

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция системы электроснабжения предприятия по
производству автозапчастей»

Студент

А. А. Грунюшкин

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Руководитель

А.Н. Черненко

(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

_____ (личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполнена на тему: «Реконструкция системы электроснабжения предприятия по производству автозапчастей».

В выпускной квалификационной работе бакалавра решены следующие вопросы:

- укрупненно по методу упорядоченных диаграмм, для каждого из цехов предприятия, определены значения расчетных нагрузок силовых электроприемников;

- произведено сравнение двух вариантов установки силовых трансформаторов на цеховой КТП, определена необходимая мощность конденсаторных установок;

- произведено сравнение двух вариантов установки силовых трансформаторов на ГПП предприятия и выбран оптимальный по приведенным затратам;

- выполнен расчет токов короткого замыкания;

- выбрана схема внутриводского электроснабжения;

- выбраны и проверены на устойчивость к токам КЗ: высоковольтные выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы и другое электрооборудование ГПП;

- выполнен расчет заземления на главной понизительной подстанции.

ВКР состоит из пояснительной записки объемом 56 листов, включающей в себя 4 таблицы и 3 рисунка и графической части, выполненной на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика объекта проектирования	5
2 Расчет ожидаемых максимальных нагрузок по цехам	7
3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов цеховых КТП	13
4 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов главной понизительной подстанции	21
5 Выбор схемы и конструктивных решений по главной понизительной подстанции	29
6 Расчет токов короткого замыкания	30
7 Выбор и проверка основного электрооборудования на главной понизительной подстанции	34
8 Расчет заземления ГПП	50
Заключение	53
Список используемых источников	54

Введение

Выбор новых видов техники и используемых технологий в процессе проектирования электроснабжения требует учета уже накопленного опыта в зарубежных странах, определения возможностей отечественных производителей и строительных организаций. Стратегией развития ЕНЭС на период до 2020 г. намечен к внедрению ряд прогрессивных электросетевых технологий, таких как: гибкие системы передачи электрической энергии (FACTS); УШР с микропроцессорными системами управления; использование эффектов сверхпроводимости; применение накопителей электроэнергии; внедрение автоматизированных подстанций с системой дистанционного управления высоковольтными выключателями; использование силовых трансформаторов с повышенной устойчивостью к токам коротких замыканий; внедрение оборудования с элегазовой изоляцией и др [1-3].

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.

В настоящее время происходит постоянное развитие систем электроснабжения промышленных предприятий, усиливаются требования к надежности электроснабжения потребителей и повышению экономичности, широко внедряются автоматизированные системы учета и управления передачей и потребления энергоресурсов [4-6].

Целью работы является реконструкция системы электроснабжения предприятия по производству автозапчастей направленная на повышение ее надежности и экономичности.

1 Характеристика объекта проектирования

АО «Нортиц» нацелено на производство продукции по мировым стандартам качества и уделяет повышенное внимание организации производства: подбору лучших технологий, совершенного оборудования, поставщиков сырья и материалов, построению системы контроля качества всей продукции и системы внутреннего обучения производственного персонала. На производстве внедрена система менеджмента качества по стандарту ISO 9001, согласно которой регламентированы все производственные процессы и действует четырехэтапная система контроля качества.

Среди лучших технологий, используемых в производстве, особо стоит отметить новаторскую для России технологию холодной высадки специальных заготовок на прессе, по которой производятся топливные фильтры в алюминиевом корпусе, обладающие совершенными антикоррозионными характеристиками. Немаловажной является и технология горячего прессования фрикционной смеси для тормозных колодок, которая отличается от метода холодного прессования значительно лучшим качеством полученных изделий, но при этом большими расходами производства. Тем не менее, для обеспечения качества своей продукции АО «Нортиц» использует только более дорогое горячее прессование, снижая себестоимость продукции с помощью внедрения технологии бережливого производства.

Процесс производства каждого цеха выстроен в последовательную технологическую цепь и оснащен конвейерными линиями и автоматизированным оборудованием. Основное оборудование для производства воздушных фильтров - заливочные установки - оснащены программируемыми координатными столами. Гордость предприятия - автоматический комплекс порошковой окраски стальных корпусов масляных и топливных фильтров. В других производственных цехах широко используются сенсорные датчики, спектральные гранулированные сканеры, современные

программируемые контролеры, обеспечивающие контроль процесса изготовления и качества изделия непосредственно в процессе производства.

На производстве действует 4-х этапная система контроля качества на стадиях приемки сырья, первичной обработки сырья, сборки изделия и приема готовой продукции. На стадии сборки изделий во всех цехах действует стопроцентный пооперационный контроль.

Основным направлением в производстве расходных запчастей являются автомобильные фильтры которые производятся на самом современном оборудовании из материалов ведущих мировых производителей. АО «Нортиц» осуществляет продажу автомобильных фильтров для большинства используемых в России легковых и грузовых автомобилей, автобусов и спецтехники строительного, сельскохозяйственного, коммунального и дорожно-строительного назначения.

АО «Нортиц» производит воздушные фильтры, масляные фильтры, топливные фильтры, салонные фильтры, фильтры очистки пневмосистем, фильтроэлементы очистки топлива, очистки масла, очистки гидросистем, высококачественные тормозные колодки для иномарок и отечественной автомобильной техники. Все колодки изготавливаются из безазбестового состава производства французской компании ELIОКЕМ. Тормозные колодки производства АО «Нортиц» отличаются большим сроком эксплуатации и высоким качеством изготовления. Кроме того, предприятие выпускает множество запчастей для отечественных автомобилей ВАЗ (Жигули, Лада, Lada), ГАЗ и иномарок.

2 Расчет ожидаемых максимальных нагрузок по цехам

На первом этапе при проектировании системы электроснабжения определяются электрические нагрузки.

К основным методам расчета относят методы определения нагрузки по: установленной мощности электроприемников и значению коэффициента спроса, который определяется по справочникам; средней мощности и значению коэффициента формы графика нагрузки; средней активной мощности и значению коэффициента максимума (расчетному коэффициенту). К вспомогательным методам расчета относят методы определения нагрузки по: удельному расходу электрической энергии на выпуск единицы готовой продукции при известном объеме производства продукции за промежуток времени; удельной нагрузке, приходящейся на единицу площади помещения или приходящейся на одного человека [7, 8].

Расчет ожидаемых электрических нагрузок выполняем по методике изложенной в [9]:

Коэффициенты использования и мощности для каждого из цехов определяем по таблицам «средние значения коэффициентов использования и коэффициентов мощности по отдельным цехам» в справочной литературе.

Определив значения $K_{И}$ для каждого из цехов необходимо определить групповой коэффициент использования, который находится по следующей формуле:

$$K_{И.ГР} = \frac{\sum P_{СМ}}{\sum P_{Н.Σ}} \quad (2.1)$$

Определяем среднесменную активную и реактивную составляющую мощности по следующим формулам:

$$P_{СМ} = K_{И} \cdot P_{Н.Σ}, \quad (2.2)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot tg\varphi, \quad (2.3)$$

где $tg\varphi$ - определяется из известного значения косинуса по тригонометрическим формулам.

Для $tg\varphi$ в итоговой строке также необходимо определить среднее значение, его можно рассчитать по следующей формуле:

$$tg\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_{CM}}{\sum P_{CM}} \quad (2.4)$$

Коэффициент максимума K_M определяется по справочной таблице из учебно-методического пособия, в зависимости от $n_{\text{Э}}$ и $K_{И}$.

Расчетную активную и реактивную нагрузку по каждому цеху рассчитываем по следующим формулам:

$$P_P = K_M \cdot \sum P_{CM}; \quad (2.5)$$

$$Q_P = \sum Q_{CM} - \text{если } n_{\text{Э}} > 10; \quad (2.6)$$

$$Q_P = 1.1 \cdot \sum Q_{CM} - \text{если } n_{\text{Э}} \leq 10. \quad (2.7)$$

Определяем суммарную активную нагрузку цеха с учетом мощности системы внутреннего освещения.

Полная расчетная мощность S_P рассчитываем по следующей формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}. \quad (2.8)$$

Расчетный ток определяем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.9)$$

Расчеты для высоковольтных электроприемников выполняем аналогичным образом.

Итоговые значения расчетной мощности по предприятию в целом получаем путем суммирования итоговой нагрузки 0,4 кВ и нагрузки 6-10 кВ.

Результаты расчетов электрических нагрузок сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчет ожидаемых максимальных электрических нагрузок по цехам

№ цеха на плане предприятия	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
1	6015	42.96	140	0.33	0.7	1.02	1985	2025.05	1.05	2084.20	2025.05	2905.98
2	430	11.03	39	0.33	0.55	1.52	141.9	215.47	1.15	163.19	215.47	270.29
3	625	13.02	48	0.33	0.7	1.02	206.25	210.42	1.13	233.06	210.42	314.00
4	90	5.29	17	0.22	0.65	1.17	19.8	23.15	1.58	31.28	23.15	38.92
5	5050	140.28	36	0.61	0.78	0.80	3080.5	2471.43	1.1	3388.55	2471.43	4194.07
6	430	17.20	25	0.53	0.75	0.88	227.9	200.99	1.12	255.25	200.99	324.88
7	4085	32.17	127	0.41	0.65	1.17	1674.9	1958.12	1.04	1741.84	1958.12	2620.73
8	2345	32.12	73	0.22	0.55	1.52	515.9	783.38	1.15	593.29	783.38	982.69

Продолжение таблицы 2.1

№ цеха на плане предприятия	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	1769	11.06	160	0.31	0.6	1.33	548.39	731.19	1.05	575.81	731.19	930.69
10	1995	44.33	45	0.33	0.65	1.17	658.35	769.70	1.13	743.94	769.70	1070.45
11	4745	94.90	50	0.22	0.55	1.52	1043.9	1585.14	1.17	1221.36	1585.14	2001.10
12	1870	22.26	84	0.43	0.7	1.02	804.1	820.35	1.08	868.43	820.35	1194.63
13	2780	14.87	187	0.71	0.76	0.86	1973.8	1687.92	1.02	2013.28	1687.92	2627.23
14	30	6.00	5	0.71	0.8	0.75	21.3	15.98	1.23	26.20	17.57	31.55
15	38	4.75	8	0.16	0.7	1.02	6.08	6.20	2.28	13.86	6.82	15.45
16	710	13.92	51	0.71	0.65	1.17	504.1	589.36	1.05	529.31	589.36	792.15

Продолжение таблицы 2.1

№ цеха на плане предприятия	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
17	10	1.43	7	0.21	0.75	0.88	2.1	1.85	2.07	4.35	2.04	4.80
18	2035	55.00	37	0.38	0.6	1.33	773.3	1031.1	1.12	866.10	1031.1	1346.5
Всего по предприятию	35052	1.4...140	1139	0.40	-	1.07	14187	15126.8	-	15353.3	15129.2	21554.9

3 Определение необходимого числа и номинальной мощности силовых трансформаторов цеховых КТП

3.1 Выбор трансформаторов КТП на примере корпуса №3

Найдем необходимую мощность силового трансформатора КТП по формуле [10, 11]:

$$S_{HT} > \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 N_T}, \quad (3.1)$$
$$S_{HT} > \frac{529.3}{0.7 \cdot 2} = 378 \text{ кВА}.$$

По шкале номинальных мощностей трансформаторов выбираем самое близкое большее значение $S_{HT} = 400 \text{ кВА}$.

3.1.1 Вариант с силовым трансформатором ТМГ-400

По данным производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 0.87 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 5.6 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 1.2 \%$, $u_{K3} = 4.5 \%$, $K_T = 202.504 \text{ тыс. руб.}$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

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

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot 0.87 + 0.7^2 \cdot 5.6 = 7.23 \text{ кВт},$$

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

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot 1.2 + 0.7^2 \cdot 4.5 \cdot \frac{400}{100} = 27.24 \text{ квар}.$$

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе [12]:

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

$$P_p = 529.3 + 7.23 = 536.5 \text{ кВт},$$

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

$$Q_p = 589.4 + 27.24 = 616.6 \text{ квар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 616.6 = 308.3 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.7)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 616.6 - 0.7 \cdot 0 = 616.6 \text{ квар},$$

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

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 536.5 = 150.2 \text{ квар}.$$

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

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 150.2 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\text{э2,в}} = 308.3 - 616.6 - 150.2 = -158.1 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\min} + Q_{\text{к}}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 308.3 + 0 = 308.3 \text{ квар};$$

где $Q_k = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 308.3$ квар.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

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

$$Q_{ку\max} = 1,15 \cdot 616.6 - 150.2 = 558.9 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

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

$$Q_{ку\min} = 308.3 - 308.3 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

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

$$Q_{\varepsilon n} = 150.2 - 616.6 - 589.4 = 123 \text{ квар.}$$

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

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

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 400)^2 - 529.3^2} = 182.9 \text{ квар,}$$

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

$$Q_{KVH} = 589.4 - 182.9 = 406.5 \text{ квар} ,$$

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

$$Q_{.KVB} = 558.9 - 406.5 = 152.4 < 800 \text{ квар} .$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМГ-400/10 и двумя конденсаторными установками типа АУКРМ 200 квар.

Определим продолжительность периода максимальных потерь

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

$$\tau = \left(0.124 + \frac{4889}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3290.7 \text{ ч.}$$

Определим удельную стоимость потерь на холостом ходу в силовом трансформаторе:

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

$$C_{XX} = \left(\frac{603.7 \cdot 12}{4889} + 1.381 \right) \cdot 8760 = 25.078 \text{ тыс.руб/кВт} .$$

Определим удельную стоимость потерь короткого замыкания в силовом трансформаторе:

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

$$C_{K3} = \left(\frac{603.7 \cdot 12}{4889} + 1.381 \right) \cdot 3290.7 = 9.42 \text{ тыс.руб/кВт} .$$

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

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

$$C \cdot \Delta P_T = 25.078 \cdot 0.87 + 9.42 \cdot 0.7^2 \cdot 5.6 = 47.667 \text{ тыс.руб.}$$

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

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

$$Z_{KTP} = 0.223 \cdot (202.504 \cdot 2 + 75.5 \cdot 2) + (47.667 \cdot 2) = 219.325 \text{ тыс.руб.}$$

3.1.2 Вариант с силовым трансформатором ТМГ-630

По данным производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 1.24 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 7.6 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 1.2 \%$, $u_{K3} = 5.5 \%$, $K_T = 298 \text{ тыс. руб.}$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

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

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot 1.24 + 0.7^2 \cdot 7.6 = 9.93 \text{ кВт},$$

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

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot 1.2 + 0.7^2 \cdot 5.5 \cdot \frac{630}{100} = 49.08 \text{ квар.}$$

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

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

$$P_p = 529.3 + 9.93 = 539.2 \text{ кВт},$$

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

$$Q_p = 589.4 + 49.08 = 638.4 \text{ квар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 638.4 = 319.2 \text{ квар}.$$

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

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

$$Q'_{\text{э1}} = 638.4 - 0.7 \cdot 0 = 638.4 \text{ квар},$$

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

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 539.2 = 151 \text{ квар}.$$

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

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 151 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\text{э2,в}} = 319.2 - 638.4 - 151 = -168.2 \text{ квар};$$

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

$$Q_{\text{э2,н}} = 319.2 + 0 = 319.2 \text{ квар};$$

где $Q_k = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 319.2$ квар.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

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

$$Q_{ку\max} = 1,15 \cdot 638,4 - 151 = 583,2 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

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

$$Q_{ку\min} = 319,2 - 319,2 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\varepsilon n} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.33)$$

$$Q_{\varepsilon n} = 151 - 638,4 - 589,4 = 101,9 \text{ квар.}$$

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

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

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 529,3^2} = 705,5 \text{ квар,}$$

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

$$Q_{KVH} = 589.4 - 705.5 = -116.2 < 50 \text{ квар} ,$$

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

$$Q_{.KVB} = 583.2 - 0 = 583.2 < 800 \text{ квар} .$$

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 ТМГ-630/10 без конденсаторных установок.

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

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

$$C \cdot \Delta P_T = 25.078 \cdot 1.24 + 9.42 \cdot 0.7^2 \cdot 7.6 = 66.178 \text{ тыс.руб.}$$

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

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

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot (298 \cdot 2) + (66.178 \cdot 2) = 265.265 \text{ тыс.руб.}$$

По минимуму приведенных затрат на основное оборудование КТП принимаем к установке 2х трансформаторную подстанцию с силовыми трансформаторами ТМГ-400/10.

Для остальных цехов предприятия выбор трансформаторов КТП производим аналогичным образом.

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

Величину рационального напряжения питания предприятия можно определить по формуле [13]:

$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{L + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{6 + 0.016 \cdot 15353} = 69 \text{ кВ},$$

где расчетная активная нагрузка предприятия определяется:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{STOP}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 15353.28 + 0 + 0 = 15353 \text{ кВт.}$$

Полную расчетную нагрузку предприятия определим по формуле:

$$S_{PI} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭС}^2}, \quad (4.3)$$
$$S_{PI} = \sqrt{15353^2 + 3838^2} = 15826 \text{ кВА},$$

где величину расчетной реактивной нагрузки предприятия найдем по формуле:

$$Q_{ЭС} = P_{PI} \cdot \operatorname{tg}\phi, \quad (4.4)$$
$$Q_{ЭСi} = 15353 \cdot 0.25 = 3838 \text{ квар.}$$

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 [14].

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

$$S_{номт} \approx 0,8 \cdot 15826 \cdot \frac{1}{1,4} = 9043 \text{ кВА.}$$

По шкале номинальных мощностей силовых трансформаторов и каталогу производителя выбираем для дальнейшего рассмотрения два варианта: трансформаторы ТДН-10000/35/10 и следующий по шкале номинальных мощностей ТДН-16000/35/10.

4.1 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТДН - 10000/35/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{xx} = 13 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 58 \text{ кВт}$, $i_{xx} = 0.77 \%$, $u_{кз} = 8.5 \%$, $K_T = 21987 \text{ тыс. руб.}$

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

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

$$\Delta P_x' = 13 + 0,05 \cdot 77 = 16.85 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.77 + 10000 / 100 = 77 \text{ квар},$$

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

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

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

$$\Delta Q_{\kappa} = 8.5 \cdot 10000 / 100 = 850 \text{ квар},$$

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

$$\Delta P_{\kappa}' = 58 + 0.05 \cdot 850 = 100.5 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

$$K_3 = \frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{ном.т}}}, \quad (4.10)$$

$$K_3 = \frac{15826}{10000} = 1.583.$$

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

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

$$P_m^{\dot{}} = 16.85 + 1.583^2 \cdot 110.5 = 268.56 \text{ кВт}.$$

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

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P_x' \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{3\%}^2 \cdot \Delta P_{\kappa}' \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_k \quad (4.12)$$

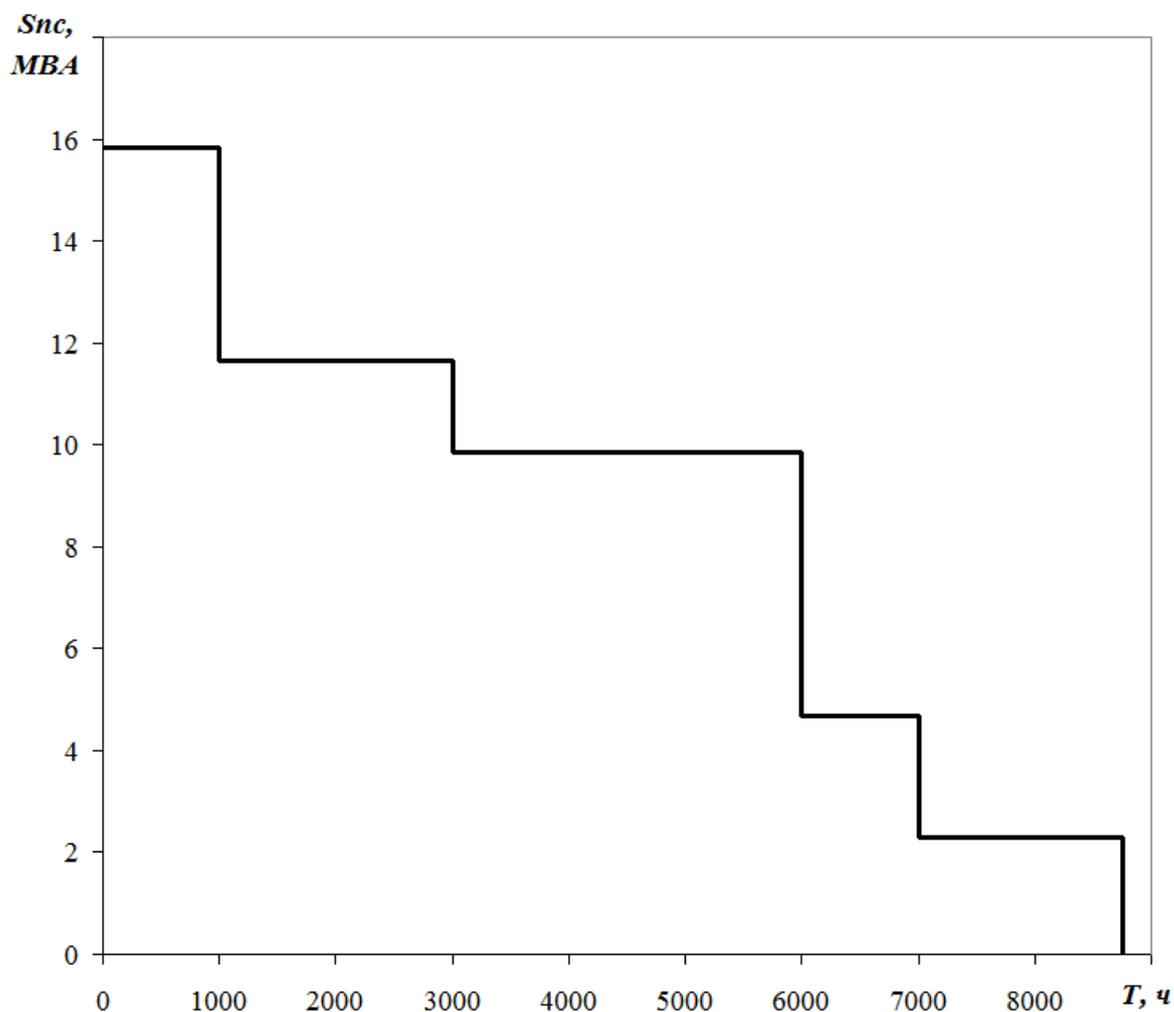


Рисунок 4.1 – Суммарный годовой график нагрузки подстанции предприятия

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

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

i	S_{Bi} , MBA	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	15.826	1000	1.583	125857	33700
2	11.651	2000	1.165	136433	67400
3	9.850	3000	0.985	146257	101100
4	4.665	1000	0.467	10937	33700
5	2.291	1760	0.229	4643	59312
$\Sigma \Delta W_{кBi} = 424128$				$\Sigma \Delta W_{xi} = 295212$	

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

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.13)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (424128 + 295212) \cdot 2.863 = 2059 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_{\text{э}} = 2.863 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_{\text{э}} + I_{\Delta W_{ПТС}}, \quad (4.14)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 43974.67 + 4134 + 2059 = 17187 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 21987.33 = 43974.67 \text{ тыс. руб.}$ – цена за два силовых трансформатора ТДН-10000/35;

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 43974.67 = 4134 \text{ тыс. руб.}$$
 – годовые отчисления.

4.2 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТДН -16000/35/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{\text{XX}} = 18 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{КЗ}} = 83 \text{ кВт}$, $i_{\text{XX}} = 0.72 \%$, $u_{\text{КЗ}} = 10.5 \%$, $K_T = 25055 \text{ тыс. руб.}$

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

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

$$\Delta P_x' = 18 + 0.05 \cdot 115.2 = 23.76 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.72 + 16000 / 100 = 115.2 \text{ квар},$$

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

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

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

$$\Delta Q_k = 10.5 \cdot 16000 / 100 = 1680 \text{ квар},$$

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

$$\Delta P_k' = 83 + 0.05 \cdot 1680 = 167 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

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

$$K_3 = \frac{15826}{16000} = 0.989 .$$

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

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

$$P_m' = 23.76 + 0.989^2 \cdot 167 = 187.15 \text{ кВт}.$$

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

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

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

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

i	S_{Bi} , MBA	T_i , ч	$K_{3\phi i}$	$\Delta W_{\kappa Bi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	15.826	1000	0.989	81694	47520
2	11.651	2000	0.728	88559	95040
3	9.850	3000	0.616	94935	142560
4	4.665	1000	0.292	7099	47520
5	2.291	1760	0.143	3014	83635
		$\Sigma \Delta W_{\kappa Bi} = 275301$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 416275$	

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

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = \Delta W_{nc} \cdot C_9, \quad (4.22)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (275301 + 416275) \cdot 2.863 = 1980 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_9 = 2.863 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

$$Z_{прив} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_9 + I_{\Delta W_{ПТС}}, \quad (4.23)$$

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 50110.67 + 4710 + 1980 = 19218 \text{ тыс.руб.}$$

где $K = 2 \cdot 25055.33 = 50110.67$ тыс.руб. – цена за два силовых трансформатора ТДН-16000/35;

$$I_{\text{г}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 50110.67 = 4710 \text{ тыс.руб.} \text{ – годовые отчисления.}$$

По минимальным приведенным затратам выбираем к установке на ГПП первый вариант с силовыми трансформаторами ТДН- 10000/35/10.

5 Выбор схемы и конструктивных решений по главной понизительной подстанции

На главной понизительной подстанции возможно открытое или закрытое исполнение распределительного устройства (РУ) 35 кВ. Рекомендуется открытое исполнение с применением жесткой ошиновки блочной заводской комплектации. Для РУ 35 кВ закрытого исполнения в настоящее время выпускаются КРУ 35 кВ отечественных и зарубежных производителей следующих серий: КО-35-АЭ производства НПФ «Альянс-Электро»; UniGear ZSI концерна АББ; КУ35 ЗАО «Высоковольтный союз»; К-65 Самарского завода «Электрощит» и др.

В распределительных устройствах 35 кВ вновь возводимых подстанций запрещены схемы подстанций с отделителями и короткозамыкателями, с предохранителями, а также с беспортальным приемом воздушных линий. Не рекомендуется применять разъединители с ручным приводом.

В РУ 35 кВ рекомендуется применять элегазовые или вакуумные выключатели; антиферрорезонансные ТН.

В распределительных устройствах с напряжением 6-10 кВ на ГПП применяют одиночную секционированную систему сборных шин при числе трансформаторов на подстанции равном 2.

В качестве основного коммутационного аппарата в РУ 6-10 кВ 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. Если не устанавливаются антиферрорезонансные ТН, то должны приниматься меры по недопущению резонансных перенапряжений в цепях ТН [15, 16].

6 Расчет токов короткого замыкания

Наиболее частой причиной аварий в системе электроснабжения предприятий являются короткие замыкания (КЗ). Во время возникновения короткого замыкания суммарное электрическое сопротивление системы резко уменьшается, что приводит к значительному увеличению токов в ветвях системы и одновременной просадке напряжения рядом с местом короткого замыкания. Значение токов КЗ может представлять опасность для электрооборудования и привести к его механическим повреждениям и повреждению изоляции вследствие перегрева [17].

Для определения значений токов короткого замыкания составляем две схемы: расчетную схему, представленную на рисунке 6.1 и схему замещения, представленную на рисунке 6.2.

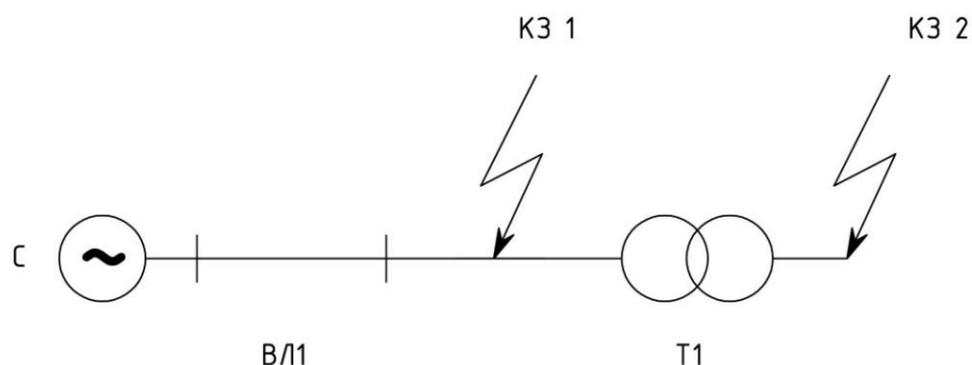


Рисунок 6.1 – Расчётная схема для определения значений токов короткого замыкания

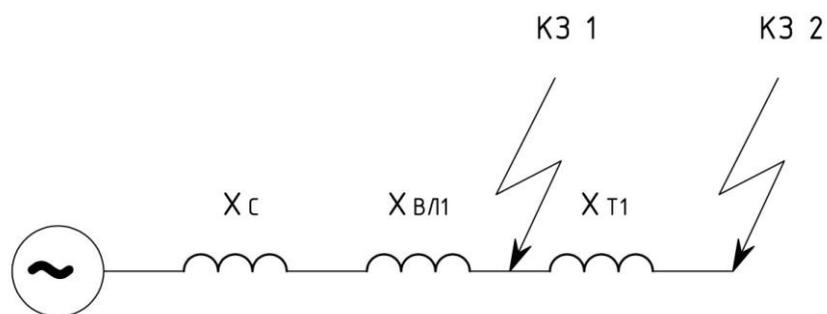


Рисунок 6.2 –Схема замещения для определения значений токов короткого замыкания

Параметры, необходимые для определения значений токов КЗ:

Параметры внешней ЭЭС:

$$U_{cp} = 36.75 \text{ кВ}; S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}; S_{\kappa} = 1250 \text{ МВА}.$$

Параметры питающей воздушной линии электропередачи:

$$x_{y\delta} = 0,4 \text{ Ом/км}; L = 6 \text{ км}.$$

Параметры выбранного к установке на ГПП силового трансформатора:

$$S_n = 10 \text{ МВА}; U_{\kappa} = 8.5 \text{ \%}.$$

Определим сопротивление системы по формуле:

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

$$x_{c.\delta} = \frac{1000}{1250} = 0.8.$$

Определим сопротивление воздушной линии электропередачи по формуле:

$$x_{BL.\delta} = \frac{x_{y\delta}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{сн}^2}; \quad (6.2)$$

$$x_{BL.\delta} = \frac{0.4}{2} \cdot 6 \cdot \frac{1000}{36.75^2} = 0.889.$$

Определим сопротивление принятого к установке на ГПП силового трансформатора ТДН-10000/35/10 по формуле:

$$x_{T.\delta} = \frac{U_{\kappa}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n}; \quad (6.3)$$

$$x_{T.\delta} = \frac{8.5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 8.5.$$

6.1 Расчет для точки К1

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез1} = x_{с.б} + x_{ВЛ.б}; \quad (6.4)$$

$$x_{рез1} = 0.8 + 0.889 = 1.689.$$

Найдем значение базисного тока:

$$I_{б.к1} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.5)$$

$$I_{б.к1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 36.75} = 15.71 \text{ кА};$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{E_{б}}{x_{рез1}} \cdot I_{б}; \quad (6.6)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{1}{1.689} \cdot 15.71 = 9.304 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о}^3 \cdot K_{уд}; \quad (6.7)$$

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 9.304 \cdot 1.8 = 23.684 \text{ кА}.$$

6.2 Расчет для точки К2

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{pez2} = x_{pez1} + x_{T,\delta}; \quad (6.8)$$

$$x_{pez2} = 1.689 + 8.5 = 10.189.$$

Найдем значение базисного тока:

$$I_{\delta,к2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}; \quad (6.9)$$

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

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{к2}^3 = \frac{E_{\delta}^{\wedge}}{x_{pez2}} \cdot I_{\delta,к2}; \quad (6.10)$$

$$I_{к2}^3 = \frac{1}{10.189} \cdot 54.986 = 5.397 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{уд,к2} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot K_{уд}; \quad (6.11)$$

$$i_{уд,к2} = \sqrt{2} \cdot 5.397 \cdot 1.85 = 14.12 \text{ кА}.$$

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	$K_{уд}$	$I_{к}^{\ominus}$, кА	$i_{уд}$, кА
1	36.75	1.8	9.3	23.7
2	10.5	1.85	5.4	14.1

7 Выбор и проверка основного электрооборудования на главной понизительной подстанции

7.1 Выбор электрических аппаратов на стороне 35 кВ

7.1.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем высоковольтный выключатель (ВВ) типа ВВН-СЭЩ-П-35-25/1000 УХЛ1.

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям [18]:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$220 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 36.75} = 220 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

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

$$9.3 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА},$$

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

$$7 \text{ кА} \leq 14.1 \text{ кА},$$

где

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

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 9.3 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.08}} = 7 \text{ кА},$$

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

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \right) \cdot 25 = 14.1 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

$$I_{к1} \leq I_{np.c}, \quad (7.8)$$

$$9.3 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА};$$

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

$$23.7 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$15.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 90 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП высоковольтный выключатель типа ВВН-СЭЩ-П-35-25/1000 УХЛ1 прошел необходимые проверки.

7.1.2 Выбор разъединителя

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем разъединитель типа РГП-СЭЩ-35/1000 УХЛ1.

Разъединитель выбираем и проверяем по следующим условиям [19]:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.12)$$
$$220 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (7.13)$$
$$23.7 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (7.14)$$
$$15.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП разъединитель типа РГП-СЭЩ-35/1000 УХЛ1 прошел необходимые проверки.

7.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор тока типа ТВ-СЭЦ-35-300/5 О4.

Трансформатор тока выбирается и проверяется по:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{\max} \leq I_{Н.ТТ}, \quad (7.16)$$
$$220 \text{ А} \leq 300 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (7.17)$$
$$23.7 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном.}}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.18)$$
$$15.6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- величине вторичной нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}, \quad (7.19)$$

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 0.4 ВА. Определим активное сопротивление прибора:

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

$$R_{\text{приб}} = \frac{0.4}{5^2} = 0.016 \text{ Ом}.$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.016 - 0.1 = 1.084 \text{ Ом}.$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 60}{1.084} = 0.969 \text{ мм}^2.$$

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

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП трансформатор тока типа ТВ-СЭЦ-35-300/5 О4 прошел необходимые проверки.

7.1.4 Выбор гибких шин

В качестве гибких шин при номинальном напряжении 35 кВ используются сталеалюминевые провода типа АС.

Определим необходимое сечение провода:

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

$$s = \frac{157}{1.1} = 143 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провода АС-150/19 мм² с максимальным значением продолжительного тока 450 А.

Определим наибольшую критическую напряженность электрического поля:

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

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.855}} \right) = 32.9 \text{ кВ/м.}$$

Определим значение напряженности вблизи проводника:

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

$$E = \frac{0.354 \cdot 36.75}{0.855 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 150}{0.855}} = 6.5 \text{ кВ/м.}$$

Проверим на отсутствие короны:

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

$$6.9 \text{ кВ/м} < 29.6 \text{ кВ/м.}$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП в качестве гибких шин провод типа АС-150/19 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 ВВУ-СЭЦ-10-20/1000.

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:

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

$$770 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

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

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 770 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (7.30)$$

$$5.4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

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

$$4.4 \text{ кА} \leq 9.9 \text{ кА},$$

где

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

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 5.4 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.09}} = 4.4 \text{ кА},$$

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

$$i_{a.н} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{35}{100} \right) \cdot 20 = 9.9 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

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

$$5.4 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

$$i_{yд} \leq i_{пр.с}, \quad (7.35)$$

$$14.1 \text{ кА} \leq 45 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$5.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП высоковольтный выключатель типа ВВУ-СЭЩ-10-20/1000 прошел необходимые проверки.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

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

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:

$$I_{\max} \leq I_{н.т.т}, \quad (7.38)$$
$$770 \text{ А} \leq 1000 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{эдин.ст}, \quad (7.39)$$
$$14.1 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном.}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.40)$$
$$5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 160 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- 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 счетчик активной и реактивной энергии, амперметр мощностью 8 ВА. Определим активное сопротивление приборов:

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

$$R_{приб} = \frac{8}{5^2} = 0.32 \text{ Ом} .$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{np} = 1.2 - 0.32 - 0.1 = 0.78 \text{ Ом} .$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 45}{0.78} = 1.01 \text{ мм}^2 .$$

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 ТОЛ-СЭЦ-10-1000/5 прошел необходимые проверки.

По такому же принципу выбираем трансформаторы тока для отходящих линий.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

На стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор напряжения типа ЗНОЛ-СЭЦ-10.

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:

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

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

К вторичной нагрузке трансформатора напряжения относятся счетчики активной и реактивной электрической энергии с общей мощностью 114 ВА.

$$114 \text{ ВА} \leq 225 \text{ ВА}.$$

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП трансформатор напряжения типа ЗНОЛ-СЭЦ-10 прошел необходимые проверки.

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбор жестких шин осуществляем по экономической плотности тока:

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

$$s = \frac{550}{1.1} = 500 \text{ мм}^2.$$

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

Определим минимальное сечение шины по условию термической стойкости:

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

$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{5} \cdot 10^3}{66} = 33.9 \text{ мм}^2.$$

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

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

$$F_{\text{max}}^3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 2.5 \cdot 14100^2 \cdot 1 \cdot 1 = 86.1 \text{ Н}.$$

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:

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

$$\sigma_{\max} = \frac{86.1 \cdot 2.5}{8 \cdot 8.5 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} = 3.2 \text{ МПа}.$$

Проверим на электродинамическую стойкость:

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

$$3.2 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

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 30Гц отсутствует механический резонанс.

7.2.5 Выбор опорных изоляторов

Опорные изоляторы используются для установки шин. Устанавливаем изоляторы типа ИОР-10-3,75 II УХЛ.

Опорные изоляторы выбираются и проверяются по:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.57)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- значению максимальной нагрузки на головку изолятора:

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

$$86.1 \text{ Н} < 1607 \text{ Н},$$

где

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

$$F_{дон} = 0.6 \cdot 3750 \cdot \frac{0.12}{0.168} = 1607 \text{ Н}.$$

где

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

$$H = 0.12 + 0.008 + \frac{0.08}{2} = 0.168.$$

Принятые к установке на стороне низкого напряжения на ГПП опорные изоляторы ИОР-10-3,75 II УХЛ 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:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (7.61)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

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

$$770 \text{ А} < 1000 \text{ А};$$

- значению максимальной нагрузки на головку изолятора:

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

$$24.9 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

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

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{14100^2}{1} \cdot 2.5 \cdot 10^{-7} = 24.9 \text{ Н}.$$

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

8 Расчет заземления ГПП

Вертикальные заземлители выполняем в виде металлического уголка с шириной полки 6 см и толщиной 5 мм, длину заземлителя принимаем равной 5 м. Заземлители забиваем в грунт вертикально на 0.5 м глубже поверхности земли, расстояние между заземлителями принимаем равным 15 м. Вертикальные заземлители соединяем между собой стальной полосой [20].

Определим значение допустимого сопротивления для заземляющего устройства в целом:

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

$$R_{доп} = \frac{90}{100} \cdot 4 = 3.6 \text{ Ом.}$$

Определим сопротивление растекания для одиночного вертикального заземлителя:

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

$$R_g = 0.298 \cdot 135 \cdot 1.5 = 60.3 \text{ Ом,}$$

где

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

$$\rho_{p.v.} = 1.5 \cdot 90 = 135 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Определим суммарное число вертикальных заземлителей:

$$n_g = \frac{R_g}{\eta_g \cdot R_{доп}}, \quad (8.4)$$

$$n_6 = \frac{60.3}{0.76 \cdot 3.6} = 22 \text{ шт.}$$

Определим необходимую протяженность горизонтального заземлителя:

$$l_2 = a \cdot n_6, \quad (8.5)$$

$$l_2 = 15 \cdot 22 = 330 \text{ м.}$$

Определим сопротивление растекания для горизонтального заземлителя:

$$R_2 = \frac{0.366 \cdot \rho_{p.z.}}{l_2} \cdot \lg \frac{2l_2^2}{b \cdot t_0}, \quad (8.6)$$

$$R_2 = \frac{0.366 \cdot 360}{330} \cdot \lg \frac{2 \cdot 330^2}{0.04 \cdot 0.5} = 2.8 \text{ Ом,}$$

где

$$\rho_{p.z.} = K_c \cdot \rho_{\text{грунт}}, \quad (8.7)$$

$$\rho_{p.z.} = 4 \cdot 90 = 360 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное сопротивление растекания для горизонтального заземлителя:

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

$$R_2' = \frac{2.8}{0.56} = 5 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное сопротивление растекания для вертикальных заземлителей:

$$R_g = \frac{R_z \cdot R_{don}}{R_z - R_{don}}, \quad (8.9)$$

$$R_g = \frac{5 \cdot 3.6}{5 - 3.6} = 12.7 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное число вертикальных заземлителей:

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

$$n_g = \frac{60.3}{0.45 \cdot 12.7} \approx 11 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке на подстанции 11 вертикальных заземлителей.

Заключение

В бакалаврской работе были разработаны мероприятия по реконструкции системы электроснабжения предприятия по производству автозапчастей, направленные на повышение ее надежности и экономичности. Выполнен расчет ожидаемых максимальных нагрузок по цехам предприятия, суммарная расчетная нагрузка составила 15,3 МВт и 15,1 Мвар. На примере корпуса №3 произведен выбор мощности силовых трансформаторов КТП. По наименьшим приведенным затратам принята установка цеховая КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМГ-400/10 и двумя конденсаторными установками типа АУКРМ 200 квар.

На ГПП предприятия были рассмотрены два варианта установки силовых трансформаторов ТДН - 10000/35/10 и ТДН - 16000/35/10, в результате по минимальным приведенным затратам был выбран вариант с трансформаторами ТДН - 10000/35/10.

Выполнен расчет токов короткого замыкания, результаты которого использованы при выборе и проверке основного электрооборудования на главной понизительной подстанции.

Список используемых источников

1. 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.
2. Бартоломей П.А. Информационное обеспечение задач электроэнергетики: учебное пособие, 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. 108 с.
3. Artemenko M. Y., Polishchuk S. Y., Mykhalskyi V. M., Sharoval I. A. Apparent power decompositions of three-phase power supply system to develop control algorithms of shunt active filter // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Kiev. 2017. pp. 495-499.
4. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
5. Дайнеко В.А., Забелло Е.П., Прищепова Е.М. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2015. 333 с.
6. 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.
7. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.
8. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 19.02.2018).

9. 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: 12.03.2018).

10. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика». Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.

11. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. - Pearson India, 2015. 768 p.

12. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.

13. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.

14. Kotov O., Kotova E. Reconstruction variants reliability estimation of industrial area power supply system // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Chelyabinsk. 2016. pp. 1-4.

15. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети : учебник. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.

16. Luzyanin I., Petrochenkov A. Regarding developing of program-technical system for analyzing operating modes of power-supply systems in oil producing companies // 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIcon Rus). St. Petersburg. 2017. pp. 1553-1557.

17. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.

18. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

19.Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.

20.Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.