятия. Первая петля обеспечивает питание групп подстанций: ЦТП 2 для цехов №3 и №4: ЦТП 2-1 (ткацкая фабрика №1) и ЦТП 2-2 (ткацкая фабрика №2); ЦТП 1 цехов №1 и №2: ЦТП 1-1 (административный корпус и прядильно-кордная фабрика №1) и ЦТП 1-2 (прядильно-кордная фабрика №1); ЦТП 8 для цехов №17 и №23: ЦТП 8-1 (прядильно-гребенная фабрика №1) и ЦТП 8-2 (прядильно-гребенная фабрика №1 и компрессорная); ЦТП 9 для цехов №13 и №24: ЦТП 9-1 (прядильно-гребенная фабрика №2) и ЦТП 9-2 (прядильно-гребенная фабрика №2 и склад хлопка).

Для первой петли выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвЭаП с сечениями от 35 до 240 мм². Выбранная схема распределительной сети позволит резервировать питание технологических потребителей и систем первой категории надежности (аварийное освещение, эвакуационное освещение, системы пожаротушения и т.д.) за счет использования блоков автоматического ввода резерва на стороне 0,4 кВ каждого вводного устройства производственного и административного зданий текстильного предприятия.

В результате цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

- Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии. 2-е изд. Ростов-н/Д: Феникс, 2008. 715 с.
2. ГОСТ 55707-2013 Освещение наружное утилитарное. Методы измерения нормируемых параметров. Мм.: Стандартиформ, 2016. 12 с.
 3. ГОСТ 55708-2013 Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров. М.: Стандартиформ, 2015. 26 с.
 4. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
 5. ГОСТ Р 19431-84 Энергетика и электрификация. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2021. 73 с.
 6. ГОСТ Р 52719-2007. Национальный стандарт Российской Федерации трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2008. 70 с.
 7. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. М.: Стандартиформ, 2014. 12 с.
 8. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение // Официальный сайт ООО «Торговый Дом «УНКОМТЕХ». 2023. URL: <https://www.uncomtech.ru/download/419> (дата обращения: 05.04.2024).
 9. Конденсаторные установки АУКРМ-0,4 [Электронный ресурс] // Официальный сайт завода «Элком-Энерго» : [сайт]. [2024]. URL: https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-aku-kku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-aukrm-0-4/?PAGEN_1=5 (дата обращения: 11.04.2021).
 10. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий. 2-е изд. М.: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
 11. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высшая Школа, 1990. 366 с.

12. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е изд. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. 607 с.
13. ООО «Тольяттинский Трансформатор». Трансформаторы силовые серии ТМГ // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО «Тольяттинский Трансформатор». 2014. URL: https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf (дата обращения: 05.10.2024).
14. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.
15. Программа для расчета освещения DIALux evo [Электронный ресурс] // DIALux: [сайт]. [2024]. URL: <https://www.dialux.com/en-GB/download> (дата обращения: 02.09.2024).
16. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». М.: Стандартинформ, 2018. 135 с.
17. Степкина Ю. В., Салтыков В. М. Проектирование электрической части понизительной подстанции. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.
18. Трансформаторы силовые масляные класса напряжения 110 кВ // Официальный сайт производителя ООО «Тольяттинский трансформатор». 2021. URL: <https://www.transformator.com.ru/ttproduction/transform/145/1641/> (дата обращения: 8.09.2024).
19. Файбисович Д.Л., Карапетян И., Шапиро И. Справочник по проектированию электрических сетей. 4-е изд. М.: ЭНАС, 2012.
20. Федоров А. А., Вершинина С. И. Сборник заданий для курсового проектирования по основам электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. 2-е изд. Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного университета имени И. Н. Ульянова, 1998.