

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение научно-производственного предприятия
«Звезда»

Студент

И.С. Ермаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалифицированной работе (ВКР) разработаны мероприятия по реконструкции системы электроснабжения на предприятии «НПП Звезда».

В качестве объекта исследования было выбрано электрооборудование литейного цеха. Для реализации реконструкции системы электроснабжения данного подразделения были проведены расчеты силовой и осветительной нагрузки цеха, на основании которых выбраны шинопроводы и светильники. Кроме того, осуществлен расчет и сделан выбор двух трансформаторов для КТП, а также произведен расчёт на целесообразность установки устройств компенсации реактивной мощности. Для замены коммутационной аппаратуры цеха рассчитаны токи КЗ различных фаз и произведена проверка выбранных выключателей на электродинамическую и термическую стойкость. Для гарантии надежной работы обновленного электрооборудования рассчитаны уставки для блоков релейной защиты.

Целесообразность реконструкции подтверждена путем технико-экономической оценки предлагаемых мероприятий.

Отчет выполнен на 56 страницах, содержит 7 иллюстраций, 13 таблиц, список использованных источников информации в количестве 20 наименований и графическую часть на 6 листах А1.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| 1 Анализ электрооборудования..... | 6 |
| 2 Расчет электрических нагрузок, выбор и проверка электрооборудования литейного производства..... | 9 |
| 2.1 Расчет нагрузок литейного производства..... | 9 |
| 2.2 Расчет нагрузок распределительного шинпровода ШРА-1... | 13 |
| 2.3 Расчет нагрузок освещения литейного производства..... | 18 |
| 2.4 Расчет номинальной мощности, количества, типа силовых трансформаторов и КТП..... | 22 |
| 2.5 Расчет токов КЗ на линии НН..... | 27 |
| 3. Релейная защита системы электроснабжения литейного производства..... | 38 |
| 3.1 Выбор автоматических выключателей..... | 38 |
| 3.2 Выбор сечений шинпроводов и КЛ, типа и марки для цеха. | 41 |
| 3.3 Расчет уставок защит трансформатора..... | 43 |
| 4. Техничко-экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения..... | 49 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 53 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 54 |

ВВЕДЕНИЕ

Научно-производственное предприятие «Звезда», было основано в 1952 году. Предприятие является ведущим в России в области создания и производства систем жизненного обеспечения летчиков, а так же космонавтов. Предлагает ассортимент различных средств спасения для экипажей и пассажиров при авариях летательных аппаратов. Кроме перечисленных изделий, основную долю производства отводиться на изготовление скафандров для работы в космосе Орлан-МК и дозаправщиков топлива в полете, к ним относятся УПАЗ-1 и ПАЗ-МК.

Для создания инновационной продукции, востребованной как на Российском, так и на зарубежном рынке, необходимо увеличивать производственные мощности и использовать современное технологическое оборудование.

Усложнение технологий ведет к увеличению количества электроприемников, что накладывает определенные требования для систем электроснабжения предприятия, в том числе в плане его надежности в условиях непрерывной эксплуатации. С увеличением мощности электроприемников особым аспектом становится уменьшение потерь электроэнергии, которая позволит снизить издержки при изготовлении изделий, снизить стоимость и повысить их конкурентоспособность.

Начало эксплуатации основного электрооборудования предприятия датируется 1954 годом. В 90-х годах прошлого века произведена наиболее заметная модернизация системы электроснабжения. На сегодняшний день назрела необходимость ее реконструкции, поскольку за годы эксплуатации произошел моральный и физический износ основных устройств, входящих в систему электроснабжения предприятия. Это увеличивает вероятность отказов основных элементов системы электроснабжения, увеличивает затраты на профилактические и ремонтные работы, негативно отражается на себестоимости выпускаемой продукции предприятия. Это проблема больше

всего касается наиболее затратных производств с непрерывным режимом работы. На научно-производственном предприятии «Звезда» таким является литейное производство. Технологические процессы этого подразделения сопровождаются большим потреблением электроэнергии.

Реконструкция системы электроснабжения НПП «Звезда», заключающаяся в замене наиболее изношенного и морально устаревшего электрооборудования, работающего в особо тяжелых условиях эксплуатации, даст возможность повысить надежность энергообеспечения и снизить затраты предприятия на электроэнергию. Отсюда следует цель данной выпускной квалификационной работы бакалавра.

Цель ВКР – повышение надежности электроснабжения и снижение затрат на электроэнергию НПП «Звезда» за счет реконструкции системы электроснабжения наиболее энергозатратного литейного производства предприятия.

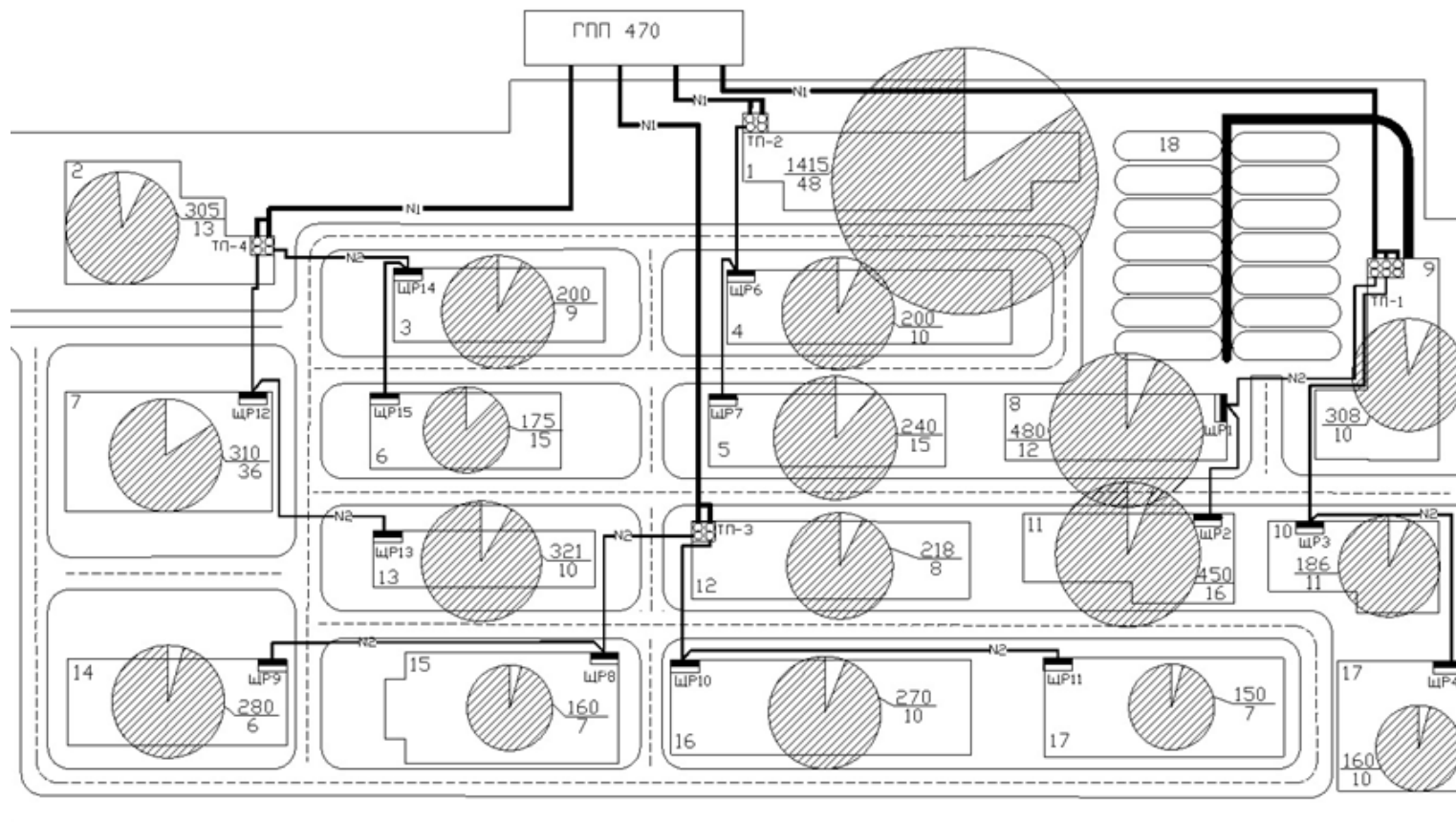
1 Анализ электрооборудования

На рисунке 1 показан генеральный план предприятия с указанием картограммы нагрузок. Очевидно, что литейным производством потребляется наибольшее количество электроэнергии.

Для реконструкции системы электроснабжения литейного производства, осуществляемой в связи с увеличением мощности устанавливаемого электрооборудования, проанализируем количество и виды электроприемников (ЭП), которые будут находиться в данном помещении. Информацию по электроприемникам (ЭП) заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Перечень оборудования литейного цеха

| Позиция | Название оборудования | Мощность, кВт | Кол-во |
|---------|---|---------------|--------|
| 1 | Раздаточная электропечь сопротивления ОКБ-238 | 35 | 3 |
| 2 | Печь СНЗ-2,5 | 30 | 1 |
| 3 | Печь СНЗ-6,5 | 72 | 1 |
| 4 | Печь СНО-6,5 | 60 | 1 |
| 5 | Печь Н-30 | 15 | 1 |
| 6 | Печь KS-800 | 37 | 1 |
| 7 | Закалочная ванна масляная ВЗМ 16.12.9/0.6 | 30 | 1 |
| 8 | Закалочная ванна водяная ВЗВ 16.12.9/0.8 | 34 | 1 |
| 9 | Соляная ванна СП-75 | 60 | 1 |
| 10 | Печь СШЗ-6,6 | 37.2 | 1 |
| 11 | Моечная машина МД-70Е | 3.75 | 1 |
| 12 | Электропечь вакуумная СЭВ-3,3 | 34 | 3 |
| 13 | Холодильная камера ПЛКА TV-1000 | 8.5 | 1 |
| 14 | Печь ОКБ-238 | 35 | 1 |
| 15 | Печь ИСТ-0,16 | 200 | 2 |
| 16 | Печь СНО-8.16 | 86 | 1 |
| 17 | Печь Н-60 | 45 | 1 |
| 18 | Печь СНОС-10.12 | 32.2 | 1 |
| 19 | Вакуумно-аммиачное сушило | 18.8 | 1 |
| 20 | Установка 661 | 3 | 1 |
| 21 | Пескосып MFS1000 | 8.6 | 3 |
| 22 | Пресс для запрессовки модельной массы | 36.1 | 1 |
| 23 | Ванна для вытопки модельного состава | 20.75 | 1 |
| 24 | Пресс дугостаторный ФБ-1732 | 36 | 1 |
| 25 | Печь СНЗ-4,8 | 25 | 1 |
| 26 | Ленточная пила Stalex BS-5030 | 3 | 1 |
| 27 | Отрезной станок Brilliant 2000 | 50 | 1 |
| 28 | Молот МА4132МВ-412 | 15 | 1 |
| 29 | Печь KS-600 | 25 | 1 |



Экспликация зданий и сооружений

| № п/п | Наименование | № п/п | Наименование | № п/п | Наименование |
|-------|-------------------------|-------|--------------|-------|----------------------|
| 1 | Административный корпус | 8 | Рабочий цех | 15 | Цех М2 |
| 2 | Цех М6 | 9 | Цех М3 | 16 | Цех М4 |
| 3 | Цех М5 | 10 | Офис | 17 | Склад В |
| 4 | Склад И1 | 11 | Энергоблок | 18 | Трансформаторный цех |
| 5 | Склад Т | 12 | Цех М8 | 19 | |
| 6 | Выборочный цех | 13 | Цех М7 | 20 | |
| 7 | Цех М1 | 14 | Цех М5 | 21 | |



- 1-Нагрузка 0,4кВ.
- 2-Объемная нагрузка
- NI— кабель 6кВ в помещении
- N2— кабель 10кВ в помещении

Рисунок 1 – Генеральный план предприятия с указанием картограммы нагрузок

Принимаем во внимание, что при проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия требуется знать, к какому классу относится помещение, в котором будет устанавливаться новое оборудование.

Литейный цех, подлежащий реконструкции, относится к категории В-1а. Данная категория обозначает, что в помещении при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов, паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

С учетом данного обстоятельства будем делать выбор вновь устанавливаемого оборудования.

Номинальные параметры элементов системы электроснабжения определяются в ходе расчета электрических нагрузок. Без этого расчета нельзя понять и точно определить, какие трансформаторы, автоматические выключатели, кабели и шины можно использовать для осуществления реконструкции.

Существуют несколько способов определения электрических нагрузок. Самым распространенным и приемлемым является расчет методом коэффициента максимума. В этот расчет входит определение активных и реактивных нагрузок, групповых параметров нагрузки и эффективного числа электроприемников. Таки вычисления будем проводить в рамках данной ВКР.

Выводы к разделу 1

На основании проведенного анализа и с учетом цели ВКР делаем вывод, что в выпускной квалификационной работе будут решаться следующие задачи: расчет силовых нагрузок и освещения литейного производства; выбор основного силового оборудования; выбор кабелей и шинопроводов; расчет токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования; расчёт уставок релейной защиты; технико-экономическая оценка реконструкции системы электроснабжения.

2 Расчет электрических нагрузок, выбор и проверка электрооборудования литейного производства

2.1 Расчет нагрузок литейного производства

Для того чтобы начать расчет, необходимо воспользоваться справочными данными по значениям коэффициента использования и коэффициента мощности ($\cos\varphi$) применительно к электроприемникам, приведенным в таблице.

В соответствии с методикой расчета произведем расчет нагрузок в следующем порядке.

– Шаг 1. Рассчитаем номинальную мощность группы приемников для электропечи ОКБ-238 по формуле:

$$P_{\text{ном.уст.ОКБ-238}} = P_{\text{н}} \times n, \quad (1)$$

$$P_{\text{ном.уст.ОКБ-238}} = 35 \times 3 = 105 \text{ кВт.}$$

– Шаг 2. Рассчитаем среднесменную активную мощность для электропечи ОКБ-238 по формуле:

$$P_{\text{см.ОКБ-238}} = K_{\text{и}} \times P_{\text{н.}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{см.ОКБ-238}} = 0.5 \times 105 = 52,5 \text{ кВт.}$$

– Шаг 3. Рассчитаем среднесменную реактивную мощность для электропечи ОКБ-238 по формуле:

$$Q_{\text{см.ОКБ-238}} = P_{\text{см}} \times \text{tg}\varphi, \quad (3)$$

$$Q_{\text{см.ОКБ-238}} = 52,5 \times 0,14 = 52,5 \text{ квар.}$$

Таким же способом вычислим параметры нагрузки для оставшихся электроприемников в цеху и внесем результаты в сводную таблицу 2.

Далее в соответствии с методикой вычисляем по формулам средний коэффициент использования и средний тангенс.

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{н}}} \quad (4)$$

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{822,13}{1433,9} = 0,57,$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_{\text{ср}}}{\sum P_{\text{см}}} \quad (5)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{331,838}{822,13} = 0,404.$$

Последовательно найдем по формулам эффективное число ЭП:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \times \sum P_{\text{н.пасп.}}}{\sum P_{\text{н.мах}}} \quad (6)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \times 1433,9}{200} = 14,3 \approx 15.$$

По таблице находим коэффициент максимума, ориентируясь на число приемников и коэффициента использования:

$$K_{\text{М}} = 1,18.$$

Определяем максимальную активную и реактивную нагрузку литейного цеха по приведенным формулам:

$$P_p = P_{CM} \times K_M, \quad (7)$$

$$P_p = 822,13 \times 1,18 = 970,11 \text{ кВт.}$$

Так как $n_{\underline{\sigma}} > 10$, то

$$Q_p = \sum 1 \times P_H \times K_M \times \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

$$Q_p = 1 \times 1433,9 \times 1,18 \times 0,404 = 683,57 \text{ квар.}$$

Расчетная нагрузка определяется по приведенной формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (9)$$

$$S_p = \sqrt{970,11^2 + 683,57^2} = 1186,75 \text{ кВа.}$$

Зная все параметры для расчета максимального тока в цеху, вычисляем его по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_n}, \quad (10)$$

$$I_p = \frac{1183,75}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1717,3 \text{ А.}$$

Таблица 2 – Расчет нагрузок литейного цеха

| Наименование электрооборудования | Кол-во, п | Установленная мощность | | Ки | cosφ/tgφ | Средняя нагрузка | |
|---|-----------|------------------------|------------|------|-----------|------------------|-----------|
| | | 1-го ЭП, кВт | Общая, кВт | | | Рсм, кВт | Qсм, кВАр |
| Раздаточная электропечь сопротивления ОКБ-238 | 3 | 35 | 105 | 0.5 | 0.99/0.14 | 52.5 | 7.35 |
| Печь СНЗ-2,5 | 1 | 30 | 30 | 0.5 | 0.99/0.14 | 15 | 2.15 |
| Печь СНЗ-6,5 | 1 | 72 | 72 | 0.5 | 0.99/0.14 | 36 | 5.04 |
| Печь СНО-6,5 | 1 | 60 | 60 | 0.5 | 0.99/0.14 | 30 | 4.2 |
| Печь Н-30 | 1 | 15 | 15 | 0.5 | 0.99/0.14 | 7.5 | 1.05 |
| Печь KS-800 | 1 | 37 | 37 | 0.65 | 0.87/0.57 | 24.05 | 13.7 |
| Закалочная ванна масляная ВЗМ 16.12.9/0.6 | 1 | 30 | 30 | 0.6 | 0.99/0.14 | 18 | 2.52 |
| Закалочная ванна водяная ВЗВ 16.12.9/0.8 | 1 | 34 | 34 | 0.6 | 0.99/0.14 | 20.4 | 2.856 |
| Соляная ванна СП-75 | 1 | 60 | 60 | 0.6 | 0.99/0.14 | 36 | 5.04 |
| Печь СШЗ-6,6 | 1 | 37.2 | 37.2 | 0.6 | 0.99/0.14 | 22.32 | 3.12 |
| Моечная машина МД-70Е | 1 | 3.75 | 3.75 | 0.6 | 0.85/0.62 | 2.25 | 1.39 |
| Электропечь вакуумная СЭВ-3,3 | 3 | 34 | 102 | 0.5 | 0.99/0.14 | 51 | 7.14 |
| Холодильная камера ИЛКА ТВ-1000 | 1 | 8.5 | 8.5 | 0.7 | 0.7/1.02 | 5.95 | 6.07 |
| Печь ОКБ-238 | 1 | 35 | 35 | 0.5 | 0.99/0.14 | 17.5 | 2.45 |
| Печь ИСТ-0,16 | 2 | 200 | 400 | 0.75 | 0.85/0.62 | 300 | 186 |
| Печь СНО-8.16 | 1 | 86 | 86 | 0.5 | 0.99/0.14 | 43 | 6.02 |
| Печь Н-60 | 1 | 45 | 45 | 0.5 | 0.99/0.14 | 22.5 | 3.15 |
| Печь СНОС-10.12 | 1 | 32.2 | 32.2 | 0.5 | 0.99/0.14 | 16.1 | 2.25 |
| Вакуумно-аммиачное сушило | 1 | 18.8 | 18.8 | 0.5 | 0.95/0.33 | 9.4 | 3.11 |
| Установка 661 | 1 | 3 | 3 | 0.2 | 0.65/1.17 | 0.6 | 0.702 |
| Пескосып MFS1000 | 3 | 8.6 | 25.8 | 0.5 | 0.75/0.88 | 12.9 | 11.35 |
| Пресс для запрессовки модельной массы | 1 | 36.1 | 36.1 | 0.2 | 0.65/1.17 | 7.22 | 8.45 |
| Ванна для вытопки модельного состава | 1 | 20.75 | 20.75 | 0.5 | 0.95/0.33 | 10.37 | 3.42 |
| Пресс дугостаторный ФБ-1732 | 1 | 36 | 36 | 0.2 | 0.65/1.17 | 7.2 | 8.42 |
| Печь СНЗ-4,8 | 1 | 25 | 25 | 0.5 | 0.99/0.14 | 12.5 | 1.75 |
| Ленточная пила Stalex BS-5030 | 1 | 3 | 3 | 0.24 | 0.65/1.17 | 0.72 | 0.84 |
| Отрезной станок Brilliant 2000 | 1 | 50 | 50 | 0.24 | 0.65/1.17 | 12 | 14.04 |
| Молот МА4132МВ-412 | 1 | 15 | 15 | 0.8 | 0.8/0.75 | 12 | 9 |
| Печь KS-600 | 1 | 25 | 25 | 0.65 | 0.87/0.57 | 16.25 | 9.26 |

2.2 Расчет нагрузок распределительного шинпровода ШРА-1

Рассчитываем номинальную мощность электрооборудования, которое входит в состав одного шинпровода по формуле:

$$P_{\text{ном.шра-1}} = \sum_1^n P_{\text{ном.гр1}}, \quad (11)$$

$$P_{\text{ном.шра-1}} = 105 + 30 + 72 + 60 + 15 + 37 + 30 + 34 + 60 = 443 \text{ кВт.}$$

Таким же образом вычисляем активную мощность шинпровода:

$$P_{\text{см.шра-1}} = \sum_1^n P_{\text{см.гр1}}, \quad (12)$$

$$P_{\text{см.шра-1}} = 52,5 + 15 + 36 + 30 + 7,5 + 24,05 + 18 + 20,4 = 203,45 \text{ кВт.}$$

Определяем по полученным ранее расчетам реактивную мощность:

$$Q_{\text{см.шра-1}} = \sum_1^n Q_{\text{см.гр1}}, \quad (13)$$

$$Q_{\text{см.шра-1}} = 7,3 + 2,1 + 5,04 + 4,2 + 1,05 + 13,7 + 2,52 + 2,85 = 38,87 \text{ квар.}$$

Определяем коэффициент силовой сборки m :

$$m = \frac{P_{\text{н.макс.шра-1}}}{P_{\text{н.мин.шра-1}}}, \quad (14)$$

$$m = \frac{72}{15} = 4,9 > 3.$$

Для данного шинпровода находим коэффициент использования $K_{И}$ и тангенс φ :

$$K_{И.ШРА-1} = \frac{\sum Q_{СМ.ШРА-1}}{\sum P_{Н.ШРА-1}}, \quad (15)$$

$$K_{И.ШРА-1} = \frac{203,45}{443} = 0,46,$$

$$tg\varphi_{ШРА-1} = \frac{\sum Q_{СМ.ШРА-1}}{\sum P_{СМ.ШРА-1}}, \quad (16)$$

$$tg\varphi_{ШРА-1} = \frac{38,87}{203,45} = 0,19.$$

Найдем по формулам эффективное число ЭП:

$$n_{э} = \frac{2 \times \sum_1^n P_{Н.ШРА-1}}{\sum P_{СМ.ШРА-1}}, \quad (17)$$

$$n_{э} = \frac{2 \times 443}{72} = 12,3 \approx 13.$$

По таблице находим коэффициент максимума, ориентируясь на число приемников и коэффициента использования:

$$K_{М} = 1,23.$$

Определяем максимальную активную и реактивную нагрузку литейного цеха по приведенным формулам:

$$P_{max.шра-1} = P_{СМ.ШРА-1} \times K_{М}, \quad (18)$$

$$P_{max.шпа-1} = 203,45 \times 1,23 = 250,24 \text{ кВт.}$$

Так как $n_{\underline{2}} > 10$, то

$$Q_{max.шпа-1} = Q_{CM} = 38,87 \text{ квар.} \quad (19)$$

Расчетная максимальная нагрузка определяется по приведенной формуле:

$$S_P = \sqrt{P_{MAX.ШПА-1}^2 + Q_{MAX.ШПА-1}^2} = \sqrt{250,24^2 + 38,87^2} = 253,24 \text{ кВа.} \quad (20)$$

Зная все параметры для расчета максимального тока в цеху, вычисляем его по формуле:

$$I_P = \frac{S_{MAX.ШПА-1}}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{253,24}{1,732 \times 0,4} = 365,53 \text{ А.} \quad (21)$$

Произведем расчет остальных шинопроводов входящих в состав литейного цеха и занесем в сводную таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет нагрузок литейного цеха и шинопроводов

| № | Наименование электрооборудования | Кол-во, п | Установленная мощность | | m | Ки | cosφ/tgφ | Средняя нагрузка | | пэ | км | Расчетная нагрузка | | | I _{max} , А |
|----|---|-----------|------------------------|------------|-----|------|-----------|-----------------------|------------------------|----|------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| | | | 1-го ЭП, кВт | Общая, кВт | | | | P _{ср} , кВт | Q _{ср} , кВАр | | | P _{max} , кВт | Q _{max} , кВАр | S _{max} , кВА | |
| 1 | Раздаточная электропечь сопротивления ОКБ-238 | 3 | 35 | 105 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 52.5 | 7.35 | | | | | | |
| 2 | Печь СНЗ-2,5 | 1 | 30 | 30 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 15 | 2.15 | | | | | | |
| 3 | Печь СНЗ-6,5 | 1 | 72 | 72 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 36 | 5.04 | | | | | | |
| 4 | Печь СНО-6,5 | 1 | 60 | 60 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 30 | 4.2 | | | | | | |
| 5 | Печь Н-30 | 1 | 15 | 15 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 7.5 | 1.05 | | | | | | |
| 6 | Печь KS-800 | 1 | 37 | 37 | | 0.65 | 0.87/0.57 | 24.05 | 13.7 | | | | | | |
| 7 | Закалочная ванна масляная ВЗМ 16.12.9/0.6 | 1 | 30 | 30 | | 0.6 | 0.99/0.14 | 18 | 2.52 | | | | | | |
| 8 | Закалочная ванна водяная ВЗВ 16.12.9/0.8 | 1 | 34 | 34 | | 0.6 | 0.99/0.14 | 20.4 | 2.856 | | | | | | |
| | ШРА-1 | 10 | | 443 | 4.8 | 0.46 | 0.98/0.19 | 203.45 | 38.87 | 13 | 1.23 | 250.24 | 38.87 | 253.24 | 365.53 |
| 9 | Соляная ванна СП-75 | 1 | 60 | 60 | | 0.6 | 0.99/0.14 | 36 | 5.04 | | | | | | |
| 10 | Печь СШЗ-6,6 | 1 | 37.2 | 37.2 | | 0.6 | 0.99/0.14 | 22.32 | 3.12 | | | | | | |
| 11 | Моечная машина МД-70Е | 1 | 3.75 | 3.75 | | 0.6 | 0.85/0.62 | 2.25 | 1.39 | | | | | | |
| 12 | Электропечь вакуумная СЭВ-3,3 | 3 | 34 | 102 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 51 | 7.14 | | | | | | |
| 13 | Холодильная камера ПЛКА TV-1000 | 1 | 8.5 | 8.5 | | 0.7 | 0.7/1.02 | 5.95 | 6.07 | | | | | | |
| 14 | Печь ОКБ-238 | 1 | 35 | 35 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 17.5 | 2.45 | | | | | | |

Продолжение таблицы 3

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------|----|-------|--------|-------|------|-----------|--------|--------|----|------|--------|--------|---------|--------|
| 15 | Печь ИСТ-0,16 | 1 | 200 | 200 | | 0.75 | 0.85/0.62 | 150 | 93 | | | | | | |
| | ШРА-2 | 9 | | 386.45 | 23.52 | 1.03 | 0.88/0.52 | 399.02 | 206.17 | 4 | 1.05 | 419 | 226.78 | 476.43 | 687.69 |
| 15 | Печь ИСТ-0,16 | 1 | 200 | 200 | | 0.75 | 0.85/0.62 | 150 | 93 | | | | | | |
| 16 | Печь СНО-8.16 | 1 | 86 | 86 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 43 | 6.02 | | | | | | |
| 17 | Печь Н-60 | 1 | 45 | 45 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 22.5 | 3.15 | | | | | | |
| 18 | Печь СНОС-10.12 | 1 | 32.2 | 32.2 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 16.1 | 2.25 | | | | | | |
| 19 | Вакуумно-аммиачное сушило | 1 | 18.8 | 18.8 | | 0.5 | 0.95/0.33 | 9.4 | 3.11 | | | | | | |
| 20 | Установка 661 | 1 | 3 | 3 | | 0.2 | 0.65/1.17 | 0.6 | 0.702 | | | | | | |
| | ШРА-3 | 6 | | 325 | 10.64 | 1.01 | 0.89/0.51 | 391.9 | 201.23 | 4 | 1.05 | 411.49 | 221.35 | 467.25 | 674.43 |
| 21 | Пескосып MFS1000 | 3 | 8.6 | 25.8 | | 0.5 | 0.75/0.88 | 12.9 | 11.35 | | | | | | |
| 22 | Пресс для запрессовки модельной массы | 1 | 36.1 | 36.1 | | 0.2 | 0.65/1.17 | 7.22 | 8.45 | | | | | | |
| 23 | Ванна для вытопки модельного состава | 1 | 20.75 | 20.75 | | 0.5 | 0.95/0.33 | 10.37 | 3.42 | | | | | | |
| 24 | Пресс дугостаторный ФБ-1732 | 1 | 36 | 36 | | 0.2 | 0.65/1.17 | 7.2 | 8.42 | | | | | | |
| 25 | Печь СНЗ-4,8 | 1 | 25 | 25 | | 0.5 | 0.99/0.14 | 12.5 | 1.75 | | | | | | |
| 26 | Ленточная пила Stalex BS-5030 | 1 | 3 | 3 | | 0.24 | 0.65/1.17 | 0.72 | 0.84 | | | | | | |
| 27 | Отрезной станок Brilliant 2000 | 1 | 50 | 50 | | 0.24 | 0.65/1.17 | 12 | 14.04 | | | | | | |
| 28 | Молот МА4132МВ-412 | 1 | 15 | 15 | | 0.8 | 0.8/0.75 | 12 | 9 | | | | | | |
| 29 | Печь KS-600 | 1 | 25 | 25 | | 0.65 | 0.87/0.57 | 16.25 | 9.26 | | | | | | |
| | ШРА-4 | 11 | | 236.65 | 4 | 0.38 | 0.8/0.73 | 91.16 | 66.53 | 10 | 1.43 | 130.36 | 66.53 | 146.36 | 211.26 |
| | Освещение | | | | | | | | | | | 9.9 | 1.98 | 10.096 | 14.57 |
| | Итого с освещением | | | | | | | | | | | 980.01 | 685.55 | 1195.98 | 1726.3 |

2.3 Расчет нагрузок освещения литейного производства

Расчет освещения выполним на основе метода использования светового потока.

Расчет будет выполнен для литейного цеха, с учетом класса помещения В-1а. Соответственно выбранные светильники должны быть выбраны исходя из данного класса пожароопасности и взрывозащищенности.

Ширина литейного цеха составляет – 30 м;

Длина литейного цеха составляет – 60 м;

Высота литейного цеха составляет – 8 м.

По известным исходным данным длины и ширины рассчитаем площадь помещения по формуле:

$$S = a \times b, \quad (22)$$

$$S = 60 \times 30 = 1800 \text{ м}^2.$$

Теперь вычислим индекс помещения литейного цеха по формуле:

$$i = \frac{S}{(H_1 - H_2) \times (a + b)}, \quad (23)$$

$$i = \frac{1800}{(8 - 1) \times (60 + 30)} = 2,86.$$

Исходя из результатов расчета, необходимо определить коэффициент запаса по справочной таблице. Для LED светильников значение коэффициента равно

$$K_3 = 1,1.$$

Для дальнейшего расчета освещения, необходимо выбрать коэффициенты отражения. По справочным данным принимаем следующие коэффициенты отражения:

Для потолка это – 50%;

Для стен это – 30%;

Для пола это – 10%.

В связи с тем, что помещение является классом В-1а, светильники должны иметь соответствующую маркировку. Опираясь на специфику производственного литейного цеха, выбираем на текущий момент линейный взрывозащитный светодиодный светильник LINE-EX-P-013-28-50 с маркировкой взрывозащиты 2ExnRIICT6GcX, компании «Комплед».

Основными его характеристиками является:

- температурный диапазон от -60°C до +50°C;
- кожух изготовлен из анодированного алюминия или высокопрочной стали и полностью герметичен;
- устойчив к воздействию едких химических соединений;
- ударопрочен;
- рассеиватель изготовлен из ударопрочного светотехнического поликарбоната;
- малое потребление 30 Вт;
- световой поток с учетом потерь 3674 Лм.

По указанной формуле находим требуемое количество светильников на литейный цех:

$$N = \frac{E \times S \times K_3}{\eta \times n \times \Phi_{\text{л}}}, \quad (24)$$

$$N = \frac{300 \times 1800 \times 1,1}{0,49 \times 1 \times 3674} = 330 \text{ шт.}$$

Таким же способом, которым рассчитывали активные и реактивные нагрузки по цеху, находим нагрузку осветительной сети:

$$P_{\text{осв.}} = N \times n \times P_{\text{л}}, \quad (25)$$

$$P_{\text{осв.}} = 1 \times 330 \times 0,03 = 9,9 \text{ кВт.}$$

При $\cos\varphi=0,98$ светодиодного светильника, то $\text{tg}\varphi=0,2$

$$Q_{\text{осв.}} = P_{\text{осв.}} \times \text{tg}\varphi, \quad (26)$$

$$Q_{\text{осв.}} = 9,9 \times 0,2 = 1,98 \text{ квар.}$$

Далее рассчитываем мощность освещения литейного цеха по формуле:

$$S_{\text{осв.}} = \sqrt{P_{\text{осв.}}^2 + Q_{\text{осв.}}^2}, \quad (27)$$

$$S_{\text{осв.}} = \sqrt{9,9^2 + 1,98^2} = 10,096 \text{ кВа.}$$

И последний расчет из данного раздела, определяем ток освещения по формуле:

$$I_{\text{осв.}} = \frac{S_{\text{осв.}}}{\sqrt{3} \times U_n}, \quad (28)$$

$$I_{\text{осв.}} = \frac{10,096}{1,732 \times 0,4} = 14,57 \text{ А.}$$

Светодиодные светильники, которые выбрали, сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Освещение для литейного цеха

| Наименование светильников | Фл, Лм | Рсвет., кВт | Н, шт |
|--|-----------|----------------|----------|
| линейный взрывозащитный светодиодный светильник LINE-EX-P-013-28-50 | 3674 | 9.9 | 330 |

После проделанных расчетов, как и нагрузки электрооборудования, так и освещения, необходимо определить суммарную нагрузку на цех, по уже известным формулам:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{осв.}} + P_{\text{р.}}, \quad (29)$$

$$P_{\Sigma} = 9,9 + 970,11 = 980,01 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{осв.}} + Q_{\text{р.}}, \quad (30)$$

$$Q_{\Sigma} = 1,98 + 683,57 = 685,55 \text{ квар},$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{P\Sigma}^2 + Q_{Q\Sigma}^2}, \quad (31)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{980,01^2 + 685,55^2} = 1195,98 \text{ кВа},$$

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \times U_n}, \quad (32)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{1195,98}{1,732 \times 0,4} = 1726,3 \text{ А.}$$

2.4 Расчет номинальной мощности, количества, типа силовых трансформаторов и КТП

Исходя из категории потребителей в данном цехе, согласно ПУЭ цех относится к 1 и 2 категории, а значит, коэффициент загрузки будет $K_3=0,7$. При этом необходимо обеспечить КТП двумя трансформаторами с взаимным резервированием, и при случае выхода из строя одного из трансформатора, КТП должно обеспечить работоспособность всего литейного цеха, пока не предотвратят аварию на КТП.

Стоит отметить, что данный цех относится к классу В-1а, что запрещает устанавливать масляные трансформаторы внутри цеха. По этой причине КТП будем размещать вне литейного цеха, в примыкающем отдельном помещении.

На первом этапе при выборе трансформатора необходимо учесть полную нагрузку по литейному цеху, которую заранее рассчитали.

Вычислим номинальную мощность по следующей формуле:

$$S_{\text{Т.НОМ.расч.}} = \frac{S_{\text{НАГР.}}}{n \times k_3}, \quad (33)$$

$$S_{\text{Т.НОМ.расч.}} = \frac{1195,98}{2 \times 0,7} = 854,27 \text{ кВа.}$$

По полученным расчетам, выбираем 2 трансформатора, близких к номинальной расчетной мощности – ТМГ 12-1000/6/0.4-У1.

Далее нужно проверить трансформаторы по коэффициенту загрузки, характеризующему возможность их работы при возникновении аварийных режимов. Коэффициент загрузки определяем по формуле:

$$K_3 = \frac{\Sigma S}{S_T \times N_T}, \quad (34)$$

$$K_3 = \frac{1195,98}{1000 \times 2} = 0,6.$$

Из расчета можно сказать, что при коэффициенте 0,6 согласно ПУЭ, полученное число находится в пределах допустимого диапазона 0,6 ÷ 0,8 и пригодно для резервирования при аварийном режиме.

Опираясь на известную методику, находим потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{ТР.}} = N_T \times P_{\text{xx.}} + K_3^2 \times P_{\text{КЗ.}}, \quad (35)$$

$$\Delta P_{\text{ТР.}} = 2 \times 1,55 + 0,7^2 \times 10,2 = 8,09 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{ТР.}} = N_T \times I_{\text{xx.}} + K_3^2 \times P_{\text{КЗ.}} \times \frac{S_N}{100}, \quad (36)$$

$$\Delta Q_{\text{ТР.}} = 2 \times 1,2 + 0,7^2 \times 5,5 \times \frac{1000}{100} = 29,35 \text{ квар},$$

$$\Delta S_{\text{ТР.}} = \sqrt{\Delta P_{\text{ТР.}}^2 + \Delta Q_{\text{ТР.}}^2}, \quad (37)$$

$$\Delta S_{\text{ТР.}} = \sqrt{8,09^2 + 29,35^2} = 30,44 \text{ кВа.}$$

Рассчитаем активные и реактивные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = N_T \times P_{\text{xx}} + K_3^2 \times \Delta P_{\text{КЗ}}, \quad (38)$$

$$\Delta P_{\text{ТР}} = 2 \times 1,1 + 0,7^2 \times 10,5 = 7,34 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{тр}} = N_T \times \Delta I_{xx} + K_3^2 \times \Delta P_{\text{кз}} \times \frac{S_H}{100}, \quad (39)$$

$$Q_{\text{тр}} = 2 \times 0,6 + 0,7^2 \times 5,5 \times \frac{1000}{100} = 27,55 \text{ квар.}$$

Затем рассчитаем суммарные потери мощности в целом:

$$P_p = P_{\Sigma P} + \Delta P_T, \quad (40)$$

$$P_p = 980,01 + 7,34 = 987,35 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = Q_{\Sigma P} + \Delta Q_T, \quad (41)$$

$$Q_p = 685,55 + 27,55 = 713,1 \text{ квар.}$$

Рассчитаем Q_{min} мощность в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{min}} = Q_p \times 0,5, \quad (42)$$

$$Q_{\text{min}} = 713,1 \times 0,5 = 356,55 \text{ квар.}$$

Экономическое обоснование реактивной мощности в режимах максимальных нагрузок:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 \times Q_{\text{сд}}, \quad (43)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 713,1 - 0,7 \times 0 = 713,1 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{Э1}}'' = \alpha \times P_{\text{P}}, \quad (44)$$

$$Q_{\text{Э1}}'' = 0,28 \times 987,35 = 276,45 \text{ квар.}$$

Экономическое обоснование реактивной мощности в режимах минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{Э2}}' = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - (Q_{\text{P}} - Q_{\text{Э1}}), \quad (45)$$

$$Q_{\text{Э2}}' = 356,55 - (713,9 - 276,45) = -80,9 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{Э2}}'' = Q_{\text{min}} + Q_{\text{К}}, \quad (46)$$

$$Q_{\text{Э2}}'' = 356,55 + 0 = 356,55 \text{ квар.}$$

Сделаем расчет суммарной мощности компенсирующего устройства (КУ):

$$Q_{\text{КУ max}} = 0,9 \times (Q_{\text{P}} - Q_{\text{Э1}}), \quad (47)$$

$$Q_{\text{КУ max}} = 0,9 \times (713,1 - 276,45) = 394,4 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{Э2}}, \quad (48)$$

$$Q_{\text{КУ min}} = 356,55 - 356,55 = 0 \text{ квар.}$$

По результатам расчетов КУ должны быть регулируемые.

Реактивная мощность, перетекаемая из сети ВН (6 кВ) в сеть НН (до 1 кВ) не должна компенсироваться. Проверяем:

$$Q_{ЭН} = Q_{Э1} - (Q_P - Q_{\Sigma P}), \quad (49)$$

$$Q_{ЭН} = 276,45 - (713,1 - 276,45) = 394,4 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность, перетекаемая из сети ВН (6 кВ) в сеть НН (до 1 кВ):

$$Q_T = \sqrt{(N_T \times K_3 \times S_{Н.Т.})^2 - P_{\Sigma P}^2}, \quad (50)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \times 0,7 \times 1000)^2 - 987,35^2} = 991,79 \text{ квар.}$$

Рассчитаем мощность КУ, которые должны компенсировать на шинах НН до 1 кВ:

$$Q_{КУ.Н} = Q_{\Sigma P} - Q_T, \quad (51)$$

$$Q_{КУ.Н} = 685,55 - 991,79 = -306,24 \text{ квар.}$$

По результатам расчета $Q_{КУ.Н} \leq 100$ квар, из этого следует вывод, что компенсирующее устройство на НН до 1 кВ не является целесообразным.

Рассчитаем мощность КУ, которые должны компенсировать на шинах ВН до 6 кВ:

$$Q_{КУ.В} = Q_{КУ \max} - Q_{КУ.Н}, \quad (52)$$

$$Q_{КУ.В} = 394,4 - 0 = 394,4 \text{ квар.}$$

По результатам расчета $Q_{КУ.В} \leq 800$ квар, из этого следует вывод, что компенсирующее устройство на ВН до 6 кВ не является целесообразным.

2.5 Расчет токов КЗ на линии НН.

2.5.1 Расчет параметров схемы замещения

На основании методики по расчетам токов КЗ, которая описана для токов до 1000В, будем рассматривать две точки, согласно приведенной схеме на рисунке 2.

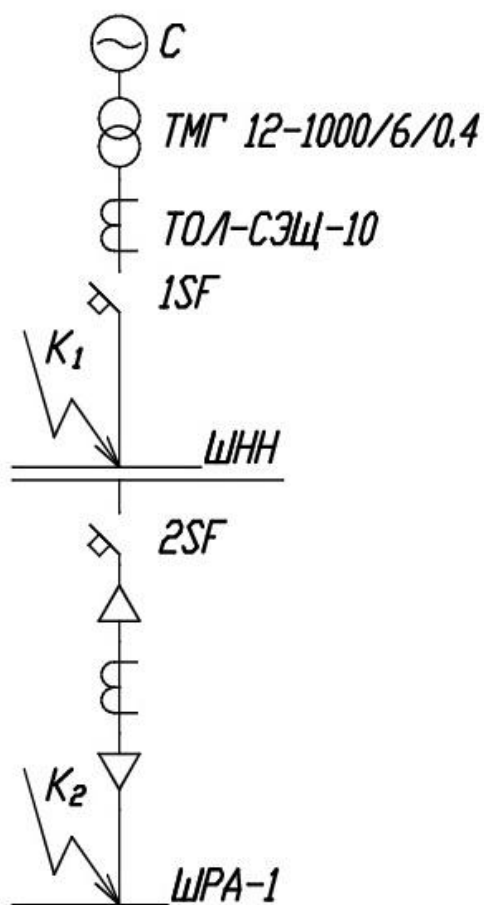


Рисунок 2 – Расчетная схема

Затем необходимо составить на основе расчетной схемы – схему замещения, по которой и будем определять токи КЗ.

На рисунке 3 изображена сформированная схема замещения.

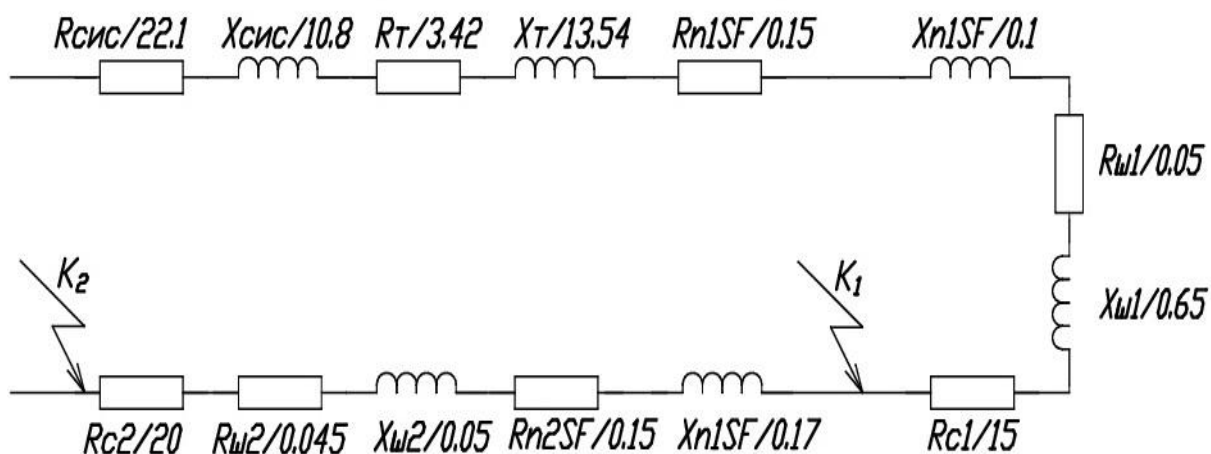


Рисунок 3 – Схема замещения

До начала расчетов, находим по каталогу справочные данные по сопротивлениям трансформатора:

- $R_T = 2 \text{ мОм}$;
- $X_T = 8.6 \text{ мОм}$;
- $Z_T = 8.8 \text{ мОм}$.

Находим трехфазный ток КЗ для системы:

$$I_C = \frac{S_T}{\sqrt{3} \times V_C}, \quad (53)$$

$$I_C = \frac{1000}{1,73 \times 6,6} = 91,75 \text{ А},$$

$$x'_C = x_0 \times L_C, \quad (54)$$

$$x'_C = 0,15 \times 20 = 3 \text{ Ом},$$

где L_C – длина линии в метрах, а x_0 – 0.15 мОм для шинопроводов.

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \times S'}, \quad (55)$$

$$r_0 = \frac{10^3}{50 \times 65} = 0,307 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$R'_C = r_0 \times L_C, \quad (56)$$

$$R'_C = 0,307 \times 20 = 6,14 \text{ Ом},$$

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \times V_{HT}}, \quad (57)$$

$$I_T = \frac{1000}{1,73 \times 0,4} = 1445,08 \text{ А},$$

для шины ШНН Metaenergy 1600 А, с сечением 5×125, с медными жилами.

Полученные R – сопротивления приводим к НН:

$$R_C = R'_C \times \left(\frac{V_{HH}}{V_{BH}} \right)^2, \quad (58)$$

$$R_C = 6140 \times \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 22,1 \text{ Ом},$$

$$X_C = X'_C \times \left(\frac{V_{HH}}{V_{BH}} \right)^2, \quad (59)$$

$$X_C = 3000 \times \left(\frac{0,4}{6,3} \right)^2 = 10,8 \text{ мОм}.$$

Следующим шагом будет определение по справочникам сопротивления автоматов защиты:

– линия 1SF $R_{1SF} = 0,1 \text{ Мом}$; $X_{1SF} = 0,1 \text{ Мом}$; $R_{n1SF} = 0,15 \text{ Мом}$;

– линия 2SF $R_{2SF}=0,15$ Мом; $X_{2SF}=0,17$ Мом; $R_{n2SF}=0,4$ Мом.

Для удобства дальнейших расчетов занесем справочные данные удельных значений комплектных шинопроводов в таблицу 5.

Таблица 5 – Удельные значения шинопроводов

| | ШНН-1600, мОм | ШРА-400, мОм |
|----------|---------------|--------------|
| r_0 | 0.01 | 0.015 |
| x_0 | 0.13 | 0.017 |
| $r_{0П}$ | 0.2 | 0.3 |
| $x_{0П}$ | 0.26 | 0.24 |

Значения активных переходных сопротивлений неподвижных контактов находим по справочным данным:

– для ШНН-1600 $R_n=0,0034$ мОм;

– для ШРА-400 $R_n=0,006$ мОм.

Произведем расчет для ШНН-1600 с длиной 5м:

$$R_{\text{ШНН}} = r_0 \times L_{\text{ш}}, \quad (60)$$

$$R_{\text{ШНН}} = 0,01 \times 5 = 0,05 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{ШНН}} = x_0 \times L_{\text{ш}}, \quad (61)$$

$$X_{\text{ШНН}} = 0,13 \times 5 = 0,65 \text{ мОм}.$$

Произведем расчет для ШРА-400 с длиной 3м:

$$R_{\text{ШРА}} = r_0 \times L_{\text{ш}}, \quad (62)$$

$$R_{\text{ШРА}} = 0,015 \times 3 = 0,045 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{ШРА}} = x_0 \times L_{\text{Ш}}, \quad (63)$$

$$X_{\text{ШРА}} = 0,017 \times 3 = 0,051 \text{ мОм}.$$

Находим по справочникам ступени распределения:

– $R_{C1} = 15 \text{ Мом};$

– $R_{C2} = 20 \text{ Мом}.$

После этого упрощаем схему замещения и заносим на схему (рисунок 4)

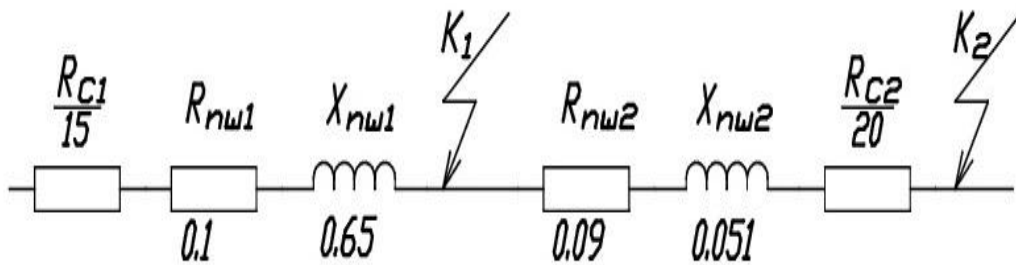


Рисунок 4 – Упрощенная схема замещения

$$R_{\text{Э1}} = R_{C1} + R_C + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF}, \quad (64)$$

$$R_{\text{Э1}} = 15 + 22,1 + 3,42 + 0,15 + 0,4 = 41,07 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{Э1}} = X_{C1} + X_T + X_{1SF}, \quad (65)$$

$$X_{\text{Э1}} = 10,8 + 13,54 + 0,1 = 24,44 \text{ мОм},$$

$$R_{\text{Э2}} = R_{SF2} + R_{n2SF} + R_{\text{ШНН}} + R_{\text{ШРА}} + R_{C2}, \quad (66)$$

$$R_{\text{Э2}} = 0,15 + 0,4 + 0,05 + 0,051 + 20 = 20,65 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{Э2}} = X_{SF2} + X_{\text{ШНН}} + X_{\text{ШРА}}, \quad (67)$$

$$X_{\text{Э2}} = 0,17 + 0,65 + 0,051 = 0,871 \text{ мОм.}$$

Далее необходимо вычислить сопротивления для 2 точек КЗ которые указали на схеме:

$$R_{K1} = R_{\text{Э1}} = 41,07 \text{ мОм,}$$

$$X_{K1} = X_{\text{Э1}} = 24,44 \text{ мОм,}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}, \quad (68)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{41,07^2 + 24,44^2} = 47,79 \text{ мОм,}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{\text{Э2}}, \quad (69)$$

$$R_{K2} = 41,07 + 20,65 = 61,72 \text{ мОм,}$$

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{\text{Э2}}, \quad (70)$$

$$X_{K2} = 24,44 + 0,871 = 25,31 \text{ мОм,}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}, \quad (71)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{61,72^2 + 25,31^2} = 66,7 \text{ мОм,}$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{41,07}{24,44} = 1,68, \quad (72)$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{61,72}{25,31} = 2,44. \quad (73)$$

2.5.2 Расчет токов КЗ

Для начала расчета нужно определить коэффициенты K_y и q по справочникам:

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(1,68) = 1, \quad (74)$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(2,44) = 1, \quad (75)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \times (K_y - 1)^2}, \quad (76)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \times (1 - 1)^2} = 1,$$

$$q_2 = q_1 = 1.$$

Исходя из полученных расчетов можно определить 3-х и 2 фазные токи КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \times Z_{K1}}, \quad (77)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4 \times 10^3}{1,732 \times 47,79} = 4,83 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \times Z_{K2}}, \quad (78)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4 \times 10^3}{1,732 \times 66,7} = 3,46 \text{ кА},$$

$$I_{yK1} = q_1 \times I_{K1}^{(3)} = 4,83 \text{ кА}, \quad (79)$$

$$I_{yK2} = q_2 \times I_{K2}^{(3)} = 3,46 \text{ кА}, \quad (80)$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \times K_{y1} \times I_{K1}^{(3)}, \quad (81)$$

$$i_{yK1} = 1,41 \times 1 \times 4,83 = 6,81 \text{ кА},$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \times K_{y2} \times I_{K2}^{(3)}, \quad (82)$$

$$i_{yK2} = 1,41 \times 1 \times 3,46 = 4,88 \text{ кА},$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{K1}^{(3)}, \quad (83)$$

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \times 4,83 = 4,2 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{K2}^{(3)}, \quad (84)$$

$$I_{K2}^{(2)} = 0,87 \times 3,46 = 3,01 \text{ кА}.$$

Все полученные расчетные данные по тока КЗ заносим в сводную таблицу 6.

Таблица 6 – Сводная таблица двух- и трехфазных токов КЗ

| КЗ | R_K , МОм | X_K , МОм | Z_K , МОм | R_K/Z_k | K_y | q | $I_K^{(3)}$, кА | i_y , кА | $I_K^{(2)}$, кА | Z_n , МОм | $I_K^{(1)}$, кА |
|----|----------------|----------------|----------------|-----------|-------|---|---------------------|---------------|---------------------|----------------|---------------------|
| К1 | 41.07 | 24.44 | 47.79 | 1.68 | 1 | 1 | 4.83 | 6.81 | 4.2 | 5.03 | 1.017 |
| К2 | 61.72 | 25.31 | 66.7 | 2.44 | 1 | 1 | 3.46 | 4.88 | 3.01 | 35.18 | 0.14 |

Соответственно аналогично вышеприведенным расчетам, составим схему замещения для однофазного КЗ (рисунок 5)

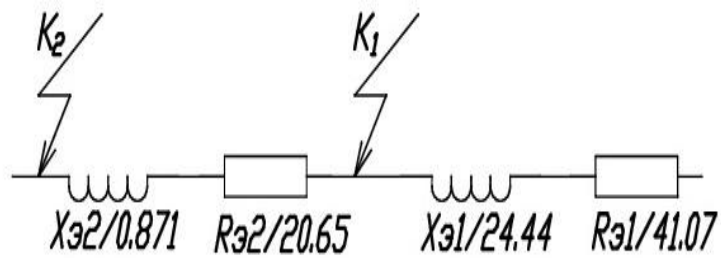


Рисунок 5 – Схема замещения однофазного КЗ

Для медных шин:

$$r_{nшнн} = 2 \times r_{0nшнн} \times L_{шнн} , \quad (85)$$

$$r_{nшнн} = 2 \times 0,01 \times 5 = 0,1 \text{ мОм},$$

$$x_{nшнн} = x_{0nшнн} \times L_{шнн} , \quad (86)$$

$$x_{nшнн} = 0,13 \times 5 = 0,65 \text{ мОм},$$

$$r_{nшра} = 2 \times r_{0nшра} \times L_{шра} , \quad (87)$$

$$r_{nшра} = 2 \times 0,015 \times 3 = 0,09 \text{ мОм},$$

$$x_{nшра} = x_{0nшра} \times L_{шра} , \quad (88)$$

$$x_{nшра} = 0,017 \times 3 = 0,051 \text{ мОм},$$

$$R_{nz} = R_{C1} + R_{nшнн} + R_{шра} + R_C , \quad (89)$$

$$R_{nz} = 15 + 0,1 + 0,09 + 20 = 35,19 \text{ мОм},$$

$$X_{nz} = X_{nшнн} + X_{nшра} , \quad (90)$$

$$X_{nz} = 0,65 + 0,051 = 0,701 \text{ мОм},$$

$$Z_{nz} = \sqrt{R_{nz}^2 + X_{nz}^2}, \quad (91)$$

$$Z_{nz} = \sqrt{35,19^2 + 0,701^2} = 35,18 \text{ мОм},$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{V_{кф}}{Z_{n1} + \frac{Z_{\Gamma}^{(1)}}{3}}, \quad (92)$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{0,22 \times 10^3}{5,03 \times \frac{129}{3}} = 1,017 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{V_{кф}}{Z_{n2} + \frac{Z_{\Gamma}^{(1)}}{3}}, \quad (93)$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{0,22 \times 10^3}{35,18 \times \frac{129}{3}} = 0,14 \text{ кА}.$$

Выводы к разделу 2

В данном разделе рассчитаны основные нагрузки литейного производства, возросшие из-за более широкого ассортимента выпускаемой продукции и подключения дополнительного оборудования.

Осуществлен расчет и сделан выбор актуальных осветительных приборов. Вместо старых изношенных источников света предложено использовать линейные взрывозащищённые светодиодные светильники LINE

российского производства. Данное решение позволяет сократить потребление электричества и увеличить длительность работы светильников, так как, светодиодные светильники являются более надежными и долговечными по сравнению с теми, что ранее использовались в данном цехе.

Предложено заменить кабельные линии на литые медные шинопроводы российского производства, выбор которых произведен согласно категории пожароопасности и требованиям ПУЭ. Шинопроводы отличаются от кабельных токопроводов меньшими потерями мощности и более высокой надежностью при эксплуатации.

На основании расчетных данных сделан выбор силовых трансформаторов для замены имеющихся, выработавших свой ресурс. Для КТП выбраны экономичные масляные трансформаторы ТМГ 12-1000/6/0. Эти трансформаторы отличаются повышенной надежностью и меньшими потерями холостого хода, что на долгосрочной перспективе окажет заметную экономию электроэнергии на производстве.

Расчет токов КЗ показал, что максимальный ударный ток в точке К1 составляет 6,81 кА. Выбранный автоматический выключатель ВА-88-43 имеет электродинамическую стойкость равную 50 кА, что говорит о его способности отключить КЗ, не разрушившись при аварийной ситуации.

Для точки К2 наибольший ток КЗ равен 4.88 кА, а электродинамическая стойкость выбранного выключателя ВА-88-37 равна 37 кА. Значит, он так же способен отключить ток КЗ при аварийном режиме.

3 Релейная защита системы электроснабжения литейного производства

3.1 Выбор автоматических выключателей

С целью защиты от токов КЗ и перегрузок электрических аппаратов, находящихся в эксплуатации цеха, необходима защита в виде автоматических выключателей.

Для выбора выключателей нужно знать номинальные мощности и рассчитать номинальные и длительно допустимые токи.

Рассчитаем номинальный ток межсекционных выключателей от трансформатора до ШНН:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \times 0,4}, \quad (94)$$

$$I_T = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1443,42 \text{ А.}$$

Из расчета тока выбираем автоматический выключатель IEK ВА88-43 1600А 50кА с электронным микропроцессорным расцепителем МР 211. Кроме этого, проводим проверку времятоковых характеристик для двух различных уставок, определяемых коэффициентом K и множителем M . Рекомендуется для проверки брать коэффициенты $K=1$ и $K=0,7$, а множители 10 и 4, время задержки 3 и 18 секунд.

- При $K=1$ значение номинального тока составит 1600А;
- При $K=0,7$ значение номинального тока составит 1120А;
- Значение уставки электромагнитного расцепителя при 1600А составит 16000А;

– Значение уставки электромагнитного расцепителя при 1120А составит 4480А.

Для выбора выключателей электрооборудования в цехе, на примере печи ОКБ-238 произведем расчет и выбор автоматического выключателя по формулам:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{H}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{H}} \times \cos \varphi}, \quad (95)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{35000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,95} = 53,17 \text{ А.}$$

Вычислим номинальный ток расцепителя:

$$I_{\text{НР}} = 1,25 \times I_{\text{ном}}, \quad (96)$$

$$I_{\text{НР}} = 1,25 \times 53,17 = 66,46 \text{ А.}$$

Вычисляем пусковой ток для данной печи:

$$I_0 = 1,2 \times I_{\text{ном}}. \quad (97)$$

Для данной печи ОКБ-238 пусковые токи отсутствуют, тогда действует равенство:

$$I_0 = I_{\text{ном}},$$

тогда,

$$I_0 = 1,2 \times 53,17 = 63,8 \text{ А.}$$

Далее вычисляем кратность отсечки:

$$K_0 \geq \frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{НР}}}, \quad (98)$$

$$K_0 \geq \frac{63,8}{66,46} = 0,96.$$

Согласно проделанным расчетам выбираем выключатель на 63А, ИЕК ВА 47- 100 С63 10кА.

Таким же образом произведем расчёты для ЭП всего цеха, а также на вводных линиях и занесем в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор выключателей литейного цеха

| № | Наименование | Кол-во | Номинальная мощность, кВт | $I_{\text{Д}}$ | I_0 | $I_{\text{НР}}$ | Марка и тип выключателя | $I_{\text{НОМ}}$ |
|----|---|--------|---------------------------|----------------|--------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1 | Раздаточная электропечь сопротивления ОКБ-238 | 3 | 35 | 53.17 | 63.8 | 66.46 | ВА 47- 100 | 63 |
| 2 | Печь СНЗ-2,5 | 1 | 30 | 45.58 | 54.7 | 56.97 | ВА 47- 100 | 50 |
| 3 | Печь СНЗ-6,5 | 1 | 72 | 109.39 | 131.27 | 136.73 | ВА 47- 100 | 125 |
| 4 | Печь СНО-6,5 | 1 | 60 | 91.16 | 109.39 | 113.95 | ВА 47- 100 | 100 |
| 5 | Печь Н-30 | 1 | 15 | 22.79 | 34.18 | 28.48 | ВА 47- 100 | 25 |
| 6 | Печь КС-800 | 1 | 37 | 56.21 | 84.31 | 70.26 | ВА 47- 100 | 63 |
| 7 | Закалочная ванна масляная ВЗМ 16.12.9/0.6 | 1 | 30 | 45.58 | 54.7 | 56.97 | ВА 47- 100 | 50 |
| 8 | Закалочная ванна водяная ВЗВ 16.12.9/0.8 | 1 | 34 | 51.65 | 61.98 | 64.56 | ВА 47- 100 | 63 |
| 9 | Соляная ванна СП-75 | 1 | 60 | 86.6 | 103.92 | 108.25 | ВА 47- 100 | 100 |
| 10 | Печь СШЗ-6,6 | 1 | 37.2 | 56.52 | 67.82 | 70.65 | ВА 47- 100 | 63 |
| 11 | Моечная машина МД-70Е | 1 | 3.75 | 7.07 | 8.48 | 45.95 | ABB S203 | 10 |
| 12 | Электропечь вакуумная СЭВ-3,3 | 3 | 34 | 51.65 | 61.98 | 64.56 | ВА 47- 100 | 63 |
| 13 | Холодильная камера ИЛКА TV-1000 | 1 | 8.5 | 16.03 | 19.23 | 20.05 | ABB S203 | 20 |
| 14 | Печь ОКБ-238 | 1 | 35 | 53.17 | 63.8 | 66.46 | ВА 47- 100 | 63 |
| 15 | Печь ИСТ-0,16 | 2 | 200 | 339.6 | 407.56 | 424.53 | ВА 88- 37 | 400 |

Продолжение таблицы 7

| | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------|---|------|-------|--------|--------|-------------------------|-----|
| 16 | Печь СНО-8.16 | 1 | 86 | 130.6 | 196 | 163.34 | BA 88- 37 | 160 |
| 17 | Печь Н-60 | 1 | 45 | 68.37 | 82.04 | 85.46 | BA 47- 100 | 80 |
| 18 | Печь СНОС-10.12 | 1 | 32.2 | 48.92 | 58.7 | 61.15 | BA 47- 100 | 50 |
| 19 | Вакуумно-аммиачное сушило | 1 | 18.8 | 31.73 | 206.57 | 39.67 | Schneider Electric IK60 | 32 |
| 20 | Установка 661 | 1 | 3 | 5.06 | 6.07 | 6.33 | Schneider Electric IK60 | 6 |
| 21 | Пескосып MFS1000 | 3 | 8.6 | 15.67 | 101.85 | 19.59 | ABB S203 | 16 |
| 22 | Пресс для запрессовки модельной массы | 1 | 36.1 | 89.07 | 578.95 | 111.33 | BA 47- 100 | 100 |
| 23 | Ванна для вытопки модельного состава | 1 | 20.7 | 90.76 | 108.92 | 113.45 | BA 47- 100 | 100 |
| 24 | Пресс дугостаторный ФБ-1732 | 1 | 36 | 88.82 | 577.33 | 111.02 | BA 47- 100 | 100 |
| 25 | Печь СНЗ-4,8 | 1 | 25 | 37.98 | 45.57 | 47.48 | ABB S203 | 40 |
| 26 | Ленточная пила Stalex BS-5030 | 1 | 3 | 7.4 | 48.1 | 9.25 | ABB S203 | 10 |
| 27 | Отрезной станок Brilliant 2000 | 1 | 50 | 123.3 | 801.9 | 154.21 | BA 47- 100 | 125 |
| 28 | Молот МА4132МВ-412 | 1 | 15 | 100.2 | 651.49 | 125.23 | BA 47- 100 | 100 |
| 29 | Печь KS-600 | 1 | 25 | 37.98 | 45.57 | 47.47 | ABB S203 | 40 |

3.2 Выбор сечений шинопроводов и КЛ, типа и марки для цеха

Согласно ПУЭ и классу помещения выбраны с литым корпусом медные шинопроводы Metaenergy. Расчет шинопроводов внесем в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор шинопроводов для литейного цеха

| № | Обозначение | Расчетный I_d, A | Марка и тип | I_d, A | $S, мм^2$ |
|---|-------------|--------------------|--|----------|-----------|
| 1 | ШНН | 1445.08 | Metaenergy с медными шинами и литым корпусом IP 68 | 1600 | 5×125 |
| 2 | ШРА-1 | 365.53 | Metaenergy с медными шинами и литым корпусом IP 68 | 400 | 5×40 |
| 3 | ШРА-2 | 687.69 | Metaenergy с медными шинами и литым корпусом IP 68 | 800 | 5×55 |
| 4 | ШРА-3 | 674.43 | Metaenergy с медными шинами и литым корпусом IP 68 | 800 | 5×55 |
| 5 | ШРА-4 | 211.26 | Metaenergy с медными шинами и литым корпусом IP 68 | 400 | 5×40 |

Согласно ПУЭ в соответствии с классом помещения, категории В-1а пожарной опасности выбраны кабельные линии типа ВБбШв. Все расчеты сечений для КЛ сводим в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор кабельных проводников для литейного цеха

| № | Наименование | $I_{нр}, А$ | $I_{доп}, А$ | Тип и марка | п, жил | $S, мм^2$ |
|----|---|-------------|--------------|-------------|--------|-----------|
| 1 | Раздаточная электропечь сопротивления ОКБ-238 | 66.46 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 2 | Печь СНЗ-2,5 | 56.97 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 3 | Печь СНЗ-6,5 | 136.73 | 150 | ВБбШв | 4 | 50 |
| 4 | Печь СНО-6,5 | 113.95 | 115 | ВБбШв | 4 | 35 |
| 5 | Печь Н-30 | 28.48 | 30 | ВБбШв | 4 | 4 |
| 6 | Печь KS-800 | 70.26 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 7 | Закалочная ванна масляная ВЗМ 16.12.9/0.6 | 56.97 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 8 | Закалочная ванна водяная ВЗВ 16.12.9/0.8 | 64.56 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 9 | Соляная ванна СП-75 | 108.25 | 115 | ВБбШв | 4 | 35 |
| 10 | Печь СШЗ-6,6 | 70.65 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 11 | Моечная машина МД-70Е | 8.83 | 25 | ВБбШв | 4 | 2.5 |
| 12 | Электропечь вакуумная СЭВ-3,3 | 64.56 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 13 | Холодильная камера ILKA TV-1000 | 20.05 | 25 | ВБбШв | 4 | 2.5 |
| 14 | Печь ОКБ-238 | 66.46 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 15 | Печь ИСТ-0,16 | 424.53 | 440 | ВБбШв | 4 | 150 |
| 16 | Печь СНО-8.16 | 163.34 | 185 | ВБбШв | 4 | 70 |
| 17 | Печь Н-60 | 85.46 | 90 | ВБбШв | 4 | 25 |
| 18 | Печь СНОС-10.12 | 61.15 | 75 | ВБбШв | 4 | 16 |
| 19 | Вакуумно-аммиачное сушило | 39.67 | 40 | ВБбШв | 4 | 6 |
| 20 | Установка 661 | 6.33 | 25 | ВБбШв | 4 | 2.5 |
| 21 | Пескосып MFS1000 | 19.59 | 25 | ВБбШв | 4 | 2.5 |
| 22 | Пресс для запрессовки модельной массы | 111.33 | 115 | ВБбШв | 4 | 35 |
| 23 | Ванна для вытопки модельного состава | 113.45 | 115 | ВБбШв | 4 | 35 |
| 24 | Пресс дугостаторный ФБ-1732 | 111.02 | 115 | ВБбШв | 4 | 35 |
| 25 | Печь СНЗ-4,8 | 47.48 | 50 | ВБбШв | 4 | 10 |
| 26 | Ленточная пила Stalex BS-5030 | 9.25 | 25 | ВБбШв | 4 | 2.5 |
| 27 | Отрезной станок Brilliant 2000 | 154.21 | 185 | ВБбШв | 4 | 70 |
| 28 | Молот МА4132МВ-412 | 125.29 | 150 | ВБбШв | 4 | 50 |
| 29 | Печь KS-600 | 47.47 | 50 | ВБбШв | 4 | 10 |

3.3 Расчет уставок защит трансформатора

Схема электроснабжения для расчета уставок представлена на рисунке 6.

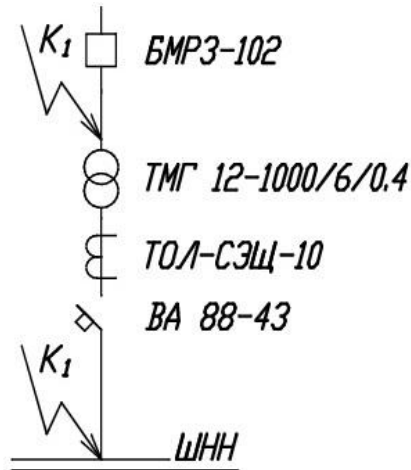


Рисунок 6 – Расчетная схема электроснабжения

Исходные данные для расчета уставок защиты:

- $I_{K\ max} = 20$ кА, ток КЗ в максимальном режиме;
- $U_{C\ ном} = 6.3$ кВ, среднее номинальное напряжение.

Исходные данные для трансформатора:

- $S_{ном\ тр} = 1000$ кВА, номинальная мощность;
- $U_{ном\ тр}^{ВН} = 6.3$ кВ, номинальное напряжение на ВН;
- $U_{ном\ тр}^{НН} = 0.4$ кВ, номинальное напряжение на НН;
- $I_{ном\ тр}^{ВН} = 96.23$ А, номинальный ток на ВН;
- $I_{ном\ тр}^{НН} = 1443.42$ А, номинальный ток на НН.

Автоматический выключатель ВА-88-43:

- $I_{ном,р} = 1600$ А, номинальный ток расцепителя.

Трансформатор тока на ВН ТОЛ-СЭЩ-10:

- $I_{1\ ном} = 100$ А, номинальный первичный ток ТТ;
- $I_{2\ ном} = 5$ А, номинальный вторичный ток ТТ;
- $n_T = 20$, коэффициент трансформации ТТ.

Блок релейной защиты БМРЗ-102-ТР.

Приводим к стороне ВН сопротивление системы:

$$x_{c \max} = \frac{U_{C \text{ ном}}}{\sqrt{3} \times I_{K \max}}, \quad (99)$$
$$x_{c \max} = \frac{6,3}{1,732 \times 20} = 0,18 \text{ Ом.}$$

Приводим к стороне НН сопротивление системы:

$$x_{c \max. \text{прив.}} = x_{c \max} \times \left(\frac{U_{\text{НН ном.тр}}}{U_{\text{ВН ном.тр}}} \right)^2, \quad (100)$$
$$x_{c \max. \text{прив.}} = 0,18 \times \left(\frac{0,4}{1} \right)^2 = 0,71 \text{ мОм.}$$

Далее находим сопротивление двухобмоточного трансформатора:

$$x_{\text{тр.}} = u_K \times \left(\frac{U_{\text{НН ном.тр}}}{S_{\text{ном.тр.}}} \right)^2, \quad (101)$$
$$x_{\text{тр.}} = 0,055 \times \left(\frac{0,4}{1} \right)^2 = 8,8 \text{ мОм.}$$

Находим максимальный ток КЗ на стороне НН:

$$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НН ном.тр}}}{\sqrt{3} \times (x_{c \max. \text{прив.}} + x_{\text{тр.}})}, \quad (102)$$
$$I_{\text{КЗ max}}^{(3)} = \frac{400}{1,732 \times (0,71 + 8,8) \times 10^{-3}} = 24,28 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток срабатывания ТО на шинах НН:

$$I_{\text{ТО с.з.}} = k_{\text{отк}} \times I_{K3 \text{ max}}^{(3)}, \quad (103)$$

$$I_{\text{ТО с.з.}} = 1,3 \times 24,28 = 31,56 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток срабатывания МТЗ по условию отстройки от самозапуска двигателей нагрузки:

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = k_{\text{отк}} \times k_{\text{сз п}} \frac{I_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{НН}}}{k_{\text{в}}}, \quad (104)$$

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = 1,2 \times 2 \times \frac{1,4 \times 1443,42}{0,95} = 5105 \text{ А.}$$

Необходимо согласовать ток срабатывания МТЗ с автоматическим выключателем:

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = k_{\text{отк}} \times I_{\text{с.о.}} \quad (105)$$

$$I_{\text{МТЗ с.з.}} = 1,3 \times 3200 = 4160 \text{ А.}$$

Из полученных расчетов выбираем наибольший ток срабатывания МТЗ $I_{\text{МТЗ с.з.}} = 5105 \text{ А.}$

Рассчитываем степень селективности при токе $I_{\text{МТЗ с.з.}} = 5105 \text{ А.}$

$$\Delta t = \frac{\varepsilon_1}{100} \times t_1 + \frac{\varepsilon_2}{100} \times t_2 + t_{\text{зап}}, \quad (106)$$

$$\Delta t = 0,02 + 0,025 + 0,1 = 0,15 \text{ с.}$$

Выдержку времени МТЗ независимой характеристикой выбираем по согласованию с автоматическим выключателем:

$$t_{\text{МТЗ с.з.}} = 0,1 + 0,15 = 0,25 \text{ с.}$$

Определяем ток срабатывания защиты от перегрузки из условия возврата защиты при номинальном токе трансформатора:

$$I_{\text{перегр с.з.}} = k_{\text{отк}} \times \frac{I_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{НН}}}{k_{\text{в}}}, \quad (107)$$

$$I_{\text{перегр с.з.}} = 1,05 \times \frac{1443,42}{0,95} = 1595 \text{ А.}$$

Выдержку времени на стороне 6 кВ выбираем от отстройки самозапуска двигателей, $I_{\text{перегр с.з.}} = 10 \text{ с.}$

Выполняем перерасчет токов из первичных значений, во вторичные с приведением к стороне ВН:

$$I_{\text{ТО с.р.}} = \frac{I_{\text{ТО с.з.}}}{n_{\text{T}}} \times \frac{U_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{ВН}}}, \quad (108)$$

$$I_{\text{ТО с.р.}} = \frac{31560}{20} \times \frac{0,4}{6,3} = 99,41 \text{ А,}$$

$$I_{\text{МТЗ с.р.}} = \frac{I_{\text{МТЗ с.з.}}}{n_{\text{T}}} \times \frac{U_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{НН}}}{U_{\text{НОМ.ТР}}^{\text{ВН}}}, \quad (109)$$

$$I_{\text{МТЗ с.р.}} = \frac{5105}{20} \times \frac{0,4}{6,3} = 16,08 \text{ А,}$$

$$I_{\text{перегр с.р.}} = \frac{I_{\text{перегр с.з.}}}{n_T} \times \frac{U_{\text{ном.тр}}^{\text{НН}}}{U_{\text{ном.тр}}^{\text{ВН}}}, \quad (110)$$

$$I_{\text{перегр с.р.}} = \frac{1595}{20} \times \frac{0,4}{6,3} = 5,02 \text{ А.}$$

Уставки, полученные в расчетах вводим в блок БМРЗ-102 и заносим в таблицу 10.

Таблица 10 – Уставки для ввода в блок БМРЗ

| Обозначение в блоке | Комментарий | Обозначение | Значение уставки |
|----------------------|---|--------------------------|------------------|
| ТО | | | |
| ТО РТ1 | Ток срабатывания ТО без выдержки времени, А | $I_{\text{ТО с.р.}}$ | 99.41 |
| МТЗ | | | |
| МТЗ РТ1 | Ток срабатывания 1 ступени МТЗ, А | $I_{\text{МТЗ с.р.}}$ | 16.08 |
| МТЗ-Т1-1 | Выдержка времени 1 ступени МТЗ с независимой выдержкой времени, с | $t_{\text{МТЗ с.з.}}$ | 0.25 |
| МТЗ тбл. | Выдержка времени 1 ступени МТЗ при включении выключателя, с | $t_{\text{МТЗ бл.}}$ | 0.5 |
| Защита от перегрузки | | | |
| МТЗ РТ2 | Ток срабатывания 2 ступени МТЗ, А | $I_{\text{перегр с.р.}}$ | 5.02 |
| МТЗ-Т2 | Выдержка времени 2 ступени МТЗ с независимой выдержкой времени, с | $t_{\text{перегр с.з.}}$ | 10 |

Рассчитаем выполнение защитной функции основной защиты на чувствительность по току при металлических КЗ на шинах:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз min}}}{I_{\text{МТЗ с.з.}}} = \frac{17200}{5105} = 3,37. \quad (111)$$

Значение $k_{\text{ч}}$ должно быть больше 1.5, получили 3.37. Это значит, что основная защита выполняет свои функции.

Выводы к разделу 3

В данном разделе произведены расчеты для выбора автоматических выключателей, которые заменят устаревшие предохранители ПП-2. Данные выключатели отличаются высокой надежностью и быстрым реагированием на КЗ, что способствует мгновенному отключению линии от шин электропередач.

Произведен расчет и выбор различных сечений кабельных линий. Согласно ПУЭ выбраны медные кабели ВБбШв из поливинилхлоридной изоляции, что обеспечат высокую надежность и пожаробезопасность при эксплуатации.

Согласно ПУЭ трансформаторы свыше 3кВ должны обеспечиваться релейной защитой. На основе специальных расчетов определены параметры для настройки микропроцессорных блоков релейной защиты трансформаторов. Блоки БМРЗ обеспечивают все функции защиты при любых видах повреждений на КТП, а также широкий диапазон сервиса для облегчения работы персонала, что повышает надёжность КТП и системы электроснабжения в целом.

4 Технико-экономическая оценка реконструкции литейного цеха

Для того чтобы понять эффективна ли реконструкция цеха, необходимо провести сравнительный анализ потерь мощности и затрат до и после реконструкции.

При реконструкции применялось оборудование, которое снижало потери мощности:

– Энергосберегающие трехфазные масляные трансформаторы ТМГ 12-1000, которые по сравнению с ТМГ 1000 имеют более низкий уровень потерь холостого хода, а также меньшие потери короткого замыкания. В целом такие трансформаторы стоят на 8-15 процентов дороже обычных, но их окупаемость за счет уменьшения потерь на долгосрочной дистанции может достигать от 2 до 5 лет в зависимости от стоимости электричества в данном регионе. Сравнительные характеристики трансформаторов по потерям холостого хода и потерь КЗ представлены на рисунках 7 и 8.

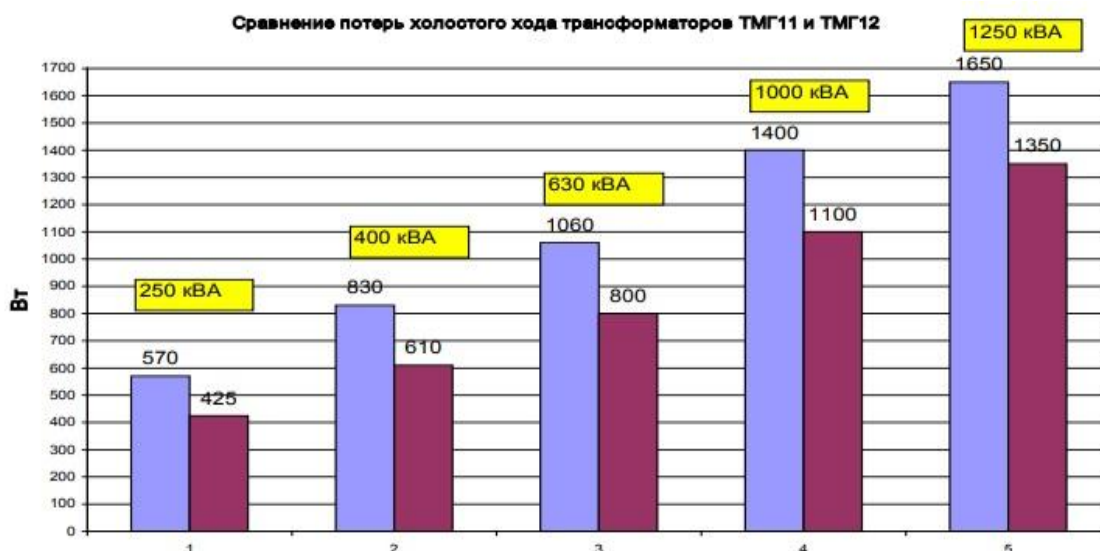


Рисунок 7 – Сравнение потерь холостого хода

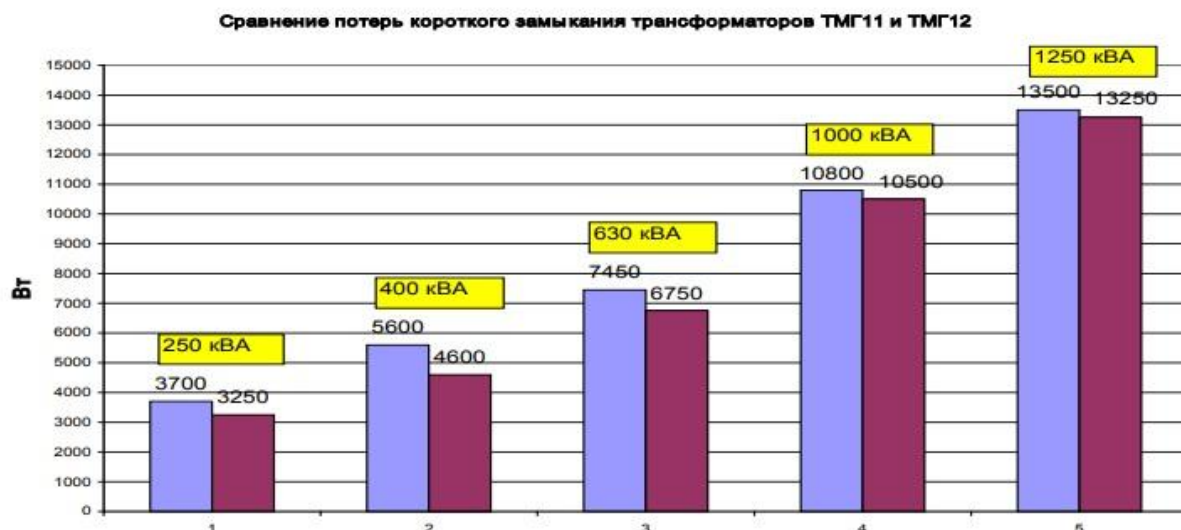


Рисунок 8 – Сравнение потерь короткого замыкания

– Светодиодные линейные взрывозащитные светодиодные светильники LINE-EX-P-013-28-50 с маркировкой взрывозащиты 2ExnRІІCT6GcX, компании «Комплед», которые за счет меньшего потребления электроэнергии и большей светоотдачей выигрывают практически в десятки раз в отличие от установленных до реконструкции.

– Шинопроводы литые с медными шинами российской компании Metaenergy, обеспечивающие пожарную безопасность и классами защиты IP68. Основные преимущества шинопроводов в отличие от кабельных линий заключаются в меньших потерях мощности и меньших затратах на покупку и установку данных линий. Снижение потерь в шинопроводах обеспечиваются за счет меньшего сопротивления, поэтому меньше потерь при передаче электроэнергии.

Для доказательства приведенных аргументов рассчитаем активные и реактивные потери в линиях по формулам:

$$P_{л} = 3 \times I^2 \times l \times R_0, \quad (112)$$

$$Q_{л} = 3 \times I^2 \times l \times Q_0. \quad (113)$$

Так же вычислим потери в трансформаторах по формулам:

$$P_{\text{тр}} = P_{\text{хх}} + P_{\text{кз}} \times K_3^2, \quad (114)$$

$$Q_{\text{тр}} = \frac{10}{100} + K_3 \times \frac{U_K}{100} \times S_H. \quad (115)$$

Все расчетные данные по потерям мощности заносим в таблицу 11 для сравнения потерь до и после реконструкции.

Таблица 11 – Сравнение потерь мощности до и после реконструкции

| Наименование | Нагрузка цеха, кВт | | Нагрузка на освещение, кВт | | Потери мощности при передаче, кВт | | Потери мощности в трансформаторах, кВт | |
|--------------|--------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------------------------|-------|--|-------|
| | До | После | До | После | До | После | До | После |
| Литейный цех | 987,2 | 987,2 | 48 | 9,9 | 35,2 | 17,8 | 8,09 | 7,16 |

Определим годовое потребление энергии цехом при цене за кВт×ч = 8,62 руб. с учетом НДС и графиками суточного потребления цехом в рабочие и выходные дни.

Потребление электроэнергии за 24 часа определяется по формуле:

$$w = p \times t. \quad (116)$$

Все полученные расчеты годовых затрат внесем в таблицу 12.

Таблица 12 – Годовые затраты электроэнергии до и после реконструкции

| | Потребление за 24 часа, кВт*ч | | Дней в году | Потребление за год, кВт*ч | |
|--|-------------------------------|---------|-------------|---------------------------|-------------|
| | До | После | | До | После |
| Рабочий день | 11846,4 | 11169,6 | 250 | 2961600 | 2792400 |
| Выходной день | 5923,2 | 5548,8 | 115 | 681168 | 642252 |
| ИТОГО в год | | | | 3642768 | 3434652 |
| Стоимость электроэнергии в при цене 8.62 руб. за кВт*ч, руб. | | | | 31400660,16 | 29606700,24 |

Годовые расходы на электроэнергию после реконструкции уменьшились на 1793959,92 рублей.

Для определения срока окупаемости необходимо рассчитать затраты электрооборудования на установку и их рыночную стоимость. Расчетные данные занесем в таблицу 13.

Таблица 13 – Стоимость и затраты на установку оборудования

| Оборудование | Кол-во | Ед. | Цена за ед., руб. | Стоимость с учетом затрат на установку, руб. |
|--|--------|-----|-------------------|--|
| Светильники | | | | |
| LINE-EX-P-013-28-50 с креплениями | 330 | шт | 5100 | 1851300 |
| Шинопроводы | | | | |
| Metaenergy с материалами на установку | 120 | п.м | 36500 | 4905600 |
| Кабельные линии | | | | |
| ВВГ различных сечений | 2,1 | км | - | 228000 |
| Трансформаторы | | | | |
| ТМГ-12 | 2 | шт | 579480 | 1399480 |
| Автоматические выключатели | | | | |
| Выключатели фирм IEK, АВВ, Schneider Electric, | | шт | - | 284167 |
| Блок релейной защиты | | | | |
| БМРЗ-102 | 2 | шт | 35700 | 71400 |
| ИТОГО | | | | 8739947 |

Выводы к разделу 4

За счет реконструкции литейного цеха уменьшились потери мощности на 62% по сравнению с потерями до реконструкции. Самый большой прирост экономии произошел за счет замены ламп на светодиодные.

Инвестиции в электрооборудование составило 8739947 руб., а экономия в год за счет электроэнергии – 1793959.92 руб.

Окупаемость вложенных средств составляет 4 года и 8 месяцев, что, безусловно, говорит о целесообразности и эффективности реконструкции электрооборудования литейного производства предприятия НПП «Звезда».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе исследована система электроснабжения предприятия АО «НПП «Звезда» и предложены мероприятия по ее реконструкции. Реконструкции непосредственно подверглось электрооборудование литейного производства. Технические решения выработаны на основании приведенных ниже действий.

- Проведен анализ электрических аппаратов и определен класс помещения В-1а.

- Рассчитаны нагрузки литейного производства и нагрузки на выбранные литые медные шинопроводы марки Metaenergy на стороне НН в соответствии с классом помещения и ПУЭ.

- Рассчитаны осветительные нагрузки и выбраны светодиодные взрывозащищенные светильники марки LINE-EX-P-013-28-50.

- Рассчитаны номинальные мощности и выбраны к эксплуатации два энергосберегающих трансформатора типа ТМГ 12-1000/04 кВА.

- На основе проведенных расчетов выявлено, что установка компенсирующих устройств не целесообразна.

- Рассчитаны токи КЗ на линии НН, по максимальным значениям которых проверены отключающие способности автоматических выключателей ВА 88-43.

- Рассчитаны и выбраны защитные автоматические выключатели типа ВА по цеху, а также произведен расчет и выбор сечений медных кабельных линий выбранных марок ВББШв в соответствии с классом помещения.

- Рассчитаны уставки защиты блоков БМРЗ для трансформаторов, которые обеспечат высокую надежность релейной защиты при различных видах повреждений.

За счет проведения реконструкции потери мощности на нужды литейного производства уменьшатся на 62%. Окупаемость вложенных средств составит 4 года и 8 месяцев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/09/16794> (дата обращения: 02.02.2020).

2. Наумов О. В., Грачева Е. И., Садыков Р. Р. Обработка статистической информации с целью выявления законов изменения параметров надежности оборудования цеховых сетей // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 15. – С. 1886–1890. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/96296.htm> (дата обращения: 11.02.2020).

3. Хабдуллина З.К., Акылбек Б.Ж., Шкуренок В.А. [и др.] сравнительный анализ высоковольтных выключателей // Научные достижения биологии, химии, физики: сб. ст. по матер. XII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2012.

4. Даньшин В. В., Лещинский Д. С., Спонаровский Н. И. Достоинства светодиодных светильников // Молодой ученый. — 2019. — №44. — С. 97-100. — URL <https://moluch.ru/archive/282/62674/> (дата обращения: 18.02.2020).

5. Березин В. В., Акбиров З. Р., Фатхиева Р. А., Байгалиев Б. Е., Смолкин Р. М., Зарипов И. Р., Акимов А. В. Светодиодное освещение – наше будущее // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 17. – С. 480–484. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/46272.htm>.

6. Вахнина В. В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина, А. Н. Черненко ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2016. - 78 с. : ил. - Библиогр.: с. 76-78.

7. Вахнина В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина, А. Н. Черненко ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 46 с. : ил. - Библиогр.: с. 35. - Прил.: с. 36-46

8. Плащанский Л. А. Электрооборудование подстанций и осветительные сети предприятий, организаций и учреждений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л. А. Плащанский. - Москва : МИСиС, 2019. - 180 с.
9. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2018. - 416 с.
10. Хорольский В. Я. Надежность электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. - Москва : Форум : ИНФРА-М, 2019. - 127 с.
11. Ваттана А. Б. Электроснабжение металлургических предприятий [Электронный ресурс] : релейная защита силового электрооборудования : учеб. пособие / А. Б. Ваттана, Л. А. Шапошникова. - Москва : МИСиС, 2019. - 64 с.
12. Хренников А. Ю. Высоковольтное электротехническое оборудование в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг : учеб. пособие / А. Ю. Хренников. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 186 с.
13. Кутуков А.Г. Техническое диагностирование автоматизированных систем // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: IV Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов (Тольятти, 12–14 апреля 2016 года): сборник трудов. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – С. 298–300.
14. Бубенчиков А.А., Артамонова Е.Ю., Дайчман Р.А., Файфер Л.А., Катеров Ф.В., Бубенчикова Т.В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 5–2 (36). – С. 35–39.
15. ГОСТ 11920-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения напряжением до 35 кВ включительно. М. : Госстандарт СССР, 1986. – 39 с.

16. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения. М. : Издательство стандартов, 2009. – 96 с.

17. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск: Норматика, 2016. 464 с.

18. Проектирование электрических сетей : учеб. пособие / С. С. Ананичева, Е. Н. Котова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017 — 164 с.

19. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учебное пособие для студентов [вузов], обучающихся по направлению 140400 - Электроэнергетика и электротехника / [А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин, Д. А. Глушков ; науч. ред. А. А. Суворов] ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, [Урал. энергет. ин-т].— Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2015.— 64 с.

20. Электрические системы и сети : учебник для среднего профессионального образования / А. В. Лыкин. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 362