

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 предприятия по производству железобетонных конструкций ООО «ЗЖБК»

Студент

Ю.И. Лукьянчиков

(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 «Электроснабжение предприятия по производству железобетонных конструкций ООО «ЗЖБК»».

В бакалаврской работе произведен расчет нагрузок от силовых электроприемников и системы освещения по каждому из корпусов предприятия, выбраны необходимое количество и мощность силовых трансформаторов для цеховых КТП, определен уровень целесообразного напряжения питания предприятия и на основе минимальных приведенных затрат выбраны силовые трансформаторы на ГПП, рассмотрены применяемые на сегодняшний день схемы внутривзаводского электроснабжения и выбрана оптимальная, произведен расчет токов короткого замыкания и выбрано оборудование главной понизительной подстанции, рассчитано заземление ГПП.

ВКР состоит из 55 листов, включая 4 таблицы и 2 рисунка, дополнена графической частью на шести листах А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта	5
2 Определение расчетных электрических нагрузок по цехам предприятия	7
3 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов КТП	12
4 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на главной понизительной подстанции предприятия	20
5 Выбор схемы внутризаводского электроснабжения	28
6 Определение значений тока КЗ	30
7 Выбор основного электрооборудования ГПП	34
8 Расчет заземления ГПП	50
Заключение	53
Список используемых источников	54

Введение

Электроустановки для выработки и передачи электроэнергии в составе системы электроснабжения промышленного предприятия могут быть как собственностью самого предприятия, так и находиться в собственности другого предприятия [1-3].

Наличие собственной электростанции позволяет промышленному предприятию обеспечить электроэнергией свои техпроцессы, передавая электроэнергию по собственным электрическим сетям. Кроме того, предприятие может получать электроэнергию от электрических станций и подстанций, относящихся к электроэнергосистеме или находящихся в собственности другого предприятия.

Наиболее широко распространена схема, согласно которой промышленное предприятие получает электроэнергию от сетей электроэнергосистемы региона, входящей в единую электроэнергосистему. Электрическую энергию получают на электростанциях электроэнергосистемы и передают к месту ее последующего потребления по электрическим сетям на номинальном напряжении 110-220 кВ. На предприятии имеется главная понизительная подстанция, которая понижает напряжение до уровня распределительных сетей промышленного предприятия, который обычно составляет 6-10 кВ. Затем электрическая энергия передается на цеховые трансформаторные подстанции, а от них по проводникам низковольтной распределительной сети к распределительным пунктам и отдельным электроприемникам [4-6].

Целью бакалаврской работы является проектирование системы электроснабжения завода железобетонных конструкций ООО «ЗЖБК», позволяющей обеспечить надежное электроснабжение потребителей электрической энергии и соблюдение норм стандарта на качество электроэнергии.

1 Краткая характеристика объекта

С 1973 года завод специализируется на выпуске железобетонных конструкций и изделий, являясь одним из крупнейших предприятий строительной индустрии Тверской области. В настоящее время ООО «ЗЖБК» выпускает продукцию четырех групп строительных материалов и конструкций: железобетонные (более 140 наименований), сборные панельные дома 135-й серии (1, 2 и 3-х этажные), изделия из пенополистирола и полистиролбетона, изделия городского и приусадебного благоустройства.

С начала 2000-х годов завод совершенствует конструкции и изделия жилых домов 135-й серии. В технологии изготовления стеновых панелей нашли применение современные утеплительные материалы, более качественные марки цемента и добавки к ним. Новые конструкции домов создают более комфортные условия проживания, отличаются внешней отделкой от предыдущих вариантов. Их строительство произведено в районных центрах Тверской области: Бежецке, Кашине, Калязине, Старице, Сонково, Молоково, Рамешки.

Продукция ООО «ЗЖБК» востребована в Тверской, Московской, Ярославской, Вологодской, Ленинградской, Псковской и Новгородской областях. В условиях активного роста стройиндустрии и рынка строительных материалов качество и сервис неотделимы. Поэтому предприятие в своей деятельности руководствуется принципами максимального учета интересов заказчика. Так, по заказу строительной фирмы из Ярославской области были изготовлены сталежелезобетонные фермы пролетом от 12 до 24 метров для промышленных и животноводческих зданий. Это еще раз подтверждает то обстоятельство, что на заводе освоена технология, позволяющая выпускать практически любые железобетонные изделия, как серийного производства, так и по индивидуальным заказам.

Предприятие располагает большегрузным автотранспортом, что позволяет производить отгрузку продукции как автомобильным, так и

железнодорожным транспортом. Партнеры положительно отзываются о высоком качестве изделий и точном соблюдении сроков исполнения заказов. Всё это способствует расширению круга партнеров предприятия из числа частных застройщиков, предприятий малого и среднего бизнеса, крупных строительных фирм.

В настоящее время предприятие предлагает быстровозводимые железобетонные конструкции для строительства коровников, свиноводческих комплексов, овчарен, складских помещений, ангаров и иных производственных зданий.

Характерной особенностью применения этих изделий является быстрота и удобство сборки корпусов, возможность их использования в условиях воздействия агрессивных сред без дополнительных затрат на антикоррозионную обработку. Повышенная прочность, трещиностойкость и огнестойкость обеспечит высокую надежность и долговечность возводимых зданий и сооружений. Применение данных конструкций позволяет значительно снизить себестоимость строительства.

2 Определение расчетных электрических нагрузок по цехам предприятия

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

Расчетной называется такая неизменная во времени нагрузка, которая оказывает такой же тепловой эффект, что и реальная, изменяющаяся во времени нагрузка.

По значению расчетной нагрузки выбирается и проверяется электрическое оборудование, определяется требуемая мощность источников питания, рассчитываются сечения жил проводников, определяется номинальная мощность силовых трансформаторов и преобразователей, по которой в свою очередь рассчитываются потери напряжения и мощности [7-9].

Расчет нагрузок выполняется по методике, изложенной в [10].

Информацию о коэффициентах использования K_M и коэффициентах мощности $\cos\varphi$ для каждого из цехов предприятия определяем по справочникам.

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

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

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

«Расчетная реактивная нагрузка группы электроприемников принимается:

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

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

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

Среднесменная нагрузка для каждого цеха определяется по формулам:

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

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

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

Значения коэффициента максимума определяются по справочной литературе.

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

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

Расчеты для высоковольтных электроприемников выполняем аналогичным образом.

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

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

Таблица 2.1 – Расчет ожидаемых максимальных электрических нагрузок по цехам

№ цеха на плане предприятия	P_n , кВт	$P_{н.э.}$, кВт	n_3	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	145	9.06	16	0.22	0.58	1.40	31.9	44.80	1.65	52.64	44.80	69.12
2	190	27.14	7	0.12	0.65	1.17	22.8	26.66	3.05	69.54	29.32	75.47
3	83	10.38	8	0.52	0.73	0.94	43.16	40.41	0.5	21.58	44.45	49.41
4	138	19.71	7	0.81	0.77	0.83	111.78	92.62	1.1	122.96	101.89	159.69
5	502	71.71	7	0.83	0.72	0.96	416.66	401.60	1.25	520.83	441.76	682.94
6	3150	35.80	88	0.36	0.7	1.02	1134	1156.91	1.1	1247.40	1156.91	1701.31
7	534	21.36	25	0.42	0.72	0.96	224.28	216.17	1.25	280.35	216.17	354.02
8	1225	47.12	26	0.81	0.78	0.80	992.25	796.06	1.1	1091.48	796.06	1350.94

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	2010	24.51	82	0.27	0.55	1.52	542.7	824.08	1.2	651.24	824.08	1050.34
10	415	18.86	22	0.53	0.65	1.17	219.95	257.15	1.2	263.94	257.15	368.50
11	3542	48.52	73	0.42	0.72	0.96	1487.6	1433.87	1.15	1710.79	1433.87	2232.21
12	86	14.33	6	0.12	0.65	1.17	10.32	12.07	3.25	33.54	13.27	36.07
13	107	8.23	13	0.43	0.72	0.96	46.01	44.35	1.4	64.41	44.35	78.20
14	533	13.00	41	0.58	0.65	1.17	309.14	361.42	1.15	355.51	361.42	506.97
15	500	27.78	18	0.25	0.63	1.23	125	154.09	1.6	200.00	154.09	252.47
16	198	28.29	7	0.15	0.58	1.40	29.7	41.71	3	89.10	45.89	100.22

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	187	17.00	11	0.17	0.63	1.23	31.79	39.19	2.2	69.94	39.19	80.17
18	323	15.38	21	0.33	0.57	1.44	106.59	153.65	1.3	138.57	153.65	206.90
Всего по предприятию	13868	8.2...71.7	478	0.42	-	1.04	5885.7	6096.81	-	6983.80	6158.31	9311.19

3 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов КТП

3.1 Выбор трансформаторов КТП для электроснабжения цехов №12, №15, №16 и №18

Найдем необходимую мощность силового трансформатора КТП по формуле:

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

$$S_{HT} > \frac{461.2}{0,7 \cdot 2} = 329 \text{ кВА}.$$

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: $\Delta P_{xx} = 0.88 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 5.7 \text{ кВт}$, $i_{xx} = 1.2 \%$, $u_{кз} = 4.5 \%$, $K_T = 208.58 \text{ тыс. руб.}$.

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

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

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (0.88 + 0.7^2 \cdot 5.7) = 7.35 \text{ кВт},$$

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

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

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе [11, 12]:

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

$$P_p = 461.2 + 7.35 = 468.6 \text{ кВт},$$

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

$$Q_p = 366.9 + 27.24 = 394.1 \text{ квар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 394.1 = 197.1 \text{ квар}.$$

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

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

$$Q'_{\text{э1}} = 394.1 - 0.7 \cdot 0 = 394.1 \text{ квар},$$

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

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 468.6 = 131.2 \text{ квар}.$$

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

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 131.2 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\text{э2,в}} = 197.1 - (394.1 - 131.2) = -65.9 \text{ квар};$$

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

$$Q_{\text{э2,н}} = 197.1 + 0 = 197.1 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{к}} = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\text{э2}} = 197.1 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок [13]:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_{\text{р}} - Q_{\text{э1}}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 394.1 - 131.2 = 322.1 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 197.1 - 197.1 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_{\text{р}} - Q_{\text{р}\Sigma}), \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{эн}} = 131.2 - (394.1 - 366.9) = 104 \text{ квар}.$$

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

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

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 400)^2 - 461.2^2} = 317.6 \text{ квар},$$

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

$$Q_{KVH} = 366.9 - 317.6 = 49.3 < 50 \text{ квар},$$

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

$$Q_{.KVB} = 322.1 - 49.3 = 272.8 < 800 \text{ квар}.$$

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-400/10 без конденсаторных установок.

Определим продолжительность периода максимальных потерь

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

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4641}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3029.7 \text{ ч.}$$

Определим удельную стоимость потерь на холостом ходу в силовом трансформаторе:

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

$$C_{XX} = \left(\frac{680 \cdot 12}{4641} + 1.22 \right) \cdot 8760 = 26.089 \text{ тыс.руб/кВт}.$$

Определим удельную стоимость потерь короткого замыкания в силовом трансформаторе:

$$C_{K3} = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot \tau, \quad (3.19)$$

$$C_{K3} = \left(\frac{680 \cdot 12}{4641} + 1.22 \right) \cdot 3029.7 = 9.023 \text{ тыс.руб/кВт}.$$

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

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

$$C \cdot \Delta P_T = 26.089 \cdot 0.88 + 9.023 \cdot 0.7^2 \cdot 5.7 = 48.161 \text{ тыс.руб.}$$

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

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

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot (208.58 \cdot 2) + (48.161 \cdot 2) = 189.348 \text{ тыс.руб.}$$

3.1.2 Вариант с силовым трансформатором ТМГ-630

По данным производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 1.25 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 7.7 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 1.2 \%$, $u_{K3} = 5.5 \%$, $K_T = 309.92 \text{ тыс.руб.}$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

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

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1.25 + 0.7^2 \cdot 7.7) = 10.05 \text{ кВт},$$

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

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

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

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

$$P_p = 461.2 + 10.05 = 471.3 \text{ кВт},$$

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

$$Q_p = 366.9 + 49.08 = 416 \text{ квар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 416 = 208 \text{ квар}.$$

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

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

$$Q'_{\text{э1}} = 416 - 0,7 \cdot 0 = 416 \text{ квар},$$

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

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 471,3 = 132 \text{ квар}.$$

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

Принимаем наименьшее значение $Q_{\text{э1}} = 132 \text{ квар}$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

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

$$Q_{\text{э2,в}} = 208 - (416 - 132) = -76 \text{ квар};$$

$$Q_{\varepsilon 2, H} = Q_{\min} + Q_K, \quad (3.30)$$

$$Q_{\varepsilon 2, H} = 208 + 0 = 208 \text{ квар};$$

где $Q_K = 0$.

Из-за повышенного уровня напряжения в период минимального потребления мощности принимаем наибольшее значение: $Q_{\varepsilon 2} = 208 \text{ квар}$.

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

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

$$Q_{\text{КУ max}} = 1,15 \cdot 416 - 132 = 346,4 \text{ квар}.$$

Из них мощность нерегулируемых КУ составит:

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

$$Q_{\text{КУ min}} = 208 - 208 = 0.$$

То есть все КУ должны регулироваться.

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

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

$$Q_{\varepsilon H} = 132 - (416 - 366,9) = 82,9 \text{ квар}.$$

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

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

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 630)^2 - 461.2^2} = 751.8 \text{ квар},$$

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

$$Q_{KVH} = 366.9 - 751.8 = -384.9 < 50 \text{ квар},$$

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

$$Q_{.KVB} = 346.4 - 0 = 346.4 < 800 \text{ квар}.$$

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:

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

$$C \cdot \Delta P_T = 26.089 \cdot 1.25 + 9.023 \cdot 0.7^2 \cdot 7.7 = 66.657 \text{ тыс.руб.}$$

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

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

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot (309.92 \cdot 2) + (66.657 \cdot 2) = 271.538 \text{ тыс.руб.}$$

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

Для остальных цехов предприятия выбор трансформаторов КТП производим аналогичным образом.

4 Выбор числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на главной понизительной подстанции предприятия

Величину рационального напряжения питания предприятия можно определить по формуле [14, 15]:

$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{L + 0.016 \cdot P_{PI}}, \quad (4.1)$$
$$U_{РАЦ} = 4.34 \cdot \sqrt{13 + 0.016 \cdot 6984} = 48 \text{ кВ},$$

где расчетная активная нагрузка предприятия определяется:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + P_{STOP}, \quad (4.2)$$
$$P_{PI} = 6983.8 + 0 + 0 = 6984 \text{ кВт.}$$

Полную расчетную нагрузку предприятия определим по формуле:

$$S_{PI} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭС}^2}, \quad (4.3)$$
$$S_{PI} = \sqrt{6984^2 + 1746^2} = 7199 \text{ кВА},$$

где величину расчетной реактивной нагрузки предприятия найдем по формуле:

$$Q_{ЭС} = P_{PI} \cdot \operatorname{tg}\phi, \quad (4.4)$$
$$Q_{ЭСi} = 6984 \cdot 0.25 = 1746 \text{ квар.}$$

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.

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

$$S_{номт} \approx 0,8 \cdot 7199 \cdot \frac{1}{1,4} = 4114 \text{ кВА.}$$

По шкале номинальных мощностей силовых трансформаторов и каталогу производителя выбираем для дальнейшего рассмотрения два варианта: трансформаторы ТМН-6300/35/10 и следующий по шкале номинальных мощностей ТДН-10000/35/10.

4.1 Вариант установки на ГПП предприятия двух силовых трансформаторов ТМН - 6300/35/10

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{xx} = 8.3 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 46.8 \text{ кВт}$, $i_{xx} = 0.62 \%$, $u_{кз} = 7.5 \%$, $K_T = 10840 \text{ тыс. руб.}$

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

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

$$\Delta P_x' = 8.3 + 0,05 \cdot 39.1 = 10.25 \text{ кВт},$$

где

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

$$\Delta Q_x = 0.62 + 6300 / 100 = 39.1 \text{ квар},$$

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

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

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

$$\Delta Q_{\kappa} = 7.5 \cdot 6300 / 100 = 472.5 \text{ квар},$$

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

$$\Delta P_{\kappa}' = 46.8 + 0.05 \cdot 472.5 = 70.43 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

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

$$K_3 = \frac{7199}{6300} = 1.143.$$

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

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

$$P_m^{\dot{}} = 10.25 + 1.143^2 \cdot 70.43 = 102.21 \text{ кВт}.$$

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

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

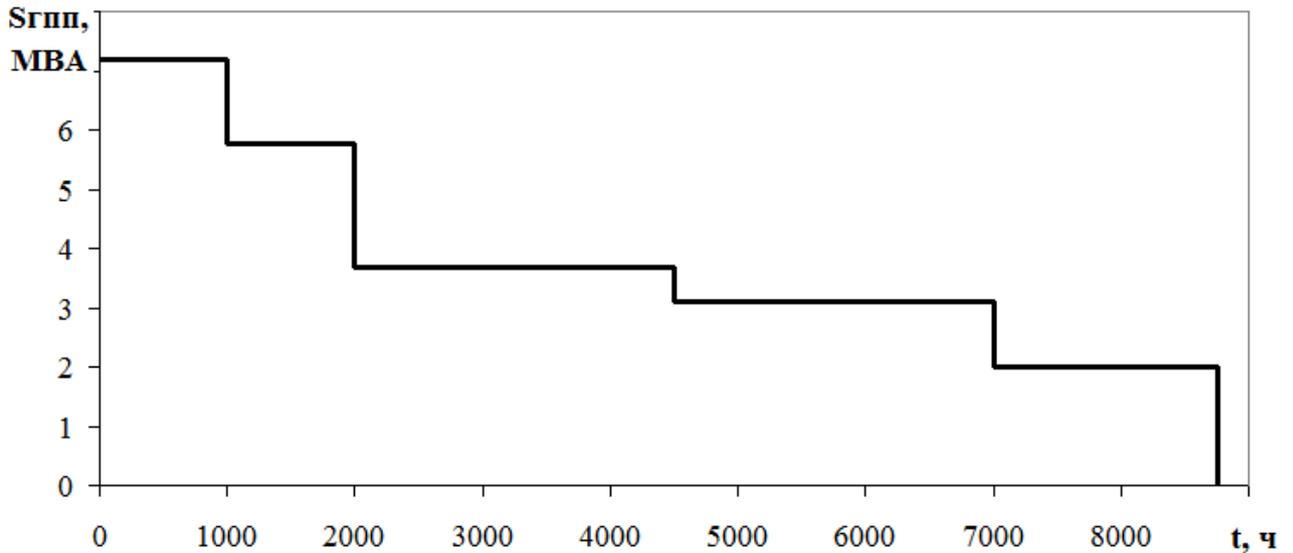


Рисунок 4.1 – Суммарный годовой график нагрузки подстанции предприятия

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	$S_{Bi},$ MVA	$T_i, ч$	$K_{зBi}$	$\Delta W_{кBi},$ $кВт \cdot ч$	$\Delta W_{xi},$ $кВт \cdot ч$
1	7.199	1000	1.143	45979	20506
2	5.759	1000	0.914	29428	20506
3	3.668	2500	0.582	29839	51265
4	3.094	2500	0.491	21231	51265
5	2.014	1760	0.320	6336	36091
$\Sigma \Delta W_{кBi} = 132814$				$\Sigma \Delta W_{xi} = 179633$	

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

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

$$I_{\Delta WTC} = (132814 + 179633) \cdot 2.978 = 930 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_s = 2.978 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

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

$$Z_{\text{прив}} = 0.25 \cdot 21680.53 + 2038 + 930 = 8389 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 10840.27 = 21680.53 \text{ тыс. руб.}$ - цена за два силовых трансформатора ТМН-6300/35;

$$I_s = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 21680.53 = 2038 \text{ тыс. руб.} - \text{годовые отчисления.}$$

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

По сайту производителя силового трансформатора определяем его паспортные данные: $\Delta P_{XX} = 12.3 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 60.3 \text{ кВт}$, $i_{XX} = 0.77 \%$, $u_{K3} = 8 \%$, $K_T = 21776 \text{ тыс. руб.}$

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

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

$$\Delta P_x' = 12.3 + 0.05 \cdot 77 = 16.15 \text{ кВт},$$

где

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta P'_k = 60.3 + 0.05 \cdot 800 = 100.3 \text{ кВт}.$$

Значение коэффициента загрузки трансформатора найдем по формуле:

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

$$K_3 = \frac{7199}{10000} = 0.72 .$$

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

$$P'_m = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P'_k, \quad (4.20)$$

$$P'_m = 16.15 + 0.72^2 \cdot 100.3 = 68.13 \text{ кВт}.$$

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

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

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_{36i}	$\Delta W_{\kappa Bi}$, кВт·ч	ΔW_{xi} , кВт·ч
1	7.199	1000	0.720	25991	32300
2	5.759	1000	0.576	16635	32300
3	3.668	2500	0.367	16867	80750
4	3.094	2500	0.309	12001	80750
5	2.014	1760	0.201	3582	56848
		$\Sigma \Delta W_{\kappa Bi} = 75076$		$\Sigma \Delta W_{xi} = 282948$	

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

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

$$I_{\Delta W_{ПТС}} = (75076 + 282948) \cdot 2.978 = 1066 \text{ тыс. руб.}$$

где $C_9 = 2.978 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}$ - стоимость 1 кВт·ч потерь электрической энергии.

Определим значение суммарных приведенных затрат на ГПП по формуле:

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

$$Z_{прив} = 0.25 \cdot 43551.83 + 4094 + 1066 = 16048 \text{ тыс. руб.}$$

где $K = 2 \cdot 21775.92 = 43551.83$ тыс.руб. – цена за два силовых трансформатора ТДН-10000/35;

$$I_9 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 43551.83 = 4094 \text{ тыс.руб.} \text{ – годовые отчисления.}$$

По минимальным приведенным затратам выбираем к установке на ГПП вариант с силовыми трансформаторами ТМН- 6300/35/10.

5 Выбор схемы внутриводского электроснабжения

Радиальные схемы обычно применяют двухступенчатыми: 1-я ступень - РУ 6-10 кВ; 2-я ступень - КТП.

Суммарная мощность нагрузок, подключаемых к каждой секции РУ, находится по соображениям наиболее полного использования распределительных линий между источником питания и РУ.

Магистральные схемы применяются для запитки от одной магистральной линии до 5-6 трансформаторных подстанций с общей установленной мощностью силовых трансформаторов не более 5-6 МВА. Магистральные схемы по сравнению с радиальными обладают меньшей надежностью, но дают возможность уменьшить число коммутационных аппаратов высокого напряжения [16].

Разновидностью магистральных схем являются схемы двойных сквозных магистралей, которые могут использоваться для питания потребителей любой категории по надежности электроснабжения.

Повышение надежности достигается тем, что все первые трансформаторы каждой КТП подключаются к первой секции РУ 6-10 кВ, а вторые - ко второй секции. Таким образом, при повреждении одной из питающих магистральных линий напряжением 6-10 кВ электрическая энергия поступает к потребителям по второй, оставшейся в работе, магистральной линии с помощью автоматических переключений на секциях 0,4 кВ всех КТП. Эти переключения осуществляются посредством устройства АВР за время порядка 0,1 - 0,2 с, что мало сказывается на работе электроприемников. Существенным преимуществом схем двойных сквозных магистралей является значительное уменьшение количества коммутационных аппаратов в РУ напряжением 6-10 кВ и числа питающих кабелей, что уменьшает стоимость и упрощает схемы распределительной сети. Такие схемы высоконадежны и применяются при наличии нагрузок первой и второй категории по надежности электроснабжения на двухтрансформаторных подстанциях, имеющих две секции на низшем

уровне напряжения.

Комплексное использование радиальных и магистральных схем дает возможность выполнить схему распределительной сети с получением наилучших технико-экономических параметров. Чаще всего, на одном объекте крупные и ответственные потребители основных производств и электроприемники запитываются по радиальной схеме и схемам двойных сквозных магистралей. Неответственные потребители и потребители небольшой мощности могут подключаться по магистральным схемам [17, 18].

6 Определение значений тока КЗ

Определение значений тока КЗ производится для выбора и проверки на термическую и динамическую стойкость электроаппаратов и проводников системы электроснабжения, с целью нахождения уставок срабатывания средств релейной защиты. Расчеты выполняются по методу, успешный продолжительный опыт применения которого на практике доказал его целесообразность [19].

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

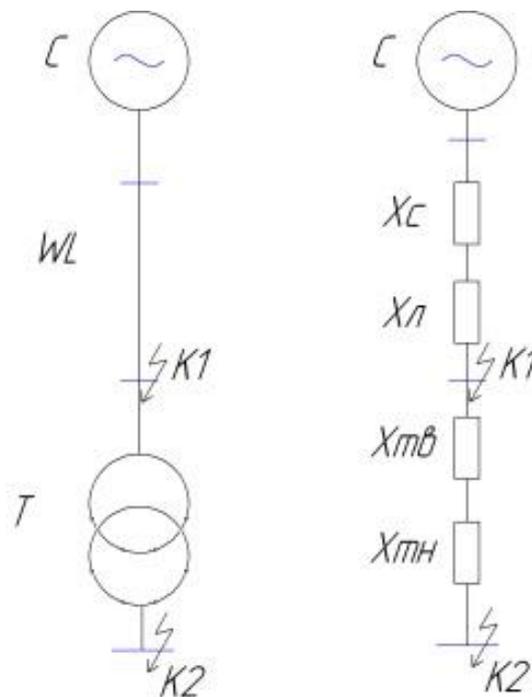


Рисунок 6.1 - Расчётная схема и схема замещения для определения значений токов короткого замыкания

Параметры, необходимые для определения значений токов КЗ:

Параметры внешней ЭЭС: $U_{cp} = 35$ кВ; $S_o = 1000$ МВА; $S_k = 1600$ МВА.

Параметры питающей воздушной линии электропередачи:
 $x_{yd} = 0,4$ Ом/км; $L = 13$ км.

Параметры выбранного к установке на ГПП силового трансформатора:
 $S_H = 6.3$ МВА; $U_K = 7.5$ %.

Определим сопротивление системы по формуле:

$$x_{c.\bar{b}} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_K}; \quad (6.1)$$

$$x_{c.\bar{b}} = \frac{1000}{1600} = 0.625.$$

Определим сопротивление воздушной линии электропередачи по формуле:

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

$$x_{ВЛ.\bar{b}} = \frac{0.4}{2} \cdot 13 \cdot \frac{1000}{35^2} = 2.122.$$

Определим сопротивление принятого к установке на ГПП силового трансформатора ТМН-6300/35/10 по формуле:

$$x_{T.\bar{b}} = \frac{U_K, \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{S_H}; \quad (6.3)$$

$$x_{T.\bar{b}} = \frac{7.5}{100} \cdot \frac{1000}{6.3} = 11.905.$$

6.1 Расчет для точки К1

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез1} = x_{c.\bar{b}} + x_{ВЛ.\bar{b}}; \quad (6.4)$$

$$x_{рез1} = 0.625 + 2.122 = 2.747.$$

Найдем значение базисного тока:

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

$$I_{\sigma.k1} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 16.496 \text{ кА};$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{рез1}} \cdot I_{\sigma}; \quad (6.6)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{2.747} \cdot 16.496 = 6.004 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

$$i_{yd.k1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^{(3)} \cdot \kappa_{yd}; \quad (6.7)$$

$$i_{yd.k1} = \sqrt{2} \cdot 6.004 \cdot 1.8 = 15.284 \text{ кА}.$$

6.2 Расчет для точки К2

Определим суммарное сопротивление цепи:

$$x_{рез2} = x_{рез1} + x_{T,\sigma}; \quad (6.8)$$

$$x_{рез2} = 2.747 + 11.905 = 14.652.$$

Найдем значение базисного тока:

$$I_{\sigma.\kappa 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{сн}}}; \quad (6.9)$$

$$I_{\sigma.\kappa 2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 11} = 52.486 \text{ кА};$$

Определим начальное действующее значение трехфазного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{E_{\sigma}^{\wedge}}{x_{\text{рез}2}} \cdot I_{\sigma.\kappa 2}; \quad (6.10)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{14.652} \cdot 52.486 = 3.582 \text{ кА};$$

Определим значение ударного тока КЗ:

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

$$i_{\text{уд}.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 3.582 \cdot 1.85 = 9.372 \text{ кА}.$$

Результаты определения значений токов короткого замыкания заносим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты определения значений токов короткого замыкания

№ точки КЗ	$U_{\text{сн}}$, кВ	$\kappa_{\text{уд}}$	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$i_{\text{уд}}$, кА
1	35	1,8	6,0	15,3
2	11	1,85	3,6	9,4

7 Выбор основного электрооборудования ГПП

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-СЭЦ-35-25/1000 УХЛ1.

ВВ выбираем и проверяем по следующим условиям:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.2)$$
$$139 \text{ А} < 1000 \text{ А},$$

где

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{н.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}}, \quad (7.3)$$
$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 36.7} = 139 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (7.4)$$
$$6 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА},$$

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

$$4.2 \text{ кА} \leq 14.1 \text{ кА},$$

где

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

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.07}} = 4.2 \text{ кА},$$

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

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

- электродинамической стойкости:

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

$$6 \text{ кА} \leq 25 \text{ кА};$$

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

$$15.3 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$6.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 90 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

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

7.1.2 Выбор разъединителя

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем разъединитель типа РДЗ-СЭЩ-35.

Разъединитель выбираем и проверяем по следующим условиям:

- уровню номинального напряжения:

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

- значению номинального тока:

$$I_{max} < I_n, \quad (7.12)$$
$$139 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{нр.с}, \quad (7.13)$$
$$15.3 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq I_{нр.с}^2 \cdot t_{нр.с}, \quad (7.14)$$
$$6.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП разъединитель типа РДЗ-СЭЩ-35 прошел необходимые проверки.

7.1.3 Выбор трансформатора тока

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор тока типа ТВТ-35.

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:

$$I_{\max} \leq I_{Н.ТТ}, \quad (7.16)$$
$$139 \text{ А} \leq 200 \text{ А};$$

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (7.17)$$
$$15.3 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном.}}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.18)$$
$$6.1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 62.5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- 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 2,5 ВА. Определим активное сопротивление прибора:

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

$$R_{\text{приб}} = \frac{2.5}{5^2} = 0.1 \text{ Ом}.$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{\text{пр}} = 1.2 - 0.1 - 0.1 = 1 \text{ Ом}.$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 60}{1} = 1.05 \text{ мм}^2.$$

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-35 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:

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

$$s = \frac{99}{1.1} = 90 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провода АС-95/16 мм² с максимальным значением продолжительного тока 330 А.

Определим наибольшую критическую напряженность электрического поля:

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

$$E_0 = 30.3 \cdot 0.82 \cdot \left(1 + \frac{0.299}{\sqrt{0.678}} \right) = 33.9 \text{ кВ/м.}$$

Определим значение напряженности вблизи проводника:

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

$$E = \frac{0.354 \cdot 36.75}{0.678 \cdot \lg \frac{1.26 \cdot 150}{0.678}} = 7.8 \text{ кВ/м.}$$

Проверим на отсутствие короны:

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

$$8.4 \text{ кВ/м} < 30.5 \text{ кВ/м.}$$

Принятый к установке на стороне высокого напряжения на ГПП в качестве гибких шин провод типа АС-95/16 прошел необходимые проверки.

7.2 Выбор электрического оборудования на стороне низкого напряжения 10 кВ

7.2.1 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем ВВ типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630.

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:

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

$$485 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

где

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

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 485 \text{ А};$$

- коммутационной способности:

$$I_{к1}^{(3)} \leq I_{откл.н}, \quad (7.30)$$

$$3.6 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

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

$$2.5 \text{ кА} \leq 9.9 \text{ кА},$$

где

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{к1}^{(3)} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (7.32)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 3.6 \cdot e^{\frac{-0.05}{0.07}} = 2.5 \text{ кА},$$

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

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

- электродинамической стойкости:

$$I_{к1}^{(3)} \leq I_{пр.с}, \quad (7.34)$$

$$3.6 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА};$$

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

$$9.4 \text{ кА} \leq 45 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

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

$$2.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Принятый к установке на стороне низкого напряжения на ГПП высоковольтный выключатель типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630 прошел необходимые проверки.

7.2.2 Выбор трансформатора тока

На стороне низкого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор тока типа ТШЛП-10.

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:

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

- электродинамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{э\text{лдин.ст}}, \quad (7.39)$$
$$9.4 \text{ кА} \leq 80 \text{ кА};$$

- термической стойкости:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1\text{ном.}}^2 \cdot t_{откл} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (7.40)$$
$$2.2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 160 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

- величине вторичной нагрузки:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} , \quad (7.41)$$

Принимаем $Z_2 \approx R_2$

$$R_2 = R_{приб} + R_{пр} + R_{к} , \quad (7.42)$$

К вторичной нагрузке трансформатора тока на стороне низкого напряжения ГПП относятся счетчик активной и реактивной энергии, амперметр мощностью 5,6 ВА. Определим активное сопротивление приборов:

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

$$R_{приб} = \frac{5.6}{5^2} = 0.224 \text{ Ом} .$$

Значение максимально допустимого сопротивления проводов составит:

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

$$R_{пр} = 1.2 - 0.224 - 0.1 = 0.876 \text{ Ом} .$$

Определим минимально допустимое сечение медного провода:

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

$$s = \frac{0.0175 \cdot 45}{0.876} = 0.899 \text{ мм}^2 .$$

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 ТШЛП-10 прошел необходимые проверки.

По такому же принципу выбираем трансформаторы тока для отходящих линий.

7.2.3 Выбор трансформатора напряжения

На стороне высокого напряжения главной понизительной подстанции устанавливаем трансформатор напряжения типа НОЛ-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:

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

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

К вторичной нагрузке трансформатора напряжения относятся счетчики активной и реактивной электрической энергии с общей мощностью 34 ВА.

$$34 \text{ ВА} \leq 225 \text{ ВА}.$$

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

7.2.4 Выбор жестких шин

Выбор жестких шин осуществляем по экономической плотности тока:

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

$$s = \frac{346}{1.1} = 315 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые шины прямоугольного сечения с размерами 60х6 мм, с максимальным продолжительным током 860 А.

Определим минимальное сечение шины по условию термической стойкости:

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

$$s_{\text{min}} = \frac{\sqrt{2.2} \cdot 10^3}{66} = 22.5 \text{ мм}^2.$$

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

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

$$F_{\text{max}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{1} \cdot 2 \cdot 9400^2 \cdot 1 \cdot 1 = 30.6 \text{ Н.}$$

Определим значение момента сопротивления поперечного сечения шины по формуле:

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

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

Найдем значение максимального напряжения в материале проводника:

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

$$\sigma_{\max} = \frac{30.6 \cdot 2}{8 \cdot 3.6 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-6} = 2.1 \text{ МПа}.$$

Проверим на электродинамическую стойкость:

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

$$2.1 \text{ МПа} \leq 247.1 \text{ МПа},$$

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:

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

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

Найдем значение частоты собственных колебаний по формуле:

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

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

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:

$$F_{\max}^{(3)} \leq F_{доп}, \quad (7.58)$$

$$30.6 \text{ Н} < 1731 \text{ Н},$$

где

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

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

где

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

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

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-10/630-7,5 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:

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

$$485 \text{ А} < 630 \text{ А};$$

- значению максимальной нагрузки на головку изолятора:

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

$$88 \text{ Н} < 4500 \text{ Н},$$

где

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

$$F_{расч} = 0.5 \cdot \frac{9400^2}{1} \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 8.8 \text{ Н.}$$

Принятые к установке на ГПП проходные изоляторы типа ИП-10/630-7,5 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 4 м. Заземлители забиваем в грунт вертикально на 0.5 м глубже поверхности земли, расстояние между заземлителями принимаем равным 8 м. Вертикальные заземлители соединяем между собой стальной полосой [20].

Определим значение допустимого сопротивления для заземляющего устройства в целом:

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

$$R_{\text{доп}} = \frac{40}{100} \cdot 4 = 1.6 \text{ Ом.}$$

Определим сопротивление растекания для одиночного вертикального заземлителя:

$$R_g = 0.298 \cdot \rho_{\text{р.в.}} \cdot \kappa_c, \quad (8.2)$$

$$R_g = 0.298 \cdot 60 \cdot 1.5 = 26.8 \text{ Ом,}$$

где

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

$$\rho_{\text{р.в.}} = 1.5 \cdot 40 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Определим суммарное число вертикальных заземлителей:

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

$$n_6 = \frac{26.8}{0.67 \cdot 1.6} = 25 \text{ шт.}$$

Определим необходимую протяженность горизонтального заземлителя:

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

$$l_2 = 8 \cdot 25 = 200 \text{ м.}$$

Определим сопротивление растекания для горизонтального заземлителя:

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

$$R_2 = \frac{0.366 \cdot 160}{200} \cdot \lg \frac{2 \cdot 200^2}{0.04 \cdot 0.5} = 1.9 \text{ Ом,}$$

где

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

$$\rho_{p.z.} = 4 \cdot 40 = 160 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное сопротивление растекания для горизонтального заземлителя:

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

$$R_2' = \frac{1.9}{0.31} = 6.2 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное сопротивление растекания для вертикальных заземлителей:

$$R_{\epsilon}^{\cdot} = \frac{R_{\zeta}^{\cdot} \cdot R_{\text{дон}}^{\cdot}}{R_{\zeta}^{\cdot} - R_{\text{дон}}^{\cdot}}, \quad (8.9)$$

$$R_{\epsilon}^{\cdot} = \frac{6.2 \cdot 1.6}{6.2 - 1.6} = 2.2 \text{ Ом.}$$

Определим скорректированное число вертикальных заземлителей:

$$n_{\epsilon}^{\cdot} = \frac{R_{\epsilon}^{\cdot}}{\eta_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon}^{\cdot}}, \quad (8.10)$$

$$n_{\epsilon}^{\cdot} = \frac{26.8}{0.61 \cdot 2.2} \approx 20 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке на подстанции 20 вертикальных заземлителей.

Заключение

В бакалаврской работе по проектированию системы электроснабжения предприятия по производству железобетонных конструкций ООО «ЗЖБК» были определены значения расчетных электрических нагрузок укрупнено для каждого из цехов предприятия.

По объединенной нагрузке рядом расположенных цехов №12, №15, №16 и №18, которая составила 461 кВт, была определена необходимая мощность силовых трансформаторов КТП. К установке была принята цеховая КТП с двумя силовыми трансформаторами ТМГ-400/10 без конденсаторных установок.

Внешнее электроснабжение предприятия осуществляется по двум воздушным линиям напряжением 35 кВ.

По суммарной расчетной мощности промышленного предприятия были выбраны два силовых трансформатора на ГПП типа ТМН-6300/35/10, приведенные затраты на которые оказались меньше чем на трансформаторы ТДН-10000/35/10.

Для внутривозвездского электроснабжения выбрана смешанная схема.

Определены значения токов КЗ. Начальное действующее значение трехфазного тока и значение ударного тока КЗ использовались для выбора и проверки оборудования ГПП.

В результате расчета заземления на ГПП к установке на подстанции приняты 20 вертикальных заземлителей.

Список используемых источников

1. 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: 15.04.2018).
2. 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.
3. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
5. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
6. Wang Y., Feng F. Loading rate optimization of hybrid power supply system in self-adaptive dual-generator parallel operation // 2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). Broadbeach. 2017, pp. 43-46.
7. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.
8. Комиссаров Ю.А., Бабокин Г.И. Общая электротехника и электроника : учебник. 2-е изд., испр. и доп. М. : ИНФРА-М, 2017. 479 с.
9. Yang F., Gu C. Optimal design of power supply system for a novel permanent bistable electromagnetic clutch // 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). Sydney. NSW. 2017. pp. 1-4.
10. 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: 16.04.2018).

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

12. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.

13. Konovalov Y. V., Nurbosynov D. N. Optimization of power supply system reactive power compensation at the oil field electrical substation // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). St. Petersburg. 2017. pp. 1-5.

14. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2014. 496 с.

15. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.

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

17. Мастепаненко М.А. Введение в специальность. Электроэнергетика и электротехника : учеб. пособие. Ставрополь : СтГАУ, 2015. 116 с.

18. 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.

19. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.

20. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2018. 416 с.