

Аннотация

Выполнение проектирование электроснабжения агломерационного производства металлургического завода. На основании исходных данных: генплана производства, перечня электроприемников выполнен расчет ожидаемых электрических нагрузок; выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов ТП 10/0,4 кВ с учетом компенсации реактивной мощности.

Рассмотрены два варианта электроснабжения и на основании метода приведенных затрат выбран вариант с минимальными затратами.

Выполнен расчет токов короткого замыкания; выбор электрооборудования схемы электроснабжения агломерационного производства.

Пояснительная записка выполнена на 50 стр. Графический материал представлен на 6 листах формата А1.

Содержание

	Введение	5
1	Анализ технологического процесса агломерационного производства	6
2	Определение ожидаемых электрических нагрузок агломерационного производства	8
3	Выбор напряжения в системе электроснабжения агломерационного производства	12
4	Построение картограммы электрических нагрузок агломерационного производства	13
5	Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной мощности	17
5.1	Предварительный выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной мощности	17
5.2	Технико-экономическое обоснование выбора числа и мощности трансформаторов ТП	20
6	Расчет питающей, распределительной и цеховой сети агломерационного производства	23
6.1	Выбор питающей воздушной линии 10 кВ	23
6.2	Выбор кабельных линий распределительной и цеховой сети	24
7	Выбор схемы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода	28
8	Расчет токов короткого замыкания	30
9	Выбор и проверка электрических аппаратов схемы электроснабжения	35
9.1	Выбор электрических аппаратов на стороне выше 1000 В	38
9.2	Выбор электрических аппаратов на стороне до 1000 В	41
10	Частотно регулируемый асинхронный электропривод подъемного механизма	42
	Заключение	48
	Список использованных источников	49

Введение

Каждое современное металлургическое предприятие находится в состоянии непрерывного развития: вводятся новые производственные площади, повышается использование существующего оборудования или старое оборудование заменяется новым, более производительным и мощным, изменяются технологии и т.д. В соответствии с требованиями ПУЭ [1] и Правилами эксплуатации электроустановок потребителей [2] система электроснабжения промышленного предприятия (от ввода до конечных приемников электроэнергии) должна быть экономичной, обеспечивать требуемую надежность потребителей электрической энергии, удовлетворять условиям гибкости, допускать постоянное развитие технологии, рост мощности предприятий и изменение производственных условий.

Целью работы является проектирование системы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода, с учетом технологических особенностей установленного электрооборудования.

Задачами работы являются:

1. Анализ технологического процесса производства;
2. Расчет ожидаемых электрических нагрузок и определение центра электрических нагрузок;
3. Выбор напряжения в системе электроснабжения агломерационного производства;
4. Выбор числа и мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ;
5. Выбор и проверка электрических аппаратов схемы электроснабжения;
6. Технико-экономическое обоснование выбранной схемы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода.

1. Анализ технологического процесса агломерационного производства

Процесс агломерации является одним из основных этапов производственного процесса металлургического завода [19]. Агломерация – термическая обработка мелкой руды или пылевидных материалов (руды, рудных концентратов, содержащих металлы отходов и др.) составных частей металлургической шихты путем их спекания с целью придания формы и свойств, необходимых для плавки, улучшения их металлургических свойств [20]. Основным технологическим оборудованием агломерационного производства является агломерационная печь (агломерационная машина) [21].

На рисунке 1.1 приведена агломерационная печь на стальной ленте. Для того чтобы поддерживать потребление электроэнергии на невысоком уровне, все газы в таких печах циркулируют. Благодаря замкнутому процессу также сокращаются выбросы пыли, и улучшается гигиена рабочего места. Первоначально разработанная для переработки хромовой руды, технология агломерации на стальной ленте успешно используется и для марганцевых и ниобиевых руд. Данная технология также может использоваться для агломерации других материалов.



Рисунок В.1 - Агломерационная печь

При проектировании схемы электроснабжения агломерационного производства необходимым условием является ответственность или

категория потребителей [22]. В таблице 1.1 приведены основные характеристики технологического процесса агломерационного производства – наименование потребителей, установленные мощности, категория надежности и характер окружающей среды в соответствии с требованиями ПУЭ [1]

Таблица 1.1 - Основные характеристики технологического процесса агломерационного производства

Наименование потребителя	Установленная мощность, кВт	Категория надежности	Условия окружающей среды
Машинный зал Машинный зал (6 кВ)	580 1400	I-60 % II-30 % III-10 %	жаркое помещение
Подача шихты	260	II-60 % III-40 %	сухое помещение
Шихтовое отделение	310	II-60 % III-40 %	сухое помещение
Возврат	400	II-60 % III-40 %	сухое помещение
Агломерационные машины	630	II-80 % III-20 %	сухое помещение
Дозировка	510	II-60 % III-40 %	сухое помещение
Опробная	50	II-30 % III-70 %	сухое помещение
Управление	60	III-100 %	сухое помещение
Лаборатории	80	II-20 % III-80 %	сухое помещение
Материальный склад	30	III-100 %	сухое помещение
Столовая	260	III-100 %	сухое помещение
Насосная	210	II-80 % III-20 %	сухое помещение
Ремонтно-механический цех	480	II-60 % III-40 %	сухое помещение
Гараж	50	II-10 % III-90 %	сухое помещение

2 Определение ожидаемых электрических нагрузок агломерационного производства

Расчет ожидаемых электрических нагрузок агломерационного производства выполнен по методу коэффициента спроса, который широко применяется на этапе рабочего проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий [7-9]. Суть данного метода состоит в следующем [8]:

1. Все электроприемники разбиваются на характерные группы с однородным режимом работы и объединяются по месту подключения.

2. Для каждой характерной группы определяют:

а) расчетную активную мощность

$$P_{pi} = K_C \cdot \sum p_{номi}$$

где $p_{номi}$ – номинальная мощность рабочих электроприемников;

K_C – групповой или средневзвешенный коэффициент спроса группы электроприемников;

б) расчетную реактивную мощность

$$Q_{pi} = \sum p_{номi} \cdot tg \varphi_i$$

где $tg \varphi$ – соответствует групповому коэффициенту мощности группы электроприемников;

в) расчетную полную мощность

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}$$

3. Определяется расчетная осветительная нагрузка

$$P_{poi} = K_{co} \cdot P_{н.oi}$$

$$Q_{poi} = P_{н.oi} \cdot tg \varphi_{oi}$$

где $P_{н.oi}$ – номинальная мощность осветительной нагрузки, определяется по формуле

$$P_{н.oi} = F \cdot P_{уд.i}$$

$P_{уд.i}$ - плотность осветительной нагрузки, определяется по [7]; F – площадь цеха;

K_{co} – групповой или средневзвешенный коэффициент спроса осветительной нагрузки, определяется по [7];

$tg\varphi_{oi}$ - соответствует групповому коэффициенту мощности осветительной нагрузки.

В расчетах принимаем $P_{уд} = 15 \text{ Вт/м}^2$, $K_{co} = 0,95$.

4. Определяется полная расчетная мощность

$$P_{p\Sigma i} = P_{pi} + P_{poi};$$

$$Q_{p\Sigma i} = Q_{pi};$$

$$S_{p\Sigma i} = \sqrt{P_{p\Sigma i}^2 + Q_{p\Sigma i}^2}$$

Результаты расчета по агломерационному производству металлургического завода сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Определение расчетных нагрузок по цехам и фабрике в целом

Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Расчетная нагрузка		
	$P_{ном.}$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$F, \text{ м}^2$	$P_{уд.}$ кВт/м ²	$P_{н.о.}$ кВт	$K_{с.о.}$	$P_{р.о.}$ кВт	$P_{p\Sigma},$ кВт	$Q_{p\Sigma},$ квар	$S_p, \text{ кВА}$
<i>Нагрузка до 1 кВ</i>														
Машинный зал	580,00	0,60	0,80	0,75	348,00	435,00	7150,00	15	107,25	0,95	101,89	449,89	435,00	625,80
Подача шихты	260,00	0,75	0,85	0,60	195,00	156,00	1575,00	13	20,48	1,00	20,48	215,48	156,00	266,02
Шихтовое отделение	310,00	0,65	0,80	0,75	201,50	232,50	1800,00	15	27,00	0,85	22,95	224,45	232,50	323,16
Возврат	400,00	0,62	0,85	0,60	248,00	240,00	625,00	13	8,13	1,00	8,13	256,13	240,00	351,00
Агломерац. машины	630,00	0,45	0,85	0,60	283,50	378,00	2888,00	15	43,32	0,95	41,15	324,65	378,00	498,28
Дозировка	510,00	0,53	0,70	1,02	270,30	520,20	3000,00	14	42,00	0,95	39,90	310,20	520,20	605,67
Опробная	50,00	0,60	0,65	1,17	30,00	58,50	400,00	11	4,40	1,00	4,40	34,40	58,50	67,86
Управление	60,00	0,55	0,80	0,75	33,00	45,00	1950,00	18	35,10	0,85	29,84	62,84	45,00	77,29
Лаборатории	80,00	0,60	0,48	0,60	48,00	48,00	2275,00	17	38,68	0,80	30,94	78,94	48,00	92,39
Материальный склад	30,00	0,65	0,90	0,48	19,50	14,40	2763,00	12	33,16	0,60	19,89	39,39	14,40	41,94
Столовая	260,00	0,80	0,90	0,48	208,00	124,80	1800,00	17	30,60	0,80	24,48	232,48	124,80	263,86
Насосная	210,00	0,80	0,70	1,02	168,00	214,20	612,50	11	6,74	0,60	4,04	172,04	214,20	274,74
Рем.-мех. цех	480,00	0,65	0,80	0,75	312,00	360,00	2538,00	13	32,99	0,75	24,75	336,75	360,00	492,95
Гараж	50,00	0,75	0,65	1,17	37,50	58,50	1125,00	12	13,50	0,60	8,10	45,60	58,50	74,17
Итого по нагрузке до 1 кВ	3910,00				2402,30	2885,10	30501,50		443,33		380,93	2783,23	2885,10	4008,76

Продолжение таблицы 2.1

<i>Нагрузка выше 1 кВ</i>														
Машинный зал (6 кВ)	1400,00	0,85	0,80	0,75	1190,00	1050,00						1190,00	1050,00	1587,01
<i>Итого по нагрузке выше 1 кВ</i>	1400,00				1190,00	1050,00	7150,00		107,25		101,89	1190,00	1050,00	1587,01
<i>Освещение территории</i>							77774,00	1,50	116,66	1,00	116,66	116,66		116,66
<i>Итого по агломерационному производству</i>	5310,00				3592,30	3935,10			667,24		599,48	4089,89	3935,10	5712,43

3 Выбор напряжения в системе электроснабжения агломерационного производства

На агломерационном производстве металлургического завода всё высоковольтное оборудование имеет номинальное напряжение 6 кВ. Так как соотношение высоковольтного оборудования 6 кВ к суммарной нагрузке высоковольтного оборудования 10 кВ завода составляет 23%, то принимаем напряжение распределительных электрических сетей 10 кВ [10]. Для питания высоковольтной нагрузки 6 кВ используем понизительные трансформаторы 10/6 кВ. Для цеховой сети принимаем напряжение 0,4 кВ.

4 Построение картограммы электрических нагрузок агломерационного производства

Для анализа распределения электрических нагрузок по территории производства необходимо построить картограмму электрических нагрузок. При этом силовые нагрузки показываются окружностями, радиус которых вычисляется по формуле [7]

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}},$$

где P_{pi} - расчетная активная нагрузка i -го цеха; m – принятый масштаб.

При этом осветительная нагрузка выделяется сегментом, угол сегмента определяется по формуле:

$$\alpha = 360 \frac{P_{poi}}{P_{pi}},$$

где P_{poi} - расчетная активная нагрузка освещения i -го цеха.

Координаты центра электрических нагрузок цеха определяются по формулам:

$$X_o = \frac{\sum P_{pi} \cdot X_i}{\sum P_{pi}};$$

$$Y_o = \frac{\sum P_{pi} \cdot Y_i}{\sum P_{pi}}.$$

Расчетные данные по цехам агломерационного производства сведены таблицу 4.1.

Расчетные координат центров электрических нагрузок по цехам агломерационного производства сведены таблицу 4.2.

Таблица 4.1 - Расчетные данные по цехам агломерационного производства

№ п/п	Наименование цеха	X_i , м	Y_i , м	P_{pi} , кВт	P_{po} , кВт	r_i , мм	α , °
Нагрузка до 1 кВ							
1	Машинный зал	167,0	160,0	449,89	101,89	5,35	81,53
2	Подача шихты	207,0	280,0	215,48	20,48	3,70	34,22
3	Шихтовое отделение	250,0	110,0	224,45	22,95	3,78	36,81
4	Возврат	245,0	200,0	265,13	8,13	4,11	11,03
5	Агломерационные машины	85,0	165,0	324,65	41,15	4,55	45,64
6	Дозировка	145,0	245,0	310,20	39,90	4,44	46,31
7	Опробная	65,00	225,0	34,40	4,40	1,48	46,05
8	Управление фабрики	110,0	65,00	62,84	29,84	2,00	170,95
9	Лаборатории	64,0	102,5	78,94	30,94	2,24	141,10
10	Материальный склад	62,5	275,0	39,39	19,90	1,58	181,87
11	Столовая	255,0	35,0	232,48	24,48	3,85	37,91
12	Насосная	325,0	180,0	172,04	4,04	3,31	8,45
13	Рем.-мех. цех	315,0	257,5	336,75	24,75	4,63	26,46
14	Гараж	192,5	35,00	45,60	8,10	1,70	63,95
Нагрузка выше 1 кВ							
1	Машинный зал (6 кВ)	167,5	160,0	1190,0	-	8,70	-

Таблица 4.2 – Расчетные координаты центров электрических нагрузок по цехам агломерационного производства

№ п/п	Наименование цеха	X_i м	Y_i м	P_{pi} кВт	P_{pi} X_i	$P_{pi}Y_i$
Нагрузка до 1 кВ						
1	Машинный зал	167,5	160,0	449,89	75356,58	71982,40
2	Подача шихты	207,5	280,0	215,48	44712,10	60334,40
3	Шихтовое отделение	250,0	110,0	224,45	56112,50	24689,50
4	Возврат	245,0	200,0	265,13	64956,85	53026,00
5	Агломерац. машины	85,0	165,0	324,65	27595,25	53567,25
6	Дозировка	145,0	245,0	310,20	44979,00	75999,00
7	Опробная	65,0	225,0	34,40	2236,00	7740,00
8	Управление фабрики	110,0	65,0	62,84	6912,40	4084,60
9	Лаборатории	64,0	102,5	78,94	5052,16	8091,35
10	Материальный склад	62,5	275,0	39,39	2461,88	10832,25
11	Столовая	255,0	35,0	232,48	59282,40	8136,80
12	Насосная	325,0	180,0	172,04	55913,00	30967,20
13	Рем.-мех. цех	315,0	257,5	336,75	106076,25	86713,13
14	Гараж	192,5	35,0	45,60	8778,00	1596,00
Нагрузка выше 1 кВ						
1	Машинный зал (6 кВ)	167,50	160,00	1190,00	199325,00	190400,00
Итого по агломерационному производству						
		190,78	172,80	3982,24	759749,36	688159,88

Таким образом, определили центр электрических нагрузок для распределительной подстанции, но поставить ее точно в центре электрических нагрузок невозможно, поскольку он находится в машинном зале. Устанавливаем подстанцию как можно ближе к ЦЭН с учетом ее охранной зоны, не препятствуя технологическому процессу.

5 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

5.1 Предварительный выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Выполним распределение нагрузки агломерационного производства по пунктам питания. Рассмотрим 2 варианта распределения электрических нагрузок по пунктам питания, которые приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.1 - Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

Наименование пункта питания	Потребители электроэнергии	Кол-во тр-ров на ТП, питание РП
вариант 1		
ТП-1	ВН-1	2; 10/6
ТП-2	1,8	2; 10/0,4
ТП-3	5	1; 10/0,4, резерв по 0,4 кВ от ТП-2
ТП-4	6,7, 10, 4,2	2; 10/0,4
ТП-5	13,4	2; 10/0,4
ТП-6	12	1; 10/0,4, резерв по 0,4 кВ от ТП-5
ТП-7	3,11,9, 14	2; 10/0,4
РП-1	Цех 8	от ТП-2
РП-2	Цех 7	от ТП-4
РП-3	Цех 10	магистраль от РП-2
РП-4	Цех 2	от ТП-4
РП-5	Цех 2	от ТП-4
РП-6	Цех 4	от ТП-5
РП-7	Цех 4	от ТП-5
РП-8	Цех 9	от ТП-7
РП-9	Цех 11	от ТП-7
РП-10	Цех 11	от ТП-7
РП-11	Цех 14	от ТП-7
вариант 2		
ТП-1	ВН-1	2; 10/6
ТП-2	1	2; 10/0,4

ТП-3	5,8, 7,10	2; 10/0,4 магистраль от ТП-2
ТП-4	6,2	2; 10/0,4
ТП-5	13,12	2; 10/0,4 магистраль от ТП-4
ТП-6	4	1; 10/0,4, резерв по 0,4 кВ от ТП-5
ТП-7	3,11,9,14	2; 10/0,4
РП-1	Цех 8	от ТП-3
РП-2	Цех 7	от ТП-3
РП-3	Цех 10	магистраль от РП-2
РП-4	Цех 2	от ТП-4
РП-5	Цех 2	от ТП-4
РП-6	Цех 12	от ТП-5
РП-7	Цех 12	от ТП-5
РП-8	Цех 9	от ТП-7
РП-9	Цех 11	от ТП-7
РП-10	Цех 11	от ТП-7
РП-11	Цех 14	от ТП-7

Алгоритм выбора числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций с учетом компенсации реактивной мощности с учетом требований [6] следующий:

1. Определяется удельная плотность нагрузок цеха

$$\sigma = \frac{S_{pi}}{F_{ци}}$$

где S_{pi} - расчетная нагрузка цеха; $F_{ци}$ - площадь цеха.

2. Определяется расчётная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ккы} = P_{pi\Sigma} (tg\varphi_{in} - tg\varphi_3),$$

где $tg\varphi_{in} = \frac{Q_{pi\Sigma}}{P_{pi\Sigma}}$, а $tg\varphi_3 = 0,33$.

3. Для каждого расчетного значения $Q_{ккы}$ по каталожным данным [14] определяем стандартное значение мощности ККУ $Q_{ккы.уст}$.

4. Рассчитывается некомпенсированная реактивная мощность

$$Q'_p = Q_{pi} - N_{ккы} \cdot Q_{ккы.уст},$$

где $N_{ккУ}$ - число принятых к установке ККУ.

5. Определяется полная расчетная нагрузка цеха с учетом компенсации реактивной мощности

$$S'_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_p'^2}.$$

При необходимости меняется номинальная мощность трансформаторов $S_{н.т.}$ цеховых подстанций и их количество N_T .

6. Выполняется проверка по коэффициенту загрузки трансформатора в нормальном режиме:

$$K_{з.н} = \frac{S'_p}{n \cdot S_{н.т}}$$

и коэффициенту загрузки трансформатора в аварийном режиме

$$K_{з.ав} = \frac{S'_p}{n \cdot S_{н.т}}$$

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП агломерационного производства металлургического завода приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП агломерационного производства

№ ТП	№ цеха	Расчетная нагрузка		$Q_{\text{кку}}$, квар	$N_{\text{кку}}$	$Q_{\text{кку.уст}}$, квар	Расчетная нагрузка с учетом ККУ		N_T	$S_{\text{н.т.}}$, кВА	$K_{\text{з.н}}$	$K_{\text{з.ав}}$
		P_p , кВт	Q_p , квар				Q'_p , квар	S_p , кВА				
вариант 1												
ТП-1	ВН-1	1190	1050	657,3	2	324	422	1262,6	2	1000	0,63	1,26
ТП-2	1,8	512,73	480	310,1	2	150	180	543,41	2	400	0,67	1,34
ТП-3	5	324,65	378	270,8	1	150	228	396,71	1	630	0,63	1,26
ТП-4	6,7, 10, 4,2	727,54	791,1	551,0	2	216	359,1	811,34	2	630	0,64	1,28
ТП-5	13,4	464,82	480	326,6	2	150	180	498,46	2	400	0,62	1,24
ТП-6	12	172,04	214,2	157,4	1	108	106,2	250,41	1	400	0,63	0,63
ТП-7	3,11,9, 14	581,47	463,8	271,9	2	108	247,8	632,07	2	400	0,79	1,58
вариант 2												
ТП-1	ВН-1	1190,0	1050,0	654,50	2	300	422,00	1262,6	2	1000	0,63	1,26
ТП-2	1	449,89	435,00	286,54	2	108	219,00	500,36	2	400	0,63	1,26
ТП-3	5,8, 7,10	461,28	495,90	343,68	2	150	195,90	501,15	2	400	0,63	1,26
ТП-4	6,2	525,68	676,20	502,73	2	216	48,20	527,89	2	400	0,66	1,32
ТП-5	13,12	508,79	574,20	436,30	2	216	142,20	528,29	2	400	0,66	1,32
ТП-6	4	256,13	240,00	155,48	1	150	90,00	271,48	1	400	0,68	0,68
ТП-7	3,11,9, 14	581,47	463,80	271,91	2	108	247,80	632,07	2	400	0,79	1,58

5.2 Техничко- экономическое обоснование выбора числа и мощности трансформаторов ТП

Техничко-экономическое обоснование числа и мощности трансформаторов ТП выполнено по методу приведенных затрат и сведено в таблицу 5.3.

Алгоритм технико-экономического обоснования числа и мощности трансформаторов следующий [11].

1. Определяются приведенные потери в трансформаторах ТП

$$\Delta P' = n \cdot \Delta P'_{x.x} + \frac{1}{n} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P'_{k.3},$$

где $\Delta P'_{x.x} = \Delta P_x + K_{ип} \cdot \Delta Q_x$ - приведенные потери XX;

$\Delta P'_{k.3} = \Delta P_k + K_{ип} \cdot \Delta Q_k$ - приведенные потери КЗ;

$K_{ип}$ - коэффициент изменения потерь, $K_{ип} = 0,07$ кВт/квар [10].

$$\Delta Q_x = \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{н.т};$$

$$\Delta Q_k = \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{н.т};$$

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{ип} \Delta Q_x;$$

$$\Delta P'_{k.3} = \Delta P_{k.3} + K_{ип} \cdot \Delta Q_k;$$

2. Определяются потери электроэнергии в трансформаторах ТП

$$\Delta W_{тп} = \Delta P' \cdot T_{г},$$

где $T_{г}$ - число часов работы трансформаторов в году, принимаем $T_{г} = 8000$ час.

3. Определяется стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах ТП

$$C_{п.тп} = \Delta W_{тп} \cdot C_0,$$

где C_0 - стоимость потерь электроэнергии, принимаем в расчетах $C_0 = 1,57$ руб/ кВт·ч [13].

4. Определяются амортизационные отчисления на ТП

$$C_{а.тп} = p_{тп} \cdot K_{тп},$$

где $p_{тп}$ - коэффициент амортизационных отчислений, принимаем для ТП $p_{тп} = 10\%$ [10].

5. Определяются затраты на установку ТП:

$$Z_{тп} = E_H K_{тп} + C_{п.тп} + C_{а.тп},$$

E_H - нормативный коэффициент отчислений, $E_H = 0,15$; $K_{тп}$ - стоимость трансформаторов ТП.

Таблица 5.3 - Технико-экономическое обоснование числа и мощности трансформаторов ТП

№ ТП	N_T	$K_{ТП}$, тыс. руб.	$\Delta P'$, кВт	$\Delta W_{ТП}$, кВт·ч/год	$C_{п.тп}$, тыс.руб.	$C_{а.тп}$, тыс. руб
Вариант 1						
ТП1	2	1440	18,26	146080	229	144
ТП2	2	1100	8,50	68000	107	110
ТП3	1	660	5,67	45384	71	66
ТП4	2	1320	11,53	92261	145	132
ТП5	2	1100	7,60	60832	96	110
ТП6	1	550	3,93	31440	49	55
ТП7	2	1100	14,21	113664	178	110
Итого		7270		557661	876	727
$Z_{ТП} = 2693,5$ тыс.руб.						
Вариант 2						
ТП1	2	1440	18,26	146080	229	144
ТП2	2	1100	7,86	62880	99	110
ТП3	2	1100	7,86	62880	99	110
ТП4	2	1100	8,37	66976	105	110
ТП5	2	1100	8,37	66976	105	110
ТП6	1	550	4,31	34512	54	55
ТП7	2	1100	14,21	113664	178	110
Итого		7490		553968	870	749
$Z_{ТП} = 2742,5$ тыс.руб.						

6 Расчет питающей, распределительной и цеховой сети агломерационного производства

6.1 Выбор питающей воздушной линии 10 кВ

Металлургический завод запитан от энергосистемы по двум воздушным линиям. Завод располагается на расстоянии 2600 км от источника питания. Выберем тип и сечение ВЛ 10 кВ согласно методики, изложенной в [5].

1. Выбор по расчетному току

Условие выбора: $I_{p.a} < I_{доп}$.

- в нормальном режиме
$$I_{p.н.} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5712,43}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 164,9 \text{ А};$$

- в аварийном режиме
$$I_{p.а.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5712,43}{\sqrt{3} \cdot 10} = 329,1 \text{ А}.$$

Выбираем провод марки АС-120 [13].

2. Выбор сечения по экономической плотности тока

$$S_{эк} = \frac{I_{p.н.}}{j_э} = \frac{164,9}{1,7} = 97 \text{ мм}^2,$$

где $j_э = 1,4$ для провода АС в соответствии с [1].

3. Проверка по потере напряжения:

$$L_{доп} = L_{\Delta} \cdot \Delta U_{доп} \frac{I_{доп}}{I_p} \geq L_{факт}$$

$$L_{доп} = 0,57 \cdot 10 \cdot \frac{375}{164,9} = 12,96 \geq 2,6 \text{ км},$$

где L_{Δ} – длина ВЛ на 1 % потери напряжения при расчетной нагрузке, $L_{\Delta} = 570 \text{ м}$ [3]; $\Delta U_{доп} = 10\%$.

Окончательно выбираем провод марки АС-120 [13].

6.2 Выбор кабельных линий распределительной и цеховой сети

Все кабельные линии 10 кВ на агломерационном производстве прокладываем в земле, выбираем кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБбШв [17]. Выберем тип и сечение КЛ 10 кВ и 0,4 кВ согласно методике, изложенной в [5].

1. Выбор по расчетному току

Условие выбора: $I_{p.a} < I_{доп}$.

- в нормальном режиме $I_{p.н.} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}$;

- в аварийном режиме $I_{p.а.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$.

2. Выбор сечения по экономической плотности тока

$$S_{э} = \frac{I_{p.н.}}{j_э}.$$

3. Проверка по потере напряжения:

$$L_{доп} = L_{\Delta} \cdot \Delta U_{доп} \frac{I_{доп}}{I_p} \geq L_{факт}$$

4. Проверка по нагреву установившимся током КЗ

$$S_{терм.ст.} = \alpha I_{\infty} \sqrt{t_{п}},$$

где α – температурный коэффициент [5]; I_{∞} - установившееся значение тока КЗ; $t_{п}$ – приведенное время срабатывания защиты.

Выбор сечений кабельных линий сведен в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Выбор сечений кабельных линий агломерационного производства

Линия	Направление линии	L, км	N _{кл}	Нагрузка		Попр. коэф.	I _д , А	Допустимая нагрузка		Сечение по усл. нагрева мм ²	Сечение по эк. плотности, мм ²	Сечение по потере напряжения, мм ²	Марка и сечение кабеля мм ²
				I _{р.н} , А	I _{р.а} , А			I _{д.н} , А	I _{д.ав} , А				
Вариант 1													
10 кВ													
Л1,Л2	ЦРП-ТП1	76,40	2	47,12	94,24	0,9	115	104,00	124,0	35	35	35	АПвБбШв (3×35)
Л3,Л4	ЦРП-ТП2	98,00	2	20,81	41,62	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБбШв (3×16)
Л5	ЦРП-ТП3	133,20	1	29,65	29,65	1,0	75	75,00	90,00	16	25	25	АПвБбШв (3×25)
Л6,Л7	ЦРП-ТП4	274,00	2	31,92	63,83	0,9	75	68,00	81,00	16	25	25	АПвБбШв (3×25)
Л8,Л9	ЦРП-ТП5	308,80	2	19,76	39,53	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБбШв (3×16)
Л10	ЦРП-ТП6	278,88	1	16,37	16,37	1,0	75	75,00	90,00	16	16	16	АПвБбШв (3×16)
Л11, Л12	ЦРП-ТП7	122,84	2	22,33	44,67	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБбШв (3×16)
0,4 кВ													
Л13	ТП2-РП1	28,22	1	111,56	111,56	1,0	115	115,00	138,0	25	-	25	АПвБбШв (3×25+1×16)
Л14	ТП2-ТП3	30,00	1	241,78	241,78	1,0	270	270,00	324,0	120	-	120	АПвБбШв (3×95+1×50)
Л15	ТП4-РП2	84,66	1	158,51	158,51	1,0	165	165,00	198,0	50	-	50	АПвБбШв (3×35+1×25)
Л16	РП2-РП3	39,84	1	60,54	60,54	1,0	65	65,00	78,00	16	-	16	АПвБбШв (3×16+1×10)
Л17,Л18	ТП4-РП4	66,40	2	115,18	230,36	0,9	240	216,00	280,8	95	-	95	АПвБбШв (3×50+1×35)
Л19	ТП4-РП5	66,40	1	153,58	153,58	1,0	165	165,00	214,5	50	-	50	АПвБбШв (3×35+1×20)
Л20	ТП4-РП6	66,40	1	202,65	202,65	1,0	240	240,00	312,0	95	-	95	АПвБбШв (3×70+1×50)

Продолжение таблицы 6.1

Л21, Л22	ТП5-РП7	43,16	2	151,99	303,97	1,0	305	305,00	396,5	150	-	150	АПвБШв (3×120+1×95)
Л23	ТП5-ТП6	64,74	2	60,88	121,76	1,0	135	135,00	162,0	35	-	35	АПвБШв (3×35+1×16)
Л24	ТП7-РП8	46,48	1	133,35	133,35	1,0	135	135,00	162,0	35	-	35	АПвБШв (3×35+1×16)
Л25	ТП7-РП9	8,30	1	190,42	190,42	1,0	200	200,00	240,0	70	-	70	АПвБШв (3×50+1×35)
Л26	ТП7-РП10	19,92	1	190,42	190,42	1,0	200	200,00	240,0	70	-	70	АПвБШв (3×50+1×35)
Л27	ТП7-РП11	39,84	1	107,06	107,06	1,0	115	115,00	138,0	25	-	25	АПвБШв (3×25+1×16)
вариант 2													
10 кВ													
Л1,Л2	ЦРП-ТП1	76,40	2	47,12	94,24	0,9	115	104,00	124,00	35	35	35	АПвБШв (3×35)
Л3,Л4	ЦРП-ТП2	98,00	2	38,59	77,18	0,9	90	81,00	97,00	25	35	35	АПвБШв (3×35)
Л5,Л6	ТП2-ТП3	38,18	2	20,04	40,09	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБШв (3×16)
Л7,Л8	ЦРП-ТП4	308,80	2	47,97	95,94	0,9	115	104,00	124,00	35	35	35	АПвБШв (3×35)
Л9,Л10	ТП4-ТП5	102,92	2	22,69	45,39	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБШв (3×16)
Л11	ЦРП-ТП6	210,82	1	20,82	20,82	1,0	75	75,00	90,00	16	16	16	АПвБШв (3×16)
Л12,Л1 3	ЦРП-ТП7	122,84	2	22,27	44,54	0,9	75	68,00	81,00	16	16	16	АПвБШв (3×16)
0,4 кВ													
Л14	ТП3-РП1	28,22	1	111,56	111,56	1,0	115	115,00	138,00	25	-	25	АПвБШв (3×25+1×10)
Л15	ТП3-РП2	121,18	1	158,51	158,51	1,0	165	165,00	198,00	50	-	50	АПвБШв (3×35+1×25)
Л16	РП2-РП3	38,18	1	60,54	60,54	1,0	65	65,00	78,00	16	-	16	АПвБШв (3×16+1×10)

Продолжение таблицы 6.1

Л17,Л18	ТП4-РП4	24,90	2	115,18	230,36	0,9	240	216,00	280,80	95	-	95	АПвБШв (3×70+1×50)
Л19	ТП4-РП5	30,00	1	153,58	153,58	1,0	165	165,00	214,50	50	-	50	АПвБШв (3×350+1×35)
Л20,Л21	ТП5-РП6	83,00	2	158,77	317,54	0,9	345	310,50	403,65	185	-	185	АПвБШв (3×150+1×95)
Л22	ТП5-ТП6	49,80	1	79,39	79,39	1,0	90	90,00	117,00	35	-	35	АПвБШв (3×35+1×25)
Л23	ТП5-РП7	63,08	1	198,28	198,28	1,0	200	200,00	240,00	70	-	70	АПвБШв (3×50+1×35)
Л24	ТП7-РП8	46,48	1	133,35	133,35	1,0	135	135,00	162,00	35	-	35	АПвБШв (3×35+1×16)
Л25	ТП7-РП9	8,30	1	190,42	190,42	1,0	200	200,00	240,00	70	-	70	АПвБШв (3×50+1×35)
Л26	ТП7-РП10	19,92	1	190,42	190,42	1,0	200	200,00	240,00	70	-	70	АПвБШв (3×50+1×35)
Л27	ТП6-РП11	39,84	1	107,06	107,06	1,0	115	115,00	138,00	25	-	25	АПвБШв (3×25+1×16)

7 Выбор схемы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода

Выбор схемы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода выполняем по методу приведенных затрат [12].

Алгоритм расчета следующий.

1. Определяются единовременные капитальные вложения в схему электроснабжения

$$K_{\Sigma} = K_{\text{лн}} + K_{\text{л}} + K_{\text{в}},$$

где $K_{\text{л}}$ – капиталовложения в кабельные линии; $K_{\text{в}}$ – капиталовложения на выключатели.

Расчет капиталовложений на высоковольтные выключатели сведен в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 - Капиталовложения на высоковольтные выключатели

Назначение	N _{квл.}	Тип выключателя	C _в , тыс.руб.	K _в , тыс.руб.	C _{ав} , тыс.руб.
Вариант 1					
ЦРП-ТП1	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП2	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП3	1	ВВЭ	60,00	60,00	6,00
ЦРП-ТП4	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП5	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП6	1	ВВЭ	60,00	60,00	6,00
ЦРП-ТП7	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
Итого				720,00	72,00
Вариант 2					
ЦРП-ТП1	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП2	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП4	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
ЦРП-ТП6	1	ВВЭ	60,00	60,00	6,00
ЦРП-ТП7	2	ВВЭ	60,00	120,00	12,00
Итого				540,00	54,00

В таблице 7.1

$$K_{\text{в}} = N_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}},$$

где $N_{\text{в}}$ – число выключателей на ТП; $C_{\text{в}}$ – стоимость одного выключателя.

$C_{a.в}$ – амортизационные отчисления на выключатели.

где p_v - коэффициент амортизационных отчислений, для выключателей $p_v = 10\%$ [10].

2. Определяется стоимость потерь электроэнергии

$$C_{\Pi} = C_{\Pi.тп} + C_{кл.}$$

3. Определяются суммарные амортизационные отчисления в схему электроснабжения

$$C_a = C_{a.тп} + C_{a.кл} + C_{a.в.}$$

4. Суммарные эксплуатационные расходы на схему электроснабжения агломерационного производства

$$C_3 = C_{\Pi} + C_a.$$

5. Приведенные затраты на схему электроснабжения рассчитываются по формуле

$$Z = E_n \cdot K_{\Sigma} + C_3.$$

Вариант 1

$$Z_1 = 0,15 \cdot 8539,07 + 2264,54 = 3545,4 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант 2

$$Z_2 = 0,15 \cdot 8476,6 + 2130,26 = 3417,25 \text{ тыс. руб.}$$

Выбираем вариант 2, т.к. приведенные затраты для данного варианта схемы электроснабжения минимальны.

8 Расчет токов короткого замыкания

Рассчитаем ток КЗ в двух точках: на одной из шин ЦРП (т.К1)) и на линии Л7 перед ТП-4 (т.К2), так как эта линия является наиболее нагруженной и протяженной. При этом необходимо учитывать влияние асинхронных двигателей, питающихся от ТП-1, так как наличие в схеме электроснабжения двигателей высокого напряжения приводит к увеличению тока КЗ за счет подпитки места КЗ.

Расчет токов КЗ выполнен по методике [3,4]. Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунках 8.1 и 8.2.

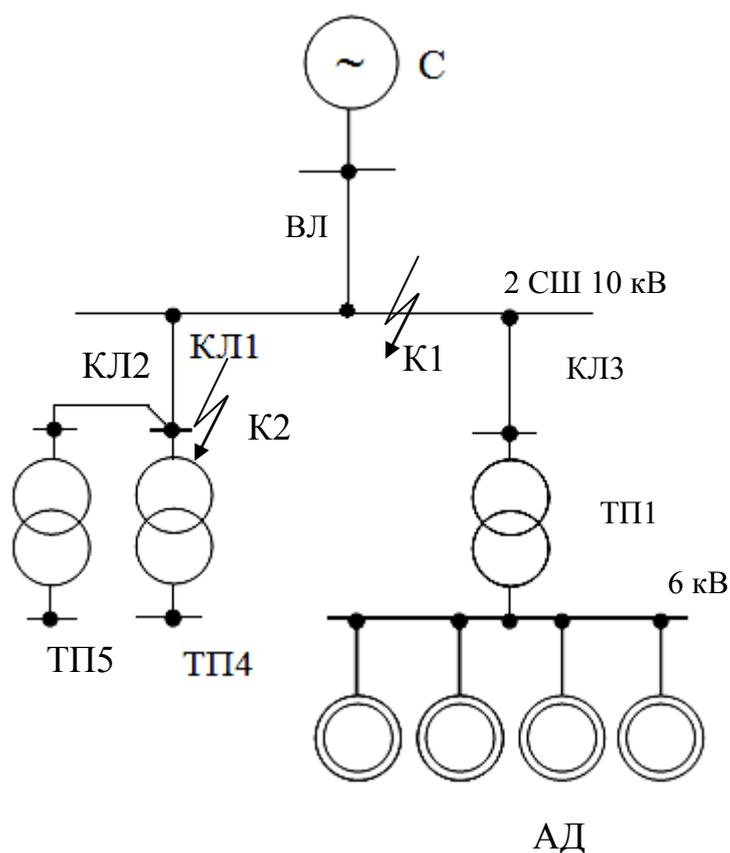


Рисунок 8.1 - Расчетная схема

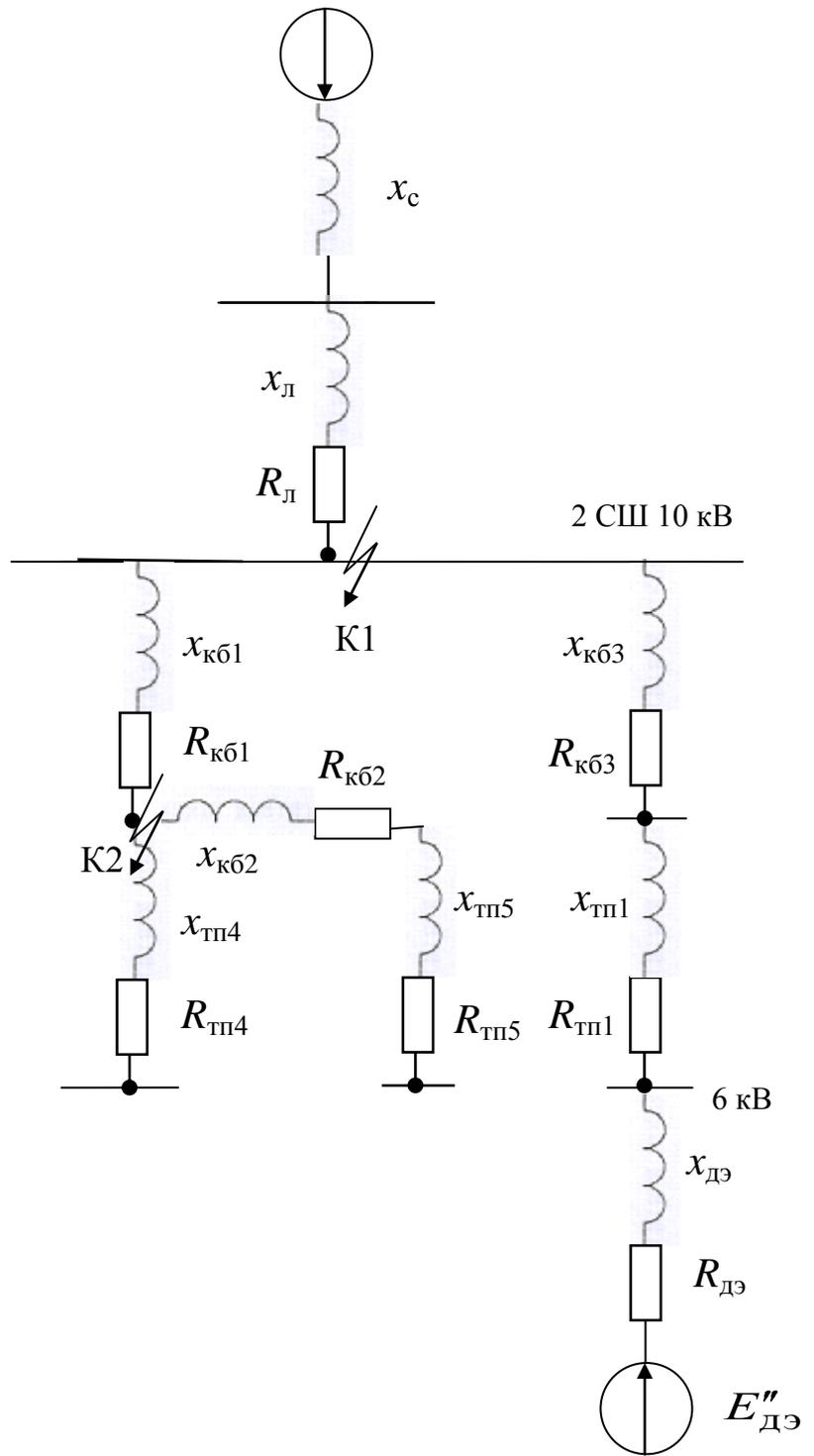


Рисунок 8.2 - Схема замещения

Исходные данные:

ВЛ: $x_{уд.л.} = 0,4 \text{ Ом/м}$, $R_{уд.л.} = 0,33 \text{ Ом/м}$, $l = 2,6 \text{ км}$;

КЛ1: $x_{уд.кб1} = 0,087 \text{ Ом/км}$, $R_{уд.кб1} = 0,84 \text{ Ом/км}$, $l = 0,3088 \text{ км}$;

КЛ2: $x_{уд.кб2} = 0,113 \text{ Ом/км}$, $R_{уд.кб2} = 1,84 \text{ Ом/км}$, $l = 0,1029 \text{ км}$;

КЛ3: $x_{уд.кб3} = 0,087 \text{ Ом/км}$, $R_{уд.кб3} = 0,84 \text{ Ом/км}$, $l = 0,0764 \text{ км}$;

ТП-1: $S_H = 1000 \text{ кВа}$, $u_k = 5,5\%$, $x/R = 10$;

ТП-4: $S_H = 400 \text{ кВа}$, $u_k = 4,5\%$, $x/R = 10$;

ТП-5: $S_H = 400 \text{ кВа}$, $u_k = 4,5\%$, $x/R = 10$;

АД: А4-400Х-10У3, $P_H = 200 \text{ кВт}$, $U = 6 \text{ кВ}$, $\eta = 92 \%$, $I_{п*} = 7$, $\cos\varphi = 0,761$, $x/R = 12$.

Значения удельных сопротивлений кабельных линий приняты по [3], значения величин x/R определены по [4].

Расчет выполняем в относительных единицах. За базисную мощность примем мощность ТП1 $S_{\sigma} = 1000 \text{ кВА}$, базисное напряжение $U_{\sigma I} = 6 \text{ кВ}$ – напряжение первой ступени. Напряжение второй ступени:

$$U_{\sigma II} = U_{\sigma I} / K_{ТП1} = 6 \cdot 10 / 6 = 10 \text{ кВ},$$

где $K_{ТП1} = 6/10$ – коэффициент трансформации ТП-1.

Определим сопротивления элементов схемы.

КЛ1:

$$x_{кб1} = x_{уд.кб1} l_{кб1} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma II}^2} = 0,087 \cdot 0,3088 \frac{1000}{100000} = 0,000268;$$

$$R_{кб1} = R_{уд.кб1} l_{кб1} \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma II}^2} = \frac{1}{2} 0,84 \cdot 0,3088 \frac{1000}{100000} = 0,00258.$$

Аналогично:

КЛ2: $x_{кб2} = 0,000116$; $R_{кб2} = 0,000189$

КЛ3: $x_{кб3} = 0,000066$; $R_{кб3} = 0,000642$

ТП-1:

$$x_{\text{ТП1}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{н}}} \left(\frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{бП}}} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{5,5}{100} \frac{1000}{1000} \left(\frac{10}{10} \right)^2 = 0,05;$$

$$R_{\text{ТП1}} = x_{\text{ТП1}} / (x / R) = 0,05 / 10 = 0,005.$$

ТП-4:

$$x_{\text{ТП4}} = 0,112; R_{\text{ТП4}} = 0,0112.$$

ТП-5:

$$x_{\text{ТП5}} = 0,112; R_{\text{ТП5}} = 0,0112.$$

ВЛ 10 кВ:

$$x_{\text{л}} = x_{\text{уд.л}} l_{\text{л}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{бП}}^2} = 0,4 \cdot 2,6 \frac{1000}{100000} = 0,0104;$$

$$R_{\text{л}} = R_{\text{уд.л}} l_{\text{л}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{бП}}^2} = 0,33 \cdot 2,6 \frac{1000}{100000} = 0,00858.$$

АД:

$$x_{\text{дэ}} = \frac{1}{4} \frac{1}{I_{\text{п}^*}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{н}}} \left(\frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{б}} \right)^2 = \frac{1}{4} \frac{1}{4,8} \frac{1000}{285,71} \left(\frac{6}{6} \right)^2 = 0,175;$$

$$S_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\cos \varphi \eta} = \frac{200}{0,761 \cdot 0,91} = 285,71 \text{ кВа};$$

$$R_{\text{дэ}} = x_{\text{дэ}} / (x / R) = 0,175 / 12 = 0,0115.$$

ЭДС системы:

$$E_{\text{с}} = \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{бП}}} = \frac{10}{10} = 1,0.$$

Расчет токов КЗ точка К1

Сворачиваем схему замещения относительно точки К1:

$$x_1 = x_{\text{с}} + x_{\text{л}} = 0,4 + 0,0104 = 0,41;$$

$$R_1 = R_{\text{л}} = 0,00858;$$

$$x_2 = x_{\text{кб3}} + x_{\text{ТП1}} + x_{\text{дэ}} = 0,000066 + 0,05 + 0,175 = 0,225;$$

$$R_2 = R_{\text{кб3}} + R_{\text{ТП1}} + R_{\text{дэ}} = 0,000642 + 0,005 + 0,0115 = 0,017;$$

$$x_3 = x_{\text{кб1}} + (x_{\text{кб2}} + x_{\text{mn5}}) // x_{\text{mn4}} = 0,000268 + \frac{(0,000116 + 0,112) \cdot 0,112}{0,000116 + 0,112 + 0,112} = 0,056;$$

$$R_3 = R_{кб1} + (R_{кб2} + R_{mn5}) // R_{mn4} = 0,00258 + \frac{(0,00189 + 0,0112) \cdot 0,0112}{0,00189 + 0,0112 + 0,0112} =$$

$$= 0,009;$$

$$x_4 = x_2 // x_3 = \frac{0,225 \cdot 0,056}{0,225 + 0,056} = 0,025;$$

$$R_4 = R_2 // R_3 = \frac{0,017 \cdot 0,009}{0,017 + 0,009} = 0,006.$$

Эквивалентная схема замещения для точки К1 приведена на рисунке 8.3.

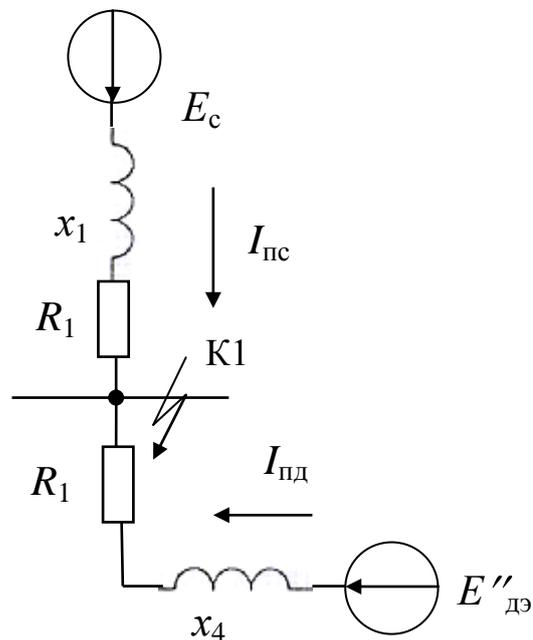


Рисунок 8.3 - Эквивалентная схема замещения

Сверхпереходная ЭДС асинхронных двигателей:

$$E''_{дэ} = \sqrt{|U_{д} \cos \varphi|^2 + |U_{д} \sin \varphi - I_0 x_{дэ}|^2} =$$

$$= \sqrt{|1,0 \cdot 0,761|^2 + |1,0 \cdot 0,649 - 0,129 \cdot 0,175|^2} = 0,986,$$

где

$$U_{д} = \frac{U_{н}}{U_{б1}} = \frac{6}{6} = 1,0 - \text{напряжение двигателя};$$

$$I_0 = \frac{P_{\text{факт}}}{S_{\delta}} \cos \varphi = \frac{170}{1000} \cdot 0,761 = 0,129 \text{ – рабочий ток двигателя;}$$

$$P_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{двиг.расч}}}{n_{\text{двиг.}}} = \frac{1190}{7} = 170 \text{ кВт - нагрузка каждого двигателя.}$$

Периодический ток, поступающий от системы к точке К1:

$$I_{\text{пс1}} = \frac{E_c}{z_1} = \frac{E_c}{\sqrt{x_1^2 + R_1^2}} = \frac{1,0}{\sqrt{0,41^2 + 0,00858^2}} = 2,44.$$

Периодический ток, поступающий от двигателей к точке К1:

$$I_{\text{пд1}} = \frac{E_c}{z_4} = \frac{E''_{\text{дэ}}}{\sqrt{x_4^2 + R_4^2}} = \frac{0,986}{\sqrt{0,025^2 + 0,006^2}} = 38,35.$$

Периодическая составляющая тока в точке К1:

$$I_{\text{пк1}} = |I_{\text{пс1}} + I_{\text{пд1}}| I_{\text{бП}} = |2,44 + 38,35| \cdot 57,74 = 2,355 \text{ кА,}$$

$$I_{\text{бП}} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\text{бП}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ А.}$$

$$T_{\text{с1}} = \frac{x_1}{\omega R_1} = \frac{0,41}{314 \cdot 0,00858} = 0,152.$$

По кривым [3] для найденного значения $T_{\text{с1}}$ определяем величину ударного коэффициента для системы $K_y = 1,6$.

Ударный ток системы:

$$i_{\text{уд.с1}} = \sqrt{2} K_{y1} \cdot I_{\text{пс1}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 2,44 = 5,52.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока от эквивалентного двигателя:

$$T_{\text{д1}} = \frac{x_4}{\omega R_4} = \frac{0,025}{314 \cdot 0,006} = 0,013$$

По кривым [3] для найденного значения T_a определяем величину

ударного коэффициента для системы $K_y = 1,1$. Тогда ударный ток системы:

$$i_{уд.д1} = \sqrt{2}K_{y1} \cdot I_{пс1} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 38,35 = 59,66.$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд1} = |i_{уд.с1} + i_{уд.д1}| I_{бП} = |5,52 + 59,66| \cdot 57,74 = 8,96 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ точка К2

$$E_{\text{ЭКВ}} = \frac{E_c x_1 + E''_{дэ} x_2}{x_1 + x_2} = \frac{1,0 \cdot 0,41 + 0,986 \cdot 0,225}{0,41 + 0,225} = 0,995;$$

$$x_5 = x_1 // x_2 = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} = \frac{0,41 \cdot 0,225}{0,41 + 0,225} = 0,145;$$

$$R_5 = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{0,00858 \cdot 0,017}{0,00858 + 0,017} = 0,0057;$$

$$x_{\text{экв}} = x_5 + x_{кб1} = 0,145 + 0,000268 = 0,145268;$$

$$R_{\text{экв}} = R_5 + R_{кб1} = 0,0057 + 0,00258 = 0,00828;$$

Эквивалентная схема замещения для точки К2 приведена на рисунке 8.4.

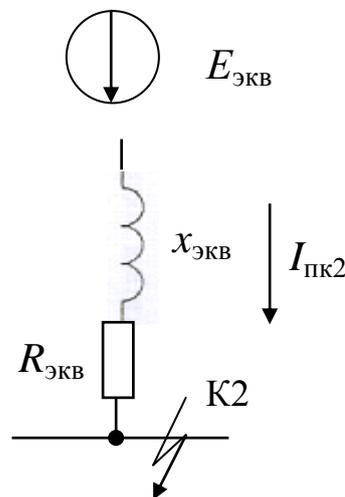


Рисунок 8.4 - Эквивалентная схема замещения

Периодический ток, поступающий от двигателей к точке К1:

$$I_{\text{ПК2}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{z_{\text{ЭКВ}}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{x_{\text{ЭКВ}}^2 + R_{\text{ЭКВ}}^2}} = \frac{0,995}{\sqrt{0,145268^2 + 0,00828^2}} = 6,84.$$

$$I_{\text{пк2}} = I_{\text{пс2}} I_{\text{бп}} = 6,84 \cdot 57,74 = 0,394 \text{ кА},$$

$$I_{\text{бп}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{бп}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,74 \text{ А}.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока от системы:

$$T_{a2} = \frac{x_{\text{экв}}}{\omega R_{\text{экв}}} = \frac{0,145268}{314 \cdot 0,00828} = 0,056.$$

По кривым [3] для найденного значения T_a определяем величину ударного коэффициента для системы $K_y = 1,35$. Тогда ударный ток системы:

$$i_{\text{уд.2}} = \sqrt{2} K_{y2} \cdot I_{\text{пк2}} = \sqrt{2} \cdot 1,35 \cdot 0,394 = 0,752 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов токов КЗ сведены в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 - Расчетные токи КЗ для точек К1 и К2

Точка КЗ	$I_{\text{пк}}, \text{кА}$	$i_{\text{уд}}, \text{кА}$
К1	2,355	3,76 с учетом подпитки от АД - 8,96
К2	0,394	0,752

9 Выбор и проверка электрических аппаратов схемы электроснабжения

Выбор и проверка электрических аппаратов схемы электроснабжения агломерационного производства произведен по методике, приведенной в [3,18], а также с учетом данных каталогов заводов-изготовителей [14-17,22].

9.1 Выбор электрических аппаратов на стороне выше 1000 В

9.1.1 Выбор высоковольтного выключателя на ЦРП

Выбираем выключатель типа ВВЭ-10-20/630У3 [16]. Условия выбора выключателя приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Выбор выключателя ВВЭ-10-20/630У3

Условия выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}, \text{ кВ}$	10	10
$I_{\text{ном}} > I_{\text{раб.нб.}}, \text{ А}$	242	630
$I_{\text{вкл.ном.}} > I_{\text{пк1}}, \text{ кА}$	2,355	20
$i_{\text{вкл.ном.}} > i_{\text{уд.1}}, \text{ кА}$	3,76	52
$I_{\text{откл.ном.}} > I_{\text{пк1}}, \text{ кА}$	2,355	20
$I_{\text{пр.скв.}} > I_{\text{пк1}}, \text{ кА}$	2,355	20
$i_{\text{пр.скв.}} > i_{\text{уд.1}}, \text{ кА}$	3,76	52

Таким образом, выбранный выключатель удовлетворяет всем расчетным условиям. Для защиты каждого трансформатора ТП устанавливаем ту же марку высоковольтного выключателя ВВЭ-10-20/630У3, так как он удовлетворяет условиям выбора.

9.1.2 Выбор выключателя нагрузки для ТП-1

На всех ТП устанавливаем типовые КТПП с трансформаторами ТМГФ 10/0,4 кВ ЗАО "ГК "Электроцит"-ТМ Самара" [15], которые комплектуются

выключателями нагрузки типа ВНПуп-10/400 [15]. Параметры выбора выключателя нагрузки ВНПуп-10/400 сведены в таблицу 9.2.

Таблица 9.2 - Выбор выключателя нагрузки

Условия выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$, кВ	10	10
$I_{\text{ном}} > I_{\text{раб.нб.}}$, А	80	400
$I_{\text{вкл.ном.}} > I_{\text{пк2}}$, кА	0,394	10
$i_{\text{вкл.ном.}} > i_{\text{уд.2}}$, кА	0,752	25
$I_{\text{пр.скв.}} > I_{\text{пк2}}$, кА	0,394	10
$i_{\text{пр.скв.}} > i_{\text{уд.2}}$, кА	0,752	25

Таким образом, выбранный выключатель нагрузки удовлетворяет всем расчетным условиям. Для защиты трансформаторов ТП-2, ТП-3, ТП-4, ТП-5, ТП-6, ТП-7 устанавливаем выключатели нагрузки марки ВНПуп-10/400.

9.1.3 Выбор плавкого предохранителя для защиты трансформаторов ТП

Для защиты трансформаторов ТП-1 выбираем предохранитель марки ПКТ 102-10-80-31,5УЗ [14]. Условия выбора предохранителя приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.1 – Выбор предохранителя ПКТ 102-10-80-31,5УЗ

Условия выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$, кВ	10	10
$I_{\text{ном}} > I_{\text{раб.нб.}}$, А	80	80
$I_{\text{откл.ном.}} > I_{\text{пк2}}$, кА	0,394	31,5
$I_{\text{пр.скв.}} > I_{\text{пк2}}$, кА	2,355	20
$i_{\text{пр.скв.}} > i_{\text{уд.2}}$, кА	3,76	52

Для защиты трансформаторов ТП-2, ТП-3, ТП-4, ТП-5, ТП-6, ТП-7 устанавливаем плавкие предохранители марки ПКТ 102-10-40-31,5УЗ [14].

9.1.4 Выбор измерительных трансформаторов тока

Выбираем трансформатор тока марки ТКЛ-10-0,5/Р [16]. Параметры выбора измерительных трансформаторов тока сведены в таблицу 9.4.

Таблица 9.4 - Параметры выбора измерительного трансформатора тока

Условия выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$, кВ	10	10
$I_{\text{ном}} > I_{\text{раб.нб.}}$, А	44,52	30-300

Приборы, устанавливаемые на стороне 6 кВ ТП агломерационного производства, приведены в таблице 9.5.

Таблица 9.5 – Приборы, устанавливаемые на стороне 10 кВ ТП агломерационного производства

Прибор	Тип	Класс точности	Номинальная мощность
Амперметр	Э-378	1,5	0,1
Счётчик активной и энергии	Меркурий 230ART	2	2,5

9.1.5 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Выбираем трансформатор напряжения марки НАМИТ-10У3 [16]. Параметры выбора измерительных трансформаторов напряжения сведены в таблицу 9.6.

Таблица 9.6 - Параметры выбора измерительного трансформатора напряжения

Условия выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$, кВ	10	10
$S_{\text{ном}} \geq S_{\text{расч}}$, ВА	120	960

9.1.6 Выбор ограничителей перенапряжения нелинейных

Выбираем ОПН-10 с параметрами $U_{\text{ном}} = 10$ кВ, $U_{\text{доп.наиб.}} = 12,7$ кВ, $U_{\text{проб.}} = 16 \div 19$ кВ, $U_{\text{ост.}} = 43$ кВ.

9.2 Выбор электрических аппаратов на стороне до 1000 В

КТП на вводе, секции и линии комплектуются автоматическими выключателями ВА-СЭЩ с электронными расцепителями OCR III [15,22].

Условия выбора автоматических выключателей:

- по напряжению установки, $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- по роду тока и его значению, $I_p \leq I_{ном}$;
- по предельно отключаемому току, $I_{по} \leq I_{откл}$;
- по включаемому току, $i_y \leq i_{вкл.мах}$.

Таблица 9.9 - Проверка автоматических выключателей ВА-СЭЩ

	ВА-СЭЩ LBA-3200		ВА-СЭЩ LBA-1600		ВА-СЭЩ LBA-1600	
	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$I_{н, A}$	1443	2000	1143	1500	205,11	400
$U_{н, B}$	380	660	380	660	380	660
$I_{откл., кА}$	3,9	36	3,9	31	2,3	25
$I_{вкл., кА}$	3,9	36	3,9	31	2,3	25
$I_{н расцеп., A}$		2000		1500		200-400

10 Частотно регулируемый асинхронный электропривод подъемного механизма

Исходные данные асинхронного электропривода для определения параметров нагрузки:

механизм: подъемный;

- масса кабины: $m_k = 300$ кг;

- моменты инерции редуктора: $J_1 = 0,3$ кг·м², $J_2 = 2,3$ кг·м²;

- к.п.д. редуктора: $\eta_{ред} = 0,79$;

- передаточное число редуктора: $i_{ред} = 10$;

- радиус барабана: $R_б = 0,4$ м;

- момент инерции барабана: $J_б = 5$ кг·м²;

- масса груза:

$$m_1 = 450 \text{ кг}, m_2 = 500 \text{ кг}, m_3 = 800 \text{ кг}, m_4 = 100 \text{ кг};$$

- линейная скорость перемещения груза:

$$V_1 = 1,3 \text{ м/с}, V_2 = 1,8 \text{ м/с}, V_3 = 2 \text{ м/с}, V_4 = 0,7 \text{ м/с};$$

- изменение нагрузки во времени:

$$t_1 = 4 \text{ с}, t_2 = 18 \text{ с}, t_3 = 2 \text{ с}, t_4 = 3 \text{ с}, t_5 = 1 \text{ с}, t_6 = 7 \text{ с}, t_7 = 5 \text{ с},$$

$$t_8 = 2 \text{ с}, t_9 = 3 \text{ с}, t_{10} = 10 \text{ с}, t_{11} = 3 \text{ с}, t_{12} = 4 \text{ с}, t_{13} = 3 \text{ с},$$

$$t_{14} = 6 \text{ с}, t_{15} = 3 \text{ с}, t_{16} = 5 \text{ с}.$$

Зависимости массы груза и линейной скорости подъемного механизма от времени приведены на рисунках 10.1 и 10.2.

Алгоритм расчета параметров нагрузки регулируемого асинхронного электропривода.

1. Определяется масса противовеса

$$m_{пр} = m_k + \frac{m_{грmax}}{2} = 300 + \frac{800}{2} = 700 \text{ кг}.$$

2. Определяются моменты сопротивления механизма

$$M_{c1} = \frac{m_1}{2} g R_6 = \frac{450}{2} \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 882,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

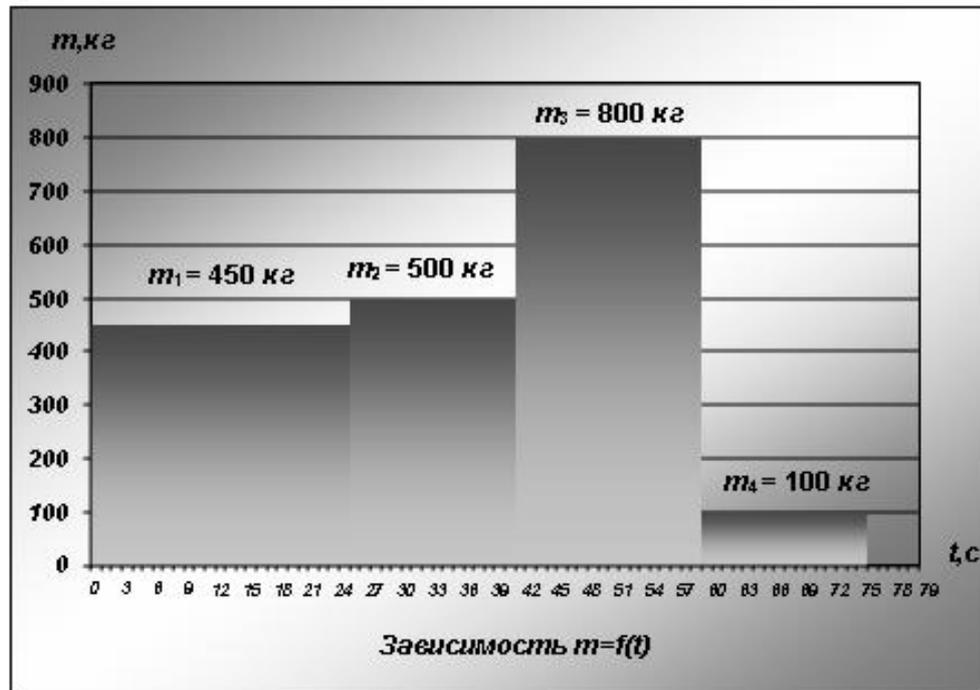


Рисунок 10.1 - Изменение массы груза скорости подъемного механизма во времени

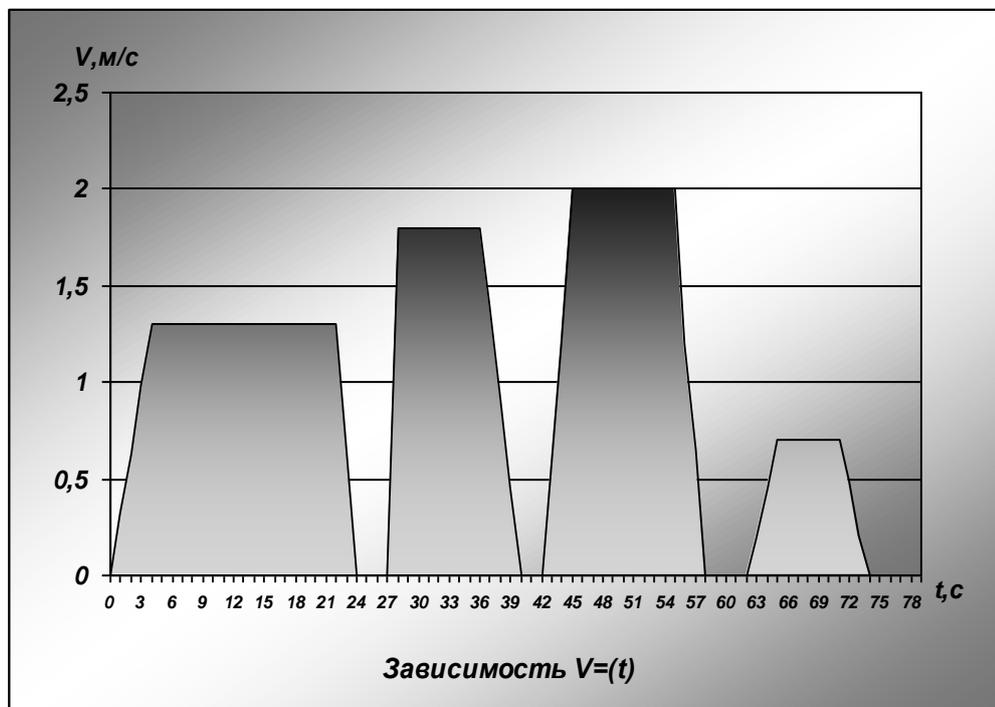


Рисунок 10.2 - Изменение линейной скорости подъемного механизма во времени

3. Определяются приведенные моменты статической нагрузки

$$M'_{c1} = \frac{M_{c1}}{i_{ред} \eta_{ред}} = \frac{882,9}{10 \cdot 0,7} = 126,13 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчетные значения моментов сопротивления сведены в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 - Расчетные значения момента сопротивления и угловой скорости механизма, момента сопротивления статической нагрузки

$M_c, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M'_c, \text{Н} \cdot \text{м}$	$\omega_c, \text{рад/с}$
882,9	126,13	32,5
981	140,14	45
1569,6	224,23	50
196,2	28	17,5

Зависимость момента сопротивления механизма от времени приведена на рисунке 10.3.

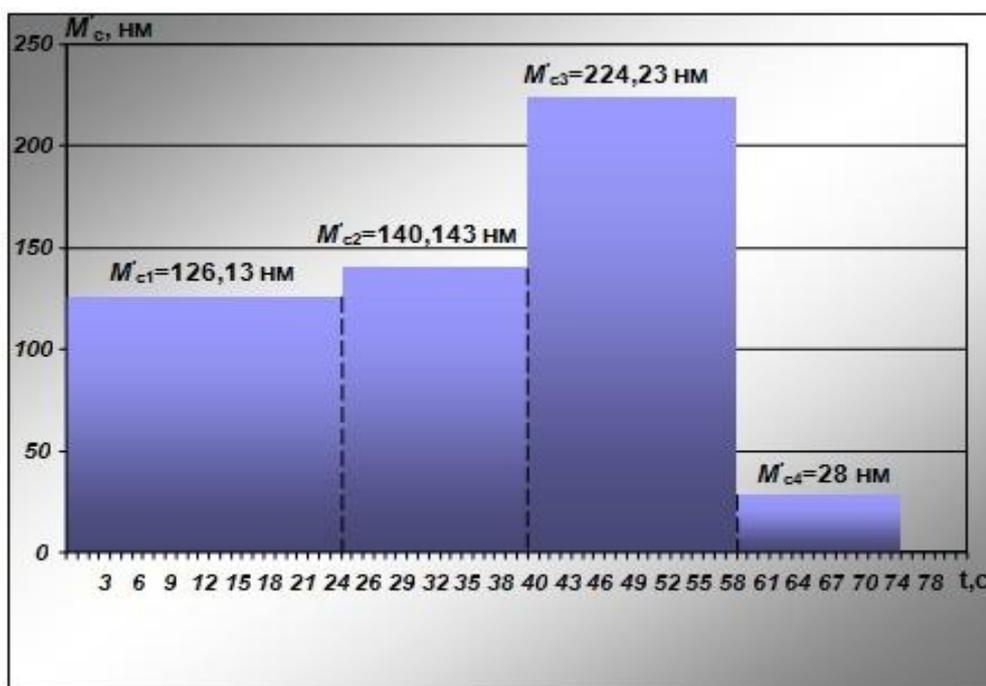


Рисунок 10.3 - Изменение момента статической нагрузки во времени

4. Определяется угловая скорость механизма, приведенная к валу двигателя

$$\omega = \frac{V}{R_6} i_{ред},$$

где $i_{ред}$ - коэффициент передачи редуктора.

Следовательно,

$$\omega_{c1} = \frac{V_1}{R_6} i_{ред} = \frac{1,3}{0,4} \cdot 10 = 32,5 \text{ рад/с.}$$

Расчетные значения момента сопротивления, момента сопротивления статической нагрузки и угловых скоростей электропривода сведены в таблицу 10.2.

Таблица 10.2 - Расчетные значения момента сопротивления, момента сопротивления статической нагрузки и угловой скорости электропривода

$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M'_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\omega_c, \text{рад/с}$
882,9	126,13	32,5
981	140,14	45
1569,6	224,23	50
196,2	28	17,5

Графическая иллюстрация таблицы 10.2 приведена на рисунке 10.4

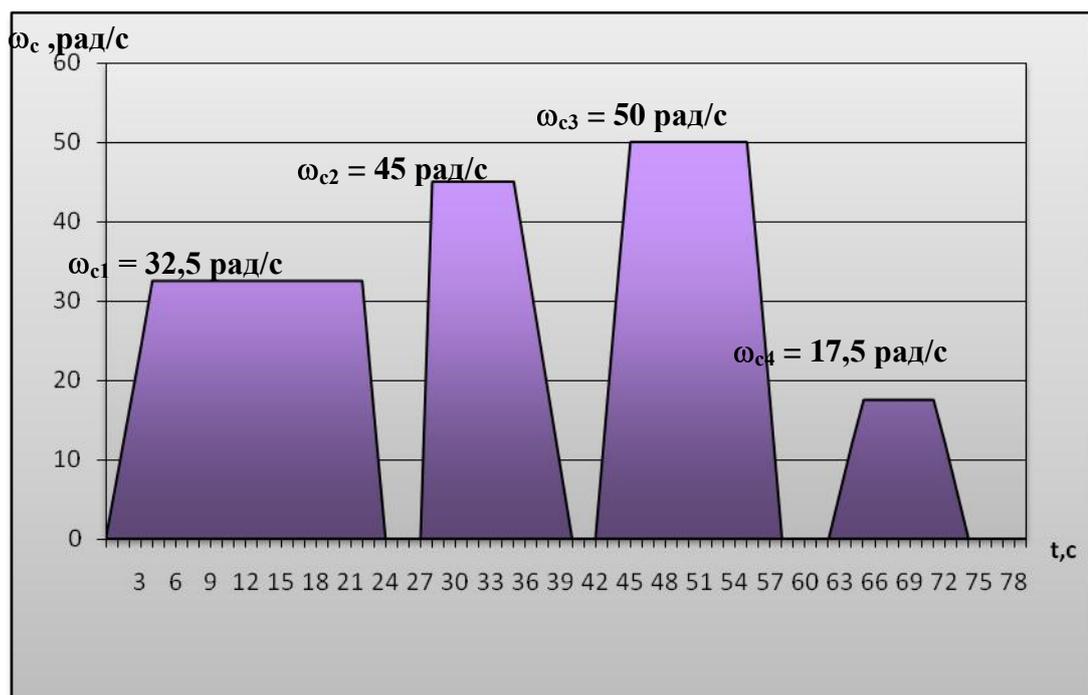


Рисунок 10.4 - Изменение угловой скорости механизма во времени

5. Выбирается электродвигатель

Выбираем асинхронный двигатель серии RA180L8 со следующими номинальными данными по [22]:

$$P = 7,5 \text{ кВт};$$

$$n = 730 \text{ об/мин};$$

$$U_n = 400 \text{ В};$$

$$I_n = 26 \text{ А};$$

$$\cos\varphi_n = 0,73;$$

$$\eta_n = 85\%;$$

$$M_{II}/M_n = 1,8; \quad M_{\max}/M_n = 2,4;$$

$$J_{\text{дв}} = 0,1443 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$K_{II} = 5,5.$$

Нагрузочная диаграмма (моментограмма) электродвигателя серии RA180L8 представлена на рисунке 10.5. Значения моментов приведены в таблице 10.3.

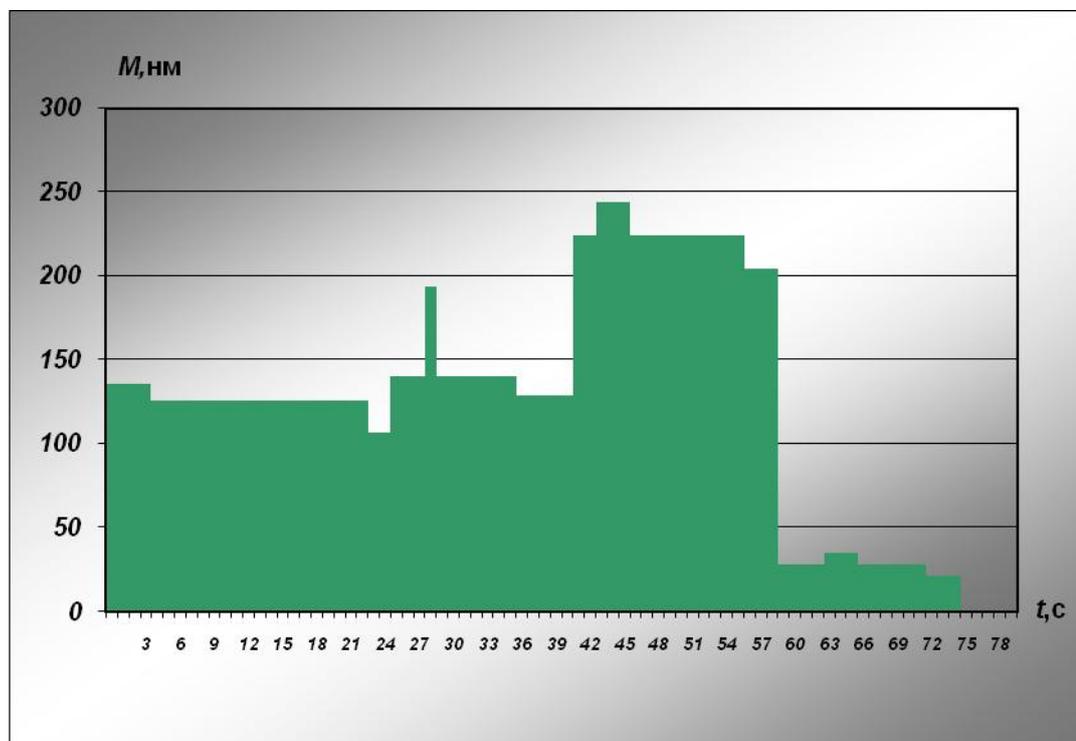


Рисунок 10.5 - Нагрузочная диаграмма двигателя

Таблица 10.3 - Изменение моментов электродвигателя серии RA180L8 во времени

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
M, н·м	135,8	126,1	106,6	140,1	194,1	140,1	129,3	224,2	244,4	224,2	204,2	28	35	28	21

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{11000}{76,45} = 143,88 \text{ нм.}$$

Критический момент двигателя:

$$M_{\text{max дв}} = M_{\text{НОМ}} \lambda = 143,88 \cdot 2,4 = 345,1 \text{ нм} > M_9.$$

Таким образом, выбранный электродвигатель серии RA180L8 удовлетворяет условию по перегрузочной способности.

Номинальные данные выбранных компонентов частотно-регулируемого электропривода электродвигатель серии RA180L8 приведены в таблице 1 графической части ВКР, технические данные выбранного частотно-регулируемого привода типа ПЧ VLT 3000 (фирма «Данфосс») приведены в таблице 2 графической части ВКР (лист 3).

Заключение

В выпускной квалификационной работе был произведен выбор схемы электроснабжения агломерационного производства металлургического завода. Критерием выбора являлось удовлетворение требованиям надежности электроснабжения и технико-экономической рациональности. В результате анализа технико-экономического расчета выбран вариант схемы электроснабжения № 2, поскольку для его реализации требуется минимальные приведенные затраты. Наличие магистральных связей в выбранном варианте не влияет на надежность схемы, так как по ним осуществляется питание цехов II категории. На всех ТП установлены типовые КТПП с трансформаторами ТМГФ 10/0,4 кВ ЗАО "ГК "Электрощит"-ТМ Самара". Было использовано два номинала силовых трансформаторов ТМГФ -400-10/0,4 для питания цехов и ТМГФ-1000-10/6 для питания высоковольтной нагрузки.

Также был произведен расчет токов трехфазного короткого замыкания на шинах ЦРП и ТП. По результатам расчета были выбраны электрические аппараты защиты на стороне 10 кВ и 0,4 кВ.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. -СПб.: Энергготомиздат, 2009.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок и потребителей. - М.: НЦ ЭНАС, 2004.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ Б.Н. Неклепаев - М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
- 4.ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ. – М.: Издательство стандартов, 2008.
- 5.Алиев, И.И. Кабельные изделия: справочник / И.И. Алиев. - М.: ИП РадиоСОФТ, 2012.
- 6.Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий/ В.В. Вахнина; ТГУ. - Грифф УМО; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011.
- 7.Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2014.
- 8.Кудрин, Б.И. Электроснабжение : учебник для студ. учреждений высш. проф. образ. / Б.И. Кудрин. – М.: Изд. центр «Академия», 2012.
- 9.Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013.
10. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ : в 6 т.: учеб.-произв. изд. Т. 4 / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. - М. : Папирус Про, 2005.

11. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник: учеб. пособие / Г.Н. Ополева; [сост. С.К. Кротов и др.]. - М.: ФОРУМ - ИНФРА-М, 2009.
12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учеб. для сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чикова. - 2-е изд., стер. ; Гриф МО. - М. : Academia, 2011.
13. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ под редакцией С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 2012.
14. www.biblioteka1928.ru/katalog_elektrooborudovania
15. <http://elektroshchit-samara>
16. www.elsfera.ru/elektrooborudovanie
17. www.kamkabel.ru/katalog.php
18. Agronik, S.G. Electrical equipment of blast furnaces./ S.G. Agronik, M.Y. Blatt. - Department of Ferrous Metallurgy. Aachen, 2009.
19. Babich, A. Ironmaking. / A. Babich, D. Senk, H.W. Gudenau, K.Th. Mavrotmatis. - RWTH Aachen University. Department of Ferrous Metallurgy. Aachen, 2008
20. Korotych, V.I. Agglomeration of ore materials / V.I. Korotych, G.N. Bezdezhsky. - SEI HPE «Ural State Technical University», 2003
21. Shurhal, V. A. sintering process / V. A. Shurhal. - Published by: Kiev: «Tehnika», 2005.
22. Electrical networks and electrical steel mills: Electrical equipment catalog equipment ABB, 2010.