

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке СЭС промышленного предприятия по производству автомобильных компонентов ООО «Ипросс».

В выпускной работе выполнен расчёт электрических нагрузок технологического и вспомогательного электрооборудования с учётом системы освещения предприятия, произведён выбор трансформаторов, обосновано конструктивное решение по выполнению схемы внутрицехового электроснабжения предприятия. Представлен расчёт токов КЗ, произведён выбор оборудования системы электроснабжения с учётом нормальных и аварийных режимов, выполнен расчёт защитного заземления и молниезащиты территории предприятия, а также произведён технико-экономический анализ установки собственного источника питания.

Выпускная квалификационная работа состоит из расчётно-пояснительной записки и графической части. Расчётно-пояснительная записка выполнена на 60 страницах формата А4, содержит 5 рисунков, 6 таблиц, библиографический список (25 позиций). Графическая часть представлена на 6 чертежах формата А1.

ABSTRACT

This graduation work is devoted to the power supply of Ipross enterprise, which produces automotive components and parts for medical and household furniture.

The aim of the work is development of the power supply system for Ipross.

To achieve this aim we touch upon calculation of technological and auxiliary electrical equipment electrical loads, taking into account the lighting system of the enterprise; selection of transformers taking into account the need for reactive power compensation; calculation of short circuit currents.

Much attention is given to the choice and justification of a constructive solution for the implementation of the internal power supply scheme of the enterprise, as well as the selection of equipment with regard to normal and emergency modes of operation.

A solution is also proposed for the implementation of protective earthing and lightning protection of the enterprise.

In the process of designing the power supply system of an industrial facility, issues of optimization were worked out related to determining the rated voltage of the network, calculating consumer loads, choosing power transformers, and using reactive power compensation devices.

In conclusion I'd like to stress when developing the power supply system, the specifics of the production of Ipross, the category of reliability of individual consumers and the enterprise as a whole, were taken into account.

The applicable rules and regulations for the design of power supply systems were used.

When choosing and justifying design decisions, we decided on the solutions that are suitable according to the results of a technical and economic analysis.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Информация об объекте проектирования.....	8
2 Расчёт электрических нагрузок предприятия	10
2.1 Методика расчёта	10
2.2 Расчёт осветительной нагрузки	15
2.3 Составление ведомости нагрузок по предприятию.....	16
2.4 Определение центра электрических нагрузок предприятия.....	17
3 Выбор трансформаторов для комплектной трансформаторной подстанции предприятия ООО «Ипросс».....	22
4 Конструктивное решение по выполнению схемы внутрицехового электроснабжения предприятия ООО «Ипросс»	25
5 Выбор оборудования системы электроснабжения	27
6 Расчёт токов короткого замыкания	37
6.1 Короткое замыкание на стороне 6 кВ	37
6.2 Короткое замыкание на стороне 0,4 кВ	38
6.3 Проверка выбранного оборудования	44
7 Расчёт защитного заземления	48
7.1 Заземление КТПН-2х630-6/0,4.....	49
8 Молниезащита предприятия	51
9 Технико-экономический анализ использования собственного источника питания на предприятии.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	58
ПРИЛОЖЕНИЕ А	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ В	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	69

ВВЕДЕНИЕ

Промышленный сектор является ключевым потребителем вырабатываемой электрической энергии. Для систем электроснабжения предприятий характерно разнообразие используемого электрооборудования, номинальных мощностей и режимов функционирования электроприёмников.

Система электроснабжения – это совокупность электрических установок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. В состав СЭСПП входят подстанции, ЛЭП (кабельные и воздушные), токопроводы (ВН и НН). При проектировании системы электроснабжения предприятия большое внимание уделяется её рациональности, то есть надёжности и бесперебойности электроснабжения потребителей как в нормальных, так и в аварийных режимах работы. Также актуальными являются вопросы безопасности, эксплуатационной практичности и поддержания нормированного качества электрической энергии.

Характерной особенностью любого промышленного предприятия является его постоянное развитие, поэтому система электроснабжения должна быть гибкой, то есть соответствовать процессам модернизации производства (таким как: введение нового оборудования, использование актуальных технических решений, усовершенствование технологического процесса, рациональная эксплуатация электрооборудования), а не тормозить их. Немаловажным является требование экономичности: проектируемая система электроснабжения должна быть экономичной с точки зрения финансовых вложений, ежегодных затрат на материалы и эксплуатацию оборудования, а также потерь электроэнергии.

В процессе проектирования системы электроснабжения промышленного объекта прорабатываются вопросы оптимизации, связанные с определением номинального напряжения сети, расчётом нагрузок потребителей, выбором силовых трансформаторов (их мощности и количества), применением устройств компенсации реактивной мощности.

Также рассматриваются мероприятия, направленные на получение симметричной нагрузки и подавление высших гармоник в сети.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке системы электроснабжения предприятия ООО «Ипросс».

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Выполнить расчёт электрических нагрузок технологического и вспомогательного электрооборудования с учётом системы освещения предприятия;
2. Рассчитать требуемую мощность и выбрать тип, количество и марки трансформаторов с учётом необходимости компенсации реактивной мощности;
3. Выбрать и обосновать конструктивное решение по выполнению схемы внутрицехового электроснабжения предприятия;
4. Произвести расчёт токов короткого замыкания;
5. Выбрать оборудование системы электроснабжения с учётом нормальных и аварийных режимов;
6. Выполнить расчёт защитного заземления и молниезащиты территории предприятия.

При разработке системы электроснабжения необходимо учитывать специфику производства предприятия ООО «Ипросс», определить категории надёжности отдельных потребителей и всего предприятия в целом. Руководствоваться действующими нормами и правилами проектирования систем электроснабжения. При выборе и обосновании проектных решений выбор отдавать решениям, подходящим по результатам технико-экономического анализа.

1 Информация об объекте проектирования

Сфера деятельности предприятия включает в себя два направления. Первое – производство автомобильных компонентов: подголовники, воздуховоды, бачки стеклоомывателей, сепараторы, зеркала заднего вида. Второе – изготовление деталей медицинской и бытовой мебели: подголовники, подлокотники, сиденья, спинки и подножки.

Электроснабжение предприятия планируется осуществлять от расположенной вблизи подстанции «Стройбаза» 110/35/6 кВ по воздушным линиям напряжением 6 кВ до трансформаторной подстанции напряжением 6/0,4 кВ на территории предприятия. Место расположения подстанции необходимо определить исходя из расчётов.

Работы на предприятии ведутся круглосуточно (3 рабочие смены). Площадь территории предприятия, представленной на рисунке 1 и на листе 1 графической части выпускной квалификационной работы, составляет 5096 м², площадь цеха и административных помещений 2600 м² (габариты цеха $A \times B \times H = 65 \times 40 \times 9$ м). В состав цеха входит сварочный пост, лаборатория, бытовая комната и гардероб, участок литья подголовников и обработки готовых изделий из пенополиуретана, участок сборки автомобильных зеркал заднего вида, а также склад годовой продукции. Помимо этого на территории цеха есть специально отведённое место для хранения полимерного сырья, зона упаковки и погрузки готовой продукции.

Электрооборудование, используемое на предприятии, представлено в приложении А.

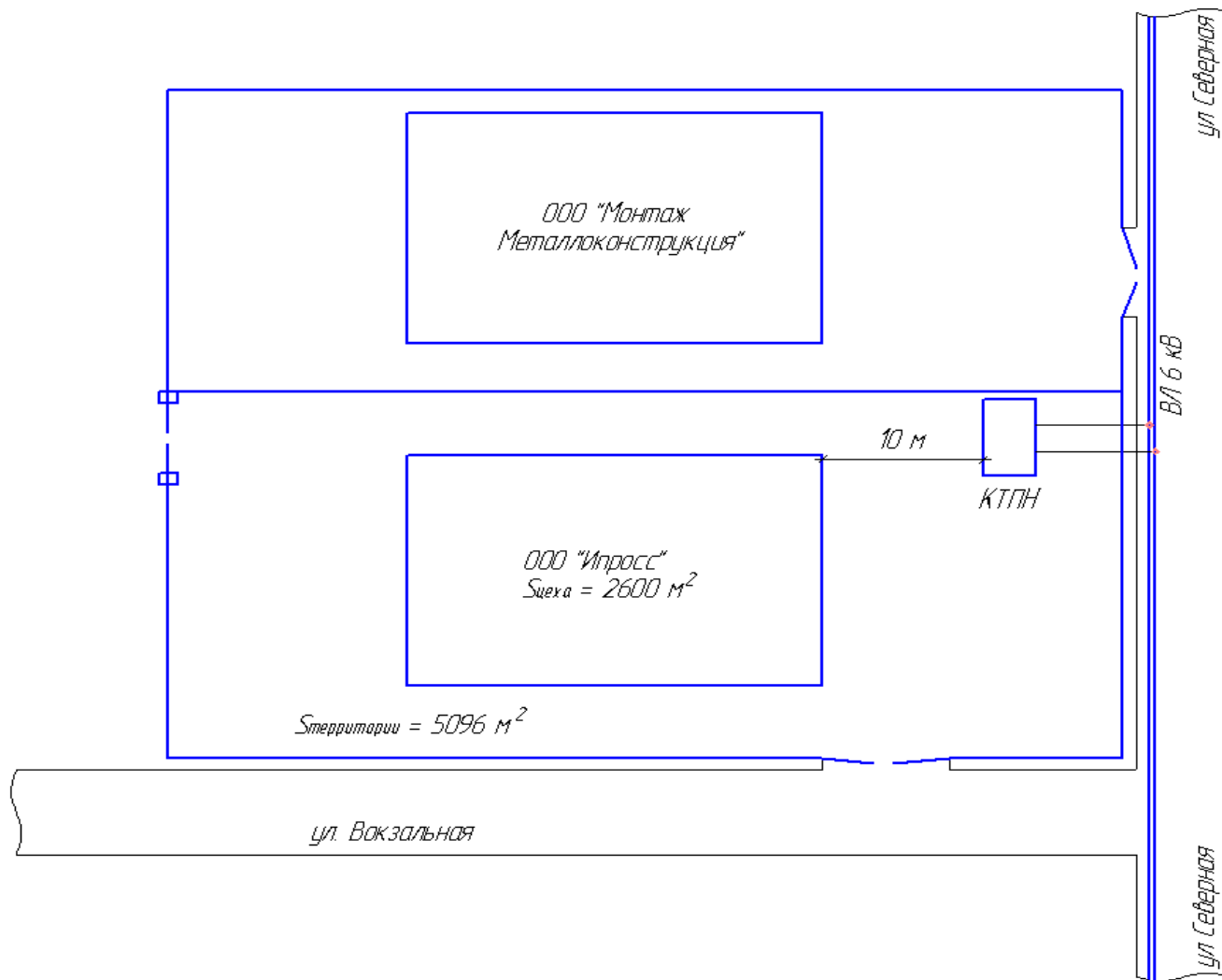


Рисунок 1 – План предприятия ООО «Ипросс»

2 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Определению ожидаемых электрических нагрузок промышленного объекта уделяется большое внимание, потому что от рациональности принятого решения зависит эффективность электроснабжения и сумма капиталовложений.

Расчёт электрических нагрузок будет осуществляться методом упорядоченных диаграмм, так как известно количество и паспортные данные ЭП предприятия. Суть метода заключается в рассмотрении нагрузки с точки зрения случайной величины (с нормальным законом распределения) и установление приближённой аналитической зависимости между коэффициентом спроса и показателями режима отдельных потребителей. Недостатком метода упорядоченных диаграмм является невозможность дальнейшего прогнозирования электрической нагрузки. Однако при проектировании объекта предпочтение отдаётся точности и скорости получения результата, поэтому данный метод широко востребован.

2.1 Методика расчёта

Порядок расчёта электрических нагрузок предприятия методом упорядоченных диаграмм представлен в учебно-методическом пособии по дипломному проектированию [1], согласно которому:

- 1) Трёхфазные электроприёмники с повторно-кратковременным режимом работы приводим к длительному режиму на основании следующих формул:

$$P_{ном} = P_{насп.} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (1)$$

$$P_{ном} = S_{насп.} \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

$$P_{ном} = S_{насп.} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{ПВ}. \quad (3)$$

Для электрооборудования с длительным режимом работы:

$$P_{ном} = P_{насп}. \quad (4)$$

Для приведения однофазных нагрузок к условной трёхфазной мощности равномерно располагаем нагрузку по фазам и находим мощность наиболее загруженной фазы (опираясь на результаты вычислений, выбираем большее значение):

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2}, \quad (5)$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad (6)$$

$$P_C = \frac{P_{AC} + P_{BC}}{2}. \quad (7)$$

Неравномерность распределения нагрузок по фазам рассчитывается по выражению:

$$H = \frac{P_{ф.нб} - P_{ф.нм}}{P_{ф.нм}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

В зависимости от полученного значения неравномерности (Н) и напряжения, на которое включены однофазные ЭП, возможны следующие ситуации:

1. Однофазная нагрузка подключена на фазное напряжение и $H > 15\%$:

$$P_y^{(3)} = 3 \cdot P_{ф.нб}. \quad (9)$$

2. Однофазная нагрузка подключена на линейное напряжение и $H > 15\%$:

$$P_y^{(3)} = \sqrt{3} \cdot P_{ф.нб} \text{ — для одного ЭП,} \quad (10)$$

$$P_y^{(3)} = 3 \cdot P_{ф.нб} \text{ — для двух и более ЭП.} \quad (11)$$

3. Неравномерность распределения нагрузки по фазам менее 15% ($H < 15\%$):

$$P_y^{(3)} = P_A + P_B + P_C. \quad (12)$$

2) Суммарная активная мощность ЭП определяется по выражению:

$$P_{H\Sigma} = P_{ном} \cdot n, \text{ где} \quad (13)$$

n – число ЭП.

3) Коэффициенты K_H и $\cos \varphi$ являются справочными данными. Значения коэффициентов для электрооборудования предприятия представлены в учебном пособии. Для расчёта группового коэффициента использования применяется выражение:

$$K_{igr.} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{H\Sigma}}. \quad (14)$$

4) Показатель силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H \max}}{P_{H \min}}. \quad (15)$$

5) Средняя за смену активная и реактивная мощность рассчитывается на основании формул:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{H\Sigma} , \quad (16)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (17)$$

Среднее значение коэффициента реактивной мощности вычисляется в соответствии с выражением:

$$\operatorname{tg} \varphi_{ср.} = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}} . \quad (18)$$

6) Для вычисления эффективного числа ЭП используется выражение:

$$n_{\text{э}} = \frac{\sum P_H^2}{\sum P_H} . \quad (19)$$

В случае, когда $n \geq 5$, $K_{и гр.} \geq 0,2$, $m > 3$, расчет производится по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H \text{ наиб.}}} . \quad (20)$$

7) Коэффициент максимума:

$$K_M = F K_u n_{\text{э}} . \quad (21)$$

Значение коэффициента определяется с помощью таблицы из учебного пособия (пересечение $K_{и}$ и $n_{э}$ позволяет определить $K_{м}$).

8) Расчётная активная и реактивная мощность определяется:

$$P_p = K_m \cdot \sum P_{см}, \quad (22)$$

$$Q_p = \sum Q_{см} \quad \text{— при } n_{э} > 10, \quad (23)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см} \quad \text{— при } n_{э} \leq 10. \quad (24)$$

Суммарные значения:

$$P_{\Sigma} = P_p + P_{освещ.}, \quad (25)$$

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{освещ.}. \quad (26)$$

9) Расчётная полная мощность определяется в соответствии с выражением:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (27)$$

Суммарная полная мощность:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}. \quad (28)$$

10) Расчётный ток определяется в соответствии с выражением:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (29)$$

2.2 Расчёт осветительной нагрузки

Расчёт освещения является важнейшим мероприятием при проектировании системы электроснабжения промышленного объекта. Плохое освещение рабочего помещения негативно влияет на зрение человека, его работоспособность и физическое состояние в целом. Во избежание перечисленных последствий большое внимание при расчёте системы освещения уделяется состоянию рабочего места, специфике работы и выполняемым задачам [2].

Для получения точного результата и упрощения поставленной задачи используем программу DIALux evo 8.1 [3]. Данная программа позволяет проектировщику производить выбор моделей светильников из каталогов современных производителей, задавать требуемую освещённость для проектируемых помещений (в соответствии с нормами проектирования искусственного освещения); учитывать геометрические размеры объекта, способ монтажа светильников, а также коэффициенты отражения света (для потолка, стен и пола). На основании заданных параметров программа DIALux evo производит светотехнический расчёт, результат которого отражает мощность осветительной нагрузки, требуемое количество светильников, суммарный световой поток и действительное значение освещённости. Для визуализации полученного результата предусмотрено графическое изображение распределения света по заданной поверхности и 3D вид освещённого помещения.

Результаты расчёта осветительной нагрузки предприятия ООО «Ипросс» представлены в приложение Б и на листе 2 графической части выпускной квалификационной работы.

2.3 Составление ведомости нагрузок по предприятию

Представим расчёт электрических нагрузок для наиболее мощного электроприёмника предприятия (им является экструзионно-выдувная машина PSB-120).

Экструзионно-выдувная машина PSB-120

1. Находим суммарную активную мощность:

$$P_{ном} = P_{насп} = 122,0 \text{ кВт},$$
$$P_{н \Sigma} = P_{ном} \cdot n = 122,0 \cdot 4 = 488,0 \text{ кВт}.$$

2. Рассчитываем среднюю за смену активную и реактивную мощность:

$$K_u = 0,70, \quad \cos \varphi = 0,80,$$
$$P_{см} = K_u \cdot P_{н \Sigma} = 0,70 \cdot 488,0 = 341,6 \text{ кВт},$$
$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 341,6 \cdot \operatorname{tg} \arccos 0,80 = 256,2 \text{ кВар}$$

Для оставшегося электрооборудования предприятия ООО «Ипросс» расчёты производились аналогично. Полученные результаты представлены в приложение В.

2.4 Определение центра электрических нагрузок предприятия

Центр электрических нагрузок предприятия – это точка, координаты которой являются случайными величинами, подчиняющимися нормальному закону распределения. Для минимизации финансовых расходов на электроэнергию и стоимость проводниковых материалов цеховые трансформаторные подстанции необходимо располагать максимально близко к ЦЭН, принимая во внимание планировку и технологические условия предприятия [4]. Это способствует разработке надежной и экономически оправданной СЭС, так как сокращаются потери ЭЭ и уменьшается протяжённость питающих и распределительных сетей.

Однако не следует забывать, что ЦЭН – это условная величина, так как все известные математические методы, используемые для расчёта, сводятся к определению некоторой постоянной точки на генплане предприятия. В действительности положение центра нагрузок не постоянно, вследствие изменения потребляемой электроприёмниками мощности, наличие рабочих смен и модернизации предприятия. Поэтому правильнее говорить не о центре электрических нагрузок как неизменной точке на плане, а о зоне рассеяния, определяемой для статического и динамического состояния СЭС промышленного объекта [5].

При окончательном выборе места расположения ТП учитывается:

- картограмма электрических нагрузок предприятия;
- наличие необходимой свободной площади;
- влияние окружающей среды;
- специфика работы и технологический процесс.

Расчёт параметров, необходимых для определения центра электрических нагрузок предприятия, представим для помещения цеха. Координаты центра цеха равны:

$$x=37,5 \text{ м} , y=20 \text{ м} .$$

Расчётная активная мощность помещения цеха с учётом осветительной нагрузки составляет:

$$\sum P_{см} = 421,41 \text{ кВт},$$

$$K_{u \text{ эр.}} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{н \Sigma}} = \frac{421,41}{613,34} = 0,69,$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{н}}{P_{н \text{ наиб.}}} = \frac{2 \cdot 613,34}{122,0} = 10,$$

$$K_{м} = F \cdot K_{u, n_{\text{э}}} = 1,14,$$

$$P_{р} = \sum P_{см} \cdot K_{м} = 421,41 \cdot 1,14 = 480,41 \text{ кВт}.$$

Радиус окружности равен:

$$r = \sqrt{\frac{P_{р}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{480,41}{3,14 \cdot 1,25}} = 11,1 \text{ см}.$$

Угол сектора осветительной нагрузки равен:

$$\alpha = \frac{360^{\circ} \cdot P_{р \text{ осв.}}}{P_{р}} = \frac{360 \cdot 4,84}{480,41} = 3,6^{\circ}$$

Расчёт параметров для оставшихся бытовых и вспомогательных помещений цеха производился аналогично. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Смещение центра электрических нагрузок предприятия математически описывается с помощью закона Гаусса-Лапласа, на основании которого зона рассеяния представляет собой эллиптическую форму [4].

Таблица 1 – Данные для построения картограммы электрических нагрузок предприятия ООО «Ипресс»

Наименование помещения (порядковый номер)	P_p , кВт	$P_{p \text{ осв.}}$, кВт	г, мм	α , град	х, м	у, м	$P_p \cdot x$, кВт·м	$P_p \cdot y$, кВт·м
Административные помещения (1)	2,16		7	360	5	25	10,8	54,0
Вход в корпус (2)	0,14		2	360	5	5	0,7	0,7
Бытовка (3)	0,09		1,5	360	15	37,5	1,4	3,4
Гардероб (4)	0,36		3	360	25	35	9,0	12,6
Лаборатория (5)	2,1	0,36	7,3	61,7	12,5	28,8	26,3	60,5
Помещение цеха (6)	480,41	4,84	111	3,6	37,5	20	18015,4	9608,2
Сварочный пост (7)	13,31	0,14	18,4	3,8	12,5	20	166,4	266,2
Склад (8)	0,21		2,5	360	45	27,5	9,5	5,8
Участок литья подголовников и деталей мед. мебели (9)	72,81	0,56	43	2,8	45	35	3276,5	2548,4
Участок сборки зеркал заднего вида (10)	1,2	0,28	5,5	84	60	35	72,0	42,0
Участок обработки подголовников (11)	0,74	0,21	4,3	102	30	17,5	22,2	13,0
Итого	573,53	-	-	-	-	-	21610,2	12614,8
Координаты ЦЭН	$x_0 = \frac{\sum P_p \cdot x}{\sum P_p} = \frac{21610,2}{573,53} = 37,7 \text{ м}; \quad y_0 = \frac{\sum P_p \cdot y}{\sum P_p} = \frac{12614,8}{573,53} = 22,0 \text{ м.}$							

Находим эмпирическую вероятность смещения условного центра помещений:

$$P_{X1} = P_{Y1} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{2,16}{573,53} = 4 \cdot 10^{-3};$$

$$P_{X2} = P_{Y2} = 2 \cdot 10^{-4}; P_{X3} = P_{Y3} = 1 \cdot 10^{-4}; P_{X4} = P_{Y4} = 6 \cdot 10^{-4}; P_{X5} = P_{Y5} = 4 \cdot 10^{-3};$$

$$P_{X6} = P_{Y6} = 0,84; P_{X7} = P_{Y7} = 0,023; P_{X8} = P_{Y8} = 4 \cdot 10^{-4}; P_{X9} = P_{Y9} = 0,13;$$

$$P_{X10} = P_{Y10} = 2 \cdot 10^{-3}; P_{X11} = P_{Y11} = 1 \cdot 10^{-3}.$$

Дисперсии и математические ожидания случайных координат равны:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{Xi} \cdot x_i - x_0^2 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5 - 37,7^2 + \dots + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 30 - 37,7^2 = 29,82;$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{Yi} \cdot y_i - y_0^2 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 25 - 22^2 + \dots + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 17,5 - 22^2 = 26,20;$$

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{5,46 \cdot \sqrt{2}} = 0,13;$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{5,12 \cdot \sqrt{2}} = 0,14.$$

Полуоси эллипса соответственно равны:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,13} = 13,3 \text{ м},$$

$$R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,14} = 12,4 \text{ м}.$$

Картограмма электрических нагрузок предприятия ООО «Ипресс» представлена на листе 3 графической части выпускной квалификационной работы.

На основании полученных результатов и соображений производственного характера (размещение КТП внутри цеха в зоне рассеяния ЦЭН не рационально по причине отсутствия требуемой свободной площади для монтажа, а также из-за возможных затруднений упаковочных и разгрузочно-погрузочных работ; монтаж КТП в помещение с экструзионно-выдувными машинами не допустим по ТБ и ПБ).

С учётом дальнейшего сотрудничества планируется подключить фирму ООО «Монтаж Металлоконструкция» к КТП предприятия ООО «Ипресс». Ввиду этого было принято решение расположить трансформаторную подстанцию на территории предприятия в 10 метрах от здания цеха. Смещение местоположения КТП за пределы помещения корпуса на 10 м обусловлено наименьшим кратчайшим расстоянием до ВЛЭП 6 кВ.

3 Выбор трансформаторов для комплектной трансформаторной подстанции предприятия ООО «Ипросс»

Трансформатор является ключевым элементом в системе электроснабжения любого промышленного объекта. Надёжность, рациональность, финансовые затраты и окупаемость системы напрямую связаны с технически обоснованным выбором требуемой мощности, количеством и типом трансформаторов [6]. Данному вопросу уделяется повышенное внимание на этапе разработки и проектирования СЭС предприятия.

При выборе трансформатора необходимо учесть [7]:

1. Категорию надёжности потребителя;
2. Перегрузочную способность;
3. Установку компенсирующих устройств;
4. Требования нормативно-правовых актов;
5. Расчётную нагрузку и потери.

Производим расчёт мощности трансформатора без учёта установки компенсирующих устройств:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p = 0,02 \cdot 687,33 = 13,75 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p = 0,1 \cdot 687,33 = 68,73 \text{ квар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{13,75^2 + 68,73^2} = 70,09 \text{ кВА},$$

$$S_{p(BH)} = S_p + \Delta S_T = 687,33 + 70,09 = 757,42 \text{ кВА},$$

$$S_T \geq 0,7 \cdot S_{p(BH)} = 0,7 \cdot 757,42 = 530,19 \text{ кВА}.$$

Рассчитываем мощность КУ [8]:

$$\cos \varphi_K = 0,95 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_K = \operatorname{tg}(\arccos(0,95)) = 0,33,$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\text{см}\Sigma}}{P_{\text{см}\Sigma}} = \frac{378,8}{499,94} = 0,76,$$

$$Q_{\text{к.р}} = \alpha \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi_{\text{к}}) = 0,9 \cdot 573,53 \cdot (0,76 - 0,33) = 222,0 \text{ квар.}$$

Исходя из полученного результата, выбираем две комплектные конденсаторные установки с автоматическим регулированием: УКМ 58-04-100-33,3УЗ [9].

Определяем $\operatorname{tg} \varphi_{\phi}$ и $\cos \varphi_{\phi}$ после КРМ:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\phi} = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{\text{к.см}}}{\alpha \cdot P_p} = 0,76 - \frac{2 \cdot 100}{0,9 \cdot 573,53} = 0,76 - 0,39 = 0,37,$$

$$\cos \varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arctg} 0,37) = 0,93.$$

Производим расчёт мощности трансформатора с учётом установки компенсирующих устройств:

$$S_{p(BH)} = \sqrt{573,53 + 13,75^2 + 378,80 + 68,73 - 200^2} = 637,31 \text{ кВА,}$$

$$S_p = \sqrt{573,53^2 + (378,80 - 200)^2} = 600,76 \text{ кВА,}$$

$$S_T \geq 0,7 \cdot S_{p(BH)} = 0,7 \cdot 637,31 = 446,12 \text{ кВА.}$$

С учётом полученного результата и категории надёжности электроснабжения (предприятие ООО «Ипресс» является потребителем второй категории надёжности; согласно требованиям ПУЭ [10] электроснабжение потребителя второй категории необходимо осуществить от двух независимых источников питания, способных к возможности взаимного резервирования) для КТП предприятия выбираем два

трансформатора ТМГ-630/6-0,4 [11]. Технические характеристики трансформатора представлены в приложении Г.

Определяем потери мощности в трансформаторе [12]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{н.тр}} \right)^2 = 1,05 + 7,60 \cdot \left(\frac{600,76}{630} \right)^2 = 7,91 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{xx} = S_{н.тр} \cdot \frac{I_{xx}}{100} = 630 \cdot \frac{2}{100} = 12,6 \text{ квар},$$

$$\Delta Q_{кз} = S_{н.тр} \cdot \frac{U_{кз}}{100} = 630 \cdot \frac{5,5}{100} = 34,65 \text{ квар},$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot \left(\frac{S_p}{S_{н.тр}} \right)^2 = 12,6 + 34,65 \cdot \left(\frac{600,76}{630} \right)^2 = 43,87 \text{ квар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{7,91^2 + 43,87^2} = 44,58 \text{ кВА}.$$

Определяем коэффициент загрузки КТП 2×630/6-0,4:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{н.тр}} = \frac{600,76}{2 \cdot 630} = 0,48.$$

4 Конструктивное решение по выполнению схемы внутрицехового электроснабжения предприятия ООО «Ипросс»

Схема внутрицехового электроснабжения – важнейшая часть системы электроснабжения промышленного объекта, зависящая от следующих факторов: технологического процесса, планировки промышленного помещения, числа и мощности электроприёмников (их категории надёжности), влияния внешних воздействий в процессе производства, требований по бесперебойности электроснабжения и противопожарной безопасности, а также технико-экономических показателей [13]. Схема внутрицехового электроснабжения должна быть надёжной, простой в конструктивном плане, практичной (полностью соответствовать специфике работы проектируемого объекта) [14].

Выбрать только радиальную или магистральную схему будет не совсем рационально, так как по отдельности они не обладают достоинствами, свойственными смешанной схеме: радиально-магистральная схема позволяет обеспечить высокую надёжность и бесперебойность в питании ЭП, а также является гибкой и практичной, что даёт возможность модернизировать схему в процессе развития промышленного объекта [6]. Широкая востребованность смешанных схем на практике, обусловлена перечисленными критериями.

Радиальные схемы надёжнее магистральных, а также просты в монтаже. Однако с финансовой точки зрения они уступают магистральным из-за большого количества применяемой аппаратуры и КЛ разного сечения [15]. Магистральные схемы позволяют отказаться от громоздкого оборудования и протяжённых линий, но для питания большого количества ЭП, выполняющих различные производственные задачи в составе единого промышленного объекта, применять магистральную схему будет нецелесообразно, так как в случае поломки любого из них необходимо обесточивать всё [7]. В результате простой оборудования неизбежен.

Предприятие ООО «Ипресс» является потребителем второй категории надёжности. Простой электрооборудования, связанный с ненадёжностью схемы внутрицехового электроснабжения, может привести к нарушению сложного технологического процесса и, как следствие, не выполнению повседневных обязательств перед заказчиками, что категорически не допустимо. Поэтому было принято решение в качестве схемы внутреннего электроснабжения предприятия использовать радиально-магистральную схему (смешанная схема).

Распределяем ЭП равномерно на две секции и группируем их по распределительным пунктам. Полученные результаты представлены в приложение Д, расчёты производились аналогично пункту 2.3. Электрическая схема подключения электрооборудования ООО «Ипресс» представлена на листе 4 графической части выпускной квалификационной работы.

5 Выбор оборудования системы электроснабжения

Участок КТПН-2х630-6/04 – ВРУ:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 910,4 \text{ А},$$

$$I_{н.р} \geq I_T = 910,4 \text{ А},$$

$$I_{дон} \geq k_{зщ} \cdot 1,25 I_{н.р} = 1 \cdot 1,25 \cdot 1000 = 1250,0 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 53-41; силовой кабель NYU-J 4x1000 RM 0,6/1 kV.

Участок ВРУ – РП1:

$$I_{p(PП1)} = \frac{S_{(PП1)}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{267,95}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 387,2 \text{ А},$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 387,2 = 425,9 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-39. Силовой кабель выбирается с учётом соответствия выбранному выключателю:

$$I_{дон} \geq k_{зщ} \cdot 1,25 I_{н.р} = 1 \cdot 1,25 \cdot 500 = 625 \text{ А}.$$

Выбираем кабель АВВГ-3х(3х120). Экструзиционно-выдувная машина является самым мощным ЭП, подключенным к РП1. Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o):

$$I_{н.нб} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{122}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 232,0 \text{ А},$$

$$I_{н.нб} \cdot k_u = 232,0 \cdot 0,7 = 162,4 \text{ А},$$

$$I_{п.нб} = 6,5 \cdot I_{н.нб} = 6,5 \cdot 232 = 1508 \text{ А},$$

$$I_{пик} = I_{п.нб} + I_p - I_{н.нб} \cdot k_u = 1508 + 387,2 - 162,4 = 1732,8 \text{ А},$$

$$I_o = 1,25 \cdot I_{пик} = 1,25 \cdot 1732,8 = 2166 \text{ А},$$

$$K_o = \frac{I_o}{I_{н.р}} = \frac{2166}{500} = 4,3.$$

Участок ВРУ – РП2:

$$I_{p(РП2)} = 387,9 \text{ А},$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 387,9 = 426,7 \text{ А},$$

$$I_{дон} \geq k_{зщ} \cdot 1,25 I_{н.р} = 1,25 \cdot 500 = 625 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-39; силовой кабель АВВГ-3х(3х120). Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o), расчёт производится аналогично выше представленному:

$$I_o = 2166,9 \text{ А},$$

$$K_o = 4,3.$$

Участок ВРУ – РП3:

$$I_{p(РП3)} = 57,8 \text{ А},$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 57,8 = 63,6 \text{ А},$$

$$I_{дон} \geq k_{зщ} \cdot 1,25 I_{н.р} = 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51Г-31; силовой кабель АВВГ-3х35. Среди ЭП, подключенных к РПЗ, самым мощным является дробилка для жёсткого пластика SWP-520. Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o), расчёт производится аналогично выше представленному:

$$I_o = 263,3 \text{ A},$$

$$K_o = 3,3.$$

Участок ВРУ – РП4:

$$I_{p(РП4)} = 134,2 \text{ A},$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 134,2 = 147,6 \text{ A},$$

$$I_{дон} \geq k_{зщ} \cdot 1,25 I_{н.р} = 1 \cdot 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-33; силовой кабель АВВГ-3х95. Среди ЭП, подключенных к РП4, самым мощным является вентилятор приточный. Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o), расчёт производится аналогично выше представленному:

$$I_o = 664,4 \text{ A},$$

$$K_o = 4,2.$$

Участок ВРУ – РП5:

$$I_{p(РП5)} = 132,1 \text{ A},$$

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 132,1 = 145,3 \text{ A},$$

$$I_{\text{дон}} \geq k_{\text{зщ}} \cdot 1,25 I_{\text{н.р}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-33; силовой кабель АВВГ-3х95. Среди ЭП, подключенных к РП5, самым мощным является ТПА Start 98V. Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o), расчёт производится аналогично выше представленному:

$$I_o = 429,1 \text{ А}; K_o = 2,7.$$

Участок ВРУ – ЩО:

$$I_{p(\text{ЩО})} = 14,9 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}} \geq 14,9 \text{ А},$$

$$I_{\text{дон}} \geq k_{\text{зщ}} \cdot 1,25 I_{\text{н.р}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-25; силовой кабель АВВГ-3х4.

Производим выбор оборудования для мощного ЭП. Им является экструзионно-выдувная машина PSB-120.

Экструзионно-выдувная машина:

$$I_{\text{расч.}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{122}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 232,0 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{расч.}} = 1,25 \cdot 232,0 = 290,0 \text{ А},$$

$$I_{\text{дон}} \geq k_{\text{зщ}} \cdot 1,25 I_{\text{н.р}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 320 = 400,0 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-37; силовой кабель АВВГ-1х185. Определяем ток отсечки (I_o) и кратность (K_o):

$$I_o = 1809,6 \text{ A}; K_o = 5,7.$$

Для остальных ЭП расчёты велись аналогичным образом, и на основании полученных данных производился выбор автоматических выключателей и кабелей из каталогов производителей [16; 17]. Выбранное оборудование представлено в таблице 2. Схема внутрицехового электроснабжения предприятия ООО «Ипросс» представлена на листе 5 графической части выпускной квалификационной работы.

На основании технической информации и рекомендаций по компоновке КТП [18] выбраны следующие трансформаторы тока:

1. ВРУ – РП1: ТШЛ-СЭЦ-0,66-11 0,5-10 У2 600/5;
2. ВРУ – РП2: ТШЛ-СЭЦ-0,66-11 0,5-10 У2 600/5;
3. ВРУ – РП3: ТОП-0,66-0,5-5 У3 100/5 СЗТТ;
4. ВРУ – РП4: ТОП-0,66-0,5-5 У3 150/5 СЗТТ;
5. ВРУ – РП5: ТОП-0,66-0,5-5 У3 150/5 СЗТТ.

Таблица 2 – Ведомость выбранного оборудования

Наименование ЭП	$P_{ном}'$ кВт	$I_{расч.}'$ А	$I_{пуск}'$ А	Защит. уст-во ($I_o; K_o$)	$I_{н.а}'$ А	$I_{н.р}'$ А	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эмр)}$	$I_{откл.}'$ кА	Силовой кабель	$I_{доп. (расч.)}' /$ $I_{доп.}'$, А
Экструзиционно- выдувная машина PSB-120	122,0	232,0	1508,0	ВА 51-37 (1809,6 А; 5,7)	400	320	1,25	10	25	АВВГ-1х185	400 / 436
Вакуумный загрузчик полимерного сырья SHINI SAL	2,0	3,6	23,4	ВА 51-25 (28,1 А; 5,6)	25	5	1,2	14	1,5	АВВГ-4х2,5	6,3 / 19
Прессовальный станок PRESSMAX 512	3,0	9,1	59,2	ВА 51-25 (71 А; 5,7)	25	12,5	1,2	7	2,5	АВВГ-4х2,5	15,6 / 19
Электродвигатель подъёмных ворот	1,5	3,2	20,8	ВА 51-25 (25 А; 5,0)	25	5	1,2	14	1,5	АВВГ-4х2,5	6,3 / 19
Отрезной станок DIAM SP max-250	2,5	7,6	49,4	ВА 51-25 (59,3 А; 5,9)	25	10	1,2	7	2,5	АВВГ-4х2,5	12,5 / 19

Продолжение таблицы 2

Наименование ЭП	$P_{ном}'$, кВт	$I_{расч.}'$, А	$I_{пуск}'$, А	Защит. уст-во ($I_o; K_o$)	$I_{н.а}'$, А	$I_{н.р}'$, А	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эмп)}$	$I_{откл.}'$, кА	Силовой кабель	$I_{доп. (расч.)}' /$ $I_{доп.}'$, А
Дробилка для жёсткого пластика SWP-520	15,0	26,8	174,2	ВА 51Г-31 (209 А; 5,2)	100	40	1,2	7	5,0	АВВГ-4х16	50 / 62
Резательный станок FUBAG FB-350	2,2	6,7	43,6	ВА 51-25 (52,3 А; 5,2)	25	10	1,2	7	2,5	АВВГ-4х2,5	12,5 / 19
Сверлильный станок VISPROМ В	0,8	2,4	15,6	ВА 51-25 (18,7 А; 4,7)	25	4	1,2	14	1,5	АВВГ-4х2,5	5,0 / 19
Сварочный трансформатор ТДМ 303 СУ	9,7	18,5	120,3	ВА 51-25 (144,3 А; 5,8)	25	25	1,2	10	3,0	АВВГ-4х6	31,3 / 34

Продолжение таблицы 2

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	$I_{расч.}$, А	$I_{пуск}$, А	Защит. уст-во ($I_o; K_o$)	$I_{н.а}$, А	$I_{н.р}$, А	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эмп)}$	$I_{откл.}$, кА	Силовой кабель	$I_{доп.(расч.)}$ / $I_{доп.}$, А
Машина разрывная испытательная РМИ- 250	1,8	4,2	27,3	ВА 51-25 (32,8 А; 5,2)	25	6,3	1,2	7	2,0	АВВГ-4х2,5	7,9 / 19
Вентилятор приточный	36,0	68,5	445,3	ВА 51Г-31 (534,3 А; 5,3)	100	100	1,25	10	7,0	АВВГ-4х50	125 / 126
Высокоточный сверлильный станок JET KSD-32	2,2	6,7	43,6	ВА 51-25 (52,3 А; 5,2)	25	10	1,2	7	2,5	АВВГ-4х2,5	12,5 / 19
Вентилятор вытяжной	27,0	51,3	333,5	ВА 51Г-31 (400,1 А; 5,0)	100	80	1,25	10	7,0	АВВГ-4х35	100 / 101
Дробилка для измельчения полимеров HSS-700 А	18,5	33,1	215,2	ВА 51Г-31 (258,2 А; 5,2)	100	50	1,2	10	5,0	АВВГ-4х25	62,5 / 82

Продолжение таблицы 2

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	$I_{расч.}$, А	$I_{пуск}$, А	Защит. уст-во (I_o ; K_o)	$I_{н.а}$, А	$I_{н.р}$, А	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эмп)}$	$I_{откл.}$, кА	Силовой кабель	$I_{доп. (расч.)}$ / $I_{доп.}$, А
Станок шлифовальный тарельчато- ленточный ЭНКОР Корвет - 51	0,4	1,2	7,8	ВА 51-25 (9,4 А; 5,9)	25	1,6	1,2	14	3,0	АВВГ-4х2,5	2,0 / 19
ТПА Start 98V	19,0	36,1	234,7	ВА 51Г-31 (281,6 А; 5,6)	100	50	1,2	10	6,0	АВВГ-4х25	62,5 / 82
Измельчитель ВС-50	5,8	13,6	88,4	ВА 51-25 (106,1 А; 5,3)	25	20	1,2	7	3,0	АВВГ-4х4	25 / 27
Автоматическая литьевая машина карусельного типа МЕ-3	13,0	28,3	184,0	ВА 51Г-31 (220,7 А; 5,5)	100	40	1,2	7	6,0	АВВГ-4х16	50 / 62

Продолжение таблицы 2

Наименование	$P_{ном'}$ кВт	$I_{расч.}$ А	$I_{пуск}$ А	Защит. уст-во ($I_o; K_o$)	$I_{н.а}$ А	$I_{н.р}$ А	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эмр)}$	$I_{откл.}$ кА	Силовой кабель	$I_{доп.(расч.)}$ / $I_{доп.}$, А
РП1 (ПР11-3094-21У3)	251	387,2	1508	ВА 51-39 (2166 А; 4,3)	630	500	1,25	10	35	АВВГ-3х(3х120)	625 / 3х236
РП2 (ПР11-3094-21У3)	249,5	387,9	1508	ВА 51-39 (2166,9 А; 4,3)	630	500	1,25	10	35	АВВГ-3х(3х120)	625 / 3х236
РП3 (ПР11-3046-21У3)	41,0	57,8	174,2	ВА 51Г-31 (263,3 А; 3,3)	100	80	1,25	10	7,0	АВВГ-3х35	100 / 109
РП4 (ПР11-3052-21У3)	97,7	134,2	445,3	ВА 51-33 (664,4 А; 4,2)	160	160	1,25	10	12,5	АВВГ-3х95	200 / 204
РП5 (ПР11-3052-21У3)	99,4	132,1	234,7	ВА 51-33 (429,1 А; 2,7)	160	160	1,25	10	12,5	АВВГ-3х95	200 / 204
ЩО	9,36	14,9		ВА 51-25	25	16	1,2	7	3,0	АВВГ-3х4	20 / 29

6 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов КЗ необходим для [19]:

1. проверки выбранного оборудования на электродинамическую и термическую стойкость;
2. выбора токоограничивающих устройств;
3. расчёта уставок срабатывания средств РЗА;
4. анализа происходящих аварий и описания аварийных режимов.

Для расчёта токов короткого замыкания необходимо: изобразить расчётную схему, отметить на ней точки КЗ, составить схему замещения (по имеющейся расчётной схеме), рассчитать сопротивления элементов схемы замещения, произвести вычисления токов в указанных точках [20].

Расчёт тока трёхфазного короткого замыкания будет производиться на высокой и низкой стороне.

6.1 Короткое замыкание на стороне 6 кВ

Для расчёта используем схему, представленную на рисунке 2.

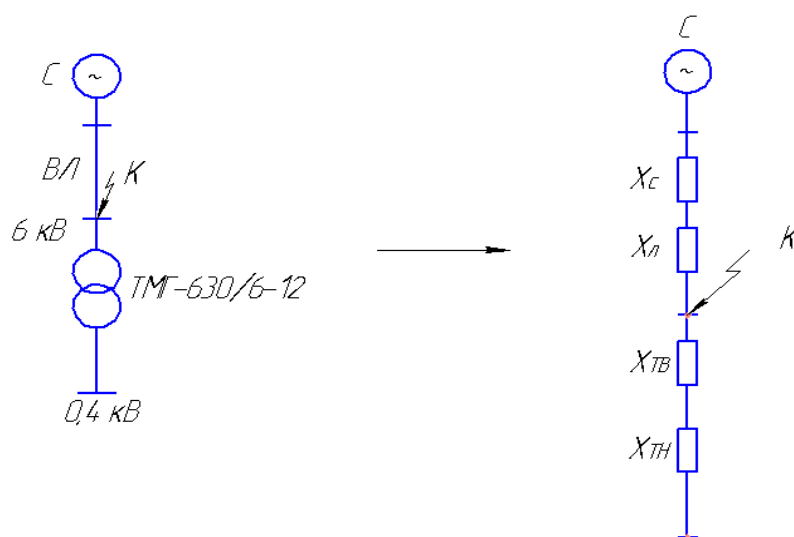


Рисунок 2 – Схема для расчёта тока КЗ на стороне ВН

Находим базисные сопротивления (X_c и X_l):

$$x_{*\bar{b},c} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_K} = \frac{1000}{5000} = 0,2,$$

$$x_{*\bar{b},l} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{U_c^2} = 0,4 \cdot 1,56 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 15,7.$$

Резльтирующее сопротивление:

$$x_{*рез(\bar{b})} = x_{*\bar{b},c} + x_{*\bar{b},l} = 0,2 + 15,7 = 15,9$$

Базисный ток равен:

$$I_{\bar{b}} = \frac{S_{\bar{b}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{b}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,75 \text{ кА.}$$

Трёхфазный ток КЗ равен:

$$I_k^{(3)} = \frac{E''_{*\bar{b}}}{x_{*рез(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}} = \frac{1}{15,9} \cdot 91,75 = 5,77 \text{ кА.}$$

Ударный ток равен:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)} \cdot k_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 5,77 \cdot 1,9 = 15,50 \text{ кА.}$$

6.2 Короткое замыкание на стороне 0,4 кВ

Расчёт тока трёхфазного КЗ будет производиться для трёх случаев:

1. КЗ на ШНН (точка К1);

2. КЗ на участке ВРУ 0,4 кВ – РП1 (точка К2);
3. КЗ на линии с экструзионно-выдувной машиной (точка К3).

Точки отмечены на расчётной схеме, изображённой на рисунке 3.

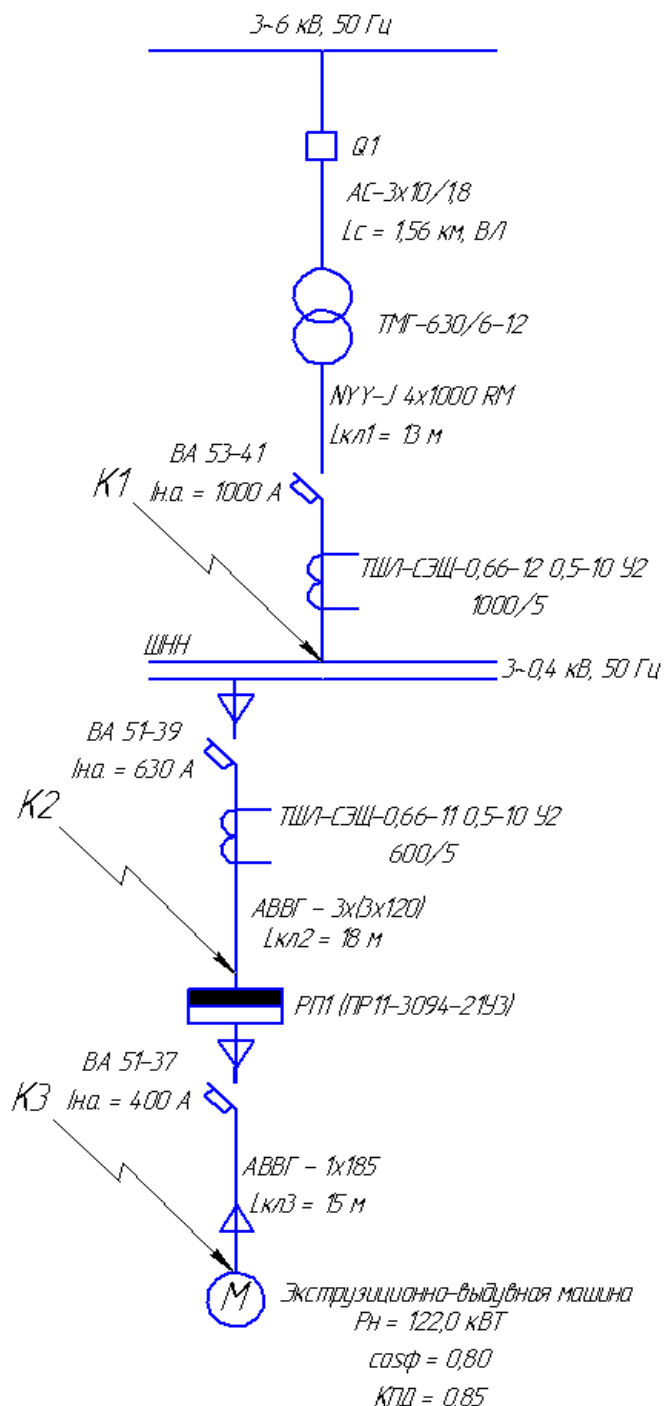


Рисунок 3 – Схема для расчёта токов КЗ на стороне НН

Производим расчёт сопротивлений элементов схемы.

Система:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_c} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 57,8 \text{ А},$$

$$X_c' = x_0 \cdot L_c = 0,40 \cdot 1,56 = 0,62 \text{ Ом},$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \text{ Ом/км},$$

$$R_c' = r_0 \cdot L_c = 3,33 \cdot 1,56 = 5,20 \text{ Ом},$$

$$R_c = R_c' \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 5,20 \cdot \left(\frac{0,40}{6,3} \right)^2 \cdot 10^3 = 20,64 \text{ мОм},$$

$$X_c = X_c' \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 0,62 \cdot \left(\frac{0,40}{6,3} \right)^2 \cdot 10^3 = 2,46 \text{ мОм}.$$

Трансформатор ТМГ-630/6-12:

$$Z_m = 10^4 \cdot \frac{U_k \cdot U_{H.m}^2}{S_{H.m}} = 10^4 \cdot \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{630} = 13,97 \text{ мОм},$$

$$R_m = 10^6 \cdot \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{H.m}^2}{S_{H.m}^2} = 10^6 \cdot \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} = 3,06 \text{ мОм},$$

$$X_m = \sqrt{z_m^2 - r_m^2} = \sqrt{13,97^2 - 3,06^2} = 13,63 \text{ мОм}.$$

Автоматические выключатели:

ВА 53-41 ($I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$) – $R = 0,10 \text{ мОм}$, $X = 0,10 \text{ мОм}$, $R_n = 0,15 \text{ мОм}$;

ВА 51-39 ($I_{НОМ} = 630 \text{ А}$) – $R = 0,12 \text{ мОм}$, $X = 0,13 \text{ мОм}$, $R_n = 0,25 \text{ мОм}$;

ВА 51-37 ($I_{НОМ} = 400 \text{ А}$) – $R = 2,0 \text{ мОм}$, $X = 1,8 \text{ мОм}$, $R_n = 0,90 \text{ мОм}$;

Ступени распределения:

$$R_{C1}=15 \text{ мОм}, R_{C2}=20 \text{ мОм}.$$

Трансформаторы тока:

ТШЛ-СЭЩ-0,66-12 0,5-10 У2 1000/5 – сопротивление не учитывается;
ТШЛ-СЭЩ-0,66-11 0,5-10 У2 600/5 – $R = 0,05 \text{ мОм}$, $X = 0,02 \text{ мОм}$.

КЛ 1 (NYU-J 4x1000 RM):

$$R_{кл1} = r_0 \cdot L_{кл1} = 0,02 \cdot 13 = 0,26 \text{ мОм},$$
$$X_{кл1} = x_0 \cdot L_{кл1} = 0,06 \cdot 13 = 0,78 \text{ мОм}.$$

КЛ 2 (АВВГ-3x(3x120)):

$$R_{кл2} = r_0 \cdot L_{кл2} = 0,09 \cdot 18 = 1,62 \text{ мОм},$$
$$X_{кл2} = x_0 \cdot L_{кл2} = 0,08 \cdot 18 = 1,44 \text{ мОм}.$$

КЛ 3 (АВВГ-1x185):

$$R_{кл3} = r_0 \cdot L_{кл3} = 0,93 \cdot 15 = 13,95 \text{ мОм},$$
$$X_{кл3} = x_0 \cdot L_{кл3} = 0,21 \cdot 15 = 3,15 \text{ мОм}.$$

Полученные результаты нанесены на схему замещения, представленную на рисунке 4.

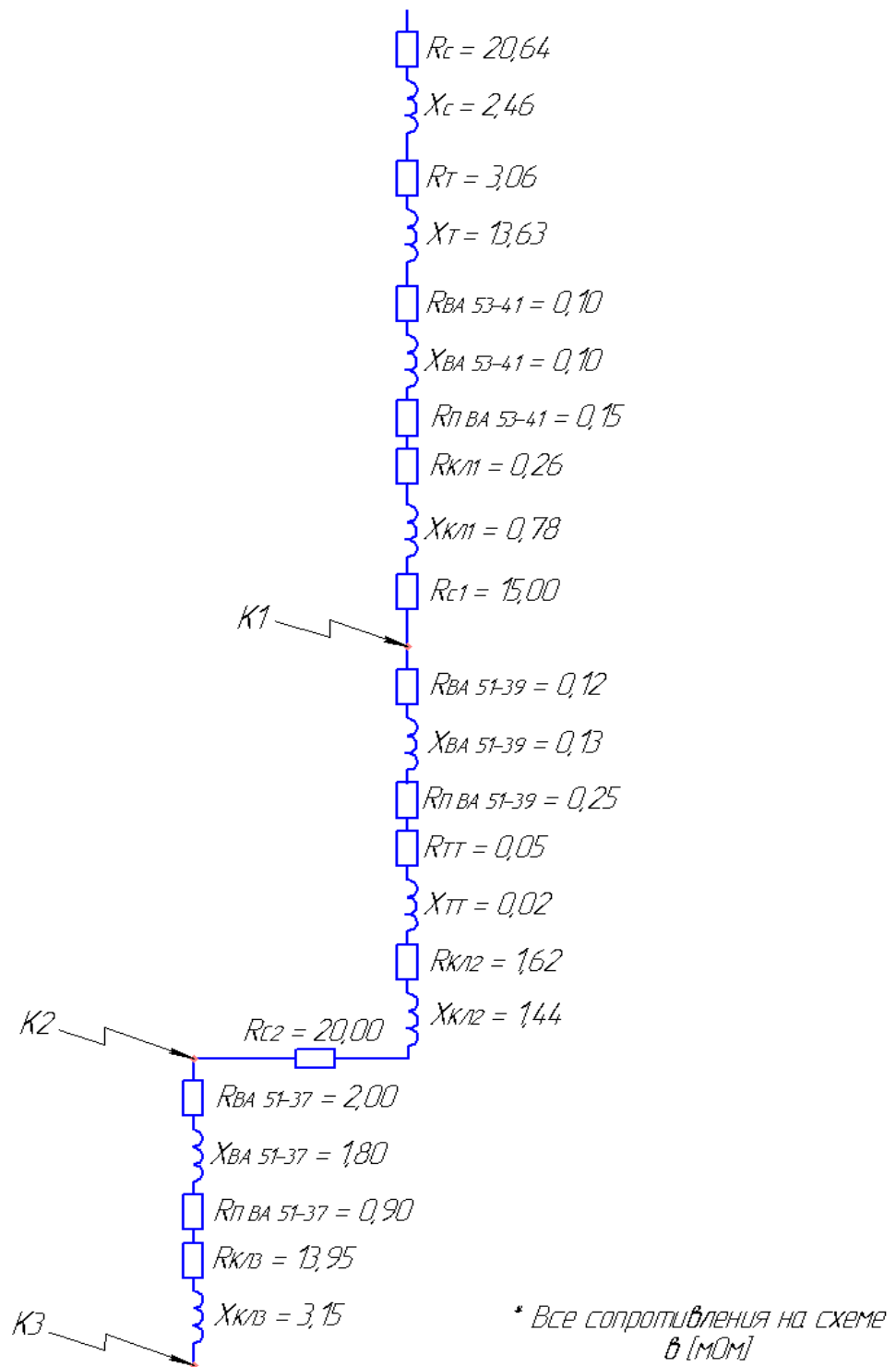


Рисунок 4 – Схема замещения сети для расчёта токов К3 на стороне НН

Короткое замыкание в точке К1:

$$R_{K1} = 39,21 \text{ мОм}, \quad X_{K1} = 16,97 \text{ мОм};$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{39,21^2 + 16,97^2} = 42,73 \text{ мОм};$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 42,73 \cdot 10^{-3}} = 5,4 \text{ кА},$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,4 = 7,6 \text{ кА}.$$

Короткое замыкание в точке К2:

$$R_{K2} = 61,25 \text{ мОм}, \quad X_{K2} = 18,56 \text{ мОм};$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{61,25^2 + 18,56^2} = 64,0 \text{ мОм};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 64,0 \cdot 10^{-3}} = 3,43 \text{ кА},$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,43 = 4,85 \text{ кА}.$$

Короткое замыкание в точке К3:

$$R_{K3} = 78,10 \text{ мОм}, \quad X_{K3} = 23,51 \text{ мОм};$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{78,10^2 + 23,51^2} = 81,56 \text{ мОм};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 81,56 \cdot 10^{-3}} = 2,69 \text{ кА},$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 2,69 = 3,8 \text{ кА}.$$

6.3 Проверка выбранного оборудования

Автоматические выключатели

Производим проверку выключателя ВА 51-37 (АВ для экструзионно-выдувной машины).

Проверка на надёжность срабатывания:

$$I_{K3}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{н.р.} \Rightarrow 3,1 > 0,96 \text{ кА (условие выполняется).}$$

Проверка на отключающую способность:

$$I_{откл.} \geq \sqrt{2} \cdot I_{k3\infty}^{(3)} \Rightarrow 25 > 2,69 \text{ кА (условие выполняется).}$$

Проверка на отстройку от пусковых токов не проводится, так как при выборе коэффициента отстройки (K_0) для АВ влияние пусковых токов учитывалось. Оставшиеся АВ проверялись аналогично.

Силовые кабели

Производим проверку кабеля АВВГ-1х185 (РП1 - экструзионно-выдувная машина) на термическую стойкость:

$$S_{кл\text{тс}} = \alpha \cdot I_{k3\infty}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{пр}} = 11 \cdot 2,69 \cdot \sqrt{1,7} = 38,6 \text{ мм}^2,$$

$$S_{кл} \geq S_{кл\text{тс}}; 185 > 38,6 \text{ (условие выполняется).}$$

Проверка кабеля на соответствие автоматическому выключателю не производилась, так как это учитывалось при выборе сечения. Оставшиеся кабели проверялись аналогично. На основании полученных результатов было

выяснено, что выбранное оборудование удовлетворяет требованиям проверок.

Выключатель на стороне 6 кВ

Представим паспортные данные выключателя и условия его выбора в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка выбора выключателя LF1

LF1		
Паспортные данные	Расчётные данные	Условие выбора
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{ном.дл} = 57,8 \text{ А}$	$I_{ном.дл} \leq I_{ном}$
$I_{ном откл.} = 25 \text{ кА}$	$I_n^{(3)} = 5,77 \text{ кА},$ $i_{a,t} = \sqrt{2} \cdot I_n^{(3)} \cdot e^{-t/T_a} = 3,01 \text{ кА},$ $i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 0,2 \cdot I_{ном откл.} = 7,07 \text{ кА}.$	$I_n^{(3)} \leq I_{ном откл.}$
$I_{пр.с} = 25 \text{ кА}$ $i_{пр.с} = 40 \text{ кА}$	$I_{н.о} = 5,77 \text{ кА},$ $i_{уд} = 15,5 \text{ кА}.$	$I_{н.о} < I_{пр.с}$ $i_{уд} < i_{пр.с}$
$I_T = 25 \text{ кА}$ $t_{откл.} = 0,07 \text{ с}$ $t_m = 3 \text{ с}$	$B_k = 33,29 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$ $I_T^2 \cdot t_{откл.} = 43,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$	$B_k < I_T^2 \cdot t_{откл.}$
Выключатель LF1 удовлетворяет условиям выбора.		

Трансформаторы тока

Осуществим проверку выбора ТТ: ТШЛ-СЭЦ-0,66-11 0,5-10 У2 600/5 (ВРУ – РП1). Вторичная нагрузка ТТ и условия его выбора представлены в таблице 4 и 5 соответственно. Оставшиеся ТТ проверялись аналогично.

Таблица 4 – Вторичная нагрузка ТТ

Прибор	Нагрузка фазы, ВА		
	А	В	С
Амперметр Э42704	1,0	-	-
Счётчик активной энергии Меркурий 230AR-03R	2,5	-	2,5
Счётчик реактивной энергии Меркурий 230AR-03R	3,0	-	3,0
Итого	6,5	-	5,5

Таблица 5 – Проверка выбора ТТ

ТШЛ-СЭЦ-0,66-11 0,5-10 У2 600/5		
Паспортные данные	Расчётные данные	Условие выбора
$U_{ном} = 0,66 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{сет.ном}$
$I_{1ном} = 600 \text{ А}$ $I_{2ном} = 5 \text{ А}$	$I_{РП1} = 387,2 \text{ А}$	$I_{РП1} \leq I_{1ном}$
$I_{\partial} = 20 \text{ кА}$	$i_{уд} = 4,85 \text{ кА}$	$i_{уд} < I_{\partial}$
$I_T = 12 \text{ кА}$ $t_T = 3 \text{ с}$	$B_k = 98,01 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $I_T^2 \cdot t_T = 432 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k < I_T^2 \cdot t_T$

Продолжение таблицы 5

<p>Допустимая нагрузка</p>	$R_2 = R_{приб.} + R_{пр.} + R_k$ $R_k = 0,1 \text{ Ом}$ $R_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_2^2} = \frac{6,5}{25} = 0,26 \text{ Ом}$ $R_{пр.} = Z_{2 ном} - R_{приб.} - R_k = 0,84 \text{ Ом}$	$Z_2 \leq Z_{2 ном}$ $Z_2 \approx R_2$
<p>ТТ удовлетворяет условиям выбора.</p>		

7 Расчёт защитного заземления

Под заземляющим устройством понимается совокупность естественных (конструктивные элементы зданий) и искусственных (вертикальные и горизонтальные электроды) заземлителей, имеющих непосредственное соединение друг с другом и контакт с землёй. В настоящее время распространённым решением является использование железобетонных фундаментов зданий в роли ЗУ, что даёт возможность продлить срок функционирования контура и уменьшить финансовые затраты на применение дополнительных электродов и их монтаж [21]. Проверим возможность применения данного решения к предприятию ООО «Ипросс».

Определяем удельное эквивалентное сопротивление:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_1 \left[1 - e^{\left(-\alpha \frac{hl}{\sqrt{S}} \right)} \right] + \rho_2 \left[1 - e^{\left(-\beta \frac{\sqrt{S}}{hl} \right)} \right] =$$
$$60 \left[1 - e^{\left(-110 \frac{1,6}{\sqrt{2600}} \right)} \right] + 150 \left[1 - e^{\left(-0,003 \frac{\sqrt{2600}}{1,6} \right)} \right] = 71,8 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Сопротивление растекания ЗУ равно:

$$R = 0,5 \cdot \frac{\rho_{\text{э}}}{\sqrt{S}} = 0,5 \cdot \frac{71,8}{\sqrt{2600}} = 0,7 \text{ Ом},$$

$$R < R_0; 0,7 < 4 \text{ (верно)}.$$

Использование фундамента здания предприятия в качестве заземляющего контура удовлетворяет нормативным требованиям [22].

7.1 Заземление КТПН-2х630-6/0,4

Определяем эквивалентное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{экв.}} = \frac{\Psi \cdot l \cdot \rho_1 \cdot \rho_2}{(\rho_1 \cdot (l - H + t_2) + \rho_2 \cdot (H - t_2))} = \frac{1.50 \cdot 100 \cdot 3}{(50 \cdot (3 - 1,2 + 0,7) + 100 \cdot (1,2 - 0,7))} = 85,71 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Рассчитываем сопротивление растекания тока одиночного вертикального заземлителя:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{экв.}}}{2 \cdot \pi L_{\text{в}}} \cdot \left[\ln \left(\frac{2L_{\text{в}}}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4T + L_{\text{в}}}{4T - L_{\text{в}}} \right) \right] = \frac{85,71}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,048} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{8,8 + 3}{8,8 - 3} \right) \right] = 23,58 \text{ Ом.}$$

Количество вертикальных электродов без учёта сопротивления горизонтального заземлителя:

$$n_{\text{усл.}} = \frac{R_0}{R_{\text{дон}}} = \frac{23,58}{4} = 5,89 \Rightarrow 6 \text{ шт.}$$

Длина горизонтального заземлителя составляет: $L = 31,4 \text{ м.}$

Сопротивление растекания тока горизонтальных заземлителей равно:

$$R_2 = 0,366 \cdot \left(\frac{\rho_{\text{экв.}} \cdot \Psi}{L \cdot \eta_{2\text{э}}} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} \right) = 0,366 \cdot \left(\frac{85,71}{31,4 \cdot 0,43} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 31,4^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 11,27 \text{ Ом.}$$

Рассчитываем сопротивление вертикального заземлителя с учётом сопротивления горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_2 \cdot R_{\text{дон.}}}{R_2 - R_{\text{дон.}}} = \frac{11,27 \cdot 4}{11,27 - 4} = 6,2 \text{ Ом.}$$

Фактическое количество вертикальных электродов:

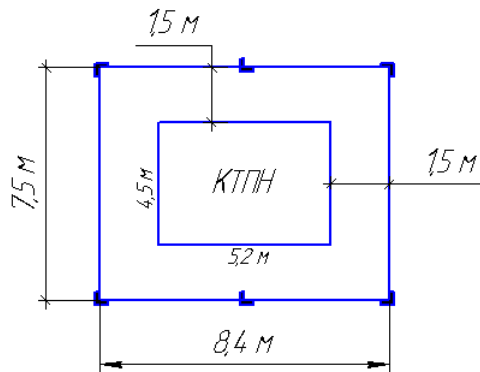
$$n_{\text{фактич.}} = \frac{R_0}{R_e \cdot \eta_{e3}} = \frac{23,58}{6,2 \cdot 0,68} = 5,59 \Rightarrow 6 \text{ шт.}$$

Рассчитываем сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{3У} = \frac{R_e \cdot R_2}{R_e \cdot \eta_{e3} + R_2 \cdot n_{\text{фактич.}} \cdot \eta_{e3}} = \frac{6,2 \cdot 11,27}{6,2 \cdot 0,43 + 11,27 \cdot 6 \cdot 0,68} = 1,44 \text{ Ом,}$$

$$R_{3У} < R_{\text{доп.}}; 1,44 < 4 \text{ (верно).}$$

Таким образом, на основании полученных значений заземляющее устройство КТПН-2х630-6/0,4 состоит из 6 вертикальных электродов (уголок 50х50х5 из горячеоцинкованной стали, $L_e = 3\text{ м}$) и горизонтального электрода (полоса из горячеоцинкованной стали 40х4, $L = 31,4\text{ м}$). ЗУ удовлетворяет требованиям по электробезопасности [22]. Схема ЗУ КТПН представлена на рисунке 5.



$$\begin{aligned} n_{e3} &= 6 \text{ шт;} \\ L_2 &= 31,4 \text{ м;} \\ R_{э3} &= 85,71 \text{ Ом м;} \\ \eta_{e3} &= 0,68; \\ \eta_{z3} &= 0,68; \\ R_{3У} &= 1,44 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Обозначения:

└ Вертикальный заземлитель (уголок из горячеоцинкованной стали 50х50х5; 3 м)

— Горизонтальный заземлитель (полоса из горячеоцинкованной стали 40х4; $L_2 = 31,4\text{ м}$)

Рисунок 5 – Заземляющее устройство КТПН-2х630-6/0,4

8 Молниезащита предприятия

Удар молнии может привести к воспламенению и механическим повреждениям зданий, выходу из строя дорогостоящего электрооборудования и питающих ЛЭП, гибели людей и животных, находящихся внутри или непосредственной близости к сооружению [23]. Во избежание перечисленных негативных последствий применяется молниезащита.

Предприятие ООО «Ипросс» относится к третьей категории молниезащиты (в помещении цеха не содержатся взрывоопасные смеси, легковоспламеняющиеся жидкости и материалы) [24]. Кровля здания предприятия не может использоваться в качестве молниеприёмника (неметаллическое исполнение), поэтому было принято решение использовать молниеприёмную сетку из омеднённой проволоки (катанная сталь диаметром 8 мм) с шагом ячейки 10x10 м.

При монтаже молниеприёмника используются скобы-держатели, узлы крестообразного соединения, узлы крепления для плоской крыши. Все узловое соединения выполняются сваркой. Вентиляционные устройства и металлические конструкции, расположенные на крыше, соединяются с молниеприёмной сеткой.

Металлические колонны здания выполняют функцию токоотводов, непрерывная электрическая связь молниеприёмной сетки и заземлителя (железобетонный фундамент) с токоотводами обеспечена посредством сварного соединения [24].

Результаты проектирования молниезащиты предприятия ООО «Ипросс» представлены на листе 6 графической части выпускной квалификационной работы.

9 Технико-экономический анализ использования собственного источника питания на предприятии

В качестве собственного источника питания предприятия ООО «Ипросс» рассмотрим возможность использования газопоршневой электростанции FEDVIG – Moteurs Baudoin 750 кВт, представленной в приложение Е. Ключевым критерием анализа является финансовая сторона вопроса: ввиду высокой стоимости электроустановки необходимо учесть влияние данного решения на бюджет предприятия и дальнейшие перспективы. Для этого произведём расчёт окупаемости выбранной ГПУ по данным, представленным в таблице 6 [25].

Таблица 6 – Исходные данные для расчёта окупаемости

Параметр	Значение
Стоимость 1 м ³ газа, руб.	20
Стоимость 1 кВт·ч ЭЭ, руб.	4
Стоимость 1000 нм ³ / ч газа, руб., *	20000
Стоимость 1 л масла, руб.	230
Количество рабочих м.ч. за 1 год	8000
Величина НДС, %	18
Полная стоимость ГПУ (с учётом доставки, монтажных и пуско-наладочных работ, контейнерного исполнения), руб.	32300000
Периодичность замены масла, м.ч.	1250
Тепловая мощность, кВт	850 кВт
Объём газа, необходимый для получения 850 кВт энергии, нм ³	90

* $\text{нм}^3/\text{ч}$ - внесистемная единица измерения скорости потока газа, приведённая к н.у.

Определяем финансовые затраты на газ:

$$z_{\text{газ}} = \frac{R_{\text{газа}} \cdot C}{1000 \text{ нм}^3/\text{ч} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{187 \cdot 20000}{1000 \cdot 750} = 4,99 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Финансовые затраты на замену масла составляют:

$$z_{\text{масло}} = \frac{V_{\text{зам. масла}} \cdot C_{1\text{л масла}}}{T_{\text{замены}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{170 \cdot 230}{1250 \cdot 750} = 0,04 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Финансовые затраты на угар масла составляют:

$$z_{\text{угар масла}} = \frac{V_{\text{угар}} \cdot C_{1\text{л масла}}}{1000} = \frac{0,2 \cdot 230}{1000} = 0,05 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Затраты на запчасти с учётом кап. ремонта равны:

$$z_{\text{запчасти и ремонт}} = \frac{C_{\text{запчастей}}}{T_{\text{капремонта}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{15540000}{40000 \cdot 750} = 0,52 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Финансовые затраты на регламентные сервисные работы составляют:

$$z_{\text{сервис.обслуж.}} = \frac{C_{\text{рег. работ}}}{T_{\text{кап.ремонта}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{1784400}{40000 \cdot 750} = 0,06 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Определяем финансовые затраты, обусловленные налогом на имущество:

$$z_{\text{налог}} = \frac{C_{\text{ГПУ}} \cdot 2,2\%}{100\% \cdot P_{\text{ГПУ}} \cdot T_{\text{м.ч./год}}} = \frac{32300000 \cdot 2,2}{100 \cdot 750 \cdot 8000} = 0,12 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Амортизационные отчисления составляют:

$$z_{\text{амортизация}} = \frac{C_{\text{ГПУ}}}{T_{\text{3-х кап.ремонтов}} \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{32300000}{120000 \cdot 750} = 0,36 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Тепловая поправка равна:

$$z_{\text{поправка}} = \frac{V_{\text{газа}} \cdot C_{1000 \text{ нм}^3/\text{ч}}}{1000 \cdot P_{\text{ГПУ}}} = \frac{90 \cdot 20000}{1000 \cdot 750} = 2,40 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Себестоимость ГПУ без учёта (C_1) и с учётом (C_2) тепловой поправки:

$$C_1 = 4,99 + 0,04 + 0,05 + 0,52 + 0,06 + 0,12 + 0,36 = 6,13 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.},$$

$$C_2 = C_1 - z_{\text{поправка}} = 6,13 - 2,40 = 3,73 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Находим разность между стоимостью покупной и производимой ЭЭ:

$$\Delta C = C_{\text{покуп.ЭЭ}} - C_2 = 4 - 3,73 = 0,27 \text{ руб. / кВт}\cdot\text{ч.}$$

Экономия за год составляет:

$$\text{Э} = \Delta C \cdot T_{\text{м.ч./год}} \cdot P_{\text{ГПУ}} = 0,27 \cdot 8000 \cdot 750 = 1620000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости ГПУ 750 кВт равен:

$$T_{\text{окуп-ти}} = \frac{C_{\text{ГПУ}}}{\text{Э}} = \frac{32300000}{1620000} = 19,94 \approx 20 \text{ лет.}$$

С целью упрощения вычислений использовалась усреднённая стоимость электрической и тепловой энергии, ГСМ и газа; не учитывалось повышение тарифной ставки на ЭЭ, обусловленное сезонностью и временем суток. Также не учитывалась специфика производства и режимы работы электрооборудования предприятия ООО «Ипросс». Реальный срок окупаемости газопоршневой ЭС зависит от множества факторов, учёт которых в аналитическом расчёте достаточно сложен и не всегда реализуем. Ввиду этого возможно получить только оценочные значения периода окупаемости, которые в действительности будут отличны от истинного результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была разработана система электроснабжения предприятия по производству автомобильных компонентов ООО «Ипресс». Расчёт электрических нагрузок предприятия производился методом упорядоченных диаграмм, проектирование системы освещения осуществлялось в программе DIALux evo 8.1. Активная мощность осветительной нагрузки – 9,36 кВт, полная расчётная мощность по предприятию – 687,33 кВА.

Для КТПН ООО «Ипресс» были выбраны два трансформатора ТМГ-630/6-0,4. В качестве КУ на предприятии используются две комплектные конденсаторные установки с автоматическим регулированием: УКМ 58-04-100-33,3УЗ.

Для внутрицехового электроснабжения предприятия было принято решение использовать смешанную схему. Данная схема позволяет обеспечить высокую надёжность и бесперебойность в питании ЭП, а также является гибкой и практичной, что даёт возможность модернизировать её в процессе развития промышленного объекта. Выбранное оборудование для схемы внутреннего электроснабжения предприятия ООО «Ипресс» полностью удовлетворяет требованиям проведённых проверок.

Расчёт токов КЗ был произведён на стороне ВН и НН. Трёхфазный ток КЗ на стороне 6 кВ составил 5,77 кА, значение ударного тока – 15,5 кА. На стороне 0,4 кВ наибольшую опасность представляет замыкание на ШНН: значение трёхфазного тока КЗ составило 5,4 кА; ударный ток – 7,6 кА.

В качестве заземляющего устройства предприятия было принято решение использовать железобетонный фундамент здания. ЗУ КТПН-2х630-6/0,4 состоит из 6 вертикальных электродов (уголок 50х50х5 из горячеоцинкованной стали, $L_g = 3$ м) и стальной полосы 40х4, $L = 31,4$ м. Принятые решения не противоречат требованиям по электробезопасности.

Для защиты предприятия ООО «Ипресс» от удара молнии была спроектирована молниезащита. В качестве молниеприёмника было принято решение использовать молниеприёмную сетку из омеднённой проволоки (катанная сталь диаметром 8 мм) с шагом ячейки 10x10 м, для монтажа которой были выбраны скобы-держатели, узлы крестообразного соединения и узлы крепления для плоской крыши. В качестве токоотводов были применены металлические колонны здания, непрерывная электрическая связь молниеприёмной сетки и заземлителя с токоотводами обеспечена посредством сварного соединения.

В процессе разработки системы электроснабжения предприятия был затронут вопрос об использовании собственного источника питания – газопоршневой электростанции FEDVIG – Moteurs Baudoin мощностью 750 кВт. На основании проведённого технико-экономического анализа срок окупаемости данного решения составил 20 лет.

Цель бакалаврской работы, заключающаяся в разработке системы электроснабжения предприятия ООО «Ипресс», была достигнута посредством решения поставленных задач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с.
2. Гвоздев С.М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 288 с.
3. Calculation of lighting in the program DIALux evo 8.1: DIALux evo manual [Электронный ресурс]. [URL:https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALuxevo/manyal.pdf/](https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALuxevo/manyal.pdf) (дата обращения: 05.01.2019).
4. Сумарокова Л.П. Основы расчёта систем внутризаводского электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 119 с.
5. Грунин В.К. Выпускная квалификационная работа бакалавра по проектированию систем электроснабжения промышленных объектов: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. 156 с.
6. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. Москва: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
7. Шевченко Н.Ю. Электроснабжение: учебное пособие. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 92с.
8. Varetsky Y. Reactive power compensation in a powerful AC drives supply system// 2016 Electric Power Networks (EPNet). Szklarska Poreba. 2016. pp. 1-6.
9. Установки конденсаторные типа УКМ: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. [URL:http://www.elektro-portal.com/](http://www.elektro-portal.com/) (дата обращения: 05.01.2019).
10. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.

11. Трансформаторы силовые с масляной и сухой изоляцией: каталог продукции [Электронный ресурс].
[URL:https://electroshield.ru/catalog/transformatory-silovie-raspredelitelnie/tm-g-f-seshch-25-2-500-kva-6-10-15-20-35-kv/](https://electroshield.ru/catalog/transformatory-silovie-raspredelitelnie/tm-g-f-seshch-25-2-500-kva-6-10-15-20-35-kv/) (дата обращения: 05.01.2019).
12. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. 180 с.
13. Фёдоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. М.: Энергия, 2014. 360 с.
14. Panteleev V. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.
15. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ, 2013. 412 с.
16. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: ФОРУМ, 2011. 136 с.
17. Кабели и провода на напряжение до 1 кВ: каталог [Электронный ресурс].
[URL:http://www.simross.ru/files/35857/1KV_pr.pdf/](http://www.simross.ru/files/35857/1KV_pr.pdf/) (дата обращения: 19.01.2019).
18. Пункты распределительные серии ПР 11: техническая информация для выбора [Электронный ресурс]. [URL:http://ruscomplect.ru/pr11.htm/](http://ruscomplect.ru/pr11.htm/) (дата обращения: 19.01.2019).
19. Conrad St. Pierre A practical guide to short-circuit calculations. England: Electric Power Consultant, 3 rd edition. 2015. 536 p.
20. Котова Е.Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 216 с.
21. Старжинский В.Н. Проектирование защитного заземления: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 22 с.

22. Кашина С.Г. Электробезопасность. Защитные заземляющие устройства электроустановок: учебное пособие к практическим занятиям студентов. Казань: Изд-во КГАСУ, 2016. 137 с.
23. Design of lightning protection system: guide to the design of lightning protection for industrial enterprises [Электронный ресурс]. [URL:https://www.dehn.cz/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/](https://www.dehn.cz/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/) (дата обращения: 25.01.2019).
24. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
25. Методика расчёта окупаемости мини-ТЭС [Электронный ресурс]. [URL:http://www.esist.ru/](http://www.esist.ru/) (дата обращения 18.02.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Электрооборудование, используемое на предприятии ООО «Ипросс»

Наименование электрооборудования	Количество	$P_{\text{ПАСП}}$, кВт
Экструзиционно-выдувная машина PSB-120	4	122,0
Дробилка для измельчения полимеров HSS-700 А	2	18,5
Измельчитель ВС-50, ПВ = 60%	1	7,5
ТПА Start 98V	2	19,0
Сверлильный станок VISPROM B	4	0,8
Станок шлифовальный тарельчато-ленточный ЭНКОР Корвет - 51	4	0,4
Высокоточный сверлильный станок JET KSD-32	1	2,2
Прессовальный станок PRESSMAX 512	1	3,0
Автоматическая литьевая машина карусельного типа ME-3	1	13,0
Дробилка для жёсткого пластика SWP-520	2	15,0
Резательный станок FUBAG FB-350	2	2,2
Отрезной станок DIAM SP max-250/1	3	2,5
Сварочный трансформатор ТДМ 303 CU, ПВ = 40%	1	S = 19,2 кВА
Машина разрывная испытательная РМИ-250	1	1,8
Вакуумный загрузчик полимерного сырья SHINI SAL	4	2,0
Электродвигатели подъёмных ворот	2	1,5
Система вентиляции		
Вентилятор вытяжной	1	27,0
Вентилятор приточный	1	36,0


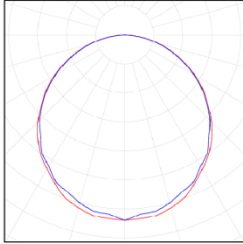

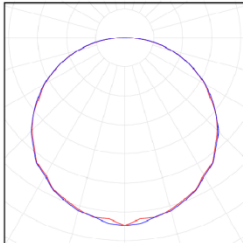

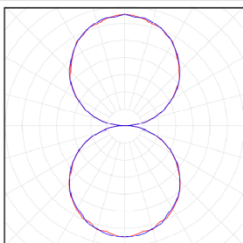

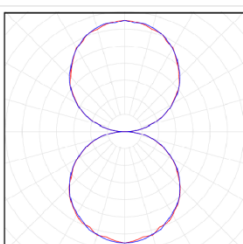

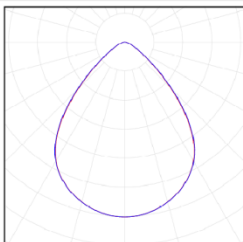
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Проект 1 Освещение предприятия ООО Ипросс 26.12.2018
Ипросс

DIALux

Проект 1 Освещение предприятия ООО Ипросс / Ведомость светильников

Проект 1 Освещение предприятия ООО Ипросс

Количество	Светильник (Место выхода света)		
99	<p>IEK Lighting - LDVO1-40304-30-4000-K01 Светодиодная панель ДВО40304 600x600, 30Вт, ИЭК Место выхода света 1 Комплектация: 1xLED Коэффициент полезного действия: 90.47% Световой поток ламп: 3300 lm Световой поток от светильников: 2985 lm Мощность: 30.0 W Светоотдача: 99.5 lm/W</p> <p>Колориметрические данные 1x: CCT 3000 K, CRI 100</p>		
2	<p>IEK Lighting - LSSA0-1002-003-K03 Светильник аварийный CCA1002 на светодиодах, аккумулятор 1.5ч., 3Вт, односторонний, ЗАПАСНОЙ ВЫХОД Место выхода света 1 Комплектация: 1xLED Коэффициент полезного действия: 100% Световой поток ламп: 40 lm Световой поток от светильников: 40 lm Мощность: 3.0 W Светоотдача: 13.3 lm/W</p> <p>Колориметрические данные 1x: CCT 3000 K, CRI 100</p>		
4	<p>IEK Lighting - LSSA0-1004-003-K03 Светильник аварийный CCA1004 на светодиодах, аккумулятор 1.5ч., 3Вт, двусторонний, ВЫХОД-EXIT стрелка Место выхода света 1 Комплектация: 1xLED Коэффициент полезного действия: 100% Световой поток ламп: 40 lm Световой поток от светильников: 40 lm Мощность: 3.0 W Светоотдача: 13.5 lm/W</p> <p>Колориметрические данные 1x: CCT 3000 K, CRI 100</p>		
2	<p>IEK Lighting - LSSA0-5043-3-65-K03 Светильник CCA 5043-3 светодиодный аккумуляторный 3Вт Место выхода света 1 Комплектация: 1xLED Коэффициент полезного действия: 101.23% Световой поток ламп: 60 lm Световой поток от светильников: 61 lm Мощность: 3.0 W Светоотдача: 20.2 lm/W</p> <p>Колориметрические данные 1x: CCT 3000 K, CRI 100</p>		
91	<p>ООО "АтомСвет.Энергосервис" Advanta LED - Светильник Astra 01-70 (90) Место выхода света 1 Комплектация: 1xСветодиоды 5000K Ra>70 140 лм/Вт Коэффициент полезного действия: 100% Световой поток ламп: 9800 lm Световой поток от светильников: 9800 lm Мощность: 70.0 W Светоотдача: 140.0 lm/W</p> <p>Колориметрические данные 1x: CCT 3000 K, CRI 100</p>		

Общий световой поток ламп: 1218860 lm, Общий световой поток светильников: 1187677 lm, Общая мощность: 9364.0 W, Светоотдача: 126.8 lm/W

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Ведомость электрических нагрузок предприятия ООО «Ипресс»

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_u	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВар	$n_{э}$	K_m	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	I_p , А
Экструзиционно- выдувная машина PSB-120	122,0	4	488,0	0,70	0,80	0,75		341,6	256,2						
Дробилка для измельчения полимеров HSS-700 А	18,5	2	37,0	0,80	0,85	0,62		29,6	18,3						
Измельчитель ВС- 50	5,8	1	5,8	0,25	0,65	1,17		1,5	1,8						
ТПА Start 98V	19,0	2	38,0	0,65	0,80	0,75		24,7	18,5						
Сверлильный станок VISPR0M B	0,8	4	3,2	0,14	0,50	1,73		0,45	0,78						

Продолжение таблицы В.1

Наименование ЭП	$P_{ном'}$ кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_n	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см'}$ кВт	$Q_{см'}$ кВар	n_{ε}	K_m	$P_{p'}$ кВт	$Q_{p'}$ кВар	$S_{p'}$ кВА	$I_{p'}$ А
Станок шлифовальный тарельчато- ленточный ЭНКОР Корвет - 51	0,4	4	1,6	0,14	0,50	1,73		0,22	0,38						
Высокоточный сверлильный станок JET KSD-32	2,2	1	2,2	0,14	0,50	1,73		0,31	0,54						
Прессовальный станок PRESSMAX 512	3,0	1	3,0	0,14	0,5	1,73		0,42	0,73						

Продолжение таблицы В.1

Наименование ЭП	$P_{ном'}$ кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_n	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см'}$ кВт	$Q_{см'}$ кВар	$n_{э}$	K_m	$P_{p'}$ кВт	$Q_{p'}$ кВар	$S_{p'}$ кВА	$I_{p'}$ А
Автоматическая литьевая машина карусельного типа МЕ-3	13,0	1	13,0	0,50	0,7	1,02		6,5	6,6						
Дробилка для жёсткого пластика SWP-520	15,0	2	30,0	0,80	0,85	0,62		24,0	14,9						
Резательный станок FUBAG FB-350	2,2	2	4,4	0,14	0,50	1,73		0,62	1,10						
Отрезной станок DIAM SP max-250/1	2,5	3	7,5	0,14	0,50	1,73		1,05	1,82						

Продолжение таблицы В.1

Наименование ЭП	$P_{ном}'$ кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}'$ кВт	$Q_{см}'$ кВар	$n_{э}$	K_m	$P_{р}'$ кВт	$Q_{р}'$ кВар	$S_{р}'$ кВА	$I_{р}'$ А
Сварочный трансформатор ТДМ 303 СУ	9,7	1	29,1	0,20	0,40	2,29		5,8	13,3						
Машина разрывная испытательная РМИ-250	1,8	1	1,8	0,17	0,65	1,17		0,31	0,36						
Вакуумный загрузчик полимерного сырья SHINI SAL	2,0	4	8,0	0,95	0,85	0,62		7,6	4,7						
Электродвигатели подъёмных ворот	1,5	2	3,0	0,60	0,80	0,75		1,8	1,4						
Вентилятор вытяжной	27,0	1	27,0	0,70	0,80	0,75		18,9	14,2						

Продолжение таблицы В.1

Наименование ЭП	$P_{ном'}$ кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см'}$ кВт	$Q_{см'}$ кВар	$n_{э}$	K_m	$P_{p'}$ кВт	$Q_{p'}$ кВар	$S_{p'}$ кВА	$I_{p'}$ А
Вентилятор приточный	36,0	1	36,0	0,70	0,80	0,75		25,2	18,9						
Итого без учёта системы освещения	122/ 0,4	37	738,6	0,66		0,76		490,58	374,5	12	1,15	564,17	374,5	677,15	978,5
Система освещения												9,36	4,30		
Итого с учётом системы освещения												573,53	378,80	687,33	993,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



Трансформатор	Потери, Вт		$I_{XX}, \%$	$U_{K3}, \%$	Размер, мм	Масса, кг
	XX	K3				
ТМГ-630	1050	7600	2	5,5	1820x1150x1910	1950
Сном, кВА				630		
$U_{ном\ BH},$ кВ				6		
$U_{ном\ HH},$ кВ				0,4		
Схема соединения				Звезда-звезда; треугольник-звезда		
Климатическое исполнение и категория размещения				У1, УХЛ1		
Материал обмоток				Алюминий, медь		
Допустимая температура эксплуатации				От -40 до +40 °С (У1); от -60 до +40 °С (УХЛ1)		
Нормативные документы				ГОСТ 11677-85, МЭК – 76		
Сейсмостойкость				9 баллов		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1 – Ведомость электрических нагрузок предприятия ООО «Ипресс» с учётом распределения ЭП

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_u	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВар	$n_{э}$	K_m	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	I_p , А
<u>РП1</u>															
Экструзиционно- выдувная машина PSB-120	122,0	2	244,0	0,70	0,80	0,75		170,8	128,1						
Вакуумный загрузчик полимерного сырья SHINI SAL	2,0	2	4,0	0,95	0,85	0,62		3,8	2,35						
Прессовальный станок PRESSMAX 512	3,0	1	3,0	0,14	0,5	1,73		0,42	0,73						
Итого по РП1	122/2	5	251,0	0,70	-	0,75	>3	175,02	131,18	4	1,29	225,78	144,30	267,95	387,2

Продолжение таблицы Д.1

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_u	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВар	$n_{э}$	K_m	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	I_p , А
<u>РП2</u>															
Экструзиционно- выдувная машина PSB-120	122,0	2	244,0	0,70	0,80	0,75		170,8	128,1						
Вакуумный загрузчик полимерного сырья SHINI SAL	2,0	2	4,0	0,95	0,85	0,62		3,8	2,35						
Электродвигатели подъёмных ворот	1,5	1	1,5	0,60	0,80	0,75		0,9	0,7						
Итого по РП2	122/1,5	5	249,5	0,70	-	0,75	>3	175,5	131,15	4	1,29	226,40	144,27	268,46	387,9
<u>РП3</u>															
Отрезной станок DIAM SP max-250/1	2,5	2	5,0	0,14	0,50	1,73		0,7	1,21						

Продолжение таблицы Д.1

Наименование ЭП	$P_{ном'}$ кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_n	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см'}$ кВт	$Q_{см'}$ кВар	$n_{\text{э}}$	K_M	$P_{p'}$ кВт	$Q_{p'}$ кВар	$S_{p'}$ кВА	$I_{p'}$ А
Дробилка для жёсткого пластика SWP-520	15,0	2	30,0	0,80	0,85	0,62		24,0	14,9						
Резательный станок FUBAG FB-350	2,2	2	4,4	0,14	0,50	1,73		0,62	1,10						
Сверлильный станок VISPROM B	0,8	2	1,6	0,14	0,50	1,73		0,22	0,38						
Итого по РПЗ	15/0,8	8	41,0	0,62	-	0,69	>3	25,54	17,59	6	1,37	35,0	19,35	40,0	57,8
<u>РП4</u>															
Сварочный трансформатор ТДМ 303 СУ	9,7	1	29,1	0,20	0,40	2,29		5,8	13,3						

Продолжение таблицы Д.1

Наименование ЭП	$P_{ном}$, кВт	n	$P_n \Sigma$ кВт	K_n	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см'}$ кВт	$Q_{см'}$ кВар	n_{ε}	K_m	$P_{p'}$ кВт	$Q_{p'}$ кВар	$S_{p'}$ кВА	$I_{p'}$ А
Машина разрывная испытательная РМИ- 250	1,8	1	1,8	0,17	0,65	1,17		0,31	0,36						
Вентилятор приточный	36,0	1	36,0	0,70	0,80	0,75		25,2	18,9						
Высокоточный сверлильный станок JET KSD-32	2,2	1	2,2	0,14	0,50	1,73		0,31	0,54						
Станок шлифовальный тарельчато-ленточный ЭНКОР Корвет - 51	0,4	4	1,6	0,14	0,50	1,73		0,22	0,38						

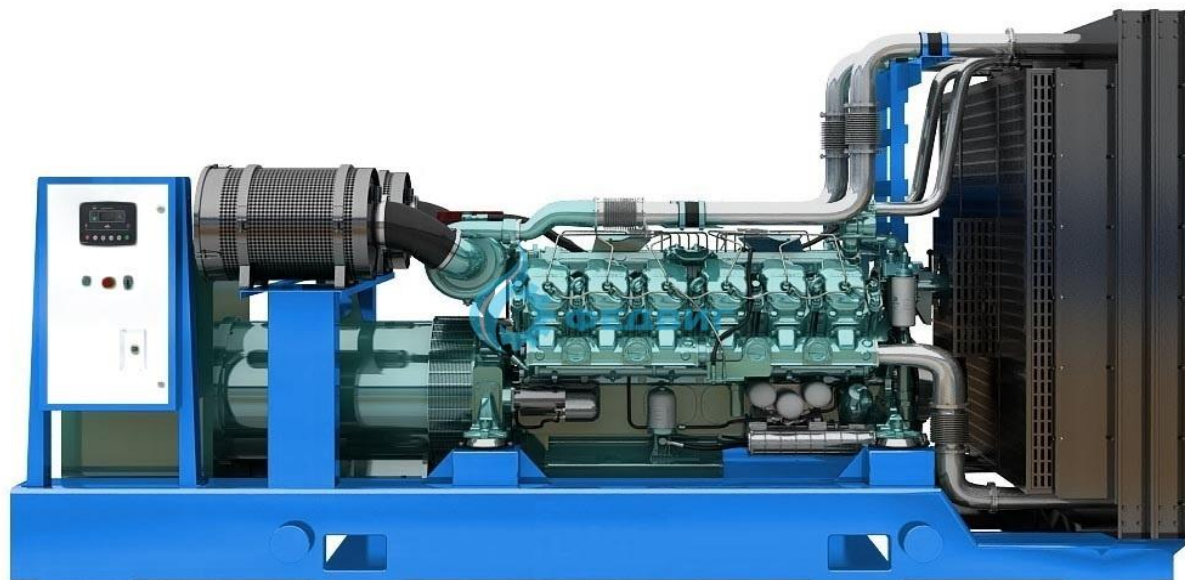
Продолжение таблицы Д.1

Наименование ЭП	$P_{ном}'$ кВт	n	$P_H \Sigma$ кВт	K_H	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}'$ кВт	$Q_{см}'$ кВар	n_{ε}	K_M	P_{p}' кВт	Q_{p}' кВар	S_{p}' кВА	I_{p}' А
Вентилятор вытяжной	27,0	1	27,0	0,70	0,80	0,75		18,9	14,2						
Итого по РП4	36/0,4	9	97,7	0,52	-	0,94	>3	50,74	47,68	6	1,51	76,62	52,45	92,85	134,2
<u>РП5</u>															
Электродвигатели подъёмных ворот	1,5	1	1,5	0,60	0,80	0,75		0,9	0,7						
Сверлильный станок VISPROM B	0,8	2	1,6	0,14	0,50	1,73		0,22	0,38						
Дробилка для измельчения полимеров HSS-700 А	18,5	2	37,0	0,80	0,85	0,62		29,6	18,3						
Измельчитель BC-50	5,8	1	5,8	0,25	0,65	1,17		1,5	1,8						

Продолжение таблицы Д.1

Наименование ЭП	$P_{ном}'$ кВт	n	$P_H \Sigma$ кВт	K_H	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	m	$P_{см}'$ кВт	$Q_{см}'$ кВар	n_{ε}	K_M	P_{p}' кВт	Q_{p}' кВар	S_{p}' кВА	I_{p}' А
ТПА Start 98V	19,0	2	38,0	0,65	0,80	0,75		24,7	18,5						
Автоматическая литьевая машина карусельного типа МЕ-3	13,0	1	13,0	0,50	0,7	1,02		6,5	6,6						
Отрезной станок DIAM SP max-250/1	2,5	1	2,5	0,14	0,50	1,73		0,35	0,60						
Итого по РП5	19/0,8	10	99,4	0,64	-	0,74	>3	63,77	46,88	10	1,23	78,44	46,88	91,38	132,1
Система освещения (ЩО)												9,36	4,30	10,3	14,9
Итого по предприятию с учётом системы освещения												573,53	378,80	687,33	993,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Е



FEDVIG – Moteurs Baudoin 750 кВт	
Генератор	Stamford HC16H
Мощность, кВт	750
Расход газа, нм ³ /ч	187
КПД, %	44
Ресурс до кап. ремонта, м.ч.	40000
Наброс нагрузки за 2 сек., %	80
Минимальная мощность работы, %	10
Давление газа, мБар	50 (низкое)
Тип газа	Природный, пропан-бутан, синтез, попутный нефтяной, шахтный метан, био
Страна производитель	Франция