

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 группы цехов автомобилестроительного предприятия

Обучающийся

К.В. Шерemet

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа направлена на проектирование внутризаводской системы электроснабжения автомобильного завода.

Представлена краткая характеристика и параметры производственных и административных зданий автомобилестроительного предприятия необходимые для выполнения выпускной квалификационной работы. Выполнен расчет электрических нагрузок объекта выпускной квалификационной работы с учетом мощности электроприемников каждого производственного и административного здания промышленного предприятия на стороне 0,4 кВ 6 кВ. Выбрано напряжение внутризаводской системы электроснабжение равное 6 кВ, так как на объекте присутствуют высоковольтные электроприемники данного класса напряжения.

Выполнен расчет картограммы электрических нагрузок объекта выпускной квалификационной работы учетом которого спроектирована внутризаводская распределительная сеть и выбрано число и мощность цеховых трансформаторных подстанций. На цеховых трансформаторных подстанциях проектом предусмотрена установка герметичных масляных трансформаторов. Выбраны кабели на напряжение 6 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Для питания главной понизительной подстанции выбраны провода и кабели на напряжение 110 кВ от внешней энергосистемы.

Пояснительная записка выполнена на 73 листах формата А4, содержит 18 таблиц и 10 рисунков. Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1 и отражает основные проектные решения внутризаводской системы электроснабжения.

## Содержание

Введение .....	4
1 Краткая характеристики объекта .....	6
2 Электрические нагрузки завода .....	10
2.1 Внутренняя система освещения производственных и административных зданий.....	10
2.2 Система уличного освещения .....	13
2.3 Определение итоговой мощности автомобилестроительного завода ....	19
3 Картограмма электрических нагрузок завода .....	25
4 Компенсация реактивной мощности в системе внутриводского электроснабжения .....	30
5 Выбор типа и мощности трансформаторов цеховых подстанций .....	33
6 Построение графика нагрузок автомобилестроительного предприятия с выбором трансформаторов главной понизительной подстанции .....	46
7 Выбор питающих линий внутриводской системы электроснабжения автомобилестроительного завода .....	58
7.1 Выбор линий от внешней системы.....	58
7.2 Выбор линий распределительной сети 6 кВ .....	62
Заключение .....	68
Список используемой литературы .....	72

## Введение

Электроэнергетика – это одна из базовых отраслей экономики. Развитие электроэнергетики обеспечивает рост и развитие промышленного производства различных отраслей, так как ни одна промышленная отрасль не может функционировать и развиваться в условиях отсутствия электроснабжения или отсутствия резервов электрической мощности.

Крупные промышленные предприятия требуют наличия в электроэнергетической системе большого резерва установленной мощности. Первым этапом проектирования любого крупного промышленного предприятия является определение возможностей внешней энергосистемы обеспечить требуемый уровень мощности. При этом необходимо учитывать мощность и характер ее потребления у проектируемого промышленного предприятия.

Отрасль автомобилестроения является современной и перспективной отраслью. Развитие автомобилестроительной отрасли влечет за собой развитие большого числа смежных предприятий обеспечивающих снабжение автомобилестроительных заводов комплектующими, оборудованием, сырьем и т.д.

Предприятия автомобилестроительной отрасли классифицируются по масштабу и специализации на следующие виды:

- крупные предприятия. Выпускают от 100 тысяч автомобилей в год;
- специализированные предприятия. Выпускают конкретный тип автомобильной техники: грузовые автомобили, микроавтобусы, автобусы, мотоциклы, троллейбусы и т.д.;
- малые предприятия. Выпускают редкие и/или эксклюзивные модели автомобилей.

На современных крупных автомобилестроительных предприятиях используется преимущественно конвейерная сборка автомобилей. Такой

подход обеспечивает низкую себестоимость и высокую скорость производства продукции - автомобилей.

По уровню локализации производства крупные автомобилестроительные предприятия могут быть выполнены по нескольким вариантам:

- предприятия полного цикла производства;
- предприятия крупноузловой сборки;
- предприятия мелко узловой сборки.

Наиболее крупными по занимаемой площади и потребляемой мощности являются автомобилестроительные предприятия полного цикла производства. На таких предприятия выполняется не только сборка готовой продукции, но и производятся крупные элементы автомобиля: двигатель, кузовные элементы, топливные системы и т.д.

Объектом выпускной квалификационной работы является автомобильный завод, на котором производится сборка автомобилей, а также производство элементов автомобиля, т.е. объект выпускной квалификационной работы относится к группе крупных предприятий.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка внутризаводской системы электроснабжения автомобильного завода с применением современного оборудования.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- выполнить анализ объекта выпускной квалификационной работы и определить исходные данные для проектирования системы электроснабжения;
- выполнить расчет электрических нагрузок объекта выпускной квалификационной работы и определить центр электрических нагрузок объекта;
- выбрать оборудование системы электроснабжения объекта выпускной квалификационной работы и проверить на

соответствие параметрам спроектированной системы электроснабжения.

## 1 Краткая характеристики объекта

Объект выпускной квалификационной работы – автомобильный завод. Объект выпускной квалификационной работы размещается в Нижегородской области. В состав объекта выпускной квалификационной работы входят производственные и административные здания, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Производственные и административные здания автомобильного завода

Наименование цеха	Номер цеха	Категория надежности
Цех шасси и главный конвейер	1	II
Моторный цех	2	II
Прессово-кузовной цех	3	II
Инструментальный цех	4	III
Ремонтно-механический цех	5	III
Конструкторско-экспериментальный цех	6	III
Экспедиция и склад	7	III
Деревообрабатывающий цех	8	II
Модельный цех	9	III
Литейный цех серого чугуна	10	I
Литейный цех ковкого чугуна и цветных металлов	11	I
Кузнечный цех	12	II
Арматурно-агрегатный цех	13	II
Склад масел и химикатов	14	II
Транспортный цех	15	III
Заводоуправление	16	III
Проходная	17	III
Заводоуправление	18	III
Скrapоразделочная	19	III
Цех топливной арматуры	20	II
Открытый склад	21	III
Компрессорная	22	II

Расположение производственных и административных зданий автомобильного завода по территории представлено на рисунке 1.

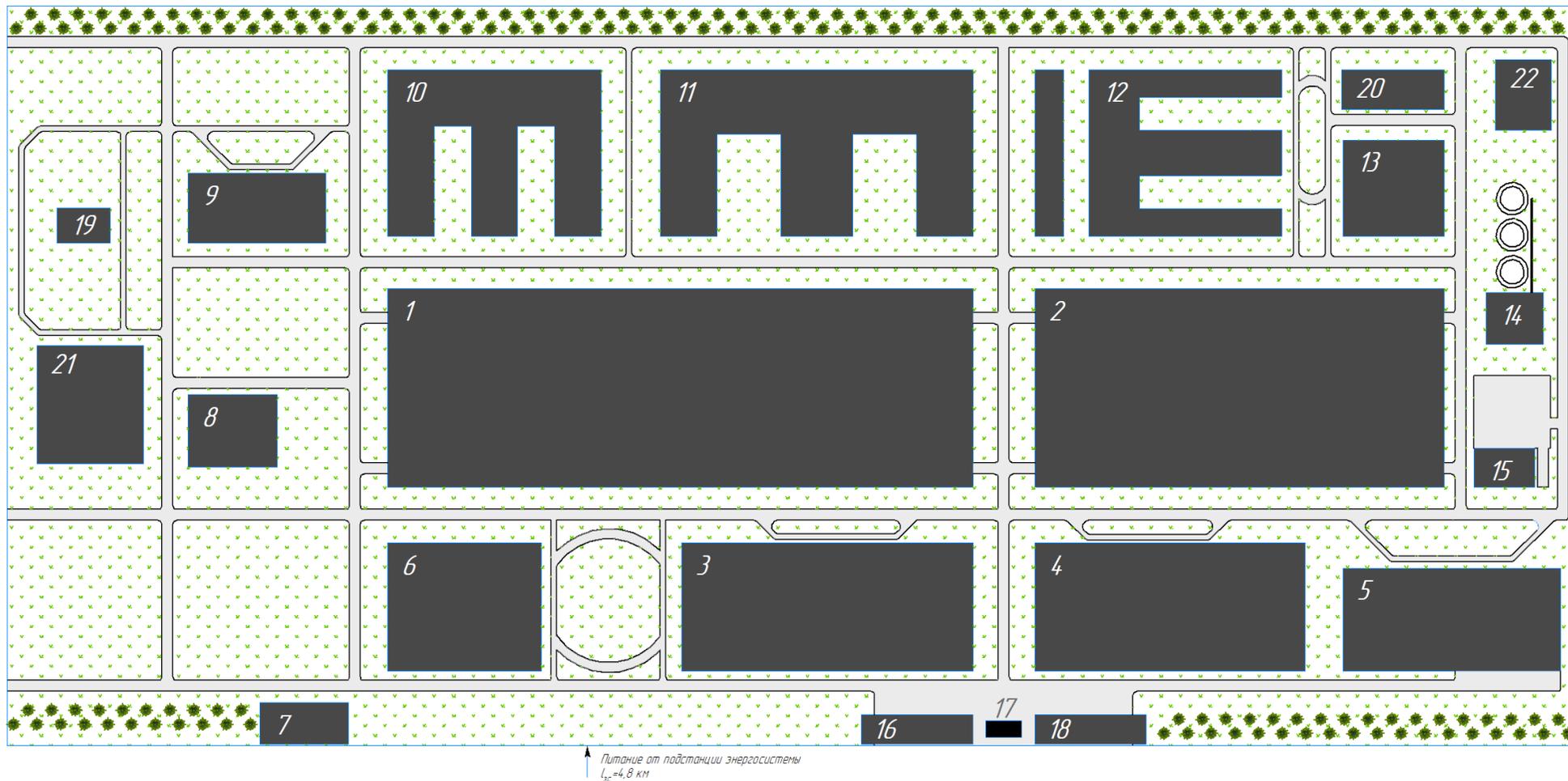


Рисунок 1 - Генеральный план автомобильного завода

Площадь территории, занимаемая объектом выпускной квалификационной работы  $S_{\text{тер.АЗ}} = 298\,452 \text{ (м}^2\text{)}$ . Источник питания – подстанция электроэнергетической системы, расположенная с юго-восточной стороны на расстоянии 4,8 км от объекта выпускной квалификационной работы. Мощность электроэнергетической системы  $S_{\text{ээс}} = 550 \text{ (МВА)}$ .

На объекте выпускной квалификационной работы присутствуют как низковольтные потребители – на напряжении 0,4 кВ, так и высоковольтные – на напряжении 6 кВ. Нагрузки потребителей – производственных и административных зданий, объекта выпускной квалификационной работы представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Установленная мощность электроприемников производственных и административных зданий

Номер цеха	Установленная мощность, кВт		Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ )	Коэффициент спроса ( $K_c$ )	Площадь, м <sup>2</sup>
	на напряжении 0,4 кВ	на напряжении 6 кВ			
1	1600	1200	0,75	0,35	29917,1
2	1600	-	0,7	0,25	20899,96
3	1900	1000	0,7	0,2	9581,25
4	950	-	0,6	0,2	39371,75
5	180	-	0,6	0,2	5753,85
6	160	-	0,8	0,5	5063,47
7	120	-	0,2	0,7	950,56
8	210	-	0,8	0,2	1648,94
9	300	-	0,6	0,5	2469,51
10	1200	800	0,78	0,6	7002,37
11	1200	1200	0,78	0,6	9982,58
12	500	-	0,75	0,2	7017,04
13	850	-	0,75	0,2	2489,89
14	80	-	0,7	0,2	753,74
15	150	-	0,7	0,2	603,62
16	120	-	0,8	0,5	848,14
17	20	-	0,8	0,5	158,64
18	170	-	0,8	0,5	848,14
19	620	-	0,7	0,3	478,1
20	540	-	0,65	0,4	1030,83
21	110	-	0,2	0,7	3241,68
22	-	2880	0,8	0,75	1010,33

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.

Данные таблицы 2, а также генеральный план объекта выпускной квалификационной работы являются исходными данными для проектирования системы электроснабжения автомобильного завода. Исходные данные по размещению цехов автомобилестроительного предприятия, а также данные по установленной мощности всех цехов предприятия определены согласно [20], значения коэффициентов мощностей и коэффициентов спроса для каждого цеха автомобилестроительного 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 в пяти производственных помещениях присутствуют высоковольтные электроприемники на напряжение 6 кВ, поэтому для внутризаводской распределительной сети необходимо рассматривать преимущественно именно этот класс напряжения для снижения числа используемого оборудования – трансформаторов.

## 2 Электрические нагрузки завода

В разделе представлены результаты расчета нагрузок системы освещения производственных и административных зданий автомобилестроительного завода, а также определены суточные и годовые графики нагрузок.

### 2.1 Внутренняя система освещения производственных и административных зданий

Для определения электрических нагрузок системы освещения объекта выпускной квалификационной работы воспользуемся методикой определения мощности системы освещения по 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 [16] и [5] составим таблицу 3 в которой отразим исходные данные для расчета мощности внутренней системы освещения зданий расположенных на территории автомобилестроительного 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 автомобилестроительного предприятия. Принимается по данным таблицы 3,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$S_i$  – площадь  $i$ -го здания автомобилестроительного предприятия.

Принимается по данным таблицы 3, м<sup>2</sup>.

Таблица 3 - Данные для расчета системы мощности внутренней системы освещения

Номер цеха	Значение общего уровня освещенности, лк	Площадь ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	Максимальная удельная установленная мощность ( $p_{уд.осв.i}$ ), $\frac{Вт}{м^2}$
1	300	29917,1	5
2	300	20899,96	5
3	200	9581,25	4,5
4	300	39371,75	5
5	300	5753,85	5
6	750	5063,47	9,5
7	150	950,56	3,5
8	150	1648,94	3,5
9	500	2469,51	8,5
10	150	7002,37	3,5
11	150	9982,58	3,5
12	200	7017,04	4,5
13	200	2489,89	4,5
14	150	753,74	3,5
15	200	603,62	4,5
16	300	848,14	5
17	200	158,64	4,5
18	300	848,14	5
19	200	478,1	4,5
20	300	1030,83	5
21	15	3241,68	1,25
22	150	1010,33	3,5

Используя данные таблицы 3, по выражению (1), для цеха шасси и главного конвейера (позиция 1 рисунок 1) получим:

$$P_{\text{осв.1}}^{\text{пр}} = p_{\text{уд.осв.1}} \cdot S_1 = 5 \cdot 29917,1 = 149585,5 \text{ (Вт)}$$

Для всех остальных цехов автомобилестроительного предприятия расчет мощности системы внутреннего освещения выполняется аналогично цеха шасси и главного конвейера с использованием выражения (1) и таблицы 3. Расчетные значения предварительной мощности системы освещения для всех цехов автомобилестроительного предприятия сведем в таблицу 4. Итоговое значение общей мощности системы внутреннего освещения автомобилестроительного предприятия найдем, используя выражение:

$$P_{\text{осв.}\Sigma}^{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{n=22} P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}} \quad (2)$$

где  $n$  – общее число цехов автомобилестроительного предприятия, принимается по данным таблицы 3  $n = 22$ , шт.;

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

Таблица 4 - Расчет предварительной мощности системы внутреннего освещения автомобилестроительного предприятия

Номер цеха	Площадь ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	$p_{\text{уд.осв.}i}$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$ , Вт	$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$ , кВт
1	29917,1	5	149585,5	149,5855
2	20899,96	5	104499,8	104,4998
3	9581,25	4,5	43115,625	43,115625
4	39371,75	5	196858,75	196,85875
5	5753,85	5	28769,25	28,76925
6	5063,47	9,5	48102,965	48,102965
7	950,56	3,5	3326,96	3,32696
8	1648,94	3,5	5771,29	5,77129
9	2469,51	8,5	20990,835	20,990835
10	7002,37	3,5	24508,295	24,508295
11	9982,58	3,5	34939,03	34,93903
12	7017,04	4,5	31576,68	31,57668
13	2489,89	4,5	11204,505	11,204505
14	753,74	3,5	2638,09	2,63809
15	603,62	4,5	2716,29	2,71629

Продолжение таблицы 4

Номер цеха	Площадь ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	$p_{уд.осв.i}, \frac{Вт}{м^2}$	$P_{осв.i}^{пр}$ , Вт	$P_{осв.i}^{пр}$ , кВт
16	848,14	5	4240,7	4,2407
17	158,64	4,5	713,88	0,71388
18	848,14	5	4240,7	4,2407
19	478,1	4,5	2151,45	2,15145
20	1030,83	5	5154,15	5,15415
21	3241,68	1,25	4052,1	4,0521
22	1010,33	3,5	3536,155	3,536155
Итого ( $P_{осв.Σ}^{пр}$ ), кВт				732,693

Стоит отметить, что значение мощности системы освещения полученное по выражениям (1) и (2) являются предварительными, т.е. не учитывают типа и количества светильников системы внутреннего освещения, а также освещенность, в том числе нормируемую, всех производственных участков. Значения полученные по (1) и (2) могут иметь завышенные значения и должны быть скорректированы на этапе проектирования внутрицеховой системы электроснабжения. 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 автомобилестроительного предприятия, также как и для системы внутрицехового 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 автомобилестроительного 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 [7], [2] и [3].

Расчет освещенности выполним с использованием специализированного программного обеспечения DiaLuxEvo [15]. DiaLuxEvo позволяет проводить расчеты не только уличного, но и внутреннего освещений, однако для расчета внутреннего освещения необходимо наличие внутреннего плана помещения и расстановки оборудования. Поэтому данное специализированное программное обеспечение не было использовано в разделе расчета внутреннего освещения автомобилестроительного 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  $15^\circ$ . 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.

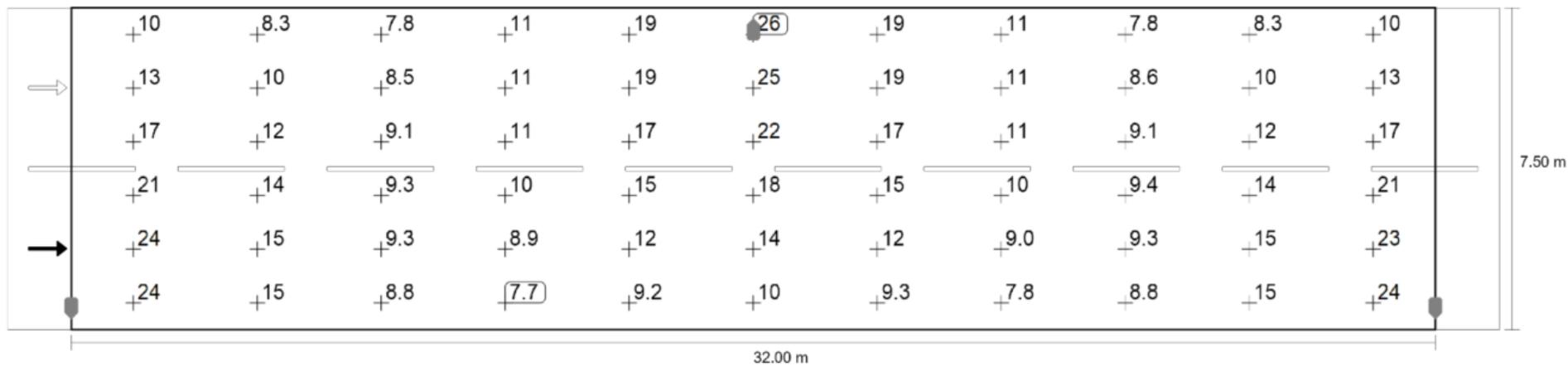
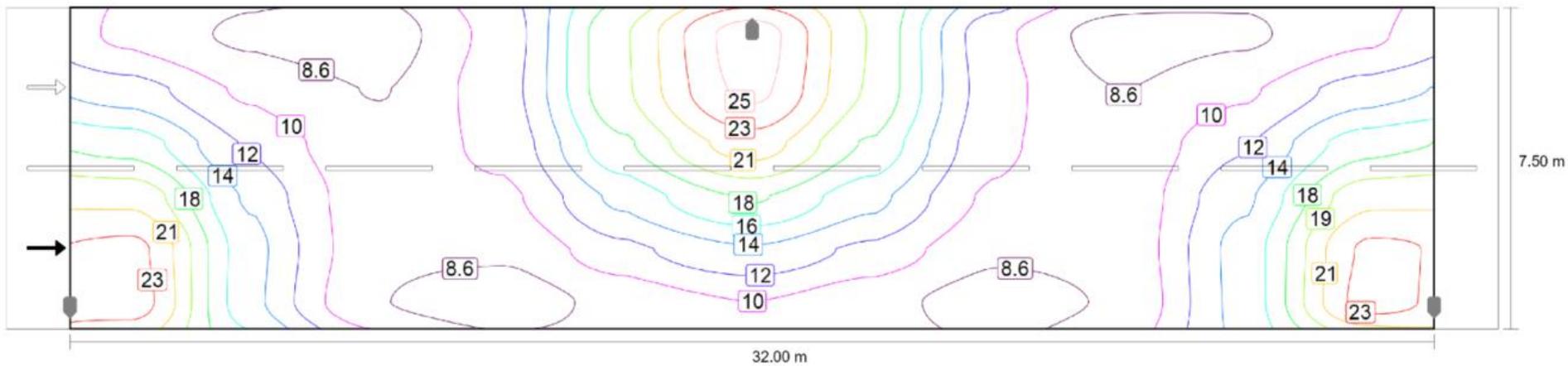


Рисунок 2 - Результаты расчета горизонтальной освещенности для проезжей части шириной 7,5 м

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  $45^\circ$ , 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 автомобилестроительного предприятия и определим общую длину для проезжих частей первого и второго типов.

Общая длина проезжей части первого типа  $L_{\text{пр.ч}}^{\text{I}} = 3855$  (м), а второго типа  $L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}} = 1397$  (м).

Определим число светильников для проезжей части второго типа используя выражение:

$$n_{\text{св.}}^{\text{II}} = K_{\text{ряд}} \cdot \left\lceil \frac{L_{\text{пр.ч}}^{\text{II}}}{L_{\text{м.св}}^{\text{II}}} \right\rceil = 1 \cdot \left\lceil \frac{1397}{20} \right\rceil = 70 \text{ (шт.)}$$

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 автомобилестроительного 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:

$$n_{\text{св.}}^{\text{I}} = K_{\text{ряд}} \cdot \left\lceil \frac{L_{\text{пр.ч}}^{\text{I}}}{L_{\text{м.св}}^{\text{I}}} \right\rceil = 2 \cdot \left\lceil \frac{3855}{32} \right\rceil = 221 \text{ (шт.)}$$

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 автомобилестроительного 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  $n_{\text{св.}}^{\text{I}} = 221$  (шт.) и второго  $n_{\text{св.}}^{\text{II}} = 70$  (шт.) типов общая мощность системы уличного освещения составит:

$$P_{\text{уст.УС}} = P_{\text{ном.УС}} \cdot (n_{\text{св.}}^{\text{I}} + n_{\text{св.}}^{\text{II}}) = 40 \cdot (221 + 70) = 11640 \text{ (Вт)}$$

Значение мощности системы уличного освещения  $P_{\text{уст.УС}} = 11,64$  (кВт) будет использована при расчете электрических нагрузок всего автомобилестроительного завода.

Расчетные данные системы уличного освещения представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты расчета уличного освещения

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

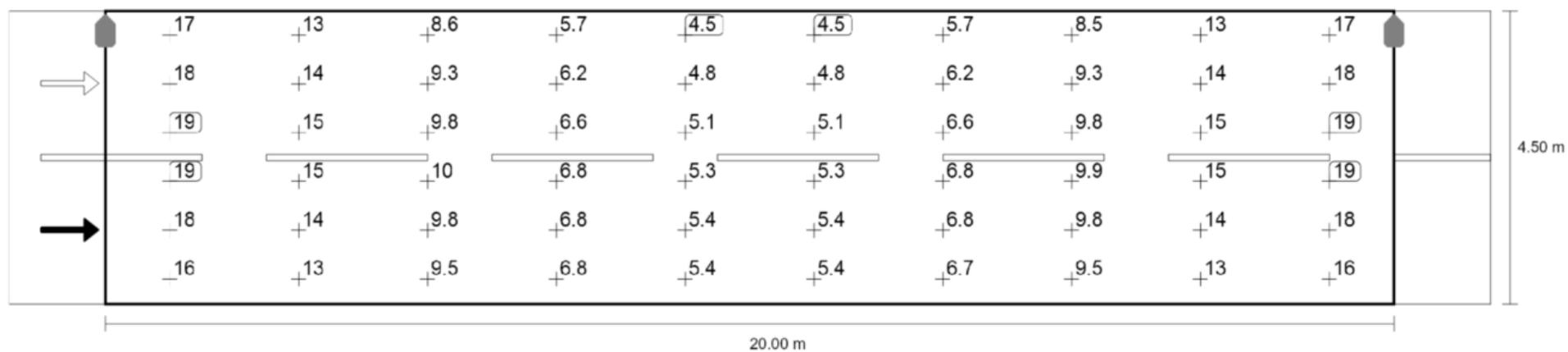
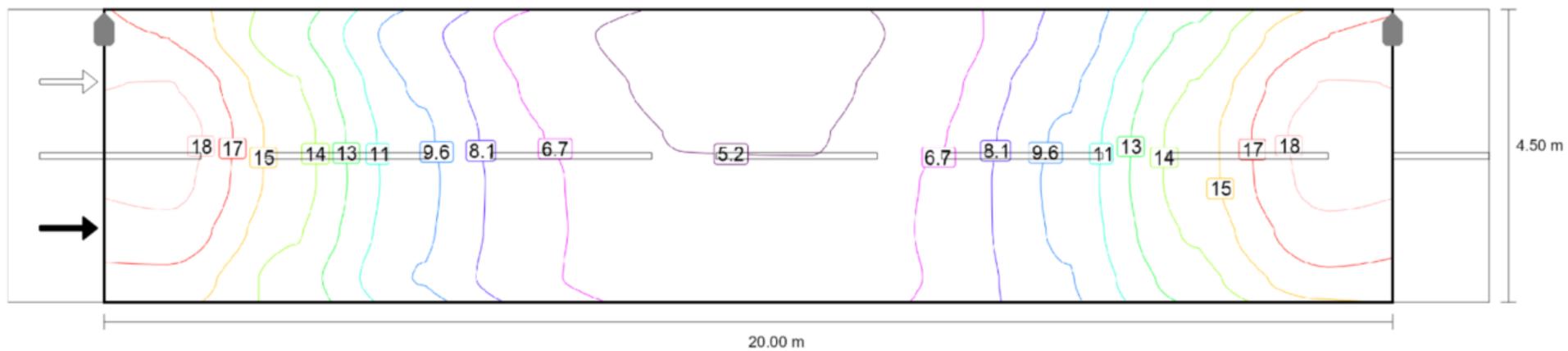


Рисунок 3 - Результаты расчета горизонтальной освещенности для проезжей части шириной 4,5 м

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 типа. 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 Определение итоговой мощности автомобилестроительного завода**

В 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 автомобилестроительного 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:

$$P_{\text{уст.}\Sigma.i} = P_{\text{уст.}(0,4).i} + P_{\text{уст.}(6).i} + P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}} \quad (3)$$

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

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

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

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

Установленная полная мощность определяется выражением:

$$S_{уст.(6).i} = \frac{P_{уст.Σ.i}}{\cos \varphi_i} \quad (4)$$

где  $P_{уст.Σ.i}$  - суммарная установленная мощность  $i$ -го электроприемника полученная по выражению (3) (столбец 5 таблицы 6), кВт;

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

Установленная реактивная мощность определяется по выражению:

$$Q_{уст.(6).i} = \sqrt{S_{уст.(6).i}^2 - P_{уст.Σ.i}^2} \quad (5)$$

где  $S_{уст.(6).i}$  - установленная полная мощность  $i$ -го электроприемника полученная по выражению (4) (столбец 7 таблицы 6), кВА;

$P_{уст.Σ.i}$  - суммарная установленная мощность  $i$ -го электроприемника полученная по выражению (3) (столбец 5 таблицы 6), кВт.

Выполним расчет согласно методике представленной выражениями (3) - (5) для цеха шасси и главного конвейера,  $i = 1$ .

Суммарная установленная мощность цеха шасси и главного конвейера,  $i = 1$  по (3):

$$P_{\text{уст.}\Sigma.1} = P_{\text{уст.}(0,4).1} + P_{\text{уст.}(6).1} + P_{\text{осв.1}}^{\text{пр}}$$
$$P_{\text{уст.}\Sigma.1} = 1600 + 1200 + 149,5855 = 2949,586 \text{ (кВт)}$$

Установленная полная мощность цеха шасси и главного конвейера,  $i = 1$  по (4):

$$S_{\text{уст.}(6).1} = \frac{P_{\text{уст.}\Sigma.1}}{\cos \varphi_1}$$
$$S_{\text{уст.}(6).1} = \frac{2949,586}{0,75} = 3733,333 \text{ (кВА)}$$

Установленная реактивная мощность цеха шасси и главного конвейера,  $i = 1$ , по (5):

$$Q_{\text{уст.}(6).1} = \sqrt{S_{\text{уст.}(6).1}^2 - P_{\text{уст.}\Sigma.1}^2}$$
$$Q_{\text{уст.}(6).1} = \sqrt{3733,333^2 - 2949,586^2} = 2469,368 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных цехов автомобилестроительного завода расчеты выполняются аналогично цеха шасси и главного конвейера,  $i = 1$ , по выражениям (3) - (5). Итоговая ведомость с расчетными значениями для каждого ЭП представлена в таблице 6.

Дополнительно в таблице 6 определяются суммарные мощности  $P_{\text{уст.}(6).\Sigma}$ ,  $S_{\text{уст.}(6).\Sigma}$  и  $Q_{\text{уст.}(6).\Sigma}$ .

Таблица 6 - Сводная ведомость нагрузок автомобилестроительного завода

Номер цеха и наименование ЭП, (i)	Установленная мощность, кВт				$\cos \varphi_i$	$S_{уст.(6).i}$ , кВА	$Q_{уст.(6).i}$ , квар
	$P_{уст.(0,4).i}$	$P_{уст.(6).i}$	$P_{осв.i}^{пр}$	$P_{уст.Σ.i}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1600	1200	149,5855	2949,586	0,75	3932,780667	2601,289901
2	1600	-	104,4998	1704,5	0,7	2434,999714	1738,937618
3	1900	1000	43,11563	2943,116	0,7	4204,450893	3002,578513
4	950	-	196,8588	1146,859	0,6	1911,43125	1529,145
5	180	-	28,76925	208,7693	0,6	347,94875	278,359
6	160	-	48,10297	208,103	0,8	260,1287063	156,0772238
7	120	-	3,32696	123,327	0,2	616,6348	604,1762471
8	210	-	5,77129	215,7713	0,8	269,7141125	161,8284675
9	300	-	20,99084	320,9908	0,6	534,984725	427,98778
10	1200	800	24,5083	2024,508	0,78	2595,523455	1624,225406
11	1200	1200	34,93903	2434,939	0,78	3121,716705	1953,506362
12	500	-	31,57668	531,5767	0,75	708,7689067	468,806566
13	850	-	11,20451	861,2045	0,75	1148,272673	759,5109827
14	80	-	2,63809	82,63809	0,7	118,0544143	84,30771503
15	150	-	2,71629	152,7163	0,7	218,1661286	155,8017793
16	120	-	4,2407	124,2407	0,8	155,300875	93,180525
17	20	-	0,71388	20,71388	0,8	25,89235	15,53541
18	170	-	4,2407	174,2407	0,8	217,800875	130,680525
19	620	-	2,15145	622,1515	0,7	888,7877857	634,721436
20	540	-	5,15415	545,1542	0,65	838,6986923	637,3558262
21	110	-	4,0521	114,0521	0,2	570,2605	558,7388982
22	-	2880	3,536155	2883,536	0,8	3604,420194	2162,652116
Уличное освещение (УО)	11,64	-	-	11,64	0,98	11,87755102	2,36360281
Итого $P_{уст.(6).Σ}$ , кВт				20404,333	-	-	-
Итого $S_{уст.(6).Σ}$ , кВА						28736,61472	-
Итого $Q_{уст.(6).Σ}$ , квар							19781,7669

Значение суммарной полной мощности по автомобилестроительному заводу  $S_{уст.(6).\Sigma}$  полученное в таблице 6 необходимо скорректировать по условию необходимости компенсации реактивной мощности. Значения суммарной активной мощности ( $P_{уст.(6).\Sigma} = 20404,333$  кВт) после выбора типа и числа установок компенсации реактивной мощности не изменится, однако полученное в таблице 6 значение суммарной реактивной мощности ( $Q_{уст.(6).\Sigma} = 19781,7669$  квар) будет снижено.

Выводы по разделу.

Определены предварительные расчетные значения мощности систем освещения. Значения мощности системы внутрицехового освещения считаются предварительными так как использована методика удельной мощности систем освещения. Данная методика не предполагает детальный расчет и определение мест размещения установок внутреннего освещения. Итоговая мощность системы внутреннего освещения для всех цехов автомобилестроительного предприятия составила  $P_{осв.\Sigma}^{пр} = 732,693$  (кВт). Полученное значение расчетной мощности внутренних систем освещения цехов автомобилестроительного завода должно быть уточнено на этапе проектирования внутрицеховых систем электроснабжения с учетом планов цехов и планов размещения технологического оборудования.

Получены значения расчетной мощности системы уличного освещения для проезжих частей на территории автомобилестроительного завода. Расчет системы уличного освещения выполнен с использованием специализированного программного обеспечения для расчета освещения DIALuxEvo. Для системы уличного освещения приняты светодиодные светильники Simple Evo производства ООО «Световые технологии». Мощность светильника принята 40 Вт. Светильник устанавливается на опоры освещения типа ОГК-7 с высотой 7 м. Так как на объекте присутствуют проезжие части различной ширины, то принято для проезжей части шириной 7,5 метров размещать световые опоры в «шахматном» порядке с расстоянием между опорами с одной стороны проезжей части 32 м, и углом наклона

консоли светильника  $15^\circ$ . При этом расчетное значение средней освещенности составило  $E_{\text{ср}} = 13,4$  (лк). Для проезжей части шириной 4,5 м принято одностороннее размещение светильников с расстоянием между светильниками 20 м, наклоном консоли светильника  $45^\circ$ . Для проезжей части шириной 7,5 м принято  $n_{\text{св.}}^{\text{I}} = 221$  (шт.), а для проезжей части шириной 4,5 м принято к установке  $n_{\text{св.}}^{\text{II}} = 70$  (шт.). Общая мощность системы уличного освещения составила  $P_{\text{уст.УС}} = 11,64$  (кВт).

Выполнен расчет итоговой мощности всего автомобилестроительного завода с учетом мощности системы уличного освещения, мощности системы внутреннего освещения, установленной мощности цехов на напряжении 0,4 кВ и мощности потребителей на напряжении 6 кВ.

Значение суммарной полной мощности по автомобилестроительному заводу составило  $S_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 28736,61472$  (кВА). Значение суммарной активной мощности составило  $P_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 20404,333$  (кВт), а значение расчетной реактивной мощности составило  $Q_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 19781,7669$  (квар).

### 3 Картограмма электрических нагрузок завода

В рамках третьего раздела необходимо построить картограмму электрических нагрузок автомобилестроительного завода с учетом расчетных значений, полученных в таблице 6. Картограмма электрических нагрузок будет построена по активной мощности, так как картограмма по реактивной мощности строится для определения наиболее эффективного места установки устройств компенсации. Для автомобилестроительного завода установки компенсации будут выбраны 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:

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

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

где  $n$  – число цехов автомобилестроительного завода, принимаем согласно исходным данным  $n = 22$ , шт.;

$x_i$  – координаты  $i$ -го автомобилестроительного завода по оси абсцисс, м;

$y_i$  – координаты  $i$ -го цеха автомобилестроительного завода по оси ординат, м.

Радиусы окружностей для каждого цеха автомобилестроительного завода отражающие величину мощности цеха определяются выражением:

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

где  $m$  – масштаб для определения площади круга. Принимаем  $m = \frac{1}{10} = 0,1$  кВт/мм<sup>2</sup>.

Доля мощности системы внутреннего освещения в суммарной мощности цеха автомобилестроительного завода отображается сегментом окружности с углом:

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

где  $P_{осв.i}$  – расчетное значение мощности системы освещения  $i$ -го цеха автомобилестроительного завода, кВт;

$P_{уст.\Sigma.i}$  – суммарная расчетная мощность  $i$ -го цеха автомобилестроительного завода, кВт.

Используя выражения (6) - (9) заполним таблицу 7 и определим координаты центра электрических нагрузок:

$$x_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^{22} P_{уст.\Sigma.i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{22} P_{уст.\Sigma.i}} = \frac{4393241,001}{9024,693} = 486,8022659 \text{ (м)}$$

$$y_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^{22} P_{уст.\Sigma.i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{22} P_{уст.\Sigma.i}} = \frac{2188776,805}{9024,693} = 242,5319959 \text{ (м)}$$

Используя генеральный план автомобилестроительного завода (рисунок 1) построим картограмму электрических нагрузок, представленную на рисунке 4. На картограмме отметим расчетный центр электрических нагрузок с координатами  $x_{цэн} = 486,8022659$  (м) и  $y_{цэн} = 242,5319959$  (м).

Таблица 7 - Расчетная ведомость картограммы нагрузок

Номер цеха, $i$	$x_i$	$y_i$	$P_{\text{уст.}\Sigma.i}$	$P_{\text{уст.}\Sigma.i} \cdot x_i$	$P_{\text{уст.}\Sigma.i} \cdot y_i$	$r_i$	$P_{\text{осб.}i}^{\text{нп}}$	$\alpha_{\text{осб.}i}$
1	342,54	180,6068	1129,586	386928,2	204010,9	59,96317	149,5855	47,67304
2	627,2032	180,6068	504,4998	316423,9	91116,11	40,07334	104,4998	74,56877
3	417,4286	70,02354	623,1156	260106,3	43632,76	44,53581	43,11563	24,9097
4	591,8548	70,02354	386,8588	228964,2	27089,22	35,09145	196,8588	183,1913
5	735,3194	63,64374	64,76925	47626,09	4122,157	14,35851	28,76925	159,905
6	232,7109	70,02354	128,103	29810,95	8970,223	20,19318	48,10297	135,1808
7	151,1241	11,15477	87,32696	13197,21	974,1117	16,67244	3,32696	13,71519
8	114,7134	158,8492	47,77129	5480,008	7588,433	12,33129	5,77129	43,4919
9	127,1051	271,3401	170,9908	21733,81	46396,67	23,32982	20,99084	44,1936
10	247,9036	299,1336	1224,508	303560	366291,6	62,43181	24,5083	7,20533
11	412,0502	299,1336	1474,939	607748,9	441203,9	68,51917	34,93903	8,527845
12	592,1194	299,1336	131,5767	77909,11	39359,01	20,46513	31,57668	86,39529
13	705,5938	281,4623	181,2045	127856,8	51002,23	24,01649	11,20451	22,26005
14	766,939	216,4208	18,63809	14294,28	4033,671	7,702395	2,63809	50,95546
15	765,9172	140,1985	32,71629	25057,97	4586,775	10,20486	2,71629	29,88922
16	465,3415	8,314739	64,2407	29893,86	534,1447	14,29981	4,2407	23,76456
17	507,3127	8,314739	10,71388	5435,288	89,08312	5,839806	0,71388	23,98728
18	555,7432	7,763719	89,2407	49594,91	692,8397	16,85414	4,2407	17,10713
19	38,85389	262,5089	188,1515	7310,415	49391,42	24,47253	2,15145	4,116482
20	706,9647	331,0836	221,1542	156348,2	73220,52	26,53216	5,15415	8,390048
21	42,19934	172,1004	81,0521	3420,345	13949,1	16,06228	4,0521	17,99776
22	773,9831	328,4077	2163,536	1674540	710522	82,98644	3,536155	0,588396
$\sum_{i=1}^{22} P_{\text{уст.}\Sigma.i}$ , кВт			9024,693	-	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^{22} P_{\text{уст.}\Sigma.i} \cdot x_i$ , кВт·м				4393241,001	-	-	-	-
$\sum_{i=1}^{22} P_{\text{уст.}\Sigma.i} \cdot y_i$ , кВт·м					2188776,805	-	-	-

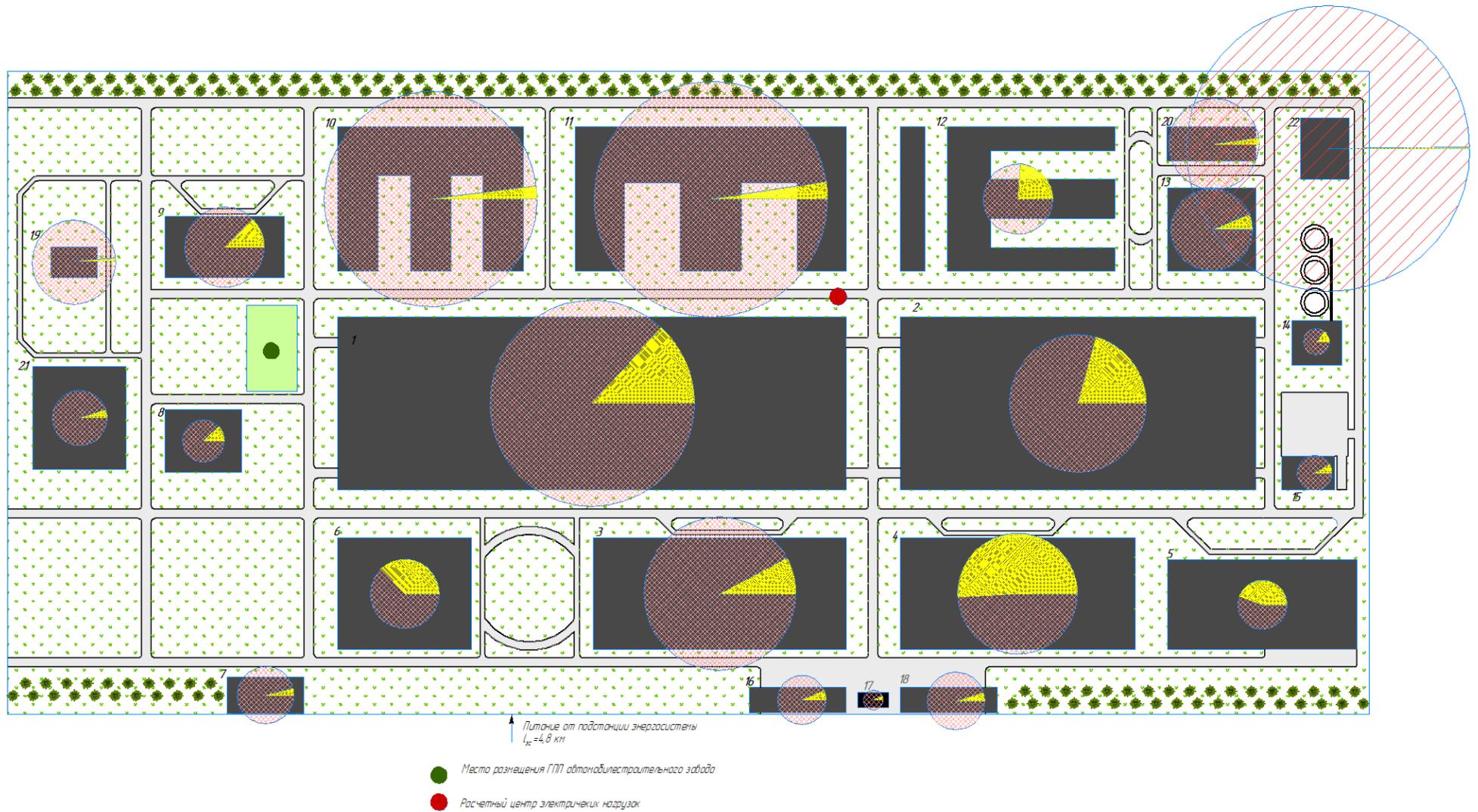


Рисунок 4 - Картограмма электрических нагрузок автомобилестроительного завода

Расчетный центр попадает на проезжую часть между цехом №1 (Цех шасси и главный конвейер) и цехом №11 (Литейный цех ковкого чугуна и цветных металлов).

Размещение главной понизительной подстанции в расчетном центре электрических нагрузок невозможно, поэтому место размещения главной понизительной подстанции (ГПП) сместим в сторону, в точку с координатами  $x_{ГПП} = 154,640944$  (м) и  $y_{ГПП} = 210,950824$  (м).

Выводы по разделу.

Для автомобилестроительного завода построена картограмма электрических нагрузок и определен центр электрических нагрузок с координатами  $x_{ЦЭН} = 486,8022659$  (м) и  $y_{ЦЭН} = 242,5319959$  (м). Построение картограммы выполнено для расчетной активной мощности цехов автомобилестроительного завода с учетом технологического оборудования и мощности системы внутреннего освещения.

По результатам расчета получено, что расчетный центр электрических нагрузок приходится на проезжую часть между цехом №1 (Цех шасси и главный конвейер) и цехом №11 (Литейный цех ковкого чугуна и цветных металлов). Размещение главной понизительной подстанции в расчетном центре электрических нагрузок невозможно, поэтому место размещения главной понизительной подстанции (ГПП) сместим в сторону, в точку с координатами  $x_{ГПП} = 154,640944$  (м) и  $y_{ГПП} = 210,950824$  (м).

#### 4 Компенсация реактивной мощности в системе внутривозовского электроснабжения

Для снижения перетоков реактивной мощности в распределительной сети автомобилестроительного завода необходимо выполнить расчет и выбор типа и мощности установок компенсации реактивной мощности. Кроме того, использование уставок 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 автомобилестроительного завода представлены в таблице 6.

Значение коэффициента реактивной мощности определяется выражением:

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

Для Цеха №1 (Цех шасси и главный конвейер) по выражению (9) с учетом данных таблицы 6 получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_1)) = \operatorname{tg}(\arccos(0,75)) = \operatorname{tg}(41,41) = 0,88$$

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

$$Q_{\text{КУ.расч.}i} = (P_{\text{уст.}(0,4).i} + P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}) \cdot (\text{tg}(\varphi_i) - \text{tg}(\varphi_{\text{норм.}})) \quad (11)$$

где  $P_{\text{уст.}(0,4).i}$  – значение активной мощности потребителей  $i$ -го цеха на стороне 0,4 кВ, определенное в таблице 6, кВт;

$P_{\text{осв.}i}^{\text{пр}}$  – мощность системы внутреннего освещения  $i$ -го цеха, определенное в таблице 6, кВт

$\text{tg}(\varphi_i)$  – коэффициент реактивной мощности  $i$ -го цеха, определяемый по значению  $\cos \varphi_i$ , для каждого цеха по выражению (10);

$\text{tg}(\varphi_{\text{норм.}})$  – нормируемый коэффициент реактивной мощности принимается  $\text{tg}(\varphi_{\text{норм.}}) = 0,2$ .

Для Цеха №1 (Цех шасси и главный конвейер) по выражению (11) с учетом данных таблицы 6 и расчетного коэффициента реактивной мощности  $\text{tg} \varphi_1 = 0,88$  получим:

$$Q_{\text{КУ.расч.}1} = (P_{\text{уст.}(0,4).1} + P_{\text{осв.}1}^{\text{пр}}) \cdot (\text{tg}(\varphi_1) - \text{tg}(\varphi_{\text{норм.}}))$$

$$Q_{\text{КУ.расч.}1} = (1600 + 149,5855) \cdot (0,88 - 0,2) = 1189,718 \text{ (квар)}$$

По полученному значению  $Q_{\text{КУ.расч.}1} = 1189,718$  (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 №1 (Цех шасси и главный конвейер). Результаты расчета сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Расчетные значения мощности установок компенсации реактивной мощности

Номер цеха, $i$	$P_{уст.(0,4).i}$ , кВт	$P_{осв.i}^{пр}$ , кВт	$\cos \varphi_i$	$\operatorname{tg} \varphi_i$	$Q_{КУ,расч.i}$ , квар
1	1600	149,5855	0,75	0,88	1189,718
2	1600	104,4998	0,7	1,02	1397,69
3	1900	43,11563	0,7	1,02	1593,355
4	950	196,8588	0,6	1,33	1295,95
5	180	28,76925	0,6	1,33	235,9093
6	160	48,10297	0,8	0,75	114,4566
7	120	3,32696	0,2	4,9	579,6367
8	210	5,77129	0,8	0,75	118,6742
9	300	20,99084	0,6	1,33	362,7196
10	1200	24,5083	0,78	0,8	734,705
11	1200	34,93903	0,78	0,8	740,9634
12	500	31,57668	0,75	0,88	361,4721
13	850	11,20451	0,75	0,88	585,6191
14	80	2,63809	0,7	1,02	67,76323
15	150	2,71629	0,7	1,02	125,2274
16	120	4,2407	0,8	0,75	68,33239
17	20	0,71388	0,8	0,75	11,39263
18	170	4,2407	0,8	0,75	95,83239
19	620	2,15145	0,7	1,02	510,1642
20	540	5,15415	0,65	1,17	528,7995
21	110	4,0521	0,2	4,9	536,0449

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 автомобилестроительного завода.

## 5 Выбор типа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Для выбора мощности и числа трансформаторных подстанций необходимо в первую очередь ориентироваться на категорию надежности электроснабжения цеха (таблица 1) 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 одной подстанции. Результаты группировки цехов по трансформаторным подстанциям (ТП) представим в таблице 9.

Таблица 9 - Группировка цехов по цеховым подстанциям

Номер ТП	Номер цеха, $i$	$P_{(0,4).i}$ , кВт	$Q_{KV,расч.i}$ , квар
ТП 1	9	215,77129	118,6742095
	19	510,1642	622,1515
	21	536,0449	114,0521
Итого по ТП 1		1057,194	1408,929
ТП 2	6	114,4566	208,103
	7	579,6367	123,327
	8	118,6742	215,7713
Итого по ТП 2		547,2012	812,7676
ТП 3	3	1593,355	1943,116
	16	68,33239	124,2407
Итого по ТП 3		2067,356	1661,687
ТП 4	4	1295,95	1146,859
	17	11,39263	20,71388
	18	95,83239	174,2407
Итого по ТП 4		1403,175	1341,81333
ТП 5	2	1397,69	1704,5
	5	235,9093	208,7693
	15	125,2274	152,7163
Итого по ТП 5		2065,985	1758,826
ТП 6	13	585,6191	861,2045
	14	67,76323	82,63809
	20	528,7995	545,1542
Итого по ТП 6		1488,997	1182,182
ТП 7	11	740,9634	1234,939
	12	361,4721	531,5767
Итого по ТП 7		1766,516	1102,436
ТП 8	10	1224,508	734,705

В таблице 9 активная мощность каждого цеха ( $P_{(0,4).i}$ ) определена с учетом установленной мощности технологических потребителей и мощности системы внутреннего освещения.

Для каждой цеховой подстанции необходимо выбрать число, тип и мощность устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ). Все цеховые подстанции являются двух трансформаторными, поэтому число УКРМ выбираем исходя из условия кратности числу секций шин напряжения 0,4 кВ.

Расчет требуемой мощности компенсирующих устройств выполним, используя выражение:

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

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

$Q_{\text{КУ.расч.}j}$  – расчетное значение требуемой для компенсации реактивной мощности  $j$ -го цеха, подключенного к ТП, значения для каждого цеха определены в таблице 8, 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 модельный цех (Цех №9), скрапоразделочная (Цех №19) и открытый склад (Цех №21).

Используя данные таблицы 8 по выражению (12) требуемая мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = \sum_{j=1}^3 Q_{\text{КУ.расч.}j} = Q_{\text{КУ.расч.9}} + Q_{\text{КУ.расч.19}} + Q_{\text{КУ.расч.21}}$$

$$Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = 362,719644 + 510,164189 + 536,04487 = 1408,928703 \text{ (квар)}$$

Используя условие (13) получим, предварительно приняв  $n_{\text{КУ}} = 2$ :

$$Q_{\text{ном.КУ.р.ТП.1}} = \frac{Q_{\text{КУ.р.ТП.1}}}{n_{\text{КУ}}} = \frac{1408,928703}{2} = 704,4643513$$

В каталоге производителя [9] отсутствуют установки с мощностью  $Q_{\text{ном.КУ.р.ТП.1}} = 704,46$  (квар). Поэтому воспользуемся условием (14) и для ТП 1 выберем компенсирующие установки с номинальной мощностью  $Q_{\text{ном.КУ.кат.}} = 350$  (квар) в количестве  $n_{\text{КУ}} = 4$  (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:

$$Q_{\text{КУ.ТП.1}} = n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{ном.КУ.кат.}} = 4 \cdot 350 = 1400 \text{ (квар)}$$

Для ТП 1 выполняется условие:

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

$$Q_{\text{КУ.ТП.1}} = 1400 \text{ (квар)} \leq Q_{\text{КУ.р.ТП.1}} = 1408,929 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных трансформаторных подстанций автомобилестроительного завода выбор мощности и числа установок компенсации выполняется аналогично выбору для ТП 1 по выражениям (12) - (14). Все результаты расчетов сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Результаты выбора номинальной мощности и количества установок компенсации

Номер ТП, $i$	$P_{(0,4),i}$ , кВт	$Q_{\text{КУ.р.ТП.}i}$ , квар	$Q_{\text{ном.КУ.кат.}}$ , квар	$n_{\text{КУ}}$ , шт.	$Q_{\text{КУ.ТП.}i}$ , квар
ТП 1	1057,194	1408,929	350	4	1400
ТП 2	547,2012	812,7676	400	2	800
ТП 3	2067,356	1661,687	400	4	1600
ТП 4	1403,175	1341,813	325	4	1300
ТП 5	2065,985	1758,826	425	4	1700

Продолжение таблицы 10

Номер ТП, $i$	$P_{(0,4).i}$ , кВт	$Q_{\text{КУ.р.ТП.}i}$ , квар	$Q_{\text{НОМ.КУ.кат.}}$ , квар	$n_{\text{КУ}}$ , шт.	$Q_{\text{КУ.ТП.}i}$ , квар
ТП 6	1488,997	1182,182	УКРМ 600	2	1200
ТП 7	1766,516	1102,436	УКРМ 550	2	1100
ТП 8	1224,508	734,705	УКРМ 375	2	750

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

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

$$S_{\text{ТП.}i} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n P_{(0,4).j}\right)^2 + (Q_{\text{КУ.р.ТП.}i} - Q_{\text{КУ.ТП.}i})^2} \quad (17)$$

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

$P_{(0,4).j}$  – активная мощность  $j$ -го цеха, подключенного к ТП с учетом мощности технологического оборудования и системы внутреннего освещения, согласно таблице 9, кВт;

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

$Q_{\text{КУ.ТП.}i}$  – мощность компенсирующих устройств для  $i$ -й трансформаторной подстанции полученное по (15) и представленное в таблице 10, квар.

Далее определяется коэффициент активной мощности трансформаторной подстанции по выражению:

$$\cos \varphi_{\text{ТП.}i} = \frac{\sum_{j=1}^n P_{(0,4).j}}{S_{\text{ТП.}i}} \quad (18)$$

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:

$$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{расч.}} = \frac{S_{\text{ТП.}i}}{K_{\text{ДАП}} \cdot (n_{\text{транс.}} - 1)} \quad (19)$$

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

$K_{\text{ДАП}}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки 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.

Для всех ТП системы электроснабжения автомобилестроительного завода  $n_{\text{транс.}} = 2$ , шт.

По каталогам производителей трансформаторов [13], а также с учетом [6] и [4] необходимо выбрать требуемый тип трансформатора. Для всех ТП системы электроснабжения автомобилестроительного завода предлагается использовать герметичные (Г) масляные (М) трехфазные (Т) трансформаторы серии ТМГ производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» [13]. Так как напряжения распределительной сети автомобилестроительного завода принято равным 6 кВ, так как присутствуют силовые электроприемники данного класса напряжения, то и все трансформаторы, принимаемые для установки на ТП, должны иметь напряжение обмотки высокого напряжения (ВН) 6 кВ.

Выполним подробный выбор трансформаторов для ТП 1 автомобилестроительного завода.

Полная мощность ТП 1 с учетом использования установки компенсации реактивной мощности по с учетом данных таблиц 9 и 10:

$$S_{\text{ТП.1}} = \sqrt{1057,194^2 + (1408,929 - 1400)^2} = 1057,23 \text{ (кВА)}$$

Коэффициент активной мощности трансформаторной подстанции ТП 1 по (18):

$$\cos \varphi_{\text{ТП.1}} = \frac{1057,194}{1057,23} = 0,99$$

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

Расчетная мощность трансформатора на ТП 1 по (19):

$$S_{\text{транс.ТП.1.расч.}} = \frac{S_{\text{ТП.1}}}{K_{\text{ДАП}} \cdot (n_{\text{транс.}} - 1)} = \frac{1057,23}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 755,16 \text{ (кВА)}$$

По расчетному значению  $S_{\text{транс.ТП.1.расч.}} = 755,16$  по [13], а также с учетом [6] и [4] примем номинальную мощность трансформатора для ТП 1  $S_{\text{транс.ТП.1.ном.}} = 1000$  (кВА).

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

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

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

$$K_{\text{загр.маx}} = \frac{1057,23}{2 \cdot 1000} = 0,53 < 0,7$$

Трансформатор ТМГ 1000/6/0,4 принятый к установке на ТП 1 обеспечивает допустимый коэффициент загрузки ТП в режиме максимальной загрузки, поэтому окончательно для ТП 1 питающей модельный цех (Цех №9), скрапоразделочную (Цех №19) и открытый склад (Цех №21) примем два трехфазных герметичных масляных трансформатора ТМГ 1000/6/0,4 кВ производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

Выбор трансформаторов для всех остальных ТП проектируемой системы электроснабжения автомобилестроительного завода выполним аналогично выбору трансформаторов для ТП 1. Результаты выбора сведем в таблицу 11.

По результатам, представленным в таблице 11 составим итоговую ведомость выбранных трансформаторов для ТП проектируемой системы электроснабжения (таблица 12).

В таблице 12 определим по каталогам производителя следующие паспортные данные выбранных трансформаторов:

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

Таблица 11 - Результаты выбора и проверки трансформаторов для ТП системы электроснабжения автомобилестроительного завода

Номер ТП, $i$	$P_{(0,4).i}$ , кВт	$Q_{\text{КУ.р.ТП.}i}$ , квар	$Q_{\text{КУ.ТП.}i}$ , квар	$S_{\text{ТП.}i}$ , кВА	$\cos \varphi_{\text{ТП.}i}$	$\text{tg } \varphi_{\text{ТП.}i}$	$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{расч.}}$ , кВА	$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$ , кВА	$K_{\text{загр.мах}}$
ТП 1	1057,194	1408,9287	1400	1057,232	0,99	0,14	755,17	1000	0,53
ТП 2	547,2012	812,767552	800	547,3501	0,99	0,14	390,96	400	0,68
ТП 3	2067,356	1661,6872	1600	2068,276	0,99	0,14	1477,34	1600	0,65
ТП 4	1403,175	1341,81333	1300	1403,798	0,99	0,14	1002,71	1250	0,56
ТП 5	2065,985	1758,82645	1700	2066,823	0,99	0,14	1476,3	1600	0,65
ТП 6	1488,997	1182,18182	1200	1489,103	0,99	0,14	1063,65	1250	0,6
ТП 7	1766,516	1102,43556	1100	1766,517	0,99	0,14	1261,8	1600	0,55
ТП 8	1224,508	734,704977	750	1224,604	0,99	0,14	874,72	1000	0,61
Итого	11620,9322	10003,345589	9850	11623,7031	-	-	-	-	-

Таблица 12 - Ведомость выбранных трансформаторов

Номер ТП, $i$	$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$ , кВА	Марка трансформатора	Паспортные данные трансформаторов						
			$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$P_0$ , кВт	$P_{\text{к}}$ , кВт	$i_0$ , %	$u_{\text{к}}$ , %	Схема, группа соединения
ТП 1	1000	ТМГ 1000/6/0,4	6,3	0,4	1,055	9,81	0,21	5,5	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 2	400	ТМГ 400/6/0,4	6,3	0,4	0,63	5,4	0,35	4,5	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 3	1600	ТМГ 1600/6/0,4	6,3	0,4	1,36	16,1	0,16	6	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 4	1250	ТМГ 1250/6/0,4	6,3	0,4	1,36	12	0,3	6	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 5	1600	ТМГ 1600/6/0,4	6,3	0,4	1,36	16,1	0,16	6	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 6	1250	ТМГ 1250/6/0,4	6,3	0,4	1,36	12	0,3	6	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 7	1600	ТМГ 1600/6/0,4	6,3	0,4	1,36	16,1	0,16	6	Y/Y <sub>0</sub> ,11
ТП 8	1000	ТМГ 1000/6/0,4	6,3	0,4	1,055	9,81	0,21	5,5	Y/Y <sub>0</sub> ,11

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 12, а также данные по нагрузкам из таблицы 11.

Потери в трансформаторах цеховых подстанций определяется потерями активной ( $\Delta P_{ТП.i}$ ) и реактивной ( $\Delta Q_{Тр.i}$ ) 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;

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

Потери в обмотках трансформаторов цеховой подстанции определяются выражениями:

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

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

где  $n_{\text{транс.}}$  – число трансформаторов, устанавливаемых в цеховой подстанции. Для всех подстанций автомобилестроительного завода принято  $n_{\text{транс.}} = 2$ , шт;

$K_{\text{загр.мах.}i}$  – коэффициент загрузки трансформаторов  $i$ -й цеховой подстанции по выражению (20) и таблице 11;

$P_{\text{к.}i}$  - потери активной мощности в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания)  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, кВт;

$u_{\text{к}}$  - напряжение короткого замыкания трансформаторов  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, %;

$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$  – номинальная мощность трансформатора  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, 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. Для всех подстанций автомобилестроительного завода принято  $n_{\text{транс.}} = 2$ , шт;

$P_0$  - потери активной мощности в магнитопроводе трансформатора (потери холостого хода)  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, кВт;

$i_0$  – ток холостого хода трансформатора  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, %;

$S_{\text{транс.ТП.}i.\text{ном.}}$  – номинальная мощность трансформатора  $i$ -й цеховой подстанции, принимается по каталогу производителя [13] и по таблице 12, кВА.

По выражениям (21) - (26) выполним расчет потерь для цеховой подстанции ТП 1 питающей модельный цех (Цех №9), скрапоразделочная (Цех №19) и открытый склад (Цех №21).

Потери в магнитопроводе трансформаторов ТМГ/1000/6/0,4 кВ установленных на ТП 1 по (25) и (26):

$$\Delta P_{\text{ТП.магн.1}} = n_{\text{транс.}} \cdot P_0 = 2 \cdot 1,055 = 2,11 \text{ (кВт)}$$

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

$$\Delta Q_{\text{ТП.магн.1}} = 2 \cdot \frac{0,21}{100} \cdot 1000 = 4,2 \text{ (квар)}$$

Потери в обмотках трансформаторов ТМГ/1000/6/0,4 кВ установленных на ТП 1 по (23) и (24):

$$\Delta P_{\text{ТП.обм.1}} = \frac{1}{n_{\text{транс.}}} \cdot K_{\text{загр.мах.1}}^2 \cdot P_{\text{к.1}} = \frac{1}{2} \cdot 0,53^2 \cdot 9,81 = 1,378 \text{ (кВт)}$$

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

$$\Delta Q_{\text{ТП.обм.1}} = \frac{1}{2} \cdot 0,53^2 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 1000 = 7,724 \text{ (квар)}$$

Потери в трансформаторах цеховой подстанции ТП 1 с двумя трансформаторами ТМГ/1000/6/0,4 кВ по (21) и (22):

$$\Delta P_{\text{ТП.1}} = \Delta P_{\text{ТП.обм.1}} + \Delta P_{\text{ТП.магн.1}} = 1,378 + 2,11 = 3,488 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{ТП.1}} = \Delta Q_{\text{ТП.обм.1}} + \Delta Q_{\text{ТП.магн.1}} = 7,724 + 4,2 = 11,924 \text{ (квар)}$$

Для всех остальных цеховых подстанций расчеты выполняются аналогично расчетам для ТП 1 автомобилестроительного завода. Все результаты расчетов потерь сведем в таблицу 13.

Таблица 13 - Потери в трансформаторах цеховых подстанций

Номер ТП, <i>i</i>	$S_{ТП,i}$ , кВА	$S_{транс.ТП.i.ном.}$ , кВА	$K_{загр.мах}$	$\Delta P_{ТП,i}$ , кВт	$\Delta Q_{ТП,i}$ , квар	$\Delta S_{ТП,i}$ , кВА
ТП1	1057,232	1000	0,53	3,487815	11,92475	12,42435
ТП 2	547,3501	400	0,68	2,50848	6,9616	7,399753
ТП 3	2068,276	1600	0,65	6,121125	25,4	26,12715
ТП 4	1403,798	1250	0,56	4,6016	19,26	19,80208
ТП 5	2066,823	1600	0,65	6,121125	25,4	26,12715
ТП 6	1489,103	1250	0,6	4,88	21	21,55955
ТП 7	1766,517	1600	0,55	5,155125	19,64	20,30529
ТП 8	1224,604	1000	0,61	3,935151	14,43275	14,9596

По результатам расчета потерь в трансформаторах цеховых ТП наибольшие значения получены для ТП3 и ТП 5. На данных цеховых ТП установлены трансформаторы ТМГ1600/6/0,4 кВ.

Выводы по разделу.

Для восьми трансформаторных подстанций проектируемой системы электроснабжения автомобилестроительного завода 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 автомобилестроительного завода приняты к установке автоматические (А) установки (У) компенсации (К) реактивной (Р) мощности (М) типа АУКРМ производства компании ООО «Элком Энерго» [9] с номинальными мощностями 325 – 600 квар.

Оптимальность выбора трансформаторов проверена по расчетному значению коэффициента загрузки подстанции в режиме максимальных нагрузок. Все полученные значения коэффициентов находятся в пределах [0,53 , 0,68] и не превышают нормируемого коэффициента загрузки для двух трансформаторных подстанций 0,7.

## 6 Построение графика нагрузок автомобилестроительного предприятия с выбором трансформаторов главной понизительной подстанции

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

Зимние суточные графики активной мощности для автомобилестроительного завода, строятся на основании типового графика из [10] относительно суммарной расчетной активной мощности потребителей на стороне 6 кВ полученной во втором разделе ВКР  $P_{уст.(6).\Sigma} = 20404,333$  (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 автомобилестроительного завода 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 автомобилестроительном заводе, по данным таблицы 6 принимаем  $n = 5$  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 автомобилестроительного завода 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 автомобилестроительного завода определится по выражению:

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

По (27) - (28) используя данные представленные в таблицах 6 и 11 составим расчетную таблицу .

Таблица 14 – Расчетные мощности высоковольтных потребителей

Номер цеха с ВП, $i$	$S_{уст.(6).i}$ , кВА	$Q_{уст.(6).i}$ , квар	$P_{уст.(6).i}$ , кВт
1	1600	1058,301	1200
3	1428,571	1020,204	1000
10	1025,641	641,8251	800
11	1538,462	962,7377	1200
22	3600	2160	2880
Итого	9192,674	5843,067	7080

Тогда с учетом таблиц 11 и 14 по (29) получим:

$$Q_{уст.\Sigma} = 5843,067 + (10003,34558 - 9850) = 5996,41258 \text{ (квар)}$$

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 автомобилестроительного завода, построенные на основании типового графика из [10] относительно суммарной установленной активной мощности  $P_{уст.(6).\Sigma} = 20404,333$  (кВт) и суммарной реактивной мощности  $Q_{уст.\Sigma} = 5996,41258$  (квар) представлены на рисунке 6.

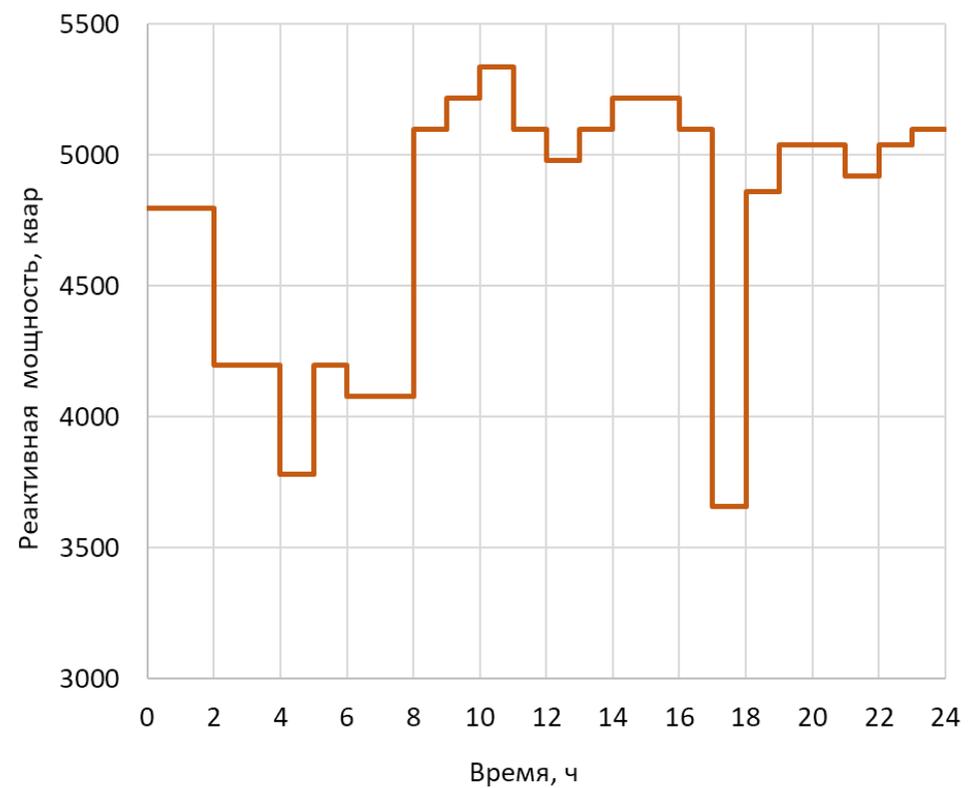
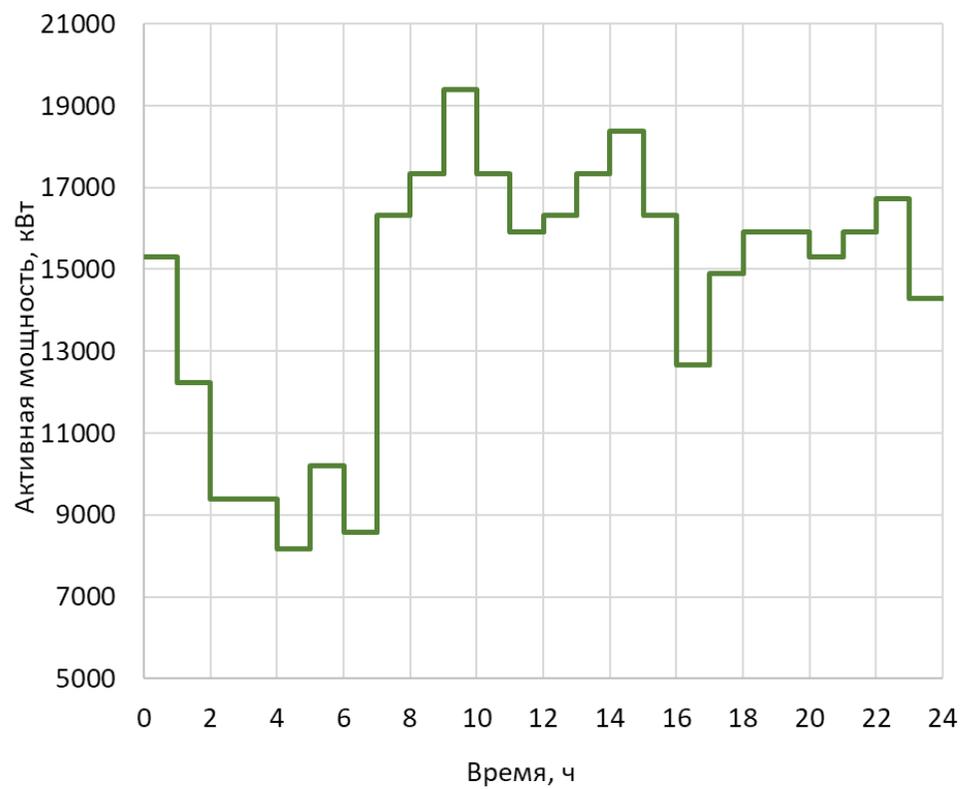


Рисунок 5 – Зимние суточные графики активной и реактивной мощности автомобилестроительного завода

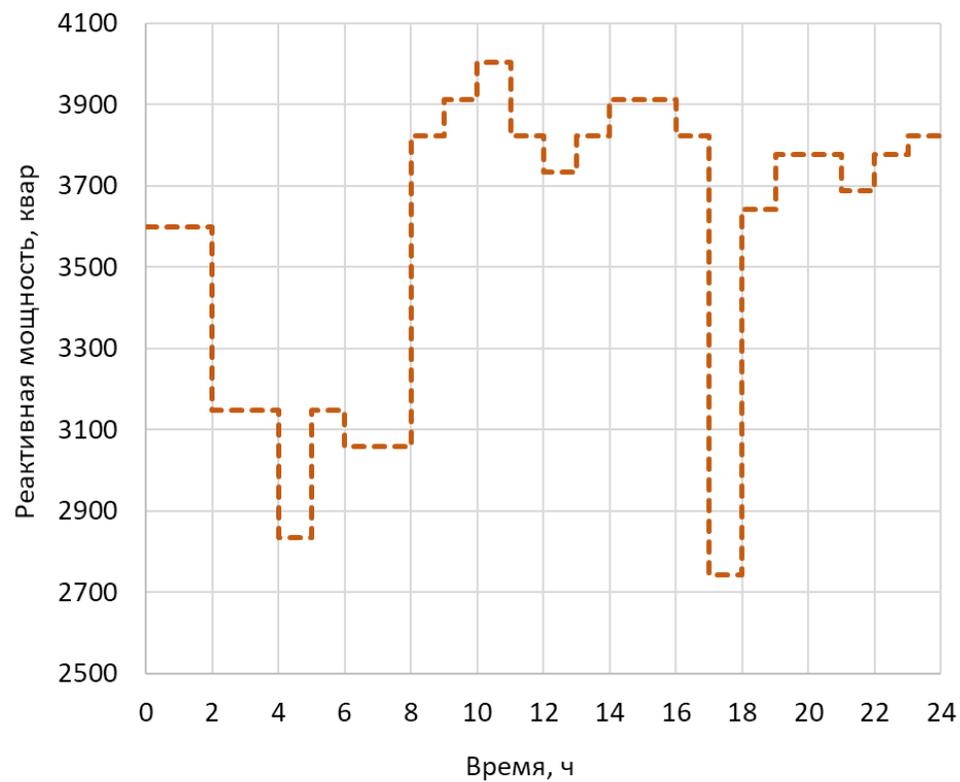
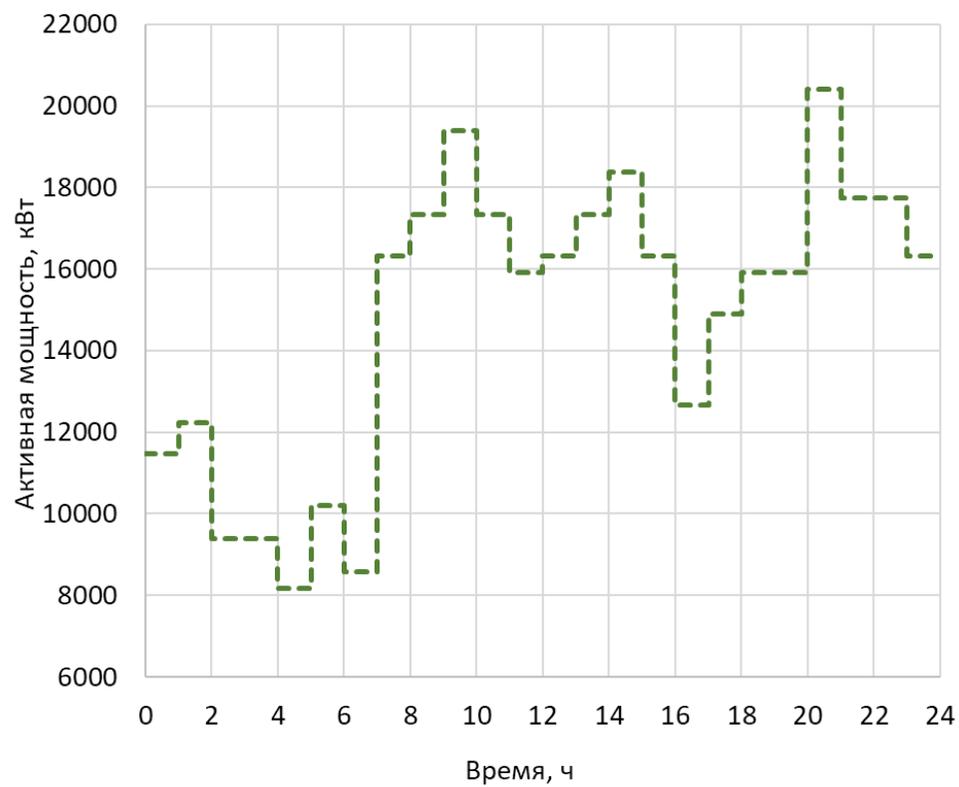


Рисунок 6 – Летние суточные графики активной и реактивной мощности автомобилестроительного завода

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)	
	$P_i, \%$	$Q_i, \%$	$P_{i,j}, \text{кВт}$	$Q_{i,j}, \text{квар}$	$P_{i,j}, \text{кВт}$	$Q_{i,j}, \text{квар}$
24-1	75	80	15303,25	4797,13	11477,44	3597,848
1-2	60	80	12242,6	4797,13	12242,6	3597,848
2-3	46	70	9385,993	4197,489	9385,993	3148,117
3-4	46	70	9385,993	4197,489	9385,993	3148,117
4-5	40	63	8161,733	3777,74	8161,733	2833,305
5-6	50	70	10202,17	4197,489	10202,17	3148,117
6-7	42	68	8569,82	4077,561	8569,82	3058,17
7-8	80	68	16323,47	4077,561	16323,47	3058,17
8-9	85	85	17343,68	5096,951	17343,68	3822,713
9-10	95	87	19384,12	5216,879	19384,12	3912,659
10-11	85	89	17343,68	5336,807	17343,68	4002,605
11-12	78	85	15915,38	5096,951	15915,38	3822,713
12-13	80	83	16323,47	4977,022	16323,47	3732,767
13-14	85	85	17343,68	5096,951	17343,68	3822,713
14-15	90	87	18363,9	5216,879	18363,9	3912,659
15-16	80	87	16323,47	5216,879	16323,47	3912,659
16-17	62	85	12650,69	5096,951	12650,69	3822,713
17-18	73	61	14895,16	3657,812	14895,16	2743,359
18-19	78	81	15915,38	4857,094	15915,38	3642,821
19-20	78	84	15915,38	5036,987	15915,38	3777,74
20-21	75	84	15303,25	5036,987	20404,33	3777,74
21-22	78	82	15915,38	4917,058	17751,77	3687,794
22-23	82	84	16731,55	5036,987	17751,77	3777,74
23-24	70	85	14283,03	5096,951	16323,47	3822,713

Для построения годового графика нагрузок автомобилестроительного предприятия необходимо учесть, что для региона размещения автомобилестроительного завода – Нижегородская область, продолжительность летнего периода составляет 150 дней, а зимнего периода 215 дней.

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

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

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

$t_{i,\text{сут.лет}}$  – 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  $n_2 = 150$ , для зимнего периода  $n_1 = 215$ , 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 автомобилестроительного завода 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.

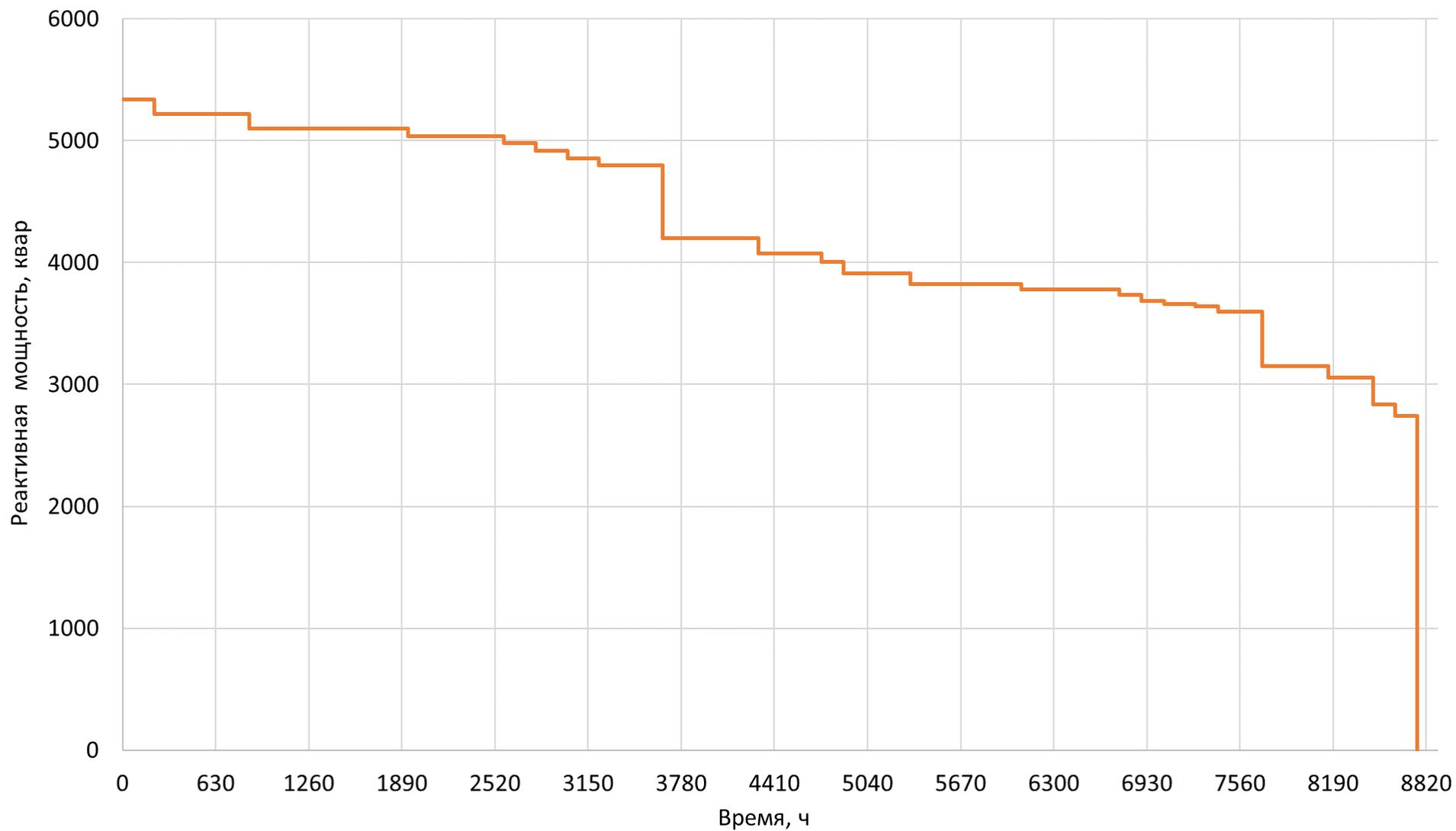


Рисунок 7 - Годовой график реактивной мощности автомобилестроительного завода

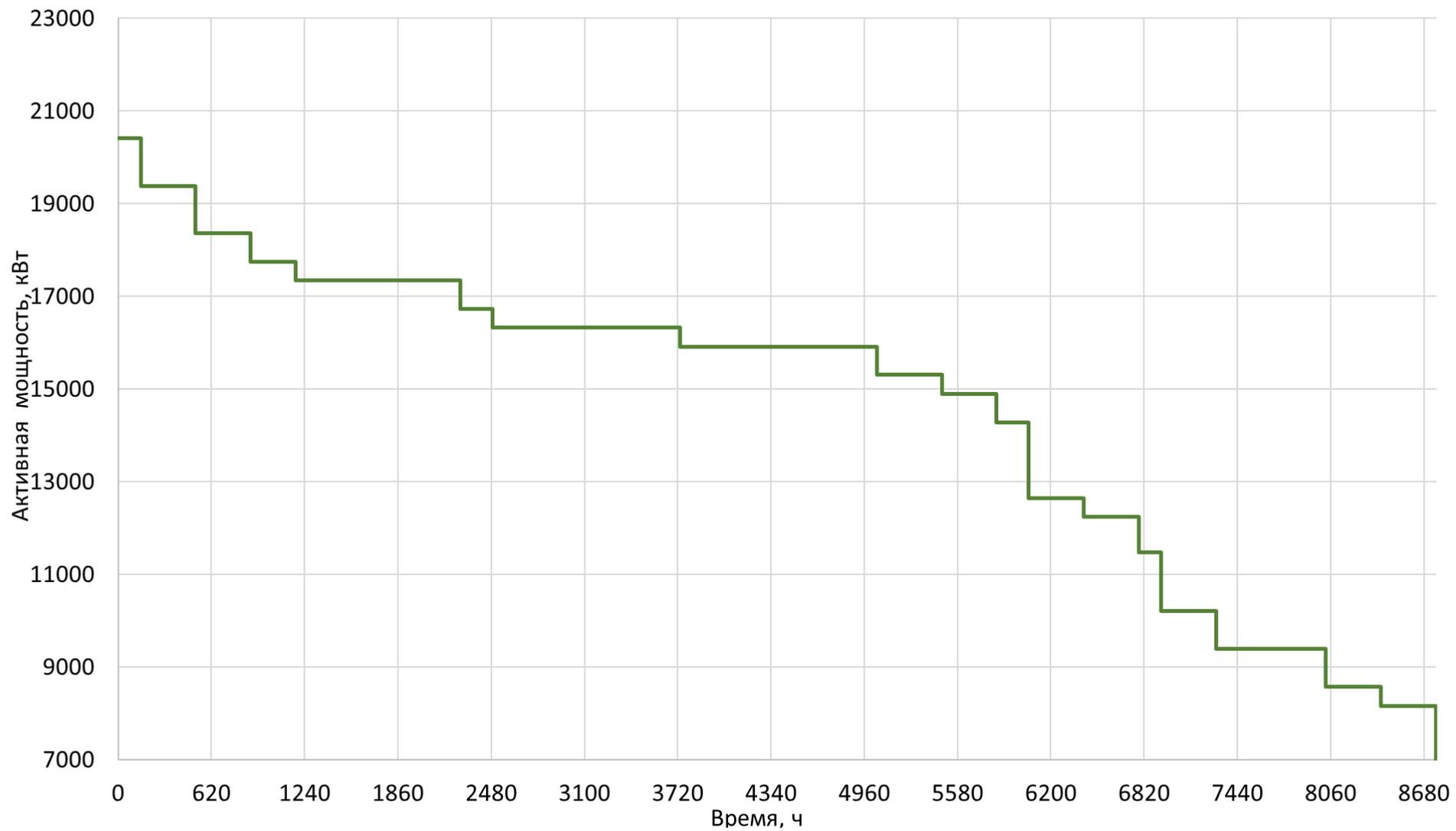


Рисунок 8 - Годовой график активной мощности автомобилестроительного завода

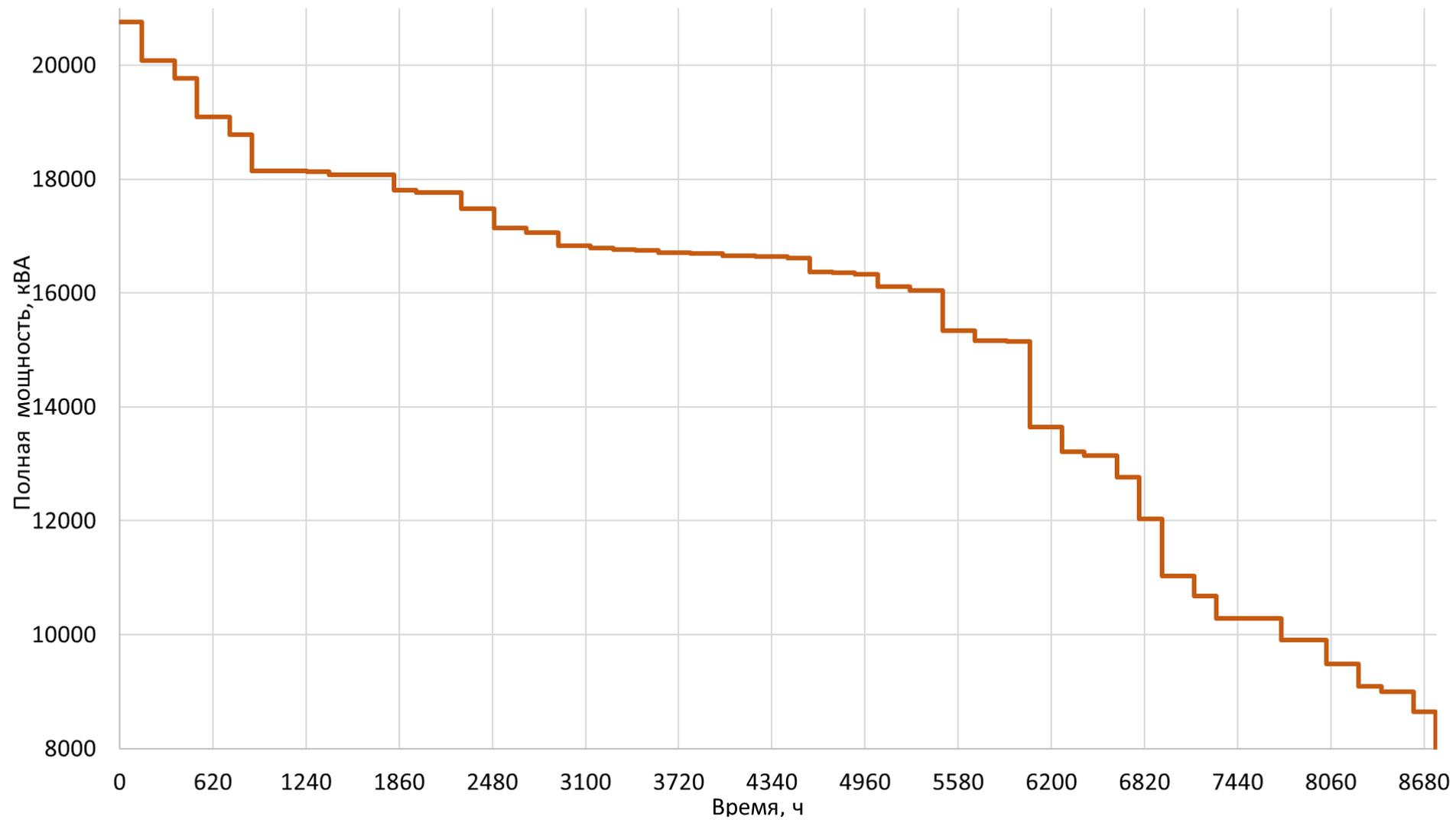


Рисунок 9 - Годовой график полной мощности автомобилестроительного завода

Таблица 16 - Данные годовых графиков мощности и потребления электрической энергии

График активной мощности			График реактивной мощности		График полной мощности		Потребляемая электрическая энергия, $W_{э,э}$ , кВт·ч
$P_i$ , кВт	$t_i$ , ч	$T_i$ , ч	$Q_i$ , квар	$T_i$ , ч	$S_i$ , кВА	$T_i$ , ч	
20404,33	150	150	5336,807	215	20751,1	150	46225
19384,12	215	365	5216,879	430	20073,86	365	64500
19384,12	150	515	5216,879	645	19775,06	515	138675
18363,9	215	730	5216,879	860	19090,54	730	129000
18363,9	150	880	5096,951	1075	18776,09	880	161250
17751,77	150	1030	5096,951	1290	18149,29	1030	193500
17751,77	150	1180	5096,951	1505	18146,21	1245	323575
17343,68	215	1395	5096,951	1720	18130,78	1395	369800
17343,68	215	1610	5096,951	1935	18077,12	1610	416025
17343,68	215	1825	5036,987	2150	18077,12	1825	322500
17343,68	150	1975	5036,987	2365	17799,56	1975	354750
17343,68	150	2125	5036,987	2580	17759,97	2125	387000
17343,68	150	2275	4977,022	2795	17759,97	2275	600925
16731,55	215	2490	4917,058	3010	17473,3	2490	647150
16323,47	215	2705	4857,094	3225	17136,84	2705	693375
16323,47	215	2920	4797,13	3440	17065,35	2920	739600
16323,47	215	3135	4797,13	3655	16825,04	3135	548250
16323,47	150	3285	4197,489	3870	16785,84	3285	580500
16323,47	150	3435	4197,489	4085	16765,1	3435	612750
16323,47	150	3585	4197,489	4300	16744,82	3585	645000
16323,47	150	3735	4077,561	4515	16711,62	3800	970725
15915,38	215	3950	4077,561	4730	16693,43	4015	1016950
15915,38	215	4165	4002,605	4880	16657,63	4230	1049200
15915,38	215	4380	3912,659	5030	16640,03	4445	1081450
15915,38	215	4595	3912,659	5180	16607,47	4595	777000
15915,38	150	4745	3912,659	5330	16368,03	4745	799500
15915,38	150	4895	3822,713	5480	16357,59	4895	822000

Продолжение таблицы 16

График активной мощности			График реактивной мощности		График полной мощности		Потребляемая электрическая энергия, $W_{э,э}$ , кВт·ч
$P_i$ , кВт	$t_i$ , ч	$T_i$ , ч	$Q_i$ , квар	$T_i$ , ч	$S_i$ , кВА	$T_i$ , ч	
15915,38	150	5045	3822,713	5630	16326,95	5045	1210450
15303,25	215	5260	3822,713	5780	16110,89	5260	1242700
15303,25	215	5475	3822,713	5930	16037,52	5475	1274950
14895,16	215	5690	3822,713	6080	15337,71	5690	912000
14895,16	150	5840	3777,74	6295	15165,22	5905	1353425
14283,03	215	6055	3777,74	6445	15145,69	6055	1385675
12650,69	215	6270	3777,74	6595	13638,87	6270	989250
12650,69	150	6420	3777,74	6745	13215,63	6420	1450175
12242,6	215	6635	3732,767	6895	13148,91	6635	1034250
12242,6	150	6785	3687,794	7045	12760,32	6785	1056750
11477,44	150	6935	3657,812	7260	12028,14	6935	1560900
10202,17	215	7150	3642,821	7410	11031,91	7150	1111500
10202,17	150	7300	3597,848	7560	10676,84	7300	1625400
9385,993	215	7515	3597,848	7710	10281,82	7515	1657650
9385,993	215	7730	3148,117	7860	10281,82	7730	1179000
9385,993	150	7880	3148,117	8010	9899,874	7880	1201500
9385,993	150	8030	3148,117	8160	9899,874	8030	1754400
8569,82	215	8245	3058,17	8310	9490,433	8245	1246500
8569,82	150	8395	3058,17	8460	9099,133	8395	1818900
8161,733	215	8610	2833,305	8610	8993,62	8610	1291500
8161,733	150	8760	2743,359	8760	8639,532	8760	40848050

Для выбора трансформаторов главной понизительной подстанции определим расчетную мощность одного трансформатора по выражению (19):

$$S_{\text{транс.ГПП.расч.}} = \frac{S_1}{K_{\text{ДАП}} \cdot (n_{\text{транс.}} - 1)} = \frac{20751,1}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 14822,2 \text{ (кВА)}$$

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  $S_{\text{транс.ГПП.ном.}} = 16000 \text{ (кВА)}$ :

$$S_{\text{транс.ГПП.расч.}} = 14822,2 < S_{\text{транс.ГПП.ном.}} = 16000$$

Окончательно по каталогу производителя [18] выбираем трансформатор ТДН/16000/110/6 кВ.

Выводы по разделу.

В шестом разделе выпускной работы определены суточные графики нагрузок автомобилестроительного 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 автомобилестроительным предприятием  $W_{\text{э.э}} = 40834075 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$ . По годовому графику полной мощности определена расчетная мощность трансформатора ГПП. Для установки на ГПП принято два трансформатора ТДН/16000/110/6 кВ.

## 7 Выбор питающих линий внутризаводской системы электроснабжения автомобилестроительного завода

В рамках раздела выполнен выбор типа и сечения питающих линий проектируемой системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия.

### 7.1 Выбор линий от внешней системы

Автомобилестроительное предприятие получает питание от внешней энергосистемы на напряжении 110 кВ. Примем питание от подстанции энергосистемы до границы территории автомобилестроительного предприятия выполнить воздушной линией, а по территории автомобилестроительного предприятия выполнить прокладку кабельной линии до ГПП предприятия.

Воздушная линия выполняется двухцепной, при этом на одной опоре размещаются две цепи линии.

Для воздушной линии сечение фазного провода допускается определять по экономической плотности тока используя выражение:

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

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

$J_{\text{ПУЭ}}$  – значение экономической плотности тока определяемая по [14] в зависимости от числа часов использования максимума нагрузки,  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ .

Максимальный расчетный ток проектируемой линии, определяется выражением:

$$I_{\text{расч.маx}} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ЭЭС}}} \quad (34)$$

где  $S_1$  – полная мощность на первой ступени годового графика нагрузки (рисунок 9), кВА;

$U_{\text{ном.ЭЭС}}$  – номинальное напряжение линии от внешней энергосистемы, кВ.

Для определения нормируемого значения плотности тока ( $J_{\text{ПУЭ}}$ ) по [14] необходимо определить число часов использования максимума нагрузки по выражению:

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{э.э}}}{P_1} \quad (35)$$

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

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

По (35) для проектируемой системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия получим:

$$T_{\text{max}} = \frac{40834075}{20404,33} = 2001,245 \text{ (ч)}$$

Расчетному значению  $T_{\text{max}} = 2001,245$  (ч) при использовании сталеалюминиевого провода значение  $J_{\text{ПУЭ}} = 1,3 \left( \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$ .

Максимальный расчетный ток по (34):

$$I_{\text{расч. max}} = \frac{20751,1}{\sqrt{3} \cdot 110} = 108,915 \text{ (А)}$$

Тогда по (33) расчетное сечение провода:

$$S_{\text{расч.}}^{\text{ВЛ}} = \frac{108,915}{1,3} = 83,781 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Расчетному сечению  $S_{\text{расч.}}^{\text{ВЛ}} = 83,781 \text{ (мм}^2\text{)}$  соответствует номинальное сечение провода  $S_{\text{ном.}}^{\text{ВЛ}} = 95 \text{ (мм}^2\text{)}$ . Тогда для линии от внешней энергосистемы до границы автомобилестроительного предприятия примем провод марки АС-95/16 [12].

Для кабельной линии, прокладываемой от границы автомобилестроительного завода до ГПП расчетный ток и число часов использования максимума нагрузок совпадают с аналогичными значениями для воздушной линии 110 кВ, но экономическая плотность тока и расчетное сечение кабельной линии требуют переопределения. По [14] для кабельной линии при  $T_{\text{max}} = 2001,245 \text{ (ч)}$  экономическая плотность тока для кабелей с алюминиевыми жилами  $J_{\text{пуэ}} = 1,9 \left( \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$ . Тогда по (33) расчетное сечение кабельной линии:

$$S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}} = \frac{108,915}{1,9} = 57,324 \text{ (мм}^2\text{)}$$

По [8] и расчетному сечению  $S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}} = 57,324 \text{ (мм}^2\text{)}$  примем три одножильных кабеля с алюминиевой жилой сечением  $S_{\text{ном.}}^{\text{КЛ}} = 70 \text{ (мм}^2\text{)}$  кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена типа  $3 \times (\text{АПвАП-1} \times 70)$ .

Подстанция внешней энергосистемы находится на расстоянии  $l_{\text{ээс}} = 4,8 \text{ (км)}$ . Используя это значение, определим относительное падение напряжение на участке воздушной линии, выполненной проводом АС-95/16 используя выражение [19]:

$$\Delta U_{110}^{ВЛ} = U_{\text{ном.ЭЭС}} - \left( 3 \cdot I_{\text{расч.мах}} \cdot l_{\text{ЭЭС}} \cdot (r_0^{ВЛ} \cdot \cos \varphi + x_0^{ВЛ} \cdot \sin \varphi) \right) \quad (36)$$

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

$I_{\text{расч.мах}}$  – максимальный расчетный ток по (34);

$r_0^{ВЛ}$  – активное удельное сопротивление провода при температуре 20°C, Ом/км;

$l_{\text{ЭЭС}}$  – длина линии, км;

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

$x_0^{ВЛ}$  – индуктивное удельное сопротивление линии, Ом/км;

По (36) для участка выполненного воздушной линией с проводом АС-95/16 падение напряжения составит:

$$\Delta U_{110}^{ВЛ} = 110 \cdot 10^3 - (3 \cdot 108,915 \cdot 4,8 \cdot (0,33 \cdot 0,98 + 0,234 \cdot 0,26))$$

$$\Delta U_{110}^{ВЛ} = 109397,367 \text{ (В)}$$

Данное значение является допустимым, так как потеря напряжения составляет 0,55% от номинального, поэтому линия с проводом АС-95/16 может быть принята для питания системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия.

Для проверки кабельной линии от границы автомобилестроительного предприятия до ГПП определим по генеральному плану (рисунок 1) длину линии  $l_{\text{ЭЭС}}^{\text{КЛ}} = 193,25 \cdot 10^{-3}$  (км), а также по каталогу [8] для выбранного кабеля 3×(АПвАП-1×70) его параметры.

## 7.2 Выбор линий распределительной сети 6 кВ

Для выбора питающих линий распределительной сети 6 кВ необходимо используя генеральный план автомобилестроительного предприятия и результаты раздела 5 с распределением цехов по цеховым подстанциям (таблица 9) составить план размещения цеховых подстанций и план прокладки питающих линий для определения их длины и выбора типа и сечения кабелей.

Данные выбора дополним расчетом тока по выражению (34) с учетом номинального значения напряжения распределительной сети  $U_{\text{ном.РС}} = 6$  (кВ). Кроме того, для использования выражения (34) необходимо найти полную мощность проходящую по линии величину которой нужно определить, используя выражение:

$$S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}} = \sqrt{(P_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}})^2 + (Q_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}})^2} \quad (37)$$

где  $P_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}$  – расчетная активная мощность, проходящая по рассматриваемой кабельной линии, кВт;

$Q_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}$  – расчетная реактивная мощность, проходящая по рассматриваемой кабельной линии, квар.

По (37) определим полную мощность для кабельной линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ:

$$S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}} = \sqrt{9804,673^2 + 5757,15934^2} = 11369,98 \text{ (кВА)}$$

Тогда расчетный ток в кабельной линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ:

$$I_{\text{расч.мах}} = \frac{S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.РС}}} = \frac{11369,98}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1094,077 \text{ (А)}$$

Так как к РП 6 кВ автомобилестроительного предприятия подключено большое число различных потребителей, то для данной линии дополнительно определим коэффициент активной мощности:

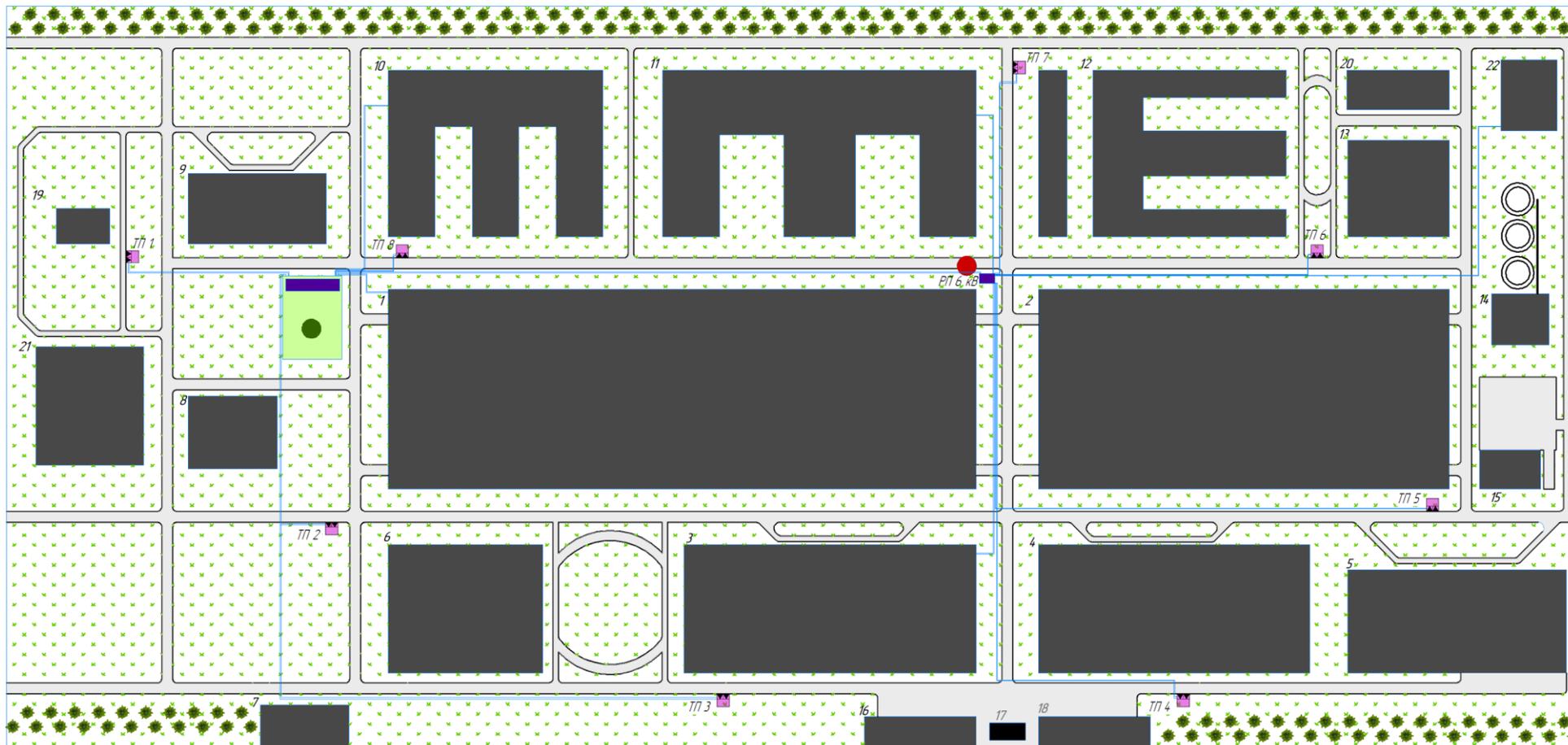
$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}}{S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}} = \frac{9804,673}{11369,98} = 0,862$$

Для всех остальных линий расчеты тока и полной мощности выполняются аналогично линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ. Результаты расчета тока и полной мощности сведем в таблицу 17.

Таблица 17 - Определение расчетных показателей кабельных линий

Наименование линии		$P_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}$ , кВт	$Q_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}$ , квар	$\cos \varphi$	$I_{\text{расч.мах}}$ , А	$S_{\text{расч.}}^{\text{КЛ}}$ , кВА
Начало	Конец					
ГПП	ТП1	1057,194	8,92870255	0,99	101,7322	1057,232089
ГПП	ТП 2	547,2012	12,7675523	0,99	52,66879	547,350144
ГПП	ТП 3	2067,356	61,6871975	0,99	199,02	2068,276453
РП	ТП 4	1403,175	41,81333	0,99	135,0806	1403,798268
РП	ТП 5	2065,985	58,8264463	0,99	198,8801	2066,822676
РП	ТП 6	1488,997	0	0,99	143,2788	1488,996745
РП	ТП 7	1766,516	2,4355604	0,99	169,9832	1766,517389
ГПП	ТП 8	1224,508	0	0,99	117,8284	1224,508295
ГПП	10 (6 кВ)	480	906,388	0,78	98,69234	1025,640876
РП	11 (6 кВ)	720	1359,582	0,78	148,0385	1538,461314
РП	3 (6 кВ)	200	1414,502	0,7	137,4643	1428,571282
РП	22 (6 кВ)	2160	2880	0,98	346,4102	3600
ГПП	1 (6 кВ)	420	1543,891	0,75	153,9601	1599,999819
ГПП	РП	9804,673	5757,15934	0,862	1094,077	11369,98242

План расположения цеховых подстанций и прокладки кабельных линий 6 кВ представлен на рисунке 10.



↑ Питание от подстанции энергосистемы  
 $l_{\text{ср}} = 4,8 \text{ км}$

- Место размещения ГПП автомобильностроительного завода
- Расчетный центр электрических нагрузок

Рисунок 10 - План размещения цеховых подстанций и прокладки кабельных линий

Для выбора кабеля необходимо по каталогу производителя определить значение длительно допустимого тока и выбрать кабель исходя из условия, что длительно допустимый ток выше, чем максимальный расчетный ток рассматриваемой линии. Полученное расчетное значение тока в кабельной линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ (таблица 17) не позволяет выбрать один питающий трехжильный кабель, поэтому принимаем для данной линии два кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена и с медными токопроводящими жилами марки 2×ПвПгТи-3×240. Для кабельной линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ выполненной маркой кабеля 2×ПвПгТи-3×240 длительно допустимый ток составляет 1100 А, что превышает максимально расчетный ток  $I_{расч.мах} = 1094,077$  (А). Далее по каталогу производителей для кабельной линии необходимо определить удельной активное и индуктивное сопротивления. Для кабельной линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ  $r_0^{КЛ} = 0,125 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}}\right)$ ,  $x_0^{КЛ} = 0,193 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}}\right)$ , тогда по (36) напряжение в конце линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ ( $U_{2.ГПП-РП}$ ) составит:

$$U_{2.ГПП-РП} = 6 \cdot 10^3 - (3 \cdot 1094,077 \cdot 0,327 \cdot (0,125 \cdot 0,86 + 0,193 \cdot 0,5))$$

$$U_{2.ГПП-РП} = 5779,421569 \text{ (В)}$$

В относительных единицах падение напряжения в линии от ГПП автомобилестроительного предприятия до РП 6 кВ составит:

$$\Delta U_{\% .ГПП-РП} = \left(1 - \frac{5779,421569}{6 \cdot 10^3}\right) \cdot 100 = 3,676 \text{ (\%)}$$

Полученное значение не превышает 5%, поэтому линия может быть принята в проекте электроснабжения автомобилестроительного предприятия. Все остальные расчеты кабельных линий сведем таблицу 18.

Таблица 18 - Итоговая ведомость кабельных линий 6 кВ автомобилестроительного предприятия

Наименование линии		$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	$I_{\text{расч.мах}}, \text{ A}$	$l_{\text{КЛ}}, \text{ км}$	Марка КЛ	Число линий	$r_0^{\text{КЛ}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0^{\text{КЛ}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$U_{2.i}, \text{ кВ}$	$\Delta U_{\%.i}, \%$
Начало	Конец										
ГПП	ТП1	0,99	0,141067	101,7322	0,088	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5988,489	0,192
ГПП	ТП 2	0,99	0,141067	52,66879	0,153	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5989,639	0,173
ГПП	ТП 3	0,99	0,141067	199,02	0,439	1×ПвПгТи-3×50	2	0,387	0,204	5892,035	1,799
РП	ТП 4	0,99	0,141067	135,0806	0,301	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5947,722	0,871
РП	ТП 5	0,99	0,141067	198,8801	0,333	1×ПвПгТи-3×50	2	0,387	0,204	5918,162	1,364
РП	ТП 6	0,99	0,141067	143,2788	0,171	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5968,498	0,525
РП	ТП 7	0,99	0,141067	169,9832	0,112	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5975,521	0,408
ГПП	ТП 8	0,99	0,141067	117,8284	0,042	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5993,637	0,106
ГПП	10 (6 кВ)	0,78	0,62578	98,69234	0,114	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5984,712	0,255
РП	11 (6 кВ)	0,78	0,62578	148,0385	0,088	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5982,298	0,295
РП	3 (6 кВ)	0,7	0,714143	137,4643	0,145	1×ПвПгТи-3×35	2	0,401	0,224	5973,649	0,439
РП	22 (6 кВ)	0,98	0,198997	346,4102	0,332	1хПвПгТи-3×120	2	0,153	0,184	5935,634	1,073
ГПП	1 (6 кВ)	0,75	0,661438	153,9601	0,035	1хПвПгТи-×х35	2	0,401	0,224	5992,743	0,121
ГПП	РП	0,7	0,714143	1094,077	0,327	2×ПвПгТи-1×240	2	0,125	0,193	5758,156	4,031

Выводы по разделу.

В седьмом разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет и выбор кабельных линий внутриводской системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия.

Для питания ГПП по территории автомобилестроительного предприятия выбрана кабельная линия с алюминиевыми токопроводящими жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ  $3 \times (\text{АПвАП-}1 \times 70)$ . Длина кабельной линии составляет  $l_{\text{ЭЭС}}^{\text{КЛ}} = 193,25$  (м). До границы автомобилестроительного завода от подстанции внешней энергосистемы принята воздушная двухцепная линия выполненная проводом АС-95/16. При этом падение напряжения в линии составляет 0,55% от номинального, а напряжение в конце воздушной линии  $\Delta U_{110}^{\text{ВЛ}} = 109,397$  (кВ).

Для распределительной сети 6 кВ принято в расчетном центре электрических нагрузок установить распределительный пункт 6 кВ, от которого запитать близлежащие подстанции и высоковольтных потребителей.

Для всех кабельных линий определены трассы прокладки на основании генерального плана автомобилестроительного предприятия. Все кабельные линии принято выполнить кабелями с медными токоведущими жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвПГти с сечениями токоведущих жил от 35 до 240 мм<sup>2</sup>. Выбранные сечения кабельных линий проверены на величину падения напряжения, а также на относительное падение напряжения. Максимальное падение напряжения достигается в кабельной линии от ГПП до РП 6 кВ автомобилестроительного предприятия и составляет 3,676 (%). Данное значения является удовлетворительным.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы поставленные задачи выполнены, цель достигнута – спроектированы основные компоненты системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия.

## Заключение

В первом разделе выпускной квалификационной работы (ВКР) представлены исходные данные и краткая характеристика объекта выпускной квалификационной работы. На объекте ВКР в пяти производственных помещениях присутствуют высоковольтные электроприемники на напряжение 6 кВ, поэтому для внутризаводской распределительной сети необходимо рассматривать преимущественно именно этот класс напряжения для снижения числа используемого оборудования – трансформаторов.

Во втором разделе выпускной квалификационной работы определены предварительные расчетные значения мощности систем освещения. Значения мощности системы внутрицехового освещения считаются предварительными так как использована методика удельной мощности систем освещения. Данная методика не предполагает детальный расчет и определение мест размещения установок внутреннего освещения. Итоговая мощность системы внутреннего освещения для всех цехов автомобилестроительного предприятия составила  $P_{\text{осв.}\Sigma}^{\text{пр}} = 732,693$  (кВт). Полученное значение расчетной мощности внутренних систем освещения цехов автомобилестроительного завода должно быть уточнено на этапе проектирования внутрицеховых систем электроснабжения с учетом планов цехов и планов размещения технологического оборудования.

Получены значения расчетной мощности системы уличного освещения для проезжих частей на территории автомобилестроительного завода. Расчет системы уличного освещения выполнен с использованием специализированного программного обеспечения для расчета освещения DIALuxEvo. Для системы уличного освещения приняты светодиодные светильники Simple Evo производства ООО «Световые технологии». Мощность светильника принята 40 Вт. Светильник устанавливается на опоры освещения типа ОГК-7 с высотой 7 м. Так как на объекте присутствуют проезжие части различной ширины, то принято для проезжей части шириной 7,5 метров размещать световые опоры в «шахматном» порядке с расстоянием

между опорами с одной стороны проезжей части 32 м, и углом наклона консоли светильника  $15^\circ$ . При этом расчетное значение средней освещенности составило  $E_{\text{ср}} = 13,4$  (лк). Для проезжей части шириной 4,5 м принято одностороннее размещение светильников с расстоянием между светильниками 20 м, наклоном консоли светильника  $45^\circ$ . Для проезжей части шириной 7,5 м принято  $n_{\text{св.}}^{\text{I}} = 221$  (шт.), а для проезжей части шириной 4,5 м принято к установке  $n_{\text{св.}}^{\text{II}} = 70$  (шт.). Общая мощность системы уличного освещения составила  $P_{\text{уст.УС}} = 11,64$  (кВт).

Выполнен расчет итоговой мощности всего автомобилестроительного завода с учетом мощности системы уличного освещения, мощности системы внутреннего освещения, установленной мощности цехов на напряжении 0,4 кВ и мощности потребителей на напряжении 6 кВ.

Значение суммарной полной мощности по автомобилестроительному заводу составило  $S_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 28736,61472$  (кВА). Значение суммарной активной мощности составило  $P_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 20404,333$  (кВт), а значение расчетной реактивной мощности составило  $Q_{\text{уст.}(6).\Sigma} = 19781,7669$  (квар).

В третьем разделе выпускной квалификационной работы построена картограмма электрических нагрузок и определен центр электрических нагрузок с координатами  $x_{\text{ЦЭН}} = 486,8022659$  (м) и  $y_{\text{ЦЭН}} = 242,5319959$  (м). Построение картограммы выполнено для расчетной активной мощности цехов автомобилестроительного завода с учетом технологического оборудования и мощности системы внутреннего освещения.

По результатам расчета получено, что расчетный центр электрических нагрузок приходится на проезжую часть между цехом №1 (Цех шасси и главный конвейер) и цехом №11 (Литейный цех ковкого чугуна и цветных металлов). Размещение главной понизительной подстанции в расчетном центре электрических нагрузок невозможно, поэтому место размещения главной понизительной подстанции (ГПП) сместим в сторону, в точку с координатами  $x_{\text{ГПП}} = 154,640944$  (м) и  $y_{\text{ГПП}} = 210,950824$  (м).

В четвертом разделе выпускной квалификационной работы определены расчетные значения реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать на шинах 0,4 кВ цеховых подстанций. Определены значения коэффициентов реактивной мощности для каждого цеха автомобилестроительного завода. Результаты полученные в четвертом разделе ВКР использованы в шестом разделе для выбора мощности трансформаторов цеховых подстанций.

В пятом разделе для восьми трансформаторных подстанций проектируемой системы электроснабжения автомобилестроительного завода выбраны трехфазные (Т) масляные (М) герметичные (Г) трансформаторы серии 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 автомобилестроительного завода приняты к установке автоматические (А) установки (У) компенсации (К) реактивной (Р) мощности (М) типа АУКРМ производства компании ООО «Элком Энерго» [9] с номинальными мощностями 325 – 600 квар.

Оптимальность выбора трансформаторов проверена по расчетному значению коэффициента загрузки подстанции в режиме максимальных нагрузок. Все полученные значения коэффициентов находятся в пределах [0,53 , 0,68] и не превышают нормируемого коэффициента загрузки для двух трансформаторных подстанций 0,7.

В шестом разделе выпускной работы определены суточные графики нагрузок автомобилестроительного 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

автомобилестроительным предприятием  $W_{э.э} = 40834075$  (кВт · ч). По годовому графику полной мощности определена расчетная мощность трансформатора ГПП. Для установки на ГПП принято два трансформатора ТДН/16000/110/6 кВ.

В седьмом разделе выпускной квалификационной работы выполнен расчет и выбор кабельных линий внутривозвратной системы электроснабжения автомобилестроительного предприятия.

Для питания ГПП по территории автомобилестроительного предприятия выбрана кабельная линия с алюминиевыми токопроводящими жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ  $3 \times (\text{АПвАП}-1 \times 70)$ . Длина кабельной линии составляет  $l_{э.э}^{\text{КЛ}} = 193,25$  (м). До границы автомобилестроительного завода от подстанции внешней энергосистемы принята воздушная двухцепная линия выполненная проводом АС-95/16. При этом падение напряжения в линии составляет 0,55% от номинального, а напряжение в конце воздушной линии  $\Delta U_{110}^{\text{ВЛ}} = 109,397$  (кВ).

Для распределительной сети 6 кВ принято в расчетном центре электрических нагрузок установить распределительный пункт 6 кВ, от которого запитать близлежащие подстанции и высоковольтных потребителей.

Для всех кабельных линий определены трассы прокладки на основании генерального плана автомобилестроительного предприятия. Все кабельные линии принято выполнить кабелями с медными токоведущими жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвПгТи с сечениями токоведущих жил от 35 до 240 мм<sup>2</sup>. Выбранные сечения кабельных линий проверены на величину падения напряжения, а также на относительное падение напряжения. Максимальное падение напряжения достигается в кабельной линии от ГПП до РП 6 кВ автомобилестроительного предприятия и составляет 3,676 (%). Данное значения является удовлетворительным.

## Список используемой литературы

1. 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.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
3. ГОСТ 55708-2013 Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров. М.: Стандартинформ, 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.: Стандартинформ, 2021. 73 с.
6. ГОСТ Р 52719-2007. Национальный стандарт Российской Федерации трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2008. 70 с.
7. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. М.: Стандартинформ, 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-akukku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-aukrm-0-4/?PAGEN\\_1=5](https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-akukku-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](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.: Стандартиформ, 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.