

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 «Электроснабжение группы цехов металлургического завода»

Студент

Г.Д. Волынцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(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

При выполнении бакалаврской работы на тему «Электроснабжение группы цехов металлургического завода» были определены значения расчетных нагрузок по цехам и суммарное значение нагрузки по предприятию. Произведен выбор номинальной мощности и количества трансформаторов на КТП и силовых трансформаторов на ГПП предприятия. Рассмотрены схемы внешнего и внутреннего электроснабжения и выбраны оптимальные. Найдены значения токов короткого замыкания. Выполнен выбор и проверка на стойкость к токам КЗ электрооборудования ГПП. Рассчитаны параметры заземления ГПП.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 71 страница, включающей 7 таблиц и 3 рисунка. Графическая часть работы выполнена на шести листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Характеристика объекта	6
2 Определение расчетных электрических нагрузок предприятия	10
3 Определение количества и номинальной мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций	15
4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на ГПП	44
5 Выбор схемы внешнего электроснабжения	51
6 Расчет питающих линий	52
7 Определение значений токов КЗ	55
8 Выбор электрических аппаратов на ГПП предприятия	59
9 Расчет защитного заземления на главной понизительной подстанции	66
Заключение	69
Список используемых источников	70

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].

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.

Кроме того, сама система электроснабжения промышленного предприятия является частью электроэнергосистемы и частью процесса производства самого предприятия. Электрическая энергия, поступающая в систему электроснабжения промпредприятия, является одной из составляющих производства наряду с другими ресурсами и материалами [2].

К внешнему электроснабжению промышленного предприятия относят электроустановки, расположенные от узловой распределительной подстанции электроэнергосистемы до понизительной подстанции предприятия. Система внешнего электроснабжения предприятия чаще всего выполняется на номинальном напряжении 35-220 кВ.

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 [3, 4].

Целью бакалаврской работы является повышение надежности и бесперебойности электроснабжения группы цехов металлургического завода.

1 Характеристика объекта

Основное направление деятельности Самарской алюминиевой компании - производство алюминиевых полуфабрикатов. За годы работы компания добилась репутации надежного поставщика, и заняла одно из ведущих мест среди дистрибьюторов алюминиевой чушки. Продажа алюминиевого проката высочайшего качества и поставка продукции точно в срок, в нужном количестве и по выгодным ценам позволили заслужить доверие целого ряда крупнейших предприятий России.

Сейчас в состав компании входят сеть филиалов в 15 субъектах РФ, металлосервисный центр в г. Самара, предприятие по производству алюминиевой чушки.

Собственное производство алюминиевого профиля позволяет выпускать всю номенклатуру литейных сплавов в минимально возможные сроки при стабильно высоком качестве и предлагать полуфабрикаты проката по максимально выгодной цене.

Конструкторский отдел создан с целью удовлетворить потребности заказчиков в нестандартной продукции и обеспечить поддержку в разработке и запуске в производство. За время работы предприятие освоило более 300 новых видов алюминиевых изделий - плиты, трубы, ленты, прутки, поковки, штамповки по чертежам заказчика, листы специального назначения с особыми условиями плакировки, поверхности, допусков, профнастил и профлист.

Достоинства алюминиевого профиля - устойчивость к перепадам температур и коррозии. Алюминий не горит и долго сохраняет форму. Востребованным в технических областях его делает высокая пластичность и проводимость электричества. В строительной и бытовой сфере алюминий является основой для мебельных и жилых конструкций.

В интерьере алюминий используется для изготовления жалюзи, кухонных фартуков, остекления балконов. Мебельная промышленность использует профили как крепежи в стеллажах и направляющие в шкафах-купе.

Из алюминиевых профилей изготавливают решетки для радиаторов применяемых в автомобилестроении и отоплении помещений. Сплавы серий 6*** выдерживают перепады температур при нагревании или в случае использования их при экстремально низких температурах.

При подборе сплава для изготовления конкретных изделий проводится тестирование по нескольким параметрам. Главные факторы выбора:

- уровень прочности;
- сфера возможного применения;
- переносимость сплавом закалки;
- возможность дальнейшего анодирования и окраски.

Девять десятых алюминиевых профилей в мире выполняют на основе сплавов 6***. 6082 и т.д. в других технических областях. Они отличаются средним уровнем прочности, стойки к коррозии, после прохождения закалки показывают повышение прочности. Данные сплавы легко принимают нужную форму при изготовлении, быстро свариваются. Характеристики сплавов регулируются российским ГОСТом и международными стандартами (DIN-EN 573-3). Высокой популярностью пользуются профили на основе среднепрочных сплавов 6060 и 6063 с повышенной устойчивостью к коррозии и температурам, которые соответствуют ГОСТ 4784-97.

По назначению алюминиевые профили можно разделить следующим образом:

- для автомобилей. Для колесных дисков используется сплав А356, для трансмиссии — 319 и т.д. В сплав добавляется кремний, обеспечивающий простоту литья деталей. Для подвески и других деталей применяют деформируемые или листовые алюминиевые сплавы. Для кузова, бампера, руля применяют экструзионные сплавы серий 6*** и 7***;

- для витрин. Применяются дюралюминиевые профили с добавлением кремния и магния. На их основе создают стойки, прогоны, швеллеры и ригели для комплектации витрин;

- для вентиляции. Применяются экструзионные сплавы с пониженной возгораемостью и хорошими антикоррозийными свойствами. Решетки служат до 50 лет;

- для дверей. Выбираются сплавы с высокой устойчивостью к деформации, антикоррозийными характеристиками, устойчивые к огню. Используются для изготовления двустворчатых и одностворчатых наружных дверей с остеклением или без;

- для мебели. Используют для обрамления кухонных фартуков и закрепления полок или подсветки. Профили 4 мм шириной устанавливаются по периметру стен. Широко применяется в системах шкафов-купе, где профиль из алюминия исполняет роль направляющего и отделочного материала;

- для фасадов. Используется в защитно-декоративных конструкциях. Они обеспечивают сохранение тепла, шумоизоляцию и защиту от сырости;

- для душевых кабин. Профили из гипоаллергенного бытового алюминия - основа конструкции короба. Преимущества - простота монтажа и разборки;

- для светильников. Для встраиваемых и накладных потолочных светильников применяются легкие сплавы с добавлением хрома. Элементы освещения должны быть светодиодными;

- для светодиодных лент. Профиль крепит светодиодную ленту к потолку. Для лучшей стойкости к коррозии его подвергают анодированию;

- для коробов. Для световых коробов используются уголки 90, 130 и 180 мм, а также профили 130×6000 мм и 180×6000 мм. Коробы для светильников из алюминия не требуют каркаса. Так же мы делаем короба для электрокабелей, лайтбоксов;

- для люков. Квадратные и прямоугольные люки под плитку скрывают строительные ниши и ревизионные окна. Люки весом 7 кг могут поднимать на себе вес до 24 кг;

- для станков. Из станочного алюминиевого профиля изготавливают комплектующие для станков, такие как станины. Алюминий лежит в основе ЧПУ и фрезерных станков;

- для стекол/зеркал. Багет из алюминия, проходящий по периметру, делает стекло прочнее и скрывает острые углы. Профиль из алюминия может быть окантовочный, Г-образный, формы Z, H;

- для стеллажей. Профили и уголки целиком составляют конструкцию стеллажей либо являются крепежами для полок. В зависимости от цены стеллажа применяется либо мягкий и гибкий сплав, который не отличается большой грузоподъемностью, либо кремниевые сплавы, выдерживающие большие нагрузки;

- для москитных сеток. Является каркасом для крепления сетки от насекомых на окне или дверном проеме.

2 Определение расчетных электрических нагрузок предприятия

Выбор к использованию определенного метода расчета электрических нагрузок определяется предъявляемыми требованиями к точности результатов расчетов и полнотой исходной информации.

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 [5, 6].

Расчет ожидаемых электрических нагрузок выполняем в следующей последовательности [7, 8]:

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:

$$P_{CM} = K_{И} \cdot P_{H,\Sigma}, \quad (2.2)$$

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

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_u , кВт	n_s	K_u	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	P_C , кВт	Q_C , квар	K_M	P , кВт	$P_{P.O.}$, кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
1	625	30	0,6	0,8/0,75	375	281	1,13	423	13,5	436	281	518
2	520	28	0,16	0,5/1,78	83,2	148	1,46	121,5	121,5	243	148	285
3	159	10	0,12	0,5/1,78	19,1	34	2,42	46,2	27	73,2	37,4	83
4	158	8	0,2	0,4/1,7	31,6	54	1,99	63	108	171	59,4	181
5	625	10	0,12	0,5/1,78	62,5	111	2,42	151,2	54	205,2	122	239
6	1200	44	0,6	0,8/0,75	720	540	1,12	806	27	833	540	993
7	752	42	0,2	0,4/1,7	145	254	1,27	184	54	238	254	348
8	446	22	0,16	0,5/1,78	71,4	127	1,65	118	94,5	212,5	127	247
9	2230	100	0,75	0,85/0,62	1572	1037	1,05	1656	48	1704	1037	1980
10	2000	68	0,8	0,75/0,88	1600	1408	1,05	1680	18	1698	1408	2205
11	1250	38	0,16	0,5/1,78	200	356	1,37	274	108	382	356	522
12	563	60	0,4	0,6/1,33	225,2	299	1,12	252,2	47	299,2	299	422,8
13	140	12	0,14	0,5/1,78	19,6	35	1,96	38,5	72	110,5	35	116
14	1025	24	0,7	0,85/0,62	717,5	444	1,1	789	27	816	444	929
15	171	16	0,12	0,5/1,78	20,5	36,5	1,99	40,8	9,6	50,4	36,5	62
16	106	12	0,12	0,5/1,78	12,7	22,6	2,24	28,5	3,6	32,1	22,6	39
17	104	18	0,14	0,5/1,78	14,6	26	1,65	24	9,6	23,6	26	35

Продолжение таблицы 2.1

№ цеха на плане предприятия	P_u , кВт	$n_э$	K_u	$\cos \varphi /$ $\operatorname{tg} \varphi$	P_c , кВт	Q_c , квар	K_M	P , кВт	$P_{p.o.}$, кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
18	5400	202	0,75	0,85/0.62	4050	2604	1,04	4212	202,5	4414	2604	5125
19	200	40	0,14	0,5/1,78	28	49,8	1,37	38,4	13,5	51,9	49,8	72
Внешнее освещение									155,2			155,2
Всего по предприятию	18074	784			8870	7080		9706	1213	12161	7106	14776

3 Определение количества и номинальной мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Для объединенных мощностей цехов ТНЦ, ЭТМ и участка по ремонту штампов.

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

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

$$\sigma = \frac{549}{7950} = 0.069.$$

Найдем общее число силовых трансформаторов на КТП:

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

Число трансформаторов на одной подстанции определяется в зависимости от категории надежности электроснабжения электроприемников.

По шкале номинальных мощностей трансформаторов выбираем $S_{НТ} = 630 \text{ кВА}$. По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7,6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20,2 \text{ квар}$;

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.3)$$

$$P_p = 487 + 1 \cdot 7,6 = 495 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.4)$$

$$Q_p = 244,8 + 20,2 = 265 \text{ квар}.$$

Определим экономически выгодное значение реактивной мощности в период максимальных нагрузок в энергосистеме [9-11]:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.5)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 265 - 0,7 \cdot 0 = 265 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P, \quad (3.6)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 495 = 138,6 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 138,6 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э1}}), \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 169,6 - 265 - 138,6 = 43,2 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 169,6 + 0 = 169,6 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 169,6 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\text{э1}}, \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 265 - 138,6 = 166 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{cutin}} = 169.6 - 169.6 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эп}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{эп}} = 138.6 - 265 - 244.8 = 118.4 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.12)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0.9 \cdot 630)^2 - 487^2} = 290 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.13)$$

$$Q_{KVH} = 244.8 - 290 = -45.6 < 50 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \text{ max}} - Q_{KVH}, \quad (3.14)$$

$$Q_{.KVB} = 166 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

Для объединенных мощностей заводоуправления и ремонтно-механического участка:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.15)$$

$$\sigma = \frac{311}{6400} = 0.048.$$

Так как $\sigma < 0.05$, то принимаем номинальную мощность трансформаторов равную 400 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 5.5 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 18 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.16)$$

$$P_p = 257 + 1 \cdot 5.5 = 262.5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.17)$$

$$Q_p = 172 + 1 \cdot 18 = 190 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.18)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 190 - 0.7 \cdot 0 = 190 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.19)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 262 = 73.5 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 73.5 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок [12, 13]:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.20)$$

$$Q_{\vartheta 2, \delta} = 122 - 190 - 73.5 = 5.5 \text{ квар};$$

$$Q_{\vartheta 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (3.21)$$

$$Q_{\vartheta 2, \text{н}} = 122 + 0 = 122 \text{ квар};$$

где $Q_{\kappa} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\vartheta 2} = 122 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\vartheta 1}, \quad (3.22)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 190 - 73.5 = 145 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\vartheta 2}, \quad (3.23)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 122 - 122 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\vartheta 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.24)$$

$$Q_{\text{эн}} = 73.5 - 190 - 172 = 55.5 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.25)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0.9 \cdot 400)^2 - 257^2} = 252 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.26)$$

$$Q_{KVH} = 172 - 252 = -80 < 50 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.27)$$

$$Q_{.KVB} = 145 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-400/10 без конденсаторных установок.

Для окрасочного цеха:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.28)$$

$$\sigma = \frac{993}{1800} = 0.55.$$

Принимаем два трансформатора с номинальной мощностью трансформаторов 1000 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 16.5 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.8 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.29)$$

$$P_p = 833 + 2 \cdot 16.5 = 866 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.30)$$

$$Q_p = 540 + 2 \cdot 20.8 = 582 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.31)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 582 - 0,7 \cdot 0 = 582 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P, \quad (3.32)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 866 = 242,5 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 242,5 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э1}}), \quad (3.33)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 372,5 - 582 - 540 = 330,5 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.34)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 372,5 + 0 = 372,5 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 372,5 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\text{э1}}, \quad (3.35)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 582 - 242,5 = 427 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.36)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 372.5 - 372.5 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эH}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.37)$$

$$Q_{\text{эH}} = 242.5 - 582 - 540 = 200.5 \text{ квар.}$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.38)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 1000)^2 - 833^2} = 1125 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУH}} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.39)$$

$$Q_{\text{КУH}} = 540 - 1125 = -585 < 50 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУВ}} = Q_{\text{КУ max}} - Q_{\text{КУH}}, \quad (3.40)$$

$$Q_{\text{КУВ}} = 427 < 800 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{\text{КУH}} < 50$ квар и $Q_{\text{КУВ}} < 800$ квар, то размещение низковольтных и высоковольтных КУ нецелесообразно.

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМЗ-1000/10 без конденсаторных установок.

Для объединенных мощностей прессового производства и прессккомплекта:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.41)$$

$$\sigma = \frac{595}{9900} = 0.06.$$

Так как $\sigma < 0.1$, то принимаем номинальную мощность трансформаторов равную 630 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7.6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.2 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.42)$$

$$P_p = 450 + 1 \cdot 7.6 = 457 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.43)$$

$$Q_p = 381 + 1 \cdot 20.2 = 401 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.44)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 401 - 0.7 \cdot 0 = 401 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.45)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 457 = 128 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 128 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{сд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.46)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \delta} = 256 - 401 - 128 = -17 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (3.47)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 256 + 0 = 256 \text{ квар};$$

где $Q_{\kappa} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 256 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.48)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 401 - 128 = 333 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.49)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 256 - 256 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.50)$$

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = 128 - 401 - 381 = 108 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.51)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0.9 \cdot 630)^2 - 450^2} = 345 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.52)$$

$$Q_{KVH} = 381 - 345 = 36 < 50 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.53)$$

$$Q_{.KVB} = 297 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

Для второго цеха алюминиевого производства:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.54)$$

$$\sigma = \frac{1980}{3200} = 0.61.$$

Принимаем два трансформатора с номинальной мощностью трансформаторов 1000 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 16.5$ кВт; $\Delta Q_{тр} = 20.8$ квар.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.55)$$

$$P_p = 1704 + 2 \cdot 16.5 = 1737 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.56)$$

$$Q_p = 1037 + 2 \cdot 20.8 = 1079 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.57)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1079 - 0,7 \cdot 0 = 1079 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P, \quad (3.58)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 1737 = 486 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 486 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э1}}), \quad (3.59)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 690 - 1079 - 486 = 97 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.60)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 690 + 0 = 690 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 690 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\text{э1}}, \quad (3.61)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 1079 - 486 = 754 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.62)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 690 - 690 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.63)$$

$$Q_{\text{эн}} = 486 - 1079 - 1037 = 444 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.64)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.9 \cdot 1000)^2 - 1704^2} = 580 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{КУН}} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.65)$$

$$Q_{\text{КУН}} = 1037 - 580 = 457 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{КVB}} = Q_{\text{КУ max}} - Q_{\text{КУН}}, \quad (3.66)$$

$$Q_{\text{КVB}} = 297 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМЗ-1000/10 и две установки АУКРМ мощностью по 300 квар.

Для котельной:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.67)$$

$$\sigma = \frac{2205}{1200} = 1.83.$$

Принимаем два трансформатора с номинальной мощностью трансформаторов 1000 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 16.5 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.8 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.68)$$

$$P_p = 1698 + 2 \cdot 16.5 = 1731 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.69)$$

$$Q_p = 1408 + 2 \cdot 20.8 = 1449 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.70)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1449 - 0.7 \cdot 0 = 1449 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.71)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 1731 = 486 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 486 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{сд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.72)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \delta} = 927 - 1449 - 486 = -36 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (3.73)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 927 + 0 = 927 \text{ квар};$$

где $Q_{\kappa} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 927 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.74)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 1449 - 486 = 1180 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.75)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 927 - 927 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.76)$$

$$Q_{\text{эн}} = 486 - 1449 - 1408 = 445 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.77)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.9 \cdot 1000)^2 - 1698^2} = 597 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.78)$$

$$Q_{KVH} = 1408 - 597 = 811 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.79)$$

$$Q_{.KVB} = 369 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМЗ-1000/10 и две установки АУКРМ мощностью по 400 квар.

Для первого прессового производства:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.80)$$

$$\sigma = \frac{522}{7200} = 0.072.$$

Так как $\sigma < 0.1$, то принимаем номинальную мощность трансформаторов равную 630 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7.6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.2 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.81)$$

$$P_p = 382 + 1 \cdot 7.6 = 389 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.82)$$

$$Q_p = 356 + 1 \cdot 20.2 = 376 \text{ квар.}$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.83)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 376 - 0.7 \cdot 0 = 376 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.84)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 389 = 109 \text{ квар.}$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 109 \text{ квар.}$

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.85)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 240 - 356 - 109 = -7 \text{ квар;}$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.86)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 240 + 0 = 240 \text{ квар;}$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 240 \text{ квар.}$

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}}, \quad (3.87)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 376 - 109 = 323 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.88)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 240 - 240 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.89)$$

$$Q_{\text{эн}} = 109 - 376 - 356 = 89 \text{ квар.}$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.90)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0.9 \cdot 630)^2 - 382^2} = 419 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУН}} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.91)$$

$$Q_{\text{КУН}} = 356 - 419 = -63 < 50 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{.КVB}} = Q_{\text{KV max}} - Q_{\text{КУН}}, \quad (3.92)$$

$$Q_{\text{.КVB}} = 323 < 800 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{\text{КУН}} < 50$ квар и $Q_{\text{.КVB}} < 800$ квар, то размещение низковольтных и высоковольтных КУ нецелесообразно.

Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

Для объединённого участка доводки матриц и гальваники:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.93)$$

$$\sigma = \frac{539}{7950} = 0.067.$$

Так как $\sigma < 0.1$, то принимаем номинальную мощность трансформаторов равную 630 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7.6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.2 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.94)$$

$$P_p = 410 + 1 \cdot 7.6 = 417 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.95)$$

$$Q_p = 334 + 1 \cdot 20.2 = 354 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.96)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 354 - 0.7 \cdot 0 = 354 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.97)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 417 = 117 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 117 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{сд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.98)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \delta} = 227 - 354 - 117 = -10 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (3.99)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 227 + 0 = 227 \text{ квар};$$

где $Q_{\kappa} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 227 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.100)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 354 - 117 = 290 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.101)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 227 - 227 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.102)$$

$$Q_{\text{эн}} = 117 - 354 - 334 = 97 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.103)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0.9 \cdot 630)^2 - 410^2} = 392 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.104)$$

$$Q_{KVH} = 334 - 392 = -58 < 50 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.105)$$

$$Q_{.KVB} = 290 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

Для кислородно-компрессорного цеха, электроцеха, ТВСиВа и химической лаборатории:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.106)$$

$$\sigma = \frac{1065}{7900} = 0.13.$$

Принимаем два трансформатора с номинальной мощностью трансформаторов 630 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7.6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.2 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.107)$$

$$P_p = 921 + 2 \cdot 7.6 = 936 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.108)$$

$$Q_p = 529 + 2 \cdot 20.2 = 569 \text{ квар.}$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.109)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 569 - 0,7 \cdot 0 = 569 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.110)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 936 = 262 \text{ квар.}$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 262 \text{ квар.}$

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{сд}} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э1}}), \quad (3.111)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 364 - 569 - 262 = 57 \text{ квар;}$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.112)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 364 + 0 = 364 \text{ квар;}$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 364 \text{ квар.}$

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}}, \quad (3.113)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 569 - 262 = 392 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\Sigma 2}, \quad (3.114)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 364 - 364 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эH}} = Q_{\Sigma 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.115)$$

$$Q_{\text{эH}} = 262 - 569 - 529 = 222 \text{ квар.}$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.116)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.9 \cdot 630)^2 - 921^2} = 662 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУH}} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.117)$$

$$Q_{\text{КУH}} = 529 - 662 = -133 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{.КVB}} = Q_{\text{KV max}} - Q_{\text{КУH}}, \quad (3.118)$$

$$Q_{\text{.КVB}} = 392 < 800 \text{ квар.}$$

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

Так как $Q_{\text{КУH}} < 50$ квар и $Q_{\text{.КVB}} < 800$ квар, то размещение низковольтных и высоковольтных КУ нецелесообразно.

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

Для первого цеха алюминиевого производства:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.119)$$

$$\sigma = \frac{5125}{13500} = 0.38.$$

Принимаем два трансформатора с номинальной мощностью трансформаторов 2500 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 24$ кВт; $\Delta Q_{тр} = 25$ квар.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.120)$$

$$P_p = 4414 + 2 \cdot 24 = 4462 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.121)$$

$$Q_p = 2604 + 2 \cdot 25 = 2654 \text{ квар}.$$

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

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (3.122)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 2654 - 0,7 \cdot 0 = 2654 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.123)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 4462 = 1290 \text{ квар}.$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 1290$ квар.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\varepsilon 2, \varepsilon} = Q_{\min} - Q_{\kappa \delta} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\varepsilon 1}), \quad (3.124)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \varepsilon} = 1698 - 2654 - 1290 = 334 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = Q_{\min} + Q_{\kappa}, \quad (3.125)$$

$$Q_{\varepsilon 2, \text{н}} = 1698 + 0 = 1698 \text{ квар};$$

где $Q_{\kappa} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 1698 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\varepsilon 1}, \quad (3.126)$$

$$Q_{\text{ку max}} = 1,15 \cdot 2654 - 1290 = 1762 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{ку min}} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (3.127)$$

$$Q_{\text{ку min}} = 1698 - 1698 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}), \quad (3.128)$$

$$Q_{\varepsilon \text{н}} = 1290 - 2654 - 2604 = 1240 \text{ квар}.$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.129)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.9 \cdot 2500)^2 - 4414^2} = 875 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.130)$$

$$Q_{KVH} = 2604 - 875 = 1729 \text{ квар},$$

$$Q_{.KVБ} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (3.131)$$

$$Q_{.KVБ} = 33 < 800 \text{ квар}.$$

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

Принимаем к установке цеховую КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМЗ-2500/10 и две установки АУКРМ мощностью по 900 квар.

Для линии горизонтальной окраски:

Определим значение плотности электрической нагрузки внутри цехов:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (3.132)$$

$$\sigma = \frac{518}{900} = 0.57.$$

Принимаем номинальную мощность трансформаторов равную 630 кВА.

По данным производителя силового трансформатора $\Delta P_{тр} = 7.6 \text{ кВт}$; $\Delta Q_{тр} = 20.2 \text{ квар}$.

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (3.133)$$

$$P_p = 436 + 1 \cdot 7.6 = 443 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.134)$$

$$Q_p = 281 + 1 \cdot 20.2 = 301 \text{ квар.}$$

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

$$Q'_{\text{э}1} = Q_p - 0,7 Q_{\text{с}0}, \quad (3.135)$$

$$Q'_{\text{э}1} = 301 - 0,7 \cdot 0 = 301 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э}1} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.136)$$

$$Q''_{\text{э}1} = 0,28 \cdot 443 = 124 \text{ квар.}$$

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э}1} = 124 \text{ квар.}$

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q_{\text{э}2,\text{в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{к}0} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э}1}), \quad (3.137)$$

$$Q_{\text{э}2,\text{в}} = 193 - 301 - 124 = 16 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э}2,\text{н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (3.138)$$

$$Q_{\text{э}2,\text{н}} = 193 + 0 = 193 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э}2} = 193 \text{ квар.}$

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\text{э}1}, \quad (3.139)$$

$$Q_{ку\max} = 1,15 \cdot 301 - 124 = 222 \text{ квар.}$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{ку\min} = Q_{\min} - Q_{э2}, \quad (3.140)$$

$$Q_{ку\min} = 193 - 193 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{эH} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (3.141)$$

$$Q_{эH} = 124 - 301 - 281 = 104 \text{ квар.}$$

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

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (3.142)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 630)^2 - 436^2} = 362 \text{ квар,}$$

$$Q_{КВH} = Q_{p\Sigma} - Q_T, \quad (3.143)$$

$$Q_{КВH} = 281 - 362 = -81 < 50 \text{ квар,}$$

$$Q_{.КВB} = Q_{KV\max} - Q_{КВH}, \quad (3.144)$$

$$Q_{.КВB} = 222 < 800 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{КВH} < 50$ квар и $Q_{.КВB} < 800$ квар, то размещение низковольтных и высоковольтных КУ нецелесообразно. Принимаем к установке цеховую КТП с одним силовым трансформатором ТМЗ-630/10 без конденсаторных установок.

4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на ГПП

Величину рационального напряжения питания предприятия можно определить по формуле [14]:

$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{L + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{5 + 0.016 \cdot 10753} = 57.7 \text{ кВ},$$

где расчетная активная нагрузка предприятия определяется:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{STOP}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 12161 \text{ кВт}.$$

Полную расчетную нагрузку предприятия определим по формуле:

$$S_{PI} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭС}^2}, \quad (4.3)$$
$$S_{PI} = \sqrt{12161^2 + 3405^2} = 12628 \text{ кВА},$$

где величину расчетной реактивной нагрузки предприятия найдем по формуле:

$$Q_{ЭС} = P_{PI} \cdot \operatorname{tg}\phi, \quad (4.4)$$
$$Q_{ЭСi} = 12161 \cdot 0.28 = 3405 \text{ квар}.$$

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.

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

$$S_{номт} \approx 0,8 \cdot 12628 \cdot \frac{1}{1,4} = 7216 \text{ кВА.}$$

По шкале номинальных мощностей силовых трансформаторов и каталогу производителя выбираем для дальнейшего рассмотрения два варианта: трансформаторы ТДН-10000/110/10 и следующий по шкале номинальных мощностей ТДН-16000/110/10.

4.1 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТДН - 10000/110/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{xx} = 10 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 56 \text{ кВт}$, $i_{xx} = 0.9 \%$, $u_{кз} = 10.5 \%$, $K_T = 4800 \text{ тыс. руб.}$

Найдем значение приведенных потерь активной мощности в силовом трансформаторе на холостом ходу по формуле [15]:

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

$$\Delta P_x' = 10 + 0,05 \cdot 90 = 14.5 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.9 + 10000 / 100 = 90 \text{ квар},$$

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

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

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

$$\Delta Q_{\kappa} = 10.5 \cdot 10000 / 100 = 1050 \text{ квар},$$

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

$$\Delta P_{\kappa}' = 56 + 0.05 \cdot 1050 = 108.5 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

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

$$K_3 = \frac{12628}{10000} = 1.26.$$

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

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

$$P_m^{\dot{}} = 14.5 + 1.26^2 \cdot 108.5 = 186.7 \text{ кВт}.$$

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

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

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

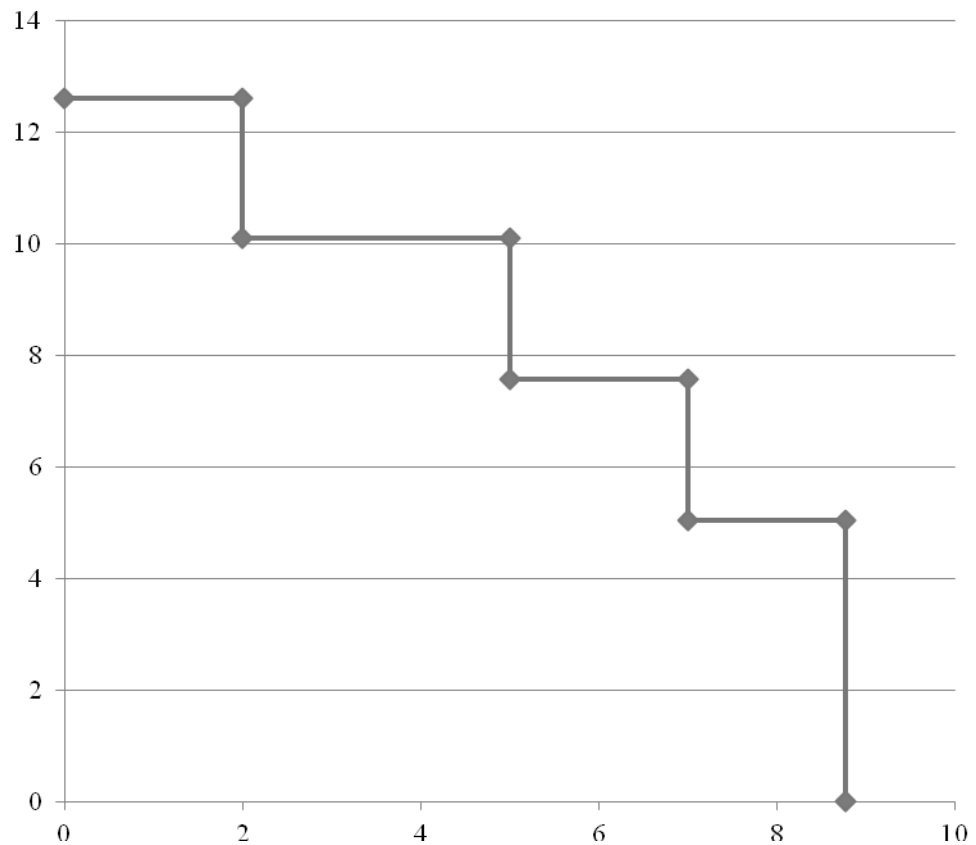


Рисунок 4.1 – Суммарный годовой график нагрузки подстанции предприятия

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

i	S_{Bi} , MVA	T_i , ч	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	12.628	2000	1.26	273420	29000
2	10.102	3000	1.01	328755	43500
3	7.577	2000	0.75	162750	29000
4	5.051	1760	0.5	95480	25520
$\Sigma \Delta W_{кBi} = 860405$				$\Sigma \Delta W_{xi} = 127020$	

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

$$I_{\Delta W_{ИТС}} = C_{эx} T_x \cdot \Delta W_x + C_{эk}(t) \cdot \Delta W_k, \quad (4.13)$$

$$I_{\Delta WПC} = 1.96 \cdot 127020 + 0.9 \cdot 860405 = 1023324 \text{ руб.}$$

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле [16]:

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

$$Z_{\text{прив}} = 0.15 \cdot 9600000 + 902400 + 1023324 = 3365724 \text{ руб.}$$

где $K = 2 \cdot 4800000 = 9600000 \text{ руб.}$ – цена за два силовых трансформатора ТДН-10000/110;

$$I_{\text{э}} = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 9600000 = 902400 \text{ руб.}$$
 – годовые отчисления.

4.2 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТДН -16000/110/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 7.75 \text{ кВт}$, $\Delta P_{KЗ} = 41.3 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 0.55 \%$, $u_{KЗ} = 10.5 \%$, $K_T = 5400 \text{ тыс. руб.}$

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

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

$$\Delta P_x' = 7.75 + 0.05 \cdot 88 = 12.15 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.55 \cdot 16000 / 100 = 88 \text{ квар},$$

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

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

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

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

$$\Delta P_{\kappa}' = \Delta P_{\kappa} + K_{un} \cdot \Delta Q_{\kappa}, \quad (4.18)$$

$$\Delta P_{\kappa}' = 41.3 + 0.05 \cdot 1680 = 125.3 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

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

$$K_3 = \frac{12628}{16000} = 0.79 .$$

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

$$P_m^{\wedge} = \Delta P_x^{\wedge} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\kappa}^{\wedge}, \quad (4.20)$$

$$P_m^{\wedge} = 12.15 + 0.79^2 \cdot 125.3 = 90.3 \text{ кВт}.$$

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

$$\Delta W = \sum n_i \cdot \Delta P_x' \cdot T_i + \sum \frac{1}{n_i} \cdot K_{36}^2 \cdot \Delta P_{\kappa}' \cdot T_i = \Delta W_x + \Delta W_k \quad (4.21)$$

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	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	12.628	2000	0.79	197500	24300
2	10.102	3000	0.63	236817	36450
3	7.577	2000	0.47	117782	24300
4	5.051	1760	0.316	69520	21384
		$\Sigma \Delta W_{кBi} = 621619$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 106434$	

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

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = C_{эx} T_x \cdot \Delta W_x + C_{эk}(t) \cdot \Delta W_k, \quad (4.22)$$

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = 1.96 \cdot 106434 + 0.9 \cdot 621619 = 768068 \text{ руб.}$$

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

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

$$Z_{прив} = 0.15 \cdot 10800000 + 1015200 + 768068 = 3403268 \text{ руб.}$$

где $K = 2 \cdot 5400000 = 10800000$ руб. – цена за два силовых трансформатора ТДН-16000/110;

$$I_э = P_{сум} \cdot K = 0,094 \cdot 10800000 = 1015200 \text{ руб.} \text{ – годовые отчисления.}$$

По минимальным приведенным затратам выбираем к установке на ГПП первый вариант с силовыми трансформаторами ТДН- 10000/110/10.

5 Выбор схемы внешнего электроснабжения

При реконструкции подстанции выбираем схему №110-4Н (два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий).

Для распределительного устройства 10 кВ подстанции выбираем схему - одна секционированная выключателем система шин.

Схема главной понизительной подстанции предприятия приведена на рисунке 5.1 [17].

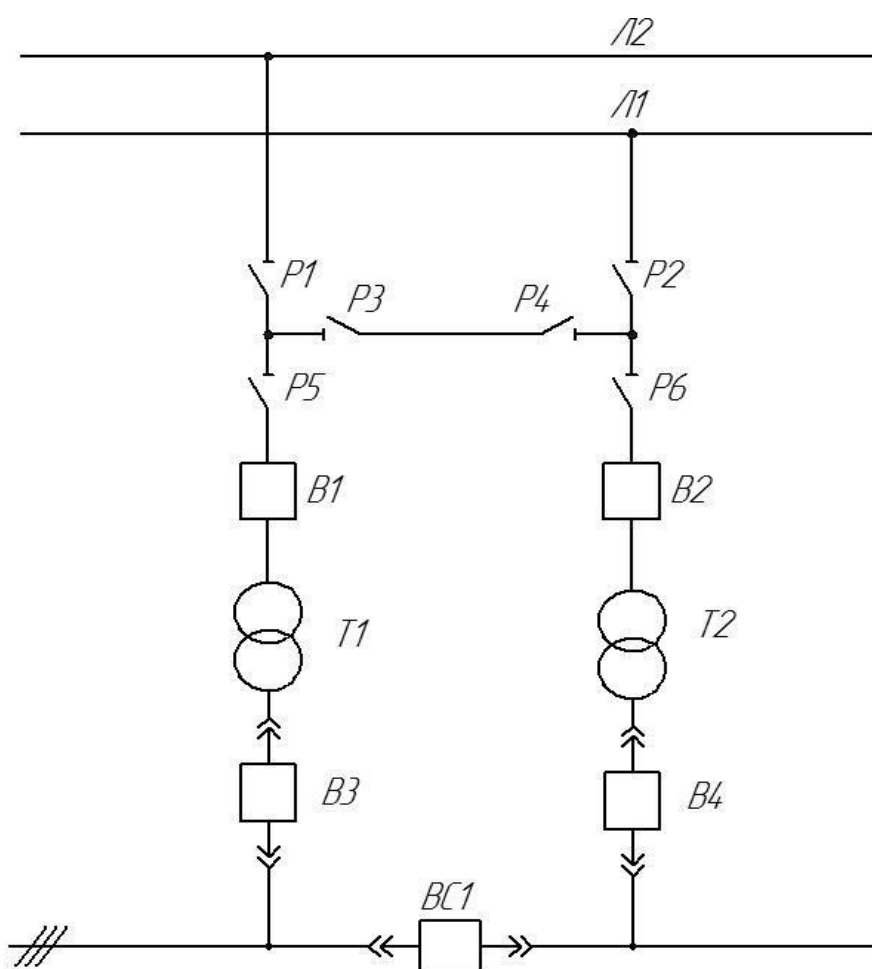


Рисунок 5.1 – Схема главной понизительной подстанции предприятия

6 Расчет питающих линий

В качестве примера выполним определение параметров кабельной линии от ГПП до РУ.

Определим значение расчетного тока в КЛ в нормальном режиме [18]:

$$I_{P.K.} = \frac{S_{P.K.}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n_K}, \quad (6.1)$$

$$I_{P.K.} = \frac{14776}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 6}.$$

Значение сечения КЛ найдем по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{P.K.}}{j_{\text{э}}}, \quad (6.2)$$

$$F_{\text{э}} = \frac{142}{1.4} = 101 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель АСБ 3x185 со значением $I_{\text{доп}} = 310 \text{ А}$.

Найдем значение допустимого тока кабеля с учетом условий его прокладки:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{п}} \cdot K_t \cdot I_{\text{доп}}, \quad (6.3)$$

$$I'_{\text{доп}} = 0.85 \cdot 1 \cdot 310 = 263.5 \text{ А}.$$

Выполним проверку кабеля по допустимому току в нормальном режиме работы:

$$I'_{\text{доп}} = 263.5 > I_{PK} = 142.$$

В послеаварийном режиме при выходе из строя одной из кабельных линий:

$$I_{AB} = 2 \cdot I_{PK}, \quad (6.4)$$
$$I_{AB} = 2 \cdot 142 = 284 \text{ А.}$$

Найдем значение допустимой перегрузки кабеля в послеаварийном режиме:

$$I'_{AB} = K_{AB} \cdot I'_{доп}, \quad (6.5)$$
$$I'_{AB} = 1.2 \cdot 263.5 = 316 \text{ А,}$$

Проверим кабель по току в послеаварийном режиме:

$$I'_{AB} = 316 > I_{AB} = 284.$$

Определим потери напряжения в КЛ в послеаварийном режиме:

$$\Delta U = \frac{P_P \cdot r_0 \cdot l + Q_P \cdot x_0 \cdot l}{U_H^2} \cdot 100\%, \quad (6.6)$$
$$\Delta U = \frac{12161 \cdot 0.326 \cdot 5 + 7106 \cdot 0.083 \cdot 5}{10^2 \cdot 1000 \cdot 6} \cdot 100 = 0.03\% < 5\%,$$

Результаты расчетов по остальным КЛ сведем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов КЛ

КЛ	S_p , кВА	Кабель	n_k	$I_{доп}$, А	K_{II}	K_t	$K_{ав}$	$I_{ав}$, А	ΔU , %
от ГПП до РУ	14766	АСБ-3х185	6	310	0,85	1	1,2	284	0,03
от ТПЗ до ТП№1	549	АСБ-3х120	1	240	0,85	1	1,2	62	0,18
от ТП1 до ТП№2	331	АСБ-3х120	1	240	0,85	1	1,2	49	0,09
от ТП№4 до ТП№3	993	ААШВ-3х120	1	240	0,85	1	1,2	15	0,22
от РУ до ТП№4	595	ААШВ-3х150	1	275	0,85	1	1,2	69	0,19
от РУ до ТП№5	1980	ААШВ-3х240	1	355	0,85	1	1,2	29	0,3
от РУ до ТП№6	776	ААШВ-3х120	2	240	0,85	1	1,2	90	0,21
от РУ до ТП№7	522	АСБ-3х150	1	275	0,85	1	1,2	60	0,17
от РУ до ТП№8	539	ААШВ-3х150	1	275	0,85	1	1,2	61	0,18
от РУ до ТП№9	1065	ААШВ-3х120	1	240	0,85	1	1,2	23	0,22
от РУ до ТП№10	5125	ААШВ-3х150	2	275	0,85	1	1,2	69	0,49
от ТП№8 до ТП№11	518	ААШВ-3х150	1	275	0,85	1	1,2	59	0,17

7 Определение значений токов КЗ

Для определения значений токов короткого замыкания составляем две схемы: расчетную и схему замещения, которые изображены на рисунке 7.1.

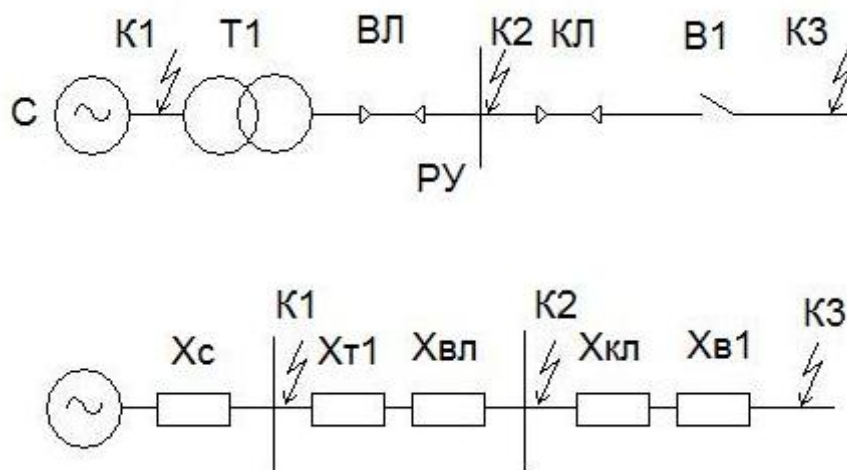


Рисунок 7.1 - Расчётная и схема замещения для определения значений токов короткого замыкания

Определим сопротивление системы по формуле [19]:

$$x_{c.\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\kappa}}; \quad (7.1)$$

$$x_{c.\bar{o}} = \frac{1000}{2200} = 0.45.$$

Определим сопротивление принятого к установке на ГПП силового трансформатора ТДН-10000/110/10 по формуле:

$$x_{T.\bar{o}} = \frac{U_{\kappa, \%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\mu}}; \quad (7.2)$$

$$x_{T.\bar{o}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10.5.$$

Определим сопротивление линий электропередач по формуле:

$$x_{БЛ.б} = \frac{x_{yд}}{2} \cdot L \cdot \frac{S_{б}}{U_{сн}^2}; \quad (7.3)$$

$$x_{БЛ.б} = 0.4 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.15.$$

$$x_{КЛ1.б} = 0.4 \cdot 5 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 50.$$

$$x_{КЛ2.б} = 0.38 \cdot 0.64 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 6.5.$$

7.1 Расчет для точки К1

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез1} = 0.6.$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{к1} = \frac{E_{б}}{x_{рез1}} \cdot I_{б}; \quad (7.4)$$

$$I_{к1} = \frac{1}{0.6} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5.83 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{yд.к1} = \sqrt{2} \cdot I_{н.о}^3 \cdot K_{yд}; \quad (7.5)$$

$$i_{yд.к1} = \sqrt{2} \cdot 5.83 \cdot 1.8 = 14.79 \text{ кА}.$$

7.2 Расчет для точки К2

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез2} = x_c + \frac{x_{T.\bar{\sigma}}}{2} + \frac{x_{ВЛ1.\bar{\sigma}}}{2}; \quad (7.6)$$

$$x_{рез2} = 0.45 + 5.25 + 25 = 30.7.$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{к2}^3 = \frac{E_{\bar{\sigma}}}{x_{рез2}} \cdot I_{\bar{\sigma}.к2}; \quad (7.7)$$

$$I_{к2}^3 = 0,031 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,89 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока К3:

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot \kappa_{уд}; \quad (7.8)$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 2.89 \cdot 1.8 = 7.33 \text{ кА}.$$

7.3 Расчет для точки К3

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез3} = x_c + \frac{x_{T.\bar{\sigma}}}{2} + \frac{x_{ВЛ1.\bar{\sigma}}}{2} + \frac{x_{КЛ1.\bar{\sigma}}}{2} + x_{B1}; \quad (7.9)$$

$$x_{рез2} = 0,45 + 5,25 + 25 + 3,2 + 0,084 = 35.$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{\kappa 3}^3 = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{\text{pez3}}} \cdot I_{\sigma.\kappa 3}; \quad (7.10)$$

$$I_{\kappa 3}^3 = 0,028 \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2,62 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{\text{yd.}\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot \kappa_{\text{yd}}; \quad (7.11)$$

$$i_{\text{yd.}\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,62 = 6,65 \text{ кА}.$$

8 Выбор электрических аппаратов на ГПП предприятия

8.1 Выбор электрических аппаратов на стороне 110 кВ

8.1.1 Выбор высоковольтного выключателя (ВВ)

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям [20]:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.1)$$
$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.2)$$
$$70.3 \text{ А} < 2000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (8.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 70.3 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (8.4)$$
$$5.83 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА},$$

$$i_{a,т} \leq i_{a.н.}, \quad (8.5)$$
$$4.3 \text{ кА} \leq 11.3 \text{ кА},$$

где

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (8.6)$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot 5.83 \cdot e^{\frac{-0.07}{0.12}} = 4.3 \text{ кА},$$

$$i_{a.n.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{откл.n}, \quad (8.7)$$

$$i_{a.n.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \right) \cdot 40 = 11.3 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{y\delta} \leq i_{np.c}, \quad (8.8)$$

$$14.79 \text{ кА} \leq 102 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_{\kappa} \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (8.9)$$

$$10.87 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Выбираем высоковольтный выключатель ВГБУ-110.

8.1.2 Выбор разъединителя

На стороне ВН ГПП устанавливаем разъединитель типа РНДЗ-1-110/630.

Результаты выбора сведем в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты выбора разъединителя

№	Показатель	Расчет	Каталог	Условие
1	Значение номинального напряжения	110 кВ	110 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$

Продолжение таблицы 8.1

№	Показатель	Расчет	Каталог	Условие
2	Значение номинального тока	70,3 А	630 А	$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$
3	Электродинамическая стойкость	14,79 кА	80 кА	$i_{уд} \leq I_{прс}$
4	Термическая стойкость	10,87 кА ² ·с	31,5 кА ² ·с	$B_k \leq I^2 \cdot t_T$

8.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне ВН ГПП устанавливаем трансформатор тока типа ТВТ-110 600/5.

Результаты выбора сведем в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Результаты выбора разъединителя трансформатора тока

№	Показатель	Расчет	Каталог	Условие
1	Значение номинального напряжения	110 кВ	110 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
2	Значение номинального тока	70,3 А	600 А	$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$
3	Электродинамическая стойкость	14,79 кА	102 кА	$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$
4	Термическая стойкость	10,87 кА ² ·с	40 кА ² ·с	$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot I_T$

8.2 Выбор электрических аппаратов на стороне 10кВ

8.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.10)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (8.11)$$

$$385 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (8.12)$$

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 2} = 385 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1} \leq I_{откл.н}, \quad (8.13)$$

$$2.89 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.н.}, \quad (8.14)$$

$$1.55 \text{ кА} \leq 11.3 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (8.15)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2.89 \cdot e^{\frac{-0.04}{0.12}} = 1.55 \text{ кА},$$

$$i_{a.н.} = \sqrt{2} \cdot \beta_n / 100 \cdot I_{откл.н}, \quad (8.16)$$

$$i_{a.н.} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \right) \cdot 40 = 11.3 \text{ кА},$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{пр.с}, \quad (8.17)$$

$$7.33 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{откл}, \quad (8.18)$$

$$2.67 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Выбираем высоковольтный выключатель ВВУ-Э(П)3-10-20/1000. Выключатели устанавливаем в КРУ СЭЩ-70Т производства Самарского завода "Электрощит".

8.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне НН ГПП устанавливаем трансформатор тока типа ТПЛ-10.

Результаты выбора сведем в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Результаты выбора разъединителя трансформатора тока

№	Показатель	Расчет	Каталог	Условие
1	Значение номинального напряжения	10 кВ	10 кВ	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
2	Значение номинального тока	385 А	400 А	$I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$
3	Электродинамическая стойкость	7,33 кА	50 кА	$i_{уд} \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном}$
4	Термическая стойкость	2,67 кА ² · с	31,5 кА ² · с	$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot I_T$

Проверим ТТ по величине вторичной нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} , \quad (8.19)$$

где $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_{к} , \quad (8.20)$$

К вторичной нагрузке трансформатора тока относятся амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии мощностью 6,5 ВА. Определим активное сопротивление прибора:

$$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} , \quad (8.21)$$

$$R_{приб} = \frac{6.5}{5^2} = 0.26 \text{ Ом} .$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{пр} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом} .$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{пр}} , \quad (8.22)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot \sqrt{3} \cdot 40}{0,84} = 1,44 \text{ мм}^2 .$$

8.2.3 Выбор трансформатора напряжения

На стороне НН ГПП устанавливаем трансформатор напряжения типа ЗНОЛ-10.

Трансформатор напряжения выбирается и проверяется по:

- уровню номинального напряжения:

$$U_{сети} \leq U_n, \quad (8.23)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ};$$

- по классу точности;

- по величине вторичной нагрузки:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (8.24)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{приб} \cos \phi)^2 + (\sum S_{приб} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}. \quad (8.25)$$

К вторичной нагрузке трансформатора напряжения относятся счетчики активной и реактивной электрической энергии, вольтметр и ваттметр с общей активной мощностью 6,52 Вт и реактивной 3,7 вар.

$$7.5 \text{ ВА} \leq 75 \text{ ВА}.$$

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

9 Расчет защитного заземления на главной понизительной подстанции

Определим значение напряжения на заземлителе по формуле:

$$U_3 = \frac{U_{np.доп}}{\kappa_{II}}, \quad (9.1)$$

$$U_3 = \frac{400}{0.153} = 2548 \text{ В},$$

где коэффициент напряжения прикосновения определяется как:

$$\kappa_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_6 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0.45}}, \quad (9.2)$$

$$\kappa_{II} = \frac{0.5 \cdot 0.94}{\left(\frac{5 \cdot 750}{5 \cdot \sqrt{2880}}\right)^{0.45}} = 0.157,$$

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

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + 1.5\rho_{г.с}}, \quad (9.3)$$

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

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

Сопrotивление заземляющего устройства должно удовлетворять условию:

$$R_3 < R_{3,доп}. \quad (9.4)$$

Определим число ячеек для расчетной модели заземлителя по формуле:

$$m = \frac{L_2}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1, \quad (9.5)$$

$$m = \frac{750}{2 \cdot 53} - 1 \approx 6.$$

Определим значение длины полос в расчетной модели по формуле:

$$L_2' = 2\sqrt{S}(m+1), \quad (9.6)$$

$$L_2' = 2 \cdot 53 \cdot (6+1) = 742 \text{ м.}$$

Определим длину сторон ячейки по формуле:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \quad (9.7)$$

$$b = \frac{53}{6} = 8.8 \text{ м.}$$

Определим число вертикальных заземлителей, которые необходимо установить по контуру:

$$n_6 = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_6}, \quad (9.8)$$

$$n_g = \frac{53 \cdot 4}{1.5} \approx 42.$$

Определим общую протяженность вертикальных заземлителей:

$$L_g = l_g \cdot n_g, \quad (9.9)$$

$$L_g = 5 \cdot 42 = 210 \text{ м.}$$

Определим значение относительной глубины погружения вертикальных заземлителей по формуле:

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}}, \quad (9.10)$$

$$\frac{5 + 0.7}{53} = 0.108.$$

Определим значение суммарного сопротивления для сложного заземлителя:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_g}, \quad (9.11)$$

$$R_3 = 0.331 \cdot \frac{40}{53} + \frac{40}{750 + 210} = 0.291 \text{ Ом,}$$

где

$$A = \left(0.444 - 0.84 \frac{l_g + t}{\sqrt{S}} \right), \quad (9.12)$$

$$A = 0.385 - 0.25 \cdot 0.108 = 0.331;$$

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

Заклучение

Выпускная квалификационная работа направлена на повышение надежности и бесперебойности электроснабжения группы цехов металлургического завода.

В работе определена суммарная нагрузка предприятия, которая составила 14776 кВА. Выбраны трансформаторные подстанции и установки по компенсации реактивной мощности для каждого из цехов.

По минимальным приведенным затратам выбран к установке на ГПП вариант с силовыми трансформаторами ТДН- 10000/110/10.

При реконструкции подстанции выбрана схема №110-4Н (два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий).

Для распределительного устройства 10 кВ подстанции выбрана схема - одна секционированная выключателем система шин.

Выбраны ячейки КРУ производства Самарского завода «Электроцит» серии СЭЩ-70 с установленными вакуумными выключателями марки ВВУ-10, трансформаторами тока типа ТПЛ-10 и трансформаторами напряжения типа ЗНОЛ-10.

Выполнен расчет заземления на ГПП.

Список используемых источников

1. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
2. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
3. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. - Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.
4. Banerjee G. K. Electrical and electronics engineering materials. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 360 p.
5. Старкова Л.Е. Справочник цехового энергетика : учебно-практическое пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 352 с.
6. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.
7. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. 928 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/95768> (дата обращения: 27.05.2018).
8. 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.
9. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
10. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 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. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2014. 496 с.
13. Liao P., Cheng R., Ruan C., Wang C. Simulation and optimization of power supply system based on super capacitor tram // 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). Beijing. 2017. pp. 1-5.
14. Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети : учебник. М. : Центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.
15. Кулеева Л.И., Митрофанов С.В., Семенова Л.А. Проектирование подстанции : учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. 111 с.
16. 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.
17. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. Стандарт организации. Дата введения: 13.09.2011. ОАО «ФСК ЕЭС». 2011.
18. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций : учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.
19. Кудряков А.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник. Саратов: АЭр Медиа, 2018. 263 с.
20. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.