

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему «Электроснабжение завода железобетонных конструкций и изделий».

В выпускной квалификационной работе выполнены расчеты нагрузок силовых электроприемников и системы внутреннего и наружного освещения укрупнено для каждого из цехов предприятия, выполнен выбор цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности и количества устанавливаемых КТП, выполнено технико-экономическое сравнение и выбор мощности силовых трансформаторов ГПП, рассчитано по формуле Стилла оптимальное напряжение питания промышленного предприятия, рассчитаны токи КЗ; выбрано и проверено на стойкость к токам КЗ основное оборудование главной понизительной подстанции, произведен расчет заземления.

Бакалаврская работа выполнена на 55 листах и содержит 8 таблиц и 3 рисунка. Графическая часть включает в себя 6 чертежей формата А1.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1 Характеристика объекта проектирования | 5 |
| 2 Расчет электрических нагрузок | 8 |
| 3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций | 13 |
| 4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП | 20 |
| 5 Выбор схемы подстанции | 29 |
| 6 Расчёт токов короткого замыкания | 30 |
| 7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников | 34 |
| 8 Расчет заземления подстанции | 49 |
| Заключение | 52 |
| Список использованных источников | 53 |

Введение

Электроэнергетика является критической в плане жизнеобеспечения отраслю промышленности и обладает своими особенностями функционирования, которые отличают ее от остальных отраслей промышленности [1-4].

Первой особенностью электроэнергетики является неразрывность и малое время между процессами производства, распределения и потребления электроэнергии.

Второй особенностью является относительно высокая скорость протекания переходных процессов в системе электроснабжения. Переходные процессы могут происходить в тысячные доли секунды. Эти процессы вызваны короткими замыканиями (КЗ), включениями и отключениями оборудования, резкими изменениями нагрузки, нарушениями устойчивости в электроэнергосистеме.

Третьей особенностью является обеспечение ЭЭ всех отраслей промышленности, которые различаются применяемой технологией производства продукции, используемыми методами преобразования электроэнергии в другие виды энергии и широким разнообразием применяемых ЭП.

Целью ВКР является разработка надежной системы электроснабжения завода железобетонных конструкций и изделий, позволяющей обеспечить соблюдение требований к качеству электрической энергии.

1 Характеристика объекта проектирования

ООО «ЖБКиИ» на протяжении длительного времени уверенно занимает свою нишу среди строительных предприятий Самарского региона. Это стабильная компания, которая обеспечила себе не только отмеченное производственными достижениями прошлое, но и не менее успешное настоящее. Завод железобетонных конструкций и изделий является стабильно работающим предприятием строительной индустрии. Являясь в течение 50 лет специализированным региональным предприятием по выпуску железобетонных изделий, в настоящий момент ООО «ЖБКиИ» имеет все условия для производства любых видов сборного железобетона, фундаментных блоков, товарного бетона.

Постоянное применение передовых методов входного и пооперационного контроля технологического процесса позволяют производить продукцию высокого качества.

Основными направлениями работы предприятия являются:

1. Железобетонные конструкции для сборно-монолитного каркасного домостроения.

2. Плиты безопалубочного формирования. Плиты железобетонные пустотные (многопустотные) выпускаются по испанской технологии. Плиты используются в строительстве различных объектов. Они подходят для зданий жилого, общественного, административного, производственного назначения и применяются в объектах, имеющих несущие конструкции из крупных блоков или кирпича. Также плиты применимы в каркасных сооружениях и в сборно-монолитных постройках, строительство которых производится в обычных условиях.

3. Железобетонные изделия для жилищно-гражданского строительства: сваи; элементы оград железобетонные; блоки фундаментные; ступени, лестничные марши и балки железобетонные; балки ростверка; прогоны; плиты перекрытия ПТП; плиты ленточных фундаментов марки ФЛ и т.д.

4. Железобетонные изделия для инженерных сооружений.

1.1 Характеристика потребителей электроэнергии на предприятии

Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Сведения об установленной мощности электроприемников по цехам предприятия

| № п/п | Название цеха | Рном, кВт | пэ, шт |
|----------|------------------------------------|-----------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Гараж | 150 | 15 |
| 2 | Склад готовой продукции №1 | 193 | 6 |
| 3 | Градирня | 85 | 7 |
| 4 | Компрессорная | 140 | 8 |
| 5 | Насосная станция | 506 | 6 |
| 6 | Производственный корпус №1 | 3155 | 87 |
| 7 | Административно- бытовой корпус | 534 | 21 |
| 8 | Котельная | 1218 | 24 |
| 9 | Арматурный цех | 1987 | 80 |
| 10 | Бетоносмесительный цех №1 | 404 | 23 |
| 11 | Производственный корпус №2 | 3538 | 70 |
| 12 | Мазутохранилище | 84 | 5 |

Продолжение таблицы 1.1

| № п/п | Название цеха | Рном, кВт | пэ, шт |
|----------|-------------------------------|-----------|--------|
| 13 | Депо | 105 | 12 |
| 14 | Бетоносмесительный цех №2 | 530 | 39 |
| 15 | Склад заполнителей | 501 | 16 |
| 16 | Склад готовой продукции №1 | 193 | 6 |
| 17 | Склад цемента | 177 | 10 |
| 18 | Ремонтно- механический цех | 312 | 19 |

2 Расчет электрических нагрузок

Метод нахождения расчетной нагрузки по средней потребляемой мощности за наиболее загруженную смену и коэффициенту максимума (расчетному коэффициенту) основан на исследованиях в области упорядоченных диаграмм индивидуальных показателей режима работы ЭП и положен в основу руководящих указаний по определению расчетных электрических нагрузок на промышленных предприятиях [3, 5-7].

Исходя из предполагаемого электрооборудования цехов предприятия, находим по справочным данным значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности характерных электроприемников цеха.

Для каждого цеха предприятия определяются средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки:

$$P_c = K_u \cdot P_n, \quad (2.1)$$

$$Q_c = K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (2.2)$$

Используя найденные по формулам значения эффективного числа электроприемников и групповой коэффициент использования, по справочным таблицам определяем значение коэффициента максимума и находим расчетные активную и реактивную нагрузки:

$$P_p = K_m \cdot P_c, \quad (2.3)$$

$$Q_p = 1.1Q_c \text{ при } n_g \leq 10, \quad (2.4)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_g > 10. \quad (2.5)$$

Расчетную нагрузку от системы освещения определяем по следующей формуле:

$$P_{осв} = K_c \cdot P_{yo} \cdot F_n, \quad (2.6)$$

Суммируем расчетные активные нагрузки от силовых ЭП и от системы освещения, суммируем расчетные реактивные нагрузки и определяем полную расчетную нагрузку в целом по цеху на стороне 0,4 кВ.

Рассчитываем строку «Итого по нагрузке 0,4 кВ».

Расчетную нагрузку высоковольтных электроприемников определяем также, как и для низковольтных.

Рассчитываем строку «Итого по высоковольтной нагрузке».

Рассчитываем строку «Итого по предприятию».

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

| № | Название цеха | P_n , кВт | $P_{н.э.}$, кВт | $n_э$ | K_u | $\cos \varphi$ | $\operatorname{tg} \varphi$ | P_C , кВт | Q_C , квар | K_M | P_P , кВт | $P_{P.O.}$, кВт | $P_P + P_{P.O.}$, кВт | Q_P , квар | S_P , кВт·А |
|------------------------|--------------------------------|-------------|------------------|-------|-------|----------------|-----------------------------|-------------|--------------|-------|-------------|------------------|------------------------|--------------|---------------|
| Нагрузка 0,4 кВ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Гараж | 150 | 10.00 | 15 | 0.2 | 0.55 | 1.52 | 30 | 45.55 | 1.61 | 48.30 | 4.90 | 53.20 | 45.55 | 70.04 |
| 2 | Склад готовой продукции №1 | 193 | 32.17 | 6 | 0.1 | 0.6 | 1.33 | 19.3 | 25.73 | 3.04 | 58.67 | 1.60 | 60.27 | 28.31 | 66.59 |
| 3 | Градирня | 85 | 12.14 | 7 | 0.5 | 0.7 | 1.02 | 42.5 | 43.36 | 1.45 | 61.63 | 1.78 | 63.40 | 47.69 | 79.34 |
| 4 | Компрессорная | 140 | 17.50 | 8 | 0.8 | 0.75 | 0.88 | 112 | 98.77 | 1.08 | 120.96 | 14.15 | 135.11 | 108.65 | 173.38 |
| 5 | Насосная станция | 506 | 84.33 | 6 | 0.7 | 0.7 | 1.02 | 354.2 | 361.36 | 1.23 | 435.67 | 25.72 | 461.39 | 397.49 | 609.00 |
| 6 | Производственный корпус №1 | 3155 | 36.26 | 87 | 0.35 | 0.68 | 1.08 | 1104.3 | 1190.66 | 1.09 | 1203.63 | 21.56 | 1225.20 | 1190.66 | 1708.44 |
| 7 | Административно-бытовой корпус | 534 | 25.43 | 21 | 0.4 | 0.7 | 1.02 | 213.6 | 217.92 | 1.24 | 264.86 | 10.02 | 274.88 | 217.92 | 350.78 |

Продолжение таблицы 2.1

| № | Название цеха | P_n , кВт | $P_{н.э.}$, кВт | $n_э$ | K_u | $\cos \varphi$ | $\operatorname{tg} \varphi$ | P_C , кВт | Q_C , квар | K_M | P_P , кВт | $P_{P.O.}$, кВт | $P_P + P_{P.O.}$, кВт | Q_P , квар | S_P , кВ·А |
|----|----------------------------|-------------|------------------|-------|-------|----------------|-----------------------------|-------------|--------------|-------|-------------|------------------|------------------------|--------------|--------------|
| 8 | Котельная | 1218 | 50.75 | 24 | 0.8 | 0.75 | 0.88 | 974.4 | 859.34 | 1.06 | 1032.86 | 2.40 | 1035.26 | 859.34 | 1345.45 |
| 9 | Арматурный цех | 1987 | 24.84 | 80 | 0.25 | 0.5 | 1.73 | 496.75 | 860.40 | 1.14 | 566.30 | 19.31 | 585.60 | 860.40 | 1040.77 |
| 10 | Бетоносмесительный цех №1 | 404 | 17.57 | 23 | 0.5 | 0.6 | 1.33 | 202 | 269.33 | 1.17 | 236.34 | 417.16 | 653.50 | 269.33 | 706.82 |
| 11 | Производственный корпус №2 | 3538 | 50.54 | 70 | 0.4 | 0.7 | 1.02 | 1415.2 | 1443.79 | 1.12 | 1585.02 | 4.00 | 1589.02 | 1443.79 | 2146.98 |
| 12 | Мазутохранилище | 84 | 16.80 | 5 | 0.1 | 0.6 | 1.33 | 8.4 | 11.20 | 3.23 | 27.13 | 2.07 | 29.20 | 12.32 | 31.69 |
| 13 | Депо | 105 | 8.75 | 12 | 0.4 | 0.7 | 1.02 | 42 | 42.85 | 1.36 | 57.12 | 102.89 | 160.01 | 42.85 | 165.65 |
| 14 | Бетоносмесительный цех №2 | 530 | 13.59 | 39 | 0.55 | 0.6 | 1.33 | 291.5 | 388.67 | 1.13 | 329.40 | 3.31 | 332.70 | 388.67 | 511.62 |
| 15 | Склад заполнителей | 501 | 31.31 | 16 | 0.2 | 0.6 | 1.33 | 100.2 | 133.60 | 1.61 | 161.32 | 2.22 | 163.54 | 133.60 | 211.17 |
| 16 | Склад готовой продукции №2 | 193 | 32.17 | 6 | 0.1 | 0.55 | 1.52 | 19.3 | 29.31 | 3.04 | 58.67 | 7.19 | 65.86 | 32.24 | 73.33 |

Продолжение таблицы 2.1

| № | Название цеха | P_n , кВт | $P_{н.э.}$, кВт | $n_э$ | K_u | $\cos \varphi$ | $\operatorname{tg} \varphi$ | P_C , кВт | Q_C , квар | K_M | P_P , кВт | $P_{P.O.}$, кВт | $P_P + P_{P.O.}$, кВт | Q_P , квар | S_P , кВт·А |
|----|---------------------------|-------------|------------------|-------|-------|----------------|-----------------------------|-------------|--------------|-------|-------------|------------------|------------------------|--------------|---------------|
| 17 | Склад цемента | 177 | 17.70 | 10 | 0.15 | 0.6 | 1.33 | 26.55 | 35.40 | 2.1 | 55.76 | 34.79 | 90.55 | 38.94 | 98.57 |
| 18 | Ремонтно-механический цех | 312 | 16.42 | 19 | 0.35 | 0.55 | 1.52 | 109.2 | 165.82 | 1.29 | 140.87 | 8.87 | 149.74 | 165.82 | 223.42 |
| | Наружное освещение | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 90.66 | --- | --- | 90.66 |
| | Всего | 13812 | 8,75...84,33 | 454 | 0.38 | 0.64 | 1.24 | 5561.4 | 6223.06 | 1 | 5561.35 | 774.58 | 6335.93 | 6283.57 | 8923.41 |

3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Однотрансформаторные КТП применяются [3, 8, 9, 10]:

- для питания потребителей III категории по надежности электроснабжения;

- для электропитания части потребителей второй категории надежности, для которых возможен перерыв электроснабжения на период замены силового трансформатора;

- при наличии складского резерва для питания потребителей всех категорий надежности, даже I категории, если их нагрузка не выше 20% суммарной нагрузки, а скорость резервирования обеспечивается автоматическим включением резервирующих переключателей на стороне низкого напряжения. Резервирующие переключатели также могут быть использованы для питания в период минимального режима при отключении одного из трансформаторов.

Двухтрансформаторные подстанции:

- применяются (вне зависимости от категории надежности потребителей) при неравномерности графика нагрузки, когда экономически обосновано уменьшение числа подключенных силовых трансформаторов при длительном снижении нагрузки;

- применяются для питания потребителей I и II категории, требующих резервирования питания.

Плотность электрической нагрузки цеха определим по формуле:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.1)$$

Найдем общее количество силовых трансформаторов на цеховых подстанциях в целом по цеху:

$$N_0 = \frac{P_P}{K_3 \cdot S_{НОМ.Т}} \quad (3.2)$$

где P_P – величина расчетной активной нагрузки в целом по цеху от низковольтных электроприемников;

K_3 – допустимый коэффициент загрузки цеховых силовых трансформаторов в нормальном режиме работы;

$S_{НОМ.Т}$ – выбранная номинальная мощность силового трансформатора.

К установке принимаем ближайшее большее целое число силовых трансформаторов N .

Количество силовых трансформаторов, устанавливаемых на одной подстанции, определяется в зависимости от категории надежности подключенных к ней электроприемников.

Выбираем внутрицеховые КТП как наиболее экономичные.

3.1 Выбор силовых трансформаторов для ремонтно-механического цеха, мазутохранилища, склада заполнителей и склада готовой продукции №1

Распределение мощности:

$$\begin{aligned} \bar{b} &= S_P / F_{ц}, \\ \bar{b} &= 501 / 5738 = 0,087. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Так как \bar{b} меньше, чем 0.1, выбираем силовые трансформаторы мощностью до 630 кВА.

По справочным таблицам каталогов производителей находим $\Delta P_{ТР} = 4,5$ кВт ; $\Delta Q_{ТР} = 24,5$ квар;

$$P_P = P_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (3.4)$$

$$P_P = 408.3 + 1 \cdot 4.5 = 412.8 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (3.5)$$

$$Q_P = 344 + 1 \cdot 24.5 = 368.5 \text{ квар.}$$

1. Определим значения входных реактивных мощностей:

$$\text{а) } Q'_{\varepsilon 1} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.6)$$

$$Q'_{\varepsilon 1} = 368.5 - 0,7 \cdot 0 = 368.5 \text{ квар};$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha P_P, \quad (3.7)$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = 0,28 \cdot 412.8 = 115.6 \text{ квар.}$$

Из найденных значений принимаем наименьшее: $Q_{\varepsilon 1} = 115.6 \text{ квар.}$

$$\text{б) } Q_{\text{min}} = 0,64 \cdot 368.5 = 220.1 \text{ квар.}$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\varepsilon 1}), \quad (3.8)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{в}} = 220.1 - (368.5 - 115.6) = -32.8 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.9)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 220.1 + 0 = 220.1 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{к}} = 0.$$

Так как в часы минимальных нагрузок напряжение будет повышенным, то $Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 220.1 \text{ квар.}$

2. Найдем суммарную мощность КУ:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 368.5 - 115.6 = 308.2 \text{ квар.}$$

При этом мощность конденсаторных установок без ступеней регулирования:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 220.1 - 220.1 = 0.$$

Таким образом, все установки должны быть регулируемы.

3. Определяем мощность трансформаторов

$$\delta = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{S_{\text{ц}}}, \quad (3.12)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{412.8^2 + 368.5^2}}{5738} \approx 0,10 \text{ кВА/м}^2 \Rightarrow S_{\text{HT}} = 630 \text{ кВА.}$$

4. Определяем число трансформаторов

$$N_T = \frac{P_{\text{p}\Sigma}}{K_3 \cdot S_{\text{HT}}}, \quad (3.13)$$

$$N_T = \frac{408.3}{0,9 \cdot 630} = 0.72$$

где $K_3 = 0,9$.

Принимаем ближайшее большее целое число трансформаторов $N_T = 1$.

5. Определяем РМ, которую можно передать через силовые трансформаторы из сети 10кВ в сеть 0,4кВ, и которая не должна компенсироваться

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - Q_{\text{э}}, \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{эн}} = 115.6 - (368.5 - 344) = 91.1 \text{ квар.}$$

6. Определим значение реактивной мощности, которое целесообразно передать через цеховые трансформаторы в сеть U до 1000 В:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.15)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 630)^2 - 408,3^2} = 393,4 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (3.16)$$

$$Q_{KVH} = 344 - 393,4 = -49,4 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.17)$$

$$Q_{.KVB} = 308,2 < 800 \text{ квар}.$$

Установка БК на стороне 0,4 и 10 кВ нецелесообразна.

Принимаем однитрансформаторную КТП с трансформатором типа ТМГ-630/10. Для остальных цехов расчеты выполняем аналогично, результаты сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты выбора трансформаторов КТП предприятия

| № | Наименование цехов предприятия | σ , кВА/м ² | P_p , кВт | Категория надежности электроснаб. | Принято к установке | | |
|-----|---|-------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | | $S_{ном.т}$ | $S_{ном.т}$ | $S_{ном.т}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1+2 | Гараж Склад готовой продукции №1 | 0,032 | 53,19 | 3 | 160 | 1 | 1 |
| | | 0,117 | 60,27 | 3 | | | |
| 3+6 | Градирня Производственный корпус №1 | 0,077 | 63,40 | 1 | 1000 | 2 | 1 |
| | | 0,695 | 1225,20 | 2 | | | |
| 4+5 | Компрессорная Насосная станция | 0,021 | 135,11 | 1 | 400 | 2 | 1 |
| | | 0,037 | 461,39 | 1 | | | |
| 7 | Административно- бытовой корпус | 0.258 | 274.88 | 3 | 400 | 1 | 1 |
| 8 | Котельная | 1.033 | 1035.26 | 1 | 630 | 2 | 1 |
| 9 | Арматурный цех | 0.485 | 585.60 | 2 | 400 | 2 | 1 |
| 10 | Бетоносмесительный цех №1 | 0.013 | 653.50 | 2 | 400 | 2 | 1 |
| 11 | Производственный корпус №2 | 4.836 | 1589.02 | 2 | 1000 | 2 | 1 |

Продолжение таблицы 3.1

| № | Наименование цехов предприятия | σ , кВА/м ² | P_p , кВт | Категория надежности электроснаб. | Принято к установке | | |
|-----|--------------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | | | | $S_{ном.т}$ | $S_{ном.т}$ | $S_{ном.т}$ |
| 12 | Мазутохранилище | 0,026 | 29,20 | 3 | 630 | 1 | 1 |
| +15 | Склад заполнителей | 0,162 | 163,54 | 3 | | | |
| +16 | Склад готовой продукции №1 | 0,028 | 65,86 | 3 | | | |
| +18 | Ремонтно-механический цех | 0,201 | 149,74 | 3 | | | |
| 13 | Депо | 0,011 | 160,01 | 2 | 400 | 2 | 1 |
| +14 | Бетоносмесительный цех №2 | 1,160 | 332,70 | 2 | | | |
| +17 | Склад цемента | 0,011 | 90,55 | 3 | | | |

4 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП

Выбор напряжения питания ГПП промышленного предприятия зависит от напряжения возможного источника питания, расстояния от подстанции предприятия до этого источника питания, возможности размещения высоковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи, условий окружающей среды и ряда других факторов [11-14].

Величина рационального напряжения может быть определена по формуле Стилла:

$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{L_i + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦi} = 4.34 \cdot \sqrt{15 + 0.016 \cdot 6404.7} = 47 \text{ кВ}$$

где L_i – длина линии от главной понизительной подстанции предприятия до источника питания;

P_{PI} – значение активной расчетной нагрузки промышленного предприятия на стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции предприятия.

Найдем активную расчетную нагрузку промышленного предприятия:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{OCB} + \Delta P_{T\Sigma} + P_{STOP}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 6335.9 + 68.8 + 1700 = 8104.7 \text{ кВт}$$

где P_{PH} - суммарное расчетное значение активной нагрузки 0,4 кВ всех цехов предприятия и сторонних потребителей получающих питание от данной ГПП;

P_{PB} - суммарное расчетное значение активной нагрузки высоковольтных электроприемников предприятия;

P_{OCB} - суммарное расчетное значение активной нагрузки системы внутрицехового электрического освещения и установок наружного освещения предприятия;

$\Delta P_{T\Sigma}$ - суммарное значение потерь активной мощности в цеховых силовых трансформаторах.

Определим значение полной расчетной мощности промышленного предприятия:

$$S_{P\Pi} = \sqrt{P_{P\Pi}^2 + Q_{\text{Эс}i}^2}, \quad (4.3)$$
$$S_{P\Pi} = \sqrt{8104.7^2 + 1864.1^2} = 8316 \text{ кВА}$$

где $Q_{\text{Эс}i}$ - значение экономически целесообразной реактивной мощности, потребляемой предприятием из энергосистемы, на стороне ВН ГПП.

$$Q_{\text{Эс}i} = P_{P\Pi} \cdot \operatorname{tg}\phi_i, \quad (4.4)$$
$$Q_{\text{Эс}i} = 8104.7 \cdot 0.23 = 1864.1 \text{ квар}$$

Поскольку на предприятии присутствуют потребители, относящиеся к первой категории по надежности электроснабжения, то принимаем к установке на ГПП два силовых трансформатора. Номинальную мощность силовых трансформаторов определяем, учитывая возможную 40% перегрузку в послеаварийном режиме и коэффициента участия в нагрузке потребителей, относящихся к первой категории по надежности электроснабжения:

$$S_{\text{номт}} \approx K_{1-2} \cdot S_{\text{max ПС}} \frac{1}{K_{\text{пер}}}, \quad (4.5)$$
$$S_{\text{номт}} \approx 0,8 \cdot 8316 \cdot \frac{1}{1,4} = 4752 \text{ кВА}$$

Согласно полученному значению полной мощности предприятия принимаем для последующего рассмотрения силовые трансформаторы с $S_{ном}$ равной 6.3 и 10 МВА.

Выбираем по каталогу производителя силовые трансформаторы марок: ТМН-6300/35/10 и ТДН-10000/35/10.

4.1 Технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силового трансформатора ГПП

4.1.1 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТМН-6300/35/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТМН-6300/35/10 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики силового трансформатора ТМН-6300/35/10

| Марка СТ | $S_{ном}$, МВА | Данные из каталога производителя | | | | | | Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб |
|----------------|-----------------|----------------------------------|------|-----------|--------------------|--------------------|-----------|------------------------------|
| | | $U_{ном}$, кВ | | U_k , % | ΔP_k , кВт | ΔP_x , кВт | I_x , % | |
| | | ВН | НН | | | | | |
| ТМН-6300/35/10 | 6.3 | 37 | 10.5 | 7.5 | 46.5 | 7.6 | 0.8 | 4971 |

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.6)$$

$$\Delta P_x' = 7,6 + 0,05 \cdot 50,4 = 10,12 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.7)$$

$$\Delta Q_x = 0,8 \cdot 6300 / 100 = 50,4 \text{ квар},$$

$$K_{ин} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

$$\Delta Q_{\kappa} = u_{k\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.8)$$

$$\Delta Q_{\kappa} = 7,5 \cdot 6300 / 100 = 472,5 \text{ квар},$$

$$\Delta P'_{\kappa} = \Delta P_{\kappa} + K_{ин} \cdot \Delta Q_{\kappa}, \quad (4.9)$$

$$\Delta P'_{\kappa} = 46,5 + 0,05 \cdot 472,5 = 70,13 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{нагр}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.10)$$

$$K_3 = \frac{8.316}{6.3} = 1.32.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\kappa}^{\dot{}}, \quad (4.11)$$

$$P_m^{\dot{}} = 10.12 + 1.32^2 \cdot 70.13 = 132.31 \text{ кВт}.$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{36}^2 \cdot \Delta P'_{\kappa} \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_{\kappa} \quad (4.12)$$

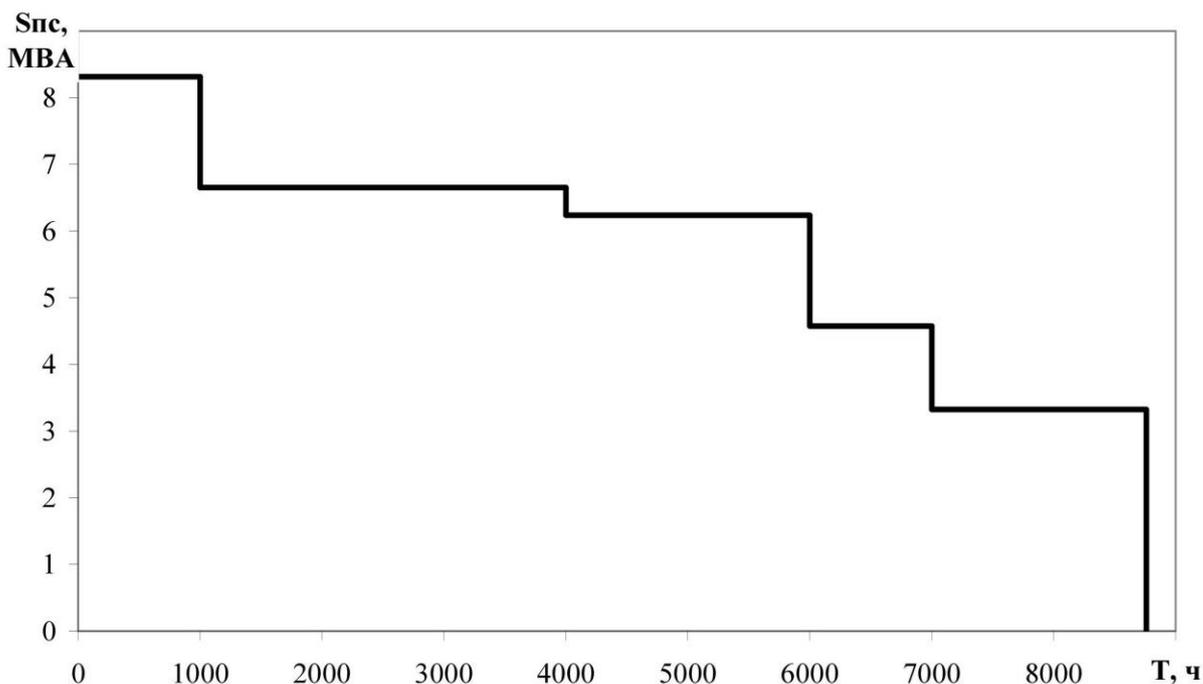


Рисунок 4.1 - Годовой график нагрузки ГПП

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТМН-6300/35/10 заносим в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТМН-6300/35/10

| i | S_{Bi} , MVA | T_i , ч | $K_{зBi}$ | $\Delta W_{кBi}$, кВт·ч | ΔW_{xi} , кВт·ч |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | 8,316 | 1000 | 1,32 | 61093 | 20240 |
| 2 | 6,653 | 3000 | 1,056 | 117306 | 60720 |
| 3 | 6,237 | 2000 | 0,990 | 68730 | 40480 |
| 4 | 4,574 | 1000 | 0,726 | 18482 | 20240 |
| 5 | 3,327 | 1760 | 0,528 | 17205 | 35622 |
| $\Sigma \Delta W_{кBi} = 282815$ | | | | $\Sigma \Delta W_{xi} = 177302$ | |

По значениям суммарных потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{nc}} = \Delta W_{nc} \cdot C_9, \quad (4.13)$$

$$I_{\Delta W_{nc}} = (282815 + 177302) \cdot 2,07 = 952 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_9 = 2,07$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_9 + I_{\Delta W_{nc}} \quad (4.14)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 9942 + 935 + 952 = 4372 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 4971 = 9942$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_9 = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 9942 = 935$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

4.1.2 Вариант главной понизительной подстанции с силовыми трансформаторами ТДН - 10000/35/10.

Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 10000/35/10 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Технические характеристики силового трансформатора ТДН - 10000/35/10

| Марка СТ | $S_{ном}$, МВА | Данные из каталога производителя | | | | | | Стоимость 1го тр-ра, тыс.руб |
|--------------|--------------------|----------------------------------|------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---------------------------------|
| | | $U_{ном}$, кВ | | U_k , % | ΔP_k , кВт | ΔP_x , кВт | I_x , % | |
| | | ВН | НН | | | | | |
| ТДН-10000/35 | 10 | 37 | 10,5 | 8 | 60 | 12 | 0.75 | 7890 |

Определим приведенные потери активной и реактивной мощности в стали силового трансформатора на холостом ходу:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.15)$$

$$\Delta P_x' = 12 + 0,05 \cdot 75 = 15,75 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} + S_{ном.т} / 100, \quad (4.16)$$

$$\Delta Q_x = 0,75 \cdot 10000 / 100 = 75 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт/квар}.$$

Находим приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора:

$$\Delta Q_k = u_{k\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.17)$$

$$\Delta Q_k = 8 \cdot 10000 / 100 = 800 \text{ квар},$$

$$\Delta P_k' = \Delta P_k + K_{un} \cdot \Delta Q_k, \quad (4.18)$$

$$\Delta P_k' = 60 + 0,05 \cdot 800 = 100 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{нагр}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.19)$$

$$K_3 = \frac{8.316}{10} = 0.832.$$

Приведенные потери активной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_m' = \Delta P_x' + K_3^2 \cdot \Delta P_k', \quad (4.20)$$

$$P_m' = 15.75 + 0.832^2 \cdot 100 = 84.91 \text{ кВт}.$$

На основании суммарного годового графика нагрузки ГПП (рисунок 4.1) определяются потери электроэнергии в трансформаторах ПС ΔW и их стоимость $I_{\Delta W}$:

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P'_x \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{3\phi}^2 \cdot \Delta P'_k \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_k \quad (4.21)$$

Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/35/10 заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты расчетов потерь электрической энергии в силовых трансформаторах ГПП ТДН - 10000/35/10

| i | S_{Bi} , МВА | T_i , ч | $K_{3\phi i}$ | $\Delta W_{\kappa Bi}$, кВт·ч | ΔW_{xi} , кВт·ч |
|-----|-------------------|--|---------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | 8,316 | 1000 | 0.980 | 34578 | 31500 |
| 2 | 6,653 | 3000 | 0.784 | 66394 | 94500 |
| 3 | 6,237 | 2000 | 0.735 | 38900 | 63000 |
| 4 | 4,574 | 1000 | 0.539 | 10461 | 31500 |
| 5 | 3,327 | 1760 | 0.392 | 9738 | 55440 |
| | | $\Sigma \Delta W_{\kappa Bi} = 160071$ | | $\Sigma \Delta W_{xi} = 275940$ | |

По значениям суммарных потерь холостого хода и короткого замыкания находим стоимость потерь электроэнергии в силовом трансформаторе ГПП за год:

$$I_{\Delta W_{ПС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_3, \quad (4.22)$$

$$I_{\Delta W_{ПС}} = (160071 + 275940) \cdot 2,07 = 903 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_3 = 2,07$ руб/кВт·ч - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Найдем суммарные приведенные затраты:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_3 + I_{\Delta W_{ПС}} \quad (4.23)$$

$$Z_{прив} = 0,25 \cdot 15780 + 1483 + 903 = 6331 \text{ тыс.руб.}$$

где $E_n = 0,25$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K = 2 \cdot 7890 = 15780$ тыс.руб. – стоимость силовых трансформаторов ГПП;

$I_3 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 15780 = 1483$ тыс.руб. – ежегодные отчисления.

Так как приведенные затраты на силовые трансформаторы типа ТДН-10000/35/10 значительно превышают затраты на силовые трансформаторы типа ТМН-6300/35/10, то выбираем для дальнейшего рассмотрения и установки на проектируемой подстанции силовые трансформаторы типа ТМН- 6300/35/10.

5 Выбор схемы подстанции

От ГПП предприятия питаются потребители, относящиеся к первой, второй и третьей категории по надежности электроснабжения, поэтому на ГПП устанавливается два силовых трансформатора, получающих питание от двух взаимнорезервирующих линий электропередач 35 кВ [3, 8, 15-18].

Схемы главной понизительной подстанции могут быть выполнены с силовыми выключателями на стороне высшего напряжения или по упрощенным схемам, т. е. без выключателей на стороне высокого напряжения. На вторичном напряжении 10 кВ, как правило, применяется одиночная секционированная система шин. Трансформаторы к секциям подключаются через вводные выключатели, секционный выключатель при нормальном режиме работы отключен для уменьшения токов короткого замыкания.

Высоковольтные выключатели применяются на высокой стороне ГПП при: специальных требованиях к самозапуску электродвигателей 6-10 кВ, подключаемых к РУ ГПП; упрощению УРЗиА по сравнению с использованием отделителей; при перспективе установки на подстанции СШ 110-220 кВ; при возможности двухстороннего питания по линии; при невозможности использования короткозамыкателей и высокой стоимости линии связи для передачи отключающего импульса.

Для ГПП предприятия выбираем схему с высоковольтными выключателями на стороне высокого напряжения и с одиночной секционированной секционным выключателем системой шин на стороне низкого напряжения.

6 Расчет токов короткого замыкания

Определение токов короткого замыкания в различных точках системы электроснабжения предприятия выполняется по упрощенному способу с учетом следующих допущений [19-22]:

- 1) трехфазную систему принимают симметричной;
- 2) процесс насыщения магнитной системы элементов в расчетах не учитывается, таким образом, все цепи при расчетах считаются линейными;
- 3) намагничивающий ток трансформаторов в расчетах не учитывают как и емкостные проводимости всех элементов, входящих в цепь короткого замыкания;
- 4) во время всего процесса протекания тока короткого замыкания ЭДС генераторов в системе принимают совпадающими по фазе;
- 5) ЭДС источников питания, расположенных на значительном расстоянии от точки КЗ, принимают неизменяющимся во времени.

Составляем расчетную схему для определения токов КЗ и схему замещения (рисунок 6.1).

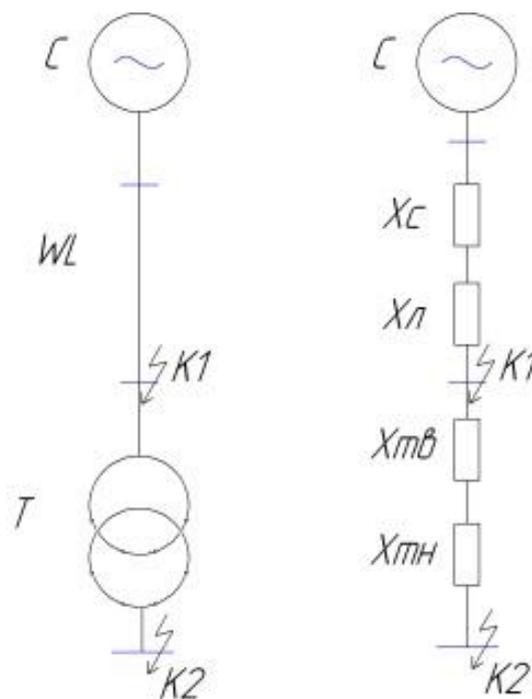


Рисунок 6.1 - Расчётная схема и схема замещения для определения

ТОКОВ КЗ

Исходные данные для расчета токов КЗ:

Параметры системы: $U_{cp} = 37$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 1450$ МВА.

Параметры линии: $x_{y\delta} = 0,4$ Ом/км; $L = 9$ км.

Параметры силового трансформатора: $S_{H} = 6.3$ МВА; $U_{\kappa} = 7.5$ %.

Найдем сопротивление системы:

$$x_{c.\delta} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}}; \quad (6.1)$$
$$x_{c.\delta} = \frac{1000}{1450} = 0.69.$$

Найдем сопротивление воздушной линии:

$$x_{BЛ.\delta} = \frac{x_{y\delta}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{сн}^2}; \quad (6.2)$$
$$x_{BЛ.\delta} = \frac{0.4}{2} \cdot 9 \cdot \frac{1000}{37^2} = 1.315.$$

Найдем сопротивление силового трансформатора:

$$x_{T.\delta} = \frac{U_{\kappa}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H}}; \quad (6.3)$$
$$x_{T.\delta} = \frac{7.5}{100} \cdot \frac{1000}{6.3} = 11.905.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К1:

$$x_{рез1} = x_{c.\delta} + x_{BЛ.\delta}; \quad (6.4)$$
$$x_{рез1} = 0.69 + 1.315 = 2.004.$$

Найдем базисный ток в точке К1:

$$I_{\sigma.k1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.5)$$
$$I_{\sigma.k1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15.604 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К1:

$$I_{к1}^3 = \frac{E_{\sigma}}{x_{рез1}} \cdot I_{\sigma}; \quad (6.6)$$
$$I_{к1}^3 = \frac{1}{2.004} \cdot 15.604 = 7.785 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К1:

$$i_{уд.k1} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot \kappa_{уд}; \quad (6.7)$$
$$i_{уд.k1} = \sqrt{2} \cdot 7.785 \cdot 1.8 = 19.816 \text{ кА}.$$

Найдем результирующее сопротивление в точке К2:

$$x_{рез2} = x_{рез1} + x_{Т.б}; \quad (6.8)$$
$$x_{рез2} = 2.004 + 11.905 = 13.909.$$

Найдем базисный ток в точке К2:

$$I_{\sigma.k2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.9)$$

$$I_{\sigma.k2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ кА};$$

Найдем начальное действующее значение тока трехфазного тока КЗ в точке К2:

$$I_{к2}^3 = \frac{E_{\sigma}}{x_{рез2}} \cdot I_{\sigma.k2}; \quad (6.10)$$

$$I_{к2}^3 = \frac{1}{13.909} \cdot 54.986 = 3.953 \text{ кА};$$

Найдем ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{уд.k2} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot \kappa_{уд}; \quad (6.11)$$

$$i_{уд.k2} = \sqrt{2} \cdot 3.953 \cdot 1.85 = 10.343 \text{ кА}.$$

Полученные результаты сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов токов КЗ

| | $U_{сн}, \text{кВ}$ | $\kappa_{уд}$ | $I_{к}^3, \text{кА}$ | $i_{уд}, \text{кА}$ |
|----|---------------------|---------------|----------------------|---------------------|
| К1 | 37 | 1.8 | 7.8 | 19.8 |
| К2 | 10.5 | 1.85 | 4.0 | 10.3 |

7 Расчет и выбор электрического оборудования и проводников

7.1 Выбор электрического оборудования на стороне высокого напряжения 35 кВ

7.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 35 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВВН-СЭЩ-35-25/1000 УХЛ1.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по [11, 12]:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.1)$$
$$35 \text{ кВ} \leq 35 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$138 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.г}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 37} = 138 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (7.4)$$
$$7.8 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.H.}, \quad (7.5)$$

$$4.1 \text{ кА} \leq 12.4 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.6)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 7.8 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.05}} = 4.1 \text{ кА},$$

$$i_{a.H.} = \sqrt{2} \cdot \beta_H / 100 \cdot I_{откл.H.}, \quad (7.7)$$

$$i_{a.H.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{35}{100} \right) \cdot 25 = 12.4 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{пр.с}, \quad (7.8)$$

$$7.8 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА};$$

$$i_{y0} \leq i_{пр.с}, \quad (7.9)$$

$$19.8 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.10)$$

$$9.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВВН-СЭЩ-35-25/1000 УХЛ1 прошел проверку.

7.1.2 Выбор разъединителя

Разъединитель выбирается и проверяется по тем же параметрам, что и

высоковольтный выключатель, за исключением отключающей способности.

Предварительно выбираем разъединитель типа РДЗ-СЭЩ-35.

Разъединитель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.11)$$
$$35 \text{ кВ} \leq 35 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.12)$$
$$138 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$i_{yd} \leq i_{np.c}, \quad (7.13)$$
$$19.8 \text{ кА} \leq 64 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{np.c}^2 \cdot t_{np.c}, \quad (7.14)$$
$$9.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный разъединитель РДЗ-СЭЩ-35 прошел проверку.

7.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне 35 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТВТ-35.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.15)$$
$$35 \text{ кВ} \leq 35 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (7.16)$$
$$138 \text{ А} \leq 150 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.17)$$
$$19.8 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.18)$$
$$9.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.19)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{np} + R_k, \quad (7.20)$$

Для нахождения $R_{\text{приб}}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{\text{приб}}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока является амперметр с максимальной мощностью 4 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (7.21)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{4}{5^2} = 0.16 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}},$$

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.16 - 0.1 = 0.94 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}}, \quad (7.22)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 40}{0.94} = 0.745 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТВТ-35 прошел проверку.

7.1.4 Выбор гибких шин

Гибкие шины на напряжение 35 кВ выполняются сталеалюминиевыми проводами марки АС.

Найдем сечение проводов:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_9}; \quad (7.23)$$

$$s = \frac{98}{1} = 98 \text{ мм}^2.$$

Выбираем провод типа АС-95/16 мм² с длительно допустимым током провода 330 А.

Найдем максимальное значение критической напряженности электрического поля:

$$E_0 = 30.3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{r_0}} \right); \quad (7.24)$$

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.675}} \right) = 33.9 \text{ кВ/м.}$$

Найдем напряженность около провода:

$$E = \frac{0.354 \cdot U_n}{r_0 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot D}{r_0}}; \quad (7.25)$$

$$E = \frac{0.354 \cdot 37}{0.675 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 150}{0.675}} = 7.9 \text{ кВ/м.}$$

Условие отсутствия короны:

$$1.07E \leq 0.9E_0; \quad (7.26)$$

$$8.5 \text{ кВ/м} < 30.5 \text{ кВ/м.}$$

Провод АС-95/16 прошел проверку.

7.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 10 кВ

7.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне 10 кВ предварительно выбираем высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЦ-10-20/630.

Высоковольтный выключатель выбирается и проверяется по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.27)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.28)$$
$$485 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.29)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 485 \text{ А};$$

- по отключающей способности:

$$I_{кл} \leq I_{откл.н}, \quad (7.30)$$
$$4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н}, \quad (7.31)$$
$$2.9 \text{ кА} \leq 8.5 \text{ кА},$$

где

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.32)$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 4 \cdot e^{\frac{-0.04}{0.06}} = 2.9 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{откл.н.}, \quad (7.33)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{30}{100} \right) \cdot 20 = 8.5 \text{ кА},$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{к1} \leq I_{нр.с.}, \quad (7.34)$$

$$4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

$$i_{уд} \leq i_{нр.с.}, \quad (7.35)$$

$$10.3 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл.}, \quad (7.36)$$

$$2.4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЩ-10-20/630 прошел проверку.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне 10 кВ предварительно выбираем трансформатор тока типа ТШЛП-10.

Трансформатор тока выбираем и проверяем по следующим условиям:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.37)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (7.38)$$
$$485 \text{ А} \leq 600 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.39)$$
$$10.3 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.40)$$
$$2.4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 144 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.41)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{np} + R_k, \quad (7.42)$$

Для нахождения $R_{приб}$ необходимо определить нагрузку по фазам трансформатора тока $S_{приб}$ и принять за расчетную наиболее загруженную фазу.

Вторичной нагрузкой трансформатора тока являются амперметр, счетчик активной и реактивной энергии с суммарной максимальной мощностью 4 ВА. Найдем сопротивление прибора:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}, \quad (7.43)$$

$$R_{приб} = \frac{4}{5^2} = 0.16 \text{ Ом}.$$

Тогда допустимое сопротивление проводов:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k,$$

$$R_{пр} = 1.2 - 0.16 - 0.1 = 0.94 \text{ Ом}.$$

Найдем минимальное сечение соединительных медных проводов:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пр}}, \quad (7.44)$$

$$s = \frac{0.0175 \cdot 20}{0.94} = 0.372 \text{ мм}^2.$$

По условию механической прочности сечение медных жил должно быть не менее 2.5 мм^2 , поэтому принимаем стандартное сечение жилы 2.5 мм^2 .

Выбранный трансформатор тока ТШЛП-10 прошел проверку.

Аналогичным образом выбираем и проверяем трансформаторы тока на отходящих линиях.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбираем по:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.45)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (7.46)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (7.47)$$

На стороне 10 кВ выбираем трансформатор напряжения НОЛ-СЭЩ-10 с классом точности 0.5. В комплекте с ТН идет предохранитель ПКТ-101-10. К ТН подключается вольтметр и счетчики активной и реактивной электроэнергии с суммарной потребляемой мощностью 27 ВА.

Тогда:

$$27 \text{ ВА} \leq 225 \text{ ВА}.$$

Выбранный трансформатор напряжения НОЛ-СЭЩ-10 прошел проверку.

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбираем жесткие шины по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_s}; \quad (7.48)$$

$$s = \frac{346}{1} = 346 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые прямоугольные шины сечением 60х6 мм, с длительно допустимым током 1125 А.

Найдем минимально допустимое сечение шины по термической стойкости:

$$s_{min} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T}, \quad (7.49)$$

$$s_{min} = \frac{\sqrt{2.4} \cdot 10^3}{66} = 23.5 \text{ мм}^2.$$

Найдем максимальную силу, действующую на проводники при трехфазном КЗ:

$$F_{max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{yd}^2 \cdot K_\phi \cdot K_p, \quad (7.50)$$

$$F_{max}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 2 \cdot 10300^2 \cdot 1 \cdot 1 = 36.8 \text{ Н}.$$

Найдем момент сопротивления поперечного сечения шины:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (7.51)$$

$$W = \frac{0.006 \cdot 0.06^2}{6} = 3.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Определим максимальное напряжение в материале шины:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}^3 \cdot l}{\lambda \cdot W}, \quad (7.52)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{36.8 \cdot 2}{8 \cdot 3.6 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} = 2.6 \text{ МПа} .$$

Условие проверки на электродинамическую стойкость:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}} , \quad (7.53)$$

$$2.6 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа} ,$$

где

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot \sigma_p , \quad (7.54)$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0.7 \cdot 353 = 247.1 \text{ МПа} .$$

Определим момент инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} , \quad (7.55)$$

$$J = \frac{0.006 \cdot 0.06^3}{12} = 1.1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4 .$$

Определим частоту собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} ; \quad (7.56)$$

$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 2^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 1.1 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 21.6 \text{ Гц} .$$

Т.к. частота собственных колебаний меньше 30 Гц, то механический резонанс не появляется.

7.2.5 Выбор опорных изоляторов

Опорные изоляторы необходимы для крепления шин. Выбираем изолятор типа ИОР-10-3.75 II УХЛ2.

Опорные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.57)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{\max} \leq F_{дон}, \quad (7.58)$$

$$36.8 \text{ Н} < 1731 \text{ Н},$$

где

$$F_{дон} = 0.6 \cdot F_{разруш} \cdot \frac{H_u}{H}, \quad (7.59)$$

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 3750 \cdot \frac{0.12}{0.156} = 1731 \text{ Н}.$$

где

$$H = H_u + b + \frac{h}{2}, \quad (7.60)$$

$$H = 0.12 + 0.006 + \frac{0.06}{2} = 0.156 \text{ м}.$$

Опорный изолятор ИОР-10-3.75 II УХЛ2 прошел проверку.

7.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/630-7,5 УХЛ2.

Проходные изоляторы выбираем и проверяем по параметрам:

- номинальному напряжению:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.61)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.62)$$
$$485 \text{ А} < 630 \text{ А};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (7.63)$$
$$10.6 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7}, \quad (7.64)$$
$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{10300^2}{1} \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 10.6 \text{ Н}.$$

Проходной изолятор ИП-10/630-7,5 УХЛ2 прошел проверку.

8 Расчет заземления подстанции

Заземляющее устройство должно надежно защищать от поражения электрическим током при возникновении потенциалов на открытых проводящих частях электроустановок, как в нормальных, так и аварийных режимах работы [3, 23].

Основной характеристикой электробезопасности является предельно допустимое значение напряжения прикосновения которое должно быть обеспечено при всех условиях эксплуатации объекта.

В качестве заземлителей выбираем металлический уголок 60х60х5 мм длиной 3 м каждый. Заземлители забиваются на глубину 0.7 м с шагом 6 м. Предварительное число вертикальных заземлителей – 19 шт. Вертикальные заземлители соединяются стальной полосой 40х5 мм. Удельное сопротивление грунта – 100 Ом·м.

Найдем допустимое сопротивление заземляющего устройства (ЗУ):

$$R_{доп} = \frac{\rho_{грунт}}{100} \cdot R_3, \quad (8.1)$$

$$R_{доп} = \frac{100}{100} \cdot 4 = 4 \text{ Ом.}$$

Найдем сопротивление растекания вертикального заземлителя:

$$R_г = 0.298 \cdot \rho_{p.в.} \cdot \kappa_c, \quad (8.2)$$

$$R_г = 0.298 \cdot 150 \cdot 1.5 = 67.1 \text{ Ом,}$$

где

$$\rho_{p.в.} = \kappa_c \cdot \rho_{грунт}, \quad (8.3)$$

$$\rho_{p.в.} = 1.5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Найдем общее количество вертикальных заземлителей:

$$n_g = \frac{R_g}{\eta_g \cdot R_{дон}}, \quad (8.4)$$
$$n_g = \frac{67.1}{0.63 \cdot 4} = 27 \text{ шт.}$$

Найдем длину горизонтального заземлителя:

$$l_2 = a \cdot n_g, \quad (8.5)$$
$$l_2 = 6 \cdot 27 = 162 \text{ м.}$$

Найдем сопротивление растеканию горизонтального заземлителя:

$$R_2 = \frac{0.366 \cdot \rho_{p.z.}}{l_2} \cdot \lg \frac{2l_2^2}{b \cdot t_0}, \quad (8.6)$$
$$R_2 = \frac{0.366 \cdot 400}{162} \cdot \lg \frac{2 \cdot 162^2}{0.04 \cdot 0.7} = 5.7 \text{ Ом,}$$

где

$$\rho_{p.z.} = \kappa_c \cdot \rho_{грунт}, \quad (8.7)$$
$$\rho_{p.z.} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ Ом.}$$

Найдем уточненное сопротивление растеканию горизонтального заземлителя:

$$R_2^* = \frac{R_2}{\eta_2}, \quad (8.8)$$

$$R_2' = \frac{5.7}{0.3} = 18.9 \text{ Ом.}$$

Найдем уточненное сопротивление растеканию вертикальных заземлителей:

$$R_g' = \frac{R_2' \cdot R_{дон}}{R_2' - R_{дон}}, \quad (8.9)$$

$$R_g' = \frac{18.9 \cdot 4}{18.9 - 4} = 5.1 \text{ Ом.}$$

Найдем уточненное количество вертикальных заземлителей:

$$n_g' = \frac{R_g}{\eta_g \cdot R_g'}, \quad (8.10)$$

$$n_g' = \frac{67.1}{0.61 \cdot 5.1} \approx 22 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем 22 вертикальных заземлителя.

Заключение

При выполнении бакалаврской работы была определена силовая электрическая нагрузка и нагрузка освещения завода железобетонных конструкций и изделий. Суммарная расчётная нагрузка предприятия с учетом компенсации реактивной мощности и с учетом подключенных сторонних потребителей составила $S_p = 8,316$ МВА.

Определены мощности цеховых комплектных трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Всего к установке на предприятии принято 10 КТП с силовыми трансформаторами мощностью от 160 до 1000 кВА.

В качестве напряжения питания предприятия используется напряжение 35 кВ. Выполнено технико-экономическое обоснование оптимальной номинальной мощности силовых трансформаторов ГПП, в результате которого к установке приняты трансформаторы ТМН-6300/35/10.

Выполнены расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка основных электрических аппаратов на ГПП и выполнен расчет заземления главной понизительной подстанции.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок, 7-е издание. – М.; Academia, 2015.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок. – М.: ФОРУМ-М, 2014.
3. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.
4. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ, 2012.
5. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов. Учебное пособие / В.П. Шеховцов – М.: Форум, Инфра-М, 2015.
6. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
7. Shi, Y. A self-starting internal power supply system suitable for high-voltage applications / Y. Shi, J. Cheng, Z. Zhou, J. Huang, B. Zhang. - Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2014 12th IEEE International Conference on, Guilin, 2014, pp. 1-3.
8. Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
9. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
10. Kuffel, E. High Voltage Engineering. Fundamentals / E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel. – Oxford: Newnes, 2010.

11. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
12. Электроснабжение: выбор и проверка токоведущих частей и коммутационных аппаратов: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет ; сост. Т.В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.
13. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
14. Niu, B. Development of a new power supply system of distributed sensors of transmission lines / B. Niu, S. Wang, L. Pu, Z. Li, P. Zhang. - High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2012 International Conference on, Shanghai, 2012, pp. 358-362.
15. Шведов, Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение. Учебное пособие / Г.В. Шведов, О.В. Скрипачева, О.В. Савченко – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
16. Khan, S. Industrial power systems / S. Khan, S. Khan, G. Ahmed. – Boca Raton: CRC Press, 2016.
17. Yajing, C. Test on Lightning Characteristics of Electronic Equipment's Power Supply / C. Yajing, Z. Wenjun, H. Ruidong, Z. Luxing. - EMC Technologies, 2007 International Symposium on, Hangzhou, 2007, pp. 1357-1360.
18. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп./ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 2013.
19. Ковалев, И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник / И. Н. Ковалев. - Москва : Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.

20. Коробов, Г. В. Электроснабжение: Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2014.

21. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков – Москва: МЭИ, 2015.

22. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита: учеб. пособие / В.В. Титков, Ф.Х. Халилов. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2016.

23. Овсянников, А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник / А. Г. Овсянников, Р. К. Борисов. - Новосибирск: НГТУ, 2013.