

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Увалиева Адеми Ермековна

Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по повышению
качества электрической энергии

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07101– Энергетика

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоциированный профессор
Е. А. Сарсенбаев
«17» 06 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по
повышению качества электрической энергии»

6B07101– Энергетика

Выполнил:

Увалиева А. Е.

Рецензент
д.т.н., профессор
НАО «ХУЭС им. Г. Даукеева»
М. А. Мустафин
«3» 06 2024 г.

Научный руководитель
к.т.н., ассоциированный профессор
Б. М. Бегентаев
«17» 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

6B07101 – Энергетика

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергетика»

PhD, ассоциированный профессор

Е. А. Сарсенбаев

«25» 01 2024 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Увалиевой Адеми Ермековне

Тема: Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по
повышению качества электрической энергии

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам №548-П/Ө от «4 декабря»
2023г.

Срок сдачи законченной работы «15» июня 2024г.

Исходные данные к дипломной работе: Генеральный план завода (Рисунок 1), электрические
нагрузки (Таблица 1). Мощность энергосистемы 800 МВА, установлены два
трансформатора по 63 МВА, напряжение 110/10 кВ. Возможно питание от транзитной
двухцепной ЛЭП-110 кВ, мощность к.з. в месте отпайки 600 МВА. Расстояние от
подстанции энергосистемы до завода 2,1 км, а от транзитной ЛЭП-110 кВ – 0,4 км.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Расчет электрических нагрузок предприятий;
- б) Сравнение вариантов внешнего электроснабжения;
- в) Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ;
- г) Повышение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- а) Генеральный план цементного завода;
- б) Однолинейная схема электроснабжения цементного завода.

Представлены 14 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований учебных материалов

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Расчет электрических нагрузок предприятий	08.04.2024	—
Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	22.04.2024	—
Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	13.05.2024	—
Повышение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий	20.04.2024	✓

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Расчет электрических нагрузок предприятий	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	25.05.2024	
Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	25.05.2024	
Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	10.06.2024	
Повышение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий	Б. М. Бегентаев, к.т.н., ассоциированный профессор	10.06.2024	
Нормоконтролер	А.О. Бердибеков, магистр, senior лектор	10.06.2024	

/ Научный руководитель  Б. М. Бегентаев
 Задание принял к исполнению обучающийся  А. Е. Увалшева
 Дата " 25 " 01 2024 г.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе было произведено проектирование системы электроснабжения цементного завода. Представлены сведения по технологии производства и основному электрооборудованию. Выполнено технико-экономическое обоснование вариантов внешнего электроснабжения, и выбран оптимальный вариант.

Рассмотрены вопросы расположения подстанции, выбора типа и мощности трансформаторов, а также составлена карта нагрузок. Проведен расчет токов короткого замыкания и выбор устройств защиты. Выполнен анализ надежности электросистемы. Проведен анализ надежности электросистемы и предложены меры по повышению качества электрической энергии, включая разработку технических решений для улучшения показателей качества электроэнергии.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста цемент зауытының электрмен жабдықтау жүйесінің жобасы жасалды. Өндіріс технологиясы мен негізгі электр жабдықтары бойынша мәліметтер ұсынылды. Сыртқы электрмен жабдықтау нұсқаларының техникалық-экономикалық негіздемесі орындалып, оңтайлы нұсқа тандалды.

Подстанцияның орналасуы, трансформаторлардың түрі мен қуатын таңдау мәселелері қарастырылды, сондай-ақ жүктеме картасы жасалды. Қысқа тұйықталу токтарын есептеу және қорғаныс құрылғыларын таңдау жүргізілді. Электр жүйесінің сенімділігіне талдау жасалды. Электр жүйесінің сенімділігіне талдау жасалып, электр энергиясының сапасын жақсартуға арналған техникалық шешімдерді әзірлеуді қоса алғанда, сапа көрсеткіштерін жақсарту бойынша шаралар ұсынылды.

ANNOTATION

The diploma project involves the design of the power supply system for a cement plant. Information on the production technology and the main electrical equipment is presented. A techno-economic justification of various external power supply options has been conducted, and the optimal option has been selected.

Issues related to the substation location, the type and capacity of transformers, and the load map have been considered. Short-circuit current calculations and the selection of protective devices have been carried out. An analysis of the reliability of the electrical system has been performed. Measures to improve the quality of electrical energy, including the development of technical solutions to enhance quality indicators, have been proposed.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Расчет электрических нагрузок предприятий	8
1.1	Исходные данные	8
1.2	Расчет осветительной нагрузки	11
1.3	Расчет электрических нагрузок на 0,4 кВ	13
1.4	Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	20
1.5	Распределение низковольтных конденсаторных батареи пропорционально реактивным нагрузкам ТП	24
1.6	Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	25
1.6.1	Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах	25
1.6.2	Определение расчетных мощностей синхронных двигателей	26
1.6.3	Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов	26
2	Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	30
2.1	Первый вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-110 кВ)	30
2.2	Второй вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-10 кВ)	37
3	Выбор оборудования и расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ	40
3.1	Расчет тока короткого замыкания на шинах ГПП	40
3.2	Выбор выключателей	41
3.3	Выбор кабелей отходящих линиях	43
3.4	Выбор выключателя нагрузки на ТП	45
3.5	Выбор автоматических выключателей на ТП	45
3.6	Выбор трансформатора тока	45
3.7	Выбор трансформатора напряжения	49
3.8	Выбор шин ГПП	50
3.9	Выбор изоляторов ГПП	51
4	Повышение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий	53
4.1	Показатели качества электрической энергии и расчет их в условиях внутреннего электроснабжения предприятия	53
4.2	Рекомендация технических решений по повышению качества электрической энергии	58
4.3	Моделирование в среде Matlab по определению эффективности применяемых решений	62
	Заключение	66
	Список использованной литературы	67

ВВЕДЕНИЕ

Основными потребителями электроэнергии являются промышленность, транспорт, сельское хозяйство и коммунальные службы городов и поселков. Причем более двух третей электроэнергии потребляется промышленными объектами. Системы электроснабжения промышленных предприятий, включающие сети и трансформаторы с напряжением 1000 В и выше, а также преобразовательные и распределительные подстанции, обеспечивают передачу электроэнергии от энергосистем в необходимом количестве и надлежащего качества.

Электрическая энергия должна передаваться, распределяться и потребляться с высокой экономичностью и надежностью. Для этого энергетиками была разработана надежная и экономичная система распределения электроэнергии на всех уровнях напряжения, максимально приближая высокое напряжение к потребителям. Потребители электроэнергии имеют свои особенности, которые требуют соблюдения определенных условий электроснабжения: надежность питания, качество электроэнергии, резервирование и защита отдельных элементов.

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий важно правильно выбирать напряжения, определять электрические нагрузки, выбирать тип, количество и мощность трансформаторных подстанций, виды их защиты, системы компенсации реактивной мощности и методы регулирования напряжения. В системах распределения электроэнергии широко применяются распределительные устройства, подстанции и линии электропередач, создавая гибкую и надежную систему передачи, что приводит к значительной экономии проводов и кабелей.

Данный дипломный проект посвящен проектированию системы электроснабжения цементного завода. В работе рассматриваются вопросы выбора типа и мощности трансформаторов, составления карты нагрузок, расчета токов короткого замыкания и выбора устройств защиты. Особое внимание уделяется повышению качества электрической энергии, включая разработку технических решений для улучшения показателей качества электроэнергии.

1 Расчет электрических нагрузок предприятий

1.1 Исходные данные

Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы мощностью 800 МВА, на которой установлены два трансформатора мощностью по 63 МВА, напряжением 110/10 кВ или глухой отпайкой от транзитной двухцепной ЛЭП-110 кВ, мощность к.з. в месте отпайки 600 МВА.

Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 2,1 км, а от транзитной ЛЭП-110 кВ – 0,4 км.

Координаты расположения цементного завода: г. Конаев, 43.880774°N 77.052389°E. Предприятие работает в три смены.

Генеральный план цементного завода приведен на рисунке 1, а электрические нагрузки представлены в таблице 1.

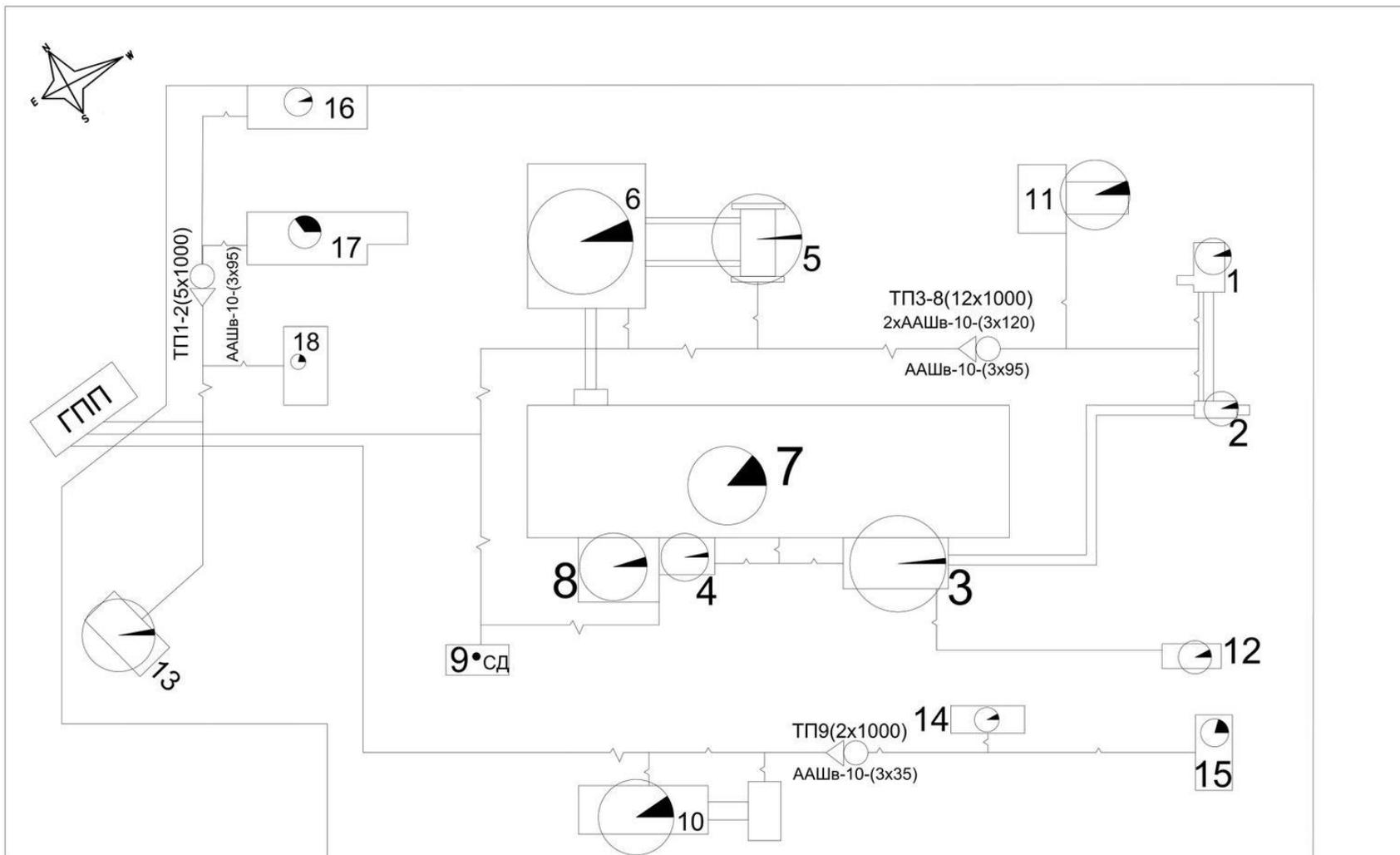


Рисунок 1 – Генеральный план цементного завода

Таблица 1 – Электрические нагрузки

Номер по плану	Наименование	Количество ЭП, n	Установленная мощность, кВт		K _н	cosφ	tgφ
			Одного ЭП, P _н	Суммарная, ΣP _н			
1	Отделение первичного дробления	18	10-30	430	0,5	0,8	0,75
2	Отделение вторичного дробления	9	10-50	315	0,5	0,8	0,75
3	Отделение сырьевых мельниц	64	20-50	2080	0,6	0,8	0,75
4	Шлакоосушительное отделение	18	5-40	510	0,7	0,85	0,62
5	Холодный конец печного отделения	30	20-150	1800	0,8	0,9	0,48
6	Горячий конец печного отделения	32	50-150	1950	0,8	0,9	0,48
7	Объединенный склад	25	10-80	1500	0,6	0,6	1,33
8	Отделение цементных мельниц	22	10-100	1300	0,6	0,8	0,75
9	Компрессорная 10 кВ	5	1250	6250	0,7	0,8	0,75
10	Цементные силосы и упаковочная	20	20-80	1100	0,8	0,9	0,48
11	Отделение силосов сырьевой муки	18	14-100	1125	0,7	0,7	1,02
12	Мех. мастерские	28	1-20	280	0,6	0,7	1,02
13	Котельная	43	10-80	1300	0,7	0,8	0,75
14	Материальный склад	16	3,8-28	170	0,4	0,7	1,02
15	Цех сортировки и хранения мелющих тел	15	5-14	130	0,6	0,9	0,48
16	Столовая	31	1-30	540	0,4	0,9	0,48
17	Заводоуправление	38	1-20	220	0,4	0,7	1,02
18	Гараж	25	1-10	130	0,2	0,7	1,02

1.2 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки при определении нагрузки предприятия производим по удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициенту спроса.

$$P_{po} = K_c \cdot P_{yo}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

$$Q_{po} = \operatorname{tg} \varphi_o \cdot P_{po}, \text{ кВар} \quad (2)$$

где K_c – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;
 $\operatorname{tg} \varphi_o$ – коэффициент реактивной мощности, определяется по известному $\cos \varphi_o$ осветительной установки;

P_{yo} – установленная мощность приемников освещения по цеху, определяется по удельной осветительной нагрузке на 1 м^2 поверхности пола и известной производственной площади:

$$P_{yo} = \rho_o \cdot F, \text{ кВт} \quad (3)$$

где F – площадь пола производственного помещения в м^2 ;

ρ_o – удельная расчетная мощность в кВт на 1 м^2 , величина ρ_o зависит от рода помещения.

Освещенность помещения определяется:

$$E = S \cdot H, \quad (4)$$

где E – освещенность помещения, выраженная в Люксах, S – это площадь помещения, а H – коэффициент высоты потолка.

Дано: $S = 27\,300 \text{ м}^2$, $H = 8 \frac{1}{\text{м}^2}$, тогда $E = 661\,500 \cdot 8 = 5\,292\,000 \text{ лк}$.

Расчет осветительной нагрузки завода занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет осветительной нагрузки

№	Наименование производственного помещения	Площадь помещен., м ²	Удельная осв. нагрузка p_0 кВт/м ²	Коэффициент спроса K_c	Установленная мощность освещения P_{yo} , кВт	Расчетная осветительная нагрузка		cosφ	tgφ
						P_{po} , кВт	Q_{po} , кВар		
1	Отд-е первич. дробления	2188	0,016	0,5	35	17,5	13,1	0,8	0,75
2	Отд-е вторич. дробления	1900	0,016	0,5	30	15,2	11,4	0,8	0,75
3	Отд-е сырьевых мельниц	5472	0,015	0,5	82	41	30,8	0,8	0,75
4	Шлакоосушительное отд-е	2188	0,016	0,4	35	14	8,7	0,85	0,62
5	Хол. конец печного отд-я	2592	0,018	0,6	47	28	13,4	0,9	0,48
6	Гор. конец печного отд-я	13824	0,018	0,6	249	149,3	71,7	0,9	0,48
7	Объединенный склад	34790	0,016	0,3	557	167	222,1	0,6	1,33
8	Отд-е цемент. мельниц	5702	0,016	0,5	91	45,6	34,2	0,8	0,75
9	Компрессорная 10 кВ	1935	0,010	0,8	19	15,5	11,6	0,8	0,75
10	Цементные силосы и упаковочная	7235	0,016	0,9	116	104,2	50	0,9	0,48
11	Отделение сырьевой муки	5840	0,014	0,8	82	65,4	66,7	0,7	1,02
12	Механические мастерские	1498	0,016	0,7	24	16,8	17,1	0,7	1,02
13	Котельная	2938	0,013	0,8	38	30,6	22,9	0,8	0,75
14	Материальный склад	1838	0,010	0,5	18	9,2	9,4	0,7	1,02
15	Цех сортировки и хранения мелющихся тел	2850	0,016	0,7	46	31,9	15,3	0,9	0,48
16	Столовая	2592	0,015	0,5	39	19,4	9,3	0,9	0,48
17	Заводоуправление	6716	0,020	0,5	134	67,2	68,5	0,7	1,02
18	Гараж	2950	0,012	0,3	35	10,6	10,8	0,7	1,02
	Территория	661500	0,002	0,6	1323	793,8	595,4	0,8	0,75

1.3 Расчет электрических нагрузок на 0,4 кВ

Расчет электрических силовых нагрузок напряжением до 1 кВ по цехам завода производим методом упорядоченных диаграмм упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветител. нагрузок по цехам сведены в таблицу 3.

Для построения картограммы нагрузок предприятия:

$$R = \sqrt{\frac{P_p}{m \cdot \pi}} \text{ мм}; \alpha = \frac{P_{po}}{P_p} \cdot 360^{\circ};$$

где R – радиус окружности соответствующий расчетной нагрузке, мм;

α – угол сектора соответствующей осветительной нагрузке;

m – масштаб для определения площади круга, равный 0,05 кВт/мм;

Для цехов найдем:

n – количество электроприемников;

P_{ni} – номинальные мощности приемников;

ΣP_n – суммарную номинальную мощность.

$$P_{ni} = P_{n1} \cdot \cos\varphi; \quad (5)$$

$$P_{ni} = P_{n1} \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{\Pi B}; \quad (6)$$

$$m = P_{n \text{ макс}} / P_{n \text{ мин}}; \quad (7)$$

$$P_{cm} = K_n \cdot P_n, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар}; \quad (9)$$

$$n_{\text{э}} = 2 \Sigma P_n / P_{n \text{ макс}}; \quad (10)$$

$$K_M = f(n_{\text{э}}; K_n); \quad (11)$$

$$P_p = K_M \cdot P_{cm}; \quad (12)$$

$$Q_p = Q_{cm}, \text{ если } n_{\text{э}} > 10, \quad (13)$$

$$Q_p = 1,1 * Q_{cm}, \text{ если } n_{\text{э}} \leq 10; \quad (14)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (15)$$

Таблица 3 – Расчет силовых нагрузок напряжением 0,4 кВ

Номер цеха	Наименование цехов и групп ЭП	n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		η _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
			4	5				9	10			13	14	15		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Отд-е первичн. дробления															
	Силовая	18	1-30	430	>3	0,5	0,8/ 0,75	215	161,25	28,6	1,16	249,4	161,25			
	Осветительная							17,5	13,1			17,5	13,1			
	Итого:							232,5	174,25			266,9	174,35	318,8	41,2	23,6
2	Отделение вторичного дробления															
	Силовая	9	10-50	315	>3	0,5	0,8/ 0,75	157,5	118,12	12,6	1,4	220,5	118,12			
	Осветительная							15,2	11,4			15,2	11,4			
	Итого:							172,7	129,52			235,7	129,52	268,9	38,7	23,2
3	Отделение сырьевых мельниц															
	Силовая	64	20-50	2080	<3	0,6	0,8/ 0,75	1248	936	2,5	1,6	1996,8	1029,6			
	Осветительная							41	30,8			41	30,8			
	Итого:							1289	966,8			2037,8	1060,4	2297,2	114	7,2

Продолжение таблицы 3

Номер цеха	Наименование цехов и групп ЭП	n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		n _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4	Шлакоосушительное отделение															
	Силовая	18	5-40	510	>3	0,7	0,85/ 0,62	357	221,34	25,5	1,15	410,55	221,34			
	Осветительная							14	8,7			14	8,7			
	Итого:							371	230,04			424,55	230,04	482,9	52	11,9
5	Холодный конец печного отделения															
	Силовая	30	20-150	1800	>3	0,8	0,9/ 0,48	1440	691,2	24	1,15	1656	691,2			
	Осветительная							28	13,4			28	13,4			
	Итого:							1468	704,6			1684	704,6	1825,5	103,6	6
6	Горячий конец печного отделения															
	Силовая	32	50-150	1950	=3	0,8	0,9/ 0,48	1560	748,8	3	1,29	2012,4	823,68			
	Осветительная							149,3	71,7			149,3	71,7			
	Итого:							1709,3	820,5			2161,7	895,38	2339,8	117,3	24,9

Продолжение таблицы 3

Ном ер цеха	Наименование цехов и групп ЭП	n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		n _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
			4	5				9	10			13	14	15		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	Объединенный склад															
	Силовая	25	10- 80	1500	>3	0, 6	0,6/ 1,33	900	1197	37,5	1,15	1035	1197			
	Осветительная							167	222,1			167	222,1			
	Итого:							1067	1419,1			1202	1419, 1	1859 ,7	87,5	50
8	Отделение цементных мельниц															
	Силовая	22	10- 100	1250	>3	0, 6	0,8/ 0,75	750	562,5	25	1,2	900	562,5			
	Осветительная							45,6	34,2			45,6	34,2			
	Итого:							795,6	596,7			945,6	596,7	1118 ,1	77,6	17,4
9	Компрессорная 10 кВ															
	Осветительная							15,5	11,6			15,5	11,6			
	Итого:							15,5	11,6			15,5	11,6	18,2	9,9	360

Продолжение таблицы 3

Номер цеха	Наименование цехов и групп ЭП	n	Номинальная мощность		m	K _н	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		n _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10	Цементные силосы и упаковочная															
	Силовая	20	20-80	1100	>3	0,8	0,9/ 0,48	880	422,4	27,5	1,1 5	1012	422,4			
	Осветительная							104,2	50			104,2	50			
	Итого:							984,2	472,4			1116,2	472,4	1212	84,3	33,6
11	Отделение силосов сырьевой муки															
	Силовая	18	14-100	1125	>3	0,7	0,7/ 1,02	787,5	803,25	22,5	1,1 7	921,4	803,25			
	Осветительная							65,4	66,7			65,4	66,7			
	Итого:							852,9	869,95			986,8	869,95	1315,5	79,3	23,9
12	Механические мастерские															
	Силовая	28	1-20	280	>3	0,6	0,7/ 1,02	168	171,36	28	1,2	201,6	171,36			
	Осветительная							16,8	17,1			16,8	17,1			
	Итого:							184,8	188,46			218,4	188,46	288,5	37,3	27,7

Продолжение таблицы 3

Но ме р цех а	Наименование цехов и групп ЭП	п	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		п _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град		
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА				
			1	2				3	4			5	6	7			8	9
13	Котельная																	
	Силовая	43	10-80	1300	>3	0,7	0,8/ 0,75	910	682,5	32,5	1,15	1046, 5	682,5					
	Осветительная							30,6	22,9			30,6	22,9					
	Итого:							940,6	705,4			1077, 1	705,4	1287, 5	82,8	10,2		
14	Материальны й склад																	
	Силовая	16	3,8- 28	170	>3	0,4	0,7/ 1,02	68	69,36	12,1	1,55	105,4	69,36					
	Осветительная							9,2	9,4			9,2	9,4					
	Итого:							77,2	78,76			114,6	78,76	139	27	28,9		
15	Цех сортировки и хранения мельющих тел																	
	Силовая	15	5-14	130	<3	0,6	0,9/ 0,48	78	37,44	2,8	1,58	123,2	41,18					
	Осветительная							31,9	15,3			31,9	15,3					
	Итого:							109,9	52,74			155,1	56,48	165	31,4	74		

Продолжение таблицы 3

Но ме р це ха	Наименование цехов и групп ЭП	n	Номинальная мощность		m	K _и	cosφ/ tgφ	Средняя нагрузка		n _э	K _м	Расчетная мощность			R, мм	α, град
			P _{min} - P _{max} , кВт	∑ P, кВт				P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	Столовая															
	Силовая	31	1-30	540	>3	0,4	0,9/ 0,48	216	103,68	36	1,3	280,8	103,68			
	Осветительная							19,4	9,3			19,4	9,3			
	Итого:							235,4	112,98			300,2	112,98	320,8	43,7	23,3
17	Заводууправле ние															
	Силовая	38	1-20	220	>3	0,4	0,7/ 1,02	88	89,76	22	1,4	123,2	89,76			
	Осветительная							67,2	68,5			67,2	68,5			
	Итого:							155,2	158,26			190,4	158,26	247,6	34,8	127
18	Гараж															
	Силовая	25	1-10	130	>3	0,2	0,7/ 1,02	26	26,52	26	1,55	40,3	26,52			
	Осветительная							10,6	10,8			10,6	10,8			
	Итого:							36,6	37,32			50,9	37,32	63,1	18	75
	Освещение территории											793,8	595,4			
	Итого на шинах 0.4 кВ											13977,2 5	8497,1	1635 7,4		

1.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ

Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1 кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах; шага стандартных мощностей; экономичных режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

Данные для расчета:

$$P_{p0,4} = 13977,25 \text{ кВт};$$

$$Q_{p0,4} = 8497,1 \text{ кВар};$$

$$S_{p0,4} = 16357,4 \text{ кВА}.$$

Цементный завод относится ко 2 категории потребителей, завод работает в две смены, коэффициент загрузки трансформаторов будет равен $K_{зтр} = 0,8$. Принимаем цеховой трансформатор мощностью $S_{нт} = 1000$ кВА.

Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, рассчитывается по формуле:

$$N_{тmin} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \times S_{нт}} + \Delta N = \frac{13977,25}{0,8 \times 1000} = 17,47 + 0,53 = 18 \quad (16)$$

где $P_{p0,4}$ – суммарная расчетная активная нагрузка, K_3 – коэффициент загрузки трансформатора, $S_{нт}$ – принятая номинальная мощность трансформатора, ΔN – добавка до ближайшего целого числа.

Из рисунка 2 по кривым определяем m , для нашего случая $m = 1$.

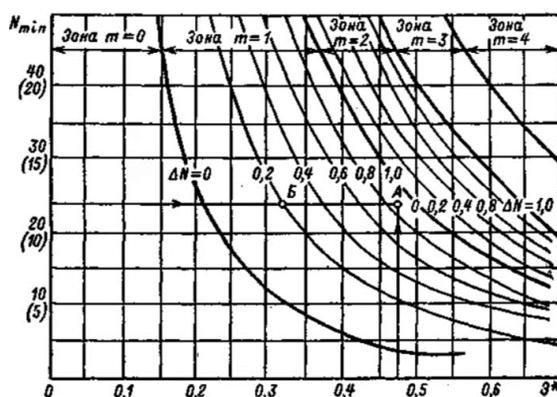


Рисунок 2 – Кривая для определения дополнительного числа трансформаторов

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{т.э} = N_{\min} + m = 18 + 1 = 19, \quad (17)$$

где m – дополнительное число трансформаторов, $N_{т.э}$ – определяется удельными затратами на передачу реактивной мощности с учетом постоянных составляющих капитальных затрат $З \cdot п/ст$.

Для практических расчетов допускается принимать $З \cdot п/ст = 0,5$; $K_3 = 0,8$; $N_{\min} = 18$; $\Delta N = 0,53$.

По выбранному числу трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность Q_1 , которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{тэ} \cdot S_{нт} \cdot K_3)^2 - P_{р0,4}^2} \quad (18)$$

$$Q_1 = \sqrt{(19 \cdot 1000 \cdot 0,8)^2 - 13977,25^2} = 5972,98 \text{ кВар.}$$

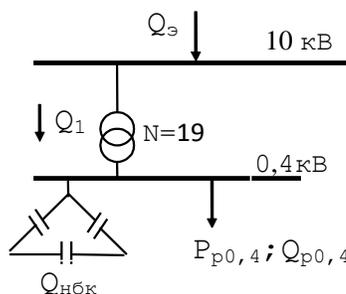


Рисунок 3 – Расчетная схема для составления баланса реактивной мощности

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определим величину $Q_{нбк1}$:

$$Q_{нбк1} + Q_1 = Q_{р0,4}, \quad (19)$$

$$Q_{нбк1} = Q_{р0,4} - Q_1 = 8497,1 - 5972,98 = 2524,12 \text{ кВар.} \quad (20)$$

Определим дополнительную мощность $Q_{нбк2}$ НБК для данной группы трансформаторов:

$$Q_{нбк2} = Q_{р0,4} - Q_{нбк1} - \gamma \cdot N_{тэ} \cdot S_{нт}, \quad (21)$$

$$Q_{нбк2} = 8497,1 - 2524,12 - 0,46 \cdot 19 \cdot 1000 = -2767 \text{ кВар.}$$

где γ - расчетный коэффициент в зависимости от K_1 и K_2 и схемы питания цеховой п/ст.

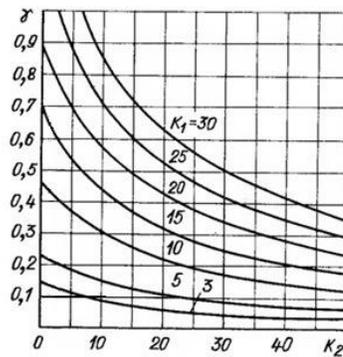


Рисунок 4 – Кривые определения коэффициента для магистральной схемы питания трансформаторов

Для магистральной схемы с тремя и более трансформаторами:

$$\gamma = K_1/30 = 14/30 = 0,46. \quad (22)$$

Значение удельного коэффициента потерь $K_1 = 14$ при трехсменном рабочем дне.

По расчету $Q_{\text{нбк}2} = -2767 < 0$, тогда его можно принять как $Q_{\text{нбк}2} = 0$,

$$Q_{\text{нбк}} = Q_{\text{нбк}1} + Q_{\text{нбк}2}, \quad (23)$$

т.к. $Q_{\text{нбк}2} = 0$, то $Q_{\text{нбк}} = Q_{\text{нбк}1} = 2524,12$ кВар.

Определим мощность одной батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор:

$$Q_{\text{нбк ТП}} = \frac{Q_{\text{нбк}}}{N_{\text{ТЭ}}} = \frac{2524,12}{19} \approx 132,85 \text{ кВар}. \quad (24)$$

На основании расчетов из пункта 1.3 составляется таблица 4 - Распределение нагрузок цехов по ТП, в которой показано распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП. В таблице K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов, равный:

$$K_3 = \frac{S_{\text{р}0,4}}{N \cdot S_{\text{НТП}}}. \quad (25)$$

Предварительное распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП

Номер ТП $S_{HT}, Q_{H6K TP}$	Номер цехов	$P_{p0,4}, \text{кВт}$	$Q_{p0,4}, \text{кВар}$	$S_{p0,4}, \text{кВА}$	K_3
1	2	3	4	5	6
ТП1-2 (5x1000) $\Sigma S_H = 5 \times 1000 = 5000 \text{ кВА}$ $Q_{H6K} = 5 \times 132,85 = 664,25 \text{ кВар}$ <i>итого</i>	6	2161,7	895,38	3980	0,796
	13	1077,1	705,4		
	16	300,2	112,98		
	17	190,4	158,26		
	18	50,9	37,32		
		3780,3	1909,34		
			-664,25		
ТП3-8 (12x1000) $\Sigma S_H = 12 \times 1000 = 12000 \text{ кВА}$ $Q_{H6K} = 12 \times 132,85 = 1594,2 \text{ кВар}$ <i>итого</i>	1	266,9	174,35	9842,3	0,82
	2	235,7	129,52		
	3	2037,8	1060,4		
	4	424,55	230,04		
	5	1684	704,6		
	7	1202	1419,1		
	8	945,6	596,7		
	9	15,5	11,6		
	11	986,8	869,95		
	12	218,4	188,46		
	освещ.	793,8	595,35		
		8811,05	5980,07		
			-1594,2		
	8811,05	4385,87			
ТП 9 (2x1000) $\Sigma S_H = 2 \times 1000 = 2000 \text{ кВА}$ $Q_{H6K} = 2 \times 132,85 = 265,7 \text{ кВар}$ <i>итого</i>	10	1116,2	472,4	1427,5	0,71
	14	114,6	78,76		
	15	155,1	56,48		
		1385,9	607,64		
			-265,7		
	1385,9	341,94			

1.5 Распределение низковольтных конденсаторных батарей пропорционально реактивным нагрузкам ТП

Исходные данные: $Q_{p0,4} = 8497,1$ кВар, $Q_{нбк} = 2524,12$ кВар.

ТП 1-2:

$$Q_{p\text{ ТП1-2}} = 1245,09 \text{ кВар,}$$

$$Q_{p\text{ нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p\text{ ТП1-2}}}{Q_{p0,4}} = \frac{2524,12 \cdot 1245,09}{8497,1} = 369,86 \text{ кВар.} \quad (26)$$

Выбираем из справочника (Ю.Г. Барыбина стр. 400) низковольтные конденсаторные установки: УКЛН-0,38-200-50 УЗ, то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{\phi\text{ ТП1-2}} = 5 \cdot 50 = 250 \text{ кВар.} \quad (27)$$

Нескомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p\text{ ТП1-2}} - Q_{\phi\text{ ТП1-2}} = 1245,09 - 250 = 995,09 \text{ кВар.} \quad (28)$$

ТП 3-8:

$$Q_{p\text{ ТП3-8}} = 4385,87 \text{ кВар,}$$

$$Q_{p\text{ нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p\text{ ТП3-8}}}{Q_{p0,4}} = \frac{2524,12 \cdot 4385,87}{8497,1} = 1302,85 \text{ кВар.} \quad (29)$$

Выбираем низковольтные конденсаторные установки: УКЛН-0,38-600-150 УЗ, то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{\phi\text{ ТП3-8}} = 12 \cdot 150 = 1800 \text{ кВар.} \quad (30)$$

Нескомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{p\text{ ТП3-8}} - Q_{\phi\text{ ТП3-8}} = 4385,87 - 1800 = 2585,87 \text{ кВар.} \quad (31)$$

ТП 9:

$$Q_{p\text{ ТП9}} = 341,94 \text{ кВар,}$$

$$Q_{p\text{ нбк}} = \frac{Q_{нбк} \cdot Q_{p\text{ ТП9}}}{Q_{p0,4}} = \frac{2524,12 \cdot 341,94}{8497,1} = 101,57 \text{ кВар.} \quad (32)$$

Выбираем низковольтные конденсаторные установки: УК2-0,38-50 УЗ, то фактическая реактивная мощность:

$$Q_{\text{ф ТП9}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ кВар.} \quad (33)$$

Нескомпенсированная мощность равна:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{\text{р ТП9}} - Q_{\text{ф ТП9}} = 341,94 - 100 = 241,94 \text{ кВар.} \quad (34)$$

Уточненное распределение $Q_{\text{нбк}}$ по ТП сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Уточненное распределение $Q_{\text{нбк}}$ по ТП

№ ТП	$Q_{\text{р тп}}$	$Q_{\text{р нбк тп}}$	$Q_{\text{факт нбк тп}}$	$Q_{\text{неск.}}$
ТП 1-2	1245,09	369,86	5x50 = 250	995,09
ТП 3-8	4385,87	1302,85	12x150 = 1800	2585,87
ТП 9	341,94	101,57	2x50 = 100	241,94
Итого	5972,9	1774,3	2150	3822,9

1.6 Расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

1.6.1 Определение потерь мощности в цеховых трансформаторах

Потери активной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{T}} = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_3^2. \quad (35)$$

Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{T}} &= \Delta Q_{\text{xx}} + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot K_3^2 = \frac{I_{\text{xx}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} + \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} \cdot K_3^2 = \\ &= 0,01(I_{\text{xx}} + U_{\text{кз}} \cdot K_3^2) \cdot S_{\text{HT}}. \end{aligned} \quad (36)$$

Выбираем трансформаторы ТМН-1000-10/0,4:

$U_{\text{в}} = 10 \text{ кВ}$, $U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$, $\Delta P_{\text{xx}} = 1,55 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{кз}} = 10,8 \text{ кВт}$, $I_{\text{xx}} = 1,2\%$, $U_{\text{кз}} = 5,5\%$.

Таблица 6 – Потери в трансформаторах

ТП	K_3	N	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВар
ТП 1-2	0,796	5	41,96	234,24
ТП 3-8	0,82	12	105,74	587,78
ТП 9	0,71	2	14	79,45

Суммарные потери в трансформаторах:

$$\Sigma P_{1-33} = 41,96 + 105,74 + 14 = 161,7 \text{ кВт},$$

$$\Sigma Q_{1-33} = 234,24 + 587,78 + 79,45 = 901,47 \text{ кВар}.$$

1.6.2 Определение расчетных мощностей синхронных двигателей

Для компенсации реактивной мощности на стороне ВН используем СД 9-го цеха: $P_{нсд} = 1250$ кВт; $\cos\varphi = 0,85$; $N_{сд} = 5$; $k_3 = \beta = 0,8$.

Определим расчетные мощности для СД:

$$P_{рсд} = P_{нсд} \cdot N_{сд} \cdot K_3 = 1250 \cdot 5 \cdot 0,8 = 5000 \text{ кВт}, \quad (37)$$

$$Q_{рсд} = P_{рсд} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 5000 \cdot 0,62 = 3100 \text{ кВар}, \quad (38)$$

$$S_{рсд} = P_{рсд} / \cos\varphi = 5000/0,8 = 6250 \text{ кВар}. \quad (39)$$

Для одного двигателя:

$$S_{рсд} = S_{рсд} / N = 6250/5 = 1250 \text{ кВар}. \quad (40)$$

1.6.3 Определение мощности высоковольтных батарей конденсаторов

Составим схему замещения, показанную на рисунке 5.

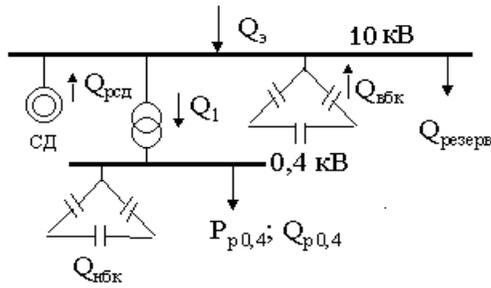


Рисунок 5 – Схема замещения

Резервная мощность:

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot \Sigma Q_{расч} = 0,1 \cdot (Q_{p0,4} + \Delta Q_T), \quad (41)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot (8497,1 + 901,47) = 939,86 \text{ кВар.}$$

Мощность, поступающая от энергосистемы:

$$Q_3 = 0,25 \cdot \Sigma P_p = 0,25 \cdot (P_{p0,4} + \Delta P_T + P_{сд}), \quad (42)$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot (13977,25 + 161,7 + 5000) = 4784,74 \text{ кВар.}$$

Мощность ВБК определим из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{ВБК} = Q_{p0,4} + \Delta Q_T + Q_{рез} - Q_3 - Q_{сд} - Q_{НБК}, \quad (43)$$

$$Q_{ВБК} = 8497,1 + 901,47 + 939,86 - 4784,74 - 3100 - 2524,12 = -7043 \text{ кВар.}$$

Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Уточненный расчет электрических нагрузок по заводу

Номер ТП	Номера цехов	Количество ЭП n	Уст. мощность		К _и	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} - P _{max}	Общая ΣP _н , кВт		P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	
ТП1-2 5x1000	6	32	50-150	1950		1560	748,8						
	13	43	10-80	1300		910	682,5						
	16	31	1-30	540		216	103,68						
	17	38	1-20	220		88	89,76						
	18	25	1-10	130		26	26,52						
силовая осветительная Q _{нбк} Итого		169	1-150	4140	0,5	2800	1651,26		1,15	3500	1651,26		
										277,1	183,2		
											-664,25		
										3777,1	1170,21	3954,2	
ТП3-8 12x1000	1	18	1-30	430		215	161,25						
	2	9	10-50	315		157,5	118,12						
	3	64	20-50	2080		1248	936						
	4	18	5-40	510		357	221,34						
	5	30	20-150	1800		1440	691,2						
	7	25	10-80	1500		900	1197						
	8	22	10-100	1250		750	562,5						
	11	18	14-100	1125		787,5	803,25						
	12	28	1-20	280		168	171,36						
силовая осветительная осв. терр-рии Q _{нбк} Итого		232	1-150	9290	0,63	6023	4862,02		1,3	7829,9	4862,02		
										410,5	417,5		
										793,8	595,35		
											-1594,2		
										9034,2	4280,67	9997	

Продолжение таблицы 7

Номер ТП	Номера цехов	Количество ЭП n	Уст. мощность		K _и	Средняя нагрузка		N _э	K _м	Расчетная мощность			K _з
			P _{min} - P _{max}	Общая ΣP _н , кВт		P _{см} , кВт	Q _{см} , кВар			P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	
ТП 9 2x1000 силовая осветительная Q _{нбк} Итого	10	20	20-80	1100		880	422,4						
	14	16	3,8-28	170		68	69,36						
	15	15	5-14	130		78	37,44						
		51	3,8-80	1400	0,6	1026	529,2		1,2	1231,2	529,2		
										145,3	74,7		
											-265,7		
										1376,5	338,2	1417,4	0,71
Итого на шинах 0,4кВ										14187,8	5789		
Потери в трансф.-х										161,7	901,47		
Итого нагр. 0,4кВ привед										14349,5	6690,47		
Синхронный двигатель:	9	5	1250	6250						5000	-3100		
Итого по заводу										19349,5	3590,47	19679,8	

2 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено глухой отпайкой от транзитной двухцепной ЛЭП-110 кВ, мощность к.з. в месте отпайки 600 МВА или от подстанции энергосистемы мощностью 800 МВА, на которой установлены два трансформатора мощностью по 63 МВА, напряжением 110/10 кВ. Расстояние от транзитной ЛЭП-110 кВ до завода 0,4 км, а от подстанции энергосистемы – 2,1 км. Стоимость электроэнергии 8,87 тг/кВт·ч.

Варианты источников питания:

- 1) Капчагайская ГЭС 10/220 кВ – на расстоянии 6,1 км от завода.
- 2) Капчагайская ПС 62А 220/110/10 кВ – на расстоянии 2,1 км от завода.
- 3) Транзитная линия электропередачи от Капчагайской ПС 62А до ПС 122И Шенгельды 110кВ – 0,4 км.

Первый вариант отпадает, т.к. ГЭС располагается далеко от объекта.

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим два варианта:

- а) I вариант – ЛЭП 110 кВ;
- б) II вариант – ПС 10 кВ;

2.1 Первый вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-110 кВ)

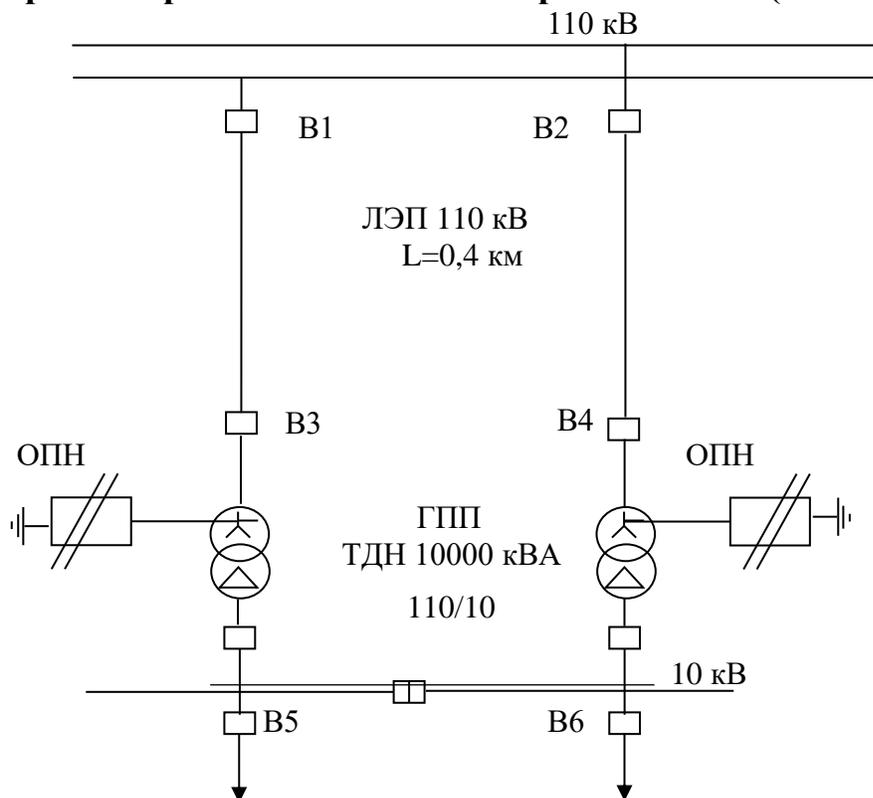


Рисунок 6 – I вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по I варианту.

1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{13977,25^2 + 4784,74^2} = 14773,5 \text{ кВА.} \quad (44)$$

Выбираем два трансформатора мощностью 10000 кВА.

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_H} = \frac{14773,5}{2 \cdot 10000} = 0,74. \quad (45)$$

Паспортные данные трансформатора:

Тип т-ра ТДН 10000/110/10;

$S_H = 10 \text{ МВА}$, $U_{BH} = 115 \text{ кВ}$, $U_{HH} = 11 \text{ кВ}$, $\Delta P_{XX} = 14 \text{ кВт}$, $\Delta P_{K3} = 58 \text{ кВт}$,
 $U_{K3} = 10,5\%$, $I_{XX} = 0,9 \%$.

Потери мощности в трансформаторах:

а) активной:

$$\Delta P_{\text{ТПП}} = 2 \cdot (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2), \quad (46)$$
$$\Delta P_{\text{ТПП}} = 2 \cdot (14 + 58 \cdot 0,74^2) = 91,5 \text{ кВт.}$$

б) реактивной:

$$\Delta Q_{\text{ТПП}} = 0,02 \cdot (I_{XX} + U_{K3} \cdot K_3^2) \cdot S_H, \quad (47)$$
$$\Delta Q_{\text{ТПП}} = 0,02 \cdot (0,9 + 10,5 \cdot 0,74^2) \cdot 10000 = 1330 \text{ кВар.}$$

Потери энергии в трансформаторах.

При трехменном режиме работы $T_{\text{вкл}} = 6400 \text{ ч}$, $T_{\text{макс}} = 6400 \text{ ч}$, тогда время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (48)$$

$$\tau = (0,124 + 6400 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 5113 \text{ ч.}$$

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2 \cdot (\Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau \cdot K_3^2), \quad (49)$$

$$\Delta W = 2 \cdot (14 \cdot 6400 + 58 \cdot 5113 \cdot 0,74^2) = 503985,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

2) ЛЭП – 110 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тгш}})^2 + Q_3^2}, \quad (50)$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(13977,25 + 91,5)^2 + 4784,74^2} = 14860 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{14860}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 39,73 \text{ А.} \quad (51)$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 39,73 = 79,5 \text{ А.} \quad (52)$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{39,73}{1} = 39,73 \text{ мм}^2, \quad (53)$$

где $j=1 \text{ А/мм}^2$ экономическая плотность тока при продолжительности использования максимума нагрузки $T_m = 6400 \text{ ч}$ для неизолированного алюминиевого провода.

Принимаем провод АС –10/1,8 с $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$.

Проверим выбранные провода по допустимому току при расчетном токе:

$$I_{\text{доп}} = 84 \text{ А} > I_p = 39,73 \text{ А.}$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 84 = 109,2 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 79,5 \text{ А.} \quad (54)$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \quad (55)$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \cdot 3 \cdot 39,73^2 \cdot 12,4 \cdot 10^{-3} \cdot 5113 = 600463 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $R = r_0 \cdot L = 3,1 \cdot 0,4 = 12,4 \text{ Ом}$,

где $r_0 = 3,1 \text{ Ом/км}$ – удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 10 мм^2 , $l = 0,4 \text{ км}$ – длина линии.

1) Выбор выключателей на $U = 110 \text{ кВ}$

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 7) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

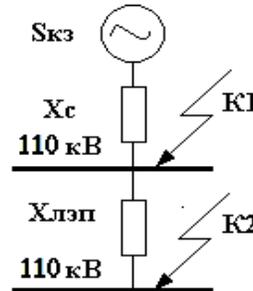


Рисунок 7 – Схема замещения

$S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА}$; $U_{\text{б}} = 110 \text{ кВ}$.

$$x_c = S_{\text{б}}/S_{\text{кз}} = 1000/600 = 1,66 \text{ о.е.}, \quad (56)$$

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5,35 \text{ кА}, \quad (58)$$

$$X_{\text{л}} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2} = 0,11 \cdot 0,4 \cdot \frac{1000}{110^2} = 0,004 \text{ о.е.}, \quad (59)$$

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{\text{б}}}{X_c} = \frac{5,35}{1,66} = 3,22 \text{ кА}, \quad (60)$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,22 = 8,10 \text{ кА}, \quad (61)$$

$$I_{\text{к2}} = \frac{I_{\text{б}}}{X_c + X_{\text{л}}} = \frac{5,35}{1,66 + 0,004} = 3,21 \text{ кА}, \quad (62)$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,21 = 8,1 \text{ кА}. \quad (63)$$

Выбираем выключатели.

Выключатель В1-2: ВБП–110 III–31,5/2000 УХЛ1

$$\begin{aligned} I_{\text{ном}} &= 2000 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 79,5 \text{ А}, \\ I_{\text{откл}} &= 31,5 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 3,22 \text{ кА}, \\ I_{\text{пред}} &= 80 \text{ кА} > i_{\text{y1}} = 8,11 \text{ кА}, \\ I_{\text{терм}} &= 31,5 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 3,22 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Выключатели В3-4 и В5-6: ВБП–110 III–31,5/2000 УХЛ1

$$\begin{aligned} I_{\text{ном}} &= 2000 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 79,5 \text{ А}, \\ I_{\text{откл}} &= 31,5 \text{ кА} > I_{\text{к2}} = 3,21 \text{ кА}, \\ I_{\text{пред}} &= 80 \text{ кА} > i_{\text{y2}} = 8,1 \text{ кА}, \\ I_{\text{терм}} &= 31,5 \text{ кА} > I_{\text{к2}} = 3,21 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Выбираем ограничитель перенапряжений типа ОПН-110 УХЛ1.

Таблица 8 – Затраты на оборудования 110 кВ

Оборудование	Затраты, млн тг
Выключатели В1-2, В3-4 и В5-6	43,2
Ограничители перенапряжений ОПН1-2	2,9
Трансформаторы	40
ЛЭП-110кВ	1,8

Расчет технико-экономических показателей ЛЭП-110 кВ

Капитальные вложения на развертывание и эксплуатацию схемы снабжения составляют:

$$K_{\text{п/ст}} = K_{\text{В1-6}} + K_{\text{ОПН1-2}} + K_{\text{тр}}. \quad (64)$$

Капитальные вложения на выключатели: В1-2, В3-4 и В5-6 (6 шт):

$$K_{\text{В1-6}} = n \cdot K_{\text{В}}, \quad (65)$$

$$K_{\text{В1-6}} = 6 \cdot 7,2 \cdot 10^6 = 43,2 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения на ограничители перенапряжений ОПН1-2 (2 шт):

$$K_{\text{ОПН1-2}} = n \cdot K_{\text{ОПН}}, \quad (66)$$

$$K_{\text{ОПН1-2}} = 2 \cdot 1,45 \cdot 10^6 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения на трансформаторы(2 шт):

$$K_{\text{тр}2} = n \cdot K_{\text{тр}}, \quad (67)$$

$$K_{\text{тр}2} = 2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 40 \cdot 10^6 \text{ тг},$$

$$K_{\text{п/ст}} = 43,2 \cdot 10^6 + 2,9 \cdot 10^6 + 40 \cdot 10^6 = 86,1 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Капитальные вложения в ЛЭП - 110кВ:

$$K_{\text{уд}} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ тг/км},$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = L \cdot K_{\text{уд}}, \quad (68)$$

$$K_{\text{ЛЭП}} = 0,4 \cdot 4,5 \cdot 10^6 = 1,8 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Суммарные капитальные вложения на оборудование:

$$K_{\Sigma} = K_{\text{п/ст}} + K_{\text{ЛЭП}}, \quad (69)$$

$$K_{\Sigma} = 86,1 \cdot 10^6 + 1,8 \cdot 10^6 = 87,9 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = N_{\text{ЛЭП}} \cdot K_{\text{ЛЭП}}, \quad (70)$$

где $I_{\text{экс ЛЭП}}$ – норма эксплуатационных издержек ЛЭП, составляющая 2,8%.

$$I_{\text{экс ЛЭП}} = 0,028 \cdot 1,8 \cdot 10^6 = 0,504 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Амортизационные издержки ЛЭП:

$$I_{\text{а ЛЭП}} = N_{\text{а ЛЭП}} \cdot K_{\text{ЛЭП}}, \quad (71)$$

где $N_{\text{а ЛЭП}}$ – норма амортизационных издержек ЛЭП, составляющая 10%.

$$I_{\text{а ЛЭП}} = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 10^6 = 0,18 \cdot 10^6 \text{ тг}.$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{экс об}} = N_{\text{э об}} \cdot K_{\text{п/ст}}, \quad (72)$$

где $N_{э об}$ – норма эксплуатационных издержек оборудования, сост. 3%.

$$I_{экс об} = 0,03 \cdot 86,1 \cdot 10^6 = 2,583 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Амортизационные издержки на оборудование:

$$I_{а об} = N_{а об} \cdot K_{п/ст}, \quad (73)$$

где $N_{а об}$ – норма амортизационных издержек оборудования, составл. 15%.

$$I_{а об} = 0,15 \cdot 86,1 \cdot 10^6 = 12,9 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Стоимость потерь:

$$I_{пот} = C_o + W_{лэп}, \quad (74)$$

где C_o – стоимость электроэнергии, $W_{лэп}$ – потери электроэнергии в ЛЭП.

$$I_{пот} = 8,87 \cdot 600463 = 5,32 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Суммарные издержки:

$$I_{\Sigma} = I_{экс ЛЭП} + I_{экс об} + I_{а об} + I_{а ЛЭП} + I_{пот}, \quad (75)$$

$$I_{\Sigma} = (0,504 + 2,583 + 12,9 + 0,18 + 5,32) \cdot 10^6 = 21,487 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

Расчет приведенных затрат:

$$З = E_c \cdot K_{\Sigma} + I_{\Sigma}, \quad (76)$$

где E_c – коэфф-т сравнительной экономической эффективности равный 0,15.

$$З = 0,15 \cdot 87,9 \cdot 10^6 + 21,487 \cdot 10^6 = 34,67 \cdot 10^6 \text{ тг.}$$

2.2 Второй вариант внешнего электроснабжения (ЛЭП-10 кВ)

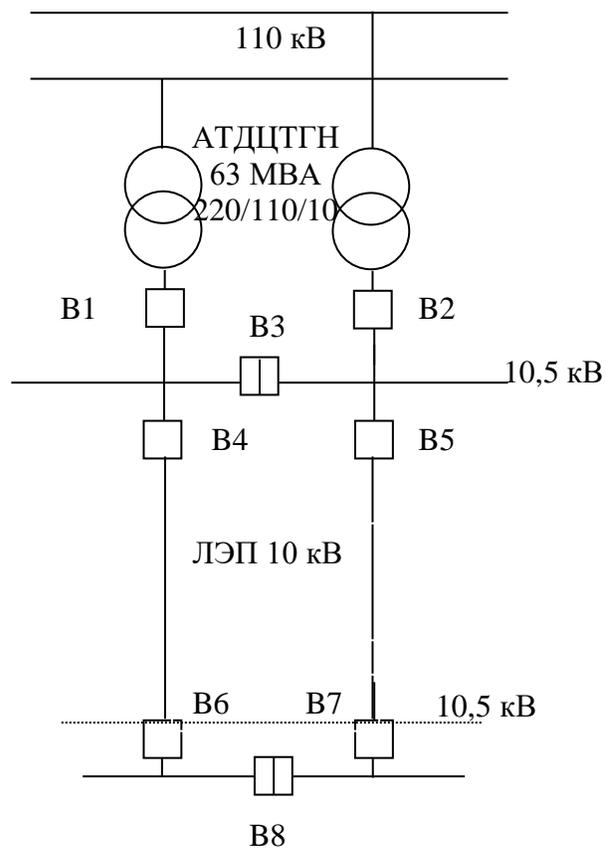


Рисунок 8 – Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование.

1) ЛЭП –10 кВ.

Делаем аналогичные расчеты с первого варианта и заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчетные данные

$S_{\text{ЛЭП}}, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$	$I_{\text{ав}}, \text{А}$	$F, \text{мм}^2$	$\Delta W_{\text{ЛЭП}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$
14773,5	434,5	869	434,5	1045982

Принимаем провод 3хАС – 120/11 с $I_{\text{доп}} = 390 \times 3 = 1170 \text{ А}$.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе: $I_{\text{доп}} = 1170 \text{ А} > I_p = 434,5 \text{ А}$.

При аварийном режиме: $I_{\text{доп ав}} = 1,3 \cdot 1170 = 1521 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 869 \text{ А}$.

2) Трансформаторы энергосистемы: тип АДЦТГН – 63000/220/110/10;

$S_{\text{н}}=63 \text{ МВА}$, $U_{\text{вн}}=230 \text{ кВ}$, $U_{\text{нн}}=11 \text{ кВ}$.

Коэффициент долевого участия завода в мощности трансформаторов энергосистемы:

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{РГШ}}}{2 \cdot S_{\text{н}}} = \frac{14773,5}{2 \cdot 63000} = 0,12. \quad (77)$$

3) Выбор выключателей на $U=10,5 \text{ кВ}$.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис.9) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

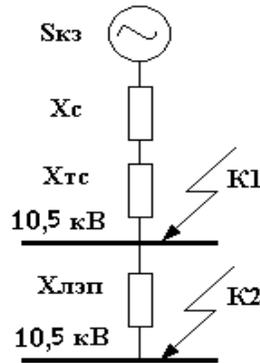


Рисунок 9 – Схема замещения

$S_6=1000 \text{ МВА}$; $U_6=10,5 \text{ кВ}$, $x_c= 1,66 \text{ о.е.}$,

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 56 \text{ кА}; X_{\text{л}} = 0,004/3 \cdot 2,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,00001 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{т.сис}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 10,5 \text{ о.е.}; I_{\text{к1}} = \frac{56}{1,66+10,5} = 4,6 \text{ кА}; i_{\text{y1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,6 = 11,6 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к2}} = \frac{56}{1,66+10,5} = 4,6 \text{ кА}; i_{\text{y2}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,6 = 11,6 \text{ кА};$$

Выбираем выключатели В1 и В2 по аварийному току трансформаторов ЭС.

Примем, что мощность по двум вторичным обмоткам трансформатора распределена поровну, поэтому мощность аварийного режима равна $2 \cdot 10=20 \text{ МВА}$.

$$I_{ав} = \frac{2000 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1120 \text{ А}, I_p = \frac{2000 \cdot 10}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 560 \text{ А}.$$

Выключатель В1-2, В4-5, В6-7: ВБПВ-10-12,5/1600У3

$$\begin{aligned} I_{НОМ} &= 1600 \text{ А} > I_{ав} = 1120 \text{ А}; \\ I_{откл} &= 12,5 \text{ кА} > I_{к1} = 4,6 \text{ кА}; \\ I_{пред} &= 32 \text{ кА} > i_y = 11,6 \text{ кА}; \\ I_{терм} &= 12,5 \text{ кА} > I_{к1} = 4,6 \text{ кА}; \end{aligned}$$

$$\gamma_2 = \frac{I_a}{I_{н1-2}} = \frac{1120}{1600} = 0,7.$$

Выключатель В3, В8: секционный ВБПВ-10-12,5/1000У3

$$\begin{aligned} I_{НОМ} &= 1000 \text{ А} > I_p = 560 \text{ А}; \\ I_{откл} &= 12,5 \text{ кА} > I_{к1} = 4,6 \text{ кА}; \\ I_{пред} &= 32 \text{ кА} > i_y = 11,6 \text{ кА}; \\ I_{терм} &= 12,5 \text{ кА} > I_{к1} = 4,6 \text{ кА}; \end{aligned}$$

$$\gamma_3 = \frac{I_a}{I_{н3}} = \frac{1400}{1000} = 1,4.$$

Аналогично проведем расчет технико-экономических показателей ЛЭП-10кВ и занесем их в таблицу 9 и составим сводную таблицу 10 по двум вариантам.

Таблица 9 – Затраты на оборудования 10 кВ

Оборудование	Затраты, млн тг
Выключатели В1-8	57,6
Трансформаторы	93,6
ЛЭП-10кВ	9,45

Таблица 10 – Результаты ТЭР

Вариант	$U_{НОМ}$, кВ	K_{Σ} , млн тг	I_{Σ} , млн тг	Затраты, млн тг
I	110	87,9	21,487	34,67
II	10	103	21,27	36,72

Выбираем I вариант, так как приведенные затраты дешевле.

3 Выбор оборудования и расчет токов КЗ на шинах 10 кВ

3.1 Расчет тока короткого замыкания на шинах ГПП

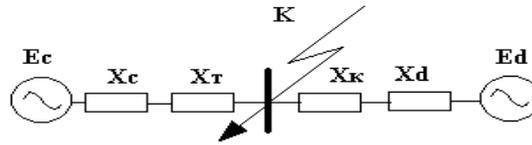


Рисунок 10 – Схема замещения

Найдем параметры схемы замещения при данных: $S_6=1000$ МВА;
 $x_c=1,66+1,17=3,67$ о.е.; $U_6=10,5$ кВ.

$$I_6 = S_6/\sqrt{3} \cdot U_H = 1000/\sqrt{3} \cdot 10,5 = 56 \text{ кА},$$

$$X_T = U_k \cdot S_6/100 \cdot S_H = 10,5 \cdot 1000/100 \cdot 10 = 10,5 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания от системы:

$$I_{кc} = I_6/(x_c+x_T) = 56/(3,67+10,5) = 3,95 \text{ кА}.$$

Найдем сопротивление кабеля к СД:

$$I_p = S_p/\sqrt{3} \cdot U_H = 1250/\sqrt{3} \cdot 10,5 = 70 \text{ А},$$

$$F_{\min} = \alpha \cdot I_k \cdot \sqrt{t_n} = 12 \cdot 4,98 \cdot \sqrt{0,8} = 53,45 \text{ мм}^2. \quad (78)$$

Выбираем кабель ААШВ-10-(3х35) с $I_{\text{доп}}=110$ А, $x_{\text{уд}}=0,08$ Ом/км.

$$x_k = L \cdot x_{\text{уд}} \cdot S_6/N \cdot U_{\text{cp}}^2 = 0,42 \cdot 0,08 \cdot 1000/5 \cdot 10^2 = 0,07 \text{ о.е.} \quad (79)$$

Найдем параметры СД:

$$x_d = x_d^{\text{II}} \cdot S_6/S_H = 0,34 \cdot 1000/1,25 = 272 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{кд} = I_6 \cdot N/(x_k+x_d) = 56 \cdot 5/(0,07+272) = 1,03 \text{ кА},$$

$$I_k = I_{кc} + I_{кд} = 3,95 + 1,03 = 4,98 \text{ кА}, \quad I_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,95 = 10 \text{ кА}.$$

3.2 Выбор выключателей

Вводные: $S_p = 19679,8$ кВА.

Расчетный ток: $I_p = S_p / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H = 19679,8 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 551$ А.

Аварийный ток: $I_a = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 551 = 1102$ А.

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/1250.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H = 12$ кВ	$U = 10,5$ кВ
$I_H = 1250$ А	$I_{ав} = 1102$ А
$I_{откл} = 25$ кА	$I_{кз} = 4,98$ кА
$I_{терм} = 63$ кА	$I_{кз} = 4,98$ кА
$I_{дин} = 63$ кА	$I_y = 9,95$ кА

Секционный выключатель:

Через секционный выключатель проходит половина мощности, проходящей через вводные выключатели. Следовательно, расчетный ток, проходящий через выключатель: $I_p = 551$ А.

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/1250.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H = 12$ кВ	$U = 10,5$ кВ
$I_H = 1250$ А	$I_{ав} = 1102$ А
$I_{откл} = 25$ кА	$I_{кз} = 4,98$ кА
$I_{терм} = 63$ кА	$I_{кз} = 4,98$ кА
$I_{дин} = 63$ кА	$I_y = 9,95$ кА

Выбор выключателей отходящих линий:

1) Магистраль ГПП-ТП 1-2.

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2} = \sqrt{(3777,1 + 41,96)^2 + (1170,21 + 234,24)^2} = 4069 \text{ кВА.}$$

$$I_p = S_p / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H = 4069 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 114 \text{ А, } I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 114 = 228 \text{ А.}$$

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/630.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H=12$ кВ	$U=10,5$ кВ
$I_H=630$ А	$I_p=114$ А
$I_{откл}=20$ кА	$I_{кз}=4,98$ кА
$I_{терм}=50$ кА	$I_{кз}=4,98$ кА
$I_{дин}=20$ кА	$I_y=9,95$ кА

2) Магистраль ГПП-ТП 3-8: $S_p = 10355$ кВА; $I_p = 278$ А; $I_a = 556$ А.

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/630.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H=12$ кВ	$U=10,5$ кВ
$I_H=630$ А	$I_p=278$ А
$I_{откл}=20$ кА	$I_{кз}=4,98$ кА
$I_{терм}=50$ кА	$I_{кз}=4,98$ кА
$I_{дин}=20$ кА	$I_y=9,95$ кА

3) Магистраль ГПП-ТП 9: $S_p = 1451,9$ кВА; $I_p = 40,7$ А; $I_a=2 \cdot I_p=81,4$ А.

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/630.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H=12$ кВ	$U=10,5$ кВ
$I_H=630$ А	$I_p=81,4$ А
$I_{откл}=20$ кА	$I_{кз}=4,82$ кА
$I_{терм}=50$ кА	$I_{кз}=4,82$ кА
$I_{дин}=20$ кА	$I_y=9,95$ кА

4) Магистраль ГПП-СД.

$$I_p = S_p / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H = 6250 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5 = 175 \text{ А}, I_{ав}=2 \cdot I_p=2 \cdot 175= 350 \text{ А}.$$

Принимаем вакуумный выключатель ВВ-АЕ-12/630.

Проверим выбранный выключатель:

Паспортные	Расчетные
$U_H=12$ кВ	$U=10,5$ кВ
$I_H=630$ А	$I_p=350$ А
$I_{откл}=20$ кА	$I_{кз}=4,82$ кА
$I_{терм}=50$ кА	$I_{кз}=4,82$ кА
$I_{дин}=20$ кА	$I_y=9,95$ кА

3.3 Выбор кабелей отходящих линий

Условия выбора кабелей:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{J_{\text{ЭК}}}; \quad (80)$$

$$I_p < I_{\text{доп}}, \quad I_{\text{ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}},$$

где $J=1,2$ А/мм² экономическая плотность тока.

$$S_{\text{терм}} = 12 \cdot 4,98 \cdot \sqrt{0,8} = 53,45 \text{ мм}^2;$$

СД:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{175}{1,2} = 146 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШВ-10-(3х95) с $I_{\text{доп}}=192$ А.

$$I_{\text{доп}}=192 \cdot 0,8=153,6 \text{ А} > I_p=146 \text{ А},$$

где $K_{\text{п}}=0,8$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=4$.

ТП 1-2:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{114}{1,2} = 95 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШВ-10-(3х95) с $I_{\text{доп}}=192$ А.

$$I_{\text{доп}}=192 \cdot 0,9=172,8 \text{ А} > I_p=114 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}}=1,3 \cdot 192=249,6 \text{ А} > I_{\text{ав}}=228 \text{ А}.$$

где $K_{\text{п}}=0,9$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=2$.

ТП 3-8:

$$S_{\text{эк}} = \frac{290}{1,2} = 242 \text{ мм}^2;$$

Принимаем сдвоенный кабель 2хААШВ-10-(3х120) с $I_{\text{доп}}=218\text{А}$.

$$I_{\text{доп}} = 218 \cdot 0,9 = 196,2 \text{ А} > I_{\text{р}} = 146 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 218 = 283,4 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 228 \text{ А}.$$

где $K_{\text{п}}=0,9$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=2$.

ТП 9:

$$S_{\text{эк}} = \frac{40,7}{1,2} = 34 \text{ мм}^2;$$

Принимаем кабель ААШВ-10-(3х35) с $I_{\text{доп}}=110 \text{ А}$.

$$I_{\text{доп}} = 110 \cdot 0,9 = 99 \text{ А} > I_{\text{р}} = 40,7 \text{ А}.$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 110 = 143 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 81,4 \text{ А}.$$

где $K_{\text{п}}=0,9$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=2$.

Результаты выбора занесем в таблицу 11.

Таблица 11 – Кабельный журнал

Наименование участка	$S_{\text{р}}, \text{кВА}$	N	$K_{\text{п}}$	Нагрузка		По экон. пл. тока, мм^2		По току $K_{\text{з}}, \text{мм}^2$		Выбранный кабель	$I_{\text{доп}}, \text{А}$
				$I_{\text{р}}, \text{А}$	$I_{\text{ав}}, \text{А}$	$j_{\text{э}}$	$F_{\text{э}}, \text{мм}^2$	$I_{\text{к}}, \text{кА}$	$S, \text{мм}^2$		
ГПП-СД	1250	5	0,8	146	-	1,2	146	4,98	146	ААШВ-10-(3х95)	192
ГПП-ТП 1-2	3954,2	2	0,9	114	228	1,2	95	4,98	95	ААШВ-10-(3х95)	192
ГПП-ТП 3-8	9997	2	0,9	290	580	1,2	242	4,98	242	2хААШВ-10-(3х120)	436
ГПП-ТП 9	1417,4	2	0,9	40,7	81,4	1,2	34	4,98	34	ААШВ-10-(3х35)	110

3.4 Выбор выключателей нагрузок на ТП

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,7 \text{ А.}$$

Для всех трансформаторов выбираем выключатели: ВМП-17 с ПК-10/100.

3.5 Выбор автоматических выключателей на ТП

$$I_p = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1548 \text{ А.}$$

Выбираем ВА55-41 с $I_{доп} = 1600 \text{ А}$.

3.6 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

- 1) по напряжению установки: $U_{ном \text{ ТТ}} \geq U_{ном \text{ уст-ки}}$;
- 2) по току: $I_{ном \text{ ТТ}} \geq I_{расч}$;
- 3) по электродинамической стойкости:
- 4) по вторичной нагрузке: $S_{н2} \geq S_{нагр \text{ расч}}$;
- 5) по термической стойкости: $I_T^2 t_T > B_K$;
- 6) по конструкции и классу точности.

Выбор трансформаторов тока на вводе и секционном выключателе

Таблица 12 – Трансформатор тока на вводе и секционном выключателе

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W _h	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
V _{арh}	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
V _{ар}	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока, сопротивление которой состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}}. \quad (81)$$

Сопротивление приборов определяется по данной формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad (82)$$

$$r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н тт}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами; I_2 – вторич. ном. ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = r_{2 \text{ н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}, \quad (83)$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{0,44} = 0,025 \text{ мм}^2. \quad (84)$$

Принимаем провод АКР ТВ, $F = 1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot L}{F} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{1,5} = 0,0075 \text{ Ом}, \quad (85)$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,0075 + 0,1 = 0,37 \text{ Ом}, \quad (86)$$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{а}}) = 4,98^2 \cdot (0,095 + 0,04) = 3,35 \text{ кА}^2\text{с}. \quad (87)$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Расчетные величины

$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
 $I_{\text{ав}} = 1102 \text{ А}$
 $B_{\text{к}} = 3,35 \text{ кА}^2\text{с}$
 $i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$
 $Z_{2\text{P}} = 0,45 \text{ Ом}$

По каталогу

$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
 $I_{\text{н}} = 1500 \text{ А}$
 $I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}} = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
 $I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
 $Z_{2\text{H}} = 0,8 \text{ Ом}$

Таблица 13 – Трансформатор тока на линии ГПП-ТП1-2; ГПП-ТП3-8; ГПП-ТП 9; ГПП-СД

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W _h	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
V _{arh}	СР4-И689	2,5	2,5	2,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
V _{ar}	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ нт}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом},$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}; \quad F_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{0,44} = 0,025 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; F=1,5мм²;

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{1,5} = 0,0075 \text{ Ом}; \quad R_2 = 0,26 + 0,0075 + 0,1 = 0,37 \text{ Ом}.$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Расчетные величины

$$\begin{aligned} U_{\text{н}} &= 10 \text{ кВ} \\ I_{\text{ав}} &= 228 \text{ А} \\ B_{\text{к}} &= 3,35 \text{ кА}^2\text{с} \\ i_{\text{уд}} &= 10 \text{ кА} \\ Z_{2\text{р}} &= 0,45 \text{ Ом} \end{aligned}$$

По каталогу

$$\begin{aligned} U_{\text{н}} &= 10 \text{ кВ} \\ I_{\text{н}} &= 400 \text{ А} \\ I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} &= 33075 \text{ кА}^2\text{с} \\ I_{\text{дин}} &= 52 \text{ кА} \\ Z_{2\text{н}} &= 0,8 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н ГТ}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}; \quad F_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{0,44} = 0,025 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 5}{1,5} = 0,0075 \text{ Ом}; \quad R_2 = 0,26 + 0,0075 + 0,1 = 0,37 \text{ Ом},$$

Примем трансформатор тока ТПЛК-10У3

Расчетные величины	По каталогу
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 556 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 800 \text{ А}$
$B_{\text{к}} = 3,35 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 33075 \text{ кА}^2\text{с}$
$i_{\text{уд}} = 10 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 74,5 \text{ кА}$
$Z_{2\text{Р}} = 0,45 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{Н}} = 0,8 \text{ Ом}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2 \text{ н}} = \frac{S_{2 \text{ н ГТ}}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доппр}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}; \quad F_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{0,44} = 0,025 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5 \text{ мм}^2$;

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{1,5} = 0,0075 \text{ Ом}; \quad R_2 = 0,26 + 0,0075 + 0,1 = 0,37 \text{ Ом}.$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Расчетные величины	По каталогу
$U_H=10$ кВ	$U_H=10$ кВ
$I_{ав}=81,4$ А	$I_H=100$ А
$B_K=3,35$ кА ² с	$I_T^2 t_T=33075$ кА ² с
$i_{уд}=10$ кА	$I_{дин}= 52$ кА
$Z_{2P}=0,45$ Ом	$Z_{2H}=0,8$ Ом

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Сопротивление приборов определяется по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}; \quad r_{2H} = \frac{S_{2HTT}}{I_2^2} = \frac{20}{5^2} = 0,8 \text{ Ом}.$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{доп}} = 0,8 - 0,26 - 0,1 = 0,44 \text{ Ом}; \quad F_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{0,44} = 0,025 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АКР ТВ; $F=1,5$ мм²;

$$R_{\text{пров}} = \frac{0,028 \cdot 0,4}{1,5} = 0,0075 \text{ Ом}; \quad R_2 = 0,26 + 0,0075 + 0,1 = 0,37 \text{ Ом},$$

Примем трансформатор тока ТОЛ-10.

Расчетные величины	По каталогу
$U_H=10$ кВ	$U_H=10$ кВ
$I_p=175$ А	$I_H=200$ А
$B_K=3,35$ кА ² с	$I_T^2 t_T=33075$ кА ² с
$i_{уд}=10$ кА	$I_{дин}= 52$ кА
$Z_{2P}=0,45$ Ом	$Z_{2H}=0,8$ Ом

Для всех элементов СЭС ТА: ТЗЛ-6.

3.7 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

- 1) по напряжению установки: $U_{ном} \geq U_{уст}$;
- 2) по вторичной нагрузке: $S_{ном2} \geq S_{2расч}$;

- 3) по классу точности;
- 4) по конструкции и схеме соединения;

Таблица 14 – Выбор трансформаторов

Прибор	Тип	S _{об-ки} , ВА	Число об-к	cosφ	sinφ	Число приборов	P _{общ} , Вт	Q _{сум} , Вар
V	Э-335	3	1	1	0	1	3	-
W	Д-335	2,5	2	0,4	0,93	6	12	23
V _{ар}	И-335	2,5	2	0,4	0,93	6	12	23
W _h	СА3-И681	2	2	0,4	0,93	6	9	27
V _{арh}	СР4-И689	2	2	0,4	0,93	6	9	27
Итого							45	100

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{45^2 + 100^2} = 110 \text{ ВА.}$$

Принимаем ТН типа НАМИТ-10.

По каталогу
 $U_{HT} = 10 \text{ кВ}$
 $S_{H2} = 300 \text{ кВА}$

Расчетные величины
 $U_{HT} = 10 \text{ кВ}$
 $S_{p2} = 110 \text{ ВА}$

3.8 Выбор шин ГПП

Сечение шин выбирают по длительно допустимому току и экономической целесообразности. Проверку шин производят на электродинамическую и термическую стойкость к токам КЗ.

Выбираем твердотянутые алюминиевые шины прямоугольного сечения марки АТ 80х6 мм; $I_{доп} = 1170 \text{ А}$ (одна полоса на фазу), $I_{ав} = 1120 \text{ А}$; $i_{уд} = 10 \text{ кА}$.

а) проверка по аварийному току:

$$I_{доп} = 1170 \text{ А} \geq I_{ав} = 1120 \text{ А};$$

б) проверка по механической стойкости: $\sigma_{доп} = 91 \text{ кг·с/см}^2$:

$$i_{дин} = 40 \text{ кА} \geq i_{уд} = 10 \text{ кА};$$

в) проверка по механической стойкости:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{F_p \cdot L}{10\omega} = \frac{8,8 \cdot 80}{10 \cdot 4,8} = 14,67 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}; \quad (88)$$

$$\omega = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 6^2}{6} = 4,8 \text{ см}^2; \quad (89)$$

$$F_p = \frac{1,76 \cdot 10^{-2} \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot L}{a} = \frac{1,76 \cdot 10^{-2} \cdot 10^2 \cdot 0,3}{0,08} = 6,6 \text{ кг} \cdot \text{с}; \quad (90)$$

$$F_{\text{min}} = \alpha \cdot I_k \cdot \sqrt{t} = 12 \cdot 4,98 \cdot \sqrt{0,8} = 53,5 \text{ мм}^2 \leq 480 \text{ мм}^2 (80 \times 6);$$

где $a = 0,08$ м - расстояние между изоляторами; $L = 0,3$ м - длина шины; $b = 6$ мм - ширина одной полосы; $h = 0,8$ мм - высота шины.

Из условий получаем, что шины динамически устойчивы.

3.9 Выбор изоляторов ГПП

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

а) по номинальному напряжению: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$;

б) по допустимой нагрузке: $F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}$,

где $F_{\text{расч}}$ – сила, действующая на изолятор; $F_{\text{доп}}$ – допустимая нагрузка на головку изолятора, $F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разруш}}$; $F_{\text{разруш}}$ – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot i^2 \cdot L}{a} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-1} \cdot 10^2 \cdot 0,4}{0,25} = 27,2 \text{ кг} \cdot \text{с};$$

Выбираем изолятор типа ИО-10-3,75 УЗ с $F_{\text{разр}} = 3750 \text{ кг} \cdot \text{с}$.

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разруш}} = 2250 \text{ кг} \cdot \text{с}. (>27,2 \text{ кг} \cdot \text{с})$$

Условие выполняется.

Из расчетов и выбранного оборудования построена однолинейная схема (рисунок 11).

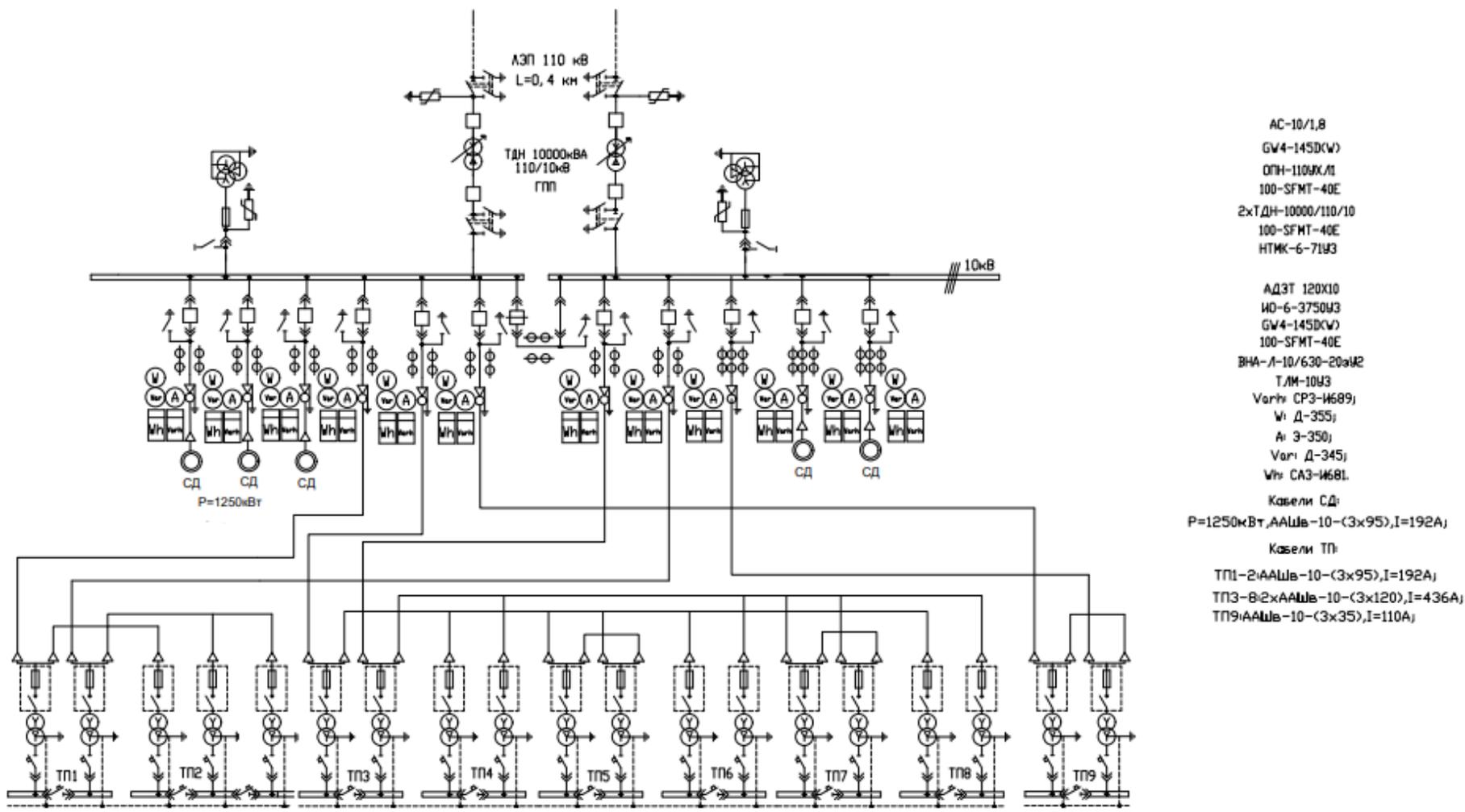


Рисунок 11 – Однолинейная схема

4 Повышение качества электрической энергии в системе электроснабжения предприятий

4.1 Показатели качества электрической энергии и расчет их в условиях внутреннего электроснабжения предприятия

Основные показатели качества электрической энергии

Показатели качества электрической энергии, методы их оценки и нормы определяет Межгосударственный стандарт: «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» ГОСТ 13109-97.

Показателями КЭ являются:

- 1) установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- 2) размах изменения напряжения δU_t ;
- 3) доза фликера P_t ;
- 4) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- 5) коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- 6) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- 7) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- 8) отклонение частоты Δf ;
- 9) длительность провала напряжения $t_{п}$;
- 10) импульсное напряжение $U_{имп}$;
- 11) коэффициент временного перенапряжения $K_{пер} U$.

Для данной работы по повышению качества электрической энергии в системе электроснабжения цементного завода наиболее важно рассмотреть следующие показатели: установившееся отклонение напряжения (δU_y), коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (K_U), коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения ($K_{U(n)}$), коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности (K_{2U}) и отклонение частоты (Δf).

Несинусоидальный коэффициент в шинах сети питания при работе вентиляционных преобразователей:

$$K_{\text{нсU}} = X_c \sqrt{\frac{\frac{3}{\pi} \frac{\sin \varphi}{x_{*c} + x_{\text{пр}}} \frac{9}{\pi^2}}{1 - 6x_{*c} \sin \varphi + 9 \frac{x_{*c}^2}{\pi^2}}}, \quad (91)$$

где $X_{*c} = \frac{S_{\text{пр}}}{S_K}$ – эквивалентное сопротивление системы в относительных единицах, приведенных к мощности преобразователя $S_{\text{пр}}$, то есть $K_{\text{нсU}}$ сопротивление от линейных условий определяемой бесконечной точки питания до сетевой точки; $S_K - K_{\text{нсU}}$ мощность короткого замыкания в точке сети обнаружения; $x_{*\text{пр}}$ – индуктивное сопротивление цепи преобразователя в относительных единицах, приведенных к $S_{\text{пр}}$, т.е. сопротивление от точки возникновения коммутационных искажений до точки обнаружения $K_{\text{нсU}}$.

Заданное соотношение относится к преобразователям с любой последовательностью фазовых переходов.

$$X_{*\text{пр}} = X_T = \frac{U_k \left(1 + \frac{k_p}{4}\right) S_{\text{пр}}}{100 \cdot S_{T\text{ном}}}, \quad (92)$$

где $S_{T\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора преобразовательного моста; k_p – коэффициент деления обмоток данного трансформатора; $U_k\%$ – напряжение короткого замыкания этого трансформатора.

Применяемые в 6-фазных (трехфазных мостовых) схемах выпрямления для двухкамерных трансформаторов $k_p = 0$, тогда:

$$X_{*\text{пр}} = \frac{U_k \cdot S_{\text{пр}}}{100 \cdot S_{T\text{ном}}}. \quad (93)$$

Для трехмоточных трансформаторов, используемых в преобразователях, выполняемых по фазной схеме 12, если ветви трансформатора низкого напряжения имеют хорошую электромагнитную связь, $k_p = 0$.

Если 12-фазный преобразователь имеет две обмотки с различными схемами подключения если сделать по схеме с трансформаторами, то $k_p = 4$.

Эффективные значения гармоник высокого напряжения в любой точке питающей сети при работе преобразователя и эффективные значения гармоник любого тока в цепи преобразователя с любой последовательностью корректирующих фаз можно определить по формулам:

$$I_\nu = \frac{m}{\sqrt{3}\pi} \cdot \frac{S_{\text{пр}}}{U_{\text{л}} \cdot x_{*\Sigma} \cdot \vartheta^2} \cdot \sin \varphi \cdot \sin\left(\frac{3\nu \cdot x_{*\Sigma}}{m \cdot \sin \varphi}\right), \quad (94)$$

$$U_\nu = \frac{m}{\pi \cdot \nu} \cdot U_{\text{л}} \cdot \frac{x_{*c}}{x_{*c} + x_{*\text{пр}}} \cdot \sin \varphi \cdot \sin\left(\frac{3\nu \cdot x_{*\Sigma}}{m \cdot \sin \varphi}\right), \quad (95)$$

где m – фаза коррекции, описывающая режим работы выпрямителя (для 6-фазного выпрямителя $m = 6$, для 12-фазного - $m = 12$ и т. д.); ν – номер гармоники; $\nu = mk \pm 1$; ($k = 0, 1, 2, \dots$); $U_{\text{л}}$ – существующее значение.

сетевого напряжения; $x_{*\Sigma}$ – общее сопротивление коммутационной цепи, пониженное до мощности преобразовательного моста $x_{*\Sigma} = x_{*c} + x_{*\text{пр}}$.

Определение несинусоидального коэфф-та $K_{\text{нс}}$ в секциях шин 10 и 110 кВ.

Учитывая, что при расчетах преобразователь можно подключить 2 способами а) по 6-фазной мостовой схеме; б) рассчитаем по 12-фазной мостовой схеме.

Параметры элементов узла нагрузки:

- система 110 кВ: $S_{k2} = 800$ МВА;

- система 10 кВ: $S_{k1} = 600$ МВА;

- трансформатор T_1 : $S_{T1} = 10$ МВА, $u_k = 10,5\%$;

- синхронный двигатель (СД): $S_{\text{СД}} = 6,25$ МВА, $x''_d = 0,34$ о. е.;

- трансформатор преобразователя $T_{\text{пр}}$:

а) $S_{T_{\text{пр}}} = 63$ МВА, $u_k = 10,5\%$;

б) $S_{T_{\text{пр}}} = 63$ МВА, $u_{k[\text{ВН}-(\text{НН1}+\text{НН2})]} = 10,5\%$, $k_p = 4$; нагрузка преобразователя:

$S_{\text{пр}} = 64$ МВА; $\cos \varphi = 0,85$.

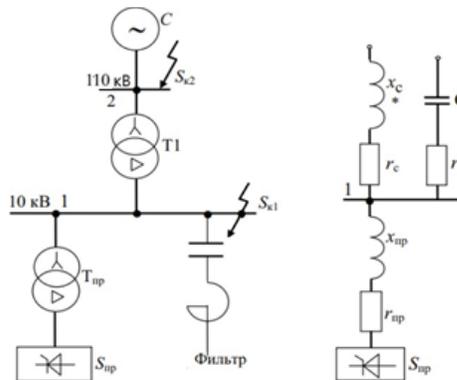


Рисунок 12 – Однолинейная и замещающая схема силовой линии с высоким гармоническим фильтром

Все помехи элементов сети зависят от расчетной мощности преобразователя $S_{\text{пр}} = 64$ МВА.

Для системы:

$$x_{*сист} = \frac{S_{пр}}{S_{k2}} = \frac{64}{800} = 0,08. \quad (96)$$

Для трансформатора Т₁:

$$x_{*T1} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{пр}}{S_{T1}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{64}{80} = 0,084. \quad (97)$$

Для синхронного двигателя (СД):

$$x_{*СД} = x_d'' \frac{S_{пр}}{S_{СД}} = 0,34 \frac{64}{6,25} = 3,48. \quad (98)$$

Эквивалентное внешнее сопротивление относительно точки соединения нагрузки:

$$x_{*c} = \frac{S_{пр}}{S_{k1}} = \frac{64}{600} = 0,1. \quad (99)$$

Для трансформатора преобразователя:

а)

$$x_{*пр1} = \frac{10,5}{100} \left(1 - \frac{0}{4}\right) \frac{64}{63} = 0,106,$$

б)

$$x_{*пр2} = \frac{10,5}{100} \left(1 - \frac{4}{4}\right) \frac{64}{63} = 0,213.$$

В шинах 10кВ для определения $K_{нсU}$ используем упрощенное выражение 91.

а)

$$K_{нсUT1} = 0,1 \sqrt{\frac{\frac{3}{\pi} \cdot \frac{0,53}{0,1+0,106} - \frac{9}{\pi^2}}{1 - 6 \cdot 0,1 \cdot 0,53 + 9 \frac{0,1^2}{\pi^2}}} = 0,15 = 15\%,$$

б)

$$K_{нсUT1} = 0,1 \sqrt{\frac{\frac{3}{\pi} \cdot \frac{0,53}{0,1+0,213} - \frac{9}{\pi^2}}{1 - 6 \cdot 0,1 \cdot 0,53 + 9 \frac{0,1^2}{\pi^2}}} = 0,10 = 10\%.$$

На шине 10 кВ: $K_{\text{нсУТ1}}=15\%$ и $K_{\text{нсУТ1}}=10\%$, т.е. значения превышают ГОСТ 13109 – 97.

Зная $K_{\text{нсУТ1}}$ (на шине 10 кВ), коэффициент несинусоидальности можно определить в любой другой точке, например, в шинах 110 кВ (T_2):

$$K_{\text{нсУТ2}} = K_{\text{нсУТ1}} \frac{X_{*\text{сист}}}{X_{*\text{сист}} + X_{*\Gamma 1}}, \quad (100)$$

а)

$$K_{\text{нсУТ2}} = 0,15 \frac{0,08}{0,08+0,084} = 7,3\%$$

б)

$$K_{\text{нсУТ2}} = 0,1 \frac{0,08}{0,08+0,084} = 4,87\%$$

На шине 110 кВ: $K_{\text{нсУТ2}}=7,3\%$ и $K_{\text{нсУТ2}}=4,87\%$, что не удовлетворяет нормальному $\pm 5\%$ по ГОСТ 13109 – 97.

Определение эффективных значений токов и напряжений 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник в шинах секции 10 кВ.

С учетом значений $S_{\text{пр}} = 64 \text{ МВА}\%$; $\sin\varphi = 0,53$; $x_{*c} = 0,1$; $x_{*\text{пр}} = 0,106$; $x_{*\Sigma} = 0,206$ определим значения тока и напряжения гармоник порядка $\nu = 5,7,11,13$.

Для преобразователей, работающих в 6- и 12-фазных режимах, по формулам 94 и 95 сделаем расчет и данные занесем в таблицу:

Таблица 15 – Эффективные значения токов и напряжений 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник в шинах секции 10 кВ

m	6				12	
ν	5	7	11	13	11	13
I, А	610	370	130	63	200	140
U, кВ	0,81	0,69	0,38	0,22	0,59	0,47

Значения токов и напряжений гармоник превышают нормативные уровни, указанные в ГОСТ 13109-97, это указывает на то, что присутствие гармоник в сети может существенно влиять на качество электрической энергии, что требует принятия технических решений для их уменьшения и поддержания в пределах допустимых норм.

4.2 Рекомендация технических решений по повышению качества электрической энергии

Пути снижения несинусоидального напряжения можно разделить на три группы:

а) схематические решения:

- распределение нелинейных нагрузок на отдельную шинную систему;
- распределение нагрузок по узлам различных СЭС с параллельным

подключением к электродвигателям;

- добавление нагрузки в систему с высокой мощностью $S_{кт}$.

б) использование фильтровальных установок:

подключение узкополосных резонансных фильтров параллельно нагрузке;

- подключение фильтрокомпенсационных устройств (ФТС) ;
- применение фильтросимметричных устройств (ФСС);
- применение реактивного источника питания с ФТС.

в) использование специального оборудования, характеризующегося низким уровнем генерации высоких гармоник:

- использование «ненасыщенных» трансформаторов;

- применение многофазных преобразователей с улучшенными показателями энергии.

По предыдущим расчетам рассчитаем параметры высокогармонических фильтров, которые должны быть установлены на шинах 10 кВ для снижения несинусоидального коэффициента напряжения до значений, допустимых требованиями ГОСТ 13109 – 97. Преобразователь работает в 6-фазном режиме.

Исходными данными для расчета являются:

1) В шинах 10 кВ допустимые $K_{НС}$, по ГОСТ 13109 – 97, равны 5%.

2) Расчетные данные гармоник линейного напряжения в заданном сечении шины – U_v ; токи, возникающие из гармонического источника – I_v ; допустимые значения гармоник сетевого напряжения на участках шин после установки фильтров высоких гармоник и фильтров высоких гармоник приведены в таблице 16.

3) Несинусоидальный коэффициент, рассчитанный до установки гармонических фильтров:

$$K_{НСUрасч} = \sqrt{U_5^2 + U_7^2 + U_{11}^2 + U_{13}^2}, \quad (101)$$

$$K_{НСUрасч} = \sqrt{8,1^2 + 6,9^2 + 3,8^2 + 2,2^2} = 11,5\%$$

4) Максимальное рабочее линейное напряжение в шинах 10 кВ и секции 10 кВ : $U_{ш} = 10,5$ кВ.

5) Максимальная мощность кз в шинах 10 кВ: $S_{kmax} = 315$ МВА.

6) Таблица фильтров для установки представлена в таблице 16. Выбор параметров оборудования для фильтров 5-й и 7 - й гармоник представлен в таблице 17.

7) В соответствии с составленными расчетами были выбраны фильтры 3хФКУ-3(5,7,11,13)-6(10)-4500 и 2хФКУ-3(5,7,11,13)-6(10)-3150.

8) Несинусоидальный коэффициент после установки фильтра:

$$K_{НСU_{ост}} = \sqrt{2,18^2 + 2,02^2 + 3,8^2 + 2,2^2} = 5,2\%$$

Таблица 16 – Исходные данные для расчета фильтров

Параметры	Порядковый номер гармоники ν			
	5	7	11	13
Напряжение гармоники U_{ν} , кВ	0,81	0,69	0,38	0,22
Напряжение гармоники U_{ν} , %	8,1	6,9	3,8	2,2
Ток гармоники I_{ν} , А	610	370	130	63
Спектр фильтруемых гармоник	Да	Да	Нет	Нет

Таблица 17 – Порядок выбора батарей фильтрующих конденсаторов

Номер операции	Наименование вычислительной операции и расчетное выражение	Результаты расчета	
		$\nu = 5$	$\nu = 7$
1	Коэффициент усиления напряжения основной частоты в батарее из-за последовательного включения реактора: $a = \frac{\nu^2}{\nu^2 - 1}$	1,041	1,02
2	Напряжение основной частоты в батарее фильтра, кВ: $U_{1c} = \frac{a \cdot U_{ш}}{\sqrt{3}}$	6,32	6,19
3	Предварительно выбранное номинальное напряжение фильтра батареи, кВ: $U_{1c} \leq U_{н.бк} \leq 1,3 U_{1c}$	6,4	6,4
4	Коэффициент нагрузки батареи по напряжению основной частоты: $0,77 \leq C_{U1} = \frac{U_{1c}}{U_{н.бк}} < 1$	0,99	0,97
5	Коэфф-т загрузки батареи по полной точке: $C_i = \frac{1}{C_{U1}} \leq C_{i доп} = 1,3$	1,01	1,03
6	Коэффициент нагрузки батареи для гармонического тока: $C_{iv} = \sqrt{C_1^2 - C_{u1}^2} \leq C_{i доп} = \sqrt{1,3^2 - C_{u1}^2}$	0,2 0,84	0,35 0,87
7	Мощность батареи в соответствии с условиями эффективности поглощения гармонического тока, кВар: $Q'_{бк} = k \cdot S_{kmax} \cdot 10^3$, где k , для $\nu = 5$: $k = 0,45 \cdot 10^{-2}$; для $\nu = 7$: $k = 0,25 \cdot 10^{-2}$; для $\nu = 11, 13$: $k = 0,1 \cdot 10^{-2}$.	1417, 5	787,5
8	Питание аккумулятора с условием предотвращения недопустимой перегрузки, кВар: $Q_{бк} = \frac{3U_{н.бк}k_{iv}I_{\nu}}{C_{i доп}}$, где k_{iv} – коэффициент, учитывающий точную настройку фильтра на резонанс: для $\nu = 5, 7$: $k_{iv} = 1,2$; для $\nu = 11, 13$: $k_{iv} = 1,1$.	1081 1	6558
9	Потребляемая мощность батареи фильтра, $Q_{н.ф}$ кВар	3x45 00	2x315 0
10	Номинальный ток батареи фильтра, А: $I_{н.ф} = \frac{Q_{н.ф}}{3U_{н.бк}}$.	703	328
11	Удельное сопротивление фильтра, Ом: $\rho = \frac{3U_{н.бк}^2}{Q_{н.ф}} \cdot 10^3$	9,1	19,5

Продолжение таблицы 17

Номер операции	Наименование вычислительной операции и расчетное выражение	Результаты расчета	
		$\nu = 5$	$\nu = 7$
12	Пиковое резонансное частотное напряжение в фильтрующих элементах, кВ: $U_{vmax} = U_{vpmax} = I_{н.ф} C_{идоп} \rho 10^3$	5,5	2,7
13	Максимальное напряжение в батарее фильтра, кВ: $U_{Cmax} = \sqrt{U_{1c}^2 + U_{vmax}^2}$	8,37	6,75
14	Удельный коэффициент нагрузки батареи для гармонического тока: $C_{iv\phi} = \frac{I_v \cdot k_{iv}}{I_{н.ф}}$	1,04	1,35
	<i>Выбор фильтрующего реактора</i>		
15	Реактивное сопротивление реактора основной частоты, Ом: $x_{iP} = \frac{\rho}{\nu}$	1,82	2,79
16	Номинальный ток фильтрующего реактора, А: $I_{нP} \geq 1,3 I_{н.ф}$	914	427
17	Напряжение основной частоты в фильтрующем реакторе, кВ: $U_{1P} = \frac{1}{\nu^2 - 1} \cdot \frac{U_{ш}}{\sqrt{3}}$	0,253	0,126
18	Максимальное общее напряжение в фильтрующем реакторе, кВ: $U_{1P} = \sqrt{U_{1P}^2 + U_{vPmax}^2}$	5,5	2,7
19	Номинальное напряжение фильтрующего реактора, кВ	5,6	2,8
	<i>Определение эффективности фильтра</i>		
20	Требуемый коэффициент качества фильтра $q_v \geq \frac{C_{iv\phi} \cdot m \cdot 100}{(U_{vдоп} \cdot \nu)^2 - (C_{iv\phi} \cdot m \cdot 100 \cdot \alpha^2)^2},$ $m = \frac{\sqrt{3} U_{н.бк}}{U_{ш}} = 1,039, \alpha = 0,015.$	6,74	6,02
21	Принятый коэффициент качества фильтра q_v	10	10
22	Остаточное гармоническое напряжение сети после установки фильтра, %: $U_{v ост} = \frac{C_{iv\phi} \cdot m \cdot 100}{\nu} \sqrt{\frac{1}{q_v^2} + \alpha^2}$	2,18	2,02
23	Коэффициент эффективности фильтра: $K_{эв} = \frac{U_{v ост}}{U_v} \leq 1$	0,34	0,29
24	Несинусоидальный коэффициент после установки фильтра: $K_{НСUост} = \sqrt{2,18^2 + 2,02^2 + 3,8^2 + 2,2^2} = 5,2\%$		

4.3 Моделирование в среде Matlab по определению эффективности применяемых решений

Модель системы электроснабжения без фильтра в среде Simulink показана на рисунке 12. Это сетевой преобразователь нагрузки.

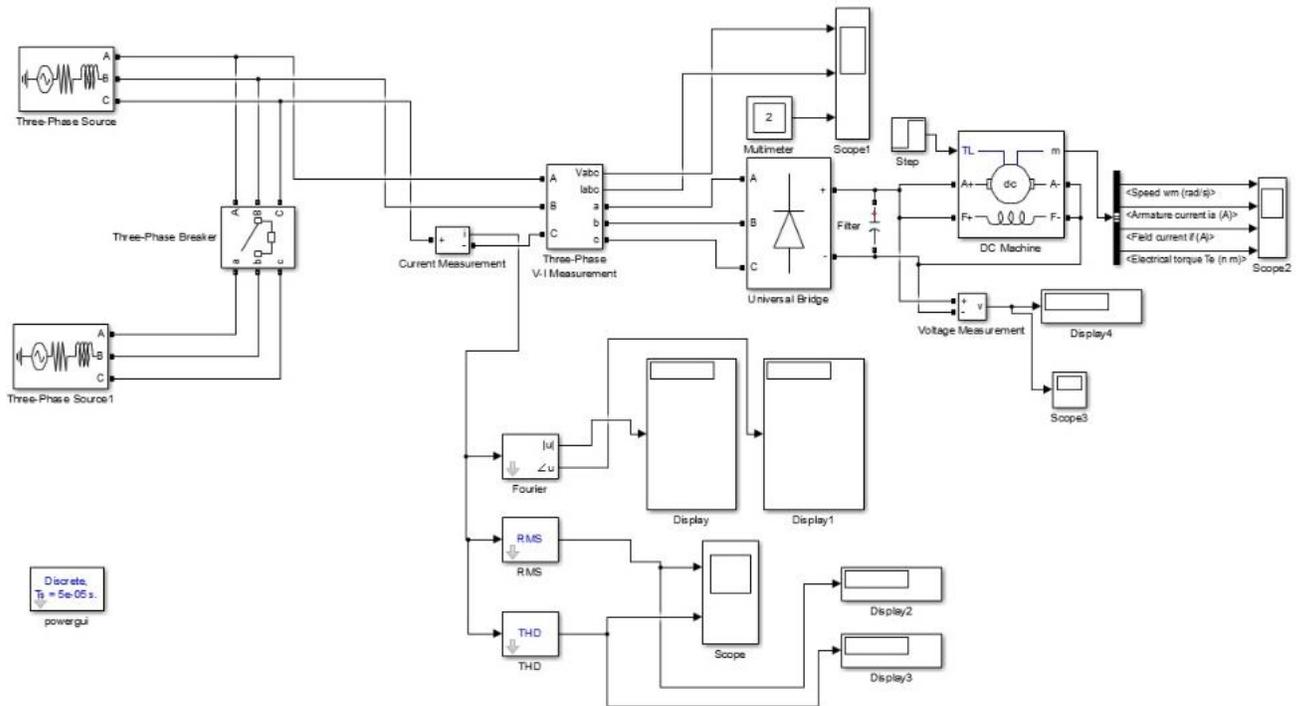


Рисунок 13 – Модель системы электроснабжения с преобразователем

В результате моделирования получены осциллограммы тока, напряжения и спектры гармоник, которые представлены на рисунках 13 и 14.

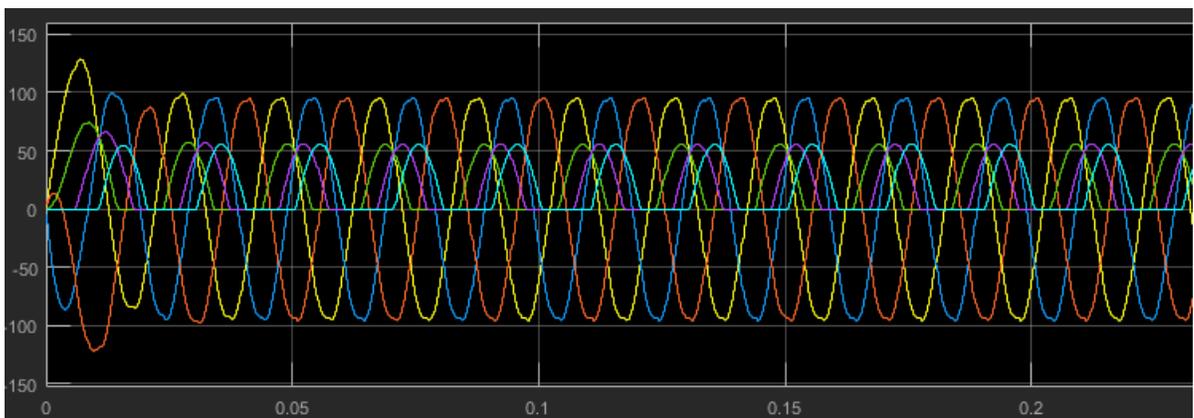


Рисунок 14 – Ток и напряжение сети

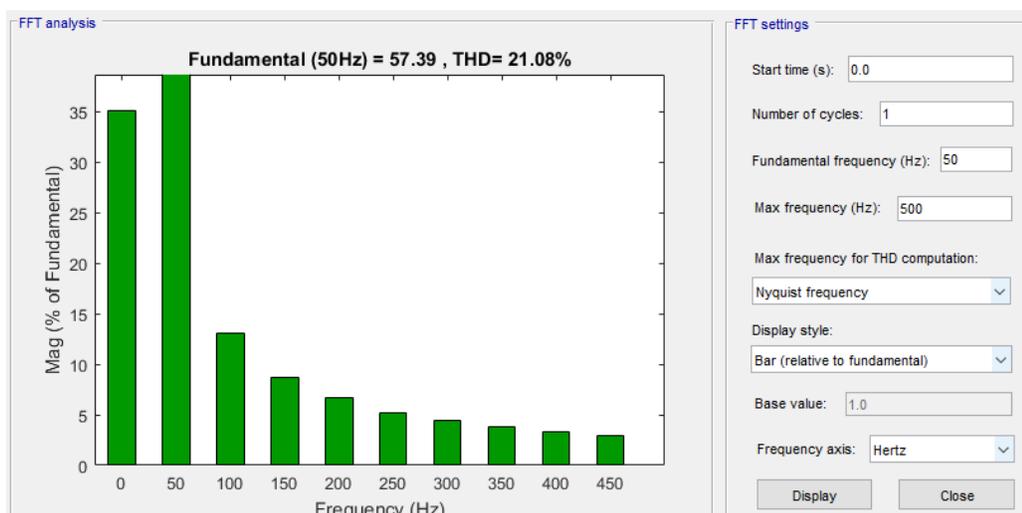


Рисунок 15 – Частотный спектр

Как видно из частотного анализа системы, коэффициент синусоидальности равен 21,08%, что в 2 раза превышает допустимое значение по ГОСТ 13109-97.

Силовой последовательный активный фильтр-инвертор напряжения 20 кВА с треугольной широтной импульсной модуляцией на частоте около 13 кГц, подключенный параллельно с источником напряжения питающей сети. Напряжение подаваемых гармоник вводится в фазно-противофазную линию питания с помощью вектора, в результате чего общее напряжение сети и инвертора становится строго синусоидальным.

Смоделируем предыдущую созданную систему с включением активного фильтра, что можно увидеть на рисунке 15.

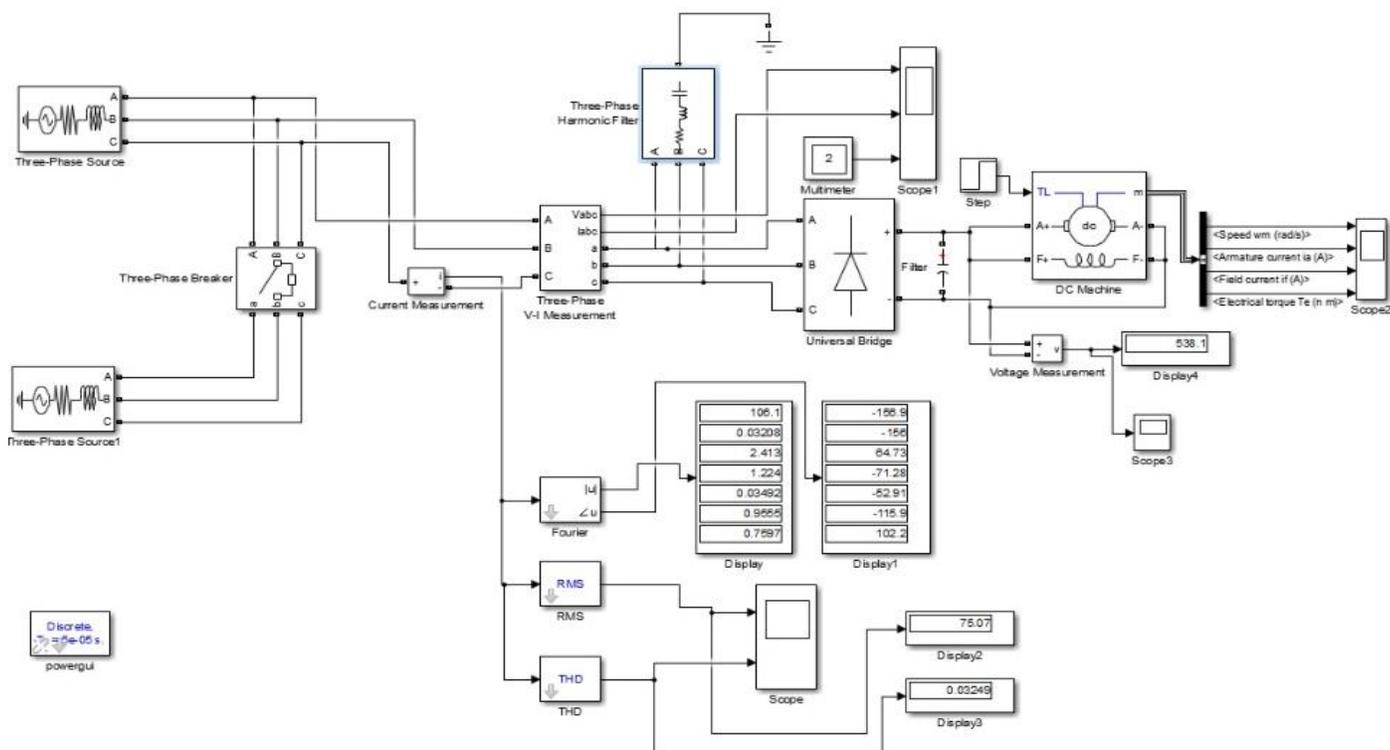


Рисунок 16 – Система с активным фильтром

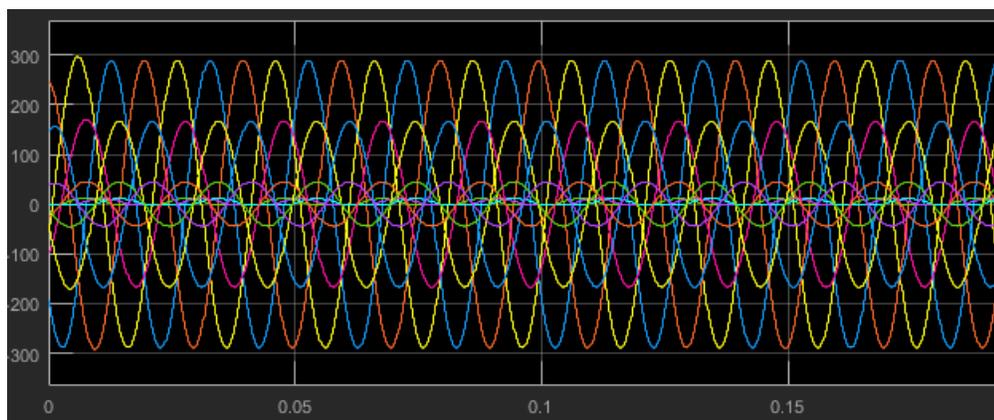


Рисунок 17 – Ток и напряжение сети при наличии активного фильтра

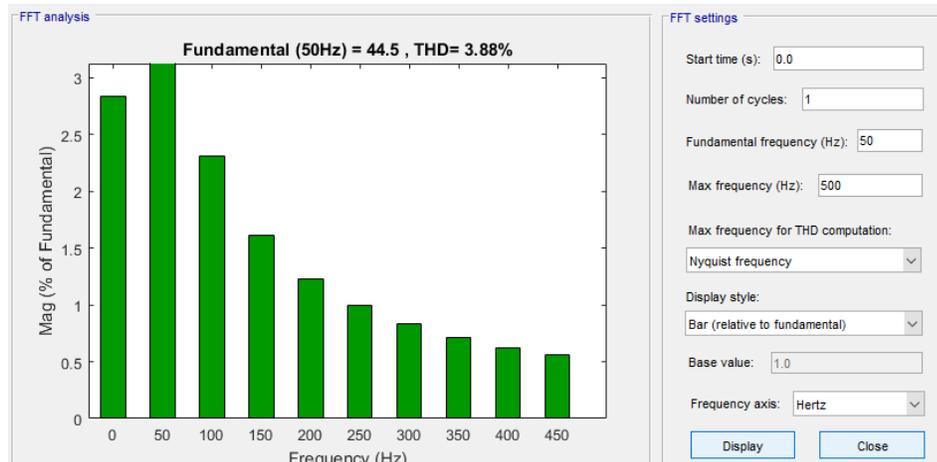


Рисунок 18 – Частотный спектр, полученный фильтром

Как видно из частотного анализа, коэффициент искажения синусоидальности снизился до 3,88% (по ГОСТ 13109-97 — не более 5%).

Активный фильтр – это тип аналоговых электронных фильтров с одним или несколькими активными компонентами, такими как транзистор или операционный усилитель. Они предназначены для снижения уровня нелинейных гармоник нагрузки и обеспечивают высокую динамику изменения реактивной мощности в соответствии с потребностями. Важно установить трехфазные активные фильтры для использования в электрических сетях.

Активный фильтр имеет следующие преимущества:

- THD (total high distortion) уменьшает искажение тока примерно в соотношении 1:10;
- снижает энергопотребление;
- колебания частоты не влияют, например, при работе от резервного генератора;
- нет риска резонанса на любой гармонической частоте;
- не подвергается перегрузке;
- при необходимости можно запрограммировать выбор специальных гармонических частот.

Активные фильтры гармоник – это очень эффективное решение, которое поможет справиться с будущими изменениями в конфигурации электроустановки и назначении задач. Борьба с гармоническими искажениями – один из элементов мероприятий по повышению надежности и энергоэффективности энергоснабжения. Поэтому в настоящее время специалисты рекомендуют использовать активные фильтры для удаления гармоник, что вносит свой вклад в повышение качества электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана система электроснабжения цементного завода, что включало в себя анализ и выбор оптимальных технических решений для обеспечения надежного и качественного электроснабжения.

Проектирование системы электроснабжения позволило определить оптимальные параметры и конфигурации электрических сетей, трансформаторов и защитных устройств. В процессе работы были проведены расчеты электрических нагрузок, анализ различных вариантов внешнего электроснабжения и выбор оборудования, что способствовало созданию экономически выгодной и надежной системы.

Особое внимание было уделено вопросам повышения качества электрической энергии. В рамках проекта были предложены и обоснованы технические решения, направленные на улучшение показателей качества электроэнергии, что включает в себя меры по снижению потерь, повышение стабильности напряжения и компенсацию реактивной мощности.

Результаты проведенных исследований и расчетов показали, что предложенные решения позволяют значительно повысить эффективность и надежность работы системы электроснабжения цементного завода. Реализация данных мер обеспечит стабильное и качественное энергоснабжение, что является ключевым фактором для бесперебойного функционирования производственного процесса.

Таким образом, разработанный проект системы электроснабжения цементного завода является комплексным и всесторонним, учитывающим все аспекты энергообеспечения современного промышленного предприятия. Внедрение предложенных технических решений будет способствовать не только повышению качества электроснабжения, но и улучшению общей производственной эффективности завода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Под редакцией Ю. Г. Барыбина и др. - М. Энергоатомиздат, 1991.
- 2 Киреева Э. А. Справочные данные по электрооборудованию (цеховые электрические сети, электрические сети жилых и общественных зданий), 2004.
- 3 Сибикин Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: проф. учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2001.
- 5 Самсонов В. С., Вяткин М. А. Экономика предприятий энергетического комплекса. - М.: Высшая школа, 2003.
- 6 Ананичева С. С., Котова Е. Н. Проектирование электрических сетей: учеб. пособие – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2017.
- 7 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ- 6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2016.
- 8 Ананичева С. С. Мезенцев П. Е. Модели развития электроэнергетических систем: уч. Пособие – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2013.
- 9 Плиско А. Л., Проектирование электропередач, сетей и систем: практикум к курсовой работе – Ульяновск: УлГТУ, 2016.
- 10 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций – Москва 1989.
- 11 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. Рокотяна С. С. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 12 Н.Г.Волков Качество электроэнергии в системах электроснабжения: учебное пособие; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
- 13 Гареева Г.А. Основы программирования в MATLAB: учебно-методическое пособие/Гареева Г.А., Григорьева Д.Р. – Набережные Челны: Изд-во Набережно-челнинского института КФУ, 2019.
- 14 Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е изд, перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат. 2000.
- 15 СТ КазНИТУ-09-2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию текстового и графического материала. Алматы: КазНИТУ, 2023.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу
(наименование вида работы)

Увалиева Адеми Ермековна
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07101 - Электроэнергетика
(шифр и наименование специальности)

на тему: Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по повышению качества электрической энергии

Выполнено:

- а) графическая часть на 14 листах
б) пояснительная записка на 67 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломной работе проектируется электроснабжение цементного завода и производится разработка технических решений по повышению качества электрической энергии.

В работе определены электрические нагрузки завода, выбраны число и мощности трансформаторных подстанций и схемы электроснабжения предприятия по результатам технико-экономических расчетов. Рационально выполненная современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять ряду требований, как экономичность и надежность, безопасность и удобства использования, возможность расширения производства минимальными изменениями схемы электроснабжения.

В специальной части ДР произведена разработка технических решений по повышению качества электрической энергии.

Оценка работы

Дипломная работа заслуживает оценки «хорошо» (85%), а ее автор присвоения академической степени «бакалавр» по специальности 6В07101 – «Энергетика».

Рецензент

д.т.н., профессор
НАО «АУЭС им. Г. Даукеева»
(должность, уч. степень, звание)

М.А. Мустафин

«15» 06 2024 г.

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
(наименование вида работы)

Увалиевой Адеми Ермековны
(Ф.И.О. обучающегося)

6В07101 - Энергетика
(шифр и наименование специальности)

**Тема: Электроснабжение цементного завода и разработка
технических решений по повышению качества электрической энергии**

Дипломник Увалиева А.Е. приступила к выполнению дипломной работы
в соответствии с графиком.

За время работы дипломирования показала себя грамотным,
инициативным специалистом способным самостоятельно заниматься поиском
необходимых литератур и материалов.

Дипломная работа посвящена проектированию электроснабжения
цементного завода и разработке технических решений по повышению
качества электрической энергии.

В основной и специальной части дипломной работы рассчитаны
электрические нагрузки завода, выбраны мощность и количества ТП, выбрана
внешняя схема электроснабжения, рассчитаны токи короткого замыкания,
выбраны защитные, коммутационные аппараты и измерительные приборы.

В разделе «Повышение качества электрической энергии в системе
электроснабжения предприятий» рассмотрены вопросы, связанные с
разработкой технических решений по повышению качества электроэнергии и
моделирование в среде Matlab по определению эффективности применяемых
решений.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки 85%, а ее автор
присвоения академической степени «бакалавр» по специальности 6В07101 –
«Энергетика».

**Научный руководитель
Ассоц.профессор, к.т.н.**

(должность, уч. степень, звание)


Бегентаев Б.М.

(подпись)

«15» 08 2024 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Увалиева Адеми Ермековна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по повышению качества электрической энергии

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 485

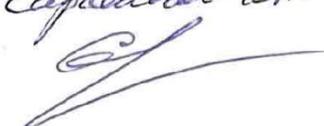
Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой Энергетики
Сарсенбаев Е.А.


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Увалнева Адеми Ермаковна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электроснабжение цементного завода и разработка технических решений по повышению качества электрической энергии

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 1.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 485

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: *Рекомендуется к защите*
15.06.2024

Дата

проверяющий эксперт

