

Аннотация

В бакалаврской работе выполнен расчет и проектирование системы электроснабжения механосборочного цеха станкостроительного завода. Выполнен расчет электрических нагрузок механосборочного цеха с учетом особенностей технологического процесса и режимов работы основного оборудования. Выбрана схема внутреннего электроснабжения цеховых потребителей и выбраны элементы внутрицеховой распределительной сети. При проектировании распределительной сети учтены особенности технологического процесса и возможность повреждения питающих линий в процессе производства. Произведен светотехнический расчет механосборочного цеха. Выполнен анализ заводской системы электроснабжения и выбрано оборудование на стороне 6 кВ для питания объекта проектирования. Для обеспечения безопасности работ в цеху на технологическом оборудовании выполнен расчет и проектирование системы заземления. В результате выполнения работы спроектирована система электроснабжения механосборочного цеха удовлетворяющая всем основным требованиям.

Пояснительная записка бакалаврской работы состоит из 53 листов, 2 таблицы и 3 рисунка. Графическая часть выполнена на шести листах формата А1. Список использованных источников включает 24 наименования из них 5 на английском языке.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика цеха и требования к электроснабжению	6
2 Выбор схемы силовой распределительной сети	10
2 Расчет электрических нагрузок	13
3 Выбор аппаратуры защиты и управления напряжением до 1000 в	19
4 Компенсация реактивной мощности.....	21
5 Выбор числа и мощности трансформаторов	22
6 Расчет токов короткого замыкания	26
7 Выбор высоковольтных аппаратов цеховой подстанции	32
7 Выбор высоковольтного кабеля для питания цеховой подстанции	35
8 Светотехнический расчет	37
9 Электрический расчет осветительной сети	42
10 Расчет заземления	46
Заключение	50
Список использованных источников	52

Введение

Система электроснабжения промышленного предприятия является основой нормального его функционирования и выполнения технологического процесса. При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо использовать передовые методы проектирования. Система электроснабжения должна отвечать требованиям нормативных актов и правил.

Индекс промышленного производства, рассчитываемый Росстатом по отношению к среднемесячному значению 2013 года с исключением сезонного и календарного факторов, показывает рост в ноябре и декабре 2016 года (индексы составляют 100,1 и 100,5%). Наивысший темп роста продемонстрировали в 2016 году металлорежущие станки — 111,2% по отношению к 2015 году, тракторы — 116,1%, приборы для автоматического регулирования — 108,5%. Лидером по росту промышленного производства являются грузовые вагоны — 128,8% и бетономешалки — 122,5%.

Бурное развитие промышленного производства наблюдаемое в отдельных регионах России и отраслях промышленности связано с открытием новых свободных экономических зон и принятием мер со стороны правительств по импорт замещению.

Развитие промышленности должно быть неразрывно связано с развитием электроэнергетики. Применение новых технологий производства, требуют более надежного качественного электроснабжения. Учитывая, то что проектируемый в бакалаврской работе механосборочный цех не является основным и относится к третьей категории надежности, так как перерыв в его электроснабжении не может вызвать брака продукции и больших потерь, требуется спроектировать систему электроснабжения отвечающую всем нормам безопасности и качества электроснабжения потребителей.

Целью бакалаврской работы является – разработка проекта системы электроснабжения механосборочного цеха станкостроительного завода.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

- Выполнить расчет электрических нагрузок цеха с учетом режимов работы электроприемников и условиями технологического процесса;
- Произвести выбор числа и мощности распределительных трансформаторов в цеховой подстанции;
- Выполнить расчет основного и аварийного освещений;
- Рассчитать токи короткого замыкания и выполнить проверку выбранного оборудования;
- Выполнить расчет и выбор оборудования на ГПП предприятия в ячейке питания проектируемого цеха;
- Выполнить выбор кабеля для питания механосборочного цеха;
- Выполнить расчет заземления цеха.

1 Характеристика объекта и требования по электроснабжению

Генеральный план станкостроительного завода, в состав которого входит проектируемый механический цех представлен на рисунке 1. Проектируемый механический цех на генеральном плане завода показан цифрой 3.

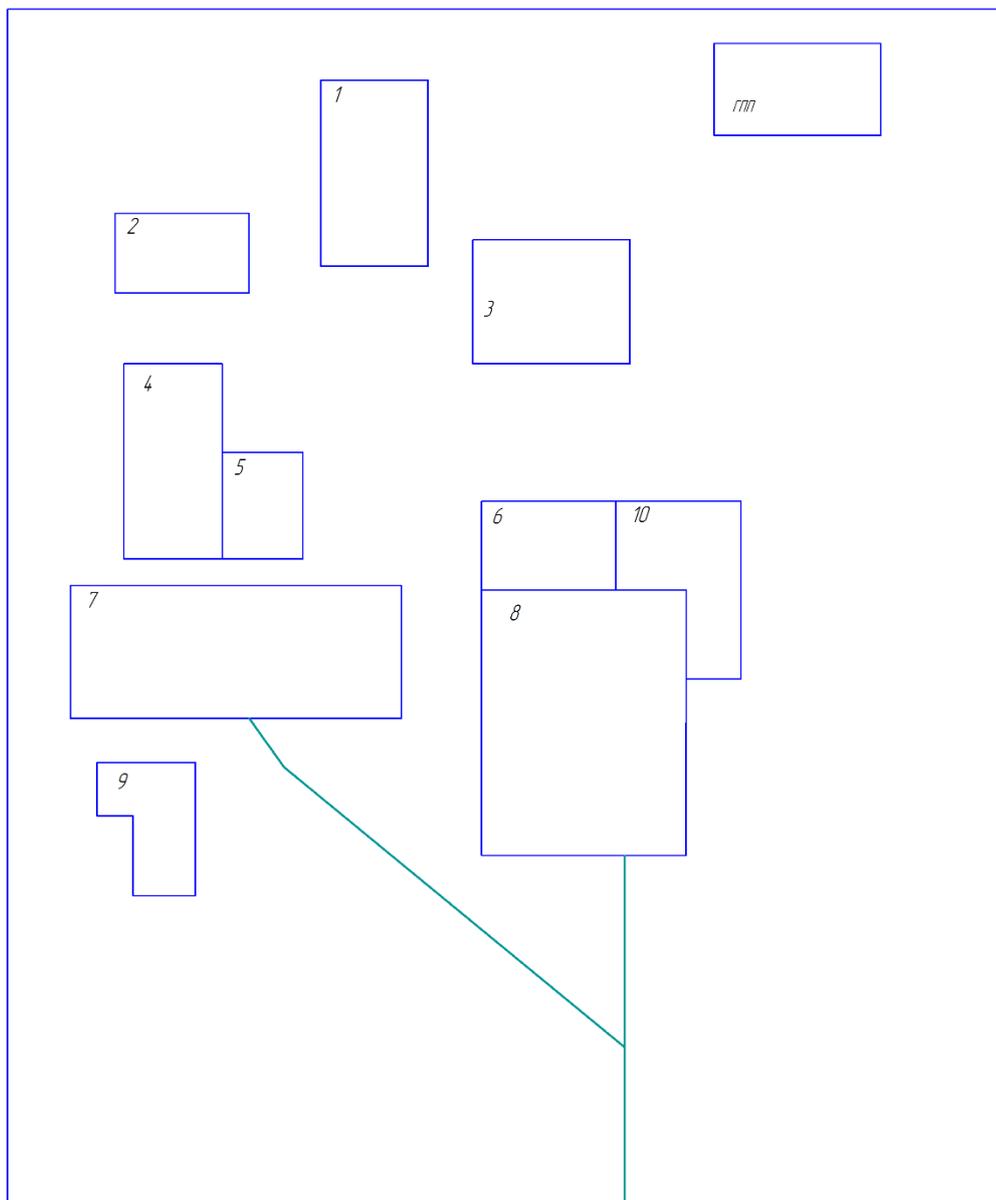


Рисунок 1 – Генеральный план станкостроительного завода

Проектируемый механический цех представляет собой сооружение из железобетонных конструкций. Цех имеет следующие размеры: длина 60 м; ширина 48 м; высота 10 м. Площадь цеха составляет: 2880 м².

Механический цех имеет боковые оконные рамы и хорошее естественное освещение в дневное время. Стены внутри цеха выкрашены в светло-зеленый цвет, потолок производственного помещения окрашен белой эмульсией, пол бетонный. В вечернее и ночное время для освещения цеха применяются установки искусственного освещения. На рабочих местах применяется местное.

Основным потребителем электроэнергии являются металлообрабатывающие станки, электроприводами которых являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Мощность двигателей находится в диапазоне от 2,0 до 45 кВт. Число в цеху составляет 81 с установленной мощностью 1517 кВт. Питание электрооборудования цеха осуществляется на напряжении 380/220В с промышленной частотой 50 Гц. Распределение электроэнергии к приемникам осуществляется при помощи шинопроводов. Станки предназначены для механической обработки металла режущими инструментами, поэтому проводку следует прокладывать в трубах.

Среда производственного помещения не оказывает вредного воздействия на электросети, не опасна по пожару и взрыву, с малым выделением пыли и относительной влажностью не более 60 %. В санитарном отношении цех чистый.

Проектируемый механический цех относится к потребителям третьей категории, поэтому со стороны высокого напряжения резервирования не имеет. Перерывы питания допускаются на время ремонтно-восстановительных работ (не более 24 ч). Для монтажа и ремонта оборудования, транспортировки деталей и заготовок используется напольный транспорт – электрокары.

В цехе имеется комплектная внутрицеховая подстанция типа КТП-630-6/0,4 кВ.

В цехе согласно ПУЭ все станки и оборудование имеют защитное заземление для защиты людей от поражений электрическим током, а также каждый из станков имеет защиту от перегрузок и токов короткого замыкания посредством автоматов.

На территории завода расположена главная понизительная подстанция, на которой установлены два силовых трансформатора ТДН 16000/110/6 мощностью 16 МВА. Питание механосборочного цеха осуществляется от ячейки номер 13, со второй секции шин 6 кВ. Распределительная сеть предприятия выполнена на напряжении 6 кВ, так как в отдельных цехах, в частности в компрессорном цехе, установлены высоковольтные двигатели на напряжение 6 кВ. Исходя из этой особенности выполнение распределительной сети предприятия на напряжении 10 кВ является нецелесообразным.

1.1 Выбор рода тока и напряжения

Рациональное построение системы электроснабжения промышленного предприятия наряду с выбором схемы питания, определением целесообразной мощности и числа силовых трансформаторов во многом зависит от выбора напряжений для системы электроснабжения промышленных предприятий.

Вопрос о выборе рода тока и напряжения для электроприемников и электроустановок решается в каждом случае отдельно при проектировании электроприемников и электроустановок, так как он естественно связан с производительностью и другими технико-экономическими показателями.

Цех имеет возможность совместного питания силовой и осветительной нагрузки.

Основным родом тока для силовой сети промышленных предприятий является переменный ток частотой 50 Гц.

Для проектируемого механического цеха выбираем систему напряжения 380/220В с частотой 50Гц, с изолированной нейтралью, так как применение напряжения 660/380В потребует дополнительных экономических затрат вследствие того, что:

– в цехе установлено оборудование, рассчитанное на напряжение 380/220В с частотой 50Гц.

– система 380/220В позволяет осуществить питание силовой и осветительной сети.

– система 380/220 относится к системе низкого напряжения, что делает установки дешевые.

С высокой стороны трансформатора напряжение равно 6 кВ.

По напряжению все электроприемники делятся на две группы:

– электроприемники, которые могут получать питание непосредственно от сети 6-10 кВ.

– электроприемники, которые получают питание от сети 380-660 В.

2 Выбор схемы силовой распределительной сети

Схемы цеховой силовой сети определяются технологическим процессом производства, категорией надежности электроснабжения, взаимным расположением цеховых трансформаторных подстанций и электроприемников, их единичной мощностью и размещением по площади цеха. Схема должна быть простой, безопасной и удобной в эксплуатации, экономичной, удовлетворяющей требованиям окружающей среды и обеспечивать применение более прогрессивных методов монтажа.

Питание потребителей электроэнергии промышленных предприятий осуществляется через электрические сети. Линии цеховых сетей, отходящих от цеховой подстанции или вводного устройства, образуют питающую сеть, а линии, подводящие энергию к распределительным приемникам, образуют распределительную сеть.

На практике нашли широкое применение для питания следующие схемы электрических сетей: радиальные, магистральные, смешанные.

При радиальной схеме электроэнергия от отдельного узла питания (от трансформаторной подстанции) подключена к одному мощному электроприемнику или группе электроприемников. Радиальная схема применяется в случаях, когда в цехе установлены мощные электроприемники – такие как электроприводы насосов, компрессоров, или когда мелкие по мощности электроприемники распределяются по цеху неравномерно и сосредоточены группами.

В радиальных схемах подвод питания к каждому электроприемнику выполняется индивидуально. Радиальные схемы применяют в основном для питания электроприемников первой категории. Цеховая трансформаторная подстанция должна выполнять не менее чем в двух трансформаторном исполнении.

Достоинства радиальных схем:

- высокая надежность электроснабжения потребителей;

– эти схемы могут быть оборудованы устройствами сетевой автоматики.

Недостатки радиальных схем:

– малая экономичность из-за значительного расхода проводникового материала; громоздкость и сложность схемы, так как включает в себя большое число коммутационных аппаратов;

– ограниченная гибкость при перемещении технологического оборудования; необходимость в дополнительных площадях для размещения распределительных пунктов.

Магистральные схемы находят наибольшее применение при равномерном распределении нагрузки по площади цеха. Эти схемы применяют для питания энергией потребителей третьей категории. Магистральная схема может быть выполнена шинпроводами ШРА и ШМА. Цеховая трансформаторная подстанция выполняется с одним трансформатором.

Достоинства магистральных схем:

– схема не требует установки распределительного щита на подстанции;

– удобство эксплуатации;

– питание потребителей может быть осуществлено по более совершенной схеме блока «трансформатор – магистраль»;

– гибкость и универсальность сети. При магистральных схемах, выполненных шинпроводами ШМА и ШРА, перемещение технологического оборудования не вызывает переделок сети;

– наличие перемычек между магистралями отдельных подстанций обеспечивает надежность электроснабжения при минимальных затратах на устройство резервирования;

– вследствие небольшого количества отходящих линий и коммутационных аппаратов, уменьшается расход цветных металлов, уменьшаются габариты распределительного устройства, сокращаются расходы на сооружение схемы.

Недостатки магистральных схем:

– не обеспечивает надежного электроснабжения потребителей. При повреждении какой-либо магистрали (короткое замыкание), отключаются все потребители, питающиеся от данной магистрали.

В зависимости от характера производства и условий окружающей среды нашли широкое применение смешанные схемы электроснабжения. Она представляют собой сочетание элементов радиальной и магистральной схем.

Питание цеха будет производиться по магистральной схеме, так как цех относится к третьей категории электроснабжения и нагрузка равномерно распределена по площади цеха. Эта схема экономически выгодна для данного механического цеха. Магистральная схема выполнена шинопроводом ШМА, к которому присоединены 4 распределительных шинопровода типа ШРА.

2 Расчет электрических нагрузок

Электрические нагрузки промышленных предприятий определяют выбор всех элементов систем электроснабжения: линий электропередач, районных трансформаторных подстанций, питательных и распределительных сетей, заводских трансформаторных подстанций и их распределительных сетей.

Выбор элементов системы электроснабжения по номинальным данным приведет к завышению сетей и мощности трансформатора, поэтому и производят расчет электрических нагрузок.

Расчет нагрузок необходим для определения токовых нагрузок на каждый шинопровод и в целом для определения токовой нагрузки по цеху.

Для расчета электроприемников необходимо знать:

- наименование узлов и групп электроприемников, их коэффициенты использования K_u , мощности, а так же коэффициент мощности $\cos\varphi$ и коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi$;
- количество рабочих и резервных электроприемников, n ;
- общую установленную мощность станков, приведенную к продолжительности включения одного приемника - ПВ=100%, $P_{н.уст}$, кВт;
- отношение $m = P_{\max} / P_{\min}$;
- нагрузку среднюю за смену активную $P_{см}$, кВт и реактивную $Q_{см}$, кВАр;
- число эффективное число электроприемников, $n_э$;
- коэффициент максимума, K_{\max} ;
- мощность максимальную P_{\max} , кВт, Q_{\max} , кВАр и S_{\max} , кВА;
- ток максимальный I_{\max} , А.

Расчет электрических нагрузок по цеху выполнен на примере первого шинопровода (ШРА-1). Результаты сведены в таблицу 1.

Количество электроприемников на шинопроводе ШРА-1 - $n=18$

Мощность суммарная всех электроприемников, запитанных с шинпровода ШРА-1 $P_{н.уст}$, кВт

$$P_{н.уст} = \sum P_{н.уст \cdot n} , \quad (1)$$
$$P_{н.уст} = 80 + 75 + 108 + 75 + 30 = 368,0 \text{ кВт}$$

Модуль силовой сборки, m

$$m = P_{н.макс} / P_{н.мин} , \quad (2)$$
$$m = 36 / 10 = 3,6$$

Коэффициент использования по шинпроводу ШРА-1, $K_{и}$

Коэффициент использования выбирается по справочным данным, исходя из данных условий выбран $K_{и} = 0,14$.

По шинпроводу ШРА-1 выбраны из справочника, также коэффициенты $\cos\varphi = 0,6$ и соответствующий ему $\operatorname{tg}\varphi = 1,33$.

Мощность активная среднесменная за максимально загруженную смену в каждой группе электроприемников на ШРА-1 $P_{см}$, кВт

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{уст} , \quad (3)$$

где $P_{см}$ – активная средняя мощность за смену, кВт;

$K_{и}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_{уст}$ – мощность номинальная установившаяся в каждой группе электроприемников, кВт

$$P_{см1} = 0,14 \cdot 80 = 11,2 \text{ кВт};$$

$$P_{см2} = 0,14 \cdot 75 = 10,5 \text{ кВт};$$

$$P_{см3} = 0,14 \cdot 108 = 15,12 \text{ кВт};$$

$$P_{см4} = 0,14 \cdot 75 = 10,5 \text{ кВт};$$

$$P_{см5} = 0,14 \cdot 30 = 4,2 \text{ кВт}.$$

Мощность общая активная за смену на ШРА-1 $P_{см.общ}$, кВт

$$P_{см.общ} = \sum P_{см.п} , \quad (4)$$

$$P_{см.общ} = 11,2 + 10,5 + 15,12 + 10,5 + 4,2 = 51,52 \text{ кВт.}$$

Мощность реактивная среднесменная в каждой группе электроприемников на ШРА-1 $Q_{см}$, кВАр

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi , \quad (5)$$

$$Q_{см1} = 11,2 \cdot 1,33 = 14,9 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{см2} = 10,5 \cdot 1,33 = 14,0 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{см3} = 15,12 \cdot 1,33 = 20,11 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{см4} = 10,5 \cdot 1,33 = 14,0 \text{ кВАр;}$$

$$Q_{см5} = 4,2 \cdot 1,33 = 5,6 \text{ кВАр.}$$

Мощность общая реактивная за смену на ШРА-1 $Q_{см.общ}$, кВАр

$$Q_{см.общ} = \sum Q_{см.п} , \quad (6)$$

$$Q_{см.общ} = 14,9 + 14,0 + 20,11 + 14,0 + 5,6 = 68,61 \text{ кВАр.}$$

Число электроприемников эффективное пэ. В данном случае $n_3 = n = 18$

По справочнику выбран коэффициент максимума по ШРА-1 $K_M = 1,75$

Мощность активная максимальная на ШРА-1 $P_{макс}$, кВт

$$P_{макс} = K_M \cdot P_{см.общ} , \quad (7)$$

$$P_{макс} = 1,75 \cdot 51,52 = 90,16 \text{ кВт.}$$

Мощность реактивная максимальная на ШРА-1 $Q_{макс}$, кВАр

$$Q_{\text{макс}}=K_{\text{м}} \cdot Q_{\text{см.общ}} , \quad (8)$$
$$Q_{\text{макс}}=1,75 \cdot 68,61=120,1 \text{ кВАр.}$$

Мощность полная максимальная на ШРА-1 $S_{\text{макс}}$, кВА

$$S_{\text{макс}}=\sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2} , \quad (9)$$

$$S_{\text{макс}}=\sqrt{90,16^2 + 120,1^2}=150,2 \text{ кВА.} \quad (10)$$

Ток максимальный расчетный на ШРА-1 $I_{\text{макс}}$, А

$$I_{\text{макс}}=S_{\text{макс}}/(\sqrt{3} U_{\text{н}}) , \quad (11)$$

$$I_{\text{макс}}=150,2/(\sqrt{3} 0,38)=228,2 \text{ А.}$$

Аналогичным методом произведен расчет остальных шинопроводов. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет электрических нагрузок

Наименование электроприемников	n	P _н кВт	∑P _н кВт	m	K _и	cosφ/tgφ	P _{см} кВт	Q _{см} кВАр	n _э	K _м	P _{макс} кВт	Q _{макс} кВАр	S _{макс} кВА	I _{макс} А
Долбежный	4	20	80	-	0,14	0,6/1,33	11,2	14,9	-	-	-	-	-	-
Продольно-фрезерный	5	15	75	-	0,14	0,6/1,33	10,5	14	-	-	-	-	-	-
Токарный	3	36	108	-	0,14	0,6/1,33	15,12	20,11	-	-	-	-	-	-
Токарный	3	25	75	-	0,14	0,6/1,33	10,5	14	-	-	-	-	-	-
Токарно-винторезный	3	10	30	-	0,14	0,6/1,33	4,2	5,6	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА-1	18	10-36	368	3,6	0,14	0,6/1,33	51,52	68,61	18	1,75	90,16	120,1	150,2	228,2
Вертикально-сверлильный	5	5	25	-	0,14	0,6/1,33	3,5	4,65	-	-	-	-	-	-
Агрегатно-сверлильный	4	40	160	-	0,14	0,6/1,33	22,4	29,8	-	-	-	-	-	-
Протяжный	4	25	100	-	0,14	0,6/1,33	14	18,62	-	-	-	-	-	-
Протяжный	5	20	100	-	0,14	0,6/1,33	14	18,62	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА-2	18	5-40	385	8	0,14	0,6/1,33	53,9	71,69	18	1,75	94,3	125,5	157	238,5
Расточный	4	45	180	-	0,14	0,6/1,33	25,2	33,52	-	-	-	-	-	-
Расточный	5	26	130	-	0,14	0,6/1,33	18,2	24,21	-	-	-	-	-	-
Плоско-шлифовальный	5	12	60	-	0,14	0,6/1,33	8,4	11,17	-	-	-	-	-	-
Кругло-шлифовальный	4	8	32	-	0,14	0,6/1,33	4,48	5,96	-	-	-	-	-	-
Бесцентровочно-шлифовальный	2	11	22	-	0,14	0,6/1,33	3,08	4,1	-	-	-	-	-	-
Конвейер стоечный	1	3	3	-	0,6	0,7/1,00	1,8	1,8	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА-3	21	3-45	427	15	0,14	0,6/1,32	61,16	80,76	19	1,72	105,2	138,9	174,2	264,7
Балансировочный	4	12	48	-	0,14	0,6/1,33	6,72	8,94	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной	2	6	12	-	0,14	0,6/1,33	1,68	2,23	-	-	-	-	-	-
Револьверный	3	8	24	-	0,14	0,6/1,33	3,36	4,47	-	-	-	-	-	-
Зубофрезерный	2	10	20	-	0,14	0,6/1,33	2,8	3,72	-	-	-	-	-	-
Мойка	4	4	16	-	0,53	0,45/0,33	8,48	2,8	-	-	-	-	-	-
Пресс	3	30	90	-	0,25	0,65/1,17	22,5	26,32	-	-	-	-	-	-
Пресс	3	25	75	-	0,25	0,65/1,17	18,75	21,94	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	2	25	50	-	0,65	0,8/0,75	32,5	24,37	-	-	-	-	-	-
Конвейер стоечный	1	2	2	-	0,6	0,7/1,00	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-
Всего по ШРА-4	24	2-30	337	15	0,29	0,71/0,98	98	96	23	1,34	131,3	128,6	183,8	279,25
Нагрузка по цеху	81	2-45	1517	22,5	0,17	0,64/1,20	264,6	317,06	68	1,21	320,17	383,64	499,7	759,2
Освещение цеха	63	0,7	44,1	-	0,9	0,6/1,33	44,45	59,1	-	-	-	-	-	-
Итого на шинах ТП до компенсации	81	2-45	1561,1	15	0,2	0,63/1,22	309,05	376,16	68	1,17	361,6	440,1	569,6	865,4
Компенсация								-200						

Наименование электроприемников	n	P_n кВт	$\sum P_n$ кВт	m	K_n	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	P_{cm} кВт	Q_{cm} кВАр	n_3	K_m	P_{max} кВт	Q_{max} кВАр	S_{max} кВА	I_{max} А
Итого на шинах ТП с учетом компенсации	81	2-45	1561,1	15	0,2	0,87/0,57	309,05	176,16	68	1,17	361,6	206,1	416,2	632,3

3 Выбор аппаратуры защиты и управления напряжением до 1000 в

Для защиты электрической сети напряжением до 1000 В применяют плавкие предохранители, автоматические выключатели, тепловые реле.

Вслед за расчетом мощности двигателя и его выбором возникают проблемы его присоединения к сети управления и защиты двигателя от возможных перегрузок и коротких замыканий.

Выбор защитного аппарата и электрической сети на примере долбежного станка с $P_H=20$ кВт.

Ток номинальный электродвигателя I_H , А

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\phi_H \cdot \eta_H}, \quad (12)$$

где P_H – мощность электродвигателя номинальная, кВт;

$U_H = 380$ В – напряжение номинальное;

$\cos\phi_H = 0,87$ – коэффициент мощности нагрузки;

$\eta_H = 0,9$ – КПД номинальное

$$I_H = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,9} = 38,8 \text{ А}$$

Ток электродвигателя пусковой $I_{п}$, А

$$I_{п} = 5 \cdot I_H, \quad (13)$$

$$I_{п} = 5 \cdot 38,8 = 194,0 \text{ А.}$$

Для защиты электрической сети данного двигателя выбран по справочнику трехполюсный автоматический выключатель серии А3710Б с номинальным током 80 А.

Согласно ПУЭ, сеть проложенная в трубе и внутри помещения требует защиту от перегрузок и короткого замыкания.

Уставка теплового расцепителя автоматического выключателя $I_{уст.т}$, А

$$I_{уст.т} = I_H \cdot 1,25, \quad (16)$$

$$I_{уст.т} = 38,8 \cdot 1,25 = 48,5 \text{ А.}$$

Стандартное значение тепловой уставки выбрано $I_{уст.т} = 50$ А.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя проверяют по минимальному кратковременному току линии ($I_{кр}$). Для электродвигателя за величину кратковременного тока принимают ток пусковой ($I_{п}$).

Уставка электромагнитного расцепителя автоматического выключателя $I_{уст.эл}$, А

$$I_{уст.эл} = 10 \cdot I_{н} , \quad (17)$$

$$I_{уст.эл} = 10 \cdot 38,8 = 388 \text{ А.}$$

Стандартное значение электромагнитной уставки выбрано $I_{уст.эл} = 400 \text{ А}$.

Выбранный автоматический выключатель защищает электропотребителя от токов короткого замыкания и перегрузок.

Сечение проводов для данного электроприёмника S , мм²

Для питания электропотребителя подходит четыре одножильных провода типа АПВ, проложенных в одной трубе. По справочнику принято сечение установочных проводов с алюминиевыми жилами $S = 16 \text{ мм}^2$.

Для остальных потребителей расчет защитной аппаратуры аналогичен.

4 Компенсация реактивной мощности

В комплекте с трансформаторной подстанцией применяют компенсирующую установку. Она используется для повышения коэффициента мощности и понижения реактивной мощности.

Значение коэффициента мощности ($\cos\varphi$) и его повышение имеет большое значение для народного хозяйства. Основными электроприемниками реактивной мощности являются асинхронные двигатели, на и их долю приходится 65-70 % потребляемой реактивной мощности, 20-25 % на трансформаторы, 10 % на ЛЭП, реакторы и люминесцентные лампы.

Мощность компенсирующего устройства определяют как разность между фактической реактивной мощностью предприятия и предельной реактивной мощностью, представляемой предприятию энергосистемой по условиям режима ее работы.

Мощность компенсирующего устройства $Q_{к.у}$, кВАр

$$Q_{к.у} = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \quad (18)$$

где $P_{см}$ – мощность активная за наиболее нагруженную смену, кВт;

$\alpha = 0,75$ – коэффициент годового энергоиспользования;

$\operatorname{tg}\varphi_1 = 1,21$ – фактический tg угла φ , соответствующий среднесменной активной $P_{см}$ и реактивной $Q_{см}$ мощности;

$\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,42$ – оптимальный tg угла φ , соответствующий установочному для данного предприятия.

$$Q_{к.у} = 309,05 \cdot 0,75 \cdot (1,22 - 0,42) = 185,4 \text{ кВАр}. \quad (19)$$

По расчетным данным выбран компенсатор реактивной мощности КРМ-0,4-200 с габаритами: ширина 660 мм, глубина 475 мм, высота 2075 мм.

5 Выбор числа и мощности трансформаторов

Для электроснабжения потребителей третьей категории, каким является наш цех, в ПУЭ рекомендуется установка одного силового трансформатора.

Выбор трансформатора обусловлен величиной и характером электрических нагрузок, а также производственными, архитектурно-строительными и эксплуатационными требованиями. Должны учитываться, кроме того, конфигурация производственных помещений, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, условия охлаждения, требования пожарной и электрической безопасности и типы применяемого электрооборудования.

Мощность нагрузки трансформатора полная $S_{см}$, кВА

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}, \quad (20)$$

где $Q_{см}$ – мощность среднесменная реактивная с учетом компенсации, кВАр.

$$S_{см} = \sqrt{309,05^2 + 176,16^2} = 355,7 \text{ кВА} \quad (21)$$

Выбор мощности трансформатора из экономических соображений. Выбор делается по результатам сравнения двух силовых трансформаторов разной мощности: 400 кВА и 630 кВА.

Коэффициент загрузки трансформатора K_3

$$K_3 = S_{см} / S_n, \quad (22)$$

где S_n – мощность трансформатора номинальная, кВА

$$K_{31} = 355,7 / 400 = 0,89;$$

$$K_{32}=355,7/630=0,56.$$

Потери холостого хода приведенные $\Delta P'_{x,x}$, кВт

$$\Delta P'_{x,x} = \Delta P_{x,x} + K_{и.п} \cdot S_H \cdot (I_{x,x}/100), \quad (23)$$

где $\Delta P_{x,x}$ – потери холостого хода трансформатора в стали, кВт;

$K_{и.п} = 0,01$ – коэффициент изменения потерь;

$I_{x,x}$ – ток холостого хода, %

$$\Delta P'_{x,x1} = 0,95 + 0,01 \cdot 400 \cdot (2,1/100) = 1,03 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{x,x2} = 1,31 + 0,01 \cdot 630 \cdot (2/100) = 1,44 \text{ кВт}.$$

Потери короткого замыкания приведенные $\Delta P'_{к.з}$, кВт

$$\Delta P'_{к.з} = \Delta P_{к.з} + K_{и.п} \cdot S_H \cdot (U_{к.з}/100), \quad (24)$$

где $\Delta P_{к.з}$ – потери короткого замыкания трансформатора в стали, кВт;

$U_{к.з}$ – напряжение короткого замыкания, %

$$\Delta P'_{к.з.1} = 5,5 + 0,01 \cdot 400 \cdot (4,5/100) = 5,68 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{к.з.2} = 7,6 + 0,01 \cdot 630 \cdot (5,5/100) = 7,95 \text{ кВт}.$$

Потери приведенные полные $\Delta P'_T$, кВт

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{x,x} + K_3^2 \cdot \Delta P'_{к.з}, \quad (25)$$

$$\Delta P'_{T.1} = 1,03 + 0,89^2 \cdot 5,68 = 5,53 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{T.2} = 1,44 + 0,56^2 \cdot 7,95 = 3,93 \text{ кВт}.$$

Потери электроэнергии за год $\Delta\omega_{\Gamma}$, кВт·ч

$$\Delta\omega_{\Gamma} = \Delta P'_{\Gamma} \cdot T, \quad (26)$$

где $T = 6400$ ч – число работы годовое

$$\Delta\omega_{\Gamma,1} = 5,53 \cdot 6400 = 35392 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$\Delta\omega_{\Gamma,2} = 3,93 \cdot 6400 = 25152 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Стоимость потерь электроэнергии за год C_{Π} , руб

$$C_{\Pi} = \Delta\omega_{\Gamma} \cdot C_o,$$

где $C_o = 1,15$ руб/кВт·ч – тариф на электроэнергию

$$C_{\Pi,1} = 35392 \cdot 1,15 = 40701 \text{ руб};$$

$$C_{\Pi,2} = 25152 \cdot 1,15 = 28925 \text{ руб}.$$

Отчисления амортизационные C_a , руб

$$C_a = \varphi / 100 \cdot K, \quad (27)$$

где $\varphi = 7,3$ % – процент отчисления; K – затраты капитальные полные, руб

$$C_{a,1} = 7,3 / 100 \cdot 98700 = 7205 \text{ руб};$$

$$C_{a,2} = 7,3 / 100 \cdot 142450 = 10399 \text{ руб}.$$

Затраты годовые полные Z , руб

$$Z = C_{\Pi} + C_a + 0,15 \cdot K; \quad (28)$$

$$Z_1 = 40701 + 7205 + 0,15 \cdot 98700 = 62711 \text{ руб};$$

$$Z_2 = 28925 + 10399 + 0,15 \cdot 142450 = 60691 \text{ руб}.$$

Выбран силовой трансформатор мощностью 630 кВА, так как он наиболее экономичен с учетом развития мощностей цеха в ближайшей перспективе.

По расчетным данным выбрана КТП-630 с силовым трансформатором ТМЗ-630-6/0,4. Выбранная комплектная трансформаторная подстанция размещается внутри цеха, занимает минимум полезной площади цеха, удовлетворяет требованиям электрической и пожарной безопасности и не создает помех производственному процессу.

6 Расчет токов короткого замыкания

В электрических устройствах могут возникать различного вида короткого замыкания, что всегда сопровождается резким увеличением тока, что может привести к аварии. Всё электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам короткого замыкания и выбираться с учётом их величины.

Расчет токов короткого замыкания ведется в относительных единицах. При этом методе все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности. Для расчёта токов короткого замыкания составляют расчётную схему системы электроснабжения и на её основе схему замещения. Расчётная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указываются все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток короткого замыкания.

Расчетная схема системы электроснабжения изображена на рисунке 2.

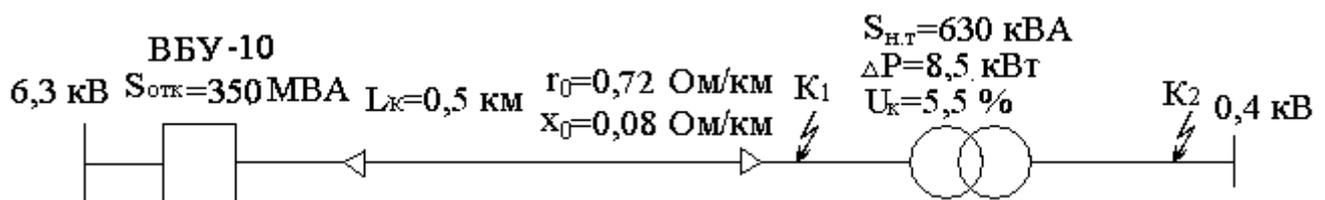


Рисунок 2– Схема для расчета токов КЗ

За базисную мощность, исходя из условий, принимаем мощность равную $S_б = 100$ МВА.

Сопротивление базисное относительное вакуумного выключателя x_1

$$x_1 = U_б^2 / S_{отк}, \quad (30)$$

где $U_б$ – напряжение базисное, кВ;

$S_{отк} = 350$ МВА – мощность отключения выключателя

$$x_1 = 6,3^2 / 350 = 0,11.$$

Сопротивление индуктивное относительное базисное кабельной линии

x_2

$$x_2 = x_0 \cdot L_k \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (31)$$

где $x_0 = 0,08$ Ом/км – сопротивление удельное кабельной линии;

L_k – длина кабельной линии, км;

S_6 – мощность линии базисная, МВА.

$$x_2 = 0,08 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,1.$$

Сопротивление активное относительное базисное кабельной линии r_2

$$r_2 = r_0 \cdot L_k \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (32)$$

где $r_0 = 0,72$ Ом/км – сопротивление активное одного километра кабельной линии

$$r_2 = 0,72 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,91.$$

Сопротивление индуктивное относительное базисное трансформатора

x_3

$$x_3 = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т}}, \quad (33)$$

где $U_k = 5,5 \%$ – напряжение короткого замыкания;

$S_{н.т}$ – мощность трансформатора номинальная, МВА

$$x_3 = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{100}{0,63} = 8,73.$$

Сопротивление активное относительное трансформатора r_*

$$r_* = \Delta P_{к.з} / S_{н.т}, \quad (34)$$

где $\Delta P_{к.з} = 8,5$ кВт – потери короткого замыкания;

$S_{н.т}$ – мощность трансформатора номинальная, кВА

$$r_* = 8,5 / 630 = 0,0135.$$

Сопротивление активное относительное базисное трансформатора r_3

$$r_3 = r_* \cdot (S_б / S_{н.т}), \quad (35)$$

$$r_3 = 0,0135 \cdot (100 / 0,63) = 2,14.$$

По результатам расчета составлена схема замещения системы электроснабжения, которая изображена на рисунке 3.

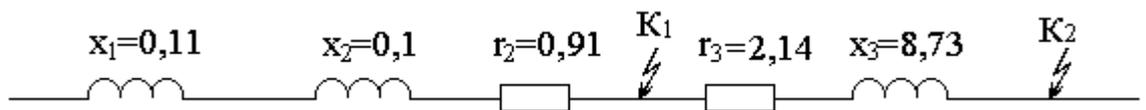


Рисунок 3 – Схема замещения системы электроснабжения

Расчет токов короткого замыкания в точке K_1 .

Сопrotивление общее индуктивное относительное базисное в точке К₁,
 $x_{\Sigma K1}$

$$\begin{aligned}x_{\Sigma K1} &= x_1 + x_2, \\x_{\Sigma K1} &= 0,11 + 0,1 = 0,21.\end{aligned}\tag{36}$$

Сопrotивление полное результирующее в точке К₁, $Z_{\Sigma K1}$

$$\begin{aligned}Z_{\Sigma K1} &= \sqrt{x_{\Sigma K1}^2 + r_2^2}; \\Z_{\Sigma K1} &= \sqrt{0,21^2 + 0,91^2} = 0,93.\end{aligned}\tag{37}$$

Ток базисный $I_{\delta 1}$, кА:

$$\begin{aligned}I_{\delta} &= \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}, \\I_{\delta 1} &= \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ кА}.\end{aligned}\tag{38}$$

Ток короткого замыкания в точке К₁ $I_{к.з1}$, кА

$$\begin{aligned}I_{к.з} &= I_{\delta} / Z_{\Sigma K}, \\I_{к.з1} &= 9,16 / 0,93 = 9,85 \text{ кА}.\end{aligned}\tag{39}$$

Ток короткого замыкания ударный в точке К₁ $I_{уд1}$, кА

$$I_{уд} = \sqrt{2} K_{уд} \cdot I_{к.з},\tag{40}$$

где $K_{уд} = 1,8$ – коэффициент ударный в установках выше 1000 В.

$$I_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,85 = 25,1 \text{ кА}.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке К₂.

Сопротивление общее индуктивное относительное базисное в точке К₂,
X_{ΣК2}.

$$\begin{aligned} X_{\Sigma K2} &= X_{\Sigma K1} + X_3, \\ X_{\Sigma K2} &= 0,21 + 8,73 = 8,94. \end{aligned} \quad (41)$$

Сопротивление общее активное относительное базисное в точке К₂, r_{ΣК2}

$$\begin{aligned} r_{\Sigma K2} &= r_2 + r_3, \\ r_{\Sigma K2} &= 0,91 + 2,14 = 3,05. \end{aligned} \quad (42)$$

Сопротивление полное результирующее в точке К₂, Z_{ΣК2}.

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma K2} &= \sqrt{X_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}, \\ Z_{\Sigma K2} &= \sqrt{8,94^2 + 3,05^2} = 9,45. \end{aligned} \quad (43)$$

Ток базисный I_{б2}, кА:

$$I_{б2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ кА.}$$

Ток короткого замыкания в точке К₂ I_{к.32}, кА:

$$I_{к.32} = 144,34 / 9,45 = 15,27 \text{ кА.}$$

Ток короткого замыкания ударный в точке К₂ I_{уд2}, кА.

По справочнику выбран коэффициент ударный K_{уд}=1,3.

$$I_{yд} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 15,27 = 28,1 \text{ кА.}$$

7 Выбор высоковольтных аппаратов цеховой подстанции

Цель выбора – обеспечить цеховую подстанцию надежным в работе, безопасным в обслуживании и экономичным в монтаже и эксплуатации высоковольтным оборудованием. Для этого выбранные аппараты должны:

- соответствовать условиям окружающей их среды;
- иметь такие номинальные параметры, чтобы удовлетворять условиям работы в нормальном режиме и при коротком замыкании;
- отвечать требованиям технико-экономической целесообразности.

Основное электрооборудование станций и подстанций при выборе должно проверяться на соответствие номинальных параметров с расчетными данными с проверкой на динамическую и термическую устойчивость в аварийном режиме. По каждому выбираемому высоковольтному аппарату составляется сравнительная таблица, в которой расчетные данные сравниваются со справочными или каталожными данными. При этом для обеспечения надежной безаварийной работы, расчетные величины должны быть меньше допустимого.

К установке выбрано комплектное распределительное устройство выкатного исполнения серии КРУ2-10Э. Предварительно к установке выбраны: вакуумный выключатель типа ВБУ-10 на ток 1000 А; разъединитель типа РВ-10/400; трансформатор тока типа ТПЛМ-10/100 с коэффициентом трансформации 100/5.

Разъединитель типа РВ-10/400 используется для разъединения и переключения участков сети, находящихся под напряжением. Разъединитель создает необходимый видимый разрыв электрической цепи, требуемый условиями эксплуатации электроустановок.

Вакуумный выключатель типа ВБУ-10 предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах частотой 50 Гц с напряжением 6-10 кВ в электрических сетях трехфазного переменного тока.

Трансформатор тока типа ТПЛМ-10/100 с коэффициентом трансформации 100/5 предназначен для отделения цепи высокого напряжения от цепей измерительной и защитной аппаратуры, обеспечивая безопасность их обслуживания. Трансформатор тока используют для включения амперметра и токовых катушек измерительных приборов.

Трансформатор тока работает в режиме близком к короткому замыканию, так как в его вторичную обмотку включаются приборы с малым сопротивлением. Полное суммарное сопротивление приборов и подводящих проводов, является нагрузкой трансформатора тока.

Проверка трансформатора тока типа ТПЛМ-10/100.

Коэффициент динамической устойчивости $K_{дин}$

$$K_{дин} = \frac{I_{уд}}{\sqrt{2} \cdot I_H}, \quad (44)$$

где I_H – ток номинальный трансформатора тока, кА;

$I_{уд}$ – ток короткого замыкания ударный в точке K_1 , кА

$$K_{дин} = \frac{25,1}{\sqrt{2} \cdot 0,1} = 177,5.$$

По динамической устойчивости трансформатор тока проходит, так как расчетная величина меньше допустимой $177,5 < 250$.

Коэффициент термической устойчивости $K_{терм}$

$$K_{терм} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{I_H}, \quad (45)$$

где $t_{пр} = 0,5$ с – время действия токов короткого замыкания приведенное;

I_{∞} – значение тока короткого замыкания установившееся, А

$$K_{\text{терм}} = \frac{9,85 \cdot \sqrt{0,5}}{0,1} = 69,6.$$

По термической устойчивости трансформатор тока проходит, так как расчетная величина меньше допустимой $69,6 < 90$.

Все расчетные и паспортные данные высоковольтных аппаратов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Данные высоковольтных аппаратов

Данные вакуумного выключателя ВБУ-10		Данные разъединителя РВ-10/400		Данные трансформатора тока ТПЛМ-10/100	
Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_n=6$ кВ	$U_n=6$ кВ	$U_n=6$ кВ	$U_n=6$ кВ	$U_n=6$ кВ	$U_n=6$ кВ
$I_{\text{макс}}=60,6$ А	$I_n=1000$ А	$I_{\text{макс}}=60,6$ А	$I_n=400$ А	$I_{\text{макс}}=60,6$ А	$I_n=100$ А
$I_{\text{уд}}=25,1$ кА	$I_{\text{отк}}=20$ кА	$I_{\text{уд}}=25,1$ кА	$I^2_{\text{к}10} \cdot t_{\text{пр}10} =$	$I_{\text{уд}}=25,1$ кА	$I_{\text{макс}}=35,5$ кА
$I_{\text{к}}=9,85$ кА	$I^2_{\text{к}5} \cdot t_{\text{пр}5} =$	$I^2_{\text{к}} \cdot t_{\text{пр}} =$	$=1000$ кА ² ·с	$K_{\text{терм}}=69,6$	$K_{\text{терм}}=90$
$I^2_{\text{к}} \cdot t_{\text{пр}} =$	$=2000$ кА ² ·с	$=48,5$ кА ² ·с		$K_{\text{дин}}=177,5$	$K_{\text{дин}}=250$
$S_{\text{к}}=102,4$ МВА	$S_{\text{отк}}=350$ МВА			$I^2_{\text{к}} \cdot t_{\text{пр}} =$	$(K_{\text{т}} \cdot I_n)^2 \approx \approx$
				$=48,5$ кА ² ·с	100 кА ² ·с

8 Выбор высоковольтного кабеля для питания цеховой подстанции

Основа надежного электроснабжения потребителей электрической энергией – это безаварийность и надежность кабельной линии.

Кабелем называют изделие, состоящее из одной или более изолированных жил заключенных в герметичную металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров и в необходимых случаях броня.

Силовые кабели предназначены для передачи по ним на расстояние электроэнергии, используемой для питания электрических установок. Кабели могут использоваться для питания потребителей всех категорий по степени требования к надежности электроснабжения.

Выбор кабеля производится по экономической плотности тока и условиям коротких замыканий в соответствии с требованиями ГОСТ, ПУЭ.

Ток трансформатора номинальный $I_{н.т}$, А

$$I_{н.т} = \frac{S_{н.тп}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (46)$$

где $U_H = 6$ кВ – напряжение номинальное

$$I_{н.т} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ А.}$$

Сечение жил высоковольтного кабеля по экономической плотности тока $S_э$, мм²

$$S_э = I_{н.т} / j_э, \quad (47)$$

где $j_э = 1,4 \text{ А/мм}^2$ – плотность тока экономическая.

$$S_э = 60,6 / 1,4 = 43,3 \text{ мм}^2.$$

По справочным данным выбрано предварительно стандартное сечение жил кабеля $S = 50 \text{ мм}^2$.

Проверка сечения жил кабеля на термическую устойчивость к токам короткого замыкания $S_{\text{мин}}$, мм².

$$S_{\text{мин}} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\text{нр}}}}{c}, \quad (48)$$

где $c = 85$ – коэффициент, учитывающий нагревание проводника током короткого замыкания, соответствующий разности выделяемого тепла в проводнике до и после короткого замыкания

$$S_{\text{мин}} = \frac{9850 \cdot \sqrt{0,5}}{85} = 82 \text{ мм}^2.$$

Выбранное по экономической плотности тока сечение кабеля не проходит по термической устойчивости к току короткого замыкания.

По справочным данным и с учетом термической стойкости кабеля к токам короткого замыкания выбрано сечение жил кабеля 95 мм².

Для питания цеха выбран кабель ААШв-6-3×95.

9 Светотехнический расчет

Задача освещения помещения и находящихся в нем рабочих мест может быть решена путем устройства или рабочего освещения, или комбинированного освещения, то есть совокупности рабочего и местного освещения.

Рабочим называется освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием и рабочими местами, так и вспомогательную, местным – освещение, предназначенное только для определенного рабочего места и не создающее необходимой освещенности даже на прилегающих к нему площадях.

Основным источником света для рабочего освещения производственных помещений стали газоразрядные лампы. Нормы требуют применение их, как правило, для рабочего освещения помещений с работами разрядов 1-5 и 7, помещений без достаточного естественного освещения с постоянным пребыванием работающих и для рабочего освещения в системе комбинированного освещения.

Лампы накаливания сохраняют свое значение в основном только для помещений, где производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за работой оборудования, особенно если эти помещения не предназначены для постоянного пребывания людей. Они применяются также в тех случаях, когда использование газоразрядных ламп технически невозможно.

Определяющее значение при выборе типа источников света имеют высота помещения и требование к цветопередаче. При использовании люминесцентных ламп число светильников всегда значительно больше, чем при использовании ламп ДРЛ, и повышенная трудоемкость их обслуживания особенно сказывается в высоких помещениях, заставляя уже по одной этой причине переходить к лампам ДРЛ или ДРИ.

Обычной задачей расчета освещенности является определение числа и мощности светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности.

Расчет нагрузки освещения производится методом коэффициента использования светового потока. Данные записываем в таблицу 1.

Для освещения механического цеха, исходя из его характеристики, выбраны предварительно лампы ДРЛ. Норма минимальной освещенности механического цеха для ламп ДРЛ по справочнику составляет $E_{\text{мин}}=300$ лк.

Высота подвеса светильников расчетная h , м

$$h=N-h_c-h_p, \quad (49)$$

где N – высота цеха, м;

h_c – высота подвеса светильников, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м

$$h=10-2-0,8=7,2 \text{ м.}$$

По каталожным значениям, зная высоту подвеса, выбран тип светильника РСП 05.

Площадь цеха освещаемая S , м^2

$$S=A \cdot B, \quad (50)$$

где A – длина цеха, м;

B – ширина цеха, м

$$S=60 \cdot 48=2880 \text{ м}^2.$$

Индекс помещения j

$$j = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (51)$$

$$j = \frac{60 \cdot 48}{7,2 \cdot (60 + 48)} = 3,7.$$

Коэффициенты отражения потолка, стен и пола: $\rho_{\text{пот}}=50\%$, $\rho_{\text{ст}}=30\%$, $\rho_{\text{пол}}=10\%$.

В зависимости от индекса помещения и типа светильников по справочнику выбран коэффициент использования ламп $K_{\text{и}}=0,62$.

Расстояние между светильниками L , м

$$L = \lambda \cdot h, \quad (52)$$

где $\lambda = 0,9$ – наивыгоднейшее расстояние между светильниками к высоте подвеса над рабочей поверхностью.

$$L = 0,9 \cdot 7,2 = 6,5 \text{ м.}$$

Расстояние от стены до ближайшего светильника ℓ , м

$$\ell = 0,5 \cdot L, \quad (53)$$

$$\ell = 0,5 \cdot 6,5 = 3,25 \text{ м.}$$

Количество светильников, расположенных по длине цеха $N_{\text{дл}}$, шт

$$N_{\text{дл}} = (A - 2 \cdot \ell) / L, \quad (54)$$

$$N_{\text{дл}} = (60 - 2 \cdot 3,25) / 6,5 = 8,23 \approx 9 \text{ шт.}$$

Количество светильников, расположенных по ширине цеха $N_{\text{шир}}$, шт

$$N_{\text{шир}} = (B - 2 \cdot \ell) / L, \quad (55)$$

$$N_{\text{шир}} = (48 - 2 \cdot 3,25) / 6,5 = 6,39 \approx 7 \text{ шт.}$$

Число светильников общее N , шт

$$N = N_{\text{дл}} \cdot N_{\text{шир}}, \quad (56)$$

$$N = 9 \cdot 7 = 63 \text{ шт.}$$

Световой поток одной лампы $F_{\text{л}}$, лм

$$F_{\text{л}} = \frac{E_{\text{мин}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot K_u}, \quad (57)$$

где $K_3 = 1,5$ – коэффициент запаса;

$Z = 1,15$ – поправочный коэффициент

$$F_{\text{л}} = \frac{300 \cdot 2880 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{63 \cdot 0,62} = 38157 \text{ Лм.}$$

По каталогу в зависимости от напряжения сети и расчетному значению светового потока выбрана лампа ДРЛ мощностью 700 Вт со световым потоком 41000 лм.

Мощность общая всех ламп $P_{\text{н.общ}}$, Вт

$$P_{\text{н.общ}} = N \cdot P_{\text{н.л}}, \quad (58)$$

$$P_{\text{н.общ}} = 63 \cdot 700 = 44,100 \text{ Вт} = 44,1 \text{ кВт.}$$

Мощность активная расчетная осветительной нагрузки $P_{\text{расч}}$, кВт

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{н.общ}} \cdot K_{\text{сп}} \cdot K_{\text{попр}}, \quad (59)$$

где $K_{\text{попр}}=1,12$ – коэффициент поправочный на пускорегулирующую аппаратуру;

$K_{\text{сп}}=0,9$ – коэффициент спроса

$$P_{\text{расч}}=44,1 \cdot 0,9 \cdot 1,12=44,45 \text{ кВт.}$$

Мощность реактивная расчетная осветительной нагрузки $Q_{\text{расч}}$, кВАр

$$Q_{\text{расч}}=P_{\text{расч}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (60)$$

$$Q_{\text{расч}}=44,45 \cdot 1,33=59,1 \text{ кВАр.}$$

Результаты расчетов мощности активной и реактивной осветительной нагрузки заносим в таблицу 1.

10 Электрический расчет осветительной сети

Схема питания осветительной установки состоит из питающих групповых линий. К питающим линиям относят участки сети от источников питания до групповых щитков. Участки сети от групповых щитков до светильников называются групповыми линиями.

Питающие линии выполнены четырехпроводными. Исполнение ответвления к отдельным установкам также четырехпроводные – три жилы для фаз и четвертая – ноль. Сети освещения выполняются проводами одного и того же материала или, во всяком случае, на значительном ее участке. При выборе сечения проводов четырех проводной сети с лампами ДРЛ сечение нулевого провода принимают сечению фазных проводов из-за нелинейности вольт-амперной характеристики этих ламп.

Выбор напряжения осветительной установки производится одновременно с выбором напряжения для силовых потребителей. Питание рабочего освещения в проектируемом цехе осуществляется совместно с питанием электроприемников от трансформаторной подстанции напряжением 380/220В. Лампы ДРЛ включают на разные фазы для исключения стробоскопического эффекта. Для распределения электроэнергии применяется кабель марки АВВГ.

Осветительная сеть в цехе выполнена тросовой проводкой.

Расчет одной «линии» освещения.

Мощность расчетная одной «линии» освещения $P_{\text{лин}}$, кВт

$$P_{\text{лин}} = n \cdot P_{\text{н.л}} \cdot K_{\text{сп}} \cdot K_{\text{попр}}, \quad (61)$$

где n – количество ламп в одной «линии», шт;

$P_{\text{н.л}}$ – мощность лампы номинальная, кВт

$$P_{\text{лин}} = 9 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1,12 = 6,35 \text{ кВт.}$$

Ток расчетный одной «линии» $I_{\text{лин}}$, А

$$I_{\text{лин}} = \frac{P_{\text{лин}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\phi}, \quad (62)$$

где $\cos\phi = 0,6$ – коэффициент мощности ламп;

$U_{\text{н}}$ – напряжение сети номинальное, В

$$I_{\text{лин}} = \frac{6,35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 16,1 \text{ А.}$$

По расчетному току и в целях механической прочности токопроводящих жил выбрано из справочника сечение кабеля $S=4 \text{ мм}^2$.

Проверка предварительно выбранного сечения осветительной сети по потере напряжения.

Расчет осветительной сети по потере напряжения.

Одной из важнейших задач при устройстве осветительных сетей является обеспечение у ламп необходимого уровня напряжения, установленного нормативными документами, поскольку это зависит от сечений проводников сети. Потери напряжения не должны превышать 2,5 % от номинального напряжения сети.

Момент нагрузки расчетный до самого удаленного светильника $M_{\text{р}}$, кВт·м

$$M_{\text{р}} = P_{\text{н.л}} \cdot L, \quad (63)$$

где $L = 50 \text{ м}$ – расстояние до самого удаленного светильника

$$M_p=0,7 \cdot 50=35 \text{ кВт}\cdot\text{м.}$$

Потеря напряжения на участке до самого удаленного светильника ΔU ,
%

$$\Delta U = \frac{M_p}{S \cdot K_c} \quad (64)$$

где S – сечение кабеля, мм²;

$K_c = 46$ – коэффициент, зависящий от напряжения, рода тока и проводимости материала проводов

$$\Delta U = \frac{35}{4 \cdot 46} = 0,19 \%. \quad (65)$$

Предварительно выбранное сечение 4 мм² проходит по потере напряжения и следовательно подходит к установке.

Расчет сечения питающего кабеля сети освещения.

Ток расчетный сети освещения $I_{p.осв}$, А

$$I_{p.осв} = \frac{P_{расч} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\phi}, \quad (66)$$

где $P_{расч}$ – мощность осветительной сети расчетная, кВт

$$I_{p.осв} = \frac{44,45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,6} = 112,6 \text{ А.}$$

По расчетному току выбрано из справочника сечение питающего кабеля $S=50$ мм².

Выбор аппаратов защиты осветительной сети.

Для защиты от токов короткого замыкания и от перегрузок все «линии» освещения защищены автоматическими выключателями серии АЕ31 с номинальными параметрами: $I_{н.авт}=25$ А, $I_{т.расц}=20$ А, $I_{эл.рас}=250$ А.

Для защиты всей сети освещения по справочнику выбран вводной автоматический выключатель серии А3710Б с номинальными параметрами: $I_{н.авт}=160$ А, $I_{т.расц}=160$ А, $I_{эл.рас}=1000$ А.

Для размещения аппаратов защиты выбран по каталогу щит освещения ОЩВ-12 УХЛ4.

В цехе имеется аварийное освещение, которое обеспечивает в случае погасания светильников рабочего освещения минимальную освещенность, необходимую для временного продления деятельности персонала и обеспечения безопасности выхода людей из помещения.

Расчет аварийного освещения аналогичен расчету рабочего освещения.

Аварийное освещение выполнено лампами накаливания мощностью 500 Вт в количестве 12 шт.

Согласно требованиям ПУЭ щит аварийного освещения запитан кабелем от соседней трансформаторной подстанции.

11 Расчет заземления

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение конструктивных металлических частей электроустановки нормально не находящихся под напряжением с контуром заземления.

Заземление электроприемников должно выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ. В электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства не должно быть более 4 Ом.

В электроустановках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства не должно быть более 4 Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью с малыми токами замыкания на землю сопротивление должно удовлетворять условию:

$$R_3 = U_3 / I_3, \quad (67)$$

где U_3 – напряжение на заземляющем устройстве, В;

I_3 – ток замыкания на землю расчетный, А

При расчете заземляющего устройства определяются тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Этот расчет производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ.

Расчет заземляющего устройства сводится главным образом к расчету собственно заземлителя, так как заземляющие проводники в большинстве

случаев принимаются по условиям механической прочности и устойчивости к коррозии по ПТЭ и ПУЭ.

Грунт в месте заземления – суглинок.

Ток однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ I_3 , А

$$I_3 = \frac{U \cdot 35L_{КАБ} + L_B}{350}, \quad (68)$$

где $L_{каб} = 20$ км – протяженность суммарная электрически связанных между собой кабельных линий;

$L_B = 10$ км – протяженность суммарная электрически связанных между собой воздушных линий

$$I_3 = \frac{6 \cdot 35 \cdot 20 + 10}{350} = 12,2 \text{ А.}$$

Сопротивление заземляющего устройства для сети 6 кВ при общем заземлении R_3 , Ом

Заземляющее устройство используется одновременно для установок до и выше 1000 В, то напряжение на заземляющем устройстве $U_3=125$ В.

$$R_3 = 125/12,2 = 10,2 \text{ Ом.}$$

Сопротивление заземляющего устройства для сети 0,4 кВ должно быть не более 4 Ом, следовательно, расчёт ведём на наименьшее значение сопротивления заземляющего устройства при общем заземлении 4 Ом.

Сопротивление грунта удельное расчетное $\rho_{гр}$, Ом·см

$$\rho_{гр} = \rho_{из} \cdot \Psi_2, \quad (69)$$

где $\rho_{из} = 0,6 \cdot 10^4$ Ом·см – сопротивление грунта удельное измеренное;

$\psi_2 = 1,5$ – коэффициент повышения сопротивления

$$\rho_{гр} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 0,9 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

В качестве заземлителей выбраны прутковые электроды диаметром $d_{пр} = 12$ мм, длиной $L_{пр} = 5$ м.

Сопротивление одиночного пруткового электрода $R_{о.пр}$, Ом:

$$R_{о.пр} = 0,00227 \cdot \rho_{гр}, \quad (70)$$

$$R_{о.пр} = 0,00227 \cdot 0,9 \cdot 10^4 = 20,4 \text{ Ом}.$$

Выбрано размещение заземлителей в ряд с расстоянием между ними $a = 6$ м.

Число электродов предварительное $n_{пред}$, шт

$$n_{пред} = \frac{R_{о.пр}}{\eta \cdot R_3}, \quad (71)$$

где $\eta = 0,8$ – коэффициент использования заземлителя с учетом экранирования

$$n_{пред} = \frac{20,4}{0,8 \cdot 4} \approx 6 \text{ шт}.$$

Соединительные полосы между электродами выбраны стальные, имеющие размеры 40x4 мм.

Длина соединительной полосы $L_{пол}$, м

$$L_{пол} = n_{пред} \cdot a, \quad (72)$$

$$L_{\text{пол}}=6 \cdot 6=36 \text{ м.}$$

Сопротивление соединительной полосы $R_{\text{п}}$, Ом

$$R_{\text{п}}=R_{\text{о.п}}/\eta_{\text{п}}, \quad (73)$$

где $R_{\text{о.п}}=4$ Ом – сопротивление соединительной полосы;

$\eta_{\text{п}}=0,51$ – коэффициент использования полосы

$$R_{\text{п}}=4/0,51=7,8 \text{ Ом.}$$

Сопротивление заземлителей с учетом полосы R , Ом

$$R=\frac{R_{\text{п}} \cdot R_3}{R_{\text{п}} - R_3}, \quad (74)$$

$$R=\frac{7,8 \cdot 4}{7,8 - 4}=8,2 \text{ Ом.}$$

Количество заземлителей действующее $n_{\text{д}}$, шт

$$n_{\text{д}}=\frac{20,4}{0,51 \cdot 8,2} \approx 5 \text{ шт.}$$

К установке принято действующее число заземлителей 5 шт.

Заключение

В бакалаврской работе выполнено проектирование системы электроснабжения механического цеха станкостроительного завода. В результате выполнения поставленных задач окончательно принято для системы электроснабжения:

- система питания цеховых потребителей напряжением 380/220 В с частотой 50 Гц;

- схема блока «трансформатор-магистраль», которая выполнена шинопроводами. В цехе принято к установке четыре распределительных шинопровода и один магистральный шинопровод;

- для защиты электрооборудования выбраны автоматы серии А3710Б и предохранители серии ПР-2;

- внутреннюю проводку принято проложить в трубах во избежание повреждения электропроводки, так как станки, установленные в цеху, предназначены для механической обработки металла режущими инструментами;

- для компенсации реактивной мощности и повышения коэффициента мощности выбран компенсатор реактивной мощности устанавливаемый на стороне 0,4 кВ - КРМ-0,4-200;

- трансформаторная подстанция принята во внутрицеховом закрытом исполнении комплектного типа - КТП-630-6/0,4 кВ с трансформатором марки ТМЗ-630 мощностью 630 кВА. Выбранный распределительный трансформатор имеет изолированную нейтраль на стороне высокого напряжения 6 кВ и заземленную на стороне низкого напряжения;

- комплектное распределительное устройство выкатного исполнения серии КРУ2-10Э и высоковольтное оборудование: вакуумный выключатель типа ВБУ-10 на ток 1000 А, разъединитель типа РВ-10/400, трансформатор тока типа ТПЛМ-10/100 с коэффициентом трансформации 100/5;

- высоковольтный кабель ААШв-6-3×95. Высоковольтный кабель выбран по экономической плотности тока и проверен по термической устойчивости к току короткого замыкания;

- выполнен расчет освещения механического цеха, к установке приняты светильники типа РСП-05 в количестве 63 штук.

- в цехе проектом предусмотрено аварийное освещение, для этого выбраны светильники аварийного освещения в количестве 12 шт. Щит аварийного освещения, согласно требованиям ПУЭ, запитан кабелем от соседней трансформаторной подстанции.

- для защиты людей от поражения электрическим током заземляющее устройство напряжением до и выше 1000 В. В качестве заземлителей выбраны прутковые электроды диаметром 12 мм, длиной 5 м, в количестве 5 штук. Заземлители расположены в ряд с расстоянием между ними 6 м.

В результате выполнения бакалаврской работы спроектирована схема электроснабжения механического цеха, которая отвечает всем требованиям нормативных документов и правилам устройства электроустановок.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 104 с.
2. Ополева, Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие/ Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. - 416 с.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования /ред. Б.Н. Неклепаев. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 144 с.
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2012.— 108 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22738.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита. Учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х Халилов. - Лань, 2016. – 224 с.
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции. Учебное пособие / Ю.Д Сибикин. – РадиоСофт, 2014. – 416 с.
7. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42262.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев. – Энергия, 2013. – 304 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. / Б.И. Кудрин. - М. : Academia, 2012. - 352 с.
10. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.—

Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45148.html>.— ЭБС «IPRbooks»

11. Кузнецов С.М. Электронная защита от токов короткого замыкания и автоматика в распределительных устройствах 6-10 кВ тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45456.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 72 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ И.П. Крючков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2012.— 568 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33170.html>.— ЭБС «IPRbooks»

14. Электрические станции и сети [Электронный ресурс]: сборник нормативных документов/ — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2013.— 720 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17820.html>.— ЭБС «IPRbooks».

15. Электроснабжение. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: методические указания к практическим и курсовой работам/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 47 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55184.html>.— ЭБС «IPRbooks»

16. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник/ Филиппова

Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 294 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>.— ЭБС «IPRbooks»

17. Коннов А.А. Электрооборудование жилых зданий [Электронный ресурс]/ Коннов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 254 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63811.html>.— ЭБС «IPRbooks»

18. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов/ Крючков И.П., Пираторов М.В., Старшинов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 142 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57019.html>.— ЭБС «IPRbooks»

19. Wadhva, C. L. Electrical power systems (7th ed.)/ C. L. Wadhva – 7th ed - New Age International Publishers, 2016. – 970 p.

20. Rajput, Er. R.K. A Textbook of Power System Engineering / Er. R.K. Rajput – 2 ed - Laxmi Publications, 2015. – 1174 p.

21. Gowda, H.N.S. Power Transformers Technology and Practice / H.N.S. Gowda, P. Ramachandran - HNS Gowda, 2014. – 826 p.

22. Padilla, E. Substation Automation Systems: Design and Implementation / E. Padilla - Wiley-Blackwell, 2015. – 304 p.

23. Koch, H. J. Gas Insulated Substations / H. J. Koch - Wiley-Blackwell, 2014. – 490 p.