

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе рассмотрен один из способов обеспечения надежного и бесперебойного питания цеха химического предприятия ПАО «Сибур».

Для выбора оптимального решения было проведено изучение данного объекта. На основании полученных данных были поставлены задачи для достижения поставленной цели. Выполнен расчет ожидаемых нагрузок и выбор силовых трансформаторов и оборудования. Произведен расчет коротких замыканий, по данным которого было успешно проверено оборудование.

Пояснительная записка выполнена на 52 листах, включает в себя 24 таблицы, 7 рисунков. Графическая часть работы предоставлена на 6 чертежах формата А1.

ABSTRACT

The topic of this thesis - Electrical equipment and electrical equipment of the chemical plant of the group of companies PJSC "Sibur"

The purpose of the WRC is to provide reliable and uninterrupted power supply for the BK-4 workshop of PJSC Sibur.

Thesis contains the following items:

- pre-project expertise;
- calculation of electrical loads and lighting;
- the choice of electrical equipment;
- calculation of short circuit currents;
- check of switches for resistance to three-phase short circuit and shock current, as well as checking for breaking capacity;

The final work consists of an explanatory note on 52 pages, an introduction, including 7 figures, 24 tables, a list of 33 references, including 5 foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Характеристика объекта..... | 7 |
| 2 Расчет электрических нагрузок..... | 9 |
| 3 Расчет освещения и выбор светильников..... | 22 |
| 4 Выбор силовых трансформаторов..... | 32 |
| 5 Выбор оборудования..... | 34 |
| 5.1 Выбор сечений проводников распределительной сети..... | 34 |
| 5.2 Выбор автоматических выключателей..... | 37 |
| 5.3 Выбор трансформаторов тока..... | 41 |
| 6 Расчет токов короткого замыкания..... | 42 |
| 6.1 Расчет токов трехфазного КЗ..... | 43 |
| 6.2 Расчет токов двухфазного КЗ..... | 45 |
| 7 Проверка выбранных сечений проводников и аппаратов..... | 48 |
| 7.1 Проверка на динамическую устойчивость..... | 48 |
| 7.2 Проверка по отключающей способности..... | 49 |
| Заключение..... | 50 |
| Список используемых источников..... | 51 |

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика – одна из наиболее важных отраслей энергетики, которая включает в себя комплекс экономических отношений Российской Федерации. Энергосистема РФ – Единая энергетическая система (ЕЭС) России включает в себя семь объединенных энергосистем.

Ключевыми потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, которые обеспечивают рост, развитие и укрепление экономики России. Для их нормального функционирования необходимо надежное и бесперебойное питание. Для поддержания требуемого режима работы сети необходимо применять рациональные схемы электроснабжения предприятий и цехов.

К одной из ведущих отраслей России и города Тольятти в частности относится химическая промышленность. В экономике РФ она занимает 4 место по количеству основных фондов, уступая только топливно-энергетическому комплексу, металлургии и машиностроению. Большинство электрооборудования в данной отрасли относится к I и II категории надежности, а это значит, что оно требует выполнения особых требований электроснабжения.

Одним из ведущих предприятий в этой отрасли является ПАО «Сибур» – крупнейшая нефтехимическая компания России. «Сибур» производит и реализует нефтехимическую продукцию на отечественном и международном рынках в двух сегментах:

- Олефины, полиолефины (полиэтилен, полипропилен, БОПП и другие);
- пластики, эластомеры и промежуточные продукты (синтетические каучуки, пенополистирол, ПЭТ и другие).

Системы электроснабжения, электрооборудование и электрохозяйство этой отрасли должны проектироваться с учетом требований ПУЭ, а также пожаро- и взрывоопасности технологического процесса.

Целью ВКР является обеспечение надежного и бесперебойного питания цеха БК-4 ПАО «Сибур».

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- выполнить расчет ожидаемых нагрузок;
- осуществить выбор мощности и количества силовых трансформаторов;
- произвести расчет токов короткого замыкания;
- выполнить выбор электрооборудования с учётом категории надежности и произвести его проверку.

1 Характеристика объекта

Как было сказано выше, объектом проектирования для ВКР выбран цех БК-4, расположенный на территории ПАО «Сибур», географическое положение которого изображено на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Географическое положение ПАО «Сибур»

Энергоснабжение данного предприятия происходит от четырех главных понизительных подстанций ОРУ 110/6 кВ, которые питают, расположенные на территории завода, распределительные подстанции (РП) 6 кВ. РП в свою очередь распределяют электроэнергию между цеховыми, распределительными пунктами. Таким образом, комплектная низковольтная трансформаторная подстанция, питающая цех БК-4, запитывается от подстанции №30 6 кВ, которая получает питание от ГПП-2 и ГПП-3.

В данном цехе происходит получение изобутилена, путем высокотемпературных воздействий на различные углеводы. Твердые полимеры, получаемые из изобутилена, являются основой для производства бутилкаучука, а сам изобутилен применяется для создания жидкого топлива с высоким октановым числом. При взаимодействии с воздухом изобутилен образует взрывоопасную и легко воспламеняющуюся смесь.

Оборудование, находящееся в цеху БК-4, производит выделение из изобутиленсодержащих отходов изобутилен высокой чистоты. Из вышеперечисленных условий, следует довольно логичное умозаключение, а именно то, что цех БК-4 является взрывоопасным и потребители электроэнергии цеха относятся к I категории надежности электроснабжения потребителя.

На все электродвигатели (ЭД) установлены устройства защиты, выполненные в виде мониторов тока двигателя (МТД). «Они предназначены для мониторинга и защиты ЭД от недопустимых перегрузок асинхронных двигателей. МТД позволяет выставить время срабатывания и реагирует на:

- превышение номинального тока;
- перегрузка недопустимой продолжительности;
- недогрузка по току или обрыв фазы по току» [9].

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок производится для определения допустимых рабочих токов [19]. По полученным в ходе расчета данным согласно таблицам из ПУЭ, выбираются кабели с необходимым сечением по условиям протекания длительно допустимых токов, автоматические, секционные и вводные выключатели, устройства защиты.

В цехе БК-4 нет электроприемников с резкопеременным или импульсным режимом работы и технологический процесс отлажен и не имеет случайной структуры графиков нагрузок.

Расчет начинается с наименьшего узла сети – щит силового управления (ЩСУ). Составляется таблица с наименованием узла, в которой указываются электроприемники с номинальной мощностью, взятой из паспортных данных. Далее расчет производится в следующем порядке:

1. По справочным данным заполняются:
 - значения столбца коэффициента использования $K_{И}$;
 - номинальная мощность каждого электроприемника P_H ;
 - значения $\cos\varphi$ по которому определяется $\operatorname{tg}\varphi$ для каждого ЭП.
2. Рассчитывается средняя активная нагрузка по формуле 2.1:

$$P_C = K_{И} \cdot P_H, \quad (2.1)$$

где P_C - средняя активная нагрузка, кВт; $K_{И}$ - коэффициент использования электрооборудования, определяемый по справочным данным; P_H - мощность одного электроприемника, кВт [7].

3. Рассчитывается средняя реактивная нагрузка по формуле 2.2:

$$Q_C = K_{И} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.2)$$

где Q_c - средняя реактивная нагрузка, кВар; K_{II} - коэффициент использования электрооборудования; $tg \varphi$ - коэффициент мощности, определяемый по справочным данным.

4. Определяется эффективное количество электроприемников m : если $m < 3$, то n_e принимается равным фактическому числу электроприемников, если же $m > 3$, то n_e определяется по формуле 2.3:

$$n_e = \frac{2 \cdot P_{\Sigma}}{P_{n \text{ наиб}}}, \quad (2.3)$$

где n_e - эффективное число электроприемников, шт; P_{Σ} - суммарная цеховая мощность электроприемников, кВт; P_{max} - максимальная мощность электроприемника кВт [7].

5. Величина m , влияющая на метод расчета эффективного числа электроприемников рассчитывается по формуле 2.4:

$$m = \frac{P_{n \text{ наиб}}}{P_{n \text{ наим}}}, \quad (2.4)$$

где $P_{n \text{ наиб}}$ и $P_{n \text{ наим}}$ - номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников в группе, кВт [7].

6. Расчетная активная нагрузка определяется по формуле 2.5:

$$P_p = K_{ма} \cdot \Sigma P_c, \quad (2.5)$$

где ΣP_c - расчетная нагрузка группы электроприемников; $K_{ма}$ - коэффициент максимума на шинах низкого напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ. Значение $K_{ма}$ определяется по справочникам. В данном случае $K_{ма} = 1,14$ [7].

7. Расчетная реактивная мощность определяется по формуле 2.6:

$$Q_p = K_{mp} \cdot \Sigma Q_c, \quad (2.6)$$

где Q_p - расчетная реактивная мощность, кВар; K_{mp} - коэффициент максимума реактивной мощности. При $n_9 = 13$, значение принимается равным $K_{mp} = 1$ [7].

8. Расчетная полная мощность определяется по формуле 2.7:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.7)$$

где S_p – расчетная полная мощность, кВА [7].

9. Токовая расчетная нагрузка определяется по формуле 2.8:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.8)$$

где U_H – номинальное напряжение [7].

Покажем расчет на примере насоса ВАО-72-2. Его номинальная мощность составляет $P_H = 30$ кВт. Исходя из справочных данных: $K_H = 0,7$; $\cos \varphi = 0,9$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,48$.

По формуле 2.1 и 2.2 определим среднюю активную и среднюю реактивную нагрузки:

$$P_C = 0,7 \cdot 30 = 21 \text{ кВт}.$$

$$Q_C = 0,7 \cdot 30 \cdot 0,48 = 10,17 \text{ квар}.$$

Аналогичным способом рассчитываются остальные электроприемники, результат заносится в таблицу 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Расчет нагрузок первого ввода ЩСУ 1

| 1 | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка ЭО | Pн, кВт | cosφ | m | Ки | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | Кма/Кмр | Расчетная нагрузка | | | Ip, А |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------|---------|------|-----|------|------|------------------|----------|----|---------|--------------------|----------|---------|-------|
| | | | | | | | | Pс, кВт | Qс, квар | | | Pр, кВт | Qр, квар | Sp, кВА | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | |
| Насос | Н-37/1 | BAO-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-39/1 | BAO-72-2 | 30 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 21,00 | 10,17 | | | | | | |
| Насос | Н-66 | BAO-72-2 | 30 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 21,00 | 10,17 | | | | | | |
| Насос | Н-70а/2 | BAO-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-107/1 | BAO-72-2 | 30 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 21,00 | 10,17 | | | | | | |
| Насос | Н-112/1 | BAO-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-243 | BAO-071-4 | 0,27 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 0,19 | 0,10 | | | | | | |
| Насос | Н-5а/1 | BA-132M-2 | 11 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 7,70 | 3,73 | | | | | | |
| Насос | Н-124/1 | BAO-51-2 | 10 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 7,00 | 3,78 | | | | | | |
| Насос | Н-141/1 | BA-200L-2 | 45 | 0,89 | | 0,7 | 0,51 | 31,50 | 16,14 | | | | | | |
| Насос | Н-141/4 | BAO-81-2 | 40 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 28,00 | 13,56 | | | | | | |
| Вентсистема | П-12/2 | 4А-112М-4 | 5,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 4,13 | 2,45 | | | | | | |
| Вентсистема | П-13/2 | 4А-80В-4 | 1,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 1,13 | 0,84 | | | | | | |
| Вентсистема | В-6а/2 | BAO-72-6 | 22 | 0,88 | | 0,75 | 0,54 | 16,50 | 8,91 | | | | | | |
| Вентсистема | В-8/1 | BA-160S-8 | 7,5 | 0,7 | | 0,75 | 1,02 | 5,63 | 5,74 | | | | | | |
| Вентсистема | AB-3 | BAO-62-8 | 10 | 0,77 | 167 | 0,75 | 0,83 | 7,50 | 6,21 | | | | | | |
| Вентсистема | B3-1 | 4А-100L-4 | 4 | 0,83 | | 0,75 | 0,67 | 3,00 | 2,02 | | | | | | |
| | Итого на ввод I | | 285,77 | | ≥3 | 0,71 | 0,54 | 202,56 | 108,72 | 13 | 1,14/1 | 230,92 | 108,72 | 255,24 | 375,3 |

Таблица 2.2 – Расчет нагрузок второго ввода ЩСУ 1

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | Р, кВт | cosφ | m | Ки | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | Кма/Кмр | Расчетная нагрузка | | | Iр, А |
|--------------------------|----------------------------------|--|--------|------|-----|------|------|------------------|----------|----|---------|--------------------|----------|---------|--------|
| | | | | | | | | Рс, кВт | Qс, квар | | | Pr, кВт | Qр, квар | Sp, кВА | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Эл.движка | Э/3-1 пожарной системы | ВАОА-13-4 | 1,5 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,30 | 0,22 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-2 пожарной системы | ВАОА-13-4 | 1,5 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,30 | 0,22 | | | | | | |
| Грузоподъемные механизмы | Подъемник | АОЛ-21-4 | 3,2 | 0,8 | | 0,2 | 0,75 | 0,64 | 0,48 | | | | | | |
| Насос | Н-37/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-39/2 | ВАО-72-2 | 30 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 21,00 | 10,17 | | | | | | |
| Насос | Н-70а/1 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-78 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-91 | ВАО-62-2 | 17 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 11,90 | 5,76 | | | | | | |
| Насос | Н-94а | ВАО-62-2 | 17 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 11,90 | 5,76 | | | | | | |
| Насос | Н-107/2 | ВАО-72-2 | 30 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 21,00 | 10,17 | | | | | | |
| Насос | Н-112/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-5а/2 | ВА-132М-2 | 11 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 7,70 | 3,73 | | | | | | |
| Насос | Н-141/2 | ВА-200L-2 | 45 | 0,89 | | 0,7 | 0,51 | 31,50 | 16,14 | | | | | | |
| Насос | Н-141/3 | ВАО-81-2 | 40 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 28,00 | 13,56 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-5 пенотушения | В-63В-4 | 0,37 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,07 | 0,05 | | | | | | |
| Вентсистема | П-12/1 | 4А-112М-4 | 5,5 | 0,83 | | 0,75 | 0,67 | 4,13 | 2,77 | | | | | | |
| Вентсистема | П-13/1 | 4А-80В-4 | 1,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 1,13 | 0,84 | | | | | | |
| Вентсистема | В-6а/1 | ВАО-72-6 | 22 | 0,88 | 122 | 0,75 | 0,54 | 16,50 | 8,91 | | | | | | |
| Вентсистема | В-8/2 | АИММ-100L-4 | 4 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 3,00 | 2,09 | | | | | | |
| Итого на ввод 2 | | | 281,57 | | ≥3 | 0,69 | 0,51 | 195,46 | 100,53 | 13 | 1,14/1 | 222,83 | 100,53 | 244,46 | 359,49 |

Расчетная нагрузка и ток ЩСУ-1 будет находиться путем сложения итоговых данных полученных в таблице 2.1 и таблице 2.2:

Сумма расчетной активной нагрузки:

$$\sum P_p = 230,92 + 222,83 = 453,75 \text{ кВт.}$$

Сумма реактивных расчетных мощностей:

$$\sum Q_p = 108,72 + 100,53 = 209,25 \text{ квар.}$$

Сумма расчетных полных мощностей:

$$\sum S_p = 255,24 + 244,46 = 499,69 \text{ кВА.}$$

Сумма токов

$$\sum I_p = 375,35 + 359,49 = 734,84 \text{ А.}$$

Данные для распределительных устройств, питающих один электроприемник, будут находиться по следующим формулам: Расчетная полная мощность для насосов будет вычисляться по формуле 2.10:

$$I_p = \frac{P_p}{\cos\varphi}, \quad (2.10)$$

Расчетный ток для насосов будет вычисляться по формуле 2.11:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (2.11)$$

Данные о нагрузке I и II секции приведены в таблице 2.3 и 2.4 соответственно.

Таблица 2.3 – Расчет нагрузки на секции I

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P, кВт | $\cos\varphi$ | η (КПД) | Sр,кВА | Iр, А |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------|--------------|--------|--------|
| Насос | Н-247 вакуумный насос | АОЗ-400S-12 | 110 | 0,77 | 0,9 | 143 | 233,5 |
| Насос | Н-132/1 пожарной системы | 4АН-280S-4 | 132 | 0,88 | 0,9 | 150 | 245,1 |
| Без учёта ЩСУ и освещения | | | | | | 293 | 478,52 |
| Итого на секцию | | | | | | 426 | |

Таблица 2.4 – Расчет нагрузки на секции II

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P, кВт | $\cos\varphi$ | η (КПД) | Sр,кВА | Iр, А |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------|--------------|--------|--------|
| Насос | Н-2/2 | КО-51-2 | 70 | 0,88 | 0,9 | 79,55 | 129,97 |
| Насос | Н-2/1 | КО-51-2 | 70 | 0,88 | 0,9 | 79,55 | 129,97 |
| Насос | Н-132/2 пожарной системы | 4АН-280S-4 | 132 | 0,88 | 0,9 | 150,00 | 245,10 |
| Без учёта ЩСУ и освещения | | | | | | 309,1 | 505,05 |
| Итого на секцию | | | | | | 449 | |

Расчёт III и IV секции КНТП-2 с учетом ЩСУ и освещения производился аналогично расчету I и II секции КНТП-1. Данные по нагрузке приведены в таблице 2.9 и 2.10 для III и IV секции соответственно. Расчет ЩСУ-2 и ЩСУ3 приведены в таблице 2.5, 2.6 и 2.7, 2.8 соответственно.

Таблица 2.5 – Расчет нагрузок первого ввода ЩСУ-2

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P _н , кВт | cos | m | К _и | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | К _{ма} /К _{мр} | Расчетная нагрузка | | S _p , кВА | I _p , А |
|-------------|----------------------------------|--|----------------------|------|-----|----------------|------|----------------------|-----------------------|----|----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | | | | | | P _с , кВт | Q _с , квар | | | P _p , кВт | Q _p , квар | | |
| Насос | Н-151 | ВАО-41-2 | 5,5 | 0,89 | | 0,7 | 0,51 | 3,85 | 1,97 | | | | | | |
| Насос | Н-20/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-25/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-41/1 | В-100S-2 | 4 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 2,80 | 1,51 | | | | | | |
| Насос | Н-128/1 | ВАО-21-4 | 1,1 | 0,86 | | 0,7 | 0,59 | 0,77 | 0,46 | | | | | | |
| Насос | Н-47/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-48а/1 | АИММ-100S-2 | 4 | 0,87 | | 0,7 | 0,57 | 2,80 | 1,59 | | | | | | |
| Насос | Н-52/2 | ВАО-82-2 | 55 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 38,5 | 18,65 | | | | | | |
| Насос | Н-52/2 новый | ВА-160S-2 | 15 | 0,7 | | 0,7 | 1,02 | 10,5 | 10,71 | | | | | | |
| Насос | Н-59/1 | ВА-132М-2 | 11 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 7,7 | 3,73 | | | | | | |
| Насос | Н-59/2 | АИМ-132М-2 | 11 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 7,7 | 3,73 | | | | | | |
| Насос | Н-60/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,1 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-85/1 | ВАО-62-2 | 17 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 11,9 | 5,76 | | | | | | |
| Насос | Н-117/1 (нов) | АИММ-160S-2 | 15 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 10,5 | 5,67 | | | | | | |
| Насос | Н-124/2 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,1 | 4,91 | | | | | | |
| Вентсистема | В-7а | АИММ-63В-2 | 0,55 | 0,82 | 100 | 0,75 | 0,70 | 0,41 | 0,29 | | | | | | |
| Итого | | | 204,15 | | | 0,70 | | 142,93 | 78,62 | 7 | 1,18/1 | 168,66 | 78,62 | 186,09 | 273,7 |

Таблица 2.6 – Расчет нагрузок второго ввода ЩСУ-2

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P _н , кВт | cos | m | К _и | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | К _{ма/К_{мп}} | Расчетная нагрузка | | S _р , кВА | I _р , А |
|-----------|----------------------------------|--|----------------------|------|---------|----------------|------|----------------------|-----------------------|----|--------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | | | | | | P _с , кВт | Q _с , квар | | | P _р , кВт | Q _р , квар | | |
| Насос | Н-20/1 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-25/1 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-35 | ВАО-41-2 | 5,5 | 0,89 | | 0,7 | 0,51 | 3,85 | 1,97 | | | | | | |
| Насос | Н-41/2 | В-90В-2 | 3 | 0,85 | | 0,7 | 0,62 | 2,10 | 1,30 | | | | | | |
| Насос | Н-128/2 | ВАО-21-4 | 1,1 | 0,86 | | 0,7 | 0,59 | 0,77 | 0,46 | | | | | | |
| Насос | Н-47/1 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-48а/1 | АИММ-100S-2 | 4 | 0,87 | | 0,7 | 0,57 | 2,80 | 1,59 | | | | | | |
| Насос | Н-52/1 | ВАО-82-2 | 55 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 38,50 | 18,65 | | | | | | |
| Насос | Н-59/1 | ВА-132М-2 | 11 | 0,82 | | 0,7 | 0,70 | 7,70 | 5,37 | | | | | | |
| Насос | Н-59/2 | АИМ-132М-2 | 11 | 0,82 | | 0,7 | 0,70 | 7,70 | 5,37 | | | | | | |
| Насос | Н-60/1 | ВАО-52-2 | 13 | 0,88 | | 0,7 | 0,54 | 9,10 | 4,91 | | | | | | |
| Насос | Н-85/2 | ВАО-62-2 | 17 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 11,90 | 5,76 | | | | | | |
| Насос | Н-85/3 | ВАО-62-2 | 17 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 11,90 | 5,76 | | | | | | |
| Насос | Н-110 | ВАО-51-6 | 5,5 | 0,9 | | 0,7 | 0,48 | 3,85 | 1,86 | | | | | | |
| Насос | Н-117/2 (нов) | АИММ-160S-2 | 15 | 0,81 | | 0,7 | 0,72 | 10,50 | 7,60 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-1 пожарной системы | ВАОА-13-4 | 1,5 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,30 | 0,22 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-2 пожарной системы | ВАОА-13-4 | 1,5 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,30 | 0,22 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-3 пожарной системы | В-63В-4 | 0,37 | 0,81 | | 0,2 | 0,72 | 0,07 | 0,05 | | | | | | |
| Эл.движка | Э/3-4 пожарной системы | В-63В-4 | 0,37 | 0,81 | 14 9 | 0,2 | 0,72 | 0,07 | 0,05 | | | | | | |
| | | | 200,84 | | | 0,69 | | 138,72 | 75,89 | 8 | 1,2/1 | 166,461 6 | 75,89 | 182,95 | 269,04 |

Таблица 2.7 - Первый ввод ЩСУ-3

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | Pн, кВт | cos | m | Ки | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | Кма/Кмр | Расчетная нагрузка | | | Iр, А |
|-------------|----------------------------------|--|---------|------|----|------|------|------------------|----------|----|---------|--------------------|----------|---------|--------|
| | | | | | | | | Pс, кВт | Qс, квар | | | Pр, кВт | Qр, квар | Sр, кВА | |
| Вентсистема | П-1/2 | АО2-52-6 | 7,5 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 5,63 | 3,93 | | | | | | |
| Вентсистема | П-2/2 | 4А-90L-4 | 3 | 0,81 | | 0,75 | 0,72 | 2,25 | 1,63 | | | | | | |
| Вентсистема | П-2а/2 | 4АА-80А-6 | 1,1 | 0,74 | | 0,75 | 0,91 | 0,83 | 0,75 | | | | | | |
| Вентсистема | П-3/2 | 4А-100L-4 | 4 | 0,83 | | 0,75 | 0,67 | 3,00 | 2,02 | | | | | | |
| Вентсистема | П-4/2 | АО2-52-6 | 7,5 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 5,63 | 3,93 | | | | | | |
| Вентсистема | П-5/2 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | П-6/2 | ВАО-42-4 | 5,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 4,13 | 2,45 | | | | | | |
| Вентсистема | П-7/2 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| Вентсистема | П-8/2 | В-71В-4 | 0,75 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 0,56 | 0,42 | | | | | | |
| Вентсистема | П-9/2 | В-90L-4 | 2,2 | 0,79 | | 0,75 | 0,78 | 1,65 | 1,28 | | | | | | |
| Вентсистема | П-11 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | П-14/1 | В-63А-4 | 0,25 | 0,67 | | 0,75 | 1,11 | 0,19 | 0,21 | | | | | | |
| Вентсистема | В-2/2 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| Вентсистема | В-3/1 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | АВ-1 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | 30 | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| | | | 76,8 | | 3 | 0,75 | | 57,60 | 39,27 | 20 | 1,11/1 | 63,94 | 39,27 | 75,04 | 110,35 |

Таблица 2.8 - Второй ввод ЦСУ-3

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P _н , кВт | cos | m | Ки | tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | К _{ма} /К _{мр} | Расчетная нагрузка | | | I _p , А |
|-------------|----------------------------------|--|----------------------|------|----|------|------|----------------------|-----------------------|----|----------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | | | | | | P _с , кВт | Q _с , квар | | | P _p , кВт | Q _p , квар | S _p , кВА | |
| Вентсистема | П-1/1 | АО2-52-6 | 7,5 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 5,63 | 3,93 | | | | | | |
| Вентсистема | П-2/1 | 4А-100S-4 | 3 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 2,25 | 1,69 | | | | | | |
| Вентсистема | П-2а/1 | 4АМ-80В-4 | 1,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 1,13 | 0,84 | | | | | | |
| Вентсистема | П-3/1 | АОЛ2-52-6 | 7,5 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 5,63 | 3,93 | | | | | | |
| Вентсистема | П-4/1 | АО2-52-6 | 7,5 | 0,82 | | 0,75 | 0,70 | 5,63 | 3,93 | | | | | | |
| Вентсистема | П-5/1 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | П-6/1 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| Вентсистема | П-7/1 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| Вентсистема | П-8/1 | ВАО-12-4 | 0,8 | 0,75 | | 0,75 | 0,88 | 0,60 | 0,53 | | | | | | |
| Вентсистема | П-9/1 | В-90L-4 | 2,2 | 0,79 | | 0,75 | 0,78 | 1,65 | 1,28 | | | | | | |
| Вентсистема | П-10 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | П-14/2 | В-63А-4 | 0,25 | 0,67 | | 0,75 | 1,11 | 0,19 | 0,21 | | | | | | |
| Вентсистема | В-2/1 | ВАО-51-4 | 7,5 | 0,86 | | 0,75 | 0,59 | 5,63 | 3,34 | | | | | | |
| Вентсистема | В-3/2 | ВАО-52-6 | 7,5 | 0,8 | | 0,75 | 0,75 | 5,63 | 4,22 | | | | | | |
| Вентсистема | В-7 | АИММ-63В-2 | 0,55 | 0,85 | | 0,75 | 0,62 | 0,41 | 0,26 | | | | | | |
| Вентсистема | АВ-2 | ВАО-62-8 | 10 | 0,77 | 30 | 0,75 | 0,83 | 7,50 | 6,21 | | | | | | |
| | | | 85,8 | | 3 | 0,68 | | 58,73 | 45,47 | 23 | 1,1/1 | 64,60 | 45,47 | 78,99 | 116,17 |

Таблица 2.9 – Рассчет нагрузки на секции III

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P, кВт | $\cos\varphi$ | η (КПД) | Sp,кВА | Ip, А |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------|--------------|--------|----------|
| Насос | Н-99/1 | НAR-315SA-2 | 110 | 0,91 | 0,94 | 120,88 | 189,11 |
| Насос | Н-17/2 | КО-52-2 | 100 | 0,91 | 0,91 | 109,89 | 177,5858 |
| Без учёта ЩСУ и освещения | | | | | | 230,77 | 366,7 |
| Итого на секцию | | | | | | 492,77 | |

21

Таблица 2.10 – Рассчет нагрузки на секции IV

| Подгруппа | Наименование и № технол. оборуд. | Наименование, тип, марка электрооборудования | P, кВт | $\cos\varphi$ | η (КПД) | Sp,кВА | Ip, А |
|---------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------|--------------|--------|----------|
| Насос | Н-99/2 | НAR-315SA-2 | 110 | 0,91 | 0,94 | 120,88 | 189,11 |
| Насос | Н-17/1 | КО-52-2 | 100 | 0,91 | 0,91 | 109,89 | 177,5858 |
| Без учёта ЩСУ и освещения | | | | | | 230,77 | 366,7 |
| Итого на секцию | | | | | | 492,77 | |

3 Расчет освещения и выбор светильников

Освещенность рабочего места очень важна, она влияет как на самочувствие, так и на работоспособность персонала. Завод является местом повышенной травмоопасности, большинство несчастных случаев на производстве происходит из-за недостаточной освещенности. Рациональное и правильно спроектированное и установленное освещение поможет уменьшить или вообще исключить травмоопасные ситуации для персонала. Поэтому важно следовать указаниям соответствующих нормативных документов.

Расчет количества необходимых светильников для освещения определяется с помощью специальной программы, а именно: «DIALux Light».

Для произведения расчетов, необходимо знать: высоту, ширину, длину помещения, а так же для чего оно используется. Данные, которые приведены ниже, нормируются ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [3].

Освещенность в помещении определяется исходя из следующих параметров:

- $E_{\text{ср}}$ – установленная санитарная норма освещенности для помещений согласно СП, лк [6];
- $E_{\text{экс}}$ – эксплуатационная нормированная освещенность, минимальное допустимое значение $E_{\text{ср}}$ на заданной поверхности, лк;
- U_0 – равномерность освещенности, принимается равному отношению $E_{\text{экс}}$ к $E_{\text{ср}}$ на заданной поверхности;
- UGR – объединенный показатель дискомфорта;
- R_a – общий индекс цветопередачи;
- $K_{\text{п}}$ – коэффициент пульсации, %.

Нормы, для рассматриваемых помещений, приведены в таблице 2.1.

Таблица 3.1 – Нормы освещенности для помещений

| Наименование помещения | $E_{\text{экс}}$, лк | U_0 , не менее | UGR не более | R_a , не менее | $K_{\text{п}}$, не более |
|---|--------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|
| Производственные процессы химического предприятия с частичным применением труда | 150 | 0,4 | 28 | 40 | - |
| Электротехнические помещения | 200 | 150 | 28 | 40 | - |
| Лестницы | 100 | 0,4 | 25 | 40 | - |
| Склады и кладовые | 100 | 0,4 | 25 | 60 | - |

Для каждого помещения вводятся коэффициент отражения, коэффициент характеризующий способность поверхности отражать падающий на него свет.

Коэффициент отражения для каждой поверхности примем равным:

- Потолок – 50%;
- стены – 30%;
- пол – 10%.

Вышеперечисленные данные необходимо занести в расчетную программу проектирования осветительных установок в помещениях для получения верных результатов.

В производственных помещениях работа происходит только с некоторой разовой загрузкой материала, без действий, требующих точных действий или контроля каких-либо параметров. В данном случае применяется система общего равномерного освещения, где при размещении осветительных установок не происходит учёт расположенного оборудования на производственной площадке.

При расчете помещений используются светодиодные светильники:

- SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K – для помещений менее 8 метров [10];
- ATLAS LED 100 Ex – для помещений от 8 метров и больше [10].

Светильники были выбраны взрывозащищенные, для освещения взрывоопасных зон всех классов помещений.

Для наглядности Насосная 2 будет рассчитываться ниже более подробно:

Размеры помещения $A \times B \times H = 11,36 \times 18 \times 8,80$ м. Площадь данного помещения рассчитаем по формуле 3.1:

$$S = A \cdot B = 11,36 \cdot 18 = 204,48. \quad (3.1)$$

Индекс помещения будет находиться по формуле 3.2:

$$I = \frac{S}{(H1 - h2) \cdot (A + B)}, \quad (3.2)$$

где $H1$ – высота цеха, уменьшенная на один метр, м; $h2$ – высота рабочей поверхности, принимается равной 0,8 м.

$$I = \frac{204,48}{(8,08 - 1 - 0,8) \cdot (11,36 + 18)} = 1,11.$$

Количество светильников определяется по формуле 3.3:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Kз}{\eta \cdot n \cdot \Phi л}, \quad (3.3)$$

где E – требуемое горизонтальное освещение, лк; S – площадь цеха, m^2 ; η – коэффициент использования; $Kз$ – коэффициент запаса; n – количество ламп в светильнике, шт; $\Phi л$ – световой поток одной лампы, лм [3].

Исходя из принятых допущений, принимаем $E=150$ лк, $\eta=0,63$, $Kз=1,5$, $\Phi л=9000$ лм.

Определим количество светильников:

$$N = \frac{150 \cdot 204,48 \cdot 1,5}{0,63 \cdot 1 \cdot 9000} = 8 \text{шт.}$$

Рассчитаем активную и реактивную мощность освещения по формулам 3.4 и 3.5 соответственно.

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} = 8 \cdot 1 \cdot 101 = 0,808 \text{кВт}, \quad (3.4)$$

где $P_{л}$ – мощность светильника [7].

Реактивная мощность будет находиться из формулы 3.5:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \varphi = 0,808 \cdot 0,2 = 0,16 \text{квар} \quad (3.5)$$

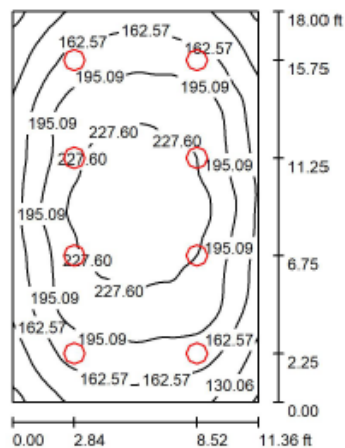
где $\text{tg} \varphi$ - среднее значение тангенса для всего оборудования.

Полная мощность будет находиться из формулы 3.6:

$$S = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} = \sqrt{0,808^2 + 0,16^2} = 0,824 \text{кВА}. \quad (3.6)$$

Результаты остальных помещений, произведенных в приложении «DIALux Light» и показаны наглядно на рисунках 3.1-3.4:

Насосная 2



Высота помещения: 8.800 ft
Кэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб 1:71

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [fc] | E_{min} [fc] | E_{max} [fc] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 188 | 89 | 248 | 0.472 |
| Полы | 10 | 175 | 93 | 234 | 0.533 |
| Потолок | 50 | 17 | 11 | 21 | 0.676 |
| Стенки (4) | 30 | 65 | 11 | 183 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.341, Потолок / Рабочая плоскость: 0.090.

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 0.00%.

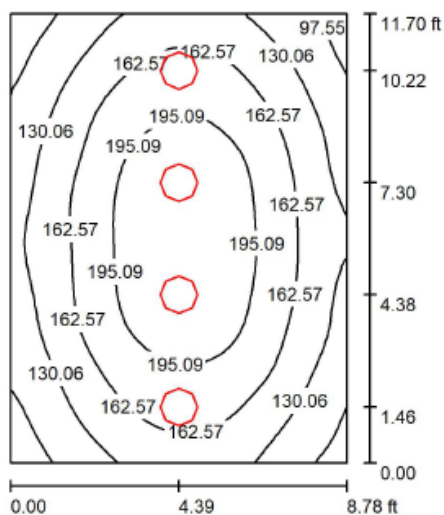
Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|---|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 8 | LIGHTINGTECHNOLOGIES 4585000060 ATLAS LED 100 Ex (1.000) | 9000 | 9000 | 101.0 |
| | | | Всего: 72000 | Всего: 72000 | 808.0 |

Удельная подсоединенная мощность: 3.95 W/sq ft = 0.21 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 204.48 sq ft)

Рисунок 3.1 – Результат по помещению «Насосная 2»

Катализаторное отделение



Высота помещения: 8.800 ft,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
1:46

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [fc] | E_{min} [fc] | E_{max} [fc] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 160 | 83 | 226 | 0.521 |
| Полы | 10 | 145 | 83 | 195 | 0.575 |
| Потолок | 50 | 14 | 9.53 | 18 | 0.683 |
| Стенки (4) | 30 | 58 | 8.94 | 391 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.800 ft
Растр: 32 x 32 Точки
Краявая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.362, Потолок / Рабочая плоскость: 0.087.

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 0.00%.

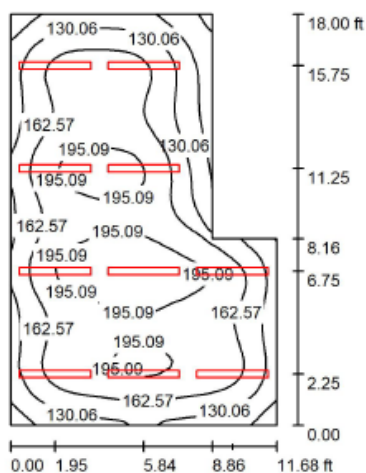
Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|---|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 4 | LIGHTINGTECHNOLOGIES 4585000060 ATLAS LED 100 Ex (1.000) | 9000 | 9000 | 101.0 |
| | | | Всего: 36000 | Всего: 36000 | 404.0 |

Удельная подсоединенная мощность: 3.93 W/sq ft = 0.25 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 102.73 sq ft)

Рисунок 3.2 – Результат по помещению катализаторного отделения

Помещение



Высота помещения: 4.700 ft,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
1:71

| Поверхность | ρ [%] | $E_{\text{ср}}$ [fc] | E_{min} [fc] | E_{max} [fc] | $E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$ |
|-------------------|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Рабочая плоскость | / | 162 | 60 | 219 | 0.368 |
| Полы | 10 | 146 | 62 | 192 | 0.423 |
| Потолок | 50 | 40 | 18 | 83 | 0.460 |
| Стенки (6) | 30 | 95 | 32 | 228 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
Растр: 64 x 64 Точки
Краевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.605, Потолок / Рабочая плоскость: 0.246.

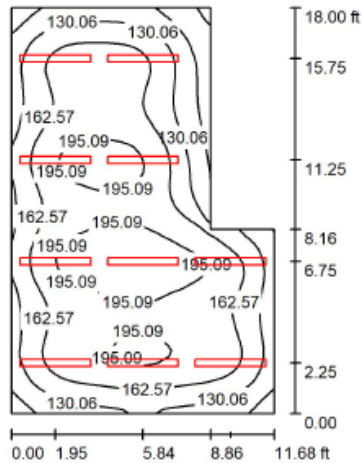
Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 11.62%.

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|--|---------------------|----------------|-------|
| 1 | 10 | LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000360 SLICK.OPL LED 50 Eх 5000K (1.000) | 5801 | 5801 | 49.0 |
| | | | Всего: 58010 | Всего: 58010 | 490.0 |

Удельная подсоединенная мощность: 2.68 W/sq ft = 0.17 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 182.50 sq ft)

Рисунок 3.3 – Результат по помещению компрессорного отделения



Высота помещения: 4.700 ft,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
 1:71

| Поверхность | ρ [%] | $E_{\text{ср}}$ [fc] | E_{min} [fc] | E_{max} [fc] | $E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$ |
|-------------------|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Рабочая плоскость | / | 162 | 60 | 219 | 0.368 |
| Полы | 10 | 146 | 62 | 192 | 0.423 |
| Потолок | 50 | 40 | 18 | 83 | 0.460 |
| Стенки (6) | 30 | 95 | 32 | 228 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.605, Потолок / Рабочая плоскость: 0.246.

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 11.62%.

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|--|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 10 | LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000360 SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K (1.000) | 5801 | 5801 | 49.0 |
| | | | Всего: 58010 | Всего: 58010 | 490.0 |

Удельная подсоединенная мощность: 2.68 W/sq ft = 0.17 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 182.50 sq ft)

Рисунок 3.4 – Результат по помещению РП-1

Остальные помещения рассчитывались аналогично, а данные для простоты восприятия занесены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Полученные значения освещенности.

| Помещение | Е _{сп} , лк | Е _{min} , лк | Е _{max} , лк | Е _{min} / Е _{сп} |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Насосная 1 | 192 | 80 | 257 | 0,41 |
| Насосная 2 | 188 | 89 | 248 | 0,47 |
| РП-1 | 162 | 60 | 219 | 0,38 |
| РП-2 | 179 | 105 | 226 | 0,59 |
| Компрессорное отделение | 158 | 62 | 219 | 0,39 |
| Трансформаторная - 1 | 162 | 60 | 219 | 0,38 |
| Трансформаторная - 2 | 179 | 105 | 226 | 0,59 |
| Вентиляционная система-1 | 192 | 80 | 257 | 0,41 |
| Вентиляционная система-2 | 188 | 89 | 248 | 0,47 |
| Катализаторное отделение | 160 | 83 | 226 | 0,52 |
| Операторная | 165 | 71 | 230 | 0,43 |

В случае непредвиденных аварийных ситуаций, для обеспечения безопасной эвакуации обслуживающего персонала, необходимо аварийное освещение, которое относится к 1 категории надежности электроснабжения [1]. Цех относится к 1 категории надежности, электроснабжения и всё освещение секционируется, то есть имеет два независимых источника питания. Поэтому дополнительных приборов освещения не требуется.

Мощность, требуемая для освещения, приведена в таблице 3.3:

Таблица 3.3 – Мощность, требуемая для освещения

| Помещение | Активная мощность, Р, кВт | Реактивная мощность, Q, квар | Полная мощность S, кВА |
|------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Насосная 1 | 1,62 | 0,324 | 1,652082 |
| Насосная 2 | 0,808 | 0,1616 | 0,824002 |
| РП-1 | 0,49 | 0,098 | 0,499704 |
| РП-2 | 0,196 | 0,0392 | 0,199882 |

Продолжение таблицы 3.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|-------|--------|----------|
| Компрессорное отделение | 1,212 | 0,2424 | 1,236002 |
| Трансформаторная - 1 | 0,49 | 0,098 | 0,499704 |
| Трансформаторная - 2 | 0,196 | 0,0392 | 0,199882 |
| Вентиляционная система-1 | 0,49 | 0,098 | 0,499704 |
| Вентиляционная система-2 | 0,196 | 0,0392 | 0,199882 |
| Катализаторное отделение | 0,404 | 0,0808 | 0,412001 |
| Операторная | 0,588 | 0,118 | 0,599 |
| Остальное | 1 | 0,2 | 1,02 |
| Итого | 7,7 | 1,54 | 7,84 |

4 Выбор силовых трансформаторов

Для расчета мощностей трансформаторов используется суммарная мощность лишь части электродвигателей, так как одновременное включение двигателей, которые резервируют друг друга не предусмотрено.

В цеху подавляющим большинством электроприемников являются насосы и вентиляторы. По надежности электроснабжения цех относится к I категории и из этого следует, что необходимо обеспечить два источника питания. Следовательно, из вышеперечисленных условий к установке принимаем два трансформатора.

К установке принимаем сухие трансформаторы, так как они подходят по ряду условий:

- «– Устанавливаются в местах, требующих повышенной безопасности;
- Широко применяются на промышленных предприятиях, металлургических комбинатах, и самое главное, на химических производствах;
- Отсутствует необходимость в системе пожаротушения.» [12]

Также следует учесть одно из специфичных условий области применения сухих трансформаторов, а именно электроснабжение приводов, работающих с переменной частотой вращения, таких как насосы, вентиляторы, компрессоры и т.д.

Для расчета примем следующие данные:

- Коэффициент загрузки $K_z=0,7$;
- Число трансформаторов $N_T=2$ шт.

Так же необходимо учесть, что с каждой секции ЦСУ будет работать только половина двигателей, так как они являются взаимозаменяемыми. Поэтому необходимо взять лишь половину мощности ЦСУ.

Произведем расчет трансформатора, принимаемого к установке по формуле 4.1:

$$S_{шт} = \frac{\sum S}{K_3 \cdot N_m}. \quad (4.1)$$

Для КНТП-1:

$$S_{шт} = \frac{874,83}{0,7 \cdot 2} = 625.$$

Для КНТП-2:

$$S_{шт} = \frac{730}{0,7 \cdot 2} = 522.$$

К установке принимается два трансформатора ТСЗ-630/6/0,4 производства ООО «КПМ» мощностью 630 кВА на каждую комплектную низковольтную трансформаторную подстанцию [12].

5 Выбор оборудования

5.1 Выбор сечений проводников распределительной сети

Так как цех является взрывоопасным, кабели выбираются медные, и подбираются под значение тока: $1,25 \cdot I_p$

Составим таблицы 5.1-5.4, где выберем сечения кабелей цеховых сетей при условии, что $I_p < I_{доп}$. Также следует учесть, что «сечение медной не должно быть меньше $2,5 \text{ мм}^2$ » [7].

К установке принимаются кабели ВБбШвнг-LS различных сечений [15].

Таблица 5.1 – Сводная ведомость используемых кабелей I-IV секцию

| № | Название | $1,25 \cdot I_p$ | $I_{доп}$, А | Марка |
|----|----------|------------------|---------------|--------------------------|
| 1 | ЩСУ-1 | 918,55 | 944 | 2хВБбШвнг-LS 3х240+1х120 |
| 2 | ЩСУ-2 | 678,4 | 692 | 2хВБбШвнг-LS 3х150+1х70 |
| 3 | ЩСУ-3 | 283,13 | 302 | ВБбШвнг-LS 3х120+1х70 |
| 4 | Н-247 | 291,78 | 302 | ВБбШвнг-LS 3х120+1х70 |
| 5 | Н-2/1 | 174,08 | 211 | ВБбШвнг-LS 3х70+1х35 |
| 6 | Н-132/1 | 306,37 | 346 | ВБбШвнг-LS 3х150+1х70 |
| 7 | Н-2/2 | 174,08 | 211 | ВБбШвнг-LS 3х70+1х35 |
| 8 | Н-132/2 | 306,37 | 346 | ВБбШвнг-LS 3х150+1х70 |
| 9 | Н-99/1 | 236,39 | 261 | ВБбШвнг-LS 3х95+1х50 |
| 10 | Н-17/2 | 221,98 | 261 | ВБбШвнг-LS 3х95+1х50 |
| 11 | Н-99/2 | 236,39 | 261 | ВБбШвнг-LS 3х95+1х50 |
| 12 | Н-17/1 | 221,98 | 261 | ВБбШвнг-LS 3х95+1х50 |

Таблица 5.2 – Сводная ведомость используемых кабелей ЦСУ 1

| № | Название | $1,25 \cdot I_p$ | $I_{доп}, A$ | Марка |
|----|------------------------|------------------|--------------|------------------|
| 1 | Н-37 | 21,10 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 2 | Н-39 | 47,81 | 63 | ВБбШвнг-LS 4x10 |
| 3 | Н-66 | 47,81 | 63 | ВБбШвнг-LS 4x10 |
| 4 | Н-70а | 21,10 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 5 | Н-107 | 47,81 | 63 | ВБбШвнг-LS 4x10 |
| 6 | Н-112 | 21,10 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 7 | Н-243 | 0,44 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 8 | Н-5а | 17,53 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 9 | Н-124 | 16,23 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 10 | Н-141 | 72,37 | 84 | ВБбШвнг-LS 4x16 |
| 11 | Н-141 | 63,75 | 84 | ВБбШвнг-LS 4x16 |
| 12 | П-12 | 9,75 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 13 | П-13 | 2,82 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 14 | В-6а | 38,26 | 63 | ВБбШвнг-LS 4x10 |
| 15 | В-8 | 15,82 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 16 | АВ-3 | 19,43 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 17 | Э/З-1 пожарной системы | 0,74 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 18 | Э/З-2 пожарной системы | 0,74 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 19 | Н-78 | 21,10 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 20 | Н-91 | 27,09 | 46 | ВБбШвнг-LS 4x6 |
| 21 | Н-94а | 27,09 | 46 | ВБбШвнг-LS 4x6 |
| 22 | Э/З-5 пенотушения | 0,18 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |

Таблица 5.3 – Сводная ведомость используемых кабелей ЦСУ 2

| № | Название | $1,25 \cdot I_p$ | $I_{доп}$, А | Марка |
|----|------------------------|------------------|---------------|------------------|
| 1 | Н-20 | 22,01 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 2 | Н-25/1 | 22,01 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 3 | Н-35 | 9,23 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 4 | Н-41 | 5,21 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 5 | Н-128 | 1,89 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 6 | Н-47 | 22,01 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 7 | Н-48а | 6,83 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 8 | Н-52 | 91,58 | 112 | ВБбШвнг-LS 4x25 |
| 9 | Н-59 | 19,65 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 10 | Н-59/2 | 19,65 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 11 | Н-60 | 22,01 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 12 | Н-85 | 28,31 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 13 | Н-85 | 28,31 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 14 | Н-110 | 9,16 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 15 | Н-117 | 27,05 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 16 | Э/3-1 пожарной системы | 0,77 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 17 | Э/3-2 пожарной системы | 0,77 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 18 | Э/3-3 пожарной системы | 0,19 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 19 | Э/3-4 пожарной системы | 0,19 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 20 | Н-52 новый | 30,11 | 46 | ВБбШвнг-LS 4x6 |

Таблица 5.4 – Сводная ведомость используемых кабелей ЩСУ 3

| № | Название | $1,25 \cdot I_p$ | $I_{доп}$, А | Марка |
|----|----------|------------------|---------------|------------------|
| 1 | П-1/2 | 13,56 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 2 | П-2/2 | 5,48 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 3 | П-2а/2 | 2,18 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 4 | П-3/2 | 7,16 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 5 | П-4/2 | 13,56 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 6 | П-5/2 | 13,85 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 7 | П-6/2 | 9,54 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 8 | П-7/2 | 13,01 | 112 | ВБбШвнг-LS 4x25 |
| 9 | П-8/2 | 1,39 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 10 | П-9/2 | 4,11 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 11 | П-11 | 13,85 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 12 | П-14/1 | 0,54 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 13 | В-2/2 | 13,01 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 14 | В-3/1 | 13,85 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |
| 15 | АВ-(1и2) | 13,01 | 36 | ВБбШвнг-LS 4x4 |
| 16 | В-7 | 0,96 | 27 | ВБбШвнг-LS 4x2.5 |

5.2 Выбор автоматических выключателей

Чтобы выбрать автоматический выключатель нужно знать ток в линии, где он установлен. Автоматы будем выбирать по току номинальному току автомата $I_{на}$, исходя из условий:

- для линии с одним электродвигателем: $1,25 \cdot I_p < I_{на}$;
- для групповой линии с несколькими электродвигателями: $1,1 \cdot I_p < I_{на}$

[7].

Расчетные токи в линиях для выбора автоматов были посчитаны в пункте 2.

В таблице 5.1 произведем выбор автоматических выключателей для линий к распределительным устройствам. Стоит учесть, что вводные автоматические выключатели будут совпадать с секционными. К установке принимаются автоматические выключатели марки ВА различных серий производителей «ЛЕК» [13] и АО «Контактор» [14].

Таблица 5.1 – Выбор автоматических выключателей для линий к распределительным устройствам

| № | Название | $1,1 I_p, A$ | $I_{нр}, A$ | $I_{ПКС}, кА$ | $I_{на}, A$ | Марка |
|---|-----------------|--------------|-------------|---------------|-------------|---------|
| 1 | Секции I и II | 1488,3 | 1600 | 80 | 1600 | ВА56-43 |
| 2 | Секции III и IV | 1234,6 | 1600 | 80 | 1600 | ВА56-43 |
| 3 | ЩСУ-1 | 808,324 | 1000 | 25 | 1000 | ВА53-41 |
| 4 | ЩСУ-2 | 597 | 630 | 25 | 630 | ВА53-39 |
| 5 | ЩСУ-3 | 249,15 | 250 | 40 | 400 | ВА52-37 |

В таблице 5.2 произведем выбор автоматических выключателей для линий с одним двигателем.

Таблица 5.2 – Выбор автоматических выключателей для линий с одним двигателем

| № | Название | $1,25 I_p, A$ | $I_{нр}, A$ | $I_{ПКС}, кА$ | $I_{на}, A$ | Марка |
|---|----------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------|
| 1 | H-247 | 291,78 | 320 | 40 | 400 | ВА57-39 |
| 2 | H-2/1 | 174,08 | 200 | 30 | 250 | ВА52-35 |
| 3 | H-132/1 | 306,37 | 320 | 40 | 400 | ВА57-39 |
| 4 | H-2/2 | 174,08 | 200 | 30 | 250 | ВА52-35 |
| 5 | H-132/2 | 306,37 | 320 | 40 | 400 | ВА57-39 |
| 6 | H-99/1 | 236,4 | 320 | 40 | 400 | ВА57-39 |
| 7 | H-17/2 | 222 | 250 | 30 | 250 | ВА52-35 |
| 8 | H-99/2 | 236,4 | 320 | 40 | 400 | ВА57-39 |
| 9 | H-17/1 | 222 | 250 | 30 | 250 | ВА52-35 |

Таблица 5.3 – Выбор автоматических выключателей, для двигателей запитанных от ЦСУ

| № | Название | $1,25 I_p, A$ | $I_{нр}, A$ | $I_{ПКС}, кА$ | $I_{на}, A$ | Марка |
|----|------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Н-37 | 21,10 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 2 | Н-39 | 47,81 | 50 | 4,5 | 50 | ВА 47-29 |
| 3 | Н-66 | 47,81 | 50 | 4,5 | 50 | ВА 47-29 |
| 4 | Н-70а | 21,10 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 5 | Н-107 | 47,81 | 50 | 4,5 | 50 | ВА 47-29 |
| 6 | Н-112 | 21,10 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 7 | Н-243 | 0,44 | 1 | 4,5 | 1 | ВА 47-29 |
| 8 | Н-5а | 17,53 | 20 | 4,5 | 20 | ВА 47-29 |
| 9 | Н-124 | 16,23 | 20 | 4,5 | 20 | ВА 47-29 |
| 10 | Н-141 | 72,37 | 80 | 10 | 80 | ВА 47-100 |
| 11 | Н-141 | 63,75 | 80 | 10 | 80 | ВА 47-100 |
| 12 | П-12 | 9,75 | 10 | 4,5 | 13 | ВА 47-29 |
| 13 | П-13 | 2,82 | 3 | 4,5 | 3 | ВА 47-29 |
| 14 | В-6а | 38,26 | 40 | 4,5 | 40 | ВА 47-29 |
| 15 | В-8 | 15,82 | 20 | 4,5 | 20 | ВА 47-29 |
| 16 | АВ-3 | 19,43 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 17 | Э/3-1 пожарной системы | 0,74 | 1 | 4,5 | 1 | ВА 47-29 |
| 18 | Э/3-2 пожарной системы | 0,74 | 1 | 4,5 | 1 | ВА 47-29 |
| 19 | Н-78 | 21,10 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 20 | Н-91 | 27,09 | 32 | 4,5 | 32 | ВА 47-29 |
| 21 | Н-94а | 27,09 | 32 | 4,5 | 32 | ВА 47-29 |
| 22 | Э/3-5 пенотушения | 0,18 | 0,5 | 4,5 | 0,5 | ВА 47-29 |
| 23 | Н-20 | 22,01 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 24 | Н-25/1 | 22,01 | 25 | 4,5 | 25 | ВА 47-29 |
| 25 | Н-35 | 9,23 | 10 | 4,5 | 13 | ВА 47-29 |

Продолжение таблицы 5.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----------|
| 26 | Н-41 | 5,21 | 8 | 4,5 | 8 | BA 47-29 |
| 27 | Н-128 | 1,89 | 2 | 4,5 | 3 | BA 47-29 |
| 28 | Н-47 | 22,01 | 25 | 4,5 | 25 | BA 47-29 |
| 29 | Н-48а | 6,83 | 8 | 4,5 | 8 | BA 47-29 |
| 30 | Н-52 | 91,58 | 100 | 10 | 10 | BA 47-100 |
| 31 | Н-59 | 19,65 | 20 | 4,5 | 25 | BA 47-29 |
| 32 | Н-59/2 | 19,65 | 20 | 4,5 | 25 | BA 47-29 |
| 33 | Н-60 | 22,01 | 25 | 4,5 | 25 | BA 47-29 |
| 34 | Н-85 | 28,31 | 32 | 4,5 | 32 | BA 47-29 |
| 35 | Н-85 | 28,31 | 32 | 4,5 | 32 | BA 47-29 |
| 36 | Н-110 | 9,16 | 10 | 4,5 | 13 | BA 47-29 |
| 37 | Н-117 | 27,05 | 32 | 4,5 | 32 | BA 47-29 |
| 38 | Э/3-1 пожарной системы | 0,77 | 1 | 4,5 | 1 | BA 47-29 |
| 39 | Э/3-2 пожарной системы | 0,77 | 1 | 4,5 | 1 | BA 47-29 |
| 40 | Э/3-3 пожарной системы | 0,19 | 0,5 | 4,5 | 0,5 | BA 47-29 |
| 41 | Э/3-4 пожарной системы | 0,19 | 0,5 | 4,5 | 0,5 | BA 47-29 |
| 42 | Н-52 новый | 30,11 | 32 | 4,5 | 32 | BA 47-29 |
| 43 | П-1/2 | 13,56 | 16 | 4,5 | 16 | BA 47-29 |
| 44 | П-2/2 | 5,48 | 6 | 4,5 | 8 | BA 47-29 |
| 45 | П-2а/2 | 2,18 | 3 | 4,5 | 3 | BA 47-29 |
| 46 | П-3/2 | 7,16 | 8 | 4,5 | 8 | BA 47-29 |
| 47 | П-4/2 | 13,56 | 16 | 4,5 | 16 | BA 47-29 |

Продолжение таблицы 5.3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|----------|-------|----|-----|----|----------|
| 48 | П-5/2 | 13,85 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 49 | П-6/2 | 9,54 | 10 | 4,5 | 13 | ВА 47-29 |
| 50 | П-7/2 | 13,01 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 51 | П-8/2 | 1,39 | 2 | 4,5 | 2 | ВА 47-29 |
| 52 | П-9/2 | 4,11 | 5 | 4,5 | 5 | ВА 47-29 |
| 53 | П-11 | 13,85 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 54 | П-14/1 | 0,54 | 1 | 4,5 | 1 | ВА 47-29 |
| 55 | В-2/2 | 13,01 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 56 | В-3/1 | 13,85 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 57 | АВ-(1и2) | 13,01 | 16 | 4,5 | 16 | ВА 47-29 |
| 58 | В-7 | 0,96 | 1 | 4,5 | 1 | ВА 47-29 |

5.4 Выбор трансформаторов тока

Составим таблицу 6.1, в которой выберем трансформаторы тока из условия, что расчетный ток в линии будет меньше, чем номинальный ток первичной обмотки трансформатора $I_p < I_H$. К установке принимаются трансформаторы тока ТШНЛ-0,66 производства ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» [11].

Таблица 6.1 – выбор трансформаторов тока.

| № | Название | I_p , А | I_H , А | Марка |
|---|-----------------|-----------|-----------|--------------|
| 1 | I и II секция | 1488,3 | 1500 | ТШНЛ-0,66 УЗ |
| 2 | III и IV секция | 1234,6 | 1500 | ТШНЛ-0,66 УЗ |

6 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета токов короткого замыкания необходимо составить расчетную схему, исходя из схемы электроснабжения цеха. На рисунке 6.1 предоставлена расчетная схема.

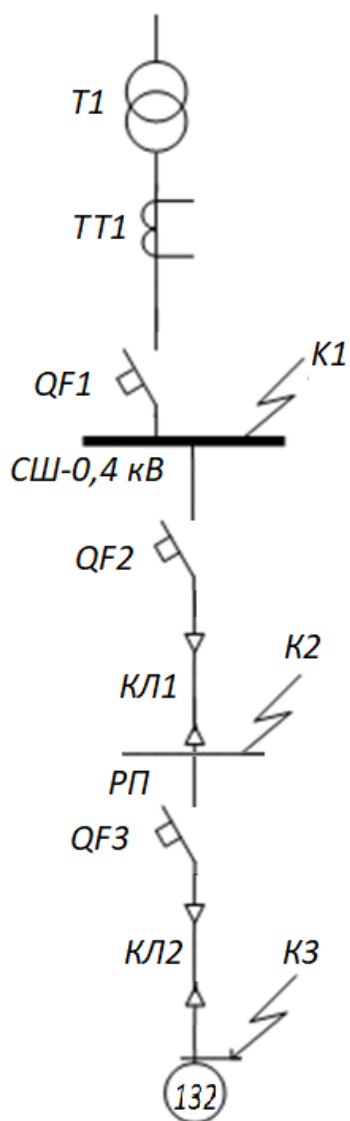


Рисунок 6.1 –Схема для расчета токов короткого замыкания

6.1 Расчет токов трехфазного КЗ

Расчет токов КЗ осуществляется по схеме замещения, которая состоит из элементов с активным и реактивными сопротивлением.

На рисунке 6.2 предоставлена схема замещения для расчетов токов трехфазного КЗ.

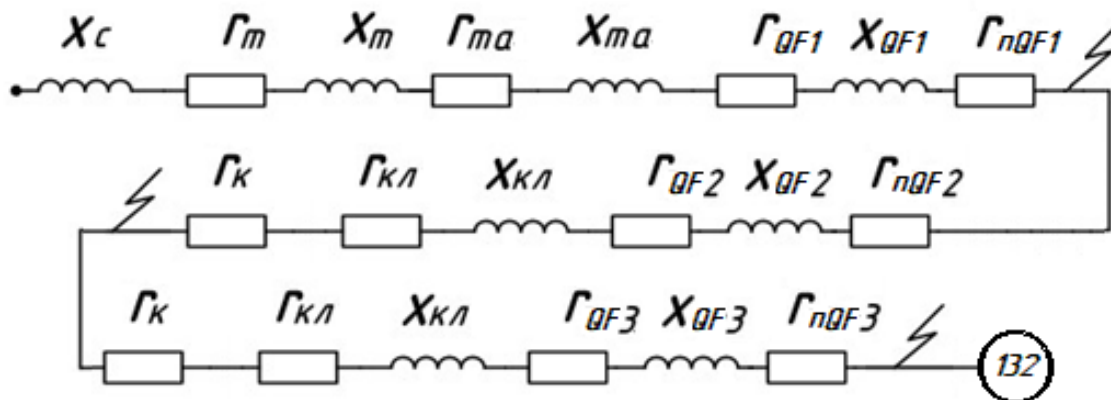


Рисунок 6.2 – схема замещения для расчетов токов КЗ

Для нахождения токов КЗ, найдем сопротивления элементов схемы.

Сопротивления для трансформатора $S_{nm} = 630 \text{ кВА}$, мОм:

$$Z_T = 14 ;$$

$$x_T = 13,6 ;$$

$$r_T = 3,1.$$

Сопротивление кабельных линий определим по формулам 6.1 и 6.2:

$$r_{кл} = r_0 \cdot l \quad (6.1)$$

$$x_{кл} = x_0 \cdot l \quad (6.2)$$

где r_0 и x_0 – погонное активное и индуктивное сопротивление, Ом/м, l – длина линии, м.

Длины кабельных линий:

$$l_{к11} = l_{к12} = 20 \text{ м} ;$$

$$r_{к1} = 0,124 \cdot 20 = 2,48$$

$$x_{к1} = 0,079 \cdot 20 = 1,58$$

Определим суммарные сопротивления до каждой точки КЗ по формулам 6.3-6.5 [16]:

$$R_{Kn} = r_{Kn\Sigma} \quad (6.3)$$

$$X_{Kn} = x_{Kn\Sigma} \quad (6.3)$$

$$Z_{Kn} = \sqrt{R_{Kn}^2 + X_{Kn}^2} \quad (6.5)$$

Точка К1:

$$r_{K1\Sigma} = r_T + r_{ma} + r_{QF1} + r_{nQF1} = 3,1 + 0,05 + 0,08 + 0,1 = 3,33 \text{ мОм}$$

$$x_{K1\Sigma} = x_c + x_T + x_{ma} + x_{QF1} = 1,6 + 3,1 + 0,07 + 0,08 = 4,85 \text{ мОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{3,33^2 + 4,85^2} = 5,9 \text{ мОм}$$

Точка К2:

$$\begin{aligned} r_{K2\Sigma} &= r_{K1\Sigma} + r_{QF2} + r_{nQF2} + r_{к1} + r_k = \\ &= 3,33 + 0,15 + 0,4 + 2,48 + 0,4 = 6,76 \text{ мОм} \end{aligned}$$

$$x_{K2\Sigma} = x_{K1\Sigma} + x_{QF2} + x_{к1} = 4,85 + 0,17 + 1,58 = 6,6 \text{ мОм}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{6,7^2 + 6,6^2} = 9,4$$

Точка КЗ:

$$\begin{aligned}r_{K3\Sigma} &= r_{K2\Sigma} + r_{QF3} + r_{nQF3} + r_{кл} + r_k = \\&= 6,76 + 0,15 + 0,4 + 2,48 + 0,4 = 10,19 \text{ мОм} \\x_{K3\Sigma} &= x_{K2\Sigma} + x_{QF3} + x_{кл} = 6,6 + 0,17 + 1,58 = 8,35 \text{ мОм} \\Z_{K1} &= \sqrt{10,19^2 + 8,35^2} = 13,2\end{aligned}$$

Рассчитаем приведенный ток трехфазного КЗ по формуле 6.6:

$$I^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}} \quad (6.6)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 5,9} = 39,14 \text{ кА}$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 9,4} = 24,57 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 13,2} = 17,5 \text{ кА}$$

6.2 Расчет токов двухфазного КЗ

Рассчитаем ток двухфазного КЗ по формуле 6.7:

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)} = 0,87 \cdot I^{(3)} \quad (6.7)$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot 39,14 = 34,1$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot 24,57 = 21,38$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot 17,5 = 15,2$$

Определим ударные токи по формуле 6.8:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I^{(3)} \quad (6.8)$$

где k_y – ударный коэффициент.

Ударный коэффициент при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью более 400 кВА принимается равным 1,3, на более удаленных точках – 1 [2].

Таким образом, расчет ударных токов КЗ:

$$\sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 39,14 = 71,96 \text{ кА}$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 24,57 = 34,75 \text{ кА}$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 17,5 = 24,75 \text{ кА}$$

Действующее значение ударного тока определим по формуле 6.9:

$$I_y = q \cdot I^{(3)} \quad (6.9)$$

Где q – коэффициент действующего значения тока, определяемый по формуле 6.10:

$$q = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} \quad (6.10)$$

Действующие значения тока КЗ будут находится следующим образом:

$$q_{K1} = \sqrt{1 + 2(1,3 - 1)^2} = 1,08$$

$$q_{K2} = \sqrt{1 + 2(1-1)^2} = 1$$

$$q_{K3} = \sqrt{1 + 2(1-1)^2} = 1$$

Найдем действующее значение ударного тока КЗ:

$$I_{yK1} = 1,08 \cdot 39,14 = 42,3,$$

$$I_{yK2} = 1 \cdot 24,57 = 24,57$$

$$I_{yK3} = 1 \cdot 17,5 = 17,5$$

Сведём все полученные данные в таблицу 6.1

Таблица 6.1 – сводная расчетная таблица токов КЗ

| Точка КЗ | R_{Kn} , мОм | X_{kn} , мОм | Z_{Kn} , мОм | Ку | q | $I_{Kn}^{(3)}$, кА | $I_{Kn}^{(2)}$, кА | i_{yK} , кА | I_{yK} , кА |
|-------------|----------------|-------------------|-------------------|-----|------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| К1 | 3,33 | 4,85 | 5,9 | 1,3 | 1,08 | 39,14 | 34,14 | 71,96 | 42,3 |
| К2 | 6,76 | 6,6 | 9,4 | 1 | 1 | 24,57 | 21,38 | 34,75 | 24,57 |
| К3 | 10,19 | 8,35 | 13,2 | 1 | 1 | 17,5 | 15,2 | 24,75 | 17,5 |

Таким образом, наиболее опасным является трехфазное короткое замыкание в точке К1, то есть на секции шин 0,4 кВ, а наименее опасным – в точке К3, которая является наиболее отдаленной от источника.

7 Проверка выбранных сечений проводников и аппаратов

7.1 Проверка на динамическую устойчивость

Ток динамической стойкости определяется ударным током, который протекает через коммутационный аппарат [17]. Проверка определяется выражением $I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$, где $i_{\text{уд}}$ – ударный ток, $I_{\text{дин}}$ – ток динамической стойкости, $I_{\text{дин}} = n \cdot I_{\text{ПКС}}$. n – коэффициент характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности. Коэффициент n принимаем равным 1,41 для выключателей с предельной коммутирующей способностью до 1500 А, для выключателей с предельной коммутирующей способностью 20000 А $< I_{\text{ПКС}} < 50000$ А $n=2.1$.

Составим таблицу 7.1 в которой проведем проверку на динамическую стойкость автоматических выключателей.

Таблица 7.1 – Проверка на динамическую стойкость

| № | Название | $i_{\text{УК31}}$, кА | $i_{\text{УК32}}$, кА | $i_{\text{УК33}}$, кА | $I_{\text{ПКС}}$, кА | $n \cdot I_{\text{ПКС}}$, кА |
|---|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1 | ВА 57-39 | - | - | 24,75 | 40 | 84 |
| 2 | ВА 57-39 | - | 34,75 | 24,75 | 40 | 84 |
| 2 | ВА 56-43 | 71,96 | 34,75 | 24,75 | 80 | 112,8 |

Как видно из таблицы 7.1 выключатели могут выдержать такую токовую нагрузку.

7.2 Проверка по отключающей способности

Немаловажным фактором при выборе защитного автомата является устойчивость к коротким замыканиям [18]. Для анализа данного условия используется понятие предельной коммутационной стойкости (ПКС), характеризующее нормальную работу устройства при включении его на ток КЗ. Для обеспечения надёжного отключения аппаратом максимальных токов короткого замыкания, которые могут возникнуть на выходных зажимах,

необходимо, чтобы аппарат обладал достаточной отключающей способностью. При этом отключающая способность аппарата должна соответствовать условию $I_{\text{ПКС}} \geq I^{(3)}$.

В таблице 7.2 проведем проверку выключателей по отключающей способности.

Таблица 7.2 – проверка выключателей по отключающей способности

| № | Название | $i_{\text{уКЗ1}}$, кА | $i_{\text{уКЗ2}}$, кА | $i_{\text{уКЗ3}}$, кА | $I_{\text{ПКС}}$, кА |
|---|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | ВА 57-39 | - | - | 17,5 | 40 |
| 2 | ВА 57-39 | - | 2,8 | 17,5 | 40 |
| 2 | ВА 56-43 | 39,14 | 24,57 | 17,5 | 80 |

Как видно из таблицы 7.2 выбранные автоматические выключатели прошли проверку по отключающей способности. Замена оборудования не требуется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе представлен проект электрооборудования и электрохозяйства цеха БК-4 химического предприятия группы компаний ПАО «Сибур».

Для построения схемы электроснабжения рассчитаны нагрузки по цеху, включающие в себя нагрузку силовых электроприемников (двигателей насосов и приводов) и осветительную нагрузку. Для освещения цеховых помещений выбраны взрывозащищенные светильники типа SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K и ATLAS LED 100 Ex. На основании полученных при расчете нагрузок, произведен выбор количества и мощности силовых трансформаторов. К установке предполагается две комплектных низковольтных трансформаторных подстанций с трансформаторами ТСЗ-630/6/0,4 мощность 630 кВА каждый. Общее число трансформаторов – 4.

Далее произведен выбор следующего электрооборудования:

- взрывозащищенные кабели. К монтажу приняты кабели марки ВБбШвнг-LS;
- автоматические выключатели различных номинальных токов. К установке принимаются выключатели марки ВА различных серий;
- трансформаторы тока ТШНЛ-0,66 УЗ.

Осуществлен расчет токов короткого замыкания в трех точках: у самого мощного электроприемника, на шинах распределительного пункта и на шинах трансформатора с низкой стороны. По полученным данным произведена проверка выключателей на стойкость к трехфазному КЗ и ударному току, а также проверка по отключающей способности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015, 330 с.
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 44 с.
3. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
4. ГОСТ 30852.0-2002 (МЭК 60079-0:1998) Электрооборудование взрывозащищенное. Введ. 2014-02-15. М.: Стандартинформ, 2014. 50 с.
5. ГОСТ Р 54827-2011 (МЭК 60076-11:2004) Трансформаторы сухие. Общие технические условия. Введ. 2012-12-01. М.: Стандартинформ, 2018. 33 с.
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Введ. 2017-05-08. М.: Минстрой России, 2017. 102 с.
7. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 258 с.
8. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. М.: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
9. Устройство защиты электродвигателя. «Мониторинг тока двигателя». Паспорт устройства. ООО «ЭНЕРГИС-АВТОМАТИКА». Киров 2018. 20 с.
10. Взрывозащищенные светодиодные светильники. Световые технологии. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ltcompany.com/ru/knowledge/catalogues/> (дата обращения 16.02.2019).

11. Трансформаторы тока ТНШЛ-0,66 ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» [Электронный ресурс] URL: http://www.czt.ru/TNSHL_066.html (дата обращения 16.02.2019).

12. Трансформаторы сухие ТСЗ ООО «КПМ» [Электронный ресурс] URL: http://www.complectprom.ru/produkcija/transformatory_suhie/transformatory_suhie_silovyeraspredelitelnye2/tsz630kva6/ (дата обращения 26.02.2019).

13. Автоматические выключатели серии ВА. ИЕК [Электронный ресурс] URL: https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vyklyuchateli/ (дата обращения 06.03.2019).

14. Автоматические выключатели. АО «Контактор» [Электронный ресурс] URL: https://www.kontaktor.ru/dealers/technical_documentation/ (дата обращения 06.03.2019).

15. Кабель ВБШВнг-LS. НПП «Спецкабель» [Электронный ресурс] URL: <http://www.kazkabel.ru/catalog-1-14-11>. (дата обращения 06.03.2019).

16. Gaty L.R. Calculation of short circuit current // Journal of IEEE. 2014. Vol. 74. No. 2. pp. 200 – 205.

17. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

18. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016. 540 p.

19. Cassedy E. S., Peter Z. G. Introduction to Energy : tutorial. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 440 p.

20. Jensen C. F. Online location of faults on AC cables in underground transmission systems. Alborg: Department of energy technology, 2014. 221 p.