

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева

Институт дистанционного образования

Кафедра «Энергетика»

Ересенов Нурболат Жамбулович

Электрооборудование и электроснабжение обогатительной фабрики

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева

Институт дистанционного образования

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

И.о заведующего кафедрой
«Энергетика»,

д-р PhD, асс.профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«16» 05 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: «Электрооборудование и электроснабжение обогатительной фабрики»

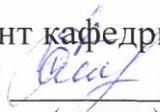
по специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Выполнил:

Ересенов Н.Ж.

Рецензент

д-р PhD, доцент кафедры

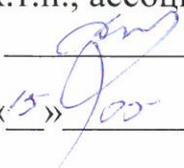
«ЭиА» АУЭС  Н.К. Алмуратова

(подпись)

«14» 05 2019 г.

Научный руководитель

к.т.н., ассоциированный профессор

 Д.Б. Акпанбетов

(подпись)

«15» 05 2019 г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева

Институт дистанционного образования

Кафедра «Энергетика»

5B071800 – Электроэнергетика

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой
«Энергетика»

д-р PhD, асс. профессор

 Е.А.Сарсенбаев

« 3 » 03 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Ересенову Нурболату Жамбуловичу

Тема: Электрооборудование и электроснабжение обогатительной фабрики

Утверждена приказом Ректора Университета № 497-В от «20» декабря 2018г.

Срок сдачи законченной дипломной работы «17» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: Питание осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью по 63 МВА, напряжением 220/110/35 кВ; трансформаторы работают отдельно, расстояние от энергосистемы до завода – 3 км.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Технологическая часть; б) Расчет электроснабжения фабрики. в) Замена электродвигателя большой мощности на электродвигатель меньшей мощности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Графический материал представлен в виде презентации содержащая 9 слайдов.

Рекомендуемая основная литература: Федоров А.А. Электроснабжение промышленных предприятий. – М: Электроатомиздат, 1986; Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования. /Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991; Конюхова Е. Электроснабжение объектов. М. Академия, 2007

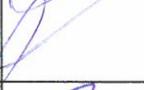
ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименования разделов, перечень разрабатываемых Вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологическая часть	01.05.2019	1100
Расчет электроснабжения обогатительной фабрики	12.05.2019	1100
Замена электродвигателя большой мощности на электродвигатель меньшей мощности	12.05.2019	1100

Подписи

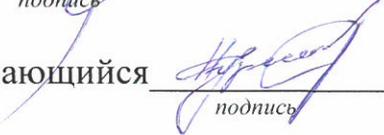
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть	Д.Б. Акпанбетов, к.т.н., ассоц.профессор	28.04.2019	
Расчет электроснабжения обогатительной фабрики	Д.Б. Акпанбетов, к.т.н., ассоц.профессор	10.05.2019	
Замена электродвигателя большой мощности на электродвигатель меньшей мощности	Д.Б. Акпанбетов, к.т.н., ассоц.профессор	10.05.2019	
Нормоконтролер	Н.Е.Балгаев, PhD, сениор-лектор	15.05.192	

Научный руководитель _____ / Д.Б. Акпанбетов /


подпись

Задание принял к исполнению обучающийся _____ / Н. Ж. Ересенов /


подпись

Дата «10» декабря 2018 г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс байыту фабрикасын электрмен жабдықтау жүйесін құруға арналған. Байыту фабрикасы бойынша электр жүктемелерінің есептеулері, сыртқы электрмен жабдықтаудың рационалды кернеуін таңдау, 110кВ және 6кВ кернеулеріне қысқа тұйықталу токтарын есептеулері, электр жабдықтарын таңдауы орындалады. Арнайы бөлімінде аз жүктелген қозғалтқыштардың орнына қуаты аз қозғалтқыштарды қолдану арқылы энергияны үнемдеу мәселелері қарастырылған.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена разработке системы электроснабжения обогатительной фабрики. Производится расчет электрических нагрузок по обогатительной фабрике в целом, выбор наиболее рационального напряжения внешнего электроснабжения, рассчитываются токи короткого замыкания на напряжения 110кВ и 6 кВ, по результатам которых осуществляется выбор электрооборудования. Специальная часть дипломной работы содержит вопросы возможности энергосбережения за счет замены малозагруженных двигателей на электродвигатели малой мощности.

ABSTRACT

The degree work is devoted to the development of the electrical power supply system of a concentrating mill. Electric loads are calculated at the concentrating mill as a whole; the choice of the most rational voltage of external power supply is made; short-circuit currents for 110 kV and 6 kV are calculated, the results of them are used to select electrical equipment. A special part of the thesis contains questions of the possibility of energy saving by replacing low-loaded engines with low-power electric motors.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Технологическая часть	8
1.1	Краткое описание технологической схемы дробления	8
2	Расчет системы электроснабжения обогатительной фабрики	10
2.1	Расчет электрических нагрузок	10
2.2	Выбор напряжения внешнего электроснабжения	16
2.3	Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП	17
2.4	Электрический расчет и выбор воздушной линии 110 кВ	18
2.5	Расчет токов короткого замыкания	18
2.5.1	Расчет токов короткого замыкания напряжением свыше 1000В	18
2.5.2	Расчет токов короткого замыкания напряжением до 1000 В	23
2.6	Выбор аппараты управления и защиты электрооборудования	28
2.6.1	Выбор пускозащитной аппаратуры выше 1000В	28
2.6.2	Выбор пускозащитной аппаратуры до 1000 В	34
2.7	Молниезащита и защитное заземление	35
2.7.1	Расчёт защитного заземления ГПП-110 кВ ОФ	35
2.7.2	Молниезащита ГПП	38
3	Замена электродвигателя большой мощности на электродвигатель меньшей мощности	41
3.1	Зависимость КПД ЭД от номинальной мощности	41
3.2	Оценить целесообразность капитальных затрат на замену одного двигателя другим двигателем с соответствующей номинальной мощностью выработать соответствующие положения	44
	Заключение	48
	Список использованной литературы	49

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшая роль в экономике страны принадлежит горно-металлургической отрасли, определяющей научно-технический прогресс народного хозяйства. Metallургия Казахстана является одним из лидеров в мире по производству всех цветных, редких, а также благородных металлов, является стратегической отраслью национальной экономики.

В основе проектирования обогатительной фабрики лежит комплекс мероприятий, которые завершают перевод полезного ископаемого из потенциальной ценности в реальную, т.е. в товарную продукцию. От корректности принимаемых решений зависят непосредственно объем капитальных вложений в строительство фабрики, доля активных фондов, а также эксплуатационные расходы при следующей работе, а именно, технико-экономические показатели проекта предприятия к моменту ввода его в эксплуатацию должны быть на уровне, либо превосходить передовые мировые производства.

Важнейшее значение при проведении работ по проектированию обогатительных фабрик учитывают следующие этапы работ: выбор и расчет внешней схемы электроснабжения обогащения; технологический расчет и выбор необходимого оборудования; выбор площади размещения предприятия и разработка схемы сооружений; компоновка/расстановка оборудования в цехах и по предприятию; решение вопросов с транспортированием мокрых отходов от обогащения, складированием их и использованием оборотных вод; организация электроснабжения, водоснабжения и ремонтно-вспомогательного хозяйства; автоматизация технологических процессов; расчет капитальных затрат, эксплуатационных расходов предприятия; использование САПР.

Энергоемкие работы по добыче, переработке руд выполняются с преимущественным расходом электрической энергии, что составляет 60% всей потребляемой электрической энергии.

В данной дипломной работе производятся расчеты для разработки надежной, экономичной, безопасной системы электроснабжения обогатительной фабрики.

1 Технологическая часть

Обогащительная фабрика является энергоемким предприятием, обогащающая руду как подземной так и открытой добычи.

Обогащительная фабрика предприятие для первичной переработки твердых полезных ископаемых с целью получения технической ценных продуктов, пригодных для промышленного использования. На обогащительных фабриках перерабатываются руды черных металлов (железные, марганцевые, хромовые), руды цветных металлов (медные, медно-никелевые, свинцово-цинковые, вольфрам-молибденовые и др.), не металлические полезные ископаемые (фосфор, калий, графит и др.).

В зависимости от применяемых процессов переработки обогащительные фабрики делят на дробильно-сортировочные, гравитационные, промывочные, магнитного обогащения. В рассматриваемом проекте разрабатывается схема электроснабжения дробильно-сортировочной фабрики.

1.1 Краткое описание технологической схемы дробления

Руда, согласно рисунку 1.1, на фабрику поступает в самопрокидывающихся думпкарах (грузоподъемностью 95 тонн). Далее руда опрокидывается в приемные бункера дробилок №1,2 ККД 1500/180. Из каждой дробилки транспортируется руда одним из двух пластинчатых питателей №3,4,5,6. 2–24 –150 на конвейере № 1 т, 2 т. подается катучим конвейером № 1К который распределяет руду по промежуточным бункером дробилок среднего дробления.

Из бункера руда пластинчатыми питателями 2112–60 подается на грохоты 173Гр. на предварительное грохочение. Продукт поступает в дробильные установки КСД-220Гр, подрешетный продукт направляется на катучие конвейера №6К, № 7К.

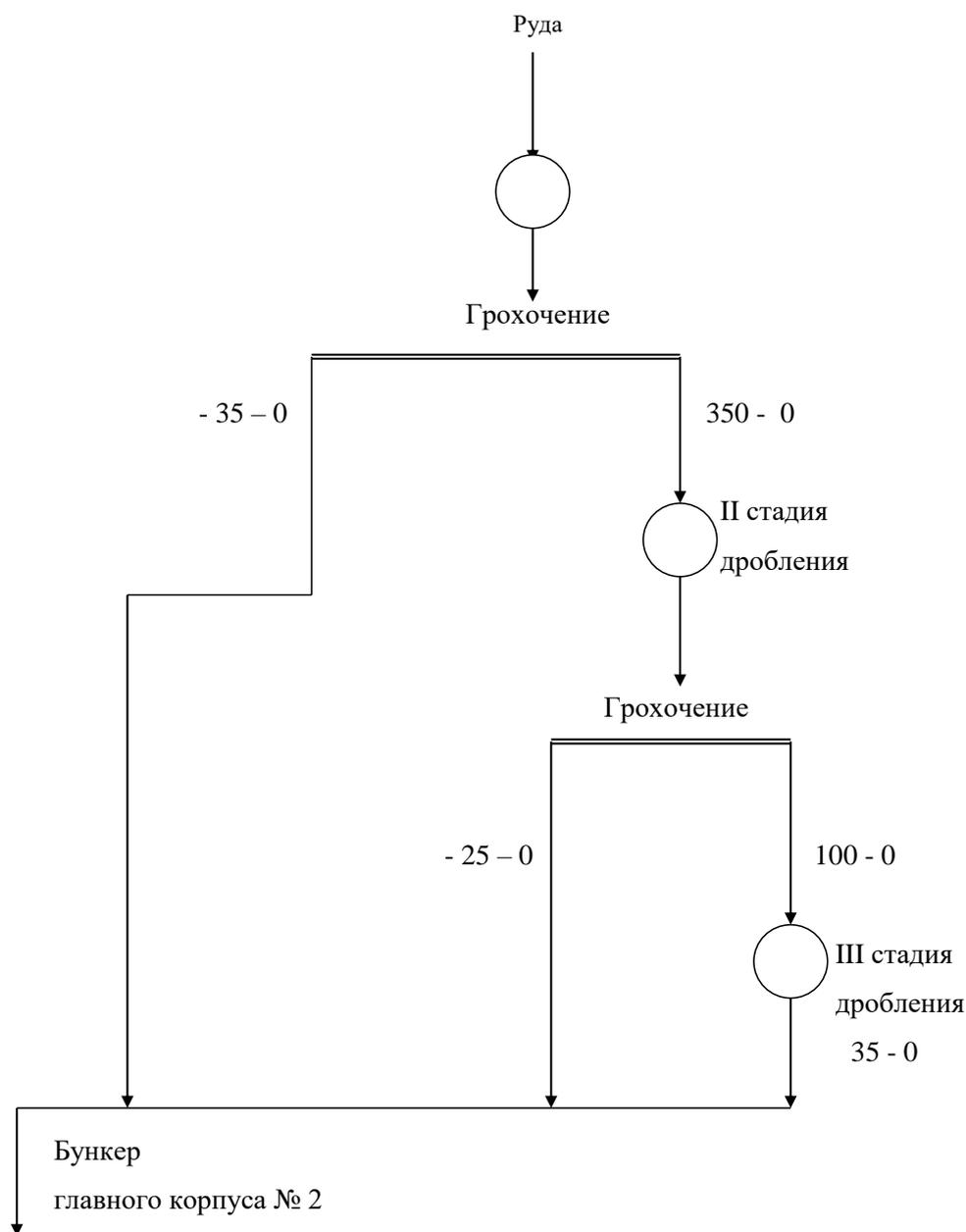


Рисунок 1.1 – Технологическая схема дробления медных руд в КД-2

Дробленный материал среднего дробления передается на катучие конвейера №4К, №5К, которые подают руду на любой из трех тяжелых конвейеров №3Т, 4Т, 5Т, транспортирующих руду на три катучих конвейера №12 К, 13К, 14 К, подающих руду на склад или на конвейеры 1ГК, 2ГК. Также катучие конвейера №13К, 14К могут передавать руду на межзаводской конвейер, который транспортирует руду в склад КД-1.

2 Расчет системы электроснабжения обогатительной фабрики

2.1 Расчет электрических нагрузок

Метод упорядоченных диаграмм – наиболее точен, применяется для расчета электрических нагрузок на всех ступенях системы, при условии наличия данных о каждом приемнике.

Коэффициент использования активной мощности одного, либо группы приемников

$$K_{u.a.} = P_{см} / P_{ном}. \quad (2.1)$$

Для группы электроприемников с различными режимами работы коэффициент использования $K_{и.а.}$:

$$K_{u.a.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{см}}{\sum_{i=1}^n P_{ном}}, \quad (2.2)$$

где n – число подгрупп электроприемников с различными режимами работы, входящих в данную группу;

$P_{см}$ – средняя мощность подгруппы (за наиболее загруженную смену);

$P_{ном}$ – номинальная мощность подгруппы приемников.

При наличии в одной группе приемников с различными режимами работы $P_{см}$ и $Q_{см}$ равны:

$$P_{см} = \sum P_{см} = \sum (P_{ном} \cdot K_{исп}), \quad (2.3)$$

$$Q_{см} = \sum q_{см} = \sum (P_{см} \cdot tg\varphi), \quad (2.4)$$

где $K_{исп.}$ - коэффициент использования;

$P_{ном}$ - номинальная мощность приемника;

$tg\varphi$ - значение, соответствующее средневзвешенному коэффициенту.

Эффективное число электроприемников $n_{эф}$:

$$n_{эф} = (\sum P_{ном})^2 / \sum P_{ном}^2. \quad (2.5)$$

Допускаются упрощения по определению $n_{эф}$:

а) при отношении наибольшей мощности к мощности наименьшего:

$$m = P_{ном.мах.} / P_{с.ном.мин.} < 3, \quad (2.6)$$

то допускается принимать $n_{эф} = n > 4$

Таблица 2.1 – Ведомость электроприемников

УЗЛЫ ПИТАНИЯ И ГРУППЫ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ	КОЛ-ВО ЭЛ. ПРИЕМНИКОВ	УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ, ПРИВЕДЕННАЯ К ПВ=1 КВТ		$m = P_{н\text{дв}} / P_{н\text{дв.н}}$	КОЭФ. ИСПОЛЬЗОВАНИЯ $K_{\text{н}}$	$\cos \varphi / \lg \varphi$	СРЕДНЯЯ НАГРУЗКА ЗА МАКСИМАЛЬНУЮ ЗАГРУЖЕННУЮ СМЕНУ		$p_{\text{н}} = 2 \cdot \Sigma P_{\text{н}} / P_{\text{н\text{дв.н}}}$	КОЭФФИЦИЕНТ МАКСИМУМА $K_{\text{м}}$	МАКСИМАЛЬНАЯ НАГРУЗКА		
		$P_{\text{н}}$, кВт	$\Sigma P_{\text{н}}$, кВт				$P_{\text{ср}} = K_{\text{н}} \cdot P_{\text{н}}$	$Q_{\text{ср}} = P_{\text{ср}} \cdot \lg \varphi_{\text{ср}}$			$P_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{ср}}$	$Q_{\text{м}} = K_{\text{м}} \cdot Q_{\text{ср}}$	$S_{\text{м}} = \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КОРПУС ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ №1													
ТП-1													
1-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	70-90	5,5-7,5	520		0,7	0,8/0,75	364	291,2	54	1,05	382,2	305,76	489,45
Сил. нагр. 6 кВ	2	600	1200		0,7	0,8/0,75	840	630		1	840	630	1050
2-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	4,5	5,5-7,5	292,5		0,75	0,7/0,8	219,38	175,5	23	1,05	230,35	184,28	294,99
Сил. нагр. 6 кВ	1	600	600		0,8	0,8/0,75	480	360		1	480	360	600
ИТОГО по ТП-1				>3									2434,44
ТП-2													
1-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	50-60	5,5-7,5	375,5		0,75	0,7/0,8	268,13	214,5	41	1,15	308,35	246,68	394,88
Сил. нагр. 6 кВ	1	600	600		0,8	0,8/0,75	480	360		1	480	360	600

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	40-50	5,5-7,5	292,5		0,8	0,8/0,75	234	175,5	23	1,05	245,7	184,28	307,13
Сил. нагр. 6 кВ	2	600	1200		0,7	0,8/0,75	840	630		1	840	630	1050
ИТОГО по ТП-2					>3								2352,01
ТП-3													
1-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	30-40	5,5-10	262,5		0,65	0,8/0,75	170,63	127,97	19	1,1	187,33	140,76	234,32
Сил. нагр. 6 кВ	2	600	1200		0,7	0,8/0,75	840	630		1	840	630	1050
2-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	60-70	5,5-10	487,5		0,75	0,6/1,33	292,5	389,03	36	1,15	336,38	447,39	561,52
Сил. нагр. 6 кВ	1	600	600		0,8	0,8/0,75	480	360		1	480	360	600
ИТОГО по ТП-3					<3								2445,84
ТП-4													
1-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	30-40	7,5-45	675		0,7	0,7/0,88	472,5	415,8	6	1,05	496,13	436,59	660,87
Сил. нагр. 6 кВ	3	600	1800		0,65	0,8/0,75	1170	877,5		1	1170	877,5	1462,5
2-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	50-60	5,5-7,5	357,5		0,65	0,8/0,75	232,38	174,28	40	1,15	267,24	200	333,78
Сил. нагр. 6 кВ	1	600	600		0,8	0,8/0,75	480	360		1	480	360	600
ИТОГО по ТП-4					<3								3057,16
ТП-14													
1-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	40-50	5,5-7,5	292,5		0,8	0,6/1,3	234	304,2	33	1,05	245,7	319,41	402,98
Сил. нагр. 6 кВ	3	400-600	1500		0,7	0,8/0,75	1050	787,5		1	1050	787,5	1312,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2-секция													
Сил. нагр. 0,4 кВ	45	7,5	337,5		0,7	0,7/0,88	236,25	207,9	38	1,15	271,69	239,08	361,91
Сил. нагр. 6 кВ	2	600	1200		0,75	0,8/0,75	960	672		1,5	1440	1008	1757,74
ИТОГО по ТП-14				<3									3838,13
ТП-15													
Сил. нагр. 0,4 кВ	50-70	7,5-20	780		0,8	0,7/0,88	624	549,12	28	1,05	655,2	576,58	872,77
Сил. нагр. 6 кВ	6-8	400-1100	5250		0,7	0,8/0,75	3675	2756,3		1	3675	2756,3	4593,7
ИТОГО по ТП-15				>3									5466,47
ТП-16													
Сил. нагр. 0,4 кВ	60-70	10-20	975		0,7	0,8/0,75	682,5	511,88	39	1,05	716,63	537,47	895,78
Сил. нагр. 6 кВ	8	400-1100	5600		0,65	0,7/0,8	3640	2912		1	3640	2912	4661,47
ИТОГО по ТП-16				>3									5557,25
ТП-5													
Сил. нагр. 6 кВ	25-40	0,27-100	1250		0,66	0,65/1,1	825	907,5	8	1,15	948,8	1043	1309,95
ТП-6													
Сил. нагр. 0,4 кВ	89	0,27-160	2305		0,6	0,6/1,17	1383	1618	40		1383	1618	2128,61
Сил. нагр. 6 кВ	6	250-15	1695		0,65	0,75/0,88	1101,8	969,54		1,09	1201,08	1057,8	1123,92
ИТОГО по ТП-6				>3									3252,53
ИТОГО по ГК-1	778	0,27-1100	32230										27582,6

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КОРПУС КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ №1													
Сил. нагр. 0,4 кВ	89	0,27-160	2305	<3	0,7	0,65/1,17	1613,5	1887,8		1,1	1774,85	2076,57	2731,7
Сил. нагр. 6 кВ	6	250-15	1695	>3	0,64	0,75/0,88	1084,8	954,62		1,3	1410,24	1241,01	1878,53
Освещение			147		0,95	1	139,6				139,6		
ИТОГО по ККД	95	0,27-315	4000										4743,83
КОРПУС СРЕДНЕГО И МЕЛКОГО ДРОБЛЕНИЯ													
Силовая нагрузка 0,4 кВ:	154	1-100	3043,1		0,68	0,8 / 0,86	2069,31	1779,6	41	1,09	2255,55	1939,77	
Освещение			250		0,95	1 / 0	237,5				237,5		
Итого по 0,4 кВ:	154	1-100	3293,1	> 3	0,7		2306,81	1779,6	41	1,09	2493,05	1939,77	3158,79
Силовая нагрузка 6 кВ:	52	160	7415		0,6	0,62/ 1,26	4449	5603,7	46	1,11	4938,39	6220,11	
Реактивные потери в трансформаторах								400				400	
ИТОГО по 6 кВ:	52	160	7415	> 3	0,6		4449	6003,7	46	1,11	4938,39	6620,11	
ИТОГО по КСМД:	206	1-160									7431,44	8559,88	11335,68
СКЛАД РУДЫ													
Сил. нагр. 0,4 кВ:	21	21,8-75	411,5	> 3	0,73	0,72/0,97	300,4	291,38	11	1,15	345,45	335,1	
Освещение			53,34		0,95	1 / 0	50,67				50,67		
ИТОГО по СР:	21	21,8-75	464,84	> 3	0,76		351,07	291,38	11	1,15	396,13	335,1	518,85
КОРПУС РЕАГЕНТОВ													
Сил. нагр. 0,4 кВ:	49	1,1-40	810,1	> 3	0,7	0,78 / 0,8	567,1	453,66	41	1,09	618,11	494,49	
Освещение			50,4		0,95	1 / 0	47,88				47,88		
ИТОГО по КР:	49	1,1-40	860,5	> 3	0,71		614,95	453,66	41	1,09	665,99	494,49	829,49

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КОРПУС СГУЩЕНИЯ													
Сил. нагр. 0,4 Кв:	40	4,0-250	1494,9	> 3	0,76	0,9/ 0,62	1136,12	704,4	12	1,07	1215,65	753,7	
Освещение			36,7		0,95	1 / 0	34,87				34,87		
ИТОГО по КС:	40	4-250	1531,6	> 3	0,76		1170,99	704,4	12	1,07	1250,52	753,7	1460,09
КОРПУС ФИЛЬТРАЦИИ													
Сил. нагр. 0,4 кВ:	103	4-75	2503,1	> 3	0,7	0,8 / 0,75	1752,17	1314,13	67	1,06	1857,3	1392,98	
Освещение		42,8	42,8		0,95	1 / 0	40,66				40,66		
ИТОГО по КФ:	103	4-75	2545,9	> 3	0,7		1792,83	1314,13	67	1,06	1897,96	1392,98	2354,28
Г П П													
Сил. нагр. 0,4 кВ:			20002,7				13916,1	11884,06			16229,63	13474,31	18473,53
Сил. нагр. 6 кВ:			32155				22003,04	19263,16			18908,5	20190,22	30517,25
Освещение			650,24				579,23				579,23		
Реактивные потери в трансформаторах								600				600	
ИТОГО по ОФ №1:	594	4067,9	59456	17,6	22,7	26,96	41524,4	23257,5	563	20,2	43216,89	13563,42	45007,3

б) при $m > 3$ и $K_{\text{исп}} > 0,2$:

$$n_{\text{эф}} = 2P_{\text{ном}} / P_{\text{макс}}, \quad (2.7)$$

где $P_{\text{ном}}$ - суммарная номинальная мощность группы приемников;

$P_{\text{макс}}$ - мощность одного наибольшего приемника группы.

Для приемников с разными режимами работы активная максимальная расчетная мощность:

$$P_{\text{макс}} = K_{\text{макс}} \cdot P_{\text{см}}, \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{макс}} = K_{\text{макс}} \cdot Q_{\text{см}}. \quad (2.9)$$

В соответствии с практикой проектирования:

$$Q_{\text{макс}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см}} \quad \text{при} \quad n_{\text{эф}} < 10,$$

$$Q_{\text{макс}} = Q_{\text{см}} \quad \text{при} \quad n_{\text{эф}} > 10.$$

После определения $P_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{макс}}$:

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}} + Q_{\text{макс}}}. \quad (2.10)$$

По $P_{\text{макс}}$ и $Q_{\text{макс}}$ определяют средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi$ за наиболее загруженную смену:

$$\text{tg}\varphi = \sum Q_{\text{макс}} / \sum P_{\text{макс}}. \quad (2.11)$$

2.2 Выбор напряжения внешнего электроснабжения

Для определения величины напряжения питания предприятия используем формулу Стила-Никогосова:

$$U = 16 \sqrt[4]{P_{\text{расч}} L}, \quad (2.12)$$

где $P_{\text{расч}}$ - передаваемая мощность, кВт;

L - расстояние передачи, км.

$$U = 16 \sqrt[4]{43,2 \cdot 3} = 58 \text{ кВ},$$

т.к. $110 \text{ кВ} > 58 \text{ кВ}$, то для фабрики выбираем напряжение 110кВ .

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Номинальная мощность трансформаторов:

$$S_{\text{ном.т}} > S_p / 2 \cdot 0,7, \quad (2.13)$$

$$S_{\text{ном.т}} = 45000 / 2 \cdot 0,7 = 33214,3 \text{кВА}.$$

Принимаем трансформаторы $2 \times 32000 \text{ кВа}$.

Проверка перегрузочной способности трансформаторов в аварийном режиме:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.т}} > S_p. \quad (2.14)$$

$$1,4 \cdot 32000 > 45000,$$

$$44800 < 45000.$$

Трансформаторы обеспечивают надежность в аварийном режиме.

Паспортные данные трансформаторов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Техничко-экономические данные трансформаторов

$S_{\text{ном.т}}$, кВА	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	$u_{\text{кз}}$, %	I_{xx} , %
32000	44	145	10,5	0,75

Определим коэффициент загрузки:

$$K_z = S_p / 2 \cdot S_{\text{ном.т}}. \quad (2.15)$$

$$K_z = 45000 / 2 \cdot 32000 = 0,7.$$

Учитывая перспективу развития фабрики, окончательно принимаем два трансформатора ТРНД-40000/110 ($S_{\text{н}}=40000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $U_{\text{вн}}=115 \text{ кВ}$; $U_{\text{нн}}=6,3 \text{ кВ}$).

2.4 Электрический расчет и выбор воздушной линии 110 кВ

2.4.1 По экономической плотности тока

Экономическое сечение проводов с нагрузкой на конце линий:

$$S_{ЭК} = I_{расч.} / j_{ЭК}, \quad (2.16)$$

где $I_{расч.}$ – расчетный ток нагрузки при нормальном режиме;
 $j_{ЭК}$ – нормированное значение экономической плотности тока.

$$j_{ЭК} = 1,5 \text{ А/мм}^2,$$

$$S_{ЭК} = 257 / 1,5 = 171,3 \text{ мм}^2.$$

2.4.2 По допустимому току:

$$I_{расч.} \leq I_{дл.доп.} \quad (2.17)$$

Расчетный ток:

$$I_{расч.} = S_P / \sqrt{3} \cdot U_{доп.}, \quad (2.18)$$

$$I_{расч.} = 48990,87 / \sqrt{3} \cdot 110 = 257 \text{ А},$$

$$I_{дл.доп.} = 510 \text{ А} \geq I_{расч.} = 257 \text{ А}.$$

Выбираем двухцепную ЛЭП с проводом марки АС-185, $I_{доп.} = 510 \text{ А}$, $S = 185 \text{ мм}^2$.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

2.5.1 Расчет токов КЗ напряжением выше 1000В

Мощность трансформатора питающее ГПП составляет $S_{ном.т.} = 40000 \text{ кВа}$, напряжение КЗ $U_K = 10,5\%$.

Для расчета токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения и на ее основе схему замещения.

Рассчитываем токи КЗ в точках K_1, K_2, K_3, K_4 .

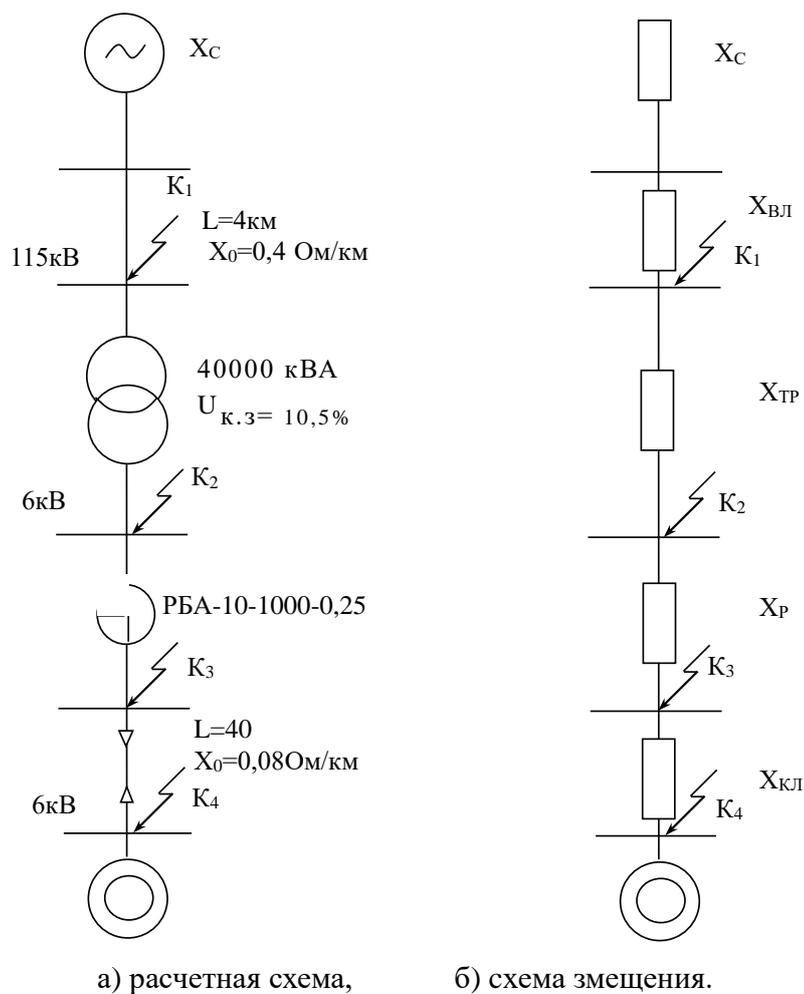


Рисунок 2.1

Сопротивление системы:

$$X_c = X_{ТГ} = X_i'' \cdot \frac{S_6'}{S_{ТГ}}, \quad (2.19)$$

$$X_c = X_{ТГ} = 0,125 \cdot \frac{100}{120} = 0,104 ,$$

где $X_i''=0,125$; $S_6'=100$ мВа; $S_{ТГ}=120$ мВа.

Базисный ток:

$$I_{б1} = \frac{S_6'}{\sqrt{3} U_6}, \quad (2.20)$$

$$I_{б1} = \frac{100}{\sqrt{3} 115} = 0,5 \text{ кА},$$

$$I_{\delta 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,17 \text{ кА},$$

где I_{δ} – ток базисный.

Сопротивление воздушной линии:

$$X_{*\delta} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (2.21)$$

$$X_{*\delta} = (0,4 \cdot 3 \cdot 100) / 115^2 = 0,01,$$

где X_0 – реактивное сопротивление линии, $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$;

l – длина линии, $l = 3 \text{ км}$.

Сопротивление трансформатора:

$$X_{TP} = \frac{U_{к.з}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н.т.}}, \quad (2.22)$$

$$X_{TP} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{40} = 0,26.$$

Сопротивление реактора:

Принимаем реактор РБА-10-1000-0,25.

$$X_{н.р} \text{ } 0/0 = \frac{x_{ном.р} \cdot I_{ном.р} \cdot \sqrt{3}}{10 \cdot U_{ном.с}}, \quad (2.23)$$

$$X_{н.р} \text{ } 0/0 = \frac{0,25 \cdot 1000 \cdot \sqrt{3}}{10 \cdot 6,3} = 6,86,$$

$$X_P = \left(X_{н.р} \text{ } 0/0 \cdot I_{\delta} \cdot U_{ном.р} / 100 \cdot I_{ном.р} \cdot U_{\delta} \right), \quad (2.24)$$

$$X_P = (6,86 \cdot 9,17 \cdot 10) / 100 \cdot 6,3 \cdot 1 = 1,$$

где X_P – индуктивное сопротивление реактора, $X_P = 0,25$.

Сопротивление кабельной линии:

$$X_{*\delta} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (2.25)$$

$$X_{*\bar{6}} = 0,08 \cdot 0,1 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,02 .$$

Результатирующие сопротивления относительно к точкам К₁, К₂, К₃, К₄.

$$X_{рез1} = X_c + X_{*\bar{6}} , \quad (2.26)$$

$$X_{рез2} = X_{рез1} + X_{TP} , \quad (2.27)$$

$$X_{рез3} = X_{рез2} + X_P , \quad (2.28)$$

$$X_{рез4} = X_{рез3} + X_{KL} , \quad (2.29)$$

$$X_{рез1} = 0,104 + 0,01 = 0,114 ,$$

$$X_{рез2} = 0,114 + 0,26 = 0,374 ,$$

$$X_{рез3} = 0,374 + 1 = 1,374 ,$$

$$X_{рез4} = 1,474 + 0,02 = 1,494$$

Ток короткого замыкания:

$$I_K = I_{\bar{6}} / X_{рез} . \quad (2.30)$$

Амплитудное значение ударного тока КЗ:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K , \quad (2.31)$$

где К_у – ударный коэффициент, принимается равным 1,8.
Наибольшее действующее значение полного тока КЗ:

$$I_y = i_y / 1,68 \quad (2.32)$$

Мощность короткого замыкания:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}} \cdot I_K \quad (2.33)$$

Производим расчет для каждой отмеченной точки:

Точка К₁:

$$I_{K1} = 0,5 / 0,113 = 4,42 \text{ кА} ,$$

$$i_{y1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,42 = 11,25 \text{ кА} ,$$

$$I_{y1} = 11,25 / 1,68 = 6,69 \text{ кА} ,$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 4,42 = 879 \text{ мВа} .$$

Точка К₂:

$$I_{K2} = 9,17 / 0,374 = 24,58 \text{ кА} ,$$

$$i_{y2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 24,58 = 76,54 \text{ кА} ,$$

$$I_{y2} = 76,54 / 1,68 = 45,56 \text{ кА} ,$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 24,58 = 267,9 \text{ мВа} .$$

Точка К₃:

$$I_{K3} = 9,17 / 1,374 = 6,67 \text{ кА} ,$$

$$i_{y3} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,67 = 19,39 \text{ кА} ,$$

$$I_{y3} = 19,39 / 1,68 = 11,54 \text{ кА} ,$$

$$S_3 = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 6,67 = 67,9 \text{ мВа} .$$

Точка К₄:

$$I_{K4} = 9,17 / 1,494 = 6,14 \text{ кА} ,$$

$$i_{y4} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,14 = 19,13 \text{ кА} ,$$

$$I_{y4} = 19,13 / 1,68 = 11,37 \text{ кА} ,$$

$$X_{TP} = 0,053 \cdot 400^2 / 1000 = 8,48 \text{ мОм},$$

$$r_{TP} = r_{TP}^* \cdot U_{ном}^2 / S_{ном.тр}, \quad (2.37)$$

$$r_{TP} = 0,0122 \cdot 400^2 / 1000 = 1,95 \text{ мОм}.$$

Сопротивление шины Ш₁, длина его L = 5м, при

$$X_{Ш1} = L \cdot X_0, \quad (2.38)$$

$$X_{Ш1} = 5 \cdot 0,031 = 0,155 \text{ мОм},$$

$$r_{Ш1} = L \cdot r_0, \quad (2.39)$$

$$r_{Ш1} = 5 \cdot 0,017 = 0,085 \text{ мОм},$$

где X_0, r_0 – удельное активное и индуктивное сопротивление:

$$X_0 = 0,031 \text{ мОм}, \quad r_0 = 0,017 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление шинного разъединителя, зная расчетный ток:

$$I_{ном.р.} = \frac{S_{ном.тр.}}{\sqrt{3}U_{ном.}}, \quad (2.40)$$

$$I_{ном.р.} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445 \text{ А},$$

$$r_{Ш.Р} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Сопротивление шины Ш₂, длина его L = 1м, при

$$X_{Ш2} = 1 \cdot 0,031 = 0,031 \text{ мОм},$$

$$r_{Ш2} = 1 \cdot 0,017 = 0,017 \text{ мОм}.$$

Сопротивление автомата:

$$X_{AB} = 0,094 \text{ мОм},$$

$$r_{AB} = 0,012 \text{ мОм},$$

$$r_{K.AB} = 0,25 \text{ мОм}.$$

Сопротивление кабеля:

$$X_{KL} = L \cdot X_0, \quad (2.41)$$

$$r_{KL} = L \cdot r_0, \quad (2.42)$$

$$X_{KL} = 1,33 \cdot 40 = 53,2 \text{ мОм},$$

$$r_{KL} = 0,07 \cdot 40 = 2,8 \text{ мОм}.$$

Токи КЗ к точке К₁.

Суммарное сопротивление цепи КЗ до К₁.

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{TP} + X_{Ш1} \quad (2.43)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,4 + 8,48 + 0,155 = 9,04 \text{ мОм},$$

$$R_{\Sigma K1} = R_{TP} + R_{Ш1} + R_{Ш,P}, \quad (2.44)$$

$$R_{\Sigma K1} = 1,95 + 0,085 + 0,15 = 2,185 \text{ мОм},$$

$$Z_{K1} = \sqrt{X_{\Sigma K1}^2 + R_{\Sigma K1}^2}, \quad (2.45)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{2,185^2 + 9,04^2} = 9,29 \text{ мОм}.$$

Ток КЗ точки К₁:

$$I_{K.3(K-1)}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}, \quad (2.46)$$

где $I_{K.3(K-1)}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ, кА;

$$I_{K.3(K-1)}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 9,29} = 24,89 \text{ кА},$$

$$I_{K.3(K-1)}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K.3(K-1)}^{(3)}, \quad (2.47)$$

$$I_{K.3(K-1)}^{(2)} = 0,87 \cdot 24,89 = 21,65 \text{ кА},$$

$$i_Y = K_Y \cdot 1,41 \cdot I_{K.3(K-1)}^{(3)}, \quad (2.48)$$

где K_Y – ударный коэффициент, $K_Y = 1,3$.

$$i_Y = 1,3 \cdot 1,41 \cdot 24,89 = 45,62 \text{ кА},$$

$$I_Y = I_{K.3(K-1)}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_Y - 1)^2}, \quad (2.49)$$

$$I_Y = 24,89 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,3 - 1)^2} = 31,48 \text{ кА},$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{K.3(K-1)}^{(3)}, \quad (2.50)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 24,89 = 17,22 \text{ мВа}.$$

Токи КЗ к точке K_2 .

Суммарное сопротивление цепи КЗ до K_2 .

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{Ш2} + X_{AB} \quad (2.51)$$

$$X_{\Sigma K2} = 9,04 + 0,031 + 0,094 = 9,17 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{Ш2} + R_{AB} + R_{K.AB} + R_{ПЕР} \quad (2.52)$$

$$R_{\Sigma K2} = 2,185 + 0,085 + 0,12 + 0,25 + 15 = 17,64 \text{ мОм}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{X_{\Sigma K2}^2 + R_{\Sigma K2}^2}, \quad (2.53)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{17,64^2 + 9,17^2} = 19,87 \text{ мОм}.$$

Ток КЗ к точке K_2 .

$$I_{K.3(K-2)}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,87} = 11,64 \text{ кА},$$

$$I_{K.3(K-2)}^{(2)} = 0,87 \cdot 11,64 = 10,12 \text{ кА},$$

$$i_Y = 1,3 \cdot 1,41 \cdot 11,64 = 21,34 \text{ кА},$$

$$I_Y = 11,64 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,3 - 1)^2} = 12,64 \text{ кА},$$

$$S = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 11,64 = 8,05 \text{ мВа}.$$

Токи КЗ к точке К₃.

Суммарное сопротивление цепи КЗ до К₃.

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{KL} \quad (2.54)$$

$$X_{\Sigma K3} = 9,17 + 2,8 = 11,97 \text{ мОм},$$

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{KL} + R_{неуч.}, \quad (2.55)$$

$$R_{\Sigma K3} = 17,64 + 53,2 + 10 = 80,84 \text{ мОм},$$

$$Z_{K3} = \sqrt{X_{\Sigma K3}^2 + R_{\Sigma K3}^2}, \quad (2.56)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{80,84^2 + 11,97^2} = 81,72 \text{ мОм}.$$

Ток КЗ к точке К₂.

$$I_{K.3(K-3)}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 81,72} = 2,83 \text{ кА},$$

$$I_{K.3(K-3)}^{(2)} = 0,87 \cdot 2,83 = 2,46 \text{ кА},$$

$$i_Y = 1,3 \cdot 1,41 \cdot 2,83 = 5,18 \text{ кА},$$

$$I_Y = 2,83 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,3 - 1)^2} = 3,05 \text{ кА},$$

$$S = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2,83 = 1,95 \text{ мВа}.$$

2.6 Выбор аппаратуры управления и защиты электрооборудования

2.6.1 Выбор пускозащитной аппаратуры выше 1000В

а) Выбор выключателя на стороне 110 кВ
Выбираем выключатель SPS-2.

Таблица 2.7 – Технические характеристики выключателя на стороне 110 кВ

расчетная величина	формулы для выбора и проверки	паспортные данные
$U_{\text{ном.}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.}} < U_{\text{ном.а}}$	$U_{\text{ном.а}} = 123 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} = 257,44 \text{ А}$	$I_{\text{расч}} < I_{\text{ном.а}}$	$I_{\text{ном.а}} = 3150 \text{ А}$
$I_{0,2} = 4,42 \text{ кА}$	$I_{0,2} < I_{\text{ном.откл}}$	$I_{\text{ном.откл}} = 63 \text{ кА}$
$S_{0,2} = 879 \text{ МВА}$	$S_{0,2} < S_{\text{ном.откл}}$	$S_{\text{ном.откл}} = 11000 \text{ МВА}$
$I_{\gamma} = 6,69 \text{ кА}$	$I_{\gamma} < I_{\text{эф}}$	$I_{\text{эф}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\gamma} = 11,25 \text{ кА}$	$i_{\gamma} < i_{\text{н.дин.}}$	$i_{\text{н.дин.}} = 32 \text{ кА}$
$I_{\text{н.т.у}} = 3,12 \text{ кА}$	$I_{\text{к.з}} / \sqrt{t_{\text{н}}} \cdot t_{\text{ном.т.с}} \leq I_{\text{н.т.у}}$	$I_{\text{н.т.у}} = 12,5 \text{ кА}$

$$I_{\text{расч}} = 48990,87 / \sqrt{3} \cdot 110 = 257 \text{ А},$$

$$\beta'' = 4,42 / 4,42 = 1.$$

При $t=3 \text{ с}$, приведенное время короткого замыкания - $t_{\text{л}} = 2 \text{ с}$, принимаем $t_{\text{н.т.у.}} = 4 \text{ с}$.

Ток термической устойчивости:

$$I_{\text{н.т.у.}} = I_{\text{к.з}} / \sqrt{t_{\text{н}}} \cdot t_{\text{ном.т.с}}, \quad (2.57)$$

$$I_{\text{н.т.у.}} = 4,42 / \sqrt{2} \cdot 4 = 3,12 \text{ кА}.$$

б) Выбор разъединителя на стороне 110 кВ

Выбор разъединителей производится по тем же соотношениям, по которым выбираются выключатели, однако при проверке разъединителей не определяются мощность и ток отключения.

Выбираем разъединитель РНДЗ - 110 / 1000.

Таблица 2.8 – Разъединитель на стороне 110 кВ

Расчетная величина	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{\text{ном.}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.у}} < U_{\text{ном.а}}$	$U_{\text{ном.а}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} = 257,44 \text{ А}$	$I_{\text{расч}} < I_{\text{ном.а}}$	$I_{\text{ном.а}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\gamma} = 76,54 \text{ кА}$	$i_{\gamma} < i_{\text{н.дин.}}$	$i_{\text{н.дин.}} = 80 \text{ кА}$
$I_{\text{н.т.у}} = 3,12 \text{ кА}$	$I_{\text{к.з}} / \sqrt{t_{\text{н}}} \cdot t_{\text{ном.т.с}} \leq I_{\text{н.т.у}}$	$I_{\text{н.т.у}} = 31,5 \text{ кА}$

в) Трансформатор тока на стороне 110 кВ

Трансформаторы тока выбирают по номинальному току и напряжению и проверяют по электродинамической и термической устойчивости к токам к.з. Проверка соответствия условий работы измерительного трансформатора тока требуемому классу точности производится сопоставлением его действительной нагрузки с допустимой.

Расчет действительной нагрузки:

$$Z_{НАГР} = Z_{ПП} + Z_P + Z_K, \quad (2.58)$$

где $Z_{пр}$ - сопротивление соединительных проводов;

Z_p - сопротивление реле (прибора);

$Z_k = 0,1$ - сопротивление переходных контактов.

Выбираем реле РТ–85/2, согласно [8, табл.15-4] $S_p = 0,5$ ВА, ток первой уставки $I = 2,5$ А.

Сопротивление реле:

$$Z_P = S_P / I^2, \quad (2.59)$$

$$Z_P = 0,5 / 2,5^2 = 0,08 \text{ Ом}.$$

Сопротивление соединительных проводов:

$$Z_{ПП} = L_{расч.} / \gamma \cdot q_{расч.}, \quad (2.60)$$

где $L_{расч.} = 50$ м - расчетная длина соединительных проводов (кабеля);

$\gamma = 53$ м / Ом · мм² - удельная проводимость;

$q_{расч.} = 2,5$ мм² - сечение провода или жилы кабеля.

$$Z_{ПП} = 50 / 53 \cdot 2,5 = 0,35 \text{ Ом},$$

$$Z_{НАГР} = 0,08 + 0,35 + 0,1 = 0,53 \text{ Ом}.$$

Расчетная мощность:

$$S_{расч} = I_{2Н}^2 \cdot Z_{НАГР}, \quad (2.61)$$

$$S_{расч} = 2,5^2 \cdot 0,53 = 3,31 \text{ Ва}.$$

Выбираем трансформатор ТФНД 110 - 400 / 5.

$$I_{н.т.у.} = \sqrt{B_K / t_{т.н.}}, \quad (2.62)$$

$$I_{н.т.у.} = \sqrt{45/10} = 2,12 \text{ кА},$$

$$B_K = I_n^2 (t_{откл} + T_{a.c.}), \quad (2.63)$$

$$B_K = 4,42 \cdot 10,2 = 45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$T_{a.c.} = 0,2 \text{ сек.}$$

Таблица 2.9 – Трансформатор тока на стороне 110 кВ

Расчетная величина	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{ном.} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном.у} < U_{ном.а}$	$U_{ном.а} = 110 \text{ кВ}$
$I_{расч} = 257,44 \text{ А}$	$I_{расч} < I_{ном.а}$	$I_{ном.а} = 630 \text{ А}$
$i_y = 76,54 \text{ кА}$	$i_y < i_{н.дин}$	$i_{н.дин.} = 80 \text{ кА}$
$S_{расч} = 3,31 \text{ ВА}$	$S_{расч} < S_{н2}$	$S_{н.2} = 10 \text{ ВА}$
$I_{НТУ} = 2,12 \text{ кА}$	$I_{\infty} * k < I_{НТУ}$	$I_{НТУ} = 40 \text{ кА}$

г) Выбор трансформатора напряжения.

Таблица 2.10 – Нагрузка подключаемая к трансформатору напряжения

Наименование	Тип	Р, Вт	cosφ,	Количество	Р, Вт	Q, Вар
1. Вольтметр	Э – 335	7,2	1	1	7,2	
2. Ваттметр	Д – 335	1,8	1	2	3,6	
3. Счетчик активной энергии	СА3У-И680	1,75	0,38	10	17,5	9,25
4. Счетчик реактивной энергии	СР4У-И676	1,33	0,39	3	3,99	9,7
5. БАУРПН		10		1	10	
Итого:					42,3	18,97

Трансформаторы напряжения выбирают по номинальному напряжению первичной обмотки, классу точности, схемы соединения обмоток и конструктивному исполнению. Определение нагрузки ведется по наиболее загруженной фазе. Выбираем трансформатор напряжения НТМИ-6-6000/100 ($S_{ном.} = 120 \text{ ВА}$).

$$S_{макс} = \sqrt{P_{макс} + Q_{макс}}, \quad (2.64)$$

$$S_{макс} = \sqrt{42,3^2 + 18,97^2} = 46,4 \text{ Ва} < 120 \text{ Ва}.$$

д) Выбор реакторов.

Расчет сопротивления реактора:

$$X_{\text{суц}} = X_C + X_{\text{БЛ}} + X_{\text{ТР}}, \quad (2.65)$$

$$X_{\text{суц}} = 0,104 + 0,01 + 0,26 = 0,4.$$

Принимаем реактор РБА-10-1000-0,25 ($U_{\text{НОМ}}=10\text{кВ}$, $I_{\text{НОМ}}=1000$, $X_p=0,25$)

Результаты сопротивления цепи к.з. с учетом реактора:

$$X'_{\text{рез}} = X_{\text{СУЩ}} + X_p, \quad (2.66)$$

$$X'_{\text{рез}} = 0,4 + 1 = 1,4.$$

Ток за реактором (K_3);

$$I_{K3} = I_{\sigma} / X'_{\text{рез}}, \quad (2.67)$$

$$I_{K3} = 9,17 / 1,4 = 6,55 \text{ кА}.$$

Ток за реактором (K_4);

$$I_{K4} = I_{\sigma} / X'_{\text{рез}} + X_{\text{кл}}, \quad (2.68)$$

$$I_{K4} = 9,17 / 1,42 = 6,46 \text{ кА}.$$

Проверка стойкости реактора в режиме К.З.

а) электродинамическая стойкость:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K(\text{кЗ})}, \quad (2.69)$$

$$i_y = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 6,55 = 16,62 \text{ кА},$$

$$i_{\text{ном.д.с.}} \geq i_{\text{у.расч}}, \quad (2.70)$$

$$20 \geq 16,62,$$

где K_y – ударный коэффициент, $K_y=1,8$;

$i_{\text{ном.д.с.}}$ - динамический ток реактора, $i_{\text{ном.д.с.}} = 20 \text{ кА}$.

б) термическая стойкость

$$I_{H.T.C} \geq I_{K.3} \sqrt{t_H} \cdot t_{НОМ.T.C}, \quad (2.71)$$

где $t_{НОМ.T.C}$ – время протекания термической стойкости, $t_{НОМ.T.C}=6с$;
 t_{Π} – приведенное время действия т.к.з., $t_{\Pi}=1,5$.

$$I_{H.T.C} = 20\sqrt{12} \cdot 1,8 = 8 \text{ кА},$$

$$8 > 6,55 \cdot \sqrt{1,5/6},$$

$$8 \text{ кА} > 3,3 \text{ кА}.$$

Остаточное напряжение на шинах подстанции при к.з. за реактором (%) от $U_{НОМ.р.}$

$$U_{ОСТ} \% = X_{НОМ.р} \% \cdot (I_{к.з.} \cdot U_{НОМ.р.}) / (I_{НОМ.р.} \cdot U_{НОМ.с}), \quad (2.72)$$

$$U_{ОСТ} \% = 6,86 \cdot (6,55 \cdot 10) / (1 \cdot 6,3) = 71,3\%.$$

Таблица 2.11 – Реактор на стороне 10кВ

Расчетная величина	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{НОМ.} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ.} < U_{НОМ.а}$	$U_{НОМ.а} = 10 \text{ кВ}$
$I_{расч} = 3,76 \text{ кА}$	$I_{расч} < I_{НОМ.а}$	$I_{НОМ.а} = 630 \text{ А}$
$i_{y=} 19,13$	$i_{y} < i_{y.а}$	$i_{y.а} = 40 \text{ кА}$
$I_{НТС} = 3,3$	$I_{\infty} \cdot k < I_{НТУ}$	$I_{НТУ} = 51 \text{ кА}$

Выбираем окончательно реактор РБА-10-1000-0,25.

в) Выбор комплектного распределительного устройства 6 кВ.

Номинальный ток вводной ячейки на ТП №1:

$$I_{НОМ} = S / (3 \cdot I_{НОМ}), \quad (2.73)$$

$$I_{НОМ} = 2434,44 / 3 \cdot 6 = 135,5 \text{ А}.$$

Устанавливаем камеру выкатного типа КРУ – 10П с выключателями типа ВКЭ-10 на номинальный ток 630А.

Ток термической устойчивости:

$$I_{H.T.Y.} = I_{K.3} \cdot \sqrt{t_{\Pi}} / t_{НОМ.T.Y.}, \quad (2.74)$$

где $t_{н.т.у.} = 4$ с;
 $t_{вкл} = 0,4$ с;
 $t_{п} = 0,14 + 0,4 = 0,54$ с.

$$I_{н.т.у.} = 6,67 \cdot \sqrt{0,54/4} = 2,45 \text{ А.}$$

Таблица 2.12 – Ячейка КРУ на стороне 6кВ

Расчетная величина	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{ном.} = 6$ кВ	$U_{ном.} > U_{ном.а}$	$U_{ном.а} = 10$ кВ
$I_{расч} = 135,5$ А	$I_{расч} > I_{ном.а}$	$I_{ном.а} = 630$ А
$I_{0,2} = 6,67$ кА	$I_{0,2} > I_{ном.откл}$	$I_{ном.откл} = 20$ кА
$S_{0,2} = 67,9$ МВА	$S_{0,2} > S_{ном.откл}$	$S_{ном.откл} = 207,6$ МВА
$I_y = 11,54$ кА	$I_y > I_{эф}$	$I_{эф} = 64,0$ кА
$i_y = 19,39$ кА	$i_y > i_{н.дин}$	$i_{н.дин.} = 52$ кА
$i_{н.т.у} = 2,45$ кА	$I_{т=т} \cdot \square t_{п} / t_{н.т.у} > I_{н.т.у.}$	$I_{н.т.у} = 64$ кА

3) Выбор трансформатора тока на 6 кВ
 Принимаем трансформатор типа ТПОЛМ-10У3.

$$i_{дин.расч} = \frac{i_{у.расч}}{\sqrt{2} \cdot I_{ном.а}}, \quad (2.75)$$

$$i_{дин.расч} = \frac{16620}{\sqrt{2} \cdot 1500} = 7,86 \text{ кА},$$

Таблица 2.13 – Трансформатор тока на стороне 110 кВ

Расчетная величина	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{ном.} = 6$ кВ	$U_{ном.у} < U_{ном.а}$	$U_{ном.а} = 10$ кВ
$I_{расч} = 257,44$ А	$I_{расч} < I_{ном.а}$	$I_{ном.а} = 400$ А
$I_{дин.расч} = 7,86$ кА	$i_y < i_{н.дин}$	$i_{н.дин.} = 155$ кА
$I_{нту} = 4,44$ кА	$I_{\infty} \cdot k < I_{нту}$	$I_{нту} = 65$ кА
		$K_{тт} = 1500/5,$

$$I_{т.н} = \frac{I_{к.з} \cdot \sqrt{t_n}}{I_{ном.а} \sqrt{t_{ном.т.н.}}}, \quad (2.76)$$

$$I_{Т.н} = \frac{6670 \cdot \sqrt{1}}{1500 \sqrt{1}} = 4,44 \text{ кА},$$

где $I_{ном.а}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора;
 $t_{п}$ – приведенное время протекания к.з., $t_{п}=10$ с.

2.6.2 Выбор пускозащитной аппаратуры до 1000 В

а) Шинный разъединитель.

Шинные разъединители выбирают по номинальному напряжению и току, установки, проверяют на электродинамическую и термическую стойкость в режиме КЗ.

Таблица 2.14 – Технические характеристики шинного разъединителя

Расчетные величины	Формулы для выбора и проверки	Паспортные данные
$U_{ном} = 0,4$ кВ	$U_{ном} < U_{н.р}$	$U_{н.р} = 10$ кВ
$I_{ном} = 1133,58$ А	$I_{ном} < I_{н.р}$	$I_{н.р} = 2000$ А
$i_y = 45,62$ кА	$i_y < i_{дин}$	$i_{дин} = 85$ кА
$I_{н.т.у} = 6,58$ кА	$I_{н.т.у} < I_{н.т.у.р}$	$I_{н.т.у.р} = 10$ кА

$$I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{нм}}, \quad (2.77)$$

$$I_{ном} = \frac{784,44}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1133,58 \text{ А}.$$

Проверка на термическую стойкость к токам КЗ

$$I_{н.т.у.} = I_{к.з.} \sqrt{t_n / t_{н.т.с}}, \quad (2.78)$$

$$I_{н.т.у.} = 24,89 \sqrt{0,7/10} = 6,58,$$

где t_n – срабатывание защиты, $t_n=0,7$ с;
 $t_{н.т.с}=10$ с.

Принимаем к установке разъединитель РВРЗ-Ш-10/2000 УЗ.

в) Выбор автоматов и кабельных линии ККД №1 на 0,4кВ.

Автоматические выключатели (автоматы) характеризуются номинальным напряжением и номинальным током и их расцепителями.

Выбор кабельных линий производится по допустимому току.

Таблица 2.15 – Выбор автоматов и кабелей

Р, кВт	I _{расч} , А	I _{доп} , А	S, мм ²	марка	Тип автомата	I _{н.р.} , А
160	458	600	3x150	АВВБГ	А3730	500
75	215	250	3x95	АВВБГ	А3720	250
20	57,3	70	3x25	АВВБГ	А3710	100
14	40,1	50	3x16	АВВГ	А3710	80
7,5	21,5	50	3x16	АВВГ	А3710	25
4,5	12,9	10	3x4	ВВГ	А370	25

2.7 Молниезащита и защитное заземление

2.7.1 Расчёт защитного заземления ГПП-110 кВ ОФ

Для электроустановки напряжением 110 кВ по ПУЭ требуется сопротивление заземления равное 0,5 Ом.

Со стороны 110 кВ в соответствии с ПУЭ требуется сопротивление заземления 0,5 Ом, а со стороны 110 кВ его рассчитывают по формуле:

$$R_{зм} = U_{расч} / I_{расч}, \quad (2.79)$$

$$R_{зм} = 125 / 25 = 5 \text{ Ом}.$$

Здесь расчетное напряжение на заземляющем устройстве принято равным 125 В, поскольку заземляющее устройство используют и для установок и для установок подстанции напряжением до 1000 В.

Значение сопротивления растеканию естественного заземлителя принято равным 2 Ом.

Сопротивление искусственного заземлителя рассчитывают с учетом использования естественного заземлителя:

$$R_{И} = \frac{R_c R_{зм}}{R_c - R_{зм}}, \quad (2.80)$$

$$R_{И} = \frac{0,5 \cdot 5}{5 - 0,5} = 0,55 \text{ Ом}.$$

Рекомендуемое для предварительных расчетов удельное сопротивление грунта в месте сооружения заземлителя (каменистая глина) составляет 100 Ом·м. Повышающие коэффициенты для климатической зоны 3 принимают

равными 2- для горизонтальных протяженных электродов при глубине заложения 0,8 м и 1,4- для вертикальных стержневых электродов длиной 2-3 м при глубине заложения их вершин 0,5-0,8м

Расчетные удельные сопротивления:

для горизонтальных электродов $\rho_{расч.г}=2 \cdot 100=200$ Ом·м;

для вертикальных электродов $\rho_{расч.в}=2 \cdot 100=140$ Ом·м.

Определяют сопротивление растеканию одного вертикального электрода – уголка №50 длиной 3 м при погружении его ниже уровня земли на 0,7 м по формуле:

$$R_{о.в.э.} = \frac{\rho_{расч.в}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (2.81)$$

$$R_{о.в.э.} = \frac{140}{2\pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{25} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 3}{4 \cdot 1,7 - 3} \right) = 61,90 \text{ Ом}.$$

Определяют примерное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования $k_{у.в.э.} = 0,8$

$$n = \frac{R_{о.в.э.}}{k_{у.в.э.} R_u}, \quad (2.82)$$

$$n = \frac{61,90}{0,8 \cdot 0,5} \approx 141,$$

где $k_{у.в.э.}$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей при расположении их в ряд и при расположении по контуру.

Определяют сопротивление растеканию горизонтальных электродов (полос 40x4 мм²). Приваренных к верхним концам уголков, по формуле:

$$R_{г.э.} = \frac{\rho_{расч.г}}{K_{у.г.} \cdot 2\pi \cdot l} \ln \frac{l^2}{bt}, \quad (2.83)$$

$$R_{г.э.} = \frac{200}{0,31 \cdot 6,28 \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0,016 \cdot 0,708} = 12 \text{ Ом}.$$

Находят действительное сопротивление растеканию горизонтальных электродов с учетом коэффициента использования. Коэффициент использования соединительной полосы в контуре при числе уголков, примерно 100 и отношении $a/l=1$, равен $k_{и.г.э.}=0,19$. Тогда

$$R_{2.э.л.} = \frac{R_{2.э.}}{k_{u.2.э.}}, \quad (2.84)$$

$$R_{2.э.л.} = \frac{12}{0,19} \approx 63,16 \text{ Ом}.$$

Уточняют сопротивление вертикальных электродов

$$R_{в.э.} = \frac{R_{2.э.д.} \cdot R_u}{R_{2.э.д.} - R_u} \quad (2.85)$$

$$R_{в.э.} = \frac{63,16 \cdot 0,55}{63,16 - 0,55} \approx 0,5 \text{ Ом}.$$

Уточненное число вертикальных электродов определяют при коэффициенте использования $k_{и.г.э.} = 0,61$, при $n=24$ и $a/l = 1,25$

$$n = \frac{R_{о.в.э.}}{k_{и.в.э.} \cdot R_{в.э.}}, \quad (2.86)$$

$$n = \frac{61,90}{0,61 \cdot 0,5} \approx 203.$$

Окончательно принимают 203 уголков.

Проверяют термическую стойкость полосы $40 \times 4 \text{ мм}^2$. Минимальное сечение полосы по условиям термической стойкости при КЗ на землю при приведенном времени прохождения тока КЗ $t_n = 1,1 \text{ с}$.

$$s = I_{расч} \frac{\sqrt{t_n}}{C}, \quad (2.87)$$

где $I_{расч}$ - расчетный ток через проводник, А;

t_n - приведенное время прохождения тока КЗ на землю, с;

C - постоянная (для алюминия и кабелей с алюминиевыми жилами $C=112$).

$$s = 257,44 \frac{\sqrt{1,1}}{112} = 25,51 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, полоса $40 \times 4 \text{ мм}^2$ удовлетворяет условию термической стойкости.

2.7.2 Молниезащита ГПП

Строим защитную зону ГПП относящуюся к 1 категории по устройству молниезащиты. Для объектов 1 категории по устройству молниезащиты согласно ПУЭ защитная зона должна относиться к типу А. Принимаем исполнение защиты четырьмя отдельно стоящими металлическими молниеотводами стержневого типа высотой 20 м. Определяем параметры зоны защиты в соответствии с формулами, считается, что в нашем случае $L > h$.

$$h_0 = 0,85h \quad , \quad (2.88)$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h \quad , \quad (2.89)$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ мм} \quad ,$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002 \cdot 20) \cdot 20 = 21,2 \text{ мм} \quad .$$

Строим зону защиты для уровня $h_x = 5$ м.

Радиус зоны защиты r_x :

$$r_{x1} = (1,1 - 0,002 \cdot h) \left(h - \frac{h_{x1}}{0,85} \right) \quad , \quad (2.90)$$

$$r_{x1} = (1,1 - 0,002 \cdot 20) \left(20 - \frac{5}{0,85} \right) = 15 \text{ мм} \quad .$$

Параметры h_c, r_{cx} :

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h)(L - x) \quad , \quad (2.91)$$

$$h_c = 17 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20)(40 - 20) = 13,128 \text{ мм} \quad ,$$

$$r_{x1} = \frac{h_c - h_{x1}}{h_c} \cdot r_0 \quad , \quad (2.92)$$

$$r_{x1} = \frac{13,128 - 5}{13,128} \cdot 21,2 = 13,12 \quad .$$

На основании полученных значений строится зона защиты заданного объекта на различных уровнях (сплошная линия). Пунктирными линиями построены зоны защиты объекта при высоте молниеотвода $h_{x1} = 5$ м.

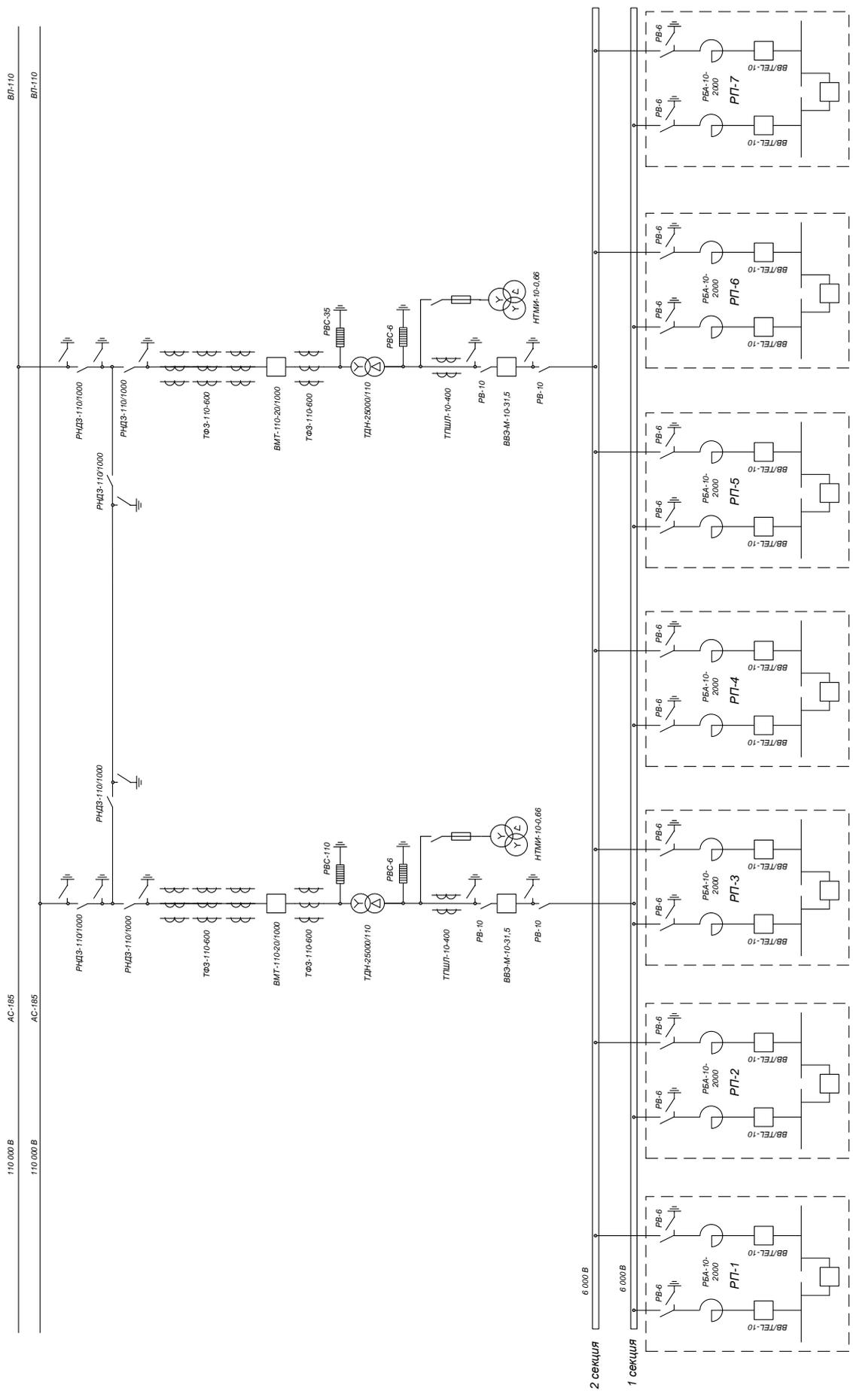
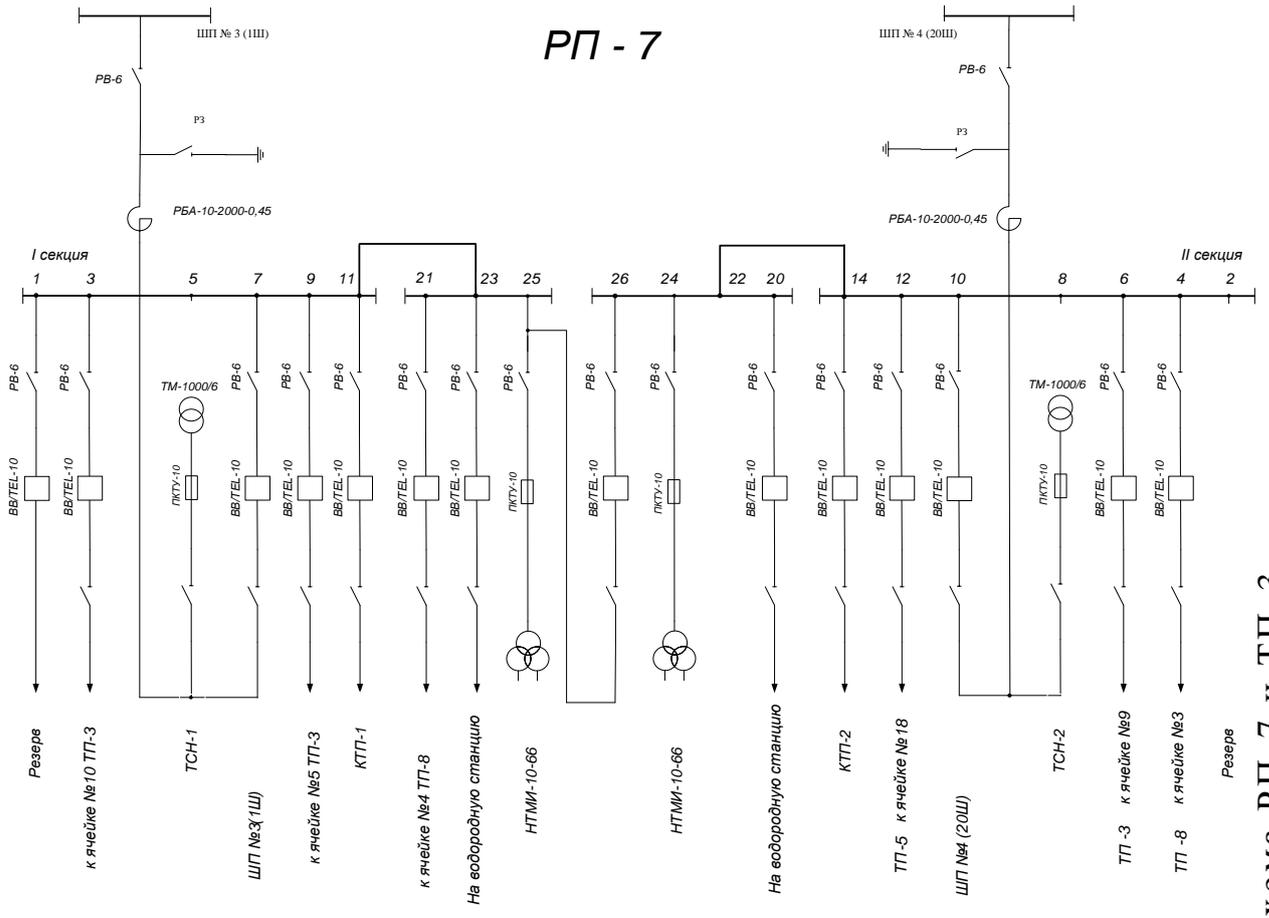
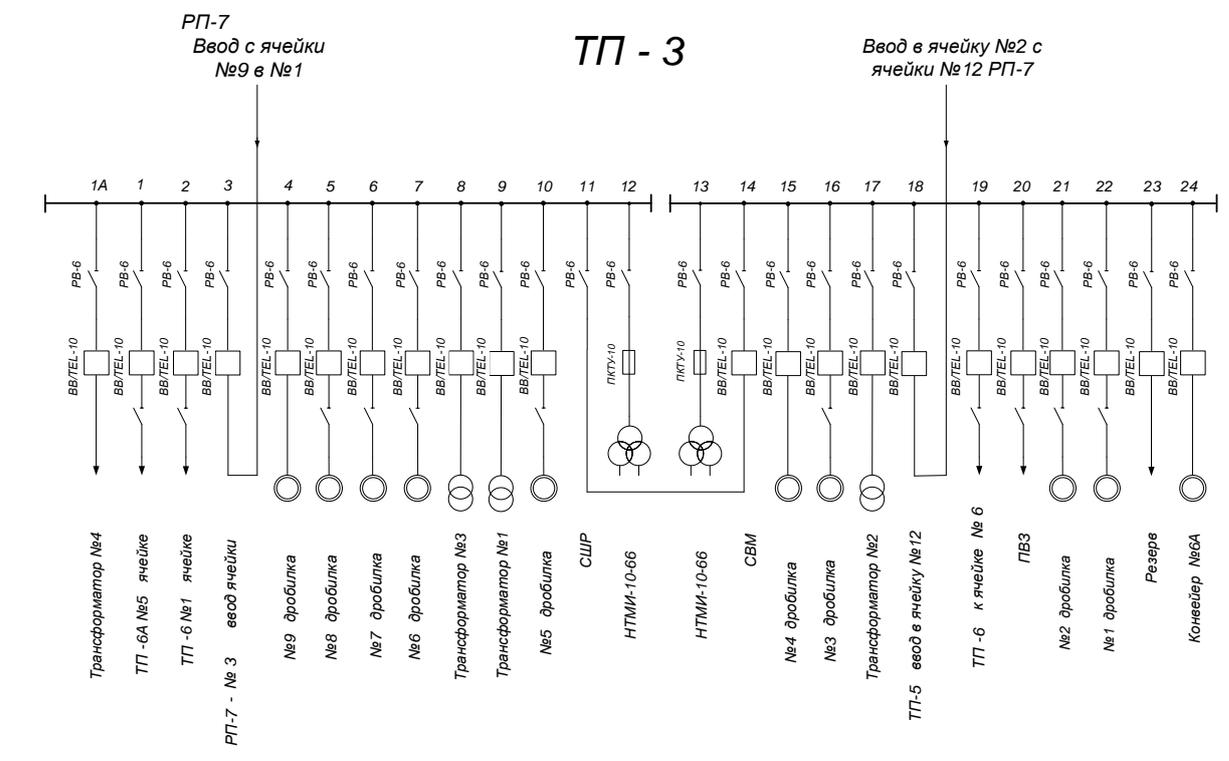


Рисунок 2.3 – Схема электроснабжения обогатительной фабрики



РП - 7



ТП - 3

Рисунок 2.4 – Схема РП-7 и ТП-3

3 Замена электродвигателя большой мощности на электродвигатель меньшей мощности

3.1 Зависимость КПД ЭД от номинальной мощности

При проведении энергоаудита необходимо проверять соответствие мощности привода мощности нагрузки, т.к. завышение мощности ЭД приводит к снижению КПД и $\cos\varphi$. Завышение мощности ЭД приводит к снижению КПД и $\cos\varphi$. С уменьшением загрузки ЭД возрастает доля потребляемой реактивной мощности на создание магнитного поля системы по сравнению с активной мощностью и снижается величина $\cos\varphi$.

Одним из основных мероприятий по повышению КПД и коэффициента мощности ЭД является обеспечение нагрузки ЭД при работе, близко к номинальной, в том числе путем замены малозагруженного ЭД на ЭД меньшей мощности, что необходимо обосновать экономически, т.е. капитальные затраты на замену должны окупиться за счет сокращения эксплуатационных расходов.

Рисунок 3.1,а иллюстрирует закономерность изменения номинального КПД ЭД в зависимости от номинальной мощности $P_{ном}$. Как видно, с ростом уровня номинальной мощности номинальный КПД растет, что объясняется уменьшением потерь мощности относительно полезной мощности ЭД. Более мощные и скоростные ЭД характеризуются и более высокими номинальными КПД.

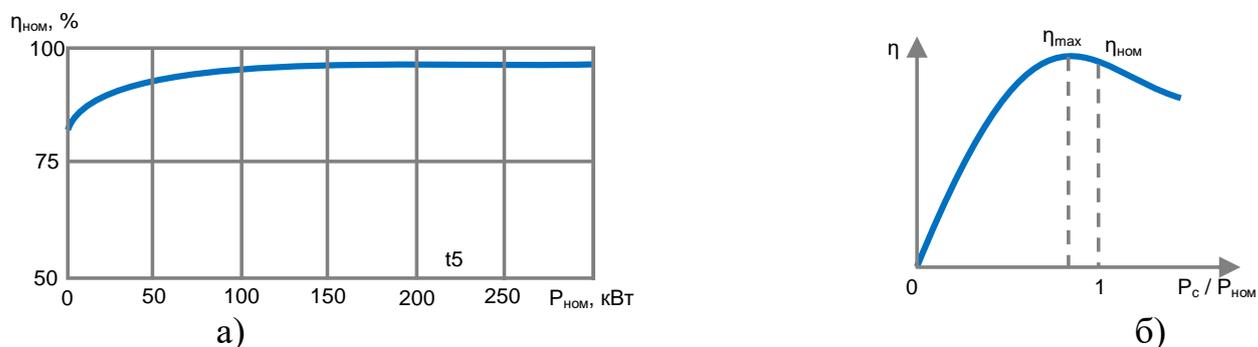
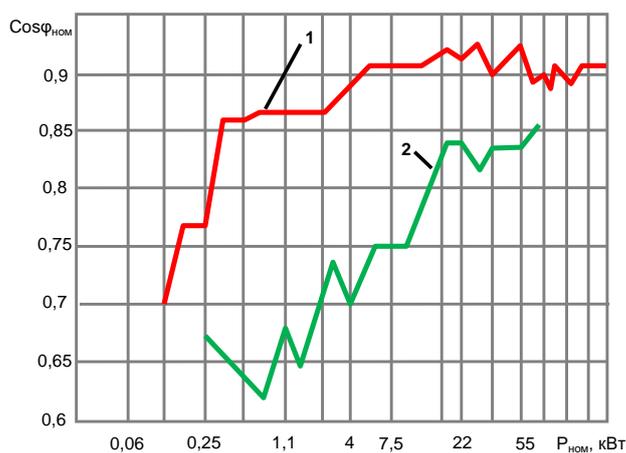


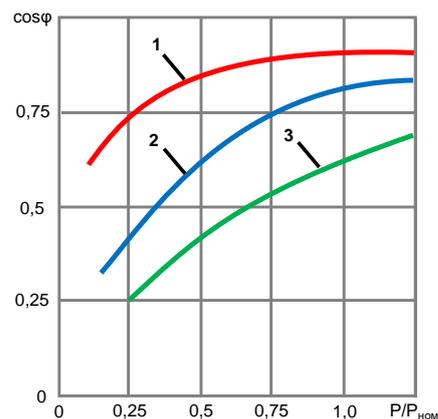
Рисунок 3.1 – Зависимость КПД ЭД от номинальной мощности

КПД работающего ЭД зависит от развиваемой им полезной механической мощности на валу. При малых нагрузках КПД ЭД небольшой (рисунок 3.1,б), по мере увеличения нагрузки он растет, достигая максимального значения η_{max} при мощности, несколько меньшей номинальной.

На рисунке 3.2,а приведены зависимости номинального коэффициента мощности ЭД от различных номинальных мощностей $P_{ном}$ и чисел пар полюсов p (кривая 1 при $p_1=1$, кривая 2 при $p_1=4$). Характерным для них являются более высокое значение $\cos\varphi_{ном}$ для ЭД с большими номинальными мощностями и скоростями вращения.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента мощности ЭД от номинальной мощности

Для большинства АД $\cos\varphi_{\text{ном}} \approx 0,8 \dots 0,9$. Для этих значений $Q = (0,5 \dots 0,75)P_1$, т.е. ЭД на каждый киловатт активной мощности потребляет из сети $0,5 \dots 0,75$ кВА реактивной мощности и чем ниже $\cos\varphi$, тем больше реактивную мощность потребляет ЭД из сети, загружая ее дополнительным током и вызывая дополнительные потери.

Коэффициент мощности ЭД существенно зависит от его нагрузки. При холостом ходе ЭД коэффициент мощности невелик, т.к. при этом относительно велика доля реактивной мощности по сравнению с активной. По мере увеличения нагрузки ЭД возрастает и $\cos\varphi$, достигая своего максимального значения примерно в области ее номинальных значений. Зависимости $\cos\varphi$ от кратности механической нагрузки $P/P_{\text{ном}}$ для серии ЭД 4А при различных номинальных значениях $\cos\varphi_{\text{ном}}$ приведена на рисунке 8.3,б, где замена малозагруженных асинхронных ЭД меньшей номинальной мощностью ЭД иллюстрируется кривыми 1, 2, 3, построенными соответственно при $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,9; 0,8$ и $0,6$. Как и коэффициент мощности, так и КПД полностью загруженного ЭД будет высоким.

Замена ЭД производится в зависимости от типа установленного ЭД и от характеристики создаваемого момента на валу для приведения в действие механизмов ЭД.

При замене ЭД учитывается тот факт, если средняя нагрузка ЭД не превышает 45% номинальной мощности, то замена его менее мощным всегда целесообразна и проверка по условию рентабельности не требуется. При нагрузке ЭД более 70% номинальной мощности можно считать, что замена его нецелесообразно.

Если средняя нагрузка составляет 45-70% номинальной мощности, то должна быть произведена технико-экономическая проверка целесообразности замены на ЭД меньшей мощности.

Суммарные потери активной мощности в системе электроснабжение и в ЭД:

$$\Delta P_{\Sigma} = [Q_x(1 - K_n) + K_n Q_n] K_{\Sigma} + \Delta P_x + K_n \Delta P_{a.n}, \quad (3.1)$$

где Q_x – реактивная мощность, потребляемая ЭД из сети при холостом ходе, кВар;

K_n – коэффициент нагрузки ЭД;

P – средняя нагрузка ЭД, кВт;

Q_n – реактивная мощность ЭД при номинальной нагрузке, кВар;

K_{Σ} – коэффициент повышения потерь;

$\Delta P_{a.n}$ – прирост потерь активной мощности в ЭД при нагрузке 100%, кВт;

γ – коэффициент, зависящий от конструкции ЭД;

Реактивная мощность, потребляемая ЭД из сети при холостом ходе:

$$Q_x = \sqrt{3} U_n I_x. \quad (3.2)$$

Реактивная мощность ЭД при номинальной нагрузке:

$$Q_n = P_n / \eta_{\partial} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n. \quad (3.3)$$

Коэффициент нагрузки ЭД:

$$K_n = P / P_n. \quad (3.4)$$

Коэффициент, зависящий от конструкции ЭД:

$$\gamma = \Delta P_x / [(1 - \eta_n) \cdot 100 - \Delta P_x]. \quad (3.5)$$

Прирост потерь активной мощности в ЭД при нагрузке 100%:

$$\Delta P_{a.n} = P_n \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{1}{1 + \gamma}. \quad (3.6)$$

Проверим эффективность замены ЭД 5А160М4 мощностью $P_n=18,5$ кВт, работающего с нагрузкой 10,5 кВт на ЭД АИРМ132М4 мощностью $P_n=11$ кВт.

Параметры ЭД 5А160М4: номинальная мощность $P_n=18,5$ кВт; номинальное напряжение $U_n=380$ В; КПД при полной нагрузке $\eta_n=0,9$; коэффициент мощности $\cos \varphi=0,86$; ток холостого хода $I_x=35$ А; потери активной мощности при холостом ходе $\Delta P_x=1,5$ кВт. Коэффициент повышения потерь принимаем $K_{\Sigma}=0,1$ кВт/квар.

Параметры ЭД 5А160М4: 11 кВт; $U_n=380$ В; $\eta_n=0,89$; $\cos \varphi=0,85$; $I_x=20$ А; $\Delta P_x=0,9$ кВт, $K_{\Sigma}=0,15$ кВт/квар.

Аналогичные расчеты по формулам (1.30)-(1.35) выполняются для существующего ЭД 5А160М4 и для заменяемого ЭД марки АИРМ132М4.

В результате замены незагруженного ЭД 5А160М4 получим снижение потерь активной мощности в ЭД:

$$\Delta P = \Delta P'_{\Sigma 5A160M4} - \Delta P'_{\Sigma AIPM132M4}, \text{ кВт.} \quad (3.7)$$

При коэффициенте нагрузки для ЭД АИРМ132М4 экономия электроэнергии:

$$\Delta P_{\Sigma} = K_n \cdot R \cdot \Delta P, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (3.8)$$

где R – общее количество часов работы ЭД (для примера 250ч).

Таблица 3.1 – Результаты расчета

Тип ЭД	Q_x , кВар	Q_n , кВар	K_z	γ , %	$\Delta P_{a.n.}$, кВт	$\Delta P'_{\Sigma}$, кВт	ΔP , кВт	ΔP_{Σ} , кВт
Существующий ЭД 5А160М4	24,4	12,1	0,57	0,18	1,8	4,2	0,9	3456
Заменяемый ЭД АИРМ132М4	13,2	7,7	0,96	0,09	1,25	3,3		

Если средняя нагрузка ЭД не превышает 45% номинальной мощности, то замена его менее мощным всегда целесообразна и проверка по условию рентабельности не требуется. При нагрузке ЭД более 70% номинальной мощности можно считать, что замена его нецелесообразна. Если средняя нагрузка составляет 45-70% номинальной мощности, то целесообразность замены на ЭД меньшей номинальной мощностью следует подтвердить технико-экономическими расчетами.

3.2 Оценить целесообразность капитальных затрат на замену одного двигателя другим двигателем с соответствующей номинальной мощностью выработать соответствующие положения

Часто электроприводы работают с неполной загрузкой (в установившихся режимах) или с перегрузкой (кратковременной), при этом энергетические показатели электропривода ухудшаются по сравнению с их номинальными значениями. Капитальные затраты на замену одного ЭД другим (соответствующей номинальной мощности) целесообразны при его загрузке менее 45%, при загрузке 45–75 % для замены требуется проводить экономическую оценку мероприятия, при загрузке более 70 % замена не целесообразна.

Эффективность работы ЭД зависит от типа, скорости вращения, времени нагрузки ЭД, а также от его мощности:

- для ЭД мощностью 5кВт при 100%-ной нагрузке КПД равен 80%, для ЭД мощностью 150 кВт – КПД равен 90 %;

- для ЭД мощностью 5кВт при 50%-ной нагрузке КПД равен 55%, для ЭД мощностью 150 кВт – КПД равен 65 %.

При снижении нагрузки ЭД до 50% и менее его эффективность начинает быстро падать вследствие того, что потери электроэнергии в железе начинают преобладать.

Для выбора энергоэффективного ЭД для энергоаудитора рекомендуется руководствоваться межгосударственным ГОСТ IEC/TS 60034-31-2015 «Машины электрические вращающиеся. Часть 31. Выбор энергоэффективных двигателей, включая приводы с регулирующей скоростью. Руководство по применению», представляющий руководящие указания по решению технических вопросов применения экономичных трехфазных ЭД.

Межгосударственным ГОСТ IEC 60034-30-1- 2016 «Машины электрические вращающиеся. Часть 30-1 Классы КПД двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE)» для асинхронных ЭД с короткозамкнутым ротором были установлены три класса энергоэффективности: IE1, IE2, IE3.

Так, например, использование ЭД мощностью 55кВт повышенного класса энергоэффективности позволяет сэкономить около 8000кВт (132,4 тыс.тенге) в год от одного ЭД.

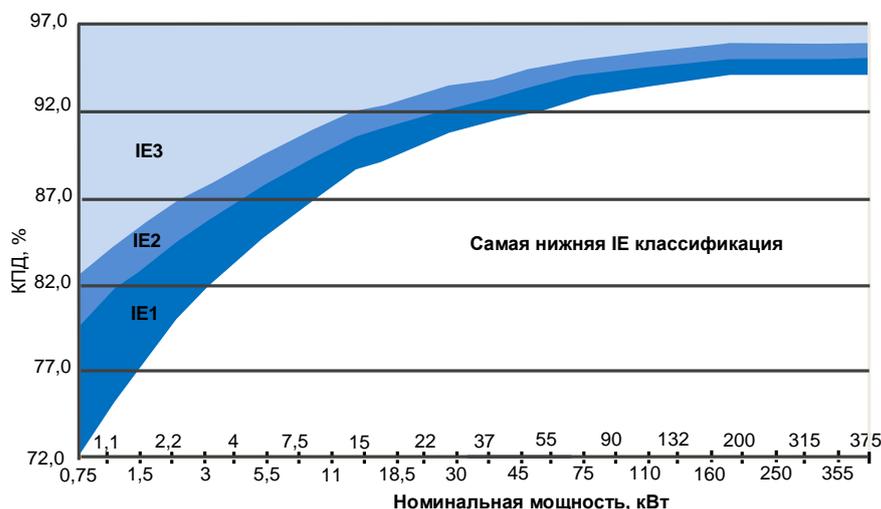


Рисунок 3.3 – Классы энергоэффективности

В качестве примера экономии электроэнергии при использовании энергоэффективных ЭД сравним количества потребляемой мощности на примере обычного ЭД серии М2АА и энергоэффективного ЭД серии М3АА.

Таблица 3.2 – Расчет целесообразности применения энергоэффективного ЭД

М2АА (класс энергоэффективности IE1)	М3АА (класс энергоэффективности IE2)
Номинальная мощность	
P2=55 кВт	P2=55 кВт
Частота вращения	
n=3000 об/мин	n=3000 об/мин
Номинальный коэффициент полезного действия	
$\eta=92,4\%$	$\eta=93,9\%$
Коэффициент мощности	
$\cos\varphi=0,91$	$\cos\varphi=0,88$
1. Активная мощность, потребляемая из сети	
$P1=P2/\eta=55/0,924=59,5$ кВт	$P1=P2/\eta=55/0,939=58,6$ кВт.
2. Суммарные потери	
$\Delta P=P1-P2=59,5-55=4,5$ кВт.	$\Delta P=P1-P2=58,6-55=3,6$ кВт.
3. Если предположить, что ЭД работает T=24 часа в сутки, n=365 дней в году, то количество энергии, теряемое и выделяемое в виде тепла	
$Q=\Delta P \cdot T \cdot n=4,5 \cdot 24 \cdot 365=39420$ кВт.	$Q= \Delta P \cdot T \cdot n=3,6 \cdot 24 \cdot 365=31536$ кВт.
4. При средней стоимости электроэнергии $C_3=16,55$ тенге за кВт/ч количество потерянной электроэнергии за 1 год в денежном эквиваленте	
$C= C_3 \cdot Q=16,55 \cdot 39420=652401$ тенге	$C= C_3 \cdot Q=16,55 \cdot 31536=521920,8$ тенге

Таким образом, результаты расчета позволяют сделать следующие выводы:

- в случае замены обычного ЭД (класс IE1) энергоэффективным ЭД (класс IE2) экономия энергии составляет 7884кВт в год на один ЭД;
- при использовании 10 таких ЭД экономия составит 78840кВт в год или в денежном выражении 1 304 802 тенге/год;
- стоимостная разница ЭД с классами энергоэффективности IE1 и IE2, составляющая 95 тыс.тенге, окупается приблизительно за 1 год.

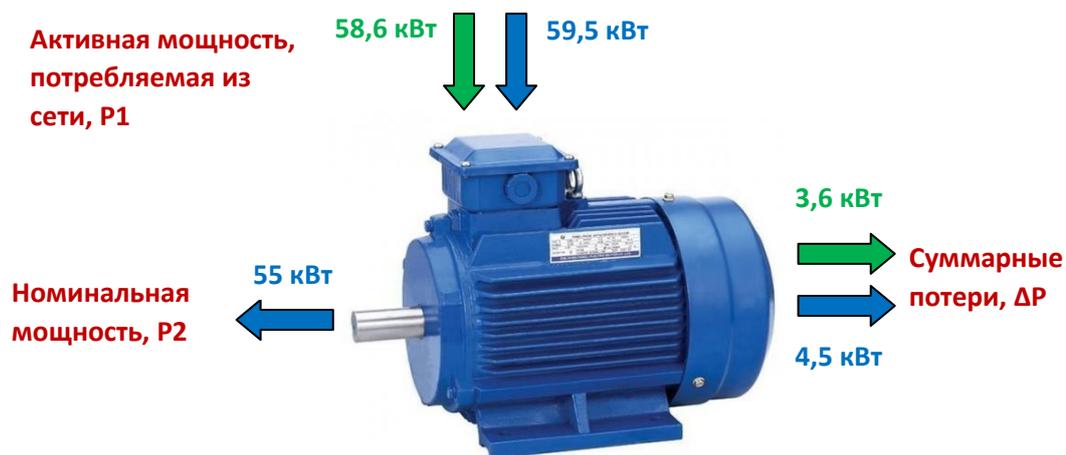


Рисунок 3.4 – Сравнение обычного ЭД с энергоэффективным

– Данную методику можно использовать для определения капитальных затрат на замену одного ЭД другим ЭД с соответствующей номинальной мощностью. Следует отметить, что с ростом энергоэффективности увеличивается и срок службы ЭД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе выполнен расчет электроснабжения обогатительной фабрики. В технологической части подробно описан технологический процесс обогатительной фабрики.

В основной части дипломной работы произведен расчет электрических нагрузок по обогатительной фабрике, в результате выбрано напряжение внешнего электроснабжения, по технико-экономическим выбраны два трансформатора на ГПП ТРНД-40000/110. Рассчитаны токи короткого замыкания свыше и до 1000В, выбраны аппаратуры защиты и управления, для компенсации реактивной мощности в цеховых сетях выбраны шесть батареи конденсаторов УКН 0,38-450. Также выполнен расчет защитного заземления и молниезащиты ГПП.

В специальной части дипломной работы рассмотрены вопросы энергосбережения за счет замены малозагруженных электродвигателей на электродвигатели малой мощности, приведены сопоставительные расчеты при различных режимах работы.

В разделе охрана труда описаны мероприятия, проводимые на обогатительной фабрике, по снижению травматизма, выполнен расчет шума при работе насосов производственного водоснабжения, применяемые на обогатительных фабриках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волков, Сергей Петрович Техническая (Прикладная) Механика; Учебно-Методический Комплекс Дисциплины Для Студентов Специальностей 140204 - "Электрические Станции" 140205 - "Электроэнергетические Системы И Сети" 140211 - "Электроснабжение" 140203 - "Релейная Защита И Автоматизация / Волков Сергей Петрович. - Москва: РГГУ, 2009. - 363 с.
- 2 Свириденко, Э. А. Основы электротехники и электроснабжения / Э.А. Свириденко, Ф.Г. Китунович. - М.: Техноперспектива, 2008. - 436 с.
- 3 Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2012. - 352 с.
- 4 Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987, 368 с.
- 5 Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. - М.: Лань, 2012. - 400 с.
- 6 Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 1986, 400 с.
- 7 Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Под редакцией Ю.Г.Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991, 464 с.
- 8 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочник – М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 9 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов М.: Высшая школа, 2002г. - 320с.
- 10 Рожков Л.Д., Карнеев Л.К., Чирков Т.В.. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М.: Высшая школа, 2004г. 448 с.
- 11 Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высшая школа, 2001г. – 340с.
- 12 Правила устройства электроустановок. – Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 2000.
- 13 Золотых С.Ф., Рожков С.В., Лобанова С.В. Анализ методов повышения энергоэффективности электродвигателей в машиностроении. Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 12. Ч. 1. С.130-135
- 14 Новиков В.А., Савва С.В., Татаринцев Н.И. Электропривод в современных технологиях. – М.: Академия, 2014. – 400с.
- 15 Сидельников Л.Г., Афанасьев Д.О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. №7. С.127-137.
- 16 Сибикин Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. - 384 с.