МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция системы электроснабжения главного корпуса предприятия по производству автомобильных комплектующих»

Студент(ка)	А.П. Короташ	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	Д.А. Нагаев	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты		
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

«____»_____2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В ВКР бакалавра были выполнены следующие разделы: определение расчетных электрических нагрузок в инструментальном цеху и главном корпусе в целом; выбор числа и мощности внутрицеховых трансформаторов; выбор и расчет схемы внутрицехового электроснабжения; выбор защитных аппаратов и кабелей; расчет токов короткого замыкания; проверка защитных аппаратов на термическую и динамическую стойкость; проектирование асинхронного электропривода для подъемного механизма.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра был произведен расчет потребляемой реактивной мощности и выполнен выбор компенсирующих устройств; произведен выбор кабелей на напряжение 10 и 0,4 кВ, выключателей нагрузки, комплектных трансформаторных подстанций (КТП), автоматических выключателей, распределительных и магистральных шинопроводов и распределительных пунктов.

Выпускная квалификационная работа бакалавра выполнена в объеме 64 страниц, 6 рисунков, 12 таблиц и 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение 5

1 Характеристика проектируемого объекта 7

2 Расчет электрических нагрузок 8

3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций. Расчет реактивной мощности 27

4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения 34

5 Выбор оборудования внутрицеховой системы 36

6 Расчет токов короткого замыкания 49

7 Проектирование асинхронного электропривода подъемного механизма 59

Заключение 62

Список использованных источников 63

Введение

На промышленном предприятии, стройке, предприятии добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности и сельского хозяйства, электрифицированного транспорта, городских и сельских населенных пунктов, и других объектов невозможно обеспечить производство, работу технологических установок без использования электрической энергии [4].

Совокупность электроустановок для производства и передачи электрической энергии в системе электроснабжения предприятия может быть собственностью предприятия, принадлежать другому предприятию или объединению.

Собственная электростанция обеспечивает электрической энергией все технологические процессы предприятия, передает электрическую энергию по электрическим сетям, принадлежащим предприятию. Предприятия также могут получать электрическую энергию от электростанций и подстанций, принадлежащих энергетической системе или промышленному предприятию, расположенному по соседству.

Наибольшее распространение получила схема, по которой предприятия получают электрическую энергию от электрических сетей региональной энергосистемы, входящей в единую энергосистему. Электроэнергия производится на электростанциях энергосистемы и передается к месту потребления по ее сетям на высоком напряжении (110-220 кВ). Предприятие имеет понижающую трансформаторную подстанцию, на которой происходит ее преобразование до напряжения распределительных сетей предприятия (6-20 кВ), где электроэнергия распределяется по потребительским подстанциям, а от них - к низковольтным распределительным пунктам и электроприемникам.

Большинство электроприемников технологических установок, предприятия, населенного пункта предназначены для эксплуатации при напряжении до 1 кВ. Понижение напряжения происходит на подстанциях потребителей, а распределение электроэнергии выполняется по внутрицеховым

электрическим сетям при напряжении 0,4-1 кВ. Наиболее распространенной является схема электроснабжения предприятий от энергосистемы, представленной ТЭЦ или ГЭС.

Систему электроснабжения (СЭС) можно разделить на три системы: систему внешнего электроснабжения предприятия; систему внутреннего электроснабжения; систему внутрицехового электроснабжения и электропотребления. Вместе с тем, СЭС предприятия является подсистемой общей энергосистемы и подсистемой технологической системы производства самого промышленного предприятия. Электроэнергию, которая передается по электрическим сетям в систему электроснабжения предприятия, можно рассматривать как составляющую производственного процесса предприятия наравне с сырьем, используемыми материалами и затраченными трудозатратами.

Целью выпускной квалификационной работы бакалавра является проектирование надежной системы электроснабжения главного корпуса предприятия по производству автомобильных комплектующих.

В задачи работы входит: расчет силовых электрических нагрузок; расчет нагрузок искусственного освещения; выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций; расчет потребляемой реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств; выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения предприятия; выбор кабелей и защитных аппаратов; расчет токов короткого замыкания; проверка выбранного оборудования по условиям стойкости к токам короткого замыкания; проектирование электродвигателя грузоподъемного механизма.

1 Характеристика проектируемого объекта

Предприятие производит: автомобильные сиденья, системы выпуска отработавших газов, каталитические нейтрализаторы отработавших газов и трубки тормозной и топливной систем автомобиля.

В настоящее время система электроснабжения предприятия насчитывает 9 трансформаторных подстанций, 1 РП – 10 кВ и ГПП 110/10 кВ.

В состав инструментального цеха входят металлообрабатывающие станки, сварочные машины, карусельные установки, грузоподъёмное оборудование, вытяжные вентиляторы. Единичная мощность электроприемников цеха находится в пределах от 0,35 до 100 кВт. Большинство электроприемников работает в длительном режиме (металлообрабатывающие станки, вентиляторы), но есть и работающие в повторно-кратковременном режиме (грузоподъёмное оборудование, сварочные агрегаты). Подключение электроприемников осуществляется как в трехфазном (металлообрабатывающие станки, вентиляторы, грузоподъёмное оборудование), так и в однофазном исполнении (освещение, офисная нагрузка). Электроприёмники цеха относятся к первой и второй категории по требуемой надёжности электроснабжения. Цех работает в 2 смены по 8 часов с понедельника по пятницу. Площадь цеха составляет 60000 м^2.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет производственных электрических нагрузок

В ходе выполнения расчета электрических нагрузок предприятия составляется схема электроснабжения [4].

Схема электроснабжения предприятия может содержать несколько узлов нагрузки со сборными шинами различных классов напряжения от 0,4 до 220 кВ.

При расчете электрических нагрузок в системе электроснабжения предприятия можно выделить шесть уровней.

1. Отдельные электроприемники (станки, сварочные установки, выпрямительные установки и т. п.), агрегаты с многодвигательным приводом при напряжении до 1 кВ. Расчетная нагрузка отдельного электроприемника используется для выбора сечения жилы провода или кабеля от распределительного пункта или шинопровода к электроприемнику, и выбора коммутационного аппарата для присоединения электроприемника к ПР или ШР.

2. Щиты и пункты распределительные, распределительные шинопроводы напряжением до 1 кВ. По расчетной нагрузке обусловленной группой электроприемников выбирают сечение провода или кабеля при использовании радиальной линии или распределительного шинопровода от которого запитана данная группа электроприемников, и коммутационного аппарата через который присоединяется группа приемников электрической энергии к распределительному щиту или устройству низкого напряжения трансформаторной подстанции или питающей магистрали в схеме «блок трансформатор-магистраль» (БТМ).

3. Щит низкого напряжения цеховой трансформаторной подстанции, питающая магистраль в системе БТМ. Расчетная нагрузка используется для выбора числа и мощности цеховых трансформаторов, сечения шин для цеховой

ТП, питающей магистрали в схеме БТМ и коммутационных аппаратов на стороне низкого напряжения силового трансформатора.

4. Шины распределительного пункта внутреннего электроснабжения предприятия. Расчетная нагрузка, создаваемая отдельными приемниками и трансформаторами с учетом потерь в них, используется для выбора сечения проводов и кабелей отходящих от РП линий, к отдельным приемникам и цеховым ТП, и отключающих аппаратов на этих линиях. Расчетная нагрузка на шинах каждой секции РП определяется для выбора сечения и материала шин, а также линий, питающих секцию РП и отключающих аппаратов, устанавливаемых на этих линиях.

5. Шины распределительного устройства главной понизительной подстанции. Определение расчетной нагрузки выполняется для выбора числа, мощности и типа силовых трансформаторов, сечения шин распределительного устройства ГПП, отключающих аппаратов на стороне низкого напряжения трансформатора.

6. Граница раздела предприятия и энергосистемы. Расчетную нагрузку на стороне ВН находят с учетом потерь в силовом трансформаторе, с учетом расчетной нагрузки на обмотке среднего напряжения или расщепленной обмотке, если трансформатор недвухобмоточный. Эта нагрузка используется для выбора сечения питающих линий и коммутационных аппаратов для присоединения трансформатора ГПП к энергосистеме.

Для обоснованного выбора схемы электроснабжения промышленного предприятия и определения нагрузок принимают во внимание будущую модернизацию технологии производства и рост электрических нагрузок предприятия на 10 лет вперед.

Методы расчета электрических нагрузок. При проектировании системы электроснабжения используют различные методы определения расчетных нагрузок, которые с достаточной долей достоверности позволяют выбрать мощность источников питания, сечения линий сетей и коммутационную аппаратуру. Методы расчета электрических нагрузок подразделяют на две

группы: основные и вспомогательные.

В расчетах будем пользоваться модифицированным методом упорядоченных диаграмм. Для кран-балок, поскольку их ПВ отличается от 100%, определяем их установленную мощность:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (1)$$

$$P_{ном} = 3,94 \cdot \sqrt{0,4} = 2,49 \text{ кВт}.$$

Для каждого ЭП по [3] находим коэффициенты использования (k_u) и коэффициенты мощности ($\cos\varphi$).

Рассчитываем суммарную активную мощность каждой подгруппы электроприемников

$$P_{н.\Sigma} = P_{ном} \cdot n. \quad (2)$$

Путем раздельного суммирования активных и реактивных составляющих мощностей по группам электроприемников находят их значения для отдельных узлов:

$$К_{и} = \frac{\Sigma P_{см}}{\Sigma P_{н}}, \quad (3)$$

$$tg\varphi = \frac{\Sigma Q_{см}}{\Sigma P_{см}}. \quad (4)$$

Определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{Н.МАКС}}{P_{Н.МИН}}, \quad (5)$$

$$m = \frac{28}{2,5} = 11,2 \Rightarrow m > 3.$$

Определяем число эффективных электроприемников для расчетного узла:

– для $m < 3$ и $К_и > 0,2$, $N_э = n$;

– для $m < 3$ и $К_и < 0,2$ эффективное число электроприемников выбирается в следующем порядке:

1) находим максимальный по мощности электроприемник в группе, определяем ЭП, номинальная мощность которых больше либо равна половины мощности наибольшего ЭП;

2) для таких ЭП подсчитывается их количество n_1 и суммарная мощность p_{n1};

3) определяется суммарная мощность всех ЭП рассматриваемого узла p_n и вычисляютяс относительные значения $n_{1*} = n_1 / n$ и $p_{1*} = p_{н1} / p_н$;

4) по найденным значениям n_{1*} и p_{1*} по кривым из справочника [7]определяем $n_э$.

Определяем среднесменную активную и реактивную нагрузки для каждой группы электроприёмников:

$$P_{СМ} = K_И \cdot P_{Н.\Sigma}; \quad (6)$$

$$Q_{СМ} = P_{СМ} \cdot tg\phi. \quad (7)$$

По справочнику [7] определяем табличное значение коэффициента максимума – $K_М = 2,2$.

Определяем расчётные активную и реактивную мощность электроприёмников расчетного узла:

$$P_Р = K_М \cdot P_{СМ}, \quad (8)$$

$$P_Р = 2,1 \cdot 22,6 = 47,4 \text{ кВт}.$$

Т.к. $n_Э < 100$ и $к_и < 0,2$ 3 , то:

$$Q_Р = 1,1 \cdot Q_С, \quad (9)$$

$$Q_Р = 1,1 \cdot 35,91 = 39,5 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчётную мощность:

$$S_Р = \sqrt{P_Р{}^2 + Q_Р{}^2}, \quad (10)$$

$$S_Р = \sqrt{47,4^2 + 39,5^2} = 61,72 \text{ кВА.}$$

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_Р = \frac{S_Р}{\sqrt{3} \cdot U_Н}, \quad (11)$$

$$I_Р = \frac{61,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 93,8 \text{ А.}$$

Для остальных электроприемников и в целом по РП и ШР расчеты производятся аналогично. Результаты расчетов заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет электрических нагрузок

Название оборудования	ПВ	$P_{пасп}$	$P_н$	n	$P_{нсум}$	cosf	$K_и$	m	$n_э$	tgf	$P_{см}$	$Q_{см}$	$K_м$	$P_р$	$Q_р$	$S_р$	$I_р$
М 1/7																	
РШ 1/7-4																	
Кран – балка 2т	40	3,94	2,5	1	2,49	0,5	0,4			1,7	1	1,72					
Токарно-винторезный станок повышенной точности			21	1	21	0,5	0,14			1,7	2,94	5,09					
Токарно-винторезный станок			35	1	35	0,5	0,14			1,7	4,9	8,48					
Шлифовальный станок			23	1	23	0,5	0,14			1,7	3,22	5,57					
Токарно-винторезный станок с гидрокопировальным устройством			28	1	27,5	0,55	0,14			1,5	3,85	5,84					
Токарный станок			12	2	23,6	0,6	0,14			1,3	3,3	4,40					
Пневмоагрегат			16	1	16	0,55	0,12			1,5	1,92	2,91					
Алмазно-заточный станок			12	1	12	0,6	0,12			1,3	1,44	1,92					
Итого по РШ 1/7-4								<3	9		22,6	35,9	2,1	47,4	39,5	61,7	93,8
РШ 1/7-5																	
Токарный станок			20	2	40	0,6	0,12			1,3	4,8	6,4					
Вертикально-фрезерный консольный станок			18	1	18	0,65	0,16			1,2	2,88	3,36					
Вертикально-фрезерный станок			14	2	28,4	0,6	0,16			1,3	4,54	6,05					
Кругло-шлифовальный станок			18	2	36	0,65	0,14			1,2	5,04	5,89					
Внутри-шлифовальный станок			9	1	9	0,65	0,14			1,2	1,26	1,47					
Пылеулавливающий агрегат			1,5	1	1,5	0,55	0,14			1,5	0,21	0,31					
Итого по РШ 1/7-5								<3	9		18,7	23,5	2,2	41,1	25,8	48,6	73,9

продолжение таблицы 1

Название оборудования	ПВ	$P_{пасп}$	$P_н$	n	$P_{нсум}$	cosf	$K_и$	m	$n_э$	tgf	$P_{см}$	$Q_{см}$	$K_м$	$P_р$	$Q_р$	$S_р$	$I_р$
РШ 1/7-6																	
Универсальный плоскошлифовальный станок			15	1	15	0,65	0,14			1,2	2,1	2,45					
Плоскошлифовальный станок			12	1	12	0,65	0,14			1,2	1,68	1,96					
Плоскошлифовальный станок			18	4	72	0,65	0,14			1,2	10,1	11,78					
Пневмоагрегат			1,5	2	3	0,6	0,14			1,3	0,42	0,56					
Установка для размагничивания			51		51	0,55	0,2			1,5	10,2	15,4					
Плоскошлифовальный станок ЧПУ			18		18	0,6	0,6			1,3	10,8	14,4					
Универсальный заточный станок			3		3,03	0,6	0,12			1,3	0,36	0,48					
Универсальный заточный станок			0,8		0,75	0,6	0,12			1,3	0,09	0,12					
Итого по РШ 1/7-6								>3	6		35,7	47,2	2,2	80,0	51,9	95,4	145
РШ 1/7-7																	
Универсальный фрезерный станок с ЧПУ			13	5	62,5	0,6	0,6			1,3	37,5	50					
Ножовочный автомат			2,3	2	4,64	0,55	0,14			1,5	0,65	0,98					
Отрезной круглопильный станок			2,2		2,2	0,6	0,13			1,3	0,29	0,38					
Итого по РШ 1/7-7								<3	8		38,4	51,3	1,5	58,4	56,5	81,2	123
РП 1/7-1																	
Координатно-расточные станки			11	3	31,5	0,55	0,13			1,5	4,1	6,21					

продолжение таблицы 1

Название оборудования	ПВ	$P_{пасп}$	$P_н$	n	$P_{нсум}$	cosf	$К_и$	m	$n_э$	tgf	$P_{см}$	$Q_{см}$	$К_м$	$P_р$	$Q_р$	$S_р$	$I_р$
Кран-балка 2т	40	3,94	1,6		1,58	0,5	0,5			1,7	0,79	1,36					
Профильный станок			8		8	0,6	0,14			1,3	1,12	1,49					
Наждак			1,5		1,5	0,5	0,12			1,7	0,18	0,31					
Координатно-шлифовальный станок			13		12,5	0,65	0,12			1,2	1,5	1,75					
Шлифовальный станок			15		15	0,6	0,12			1,3	1,8	2,4					
Итого по РП 1/7-1								>3	4		9,48	13,5	3,1	29,4	14,9	33	50,2
РП 1/7-2																	
Пресс гидравлический			4		4	0,65	0,22			1,2	0,88	1,02					
Пресс механический			6,4		6,39	0,65	0,22			1,2	1,41	1,64					
Станок настольный сверлильный			1		0,95	0,45	0,14			2	0,13	0,26					
Станок вертикально-сверлильный			4,1		4,12	0,5	0,14			1,7	0,58	0,99					
Полуавтомат сварочный			21	2	42	0,6	0,35			1,3	14,7	19,6					
Станок для снятия фасок			4,5		4,5	0,4	0,14			2,3	0,63	1,44					
Печь электрическая			2		2	0,9	0,5			0,5	1	0,48					
Вентилятор			1,1		1,1	0,8	0,7			0,8	0,77	0,57					
Копировально-фрезерный станок			1,4		1,4	0,65	0,12			1,2	0,17	0,19					
Итого по РП 1/7-2								>3	9		20,3	26,2	1,6	32,4	28,8	43,4	65,9
РШ 1/7-1																	
Автоматический станок косого реза			9	1	9	0,6	0,14			1,3	1,26	1,68					
Станок для резки труб DESCAM			11	2	22	0,55	0,14			1,5	3,08	4,67					

продолжение таблицы 1

Название оборудования	П	$P_{пасп}$	$P_н$	n	$P_{нсум}$	cosf	$К_и$	m	$n_э$	tgf	$P_{см}$	$Q_{см}$	$К_м$	$P_р$	$Q_р$	$S_р$	$I_р$

	В																
Пресс однокривошипный			4,7	1	4,7	0,6	0,22			1,3	1,03	1,37					
Станок для снятия фасок			12	1	11,5	0,5	0,14			1,7	1,61	2,78					
Станок точильно-шлифовальный			5,3	1	5,3	0,55	0,14			1,5	0,74	1,12					
Станок вертикально-фрезерный			7,5	1	7,5	0,65	0,14			1,2	1,05	1,22					
Сварочная кабина			24	4	96	0,35	0,3			2,7	28,8	77					
Установка для сварки			35	2	70	0,35	0,3			2,7	21	56,2					
Машина для автоматич. сверления и сварки			21	3	63	0,35	0,3			2,7	18,9	50,5					
Итого по РШ 1/7-1								>3	11		77,5	196	1,8	142	216	259	393
РШ 1/7-2																	
Конвейер грузонесущий			5	1	5	0,8	0,35			0,8	1,75	1,31					
Станок горизонтально-фрейзерный			11	1	10,5	0,3	0,14			3,2	1,47	4,67					
Станок для резки труб			7,5	1	7,5	0,55	0,14			1,5	1,05	1,59					
Станок для снятия фасок			3,7	1	3,7	0,5	0,14			1,7	0,52	0,89					
Установка для сверления в СО2			32	1	32	0,5	0,14			1,7	4,48	7,76					
Вентиляторы			5	3	15	0,8	0,8			0,8	12	9					
Сварочные кабины			23	7	158	0,35	0,3			2,7	47,3	126					
Стенды формовки, калибровки и подмятия			15	5	72,5	0,5	0,14			1,7	10,2	17,5					
Дисковый отрезной станок			6,3	1	6,3	0,5	0,14			1,7	0,88	1,52					
Итого по РШ 1/7-2								>3	19		79,6	170	1,5	123	187	224	341
Итого по М 1/7														554	621	833	1266

продолжение таблицы 1

Название оборудования	П	$P_{пасп}$	$P_н$	n	$P_{нсум}$	cosf	$K_и$	m	$n_э$	tg	$P_{см}$	$Q_{см}$	$K_м$	$P_р$	$Q_р$	$S_р$	$I_р$

	B									f							
М 1/1																	
Итого по М 1/1														421	513	664	995
М 1/3																	
Итого по М 1/3														419	289	509	773
2ПР																	
Итого по 2ПР														157	109	191	291
13ПР																	
Итого по 13ПР														74,5	59	95	144
Итого силовая														1625	1591		
Освещение														114	34		
Итого по КТП-1														1739	1591	2357	3585

Расчеты для остальных ТП-2, ТП-3, ТП-4 и ТП-5 выполняются аналогично. Результаты произведенных расчетов заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетная нагрузка ТП – 2 - ТП – 5

№ ТП	$P_Р$, кВт	$Q_Р$, квар	$S_Р$, кВА	$I_Р$, А
ТП – 2	1398	1411	1986	3018
ТП – 3	1681	1824	2480	3769
ТП – 4	1322	1388	1903	2678
ТП – 5	2700	3041	4067	6179

2.2 Расчёт освещения

2.2.1 Выбор светильников

Первостепенное значение для выбора системы освещения имеют точность выполняемых зрительных работ, характер и особенности производственного оборудования, условия естественного освещения [5]. При выборе систем освещения следует принимать во внимание, что капитальные затраты и последующие расходы на эксплуатацию при комбинированном способе освещения будут ниже, чем при использовании общего освещения.

Основные указания и рекомендации, касающиеся выбора источников света (ИС) для осветительных установок (ОУ) указаны в отраслевых нормах по искусственному освещению. Выбирая ИС для освещения внутри производственных помещений необходимо учитывать наличие специальных требований по правильной цветопередаче. При отсутствии требований к цветопередаче можно использовать ДРЛ и НЛВД, в противном случае следует применять в зависимости от требуемого уровня цветопередачи ЛЛ соответствующей цветности, МГЛ или СИД.

Выбор световых приборов (СП) для освещения промышленных предприятий осуществляется с учетом многих условий. Важнейшим

светотехническим параметром СП является его КСС, а также КПД. Экономичность общего освещения производственных помещений очень сильно зависит от правильного выбора СП по светораспределению. Использование СП с неэффективной для имеющейся высоты подвеса и принятой схемы размещения КСС приводит к перерасходу электроэнергии на 30 - 35 %.

В практике проектирования приближенная проверка эффективности выбора СП по светораспределению (для ОУ общего равномерного освещения) может быть проведена с помощью упрощенного критерия экономичности СП, которым является отношение длины между рядом расположенными СП к высоте установки СП над рабочей поверхностью l/h и сопоставления полученных значений с рекомендуемыми для каждого типа КСС.

При необходимости создать освещенность в горизонтальной плоскости рекомендуется использование световых приборов СП прямого света класа П, а в местах с достаточно высокими коэффициентами отражения стен и потолка использовать осветительные приборы прямого света класса Н. Чем больше высота помещения и выше нормируемая освещенность, тем более концентрированную КСС должен иметь СП. Для помещений с большой высотой наиболее выгодны СП с КСС типа К и при уменьшении высоты - с КСС типов Г и Д.

В помещениях, где рабочие поверхности могут располагаться в вертикальных плоскостях, рекомендуются СП рассеянного света класса Р с полуширокой КСС типа Л или равномерной типа М. Если вертикальные рабочие поверхности расположены по одну сторону от ряда СП, то используют СП одностороннего светораспределения (кососветы) или наклонно устанавливают СП с КСС типа Г или Д.

Хорошие результаты может дать применение протяженных щелевых световодов. Если возникает необходимость создания одновременных освещенностей от общего освещения в горизонтальной и наклонных либо вертикальных плоскостях, то необходимо стараться сблизить уровни

освещенности в разных плоскостях. Выбирая СП в таких случаях нужно учитывать, что отношение вертикальной освещенности к горизонтальной минимально для СП с КСС типа К и увеличивается для СП с КСС типов М и Л.

Офисные и производственные помещения главного корпуса не имеют повышенной влажности и запыленности, что позволяет использовать светильники со степенью защиты класс IP20. Оптимальными по стоимости и светотехническим характеристикам источниками света для освещения офисных помещений являются люминесцентные лампы. Они обладают высокой светоотдачей, что позволяет добиться достаточно низких значений удельной мощности; большого срока службы, что позволяет сократить эксплуатационные расходы, а также невысокой стоимостью. Для офисных помещений выбираем светильники ALS.PRS 236 с двумя люминесцентными лампами мощностью 36W фирмы OSRAM.

В производственных помещениях с высотой потолков более 6м, с низкими коэффициентами отражения стен и потолка применим светильники прямого света с концентрированным светораспределением. Для производственных помещений выбираем светильники HBS-400H с металлогалогенными лампами OSRAMHQI-E-400.

2.2.2 Светотехнический расчет рабочего освещения

Светотехнический расчет - необходимый этап проектирования осветительной установки (ОУ), позволяющий от нормируемых количественных и качественных показателей освещения перейти к определению мощности, типа, числа и взаимного расположению СП с ИС [5]. Цели и задачи светотехнического расчета: 1. По нормируемой освещенности $E_{норм}$ найти необходимое число СП - это прямой расчет. 2. Определение освещенности от СП, используемых в ОУ, - это задача обратная или поверочный расчет. Если результаты решения не соответствуют требованиям действующих норм, то выполняется корректировка светотехнического проекта. При расчете мощности ОУ и проведении поверочных расчетов на соответствие

нормируемой освещенности используются два метода: 1. Точечный метод, в котором исходными параметрами служат сила света излучателя в направлении расчетной точки, его положение относительно этой точки и ориентация в пространстве плоскости, в которой находится освещенность. 2. Метод коэффициента использования светового потока, в котором средняя освещенность определяется как отношение светового потока, установившегося на расчетной плоскости, к площади этой поверхности. Метод коэффициента использования применяется обычно при решении прямой задачи, когда распределение светового потока по освещаемой поверхности близко к равномерному. Поверочные расчеты освещенности выполняются, как правило, методом расчета по силе света. При расчете ОУ требуются, в общем случае, расчет распределения светового потока, подающего от светильников на рабочую поверхность (плоскость, на которой нормируется освещенность), потолок и стены, и расчет множества отражений этих световых потоков между поверхностями в рассматриваемом помещении.

Расчет освещения выполним по методу коэффициента использования светового потока для каждого помещения главного корпуса.

Расчет рабочего освещения выполняется в инструментальном цехе.

Определяем требуемое количество светильников

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_з}{\eta \cdot n \cdot Ф_л}, \qquad (12)$$

где E – требуемая горизонтальная освещённость , лк;

S - площадь цеха, м^2;

$К_з$ - коэффициент запаса;

η - коэффициент использования;

n - количество ламп в светильнике;

$Ф_л$ - световой поток одной лампы.

Определяем площадь помещения

$$S = a \cdot b, \qquad (13)$$

где a - длина помещения, м;

b - ширина помещения, м.

Для инструментального цеха принимаем среднюю точность зрительной работы, средний контраст объекта с фоном и среднюю характеристику фона, т.е. разряд зрительных работ IV-в. По СНиП 23-05-95 для этих условий необходима освещенность 300 лк.

Далее выбираем коэффициент запаса. Он зависит от степени загрязнения помещения, частоты технического обслуживания светильника, интенсивности эксплуатации светильников и принимает значения от 1,2 до 2. Для инструментального цеха принимаем коэффициент запаса 1,5, как для чистого помещения с трехгодичным циклом обслуживания. Световой поток ламп указан в каталогах производителей источников света.

Определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола для чистых и рабочих помещений.

Для инструментального цеха принимаем следующие коэффициенты:

– для потолка - 50%;

– для стен - 30%;

– для пола - 10%.

Определяем расчётные активную и реактивную осветительные нагрузки

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л}, \qquad (14)$$

где $P_{л}$ - мощность одной лампы, Вт.

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi. \qquad (15)$$

Для упрощения расчетов при проектировании освещения используем программу DIALux Light. Расположение светильников изображено на рисунке 1.

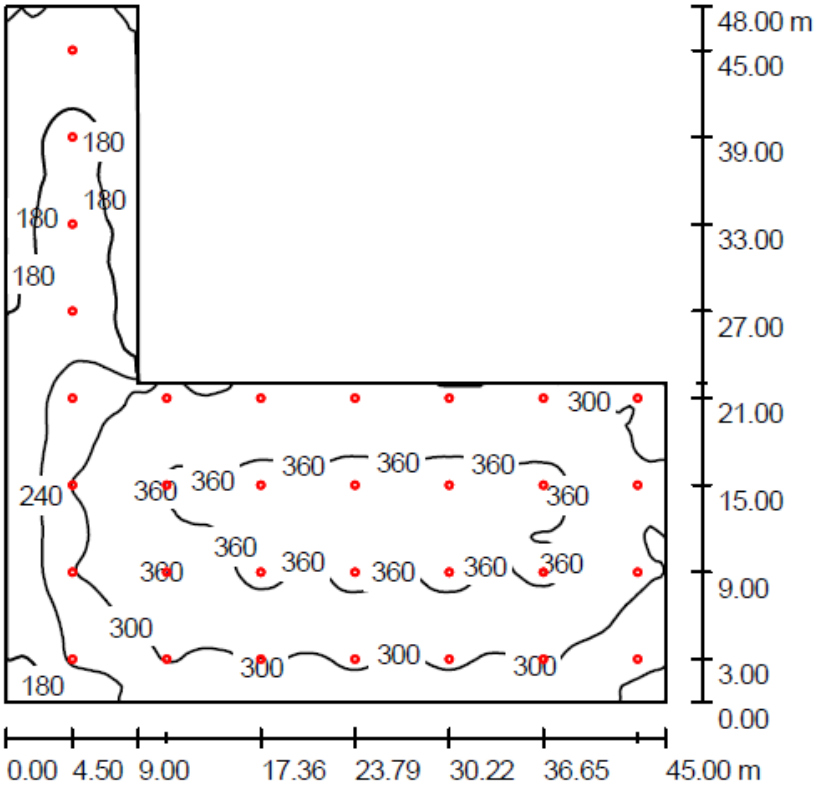

Рисунок 1 – Расположение светильников в инструментальном цехе

Для остальных помещений расчеты выполнены аналогично. Результаты расчетов для каждого из помещений главного корпуса представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Осветительная нагрузка

Помещение	$P_{осв}$, Вт	$Q_{осв}$, вар
Арматурный цех	49200	14760
Инструментальный цех	47600	14280
Вспомогательные помещения	17640	5027,4
Итого по ТП-1	*114440*	*34067*
Вспомогательные помещения	69200	20760
Сварочный цех	65600	19680

продолжение таблицы 3

Цех сборки сидений	47200	14160
Итого по ТП-2	*182000*	*54600*
Участок катанки	57200	17160
Склад готовой продукции	9600	2880
Вспомогательные помещения	7776	2216,2
Итого по ТП-3	*74576*	*22256*
Склад комплектующих	123400	37020
Участок содержания зданий	36400	10920
Вспомогательные помещения	9200	2760
Итого по ТП-4	*70400*	*21120*
Участок сборки «Калина»	54800	16440
Цех оперативного ремонта	67200	20160
Вспомогательные помещения	16020	4565,7
Итого по ТП-5	*138020*	*41166*

2.2.3 Светотехнический расчет освещения безопасности

Освещением безопасности это освещение для продолжения работы в случае аварийного отключения рабочего освещения.

Освещение безопасности должно обеспечивать на рабочих поверхностях в помещениях производства и на территориях предприятий, требующих продолжения работы при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность величиной 5 % от освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк для внутренних помещений и не менее 1 лк – для территории предприятия. При этом наименьшая освещенность внутри зданий больше 30 лк при разрядных лампах и больше 10 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В качестве примера расчета освещения безопасности выберем инструментальный цех. Наименьшая планируемая освещенность рабочих

поверхностей должна составлять не менее 5% от нормируемой для рабочего освещения:

$$E_{ав} = 0,05 \cdot E_{н}; \quad (16)$$

$$E_{ав} = 0,05 \cdot 300 = 15 \text{ лк.}$$

В качестве светильников освещения безопасности выбираем светодиодные светильники L-Industry-120. Преимущества данных ламп заключаются в низком электропотреблении, высоком световом потоке и устойчивости к колебаниям напряжения.

На рисунке 2 изображено расположение светильников аварийного освещения.

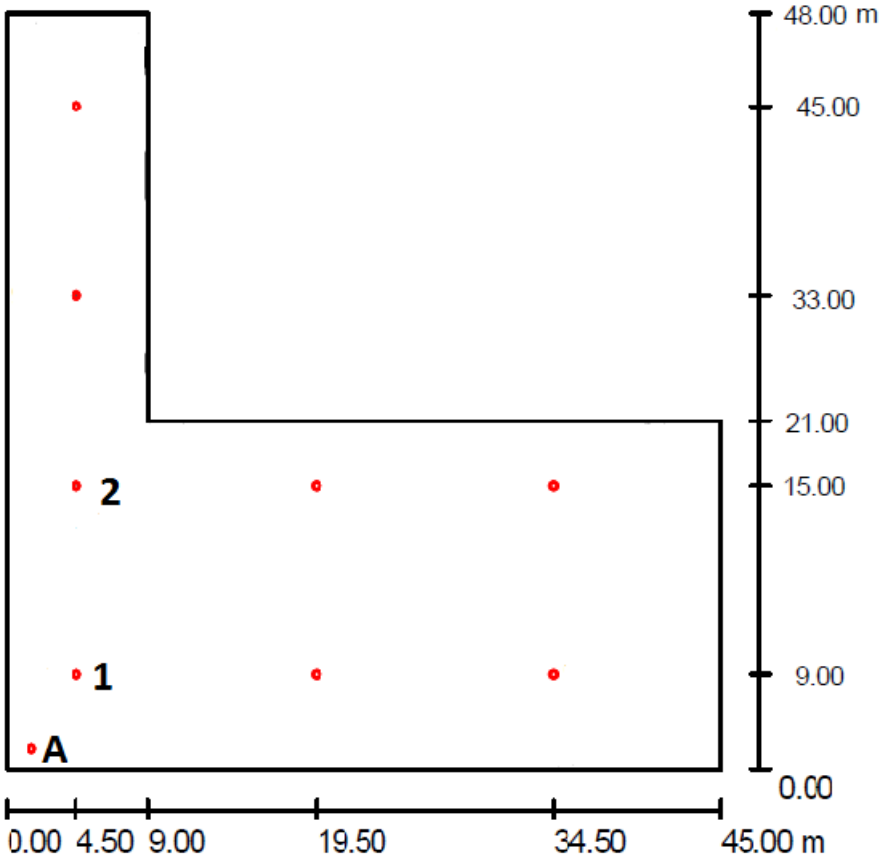

Рисунок 2 – Расположение светильников аварийного освещения

Расчет освещенности в контрольной точке А производится по точечному методу, суть которого сводится к вычислению суммарной освещенности, определяемой значениями сил света всех точечных излучателей, освещающих эту точку.

$$E_A = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \Sigma e}{1000 \cdot к},, \qquad (17)$$

где Ф – световой поток светильника, μ – коэффициент, учитывающий действие удаленных источников света и отраженную составляющую, ∑e – сумма освещенностей в контрольной точке от рассматриваемых источников, к – коэффициент запаса.

Распределение светового потока, полученное в программе DIALux, представлено на рисунке 3.

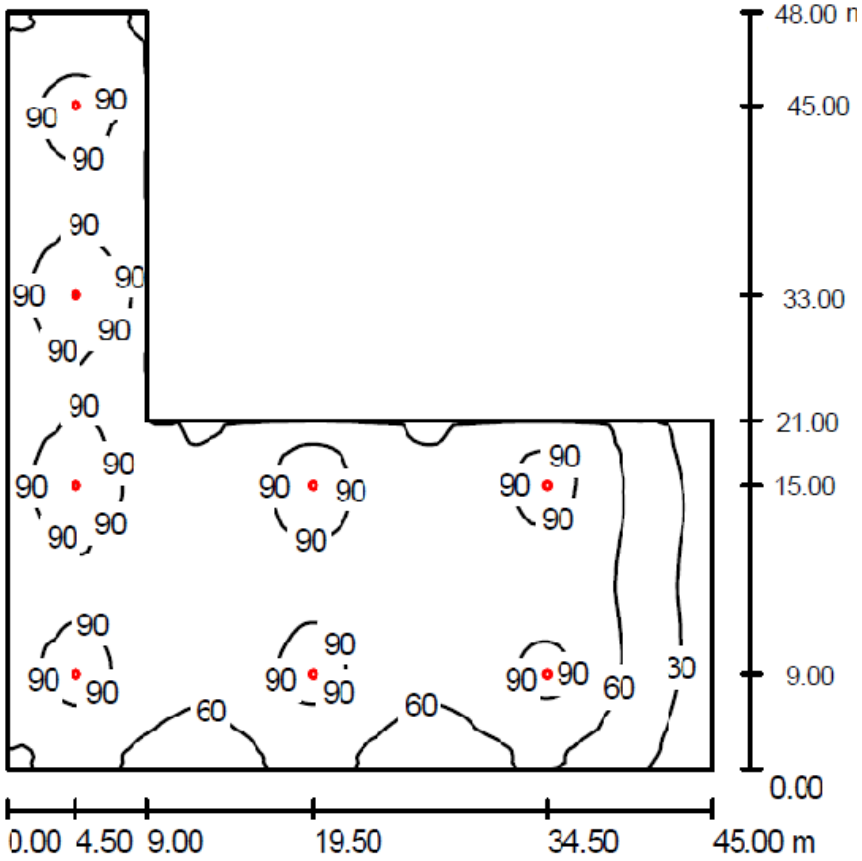

Рисунок 3 – Распределение светового потока

Согласно протоколу расчета DIALux, освещение в точке А равно 60 лк, что превышает минимальное нормируемое значение в 30 лк. Данное расположение светильников удовлетворяет требованиям, установленным для освещения безопасности.

3 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций. Расчет компенсации реактивной мощности

3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

Схемы цеховых трансформаторных подстанций определяются характеристикой электроприемников и схемами межцехового и внутрицехового распределения электроэнергии [3]. Цеховые подстанции, как правило, выполняются комплектными (КТП), их поставляют заводы-изготовители в разобранном виде, готовыми для быстрого монтажа на месте установки. По конструктивному исполнению КТП изготовляются для внутренней и наружной установки, они могут быть закрытыми и открытыми. Основным конструктивным исполнением КТП является модульная шкафная компоновка его основных элементов с передним обслуживанием трансформаторов, шкафов ВН и НН, имеющих металлические или полимерные защитные кожухи.

Как правило, габаритные размеры КТП меньше подстанций сопоставимых мощностей, что позволяет при установке располагать их в центре электрических нагрузок. Такое расположение КТП значительно упрощает и удешевляет распределительные сети и дает возможность выполнить их рациональными в конструктивном отношении.

Цеховые КТП выполняются напряжением 6-10/0,4-0,23 кВ с одним или двумя трансформаторами мощностью до 2500 кВ А включительно. КТП могут подключаться к источнику питания (РУ-6-10 кВ) по двум схемам:

1. блока линия-трансформатор, в этом случае со стороны высокого напряжения используется глухое присоединение трансформатора и питающей линии. Этот вариант подключения используется при радиальной схеме распределительной сети 6-10 кВ;

2. со шкафом ввода со стороны высокого напряжения 6-10 кВ. В шкафу ВН, как правило, устанавливается выключатель нагрузки с предохранителем.

Такая схема применяется в тех случаях, когда КТП питается по магистральной схеме.

При наличии на напряжении 0,4 - 0,23 кВ потребителей электроэнергии, относящихся к I категории по надежности электроснабжения, на секционном автомате устанавливается устройство автоматический ввод резерва (АВР). В нормальном режиме работы секционный автомат отключен.

Возможны различные варианты расположения оборудования в КТП: например, шкаф конденсаторной установки может располаремычками на вторичном напряжении. Пропускная способность этих перемычек выбирается в пределах 15-30 % от мощности однотрансформаторных КТП, а сами перемычки выполняются кабелями или шинами и могут оборудоваться АВР.

В настоящее время все более широкое применение для установки в КТП находят трансформаторы с сухой изоляцией типов ТСГЛ, ТСЗГЛ (с вводами ВН внутри кожуха) и ТСЗГЛФ (с вводами, выведенными на фланец, который размещается на торцевой поверхности кожуха). Для изоляции обмоток применяется геафоль - специальный эпоксидный компаунд с кварцевым наполнителем. Кроме этого обмотки усиляют стеклотканью, что позволяет исключить появление трещин в эпоксидном компаунде при возможной перегрузке силовых трансформаторов. Геафоль не причиняет вредного воздействия окружающей среде, не является источником токсичных газов при возникновении дуговых разрядов. Благодаря такой изоляции обмотки силовых трансформаторов не требуют проведения технического обслуживания. Трансформаторы обеспечивают полную экологическую и пожарную безопасность. Силовые трансформаторы могут работать в электрических сетях, в которых возможны грозовые и коммутационные перенапряжения, имеют низкий уровень издаваемого шума, высокую стойкость к токам КЗ.

Схемы главных цепей шкафов РУ НН зависят от номинальной мощности трансформаторов, схемы сети 0,4 кВ, мощности подключаемого электрооборудования. В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели отечественного производства типа ВА или

импортного - типов: рекорд плюс; М-пакт; компакт; мастерпакт.

На проектируемом объекте преобладают электроприемники II категории, но также имеются электроприемники I категории. Для электроснабжения необходимо питание от двух независимых, взаимнорезервирующих источников питания. К установке принимается двухтрансформаторная подстанция. Каждый из трансформаторов одинаковой мощности должен быть рассчитан на покрытие всех нагрузок I и II категории в аварийном режиме. Трансформаторная подстанция выполняется комплектной, с однорядным расположением оборудования.

Рассмотрим пример выбора номинальной мощности силовых трансформаторов и компенсирующих устройств на примере КТП-4. Состав нагрузки КТП представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Нагрузка трансформаторной подстанции

Тип нагрузки	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$P_р$, кВат	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
Силовая	646	1185	1208	1304	1784
Осветительная	114	34	114	34	119
Итого	707	1216	1322	1388	1903

Мощность одного трансформатора, кВА, при условии полной компенсации реактивной мощности определяется условием

$$S_{n.T} \geq \frac{P_{см}}{N \cdot K_з}, \quad (18)$$

$$S_{n.T} \geq \frac{707}{2 \cdot 0.7}, \quad (19)$$

$S_{n.T} \geq 505$ кВА.

Предварительно выбираем трансформаторы ТМГ – 630/10.

Предварительная проверка по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов осуществляется по соотношению

$$1,4 S_n \geq P_р, \quad (20)$$

$1,4 \cdot 630 \geq 1322;$

$819 \geq 1322.$

Условие по допустимой перегрузке не выполняется, поэтому выбираем следующие по шкале номинальных мощностей трансформаторы ТМГ – 1000/10.

Предварительная проверка по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов осуществляется по соотношению (20)

$1,4 \cdot 1000 \geq 1322;$

$1400 \geq 1322.$

Условие по допустимой перегрузке выполняется.

Для установки выбираются трансформаторы ТМГ – 1000/10 со схемой соединения обмоток треугольник-звезда с глухим заземлением нейтрали.

Действительный коэффициент загрузки трансформаторов при условии полной компенсации реактивной мощности, о.е.,

$$К_{з.д} = \frac{P_р}{N \cdot S_{н.т}}, \quad (21)$$

$$К_{з.д} = \frac{1322}{2 \cdot 1000} = 0,66.$$

3.2 Компенсация реактивной мощности

Для компенсации реактивной мощности в схемах КТП применяются конденсаторные установки, которые соответствуют ГОСТу 27389-87. КУ предназначены для повышения коэффициента мощности в автоматическом и полуавтоматическом режимах работы при подключении к питающей сети на трансформаторной подстанции или непосредственно у потребителя [3]. Применяемый регулятор реактивной мощности, управляемый микропроцессором, обеспечивает соблюдение требуемого коэффициента мощности с большой точностью и в широком диапазоне компенсируемой мощности.

При необходимости, установка может быть непосредственно встроена в РУ НН КТП.

Управление установкой осуществляется регулятором коэффициента мощности. Подключение установки к сети производится сверху или снизу.

Регулятор коэффициента мощности модели Профи - это полностью автоматический прибор, позволяющий оптимизировать управление компенсацией реактивной мощности. Им можно управлять с помощью программы, а на жидкокристаллическом дисплее могут быть показаны гармоники и другие параметры сети.

При раздельной работе трансформаторов в нормальном режиме конденсаторные установки устанавливаются на каждой секции шин 0,4 кВ КТП. Распределение нагрузки по секциям представлено в таблице 5.

Требуемая мощность КУ зависит от двух условий:

– пропускной способности, т.е. номинальной мощности силовых трансформаторов КТП;

– обеспечения заданного cosf на шинах КТП для поддержания баланса реактивной мощности в целом по промышленному предприятию.

Таблица 5 – Распределение нагрузок по секциям

Тип нагрузки	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВА
1 секция					
М 2/1	225	467	422	514	664
2ПР	84	100	157	110	192
13ПР	40	54	75	59	95
Итого по 1 секции	349	620	653	682	951
2 секция					
М 2/7	297	565	555	622	834
Освещение	114	34	114	34	119
Итого по 2 секции	411	599	669	656	952

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин:

- по первому условию

$$Q_{ку.тр1} = Q_р - Q_1, \tag{22}$$

где Q_1 – реактивная мощность, которую можно передать через трансформатор с учетом требуемого коэффициента загрузки:

$$Q_1 = \sqrt{(K_з \cdot S_{п.т})^2 - P_р^{\,2}}. \tag{23}$$

- по второму условию

$$Q_{ку.тр2} = Q_р - Q_э, \tag{24}$$

где $Q_э$ – часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной трансформаторной подстанцией

$$Q_э = tg\varphi_э \cdot P_р, \tag{25}$$

где $tg\varphi_э$ – коэффициент мощности на шинах КТП, о.е., при котором потребление реактивной мощности не выходят за пределы экономических значений.

В компенсации реактивной мощности участвуют синхронные двигатели 10 кВ в компрессорной и насосной станции предприятия, поэтому для выполнения баланса реактивной мощности по заводу значение коэффициента мощности на шинах данной КТП должно быть $tg\varphi_э = 0,3$.

Из двух значений требуемой мощности выбирается большее.

Для первой секции шин:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1000)^2 - 653^2} = 256 \text{ квар},$$

$$Q_{ку.тр1} = 682 - 256 = 426 \text{ квар},$$

$$Q_э = 0,3 \cdot 653 = 196 \text{ квар},$$

$$Q_{ку.тр1} = 682 - 196 = 486 \text{ квар}.$$

Для компенсации реактивной мощности 1 секции шин выбираем установку АУКРМ-0,4-500-50-10.

Для второй секции шин:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1000)^2 - 669^2} = 206 \text{ квар},$$

$$Q_{ку.тр1} = 656 - 206 = 450 \text{ квар},$$

$$Q_э = 0,3 \cdot 669 = 201 \text{ квар},$$

$$Q_{ку.тр1} = 599 - 201 = 398 \text{ квар}.$$

Для компенсации реактивной мощности 2 секции шин выбираем установку АУКРМ-0,4-450-50-9.

Для остальных КТП расчеты выполняются аналогично. Результаты расчетов заносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Мощность трансформаторов и компенсирующих устройств

Номер КТП	Мощность трансформаторов, $S_{n.T}$	Мощность КРМ	
		1 секция	2 секция
КТП – 1	1600 кВА	500	450
КТП – 2	1600 кВА	750	750
КТП – 3	1600 кВА	700	750
КТП – 5	2500 кВА	1000	750

4 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Внутрицеховые сети по своему предназначению подразделяются на питающие сети и распределительные. Питающие сети – это сети, которые отходят от источника питания (чаще всего источником питания является цеховая ТП) к ВРУ или распределительному пункту [4]. В настоящее время широко используют комплектные трансформаторные подстанции (КТП), которые обеспечивают распределение электроэнергии к распределительным пунктам и шинопроводам внутри цеха или пунктам распределительным 0,4 кВ (ПР), находящимся в близлежащих цехах. Распределительные сети – это сети от РУ КТП или ПР до электроприемников.

Внутрицеховые электрические сети до 1 кВ могут иметь радиальную, магистральную или смешанную схему.

В радиальных схемах, выполняемых кабелями, электрические линии отходят от КТП к отдельным мощным электроприемникам или к ПР, питающим группу ЭП.

Радиальные схемы применяются для электроснабжения групп со-средоточенных нагрузок, неравномерно распределенных по площади цеха и расположенных в разных направлениях от центра питания, для электроснабжения электроприемников в пожароопасных цехах и взрывоопасных цехах и со средой агрессивно воздействующей на электроаппараты и изоляцию проводников.

Радиальные схемы обеспечивают более высокую надежность электроснабжения по сравнению с магистральными схемами и удобство эксплуатации для персонала. При оперативном или аварийном отключении отходящей линии отключается только электроприемник, запитанный по этой линии. Другие электроприемники внутри цеха продолжают нормально работать. Радиальные схемы позволяют построить систему технического учета электроэнергии для одиночных электроприемников или агрегатов.

Недостатком радиальных схем является их высокая стоимость, связанная с увеличением протяженности линий, повышенным расходом проводников и

затратами на монтаж. Увеличивается общее количество коммутационно-защитных аппаратов.

Магистральные схемы применяются для электроснабжения электроприемников одного технологического агрегата или для большого количества электроприемников сравнительно небольшой мощности, не связанных между собой единым технологическим процессом, но размещенным равномерно на одной территории.

При электроснабжении электроприемников по магистральной схеме применяются питающие линии в виде магистральных шинопроводов и распределительная линии в виде распределительных шинопроводов.

Магистральные схемы позволяют снизить трудоемкость и увеличить скорость монтажа. Магистральные сети, выполненные с использованием шинопроводов, являются наиболее гибкими и позволяют перемещать электроприемники при обновлении технологического процесса. Они позволяют в будущем развивать сеть или сокращать количество присоединений.

Недостатком магистральных сетей является их меньшая надежность по сравнению с радиальными схемами, из-за того, что при повреждении магистрали от нее отключаются все подключенные электроприемники.

Практически в цехах очень редко встречаются радиальные или только магистральные схемы в чистом виде. Наибольшее распространение получили смешанные схемы, которые сочетают в себе элементы радиальных и магистральных схем.

От распределительного устройства низкого напряжения (РУНН) подстанции отдельными линиями питаются крупные ЭП или ПР, питающие группы отдельно расположенных ЭП, а от ШР питаются равномерно распределенные по площади цеха электроприемники или ЭП одного технологического агрегата.

5 Выбор оборудования внутрицеховой сети

5.1 Выбор комплектной трансформаторной подстанции

Комплектные подстанции промышленно изготовляются на заводах и транспортируются к месту установки крупными узлами и блоками без демонтажа оборудования. На месте монтажа производят установку узлов и блоков и присоединение к сетям электроснабжения.

На проектируемом объекте выбираем промышленную КТП завода «Самарский электрощит» марки КТП-СЭЩ-П.

По известной мощности трансформаторов, количеству трансформаторов а также климатическим условиям выбираются следующие модели КТП:

КТП – 1: 2КТП – СЭЩ–П –1600/10/0,4 – 05 – У3;

КТП – 2: 2КТП – СЭЩ–П –1600/10/0,4 – 05 – У3;

КТП – 3: 2КТП – СЭЩ–П –1600/10/0,4 – 05 – У3;

КТП – 4: 2КТП – СЭЩ–П –1000/10/0,4 – 05 – У3;

КТП – 5: 2КТП – СЭЩ–П –2500/10/0,4 – 05 – У3.

5.2 Выбор шинопроводов и кабелей

Для подведения питания к внутрицеховым подстанциям применяется кабель марки АПвВ производства завода ООО «Камский кабель». Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена лишены большинства недостатков кабелей с бумажнопропитанной изоляцией, поэтому их применение позволяет повысить надежность электропитания, оптимизировать схему сети, значительно снизить расходы на реконструкцию и содержание кабельных линий.

Сечение проводов, кабелей и шин цеховых сетей напряжением до 1 кВ выбираются сравнением расчетного тока в линии с длительно допустимым током принятых марок проводов и кабелей с учетом условий их прокладки и температуры окружающей среды. Должно выполняться условие:

$$I_р \le I_{доп},$$ (26)

где $I_р$ – расчетный ток линии;

$I_{доп}$ – допустимый длительный ток на кабели данного сечения;

$$I_{доп} = I_{доп}^{табл} \cdot K_п,$$ (27)

где $K_п$ – поправочный коэффициент на условия прокладки.

Расчетный ток для отдельной группы ЭП и рассчитывается по формуле

$$I_Р = \frac{S_Р}{\sqrt{3} \cdot U_Н}.$$ (28)

Для создания распределительной сети выбираются шинопроводы серии E-LINEKB производства турецкой фирмы EAE Elektrik.

Для питания электрооборудования цеха от распределительных пунктов и шинопроводов выбираем кабели марки ВВГ. Этот выбор обусловлен отсутствием специальных условий для кабеля и простотой замены кабеля.

Для каждого типа электроприемника, исходя из данных таблицы 1 данной работы, находим номинальный рабочий ток

$$I_Н = \frac{P_Н}{\sqrt{3} \cdot U_Н \cdot \cos\varphi}.$$ (29)

Результаты расчетов токов, выбор кабелей и шинопроводов распределительных и питающих сетей ТП-1 представлены в таблице 7 и в таблице 8. Для остальных ТП расчеты производятся аналогично.

Таблица 7 – Выбор сечения проводов распределительной сети

Название станка	$P_н$, кВт	tg φ	$Q_н$, квар	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	Марка кабеля
РШ 2/7-4						
Кран-балка	2,49	1,73	4,31	7,56	26	ВВГ 4х2,5
Токарно-винторезный станок повышенной точности	11,87	1,73	20,56	36,06	46	ВВГ 4х6
Точильно-шлифовальный станок	9,1	1,73	15,76	27,65	34	ВВГ 4х4
Токарно-винторезный станок с гидрокопировальным устройством	13	1,52	19,74	35,91	46	ВВГ 4х6
Токарный станок	11,8	1,33	15,73	29,87	34	ВВГ 4х4
Пневмоагрегат	2,2	1,52	3,34	6,08	19	ВВГ 4х1,5
Алмазно-заточный станок	2,2	1,33	2,93	5,57	19	ВВГ 4х1,5
РШ 2/7-5						
Токарный станок	20	1,33	26,67	50,64	61	ВВГ 4х10
Специальный вертикально-фрезерный консольный станок	18	1,17	21,04	42,07	46	ВВГ 4х6
Вертикально-фрезерный консольный станок	14,2	1,33	18,93	35,95	46	ВВГ 4х6
Кругло-шлифовальный станок	18	1,17	21,04	42,07	46	ВВГ 4х6

продолжение таблицы 7

Название станка	$P_н$, кВт	tg φ	$Q_н$, квар	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	Марка кабеля
Внутри-шлифовальный станок	9	1,17	10,52	21,03	26	ВВГ 4х2,5
Пылеулавливающий агрегат	1,5	1,52	2,28	4,14	19	ВВГ 4х1,5
РШ 2/7-6						
Универсальный плоскошлифовальный станок	15	1,17	17,54	35,06	46	ВВГ 4х6
Плоскошлифовальный станок	7,8	1,17	9,12	18,23	26	ВВГ 4х2,5
Плоскошлифовальный станок	18	1,17	21,04	42,07	46	ВВГ 4х6
Пневмоагрегат	1,5	1,33	2,00	3,80	19	ВВГ 4х1,5
Установка для размагничивания	36	1,52	54,67	99,43	107	ВВГ 4х25
Универсальный заточный станок	3,03	1,33	4,04	7,67	19	ВВГ 4х1,5
Заточный станок	0,75	1,33	1,00	1,90	19	ВВГ 4х1,5
РШ 2/7-7						
Универсальный фрезерный станок с ЧПУ	5	1,33	6,67	12,66	19	ВВГ 4х1,5
Ножовочный автомат	2,32	1,52	3,52	6,41	19	ВВГ 4х1,5
Отрезной круглопильный станок	2,2	1,33	2,93	5,57	19	ВВГ 4х1,5
РП 2/7-1						

продолжение таблицы 7

Название станка	$P_н$, кВт	tg φ	$Q_н$, квар	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	Марка кабеля
Координатно-расточные станки	10,5	1,52	15,94	29,00	34	ВВГ 4х4
Координатно-расточный станок пов. точности	2,81	1,52	4,27	7,76	19	ВВГ 4х1,5
Кран-балка 2т 40-3,94	2,49	1,73	4,31	7,56	19	ВВГ 4х1,5
Профильно-шлифовальный станок	2,36	1,33	3,15	5,97	19	ВВГ 4х1,5
Наждак	0,25	1,73	0,43	0,76	19	ВВГ 4х1,5
Координатно-шлифовальный станок	5,5	1,17	6,43	12,85	19	ВВГ 4х1,5
Шлифовальный станок	5,5	1,33	7,33	13,92	19	ВВГ 4х1,5
РП 2/7-2						
Пресс гидравлический	4	1,17	4,68	9,35	19	ВВГ 4х1,5
Пресс механический	6,39	1,169	7,47	14,93	19	ВВГ 4х1,5
Станок настольный сверлильный	0,95	1,985	1,89	3,21	19	ВВГ 4х1,5
Станок вертикально-сверлильный	4,12	1,732	7,14	12,52	19	ВВГ 4х1,5
Полуавтомат сварочный	24,5	1,333	32,67	62,3	81	ВВГ 4х16
Станок для снятия фасок	4,5	2,291	10,31	17,09	19	ВВГ 4х1,5
Печь электрическая	2	0,484	0,97	3,38	19	ВВГ 4х1,5

Таблица 8 – Выбор сечений проводников питающей сети

Наименование линии	$I_р$, А	$I_{доп}$, А	Марка проводника
ГПП – ТП	56,16	148	АПвВ 3х35
Шинопровод М 1 / 7	1266	1600	КВА1651
Шинопровод М 1 / 1	995	1000	КВА1051
Шинопровод М 1 / 3	773	800	КВА0851
ОРП – 1	72,3	359	АПвВГ 5х35
ТП – 2ПР	291	306	АПвВГ 4х70
ТП – 13ПР	144	151	АПвВГ 4х50
2ПР	291,68	307	ПР8501-140
13ПР	144,39	151	ПР8501-140

5.3 Проверка по допустимой потере напряжения в питающей сети

Выбранные сечения проводов, кабелей и шинопроводов проверяются по допустимой потере напряжения во всех случаях. Делается это с целью обеспечения нормального напряжения на зажимах электроприемников в пределах допустимых отклонений.

Существуют установленные в ГОСТ 32144-2013 отклонения от номинального напряжения $\pm 10\%$, которые не должны превышаться при работе электроприемников. Эти нормы действуют на зажимах электроприемников.

Рассмотрим проверку отклонения напряжения на примере наиболее удаленного электроприемника от КТП-2 – универсального фрезерного станка с ЧПУ, который питается от РШ-2/7-7. Напряжение на зажимах наиболее удаленного от КТП приемника:

$$U_{дв} = U_x - \Delta U_т - \Delta U_c, \quad (30)$$

где U_x – напряжение холостого хода на зажимах вторичной обмотки трансформатора КТП, равное 105%; $\Delta U_т$ – потеря напряжения в трансформаторе КТП, %, ΔU_c – потеря напряжения в сети НН, %.

Потеря напряжения в трансформаторе определяется по формуле:

$$\Delta U_т = К_з \cdot (U_a \cdot \cos\varphi + U_p \cdot \sin\varphi), \quad (31)$$

где U_a – активная составляющая напряжения к.з.,

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot 100, \quad (32)$$

где ΔP_k - потери короткого замыкания;

$$U_a = \frac{2,65}{160} \cdot 100 = 1,66\%.$$

U_p – реактивная составляющая напряжения к.з.,

$$U_p = \sqrt{U_к^{\,2} - U_a^{\,2}} \quad (33)$$

где $U_к$ – напряжение к.з.

$$U_р = \sqrt{4,5^2 - 1,66^2} = 4,18\%.$$

$$\Delta U_т = 0,66 \cdot (1,66 \cdot 0,7 + 4,18 \cdot 0,71) = 2,47\%.$$

Потеря напряжения в процентах для линии переменного трехфазного тока определяется по формуле:

$$\Delta U_с = \frac{\sqrt{3} I_р \cdot L}{U_л} (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) \cdot 100\%, \quad (34)$$

где L – длина питающего проводника;

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление питающего проводника.

$$\Delta U_с = \frac{\sqrt{3} \cdot 15,4}{0,38} (0,00125 \cdot 0,84 + 0,1 \cdot 0,29) \cdot 100\% = 2,55\%.$$

Потеря напряжения в сети

$$U_{дв} = 105 - 2,85 - 2,55 = 99,6\%.$$

Напряжение на зажимах наиболее удаленного станка находится в допустимых пределах.

5.4 Выбор защитных аппаратов

К защитным аппаратам относятся автоматические выключатели и плавкие предохранители.

При защите линий автоматами выбор из производится в соответствии с следующими требованиями [3].

Номинальный ток расцепителя автомата выбирается не меньшим расчетного тока линии

$I_{н.а} \geq I_{р.max}$.

Токи срабатывания автоматов при КЗ и перегрузках следует выбирать таким образом, чтобы электрическая цепь не размыкалась в нормальном режиме работы при кратковременных перегрузках. Для расцепителей автоматических вылючателей всех типов уставку тока мгновенного срабатывания принимают из диапазона

$I_0 = (1{,}25 - 1{,}35)I_п$.

В сетях, защищаемых только от токов КЗ, токи срабатывания защит должны удовлетворять требованиям чувствительности: минимальный ток КЗ в наиболее удаленной точке защищаемой линии должен быть больше номинального тока вставки предохранителя или номинального тока расцепителя не менее чем в 3 раза. Для автоматов, имеющих расцепители мгновенного срабатывания, $I_{кз\ min} \geq 1{,}44I_0$ (для автоматов с номинальным током до 100 А) и $I_{кз\ min} \geq 1{,}25I_0$ - для автоматов с номинальным током свыше 100 А.

Для автоматических выключателей питающих линий выбираем номинальный ток расцепителя по величине расчётного тока

$$I_Р = \frac{S_Р}{\sqrt{3} \cdot U_Н}. \quad (35)$$

Автоматические выключатели в распределительных пунктах и на шинопроводах выбираются по номинальному току электроприемника:

$$I_Н = \frac{P_Н}{\sqrt{3} \cdot U_Н \cdot \cos\varphi}. \quad (36)$$

Выбор автоматических выключателей распределительной сети ТП-1 представлен в таблице 9. Выбор автоматических выключателей питающей сети представлен в таблице 10 ТП-1. Для остальных ТП выбор осуществляется аналогично.

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей в распределительной сети

Название станка	$I_р$, А	Тип выключателя	$I_н$ выключателя, А
Кран-балка 2т 40-3,94	7,56	ВА-СЭЩ-TS100	12
Токарно-винторезный станок повышенной точности	36,06	ВА-СЭЩ-TS100	50
Точильно-шлифовальный станок	27,65	ВА-СЭЩ-TS100	32
Токарно-винторезный станок с гидрокопировальным устройством	35,91	ВА-СЭЩ-TS100	50
Токарный станок	29,87	ВА-СЭЩ-TS100	32
Пневмоагрегат	6,08	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Алмазно-заточный станок	5,57	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Токарный станок	50,64	ВА-СЭЩ-TS100	63
Специальный вертикально-фрезерный консольный станок	42,07	ВА-СЭЩ-TS100	50
Вертикально-фрезерный консольный станок	35,95	ВА-СЭЩ-TS100	50
Кругло-шлифовальный станок	42,07	ВА-СЭЩ-TS100	50
Внутри-шлифовальный станок	21,03	ВА-СЭЩ-TS100	32

продолжение таблицы 9

Название станка	$I_р$, А	Тип выключателя	$I_н$ выключателя, А
Пылеулавливающий агрегат	4,14	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Универсальный плоскошлифовальный станок	35,06	ВА-СЭЩ-TS100	50
Плоскошлифовальный станок	18,23	ВА-СЭЩ-TS100	20
Плоскошлифовальный станок	42,07	ВА-СЭЩ-TS100	50
Пневмоагрегат	3,80	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Установка для размагничивания	99,43	ВА-СЭЩ-TS160	100
Универсальный заточный станок	7,67	ВА-СЭЩ-TS100	12
Заточный станок	1,90	ВА-СЭЩ-TS100	3,2
Универсальный фрезерный станок с ЧПУ	12,66	ВА-СЭЩ-TS100	20
Ножовочный автомат	6,41	ВА-СЭЩ-TS100	12
Отрезной круглопильный станок	5,57	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Координатно-расточные станки	29,00	ВА-СЭЩ-TS100	32
Координатно-расточный станок пов. точности	7,76	ВА-СЭЩ-TS100	12
Кран-балка 2т 40-3,94	7,56	ВА-СЭЩ-TS100	12

продолжение таблицы 9

Название станка	$I_р$, А	Тип выключателя	$I_н$ выключателя, А
Профильно-шлифовальный станок	5,97	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Наждак	0,76	ВА-СЭЩ-TS100	3,2
Координатно-шлифовальный станок	12,85	ВА-СЭЩ-TS100	20
Шлифовальный станок	13,92	ВА-СЭЩ-TS100	20
Пресс гидравлический	9,35	ВА-СЭЩ-TS100	12
Пресс механический	14,93	ВА-СЭЩ-TS100	20
Станок настольный сверлильный	3,21	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Станок вертикально-сверлильный	12,52	ВА-СЭЩ-TS100	20
Полуавтомат сварочный	62,3	ВА-СЭЩ-TS100	63
Станок для снятия фасок	17,09	ВА-СЭЩ-TS100	20
Печь электрическая	3,38	ВА-СЭЩ-TS100	6,3
Вентилятор	2,09	ВА-СЭЩ-TS100	3,2
Копировально-фрезерный станок	3,27	ВА-СЭЩ-TS100	6,3

Таблица 10 – Выбор автоматических выключателей в питающей сети

Наименование линии	$I_р$, А	Тип выключателя	$I_н$ выключателя, А	$I_н$ расцепителя, А
Вводные выключатели на ТП	1730	ВА-СЭЩ АН-25D	2500	2000
М 1 / 7	1266	ВА-СЭЩ АН-16D	1600	1300
М 1 / 1	995	ВА-СЭЩ АН-10D	1000	1000
М 1 / 3	773	ВА-СЭЩ АН-10D	1000	800
2ПР	291	ВА-СЭЩ АН-10D	1000	300
1ЗПР	144	ВА-СЭЩ АН-10D	1000	150
ОРП	353	ВА-СЭЩ АН-06D	630	400
САВ	1210	ВА-СЭЩ АН-16D	1600	1600

6 Расчет токов короткого замыкания

6.1 Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением выше 1 кВ

В системах электроснабжения промышленных предприятий и непромышленных объектов могут появляться короткие замыкания (КЗ), которые вызывают резкое и значительное увеличение токов. Все основное электрооборудовние системы внутреннего электроснабжения предприятия или объекта должно быть выбрано и проверено с учетом воздействия этих токов [3].

Расчет проводится в относительных единицах (о.е.) по формулам приближенного приведения. Произвольно задается базисная мощность $S_б$(МВА) и базисное напряжение $U_б$(кВ). Для данного расчета выбираем напряжение ступени $U_н$=10,5 кВ и $S_б = 100$ МВА. Мощность короткого замыкания зависит от системы и равна $S_к$=120 МВА.

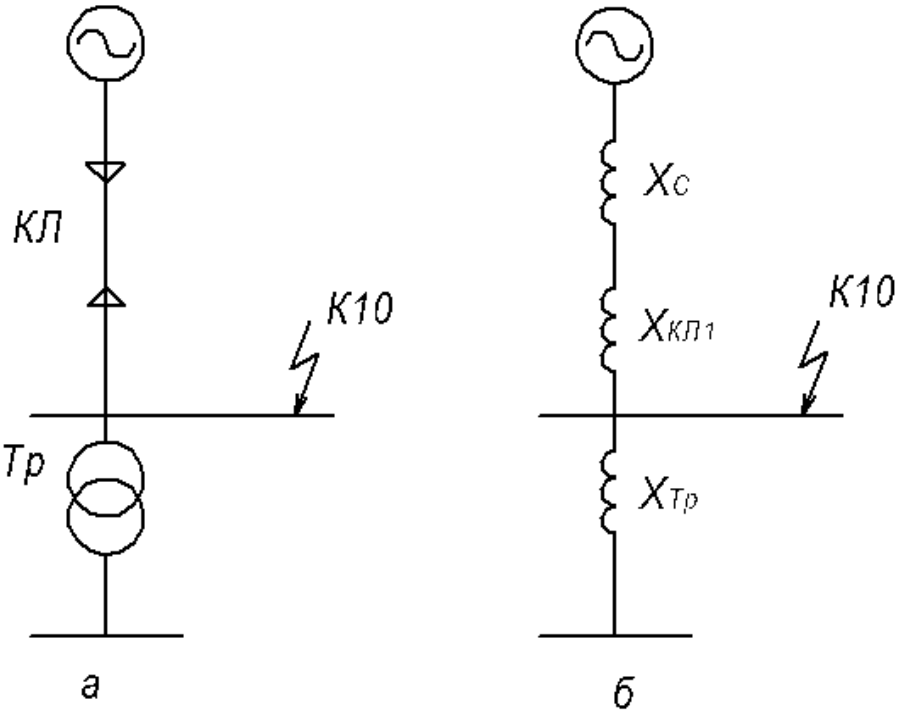

Рисунок 4 – Расчетная электрическая схема (а) и схема замещения (б)

Порядок расчета показан на примере ТП-5.

Расчет параметров схемы замещения :

$$*X_{с(б)} = \frac{S_б}{S_к} = \frac{100}{120} = 0,83 \text{ о.е.;} \quad (37)$$

$$*X_{л(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_н^2} = 0,214 \cdot 0,339 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,066 \text{ о.е.;} \quad (38)$$

$$X_{Σк10} = X_с + X_{кл} = 0,5 + 0,066 = 0,566 \text{ о.е.;} \quad (39)$$

Далее находим трехфазный ток короткого замыкания:

$$I_{к10}^{(3)} = \frac{1}{X_{Σк10}} = \frac{1}{0,556} = 1,79 \text{ о.е.;} \quad (40)$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_н} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ о.е.;} \quad (41)$$

$$I_{к10,кА}^{(3)} = I_{к10}^{(3)} \cdot I_б = 1,79 \cdot 5,5 = 9,845 \text{ кА.} \quad (42)$$

Зная $I_{к10}^{(3)}$ находим ударный ток:

$$i_{уд.к10} = К_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I^{(3)}_{к10} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,79 = 4,01 \text{ о.е.;} \quad (43)$$

$$i_{уд.к10,кА} = i_{уд.к10} \cdot I_б = 3,54 \cdot 5,5 = 19,49 \text{ кА.} \quad (44)$$

Для остальных подстанций расчеты выполняются аналогично.

6.2 Расчет токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ

Расчёты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТ 28249 – 93 на расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Токи коротких замыканий рассчитываются в четырех точках согласно расчётной электрической схеме и схеме замещения, изображённых на рисунках 5 и 6 соответственно данной ВКР:

К1 – на системе сборных шин 0,4кВ трансформаторной подстанции;

К2 – на контактах магистрального шинопровода;

К3 – на контактах распределительного шинопровода;

К4 – для самого мощного и самого близкого к ТП электроприёмника.

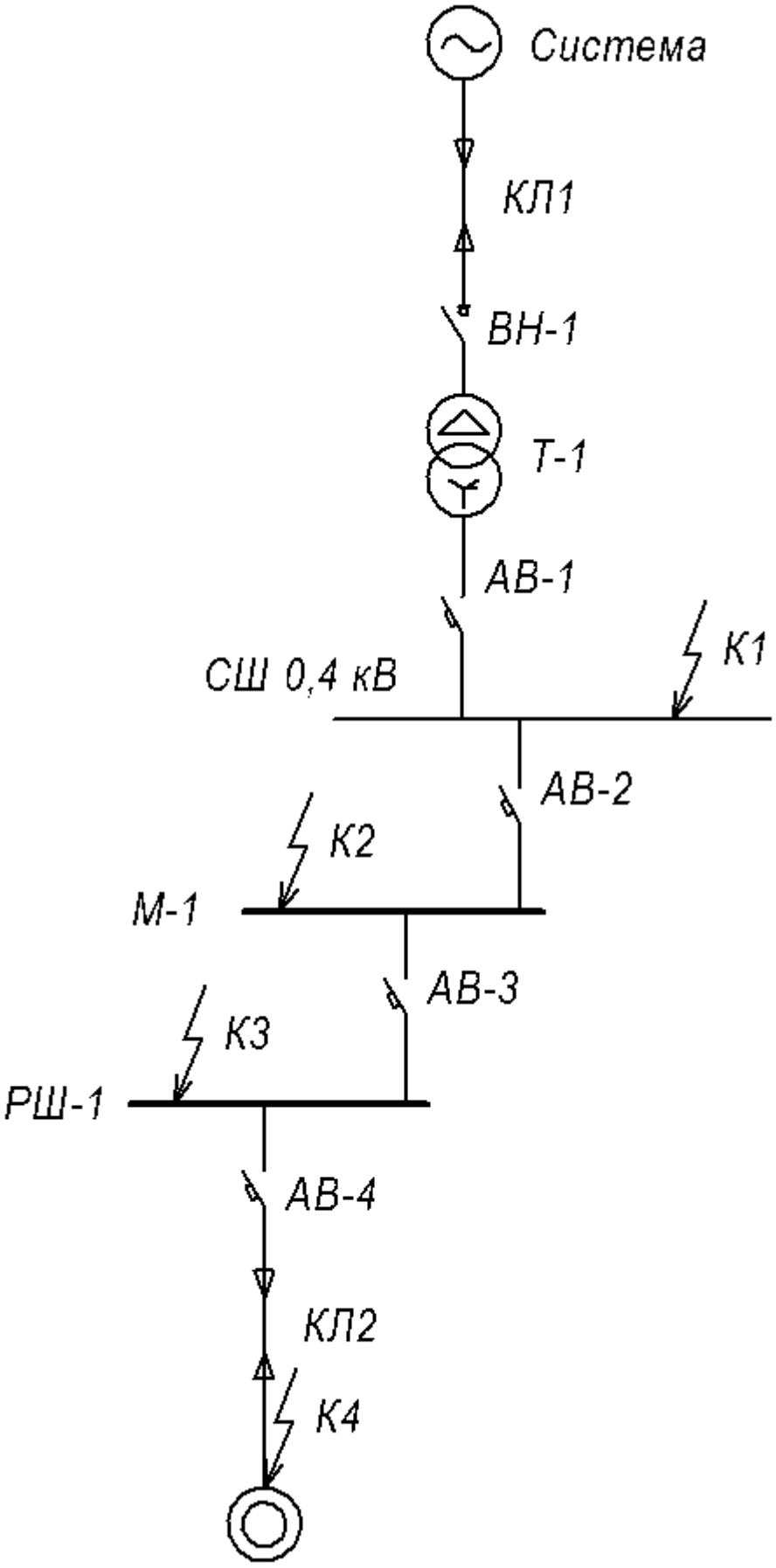

Рисунок 5 –
Расчетная электрическая схема

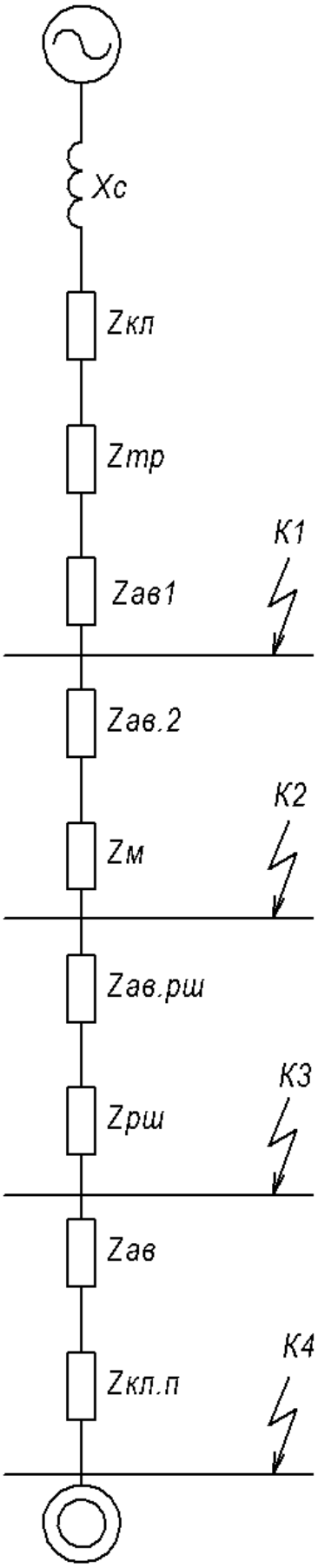

Рисунок 6 –
Схема замещения

Расчеты токов к.з. в трехфазных сетях переменного тока напряжением до 1кВ выполняются в именованных единицах (мОм), в отличие от расчетов в электроустановках выше 1 кВ.

6.2.1 Параметры расчётной схемы.

Кабельная линия КЛ1:

$l = 339$ м;

$R_{УД} = 0,035$ мОм/м;

$X_{УД} = 0,024$ мОм/м;

$$R_{КЛ1} = R_{уд} \cdot l = 0,035 \cdot 339 = 11,87 \text{ мОм;} \quad (45)$$

$$X_{КЛ1} = X_{уд} \cdot l = 0,024 \cdot 339 = 8,136 \text{ мОм;} \quad (46)$$

Трансформатор Т1:

ТМГ – 2500/10; схема соединения обмоток Δ / Y_0;

$S_н = 2500$ кВА;

$U_{Н\,ВН} = 10,5$ кВ; $U_{Н\,НН} = 0,4$ кВ;

$U_К = 6$ %; $P_{кз} = 24$ кВт.

$$R_Т = \frac{P_{кз} \cdot U^2_{н.нн}}{S^2_н} 10^6 = \frac{24 \cdot 0,4^2}{2500^2} 10^6 = 0,614 \text{ мОм;} \quad (47)$$

$$Z_Т = \frac{U_к \cdot U^2_{н.нн}}{S_н} 10^4 = \frac{6 \cdot 0,4^2}{2500} 10^6 = 3,84 \text{ мОм;} \quad (48)$$

$$X_Т = \sqrt{Z^2_Т - R^2_Т} = 3,77 \text{ мОм.} \quad (49)$$

Автоматический выключатель АВ1 вводной :

ВА-СЭЩ AS-40-6, $I_Н = 4000$ А;

$R_{АВ1} = 0,1$ мОм;

$X_{АВ1} = 0,05$ мОм.

Автоматический выключатель АВ2:

ВА-СЭЩ AS-06-40, $I_Н = 1600$ А;

$R_{АВ2} = 0,14$ мОм;

$X_{АВ2} = 0,08$ мОм.

Магистральный шинопровод М1:

КВА1651 на номинальный ток 1600 А;

$l = 36,8$ м;

$R_{УД} = 0,03$ мОм/м;

$X_{УД} = 0,014$ мОм/м;

$R_{М1} = 36,8 \cdot 0,03 = 1,1$ мОм;

$X_{М1} = 36,8 \cdot 0,014 = 0,515$ мОм.

Автоматический выключатель АВ3:

ВА-СЭЩ-TS630, $I_{Н} = 630$ А;

$R_{АВ3} = 0,41$ мОм;

$X_{АВ3} = 0,13$ мОм.

Шинопровод РШ1:

КОА 0654 на номинальный ток 600 А

$l = 9,5$ м;

$R_{УД} = 0,1$ мОм/м;

$X_{УД} = 0,1$ мОм/м;

$R_{Ш1} = 9,5 \cdot 0,1 = 0,95$ мОм;

$X_{Ш1} = 9,5 \cdot 0,1 = 0,95$ мОм.

Автоматический выключатель АВ4:

ВА-СЭЩ-TS100, $I_{Н}$=63 А;

$R_{АВ3} = 3,5$ мОм;

$X_{АВ3} = 2$ мОм.

Кабельная линия КЛ2:

кабель ВВГ – 4х10

$l = 2,8$ м;

$R_{УД} = 2,4$ мОм/м;

$X_{УД} = 0,084$ мОм/м;

$R_{КЛ2} = 2,8 \cdot 2,4 = 6,72$ мОм;

$X_{КЛ2} = 2,8 \cdot 0,084 = 0,235$ мОм.

Приведённые выше параметры требуются для расчёта токов КЗ в точках К1, К2, К3 и К4.

Определяем индуктивное сопротивление системы по формуле

$$Xc = \frac{U_Б}{S_{кз.сис}} \times 1000 = \frac{0,4^2}{120} \times 1000 = 1,33 \text{ мОм.} \quad (50)$$

Расчет токов КЗ в точке К1

Ток металлического трехфазного к.з. $I_{КМ}^{(3)}$ в т К1 определяется по формуле

$$I_{КМ}^{(3)} = \frac{Uнн}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{Uнн}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}{}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (51)$$

По схеме замещения суммарные сопротивления R_{Σ} и X_{Σ} определяются арифметическим суммированием до точки к.з.

$$R_{\Sigma К1} = R_{КЛ1} + R_Т + R_{АВ1} = 11,87 + 0,717 + 0,1 = 12,69 \text{ мОм;} \quad (52)$$

$$X_{\Sigma К1} = X_{КЛ1} + X_Т + X_{АВ1} = 8,136 + 3,84 + 0,05 = 12 \text{ мОм.} \quad (53)$$

Полное суммарное сопротивление до точки К1

$$Z_{\Sigma К1} = \sqrt{R_{\Sigma К1}^2 + X_{\Sigma К1}^2} = \sqrt{12,69^2 + 12^2} = 17,47 \text{ мОм.} \quad (54)$$

Ток трехфазного металлического к.з.

$$I_{К1}^{(3)} = \frac{U_{Н НН}}{\sqrt{3} \cdot Z_{К1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,47} = 13,23 \text{ кА.} \quad (55)$$

Ударный ток К1 определяется по формуле

$$i_{уд} = к_у \cdot \sqrt{2} \cdot I_{К1}^{(3)}, \quad (56)$$

где $к_{уд}$ – ударный коэффициент, который определяется по графику

$\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma}=\frac{12,69}{12}=1,06$ - этому отношению соответствует $К_у$=1,1

Определяем ударный ток:

$i_{уд}=1,1\cdot\sqrt{2}\cdot 13,23=26,11$ кА.

Для тока короткого замыкания в точке К2:

$R_{\Sigma К2}=R_{\Sigma К1}+R_{АВ2}+R_{М1}=13,93$ мОм; (57)

$X_{\Sigma К2}=X_{\Sigma К1}+X_{АВ2}+X_{М1}=12,595$ мОм; (58)

$Z_{\Sigma К2}=\sqrt{R_{\Sigma К2}^2+X_{\Sigma К2}^2}=18,78$ мОм; (59)

$I_{К2}^{(3)}=\frac{U_{НН}}{\sqrt{3}\cdot Z_{К2}}=\frac{400}{\sqrt{3}\cdot 18,78}=12,31$ кА; (60)

$\frac{X_{\Sigma К2}}{R_{\Sigma К2}}=0,9\Rightarrow К_{у К2}=1,1;$ (61)

$i_{у К2}=\sqrt{2}\cdot К_{у К2}\cdot I_{К2}^{(3)}=19,14$ кА. (62)

Для тока короткого замыкания в точке К3:

$R_{\Sigma К3}=R_{\Sigma К2}+R_{АВ3}+R_{РШ1}=15,29$ мОм; (63)

$X_{\Sigma К3}=X_{\Sigma К2}+X_{АВ3}+X_{РШ1}=13,675$ мОм; (64)

$Z_{\Sigma К3}=\sqrt{R_{\Sigma К3}^2+X_{\Sigma К3}^2}=20,51$ мОм; (65)

$I_{К3}^{(3)}=\frac{U_{НН}}{\sqrt{3}\cdot Z_{К3}}=\frac{400}{\sqrt{3}\cdot 20,51}=11,27$ кА; (66)

$\frac{X_{\Sigma К3}}{R_{\Sigma К3}}=0,89\Rightarrow К_{у К3}=1,1;$ (67)

$i_{у К3}=\sqrt{2}\cdot К_{у К3}\cdot I_{К3}^{(3)}=17,53$ кА. (68)

Для тока короткого замыкания в точке К4:

$R_{\Sigma К4}=R_{\Sigma К3}+R_{АВ4}+R_{КЛ2}=25,51$ мОм; (69)

$X_{\Sigma К4}=X_{\Sigma К3}+X_{АВ4}+X_{КЛ2}=15,91$ мОм; (70)

$Z_{\Sigma К4}=\sqrt{R_{\Sigma К4}^2+X_{\Sigma К4}^2}=30,06$ мОм; (71)

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{H\,HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20{,}51} = 7{,}69 \text{ кА}; \quad (72)$$

$$\frac{X_{\Sigma K4}}{R_{\Sigma K4}} = 0{,}62 \Rightarrow K_{y\,K4} = 1{,}1; \quad (73)$$

$$\mathrm{i}_{\mathrm{y\,K4}} = \sqrt{2} \cdot \mathrm{K}_{\mathrm{y\,K3}} \cdot \mathrm{I}_{\mathrm{K3}}^{(3)} = 11{,}92 \text{ кА}. \quad (74)$$

Для остальных подстанций расчеты выполняются аналогично. Результаты расчетов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Значение ударных токов КЗ для подстанций ТП-1/ТП-4

№ ТП	К1, кА	К2, кА	К3, кА	К4, кА	К10, кА
ТП – 1	18,27	17,84	17,01	15,46	16,47
ТП – 2	14,07	13,24	12,11	9,56	12,17
ТП – 3	17,58	16,97	15,17	12,46	13,28
ТП – 4	16,84	15,55	13,24	11,54	13,24

6.3 Проверка автоматических выключателей на условие стойкости токам короткого замыкания

По ударным токам короткого замыкания выше 1 кВ проверяем выключатель нагрузки ВНА-СЭЩ. Выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 50 кА, следовательно:

$\mathrm{i}_{\mathrm{y\,K10}} = 19{,}49 \text{ кА} \le \mathrm{i}_{\mathrm{y\,ВН}} = 50 \text{ кА}.$

По ударным токам короткого замыкания точки К4 проверяем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS100 сварочного робота. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 20 кА, следовательно:

К4: $\mathrm{i}_{\mathrm{y\,K4}} = 11{,}92 \text{ кА} \le \mathrm{i}_{\mathrm{y\,ВА}} = 20 \text{ кА}.$

Исходя из верного равенства, можно сделать вывод, что автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS100 удовлетворяет требованиям.

По ударным токам короткого замыкания точки К3 проверяем вводной автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS630 распределительного шинопровода. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 35 кА, следовательно:

К3: $i_{у\,К3} = 17{,}53\ кА \le i_{у\,ВА} = 35\ кА.$

Исходя из верного равенства, можно сделать вывод, что автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS630 удовлетворяет требованиям.

По ударным токам короткого замыкания точки К2 проверяем автоматический выключатель ВА-СЭЩ AS-06-40 отходящей линии с ТП. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 85 кА, следовательно:

К2: $i_{у\,К2} = 19{,}14\ кА \le i_{у\,ВА} = 85\ кА.$

Исходя из верного равенства, можно сделать вывод, что автоматический выключатель ВА-СЭЩ АН-16D удовлетворяет требованиям.

По ударным токам короткого замыкания точки К1 проверяем вводной автоматический выключатель ВА-СЭЩ АН-40Е на ТП. Автоматические выключатели данного типа рассчитаны на ударные токи до 100 кА, следовательно:

К1: $i_{у\,К1} = 26{,}11\ кА \le i_{у\,ВА} = 100\ кА.$

Исходя из верного равенства, можно сделать вывод, что автоматический выключатель ВА-СЭЩ AS-06-40 удовлетворяет требованиям.

Для остальных подстанций расчеты выполняются аналогично. Результаты расчетов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Значения токов короткого замыкания на подстанциях

Точка КЗ	Тип выключателя	Номинальный ток	Номинал. отключ. способность	Ток КЗ
ТП – 1				
К1	АН – 25Е	2500	100	18,27

продолжение таблицы 12

Точка КЗ	Тип выключателя	Номинальный ток	Номинал. отключ. способность	Ток КЗ
К2	АН – 08D	800	80	17,84
К3	ВА – СЭЩ-TS630	630	35	17,07
К4	ВА – СЭЩ-TS100	63	20	15,46
ТП – 2				
К1	АН – 25Е	2500	100	14,07
К2	АН-16D	1600	80	13,24
К3	ВА – СЭЩ-TS630	630	30	12,4
К4	ВА – СЭЩ-TS100	63	20	9,56
ТП – 3				
К1	АН – 25Е	2500	100	17,58
К2	АН-16D	1600	80	16,97
К3	ВА – СЭЩ-TS630	630	35	15,17
К4	ВА – СЭЩ-TS100	63	20	12,46
ТП – 4				
К1	АН – 25Е	2500	100	16,84
К2	АН-16D	1600	80	15,55
К3	ВА – СЭЩ-TS630	630	35	13,24
К4	ВА – СЭЩ-TS100	63	20	11,54

7 Проектирование асинхронного электропривода подъемного механизма

Электродвигатели являются основными и самыми распространенными потребителями электрической энергии на промышленных предприятиях, поэтому эффективность энергосберегающих мероприятий в значительной мере определяется эффективностью электропривода, в том числе эффективностью использования энергетических возможностей электродвигателя. Правильный выбор электродвигателя это основа обеспечения всех технологических режимов и динамических характеристик как самого электропривода, так и рабочего механизма, который он приводит в действие.

Проектирование электропривода выполняется для кран-балки, расположенной в инструментальном цеху, грузоподъемностью 2 тонны, скоростью движения груза 0,1 м/с и продолжительностью включения ПВ=56%.

Определяем мощность сопротивления на валу

$$P_c = \frac{m \cdot g \cdot V}{\eta_n} = \frac{2000 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}1}{0{,}9} = 2178\text{Вт}, \quad (75)$$

где m – масса груза, кг;

V – скорость груза, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с;

η – КПД передачи.

Определяем время работы двигателя в цикле

$$t_p = t_ц \frac{ПВ}{100} = 600 \cdot \frac{56}{100} = 336\text{с}, \quad (76)$$

где $t_ц$ – время цикла работы ($t_ц$=10 мин);

$ПВ$ – продолжительность включения, %.

Зная время работы двигателя в цикле, можно определить время охлаждения

$$t_0 = t_ц - t_p = 600 - 336 = 264\text{с}. \quad (77)$$

Если ПВ нестандартная, то при выборе электродвигателя найденное значение мощности сопротивления необходимо пересчитать, чтобы привести к стандартному значению ПВ

$$P_c^{'} = P_c \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_ф}{\varepsilon_{ст}} + a \cdot (\frac{\varepsilon_ф}{\varepsilon_{ст}} - 1)}, \quad (78)$$

где $\varepsilon_{ст} = 0,6$ о.е. – стандартное значение относительной продолжительности включения;

$\varepsilon_ф = 0,56$ о.е. – фактическое значение относительной продолжительности включения;

$a = 0,7$ – коэффициент потерь.

$$P_c^{'} = 2178 \cdot \sqrt{\frac{0,56}{0,6} + 0,7 \cdot (\frac{0,56}{0,6} - 1)} = 2051 Вт.$$

Далее мощность сопротивления $P_c^{'}$ приводится к ближайшему каталожному значению $P_{\varepsilon_{ст}}$ при стандартной продолжительности включения $\varepsilon_{ст}$ таким образом, что бы выполнялось неравенство:

$$P_{\varepsilon_{ст}} \geq P_c^{'}. \quad (79)$$

Выбираем двигатель АИРС 80-В2. Электродвигатель с повышенным скольжением предназначен для привода механизмов работающих в кратковременном режиме. Данный двигатель при продолжительности включения 60% обладает мощностью, равной 2,3 кВт. Технические характеристики двигателя представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические данные двигателя АИРС 80-В2

$P_н$, кВт	$I_н$, А	$N_н$,об/мин	η_n	$\cos f_н$	μ_k	μ_{min}	μ_n	k_i
2,5	5,9	1500	0,78	0,85	2,2	1,6	2,1	6,5

Выполним предварительную проверку номинального момента при ПВ=60%.

$$P_{\varepsilon_{ст}} \geq P_c^{'}; \quad (80)$$

$2300\text{Вт} \geq 2051\text{Вт};$

Проверка двигателя по условию надежного пуска:

$$k_u^2 \cdot M_п \geq M_{тр} + 0.25 \cdot M_н, \quad (81)$$

где $k_u = 0,925$ – действительное напряжение при пуске, о.е.;

$M_к$ - критический момент электродвигателя;

$M_п$ – пусковой момент электродвигателя;

$M_н$ - номинальный момент электродвигателя;

$\omega_н$ – номинальная угловая скорость электродвигателя.

$$\omega_н = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_н}{60} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{3000}{60} = 314 \text{ рад/с}; \quad (82)$$

$$M_н = \frac{P_н}{\omega_н} = \frac{2500}{314} = 7,96 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (83)$$

$$M_к = \mu_к \cdot M_н = 2,2 \cdot 7,96 = 17,512 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (84)$$

$$M_п = 0,9 \cdot M_к = 0,9 \cdot 17,512 = 15,76 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (85)$$

$$M_{тр} = \frac{P_c}{\omega_н} = \frac{2178}{314} = 6,94 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (86)$$

Подставив полученные параметры в формулу (81), получим неравенство:

$0,925^2 \cdot 15,76 \geq 6,94 + 0,25 \cdot 7,96$

$13,48 \geq 8,93$

Поскольку условие проверки выполняется, то двигатель АИРС 80-В2 пригоден для использования в качестве подъемного механизма кран-балки грузоподъёмностью 2 тонны и продолжительностью включения ПВ=56%.

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы был выполнен расчет силовых электрических нагрузок, нагрузок рабочего и аварийного освещения. Рассчитана, с учетом коэффициента максимума нагрузок, расчетная электрическая нагрузка главного корпуса, по которой выбраны мощность трансформаторных подстанций. Произведен расчет реактивной мощности и выполнен выбор компенсирующих устройств.

В ходе проектирования было выбрано номинальное напряжение распределительных сетей предприятия 10 кВ и 0,4 кВ. Был произведен выбор основного силового оборудования на напряжения 10 кВ и 0,4 кВ. В том числе, были выбраны комплектные трансформаторные подстанции с установленными силовыми трансформаторами марки ТМГ, выключателями нагрузки ВНА-СЭЩ, автоматическими выключателями ВА-СЭЩ-В производства ЗАО «Группа компаний «Электрощит-ТМ Самара». Выполнен расчет токов короткого замыкания на напряжении 10 и 0,4 кВ, произведена проверка защитных аппаратов на термическую и динамическую стойкость. Был спроектирован электропривод грузоподъемного механизма 2т для инструментального цеха.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 изд., изм. и доп. по состоянию на 1 февраля 2015 г. - 7-е изд., Литтерра, 2015.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей – М:. Омега-Л, 2015.
3. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова – Москва: Форум, 2014.
4. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков – Москва: Форум, 2014.
5. Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение. Учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
6. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
7. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
8. Хорольский, В.Я. Прикладные методы для решения задач электроэнергетики. Учебное пособие / В.Я. Хорольский – Москва: Форум, 2015.
9. Дьяков, А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков – Москва: МЭИ, 2015.
10. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
11. Электроэнергетика. Учебное пособие / под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Форум, 2013.
12. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

13. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1993 г.

14. Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козинова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

15. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов. Учебное пособие / В.П. Шеховцов – М.: Форум, Инфра-М, 2015.

16. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы. Учебное пособие для вузов / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

17. Рожин, А.Н. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов: Внутрицеховое электроснабжение/ А.Н. Рожин, Н.С. Башкаева - Киров, 2006.

18. Liu, C.C. Conceptual design of the strategic power infrastructure defense (SPID) system/ C.C. Liu , J. Jung , G.T. Heydt , V. Vittal and A.G. Phadke. - IEEE Control Syst. Mag., pp. 40-52, 2000.

19. Tamronglak, S. Anatomy of power system blackouts: preventive relaying strategies/ S. Tamronglak , A.G. Phadke , S.H. Horowitz and J.S. Thorp. - IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, pp. 708-715, 1996.

20. Amin, M. Toward self-healing energy infrastructure systems. - IEEE Comput. Appl. Power, pp. 20-28, 2001.

21. Van de Vyver, J. The need for a distributed algorithm for control of the electrical power infrastructure/ Van de Vyver, J.; Deconinck, G.; Belmans, R. - IEEE International Symposium on, On page(s): 211 – 215, 2003.

22. Juhwan, J. Multi-agent system technologies and an application for power system vulnerability. - Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE, Volume: 1, 13-17 July 2003.