

Аннотация

Выпускная квалификационная работа выполнена на тему «Проектирование системы электроснабжения предприятия по производству запчастей для подвижного состава».

В бакалаврской работе дана краткая характеристика объекта проектирования, произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок по цехам предприятия, выбраны число и мощность силовых трансформаторов на КТП, произведено технико-экономическое сравнение двух вариантов установки силовых трансформаторов на ГПП предприятия, выбрана электрическая схема подстанции и даны рекомендации по устанавливаемому оборудованию, определены значения токов короткого замыкания, выбрано и проверено основное электрооборудование ГПП, выполнен расчет заземления на ГПП.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 58 листов, включая 4 таблицы и 3 рисунка и графической части, представленной 6 чертежами А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта	5
2 Расчет ожидаемых максимальных нагрузок по цехам	8
3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов цеховых КТП	12
4 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции	20
5 Выбор схемы ГПП	31
6 Расчет токов короткого замыкания	32
7 Выбор и проверка основного электрооборудования на главной понизительной подстанции	36
8 Расчет заземления ГПП	52
Заключение	55
Список используемых источников	56

Введение

При проектировании электроснабжения сказывается влияние многих факторов друг на друга: выбор силовых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности оказывает влияние на качество электрической энергии, обеспечение надежности и показатели экономичности работы электрических подстанций, что приводит к необходимости выбора оптимального или близкого к нему варианта системы электроснабжения [1-3].

Основная масса электроприемников участвующих в технологическом процессе промышленного предприятия выпускается на напряжение до 1 кВ. Систему электроснабжения промышленного предприятия условно можно разделить на 3 подсистемы:

- внешнее электроснабжение промышленного предприятия;
- внутреннее электроснабжение предприятия;
- внутрицеховое электроснабжение.

Система внутреннего электроснабжения промпредприятия обычно характеризуется сложной структурой и значительной длиной распределительных сетей предприятия. В систему внутреннего электроснабжения входят высоковольтные воздушные и кабельные линии, распределительные пункты и цеховые трансформаторные подстанции. Для распределения электроэнергии по территории предприятия используют номинальные напряжения 6-10 кВ.

К системе внутрицехового электроснабжения предприятия относятся внутрицеховые сети от трансформаторной подстанции до электроприемников. Для распределения электроэнергии внутри цеха применяются номинальные напряжения 380-660 В. Для питания отдельных электроприемников могут применяться нестандартные значения напряжений. Система внутрицехового электроснабжения в основном выполняется с глухозаземленной нейтралью, что позволяет получить два класса напряжения 380 В для питания большинства

промышленных электроприемников (ЭП) и 220 В для питания однофазных ЭП и сетей освещения [4, 5].

Целью бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения предприятия по производству запчастей для подвижного состава с учетом обеспечения требований по надежности электроснабжения потребителей электрической энергии.

1 Краткая характеристика объекта

ООО «КМЗ» специализируется на производстве резинотехнических изделий и запасных частей для подвижного состава, а также комплексным снабжением предприятий железнодорожной отрасли. Осуществляет экспортные поставки запасных частей.

С 2006 года предприятие работает на рынке комплектующих и запасных частей для железнодорожной техники. За это время предприятием накоплен большой опыт в области обработки металлов, а также в изготовлении резинотехнических изделий для подвижного железнодорожного состава.

Производственные мощности дают возможность изготавливать как единичные партии сложных деталей, так и крупные серии деталей по чертежам заказчика.

Кроме производственной деятельности ООО «КМЗ» уже 10 лет уверенно работает на рынке запчастей и комплектующих как торговое предприятие. За годы работы наше предприятие зарекомендовало себя надежным поставщиком не только серийной но и штучной продукции. Основными клиентами ООО «КМЗ» являются крупные предприятия специализирующие на ремонте и производстве подвижного состава. Изделия предприятия отгружаются в любую точку страны в любом количестве транспортными компаниями, самовывозом, а также собственным транспортом.

В настоящее время ООО «КМЗ» - это динамично развивающееся машиностроительное предприятие, старающееся постоянно расширять ассортимент выпускаемой продукции, которая пользуется постоянным спросом не только на территории России, но и в странах ближнего зарубежья.

Основной продукцией предприятия являются:

- запасные части для железнодорожных цистерн;
- запасные части, используемые в грузовых вагонах;
- запчасти для платформы универсальной;
- комплектующие и материалы верхнего строения пути;

- РТИ для подвижного состава;
- запчасти для тормозного оборудования вагонов;
- РТИ для сельскохозяйственной техники;
- запасные части для тягового подвижного состава;
- железнодорожный путевой инструмент;
- запасные части для думпкаров.

2 Расчет ожидаемых максимальных нагрузок по цехам

Зачастую на стадии проектирования системы электроснабжения окончательные характеристики приемников электроэнергии могут быть не определены, поэтому для нахождения значений расчетной электрической нагрузки используют различные методы расчета, которые принято делить на основные методы и вспомогательные.

По значению расчетной нагрузки выбирается и проверяется электрическое оборудование, определяется требуемая мощность источников питания, рассчитываются сечения жил проводников, определяется номинальная мощность силовых трансформаторов и преобразователей, по которой в свою очередь рассчитываются потери напряжения и мощности [6, 7].

Расчет нагрузок выполняется по методике, изложенной в [8].

Информацию о коэффициентах использования K_{II} и коэффициентах мощности $\cos\varphi$ для каждого из цехов предприятия определяем по справочникам.

«Расчетная активная нагрузка группы силовых трехфазных электроприемников на всех ступенях питающих и распределительных сетей находится по средней нагрузке и коэффициенту максимума

$$P_p = K_M \cdot P_C, \quad (2.1)$$

где K_M – коэффициент максимума активной нагрузки при длительности интервала осреднения 30 минут; P_C – средняя активная нагрузка группы за наиболее загруженную смену» [8, с. 10].

«Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников принимается:

$$Q_p = 1.1Q_c \text{ при } n_s \leq 10, \quad (2.2)$$

$$Q_p = Q_c \text{ при } n_s > 10, \quad (2.3)$$

где Q_c – средняя реактивная нагрузка» [8, с. 10].

Среднесменная нагрузка для каждого цеха определяется по формулам:

$$P_c = K_u \cdot P_n, \quad (2.4)$$

$$Q_c = K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.5)$$

где K_u – коэффициент использования; P_n – номинальная активная мощность этой группы, приведенная к ПВ = 100%; $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности рассматриваемой группы электроприемников.

Значения коэффициента максимума определяются по справочной литературе.

Полная расчетная нагрузка по каждому из цехов предприятия находится по выражению:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}. \quad (2.6)$$

Расчеты для высоковольтных электроприемников выполняем аналогичным образом.

Итоговые значения среднесменной и расчетной мощности по предприятию в целом получаем путем сложения итоговых значений нагрузок 0,4 кВ и высоковольтной нагрузки 6-10 кВ.

Результаты определения электрических нагрузок по цехам предприятия сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет ожидаемых максимальных электрических нагрузок по цехам

№ цеха на плане предприятия	Цех	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	n_9	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_c , кВт	Q_c , квар	K_M	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	КПЦ	14420	101.55	142	0.38	0.56	1.48	5479.6	8106.80	0.71	3890.52	8106.80	8992.01
2	ТЦ	5285	211.40	25	0.47	0.77	0.83	2484	2058.27	0.86	2136.20	2058.27	2966.45
3	СЦ	9798	120.96	81	0.43	0.72	0.96	4213.1	4060.85	0.72	3033.46	4060.85	5068.76
4	ОЦ	11219	311.64	36	0.38	0.77	0.83	4263.2	3532.63	0.77	3282.68	3532.63	4822.39
5	ФЦ	9004	236.95	38	0.52	0.85	0.62	4682.1	2901.69	0.81	3792.48	2901.69	4775.22
6	ЧЛЦ	8313	346.38	24	0.63	0.85	0.62	5237.2	3245.72	0.89	4661.10	3245.72	5679.84
7	РМЦ	681	9.46	72	0.36	0.6	1.33	245.16	326.88	0.73	178.97	326.88	372.67
8	РСЦ	10446	454.17	23	0.37	0.6	1.33	3865	5153.36	0.86	3323.92	5153.36	6132.34

Продолжение таблицы 2.1

№ цеха на плане предприятия	Цех	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	Q_p , квар	S_p , кВА
9	МЦ	2567	19.01	135	0.72	0.9	0.48	1848.2	895.1	0.82	1515.6	895.1	1760.2
10	КЦ	2593	108.04	24	0.24	0.75	0.88	622.32	548.8	0.81	504.1	548.8	745.2
Итого по 0,4 кВ		74326	9.5...454	600	0.44	-	0.94	32940	30830.2	-	26318.9	30830.2	40536.2
3	СЦ	22000	5500	4	0.52	0.86	0.59	11440	6788.1	1.05	12012.0	6788.1	13797.3
Итого по 10 кВ		22000	5500	4	0.52	-	0.59	11440	6788.1	-	12012.0	6788.1	13797.3
Всего по предприятию		96326	9.5...5500	604	0.46	-	0.85	44380	37618.3	-	38331	37618.3	53706.6

В таблице сокращенно обозначены следующие цеха: КПЦ - кузнечно-прессовый; ТЦ – термический; СЦ – сталелитейный; ОЦ – обрубочный; ФЦ – формовочный; ЧЛЦ - чугунно-литейный; РМЦ - ремонтно-механический; РСЦ - ремонтно-строительный; МЦ – модельный; КЦ – копровый.

3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов цеховых КТП

3.1 Выбор трансформаторов КТП для электроснабжения модельного цеха

Найдем необходимую мощность силового трансформатора КТП по формуле:

$$S_{HT} > \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (3.1)$$

$$S_{HT} > \frac{1515.6}{0.8 \cdot 2} = 947 \text{ кВА.}$$

По шкале номинальных мощностей трансформаторов выбираем самое близкое большее значение $S_{HT} = 1000 \text{ кВА}$.

3.1.1 Вариант с силовым трансформатором ТСЗГЛ -1000/10/0.4

По данным производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 2.3 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 7.9 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 1.2 \%$, $u_{K3} = 6 \%$, $K_T = 864.7 \text{ тыс. руб.}$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{K3}), \quad (3.2)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (2.3 + 0.8^2 \cdot 7.9) = 14.71 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (1.2 + 0.8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1000}{100} = 100.8 \text{ квар.}$$

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.4)$$

$$P_p = 1515.6 + 14.71 = 1530.3 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.5)$$

$$Q_p = 895.1 + 100.8 = 995.9 \text{ квар.}$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p, \quad (3.6)$$

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 995.9 = 498 \text{ квар.}$$

Определим экономически выгодное значение реактивной мощности в период максимальных нагрузок в энергосистеме:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0.7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.7)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 995.9 - 0.7 \cdot 0 = 995.9 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.8)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 1530.3 = 428.5 \text{ квар.}$$

где $\alpha = 0.28$; $Q_{\text{сд}} = 0$.

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 428.5 \text{ квар.}$

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 498 - (995.9 - 428.5) = -69.5 \text{ квар.}$$

$$Q_{\varepsilon 2, H} = Q_{\min} + Q_K, \quad (3.10)$$

$$Q_{\varepsilon 2, H} = 498 + 0 = 498 \text{ квар};$$

где $Q_K = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 498 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 995,9 - 428,5 = 716,9 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 498 - 498 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

Найдем величину реактивной мощности, которую требуется передать в электрическую сеть напряжением 0,4 кВ через силовые трансформаторы:

$$Q_{\varepsilon H} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.13)$$

$$Q_{\varepsilon H} = 428,5 - (995,9 - 895,1) = 327,7 \text{ квар}.$$

Найдем величину реактивной мощности, которую целесообразно передать в электрическую сеть напряжением 0,4 кВ через силовые трансформаторы:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.14)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.8 \cdot 1000)^2 - 1515.6^2} = 512.9 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (3.15)$$

$$Q_{KVH} = 895.1 - 512.9 = 382.2 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.16)$$

$$Q_{.KVB} = 716.9 - 382.2 = 334.6 \text{ квар}.$$

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТСЗГЛ -1000/10/0,4 и двумя конденсаторными установками 0,4 кВ типа АУКРМ 200 квар.

Определим продолжительность периода максимальных потерь

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_P, \quad (3.17)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4898}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3300.3 \text{ ч.}$$

Определим удельную стоимость потерь на холостом ходу в силовом трансформаторе:

$$C_{XX} = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot T_P, \quad (3.18)$$

$$C_{XX} = \left(\frac{485.3 \cdot 12}{4898} + 1.178 \right) \cdot 8760 = 20.735 \text{ тыс.руб/кВт}.$$

Определим удельную стоимость потерь короткого замыкания в силовом трансформаторе:

$$C_{KЗ} = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot \tau, \quad (3.19)$$

$$C_{K3} = \left(\frac{485.3 \cdot 12}{4898} + 1.178 \right) \cdot 3300.3 = 7.812 \text{ тыс.руб/кВт} .$$

Величину $C \cdot \Delta P_T$, тыс. руб., определим по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} , \quad (3.20)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.735 \cdot 2.3 + 7.812 \cdot 0.8^2 \cdot 7.9 = 87.186 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на установку КТП с силовыми трансформаторами и компенсирующими устройствами $Z_{КТП}$, тыс. руб., определим по формуле:

$$Z_{КТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV6} \cdot N_{KV6} + K_{KVH} \cdot N_{KVH}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T , \quad (3.21)$$

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot (864.7 \cdot 2 + 75.5 \cdot 2) + (87.186 \cdot 2) = 593.702 \text{ тыс.руб.}$$

3.1.2 Вариант с силовым трансформатором ТСЗГЛ -1600/10/0,4

По данным производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 3.1 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 11.5 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 1.4 \%$, $u_{K3} = 6 \%$, $K_T = 1262 \text{ тыс. руб.}$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{K3}) , \quad (3.22)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (3.1 + 0.8^2 \cdot 11.5) = 20.92 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_n}{100} , \quad (3.23)$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (1.4 + 0.8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 167.68 \text{ квар.}$$

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.24)$$

$$P_p = 1515.6 + 20.92 = 1536.5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.25)$$

$$Q_p = 895.1 + 167.68 = 1062.8 \text{ квар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p, \quad (3.26)$$

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 1062.8 = 531.4 \text{ квар}.$$

Определим экономически выгодное значение реактивной мощности в период максимальных нагрузок в энергосистеме:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.27)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1062.8 - 0.7 \cdot 0 = 1062.8 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.28)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 1536.5 = 430.2 \text{ квар}.$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{\text{сд}} = 0$.

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 430.2 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\min} - Q_{\text{к0}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.29)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 531.4 - (1062.8 - 430.2) = -101.2 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\min} + Q_{\text{к}}, \quad (3.30)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 531.4 + 0 = 531.4 \text{ квар};$$

где $Q_k = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varphi 2} = 531.4$ квар.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{ку\max} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varphi 1}, \quad (3.31)$$

$$Q_{ку\max} = 1,15 \cdot 1062,8 - 430,2 = 792 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{ку\min} = Q_{\min} - Q_{\varphi 2}, \quad (3.32)$$

$$Q_{ку\min} = 531,4 - 531,4 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

Найдем величину реактивной мощности, которую требуется передать в электрическую сеть напряжением 0,4 кВ через силовые трансформаторы:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\varphi 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.33)$$

$$Q_{\text{эн}} = 430,2 - (1062,8 - 895,1) = 262,5 \text{ квар.}$$

Найдем величину реактивной мощности, которую целесообразно передать в электрическую сеть напряжением 0,4 кВ через силовые трансформаторы:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.34)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - 1515,6^2} = 2063,2 \text{ квар,}$$

$$Q_{КУН} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (3.35)$$

$$Q_{KVH} = 895.1 - 2063.2 = -1168 < 50 \text{ квар} ,$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH} , \quad (3.36)$$

$$Q_{.KVB} = 792 - 0 = 792 \text{ квар} .$$

Так как $Q_{KVH} < 50$ квар и $Q_{.KVB} < 800$ квар , то размещение низковольтных и высоковольтных КУ нецелесообразно.

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТСЗГЛ-1600/10/0,4 без конденсаторных установок.

Величину $C \cdot \Delta P_T$, тыс. руб., определим по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} , \quad (3.37)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.735 \cdot 3.1 + 7.812 \cdot 0.8^2 \cdot 11.5 = 121.772 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на установку КТП с силовыми трансформаторами и компенсирующими устройствами $Z_{КТП}$, тыс. руб., определим по формуле:

$$Z_{КТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T , \quad (3.38)$$

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot (1262 \cdot 2) + (121.772 \cdot 2) = 806.397 \text{ тыс.руб.}$$

По минимуму приведенных затрат на основное оборудование КТП принимаем к установке двух трансформаторную подстанцию с силовыми трансформаторами ТСЗГЛ -1000/10/0,4.

Для остальных цехов предприятия выбор трансформаторов КТП производим аналогичным образом.

4 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции

Для электрических сетей классов напряжения 110-220 кВ рекомендуется применять силовые трансформаторы с:

- низким уровнем удельных технических потерь;
- микропроцессорными блоками управления устройством РПН;
- твердыми вводами при значениях номинального тока до 2000 А;
- нормативным сроком службы не менее 30 лет [9].

Величину рационального напряжения питания предприятия можно определить по формуле:

$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{L + 0.016 \cdot P_{РП}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{10 + 0.016 \cdot 38331} = 108 \text{ кВ},$$

где расчетная активная нагрузка предприятия определяется:

$$P_{РП} = P_{РН} + P_{РВ} + P_{СТОП}, \quad (4.2)$$
$$P_{РП} = 36318.96 + 12012 + 0 = 38331 \text{ кВт}.$$

Полную расчетную нагрузку предприятия определим по формуле:

$$S_{РП} = \sqrt{P_{РП}^2 + Q_{ЭС}^2}, \quad (4.3)$$
$$S_{РП} = \sqrt{38331^2 + 9583^2} = 39511 \text{ кВА},$$

где величину расчетной реактивной нагрузки предприятия найдем по формуле:

$$Q_{ЭС} = P_{РП} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.4)$$

$$Q_{эсi} = 38331 \cdot 0.25 = 9583 \text{ квар.}$$

Для питания потребителей электроэнергии, относящихся к первой и второй категориям, на ГПП предприятия устанавливаем 2 силовых трансформатора. Значение номинальной мощности силовых трансформаторов находим с учетом допустимой 40% перегрузки в послеаварийном режиме [10, 11].

$$S_{номт} \approx K_{1-2} \cdot S_{ПП} \frac{1}{K_{пер}}, \quad (4.5)$$

$$S_{номт} \approx 0,8 \cdot 39511 \cdot \frac{1}{1,4} = 22578 \text{ кВА.}$$

По шкале номинальных мощностей силовых трансформаторов и каталогу производителя выбираем для дальнейшего рассмотрения два варианта: трансформаторы ТРДН-25000/110/10/10 и следующий по шкале номинальных мощностей ТРДН-40000/110/10/10.

4.1 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТРДН -25000/110/10/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{xx} = 26.5 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 121.5 \text{ кВт}$, $i_{xx} = 0.63 \%$, $u_{кз} = 10.5 \%$, $K_T = 29567 \text{ тыс. руб.}$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе на холостом ходу по формуле:

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

$$\Delta P_x' = 26.5 + 0.05 \cdot 157.5 = 34.38 \text{ кВт,}$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.63 \cdot 25000 / 100 = 157.5 \text{ квар},$$

$$K_{un} = 0,05 \text{ кВт} / \text{квар}.$$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе в режиме короткого замыкания:

- для обмотки напряжением 110 кВ по формулам:

$$\Delta Q_{к.в} = U_{к.в\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.8)$$

$$\Delta Q_{к.в} = 1.3 \cdot 25000 / 100 = 328.1 \text{ квар},$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.9)$$

$$U_{к.в\%} = 0,125 \cdot 10.5 = 1.3 \%,$$

$$\Delta P'_{к.в} = \Delta P_{к.в} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.в}, \quad (4.10)$$

$$\Delta P'_{к.в} = 0 + 0.05 \cdot 328.1 = 16.4 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P_{к.в} = 0.$$

- для обмотки напряжением 10 кВ по формулам:

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = U_{к.н1,2\%} \cdot S_{ном.т} / 100, \quad (4.11)$$

$$\Delta Q_{к.н1} = \Delta Q_{к.н2} = 18.375 \cdot 25000 / 100 = 4593.8 \text{ квар},$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot u_{к.ВН-НН}, \quad (4.12)$$

$$U_{к.н1\%} = U_{к.н2\%} = 1,75 \cdot 10.5 = 18.375 \%,$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = \Delta P_{к.н1,2} + K_{un} \cdot \Delta Q_{к.н1,2}, \quad (4.13)$$

$$\Delta P'_{к.н1} = \Delta P'_{к.н2} = 243 + 0.05 \cdot 4593.8 = 472.7 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (4.14)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 121.5 = 243 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициентов загрузки каждой из обмоток трансформатора найдем по формуле:

$$K_{3.6} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (4.15)$$

$$K_{3.6} = \frac{39511}{25000} = 1.58.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.16)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{19755.5}{25000} = 0.79.$$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе по формуле:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.6}^2 \cdot \Delta P_{к.6}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (4.17)$$

$$P_m^{\dot{}} = 34.38 + 1.58^2 \cdot 16.4 + 0.79^2 \cdot 472.7 + 0.79^2 \cdot 472.7 = 665.7 \text{ кВт}.$$

По суммарному годовому графику нагрузки подстанции (рисунок 4.1) найдем значение годовых потерь электрической энергии в силовых трансформаторах:

$$\Delta W_{nc} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P_x' \cdot T_i + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.6i}^2 \cdot \Delta P_{к.6}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}' \cdot T_i \right) \quad (4.18)$$

Результаты определения потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции на каждой ступени годового графика нагрузки сводим в таблицу 4.1.

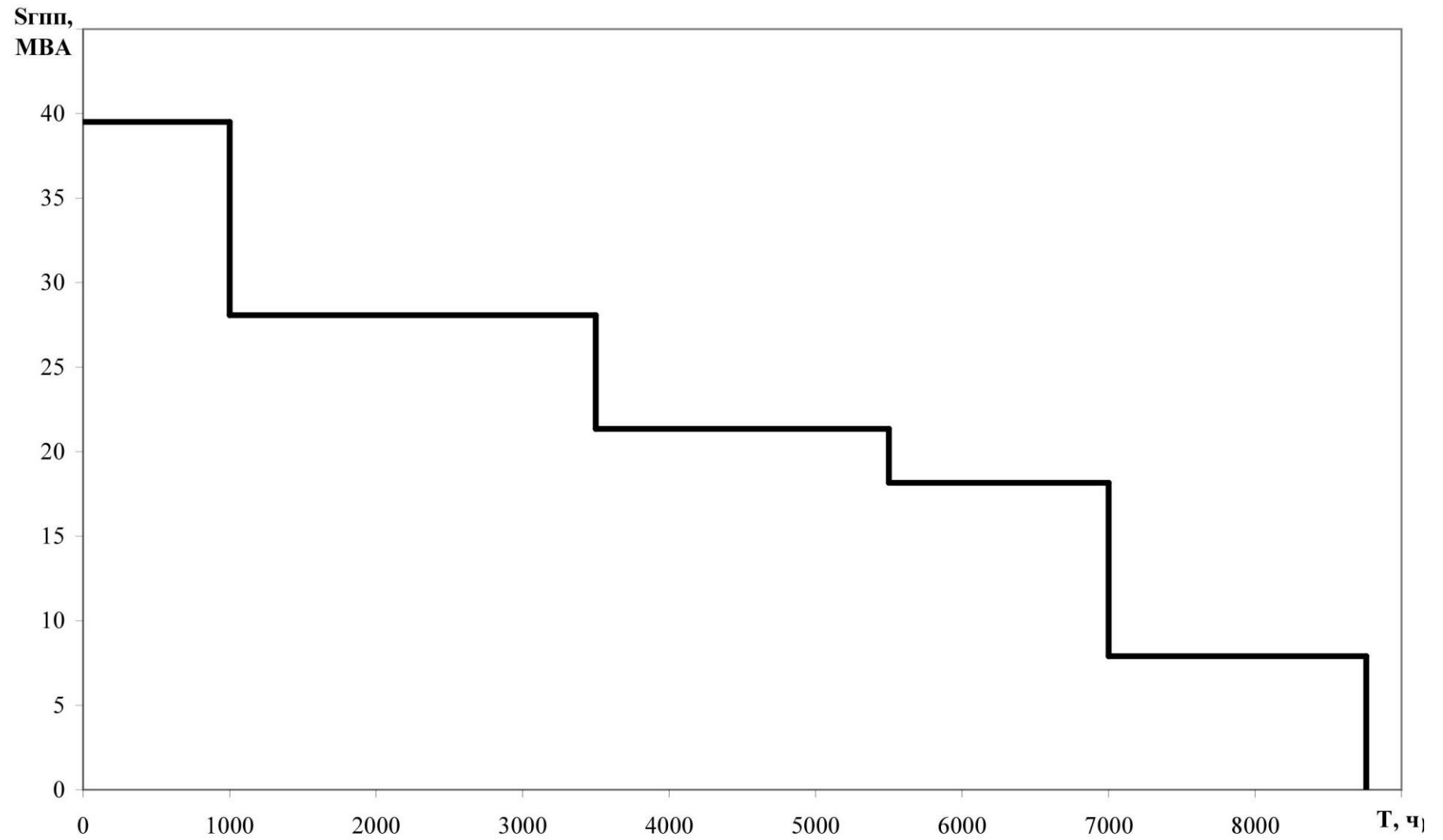


Рисунок 4.1 – Суммарный годовой график нагрузки подстанции предприятия

Таблица 4.1 - Результаты определения потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции на каждой ступени годового графика нагрузки

i	$S_{Bi},$ MBA	$S_{H1i},$ MBA	$S_{H2i},$ MBA	n_i	$T_i, \text{ч}$	$\Delta W_{xi},$ $\kappa Bm \cdot \text{ч}$	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{\kappa Bi},$ $\kappa Bm \cdot \text{ч}$	$\Delta W_{\kappa H1i},$ $\kappa Bm \cdot \text{ч}$	$\Delta W_{\kappa H2i},$ $\kappa Bm \cdot \text{ч}$
1	39.511	19.756	19.756	2	1000	68750	1.580	0.790	0.790	20490	147584	147584
2	28.071	14.036	14.036	2	2500	171875	1.123	0.561	0.561	25856	186235	186235
3	21.348	10.674	10.674	2	2000	137500	0.854	0.427	0.427	11963	86169	86169
4	18.163	9.081	9.081	2	1500	103125	0.727	0.363	0.363	6495	46781	46781
5	7.902	3.951	3.951	2	1760	121000	0.316	0.158	0.158	1442	10390	10390
$\Sigma \Delta W_{xi} = 602250$										$\Sigma \Delta W_{\kappa Bi} = 1020564$		

По величине суммарных годовых потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции определяем стоимость потерь за год:

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.19)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (1020564 + 602250) \cdot 2.367 = 3841 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{\text{э}} = 2.367 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta W_{ПТС}}, \quad (4.20)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 59133.22 + 5559 + 3841 = 24183 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 29566.61 = 59133.22 \text{ тыс. руб.}$ – цена за два силовых трансформатора ТРДН-25000/110/10/10;

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 59133.22 = 5559 \text{ тыс. руб.}$$
 – годовые отчисления.

4.2 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТРДН -40000/110/10/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 35.5 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 171.5 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 0.53 \%$, $u_{K3} = 10.5 \%$, $K_T = 39723 \text{ тыс. руб.}$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе на холостом ходу по формуле:

$$\Delta P_x' = \Delta P_x + K_{un} \cdot \Delta Q_x, \quad (4.21)$$

$$\Delta P_x' = 35.5 + 0.05 \cdot 212 = 46.1 \text{ кВт},$$

где

$$\Delta Q_x = I_{xx\%} \cdot S_{\text{ном.т}} / 100, \quad (4.22)$$

$$\Delta Q_x = 0.53 \cdot 40000 / 100 = 212 \text{ квар},$$

$$K_{\text{ин}} = 0,05 \text{ кВт} / \text{квар}.$$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе в режиме короткого замыкания:

- для обмотки напряжением 110 кВ по формулам:

$$\Delta Q_{\text{к.в}} = U_{\text{к.в}\%} \cdot S_{\text{ном т}} / 100, \quad (4.23)$$

$$\Delta Q_{\text{к.в}} = 1.3 \cdot 40000 / 100 = 525 \text{ квар},$$

$$U_{\text{к.в}\%} = 0,125 \cdot u_{\text{к.ВН-НН}}, \quad (4.24)$$

$$U_{\text{к.в}\%} = 0,125 \cdot 10.5 = 1.3 \%,$$

$$\Delta P'_{\text{к.в}} = \Delta P_{\text{к.в}} + K_{\text{ин}} \cdot \Delta Q_{\text{к.в}}, \quad (4.25)$$

$$\Delta P'_{\text{к.в}} = 0 + 0.05 \cdot 525 = 26.3 \text{ кВт}.$$

$$\Delta P_{\text{к.в}} = 0.$$

- для обмотки напряжением 10 кВ по формулам:

$$\Delta Q_{\text{к.н1}} = \Delta Q_{\text{к.н2}} = U_{\text{к.н1,2}\%} \cdot S_{\text{ном т}} / 100, \quad (4.26)$$

$$\Delta Q_{\text{к.н1}} = \Delta Q_{\text{к.н2}} = 18.375 \cdot 40000 / 100 = 7350 \text{ квар},$$

$$U_{\text{к.н1}\%} = U_{\text{к.н2}\%} = 1,75 \cdot u_{\text{к.ВН-НН}}, \quad (4.27)$$

$$U_{\text{к.н1}\%} = U_{\text{к.н2}\%} = 1,75 \cdot 10.5 = 18.375 \%,$$

$$\Delta P'_{\text{к.н1}} = \Delta P'_{\text{к.н2}} = \Delta P_{\text{к.н1,2}} + K_{\text{ин}} \cdot \Delta Q_{\text{к.н1,2}}, \quad (4.28)$$

$$\Delta P'_{\text{к.н1}} = \Delta P'_{\text{к.н2}} = 343 + 0.05 \cdot 7350 = 710.5 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot \Delta P_{к.ВН-НН}, \quad (4.29)$$

$$\Delta P_{к.н1,2} = 2 \cdot 171.5 = 343 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициентов загрузки каждой из обмоток трансформатора найдем по формуле:

$$K_{3.б} = \frac{S_B}{S_{ном,Т}}, \quad (4.30)$$

$$K_{3.б} = \frac{39511}{40000} = 0.99.$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{S_{H1,2}}{S_{ном,Т}}, \quad (4.31)$$

$$K_{3.н1} = K_{3.н2} = \frac{19755.5}{40000} = 0.49.$$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе по формуле:

$$P_m^{\dot{}} = \Delta P_x^{\dot{}} + K_{3.б}^2 \cdot \Delta P_{к.б}^{\dot{}} + K_{3.н1}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}^{\dot{}} + K_{3.н2}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}^{\dot{}}, \quad (4.32)$$

$$P_m^{\dot{}} = 46.1 + 0.99^2 \cdot 26.3 + 0.49^2 \cdot 710.5 + 0.49^2 \cdot 710.5 = 418.3 \text{ кВт}.$$

По суммарному годовому графику нагрузки подстанции найдем значение годовых потерь электрической энергии в силовых трансформаторах:

$$\begin{aligned} \Delta W_{nc} = & \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{ki} = \sum n_i \cdot \Delta P_x' \cdot T_i + \\ & + \sum \left(\frac{1}{n_i} \cdot K_{3.бi}^2 \cdot \Delta P_{к.б}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н1i}^2 \cdot \Delta P_{к.н1}' \cdot T_i + \frac{1}{n_i} \cdot K_{3.н2i}^2 \cdot \Delta P_{к.н2}' \cdot T_i \right) \end{aligned} \quad (4.33)$$

Результаты определения потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции на каждой ступени годового графика нагрузки сводим в таблицу 4.2.

По величине суммарных годовых потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции определяем стоимость потерь за год:

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.34)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (601732 + 807672) \cdot 2.367 = 3336 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{\text{э}} = 2.367 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta W_{ПТС}}, \quad (4.35)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 79446.16 + 7468 + 3336 = 30666 \text{ тыс.руб.}$$

где $K = 2 \cdot 39723.08 = 79446.16 \text{ тыс.руб.}$ – цена за два силовых трансформатора ТРДН-40000/110/10/10;

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 79446.16 = 7468 \text{ тыс.руб.} \text{ – годовые отчисления.}$$

По минимальным приведенным затратам выбираем к установке на ГПП вариант с установкой двух силовых трансформаторов ТРДН- 25000/110/10/10 с суммарными приведенными затратами 24183 тыс.руб.

Таблица 4.2 - Результаты определения потерь электроэнергии в трансформаторах подстанции на каждой ступени годового графика нагрузки

i	S_{Bi} , MBA	S_{H1i} , MBA	S_{H2i} , MBA	n_i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K_{зBi}$	$K_{зH1i}$	$K_{зH2i}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH1i}$, кВт·ч	$\Delta W_{кH2i}$, кВт·ч
1	39.511	19.756	19.756	2	1000	92200	0.988	0.494	0.494	12806	86654	86654
2	28.071	14.036	14.036	2	2500	230500	0.702	0.351	0.351	16160	109348	109348
3	21.348	10.674	10.674	2	2000	184400	0.534	0.267	0.267	7477	50594	50594
4	18.163	9.081	9.081	2	1500	138300	0.454	0.227	0.227	4059	27467	27467
5	7.902	3.951	3.951	2	1760	162272	0.198	0.099	0.099	902	6100	6100
$\Sigma \Delta W_{xi} = 807672$										$\Sigma \Delta W_{кBi} = 601732$		

5 Выбор схемы ГПП

Применение средств для дистанционного управления электрооборудованием и контроля за его состоянием позволят обеспечить работу подстанции без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Выбор схемы и компоновки главной понизительной подстанции должны быть направлены на уменьшение площади подстанции. Самыми современными решениями на сегодняшний день являются:

1. Для открытых распределительных устройств с напряжением 110 кВ должны применяться комплектные ячейки заводского изготовления. Для распределительных устройств 110 кВ возможно открытое или закрытое исполнение, в том числе модульное.

2. В РУ 110 кВ рекомендуется применять: колонковые и баковые элегазовые выключатели с пружинными приводами; разъединители с электродвигательными приводами основных и заземляющих ножей, что позволяет улучшить обслуживание и повысить автоматизированность подстанций; антирезонансные или емкостные трансформаторы напряжения (ТН). В случае применения одноразрывных выключателей допускается применение электромагнитных трансформаторов напряжения.

3. В распределительных устройствах 110 кВ вновь возводимых подстанций запрещены: схемы подстанций с высшим номинальным напряжением 110 кВ с отделителями и короткозамкательными и с беспортальным приемом воздушных линий.

4. В схемах распределительных устройств с напряжением 10 кВ на ГПП при наличии на трансформаторах подстанции расщепленной обмотки низкого напряжения следует использовать двойную секционированную систему шин.

5. В РУ 10 кВ в качестве основного коммутационного аппарата рекомендуются к использованию вакуумные выключатели, измерительные ТТ и ТН с литой изоляцией, сухие силовые трансформаторы для собственных нужд. Трансформаторы тока должны иметь две-три вторичные обмотки [9, 12].

6 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета значений токов короткого замыкания составляем две схемы: расчетную (рисунок 6.1) и схему замещения (рисунок 6.2) [13, 14].

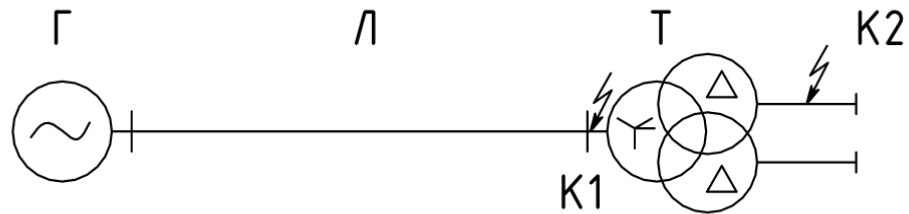


Рисунок 6.1 - Расчётная схема для определения значений тока короткого замыкания

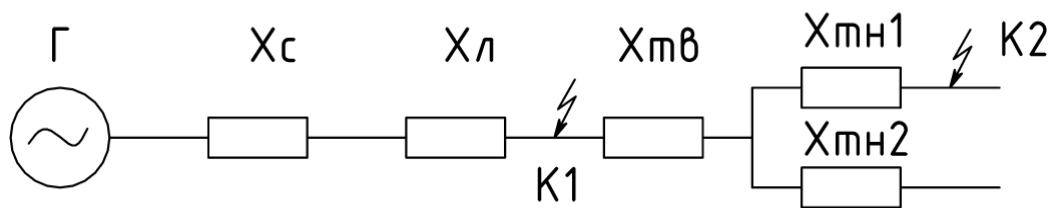


Рисунок 6.2 - - Схема замещения для определения значений тока короткого замыкания

Параметры, необходимые для определения значений токов КЗ:

Параметры внешней ЭЭС: $U_{cp} = 115$ кВ; $S_{\sigma} = 1000$ МВА; $S_{\kappa} = 3750$ МВА.

Параметры питающей кабельной линии электропередачи:
 $x_{уд} = 0,4$ Ом/км; $L = 10$ км.

Параметры выбранного к установке на ГПП силового трансформатора:
 $S_n = 25$ МВА; $U_{\kappa} = 10.5$ %.

Определим сопротивление системы по формуле:

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

$$x_{c.\bar{b}} = \frac{1000}{3750} = 0.267.$$

Определим сопротивление воздушной линии электропередачи по формуле:

$$x_{БЛ.\bar{b}} = \frac{x_{уд}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{U_{сн}^2}; \quad (6.2)$$

$$x_{БЛ.\bar{b}} = \frac{0.4}{2} \cdot 10 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.151.$$

Определим сопротивление принятого к установке на ГПП силового трансформатора ТРДН-25000/110/10/10 по формуле:

$$x_{Т.В.\bar{b}} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{S_n}; \quad (6.3)$$

$$x_{Т.В.\bar{b}} = \frac{1.3125}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 0.525.$$

$$x_{Т.Н.\bar{b}} = \frac{U_{к.н}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{S_n}; \quad (6.4)$$

$$x_{Т.Н.\bar{b}} = \frac{18.375}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7.35.$$

6.1 Расчет для точки К1

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез1} = x_{c.\bar{b}} + x_{БЛ.\bar{b}}; \quad (6.5)$$

$$x_{рез1} = 0.267 + 0.151 = 0.418.$$

Найдем значение базисного тока:

$$I_{\bar{o}.\kappa 1} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сн}}}; \quad (6.6)$$

$$I_{\bar{o}.\kappa 1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.02 \text{ кА.}$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_{\bar{o}}}{x_{\text{рез}1}} \cdot I_{\bar{o}}; \quad (6.7)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0.418} \cdot 5.02 = 12.014 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{\text{уд.}\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н.о}}^{(3)} \cdot \kappa_{\text{уд}}; \quad (6.8)$$

$$i_{\text{уд.}\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 12.014 \cdot 1.8 = 30.582 \text{ кА.}$$

6.2 Расчет для точки К2

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{\text{рез}2} = x_{\text{рез}1} + x_{\text{Т.В.}\bar{o}} + x_{\text{Т.Н.}\bar{o}}; \quad (6.9)$$

$$x_{\text{рез}2} = 0.418 + 0.525 + 7.35 = 8.293.$$

Найдем значение базисного тока:

$$I_{\bar{o}. \kappa 2} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сн}}}; \quad (6.10)$$

$$I_{\sigma,к2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54.986 \text{ кА.}$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{рез2}} \cdot I_{\sigma,к2}; \quad (6.11)$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{1}{8.293} \cdot 54.986 = 6.63 \text{ кА.}$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^{(3)} \cdot \kappa_{уд}; \quad (6.12)$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 6.63 \cdot 1.85 = 17.347 \text{ кА.}$$

Результаты определения значений токов короткого замыкания заносим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты определения значений токов короткого замыкания

№ точки КЗ	$U_{сн}$, кВ	$\kappa_{уд}$	$I_{к}^{(3)}$, кА	$i_{уд}$, кА
1	115	1.8	12	30.6
2	10.5	1.85	6.6	17.3

7 Выбор и проверка основного электрооборудования на главной понизительной подстанции

7.1 Выбор электрических аппаратов на стороне 110 кВ

7.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем высоковольтный выключатель (ВВ) типа ДТ1-145ФК.

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям [15, 16]:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$176 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 176 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (7.4)$$

$$12 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА},$$

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

$$6.8 \text{ кА} \leq 21.5 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.6)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 12 \cdot e^{\frac{-0.046}{0.05}} = 6.8 \text{ кА},$$

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \right) \cdot I_{откл.n.}, \quad (7.7)$$

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{38}{100} \right) \cdot 40 = 21.5 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{np.c}, \quad (7.8)$$

$$12 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

$$i_{y\delta} \leq i_{np.c}, \quad (7.9)$$

$$30.6 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 153.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП высоковольтный выключатель типа ДТ1-145FK прошел необходимые проверки.

7.1.2 Выбор разъединителя

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем разъединитель типа РНДЗ-2-110/1000 У1.

Разъединитель выбираем и проверяем по следующим условиям:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.11)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.12)$$
$$176 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (7.13)$$
$$30.6 \text{ кА} \leq 75 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (7.14)$$
$$21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 60 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП разъединитель типа РНДЗ-2-110/1000 У1 прошел необходимые проверки.

7.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор тока типа ТВТ-110-I-200/5.

Трансформатор тока выбирается и проверяется по [17, 18]:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.15)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{\max} \leq I_{H.TT}, \quad (7.16)$$
$$176 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (7.17)$$
$$30.6 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.18)$$
$$21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 60 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- величине вторичной нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{2ном}, \quad (7.19)$$

где $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}}, \quad (7.20)$$

К вторичной нагрузке трансформатора тока относится амперметр мощностью 0,35 ВА. Определим активное сопротивление прибора:

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

$$R_{\text{приб}} = \frac{0.35}{5^2} = 0.014 \text{ Ом.}$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.014 - 0.1 = 1.086 \text{ Ом.}$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 70}{1.086} = 1.128 \text{ мм}^2.$$

Исходя из условия механической прочности, принимаем сечение медных жил 2.5 мм².

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП трансформатор тока типа ТВТ-110-І-200/5 прошел необходимые проверки.

7.1.4 Выбор гибких шин

В качестве гибких шин при номинальном напряжении 110 кВ используются сталеалюминевые провода типа АС.

Определим необходимое сечение провода:

$$s = \frac{I_{\text{раб. ном}}}{j_s}; \quad (7.23)$$

$$s = \frac{126}{1.1} = 114 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провода АС-120/19 мм² с максимальным значением продолжительного тока 395 А.

Найдем максимальное значение критической напряженности электрического поля:

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

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.76}} \right) = 33.4 \text{ кВ/м.}$$

Определим значение напряженности вблизи проводника:

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

$$E = \frac{0.354 \cdot 115}{0.76 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 300}{0.76}} = 19.9 \text{ кВ/м.}$$

Проверим на отсутствие короны:

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

$$21.3 \text{ кВ/м} < 30 \text{ кВ/м.}$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП в качестве гибких шин провод типа АС-120/19 прошел необходимые проверки.

7.2 Выбор электрических аппаратов на стороне 10 кВ

7.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем ВВ типа ВВ/TEL-10-31,5/1000 У2.

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.27)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.28)$$

$$962 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.29)$$

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 2} = 962 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (7.30)$$

$$6.6 \text{ кА} \leq 31.5 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н}, \quad (7.31)$$

$$4.1 \text{ кА} \leq 16.5 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.32)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6.6 \cdot e^{\frac{-0.045}{0.055}} = 4.1 \text{ кА},$$

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

$$i_{a.н} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{37}{100} \right) \cdot 31.5 = 16.5 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} \leq I_{нр.с}, \quad (7.34)$$

$$6.6 \text{ кА} \leq 31.5 \text{ кА};$$

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

$$17.3 \text{ кА} \leq 60 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$6.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 59.4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП высоковольтный выключатель типа ВВ/TEL-10-31,5/1000 У2 прошел необходимые проверки.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор тока типа ТПОЛ-10-1000/5 УЗ.

Трансформатор тока выбирается и проверяется по:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{\max} \leq I_{н.т.т.}, \quad (7.38)$$
$$962 \text{ А} \leq 1000 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э.дин.ст}, \quad (7.39)$$
$$17.3 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.40)$$
$$6.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 167.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- величине вторичной нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} , \quad (7.41)$$

где $Z_2 \approx R_2$

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

К вторичной нагрузке трансформатора тока на стороне низкого напряжения ГПП относятся амперметр, ваттметр, варметр, счетчик активной и реактивной энергии общей мощностью 8.4 ВА. Определим активное сопротивление приборов:

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

$$R_{приб} = \frac{8.4}{5^2} = 0.336 \text{ Ом} .$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{np} = 1.2 - 0.336 - 0.1 = 0.764 \text{ Ом} .$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 46}{0.764} = 1.054 \text{ мм}^2 .$$

Исходя из условия механической прочности, принимаем сечение медных жил 2.5 мм^2 .

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП трансформатор тока типа ТПОЛ-10-1000/5 УЗ прошел необходимые проверки.

По такому же принципу выбираем трансформаторы тока для отходящих линий.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор напряжения типа НАМИТ-10-2 УХЛ.

Трансформатор напряжения выбирается и проверяется по:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.45)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

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

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

К вторичной нагрузке трансформатора напряжения относятся счетчики активной и реактивной электрической энергии с общей полной мощностью 26 ВА.

$$26 \text{ ВА} \leq 120 \text{ ВА}.$$

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП трансформатор напряжения типа НАМИТ-10-2 УХЛ прошел необходимые проверки.

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбор жестких шин осуществляем по экономической плотности тока:

$$s = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{э}}}; \quad (7.48)$$
$$s = \frac{687}{1.1} = 625 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые шины прямоугольного сечения с размерами 80x8 мм, с максимальным продолжительным током 1320 А.

Определим минимальное сечение шины по условию термической стойкости:

$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_K} \cdot 10^3}{C_T}, \quad (7.49)$$
$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{6.5} \cdot 10^3}{66} = 38.6 \text{ мм}^2.$$

Определим значение силы, действующей на шины во время трехфазного короткого замыкания:

$$F_{\text{max}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_p, \quad (7.50)$$
$$F_{\text{max}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 2.5 \cdot 17300^2 \cdot 1 \cdot 1 = 129.6 \text{ Н}.$$

Определим значение момента сопротивления поперечного сечения шины по формуле:

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

$$W = \frac{0.008 \cdot 0.08^2}{6} = 8.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Найдем значение максимального напряжения в материале проводника:

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

$$\sigma_{\max} = \frac{129.6 \cdot 2.5}{8 \cdot 8.5 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} = 4.7 \text{ МПа}.$$

Проверим на электродинамическую стойкость:

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

$$4.7 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

где

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

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

Найдем значение момента инерции поперечного сечения проводника по формуле:

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

$$J = \frac{0.008 \cdot 0.08^3}{12} = 3.4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Найдем значение частоты собственных колебаний по формуле:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2 \cdot \pi \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}; \quad (7.56)$$
$$f_0 = \frac{3.14^2}{2 \cdot \pi \cdot 2.5^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 3.4 \cdot 10^{-7}}{2.5}} = 24.6 \text{ Гц}.$$

При частоте собственных колебаний менее 30 Гц отсутствует механический резонанс.

7.2.5 Выбор опорных изоляторов

Опорные изоляторы используются для установки шин. Устанавливаем изоляторы типа ИОР-10-250 У2.

Опорные изоляторы выбираются и проверяются по:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.57)$$
$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по максимально допустимой нагрузке на головку изолятора:

$$F_{\max}^{(3)} \leq F_{дон}, \quad (7.58)$$
$$129.6 \text{ Н} < 890 \text{ Н},$$

где

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

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 2500 \cdot \frac{0.07}{0.118} = 890 \text{ Н}.$$

где

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

$$H = 0.07 + 0.008 + \frac{0.08}{2} = 0.118.$$

Принятые к установке на стороне низкого напряжения на ГПП опорные изоляторы ИОР-10-250 У2 прошли необходимые проверки.

7.2.6 Выбор проходных изоляторов

Выбираем проходные изоляторы типа ИП-10/1000-7,5 УХЛ2.

Проходные выбираются и проверяются по:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.61)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- номинальному току:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.62)$$

$$962 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

- значению максимальной нагрузки на головку изолятора:

$$F_{расч} \leq 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (7.63)$$

$$37.4 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

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

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{17300^2}{1} \cdot 2.5 \cdot 10^{-7} = 37.4.$$

Принятые к установке на ГПП проходные изоляторы типа ИП-10/1000-7,5 УХЛ2 прошли необходимые проверки.

8 Расчет заземления ГПП

При времени отключения тока короткого замыкания 0.45 с максимально допустимое напряжение прикосновения равно 500 В [19, 20].

Определим значение напряжения на заземлителе по формуле:

$$U_3 = \frac{U_{np.доп}}{\kappa_{II}}, \quad (8.1)$$

$$U_3 = \frac{500}{0.284} = 1758 \text{ В},$$

где коэффициент напряжения прикосновения определяется как:

$$\kappa_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_0 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0.45}}, \quad (8.2)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0.5 \cdot 0.94}{\left(\frac{5 \cdot 276}{10 \cdot \sqrt{2010}}\right)^{0.45}} = 0.284,$$

а коэффициент, значение которого зависит от сопротивления человеческого тела, равен:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1.5\rho_{г.с}}, \quad (8.3)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1.5 \cdot 40} = 0.94.$$

Вычисленное напряжения на заземлителе лежит в допустимых пределах (10 кВ).

Сопrotивление заземляющего устройства должно удовлетворять условию:

$$R_3 < R_{3,доп}. \quad (8.4)$$

Определим число ячеек для расчетной модели заземлителя по формуле:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (8.5)$$
$$m = \frac{276}{2 \cdot \sqrt{2010}} - 1 \approx 2.$$

Определим значение длины полос в расчетной модели по формуле:

$$L_2' = 2\sqrt{S}(m+1), \quad (8.6)$$
$$L_2' = 2\sqrt{2010} \cdot (2+1) = 269 \text{ м}.$$

Определим длину сторон ячейки по формуле:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (8.7)$$
$$b = \frac{\sqrt{2010}}{2} = 22.4 \text{ м}.$$

Определим число вертикальных заземлителей, которые необходимо установить по контуру:

$$n_г = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_г}, \quad (8.8)$$

$$n_g = \frac{\sqrt{2010} \cdot 4}{1.5} \approx 36.$$

Определим общую протяженность вертикальных заземлителей:

$$L_g = l_g \cdot n_g, \quad (8.9)$$

$$L_g = 5 \cdot 36 = 180 \text{ м.}$$

Определим значение относительной глубины погружения вертикальных заземлителей по формуле:

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}}, \quad (8.10)$$

$$\frac{5 + 0.7}{\sqrt{2010}} = 0.127.$$

Определим значение суммарного сопротивления для сложного заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_g}, \quad (8.11)$$

$$R_3 = 0.337 \cdot \frac{40}{\sqrt{2010}} + \frac{40}{276 + 180} = 0.39 \text{ Ом,}$$

где

$$A = \left(0.444 - 0.84 \frac{l_g + t}{\sqrt{S}} \right), \quad (8.12)$$

$$A = (0.444 - 0.84 \cdot 0.127) = 0.337;$$

Найденное значение суммарного сопротивления для сложного заземлителя менее максимально допустимого сопротивления 0,5 Ом.

Заключение

В выпускной квалификационной работе бакалавра спроектирована система электроснабжения предприятия по производству запчастей для подвижного состава. Произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок по цехам предприятия, суммарная нагрузка предприятия без учета компенсации реактивной мощности составила 53,7 МВА. Для модельного цеха был произведен выбор силовых трансформаторов на КТП, в результате которого были выбраны два силовых трансформатора ТСЗГЛ -1000/10/0,4 с двумя конденсаторными установками 0,4 кВ типа АУКРМ 200 квар. Для ГПП предприятия были рассмотрены два варианта: трансформаторы ТРДН-25000/110/10/10 и следующий по шкале номинальных мощностей ТРДН-40000/110/10/10, по минимуму приведенных затрат выбран вариант с трансформаторами ТРДН-25000/110/10/10. Выполнен расчет токов КЗ. На ГПП выбрано оборудование: высоковольтные выключатели DT1-145FK и ВВ/TEL-10-31,5/1000 У2, разъединители РНДЗ-2-110/1000 У1, трансформаторы тока ТВТ-110-І-200/5 и ТПОЛ-10-1000/5 У3, трансформаторы напряжения типа НАМИТ-10-2 УХЛ и другое оборудование. Произведен расчет заземления на ГПП, к установке принято 36 вертикальных заземлителей.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6-го и 7-го издания. - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2016.
2. Ушаков В.Я., Чубик П.С. Потенциал энергосбережения и его реализация на предприятиях ТЭК: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2015. 388 с.
3. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/72323> (дата обращения: 07.03.2018).
4. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 07.03.2018).
5. Vanerjee G. K. Electrical and electronics engineering materials. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 360 p.
6. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2014. 496 с.
7. Wang C. M., Lu C. M., Cheng C. H. A high performance power supply system // 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI). Sapporo. 2017. pp. 1442-1445.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения : электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 07.03.2018).
9. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2018. 416 с.

10. Гальперин М.В. Электротехника и электроника : учебник, 2-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 480 с.
11. Luo L., Chang Y., Li Y., Zhou F., Luo R., Long L. A hybrid power conditioner for co-phase power supply system and its capacity analysis // 2017 IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). Chongqing. 2017. pp. 510-515.
12. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
13. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети : учебник. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.
14. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
15. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование : учебник, 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2018. 407 с.
16. Malgin G. V., Veynblat A. V., Schekochikhin A. V. Improving energy efficiency of power supply system for a new far perspective multiple-well platforms of oil field // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Chelyabinsk. 2016. pp. 1-4.
17. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
18. Manusov V. Z., Bumtsend U., Tretyakova E. S. Optimization compensating devices in the power supply systems using population algorithms // 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Novosibirsk. 2016. pp. 276-279.

19. Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 296 с.
20. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.