МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
СРЕДНЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ

Е.И.Полторак

Методические указания по выполнению курсового проекта по МДК.01.02 Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения для обучающихся специальности 13.02.07 Электроснабжение

Черкесск
2026

Содержание

Введение…….
Описание (краткое) технологического процесса проектируемого цеха по литературным источникам…….
Выбор напряжения цеховой сети и системы питания, силы света….
Выбор электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры для электроприемников на участке цеха (по заданию преподавателя)…..
Расчет электрического освещения цеха……..
Расчет электрических нагрузок цеха……
Выбор трансформатора……
Выбор схемы и компановки цеховых КТП…….
Выбор схемы силовой сети цеха ……
Выбор способов прокладки силовой сети цеха……..
Расчет необходимой мощности компенсирующих устройств и выбор мощности трансформаторов, места распределения цеховой трансформаторной подстанции…….
Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000В…….
Список использованной литературы……..
Приложения ……..
Методические указания по выполнению графической части проекта электроснабжения электроприемников цеха……..

Введение

Настоящие методические указания являются руководящими материалами для студентов, приступающих к выполнению курсового проекта, и знакомят их с объемом проектных работ, технологией проектирования и правилами оформления расчетных и графических материалов. Указания являются рекомендательными и не должны рассматриваться студентами как ограничивающие их инициативу при проектировании. В то же время правила оформления материалов проекта являются обязательными, чтобы обеспечить единое оформление всех курсовых проектов.

Курсовой проект имеет целью систематизировать и углубить знания студента, полученные при изучении теоретического курса, дать навыки для их практического применения при решении конкретно поставленной задачи. Студенту предоставляется возможность проявить свои творческие способности в области проектирования электроснабжения небольших цехов как подготовительной ступени к дипломному проектированию электроснабжения целых заводов или крупных цехов и корпусов.

В проекте должны найти отражение современные тенденции в решении вопросов электроснабжения промышленных предприятий и, в частности, необходимую надежность в обеспечении требований производства, высокую экономичность, широкое применение комплектных устройств для индустриализации электромонтажных работ, необходимое качество напряжения при изменении нагрузки, устранения опасности пожара или взрыва, а также обеспечение безопасности эксплуатации.

Методические разработки призваны помочь студентам закрепить изученный теоретический материал.

1. Описание (краткое) технологического процесса проектируемого цеха по литературным источникам

1. Техническое задание и исходные данные для проектирования выдаются студенту руководителем курсового проекта.
2. Проектант должен подробно ознакомиться с технологической схемой, режимами работы технологического и сантехнического оборудования, уточнить требования к надежности и бесперебойности электроснабжения и требования к качеству электроэнергии.

Необходимо обратить внимание на следующие моменты:

а) обоснованность требований автоматизации, блокирования и управления механизмами;

б) определение технологии среды производственных помещений по взрыво- и пожароопасности;

в) выбор типа и мощности электродвигателей, поставляемых комплектно с механизмами;

г) соответствие их среде производственных помещений;

3. Производится расчет электрических нагрузок по объекту проектирования в целом с учетом компенсации реактивных нагрузок, определение числа и мощности трансформаторов и мест подстанций.
4. Определяется схема питающей электросети 0,4 кВ. В зависимости от среды производственных помещений, характерных особенностей строительной и технологической частей проектируемых участков, цехов, объекта питающая сеть 0,4 кВ может быть выполнена по схеме:

- блок - трансформатор-магистраль;
- радиальной;
- радиально-магистральной.

Размещение комплектных трансформаторных подстанций может быть внутрицеховое, встроенное в производственное помещение и пристроенное к ним.

5. Затем составляет план питающей электросети, троллейных линий и сети заземления. На план наносятся все трансформаторные подстанции электропомещения, магистральные и распределительные шинопроводы, силовые распределительные пункты, станции и шкафы управления, комплектные компенсирующие устройства, секционные разъединители между магистралями, защитные и коммутационные аппараты на отпайках от магистралей, элементы троллейных линий и сети заземления.

На плане в масштабе М 1:100 даются маркировка, наименование и основные данные всех элементов и необходимые пояснения в примечаниях.

Методические указания по выполнению курсового проекта

В состав пояснительной записки **обязательно** входит: введение с указанием целей и задач данного проекта, перечень литературы, содержание пояснительной записки, перечень чертежей графической части.

1 Подготовительная часть

Ознакомившись с заданием, полученным от руководителя, необходимо подготовить план цеха и пролета с детальной планировкой в масштабах, как указано выше. Поскольку для работы необходимо иметь черновики планов, то сначала делается черновой план на миллиметровке. Строительная часть цеха и оборудование на планировке вычерчиваются тонкими линиями с тем, чтобы электросети, вычерченные более толстыми линиями, ясно выделялись на планах.

2 Выбор напряжения цеховой сети и системы питания, силы света

Рекомендуемое напряжение для цеховой сети 380/220 В. При наличие электроприемников большой мощности следует провести сравнение напряжений 380/220 и 660 В и отдать предпочтение более экономичному напряжению. Вопрос о совместном или раздельном питании силовой и осветительной нагрузки решается в зависимости от принятого напряжения питания, режимов работы силового электрооборудования и от категории бесперебойности электроснабжения потребителей.

3 Выбор электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры для электроприемников на участке цеха

Выбор типа электродвигателей и других электроприемников, пусковой и защитной аппаратуры к ним производится в соответствии с характером производства и окружающей среды по действующим каталогам и справочникам [приложение 2]. Для управления электродвигателями в нормальных помещениях выбираются обычные магнитные пускатели, а в пожароопасных и взрывоопасных помещениях – блоки управления типов Б5000, устанавливаемые в электропомещениях. Для электропечей, машин контактного нагрева и ламповых генераторов в отдельных шкафах с соответствующей автоматикой (которая не указывается) также устанавливаются блоки Б5000. Для управления сварочными машинами выбираются тиристорные контакторы типов ПСЛ. Сварочные трансформаторы дуговой сварки питаются через блоки БПВ – предохранитель-выключатель. Питание крановых троллей осуществляется через ящики Я5000. При выборе защитных аппаратов можно ориентироваться на предохранители или автоматы. В пояснительной записке подробное описание выбора электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры производится для одного – двух электроприемников, а для остальных – только результаты расчета, которые сводятся в таблицу (см. приложение 1). В приложении 2 приведены данные электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры.

Для всех ЭП важным показателем является их номинальная мощность. Для электродвигателей номинальные мощности выражаются в киловаттах: для однодвигательных ЭП – $p_н$, кВт; для многодвигательных – суммарная номинальная мощность – $P_н$, кВт. Номинальной (установленной) мощностью

плавильных электропечей и сварочных установок является мощность питающих их трансформаторов, выраженная в киловольт-амперах (кВА). Это же относится и к трансформаторам преобразовательных и выпрямительных агрегатов.

Основной группой промышленных потребителей электроэнергии являются электродвигатели. В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяются электродвигатели переменного тока: асинхронные с короткозамкнутым или с фазным ротором, синхронные. При напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономически целесообразнее применять асинхронные двигатели, а свыше 100 кВт – синхронные; при напряжении 10 кВ и мощности до 630 кВт – асинхронные двигатели, 450 кВт и выше – синхронные. Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются в мощных электроприводах с тяжелыми условиями пуска.

К общепромышленным установкам относятся вентиляторы, насосы, компрессоры, воздуходувки и т. д. В них применяются асинхронные и синхронные двигатели трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением от 380В до 10 кВ. Диапазон их мощностей различен – от долей киловатта (электродвигатели задвижек, затворов, насосов подачи смазки и т. п.) до десятков мегаватт (воздуходувки доменных печей, кислородные турбокомпрессоры). Основным агрегатам (насосы, вентиляторы) присущ продолжительный режим работы. Электродвигатели задвижек, затворов и т. п. работают в кратковременном режиме. Их коэффициент мощности находится в пределах 0,8–0,85. Синхронные двигатели работают в режиме перевозбуждения.

Данная группа электроприемников относится, как правило, к I категории по надежности электроснабжения. Некоторые вентиляционные и компрессорные установки относятся ко второй категории.

Наиболее многочисленной группой приемников электроэнергии являются металлорежущие станки. Напряжение сети, питающей двигатели станков, 380 или 660В, частота 50 Гц. На станках, где требуется высокая частота вращения и регулирование скорости, применяют двигатели постоянного тока; в остальных случаях – асинхронные с короткозамкнутым ротором. По надежности электроснабжения станки основных цехов предприятий относят ко II категории, а вспомогательных цехов – к III категории по надежности электроснабжения.

К электротехнологическим установкам относятся электронагревательные и электролизные установки, установки электрохимической, электроискровой и ультразвуковой обработки металлов, электросварочное оборудование. Наиболее распространенной группой электронагревательных установок являются электрические печи сопротивления, которые подразделяются на печи косвенного нагрева и прямого нагрева.

Печи сопротивления получают питание от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц, в основном напряжением 380/220В или на

более высокое напряжение через понижающие трансформаторы. Выпускаются печи в одно- и трехфазном исполнении, мощностью до нескольких тысяч киловатт. Характер нагрузки их ровный, однако, однофазные печи для трехфазных сетей представляют несимметричную нагрузку. Коэффициент мощности для печей прямого действия 0,7–0,9, для печей косвенного действия – 1,0. Печи сопротивления относятся ко II категории по надежности электроснабжения.

Индукционные плавильные печи выпускаются со стальным сердечником и без него, мощностью до 4500кВА. Питание индукционных печей и установок закалки и нагрева осуществляется от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220В и выше в зависимости от мощности.

Индукционные плавильные печи без сердечника и установки закалки и нагрева токами высокой частоты получают питание переменным током частотой до 40 МГц от преобразовательных установок, которые, в свою очередь, питаются от сетей переменного тока промышленной частоты.

Печи со стальными сердечниками выпускаются в одно-, двух- и трехфазном исполнении. Коэффициент мощности их колеблется в пределах 0,2–0,8 (у индукционных установок повышенной частоты – от 0,06 до 0,25).

Все перечисленные печи и установки индукционного нагрева относятся к приемникам II категории по надежности электроснабжения.

Дуговые электрические печи по способу нагрева разделяются на печи прямого, косвенного и смешанного нагрева. Дуговые печи получают питание от сетей переменного тока промышленной частоты напряжением до 110 кВ через специальные понижающие печные трансформаторы. Мощности современных дуговых электропечей достигают 100–125 МВА.

В период расплавления шихты возникают частые эксплуатационные короткие замыкания в процессе плавки и бестоковые паузы при выпуске стали и новой загрузке печи, в результате чего в питающих сетях наблюдаются толчковые нагрузки. Нагрузка от однофазных печей несимметричная. Коэффициент мощности 0,85–0,95. В отношении надежности электроснабжения дуговые печи относятся к приемникам первой категории.

Вакуумные электрические печи для выплавки высококачественных сталей и специальных сплавов относятся к приемникам особой группы первой категории, так как перерыв в питании вакуумных насосов приводит к дорогостоящему браку.

Электротехнологические установки, работающие на постоянном или переменном токе частотой, отличной от 50 Гц, питаются от преобразовательных установок, характеристики которых определяются режимом электротехнологической установки. Например, мощности электролизных установок для получения алюминия зависят от их производительности и достигают 150–180МВА. Питание преобразовательных установок электролиза осуществляется трехфазным переменным током частотой 50 Гц напряжением до 110 кВ (в зависимости от

мощности). Нагрузка их равномерная, симметричная. Коэффициент мощности составляет 0,8–0,9. Электролизные установки относятся к приемникам I категории по надежности электроснабжения.

Электросварочное оборудование питается напряжением 380 или 220В переменного тока промышленной частоты.

Для дуговой сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы однофазного и трехфазного исполнения. Источником постоянного тока при сварке служат вращающиеся и статические преобразователи.

Для автоматической дуговой сварки под слоем флюса или в защитном газе используют как трансформаторы, так и преобразователи трехфазного исполнения на напряжение 380 В.

Сварочные агрегаты для контактной сварки имеют однофазное исполнение.

Электросварочное оборудование работает в повторно-кратковременном режиме работы. Однофазные сварочные приемники (трансформаторы и другие установки) дают неравномерную нагрузку по фазам трехфазной питающей сети. Коэффициент их мощности колеблется в пределах 0,3–0,7. Сварочные установки по степени надежности относятся ко II категории.

Электропривод подъемно-транспортных устройств имеет повторно-кратковременный режим работы и относится ко II категории по надежности электроснабжения. На кран-балках и тельферах установлены двигатели с короткозамкнутым ротором, а на мостовых кранах – двигатели с фазным ротором.

Таблица 3.1. Данные электродвигателей

Тип двигателя	Мощность $P_н$, кВт	Частота, n об/мин	КПД, %	Cos φ
АИР80В2-ОМ2	2,2	3000	83	0,87
АИР80А4-ОМ2	1,1	1500	75	0,81
АИР80В4-ОМ2	1,5	1500	78	0,83
АИР80В6-ОМ2	1,1	1000	74	0,74
АИР90SB2	1,1	3000	79	0,82
АИР112S4	2,2	1500	84,5	0,84
АИР112S6	1,1	1000	82	0,76
АИР112М2У3	5,5	1500	85,5	0,86
АИР112МА6У3	3	1000	81	0,76
АИР112МВ6У3	4	1000	82	0,81
АИР112МА8У3	2,2	750	76,5	0,71
АИР112МВ8У3	3	750	79	0,74
АИР132М2У3	11	3000	88	0,9
АИР132S4У3	7,5	1500	87,5	0,86
АИР132М4У3	11	1500	87,5	0,87
АИР132S6У3	5,5	1000	85	0,8
АИР132М6У3	7,5	1000	85,5	0,81
АИР132S8У3	4	750	83	0,7

АИР132М8У3	5,5	750	83	0,74
АИ280S4У3	110	1500	93,5	0,91
АИ280М4У3	132	1500	94	0,93
АИ280S6У3	75	1000	92,5	0,9
АИ280М6У3	90	1000	93	0,9
АИ280S8У3	55	750	92	0,86
АИ280М8У3	75	750	93	0,87
АИ280S10У3	37	600	91	0,79
АИ280М10У3	45	600	91,5	0,79
АИ315S4У3	160	1500	93,5	0,91
АИ315М4У3	200	1500	94	0,92
АИ315S6У3	110	1000	93	0,92
АИ315М6У3	132	1000	93,5	0,9
АИ315S8У3	90	750	93	0,85
АИ315М8У3	110	750	93	0,86
АИ315S10У3	55	600	92	0,83
АИ315М10У3	75	600	92	0,83
АИ315S12У3	45	500	90,5	0,75
АИ315М12У3	55	500	91	0,75
АИ355S4У3	250	1500	94,5	0,92
АИ355М4У3	315	1500	94,5	0,92
АИ355S6У3	160	1000	94	0,9
АИ355М6У3	200	1000	94,5	0,9
АИ355S8У3	132	750	93,5	0,85
АИ355М8У3	160	750	93,5	0,85
АИ355S10У3	90	600	92,5	0,83
АИ355М10У3	110	600	93	0,83
АИ355S12У3	75	500	91,5	0,76
АИ355М12У3	90	500	92	0,76

4. Расчет электроосвещения цеха

4.1 Расчет рабочего освещения

По характеру зрительной работы и среды цеха по данным табл.4.1 выбирается вид системы освещения, нормируемую освещенность и вид источника света. Следует помнить, что наиболее экономичными являются газоразрядные источники света и комбинированная система освещения. При применении газоразрядных ламп с целью снижения пульсаций светового потока в каждой точке должны устанавливаться как минимум два светильника, которые должны запитываться от разных фаз.

Определяется световой поток одной лампы по выражению

$$Ф_л = \frac{E_{норм} \cdot S \cdot K_з}{K_и \cdot n}; \qquad (4.1)$$

Где

$E_{НОРМ}$ – нормируемая освещенность, лк;

S – площадь цеха;

$К_З$ – коэффициент запаса;

$К_И$ – коэффициент использования осветительной установки;

n – число ламп в цехе.

По полученному световому потоку выбирается мощность ламп по табл. 4.2 и выбирается тип светильника. При выборе типа светильника необходимо учитывать среду цеха. Определяется мощность рабочего освещения по формуле

$$P_{р.ос.} = \sum_{1}^{n} P_{л} \cdot К_{с} ; \qquad (4.2)$$

где

$К_С$ – коэффициент спроса ($К_С$=0.9-0.95).

Составляется план цеха, на который наносятся светильники и питающие сети рабочего освещения.

4.2 Расчет аварийного освещения

Расчет аварийного освещения производится аналогично рабочему освещению. Освещенность для аварийного освещения принимается равной 5 – 10 % от освещенности для рабочего освещения.

Таблица 4.1.– Нормируемые значения освещенности (в точке ее минимального значения) и КЕО для производственных помещений

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
						Освещенность, лк	
						при комбинированном освещении	при общем освещении
Наивысшей точности	< 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	1500
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000	1250
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	750
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1500	400
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	а	Малый	Темный	4000	1250
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000	750
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000	500
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1000	300
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	а	Малый	Темный	2000	500
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000	300
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200
Средней точности	От 0,5 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	300
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	300	150
Малой точности	От 1 до5	V	а	Малый	Темный	300	200
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	-	150
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-	100

Таблица 4.2-Мощности ламп и световой поток

Наименование (Philips)	Мощность	Световой поток
MASTER TL5 High Efficiency Super 80	14 Вт	1100, 1200
	21 Вт	1750, 1900
	28 Вт	2400, 2600
	35 Вт	3100, 3200
MASTER TL5 High Output Super 80	24 Вт	1650, 1750
	39 Вт	2950, 3100
	49 Вт	4100, 4300
	54 Вт	4250, 4450
	80 Вт	5850, 6100
TL5 Circular Super 80	22 Вт	1800
	40 Вт	3300
	55 Вт	4200
	60 Вт	5000
TL5 High Output 90 De Luxe	24 Вт	1300, 1400
	49 Вт	3400, 3700
	54 Вт	3500, 3800
MASTER TL-D Super 80	15 Вт	1000
	18 Вт	1300, 1350
	23 Вт	2050
	30 Вт	2300, 2400
	36 Вт	3100, 3250, 3350
	58 Вт	5200
	70 Вт	6200
MASTER TL-D Super 80	80 Вт	6200
	80 Вт	6200

Таблица 4.3- Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Световой поток ламп, лм, типов				
	ЛБ	ЛХБ	ЛТБ	ЛД	ЛДЦ
15	760	680	700	590	530
20	1180	950	975	920	820
30	2100	1800	1880	1640	1450
40	3000	2780	2780	2340	2100
65	4550	4100	4200	3570	3050
80	5220	4600	4720	4070	3560

5. Расчет электрических нагрузок цеха

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики ЭП цеха согласно таблице 5.1.

Таблица 5.1- Характеристики электроприемников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование электроприем-ников	Номинальная мощность, $p_н$, кВт, $s_н$, кВА	cos φ	кпд, η, %	Номинальный ток, $I_н$, А	Коэффициент использования, $K_и$
1	2	3	4	5	6	7

Значения коэффициентов мощности и коэффициентов использования для характерных групп электроприемников приведены в таблице 5.2 и таблице 5.3.

Таблица 5.2- Показатели электрических нагрузок электроприемников машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности

Наименование электроприемников	Коэффициенты		
	использо-вания	мощности cos φ	спроса
1	2	3	4
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и т.п.) …….……	0,12-0,14	0,4-0,5	0,14-0,16
- при крупносерийном производстве…	**0,16**	**0,5-0,6**	0,2
- при тяжелом режиме работы (штамповые прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки)…….	**0,17**	**0,65**	**0,25**
- с особо тяжелым режимом работы (приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.)……	**0,2-0,24**	**0,65**	**0,35-0,4**
Механические цехи, многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков……	**0,2**	**0,5-0,6**	**0,23**
Переносный электроинструмент…….	**0,06**	**0,5**	**0,1**
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-гигиеническая вентиля-ция…….	**0,6-0,65**	**0,8**	**0,65-0,7**
Насосы, компрессоры, двигатели-генераторы……	**0,7**	**0,85**	**0,75**
Краны, тельферы при ПВ-25%…….……	0,05	0,5	0,1
при ПВ-40%……	**0,1**	**0,5**	**0,2**
Элеваторы, транспортеры, шнеки, конвейеры: несблокированные……	0,4	0,75	0,5
сблокирован-	**0,55**	**0,75**	**0,65**

ные……			
Сварочные трансформаторы дуговой электросварки	**0,2**	**0,4**	**0,3**
Однопостовые сварочные двигатели-генераторы……	**0,3**	**0,6**	**0,35**
Многопостовые сварочные двигатели-генераторы	**0,5**	**0,7**	**0,7**
Сварочные машины: - шовные……	0,2-0,5	0,7	-
- стыковые и точечные……	**0,2-0,25**	**0,6**	-
Сварочные дуговые автоматы типа АДС……	**0,35**	**0,5**	**0,5**
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75-0,8	**0,95**	0,75-0,9
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий……..	0,5	0,95	0,8
Индукционные печи низкой частоты……	0,7	0,35	0,8
Двигатели-генераторы индукционных печей высокой частоты……..	0,7	0,8	0,8
Ламповые генераторы индукционных печей высокой частоты……...	**0,7**	**0,65**	**0,8**

Таблица 5.3 - Средние значения коэффициентов использования ($К_и$) и мощности (cosφ) для характерных групп электроприемников

Наименование электроприемников	$К_и$	cosφ
1	2	3
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные)	0,12 – 0,14	0,5
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17 – 0,20	0,65
То же, с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6 – 0,8	0,8 – 0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7 – 0,8	0,8 – 0,85
Краны, тельферы, кран балки при ПВ=25%	0,06	0,5
То же при ПВ=40%	0,1	0,5
Транспортеры	0,5 – 0,6	0,7 – 0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25 – 0,3	0,35 – 0,4
Конвейеры, элеваторы	0,4 – 0,5	0,75
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
То же многопостовые	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2 – 0,5	0,7

То же стыковые и точечные	0,2 – 0,25	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75 – 0,8	0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35
Индукционные печи высокой частоты	0,6	0,7
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85
Вентиляторы к дробилкам	0,4 – 0,5	0,7 – 0,75
Газодувки при синхронных двигателях	0,6	0,8 – 0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7
Смесительные барабаны	0,6 – 0,7	0,8
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Механизмы литейных цехов (очистные и галтовочные барабаны, бегуны, шаровые мельницы и т.п.)	0,25 – 0,35	0,65
Автоматические поточные линии	0,6	0,7
Формовочные машины	0,15 – 0,20	0,6
Деревообрабатывающие станки, токарные, сверлильные, футовочные, рейсмусовые, долбежные, строгальные и т.д.	0,17	0,6
Пилорамы, дисковые пилы	0,25 – 0,3	0,65
Дуговые сталеплавильные печи	0,6 – 0,75	0,9
Дуговые печи цветного металла	0,7 – 0,75	0,8
Центрифуги	0,9	1,0
Электролиз	0,6 – 0,8	0,95 – 1,0
Прядильные машины: капрона вискозного корда ацетатного шёлка	 0,65 0,5 0,7	 0,7 0,7 0,7
Перемоточные машины	0,78	0,8
Крутильные машины	0,64	0,8
Вытяжные машины	0,7	0,85
Ткацкие станки	0,74	0,7
Фильтр-прессы	0,33	0,55

Номинальные токи электроприемников берутся из паспортных данных или определяются по формулам:

1) для трехфазных электродвигателей и для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} U_{н} \cos \varphi \eta}, \text{ А;} \quad (5.1)$$

где

$\sum P_{н}$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт;

cosφ и η – коэффициент мощности и кпд наиболее мощного ЭП данного привода;

2) для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

$$I_{н} = \frac{S_{н} \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} U_{н}}, \text{ А}; \quad (5.2)$$

3) для однофазных электродвигателей на фазное напряжение ($U_{ф}$)

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^{3}}{U_{ф} \cos \varphi \, \eta}, \text{ А}; \quad (5.3)$$

4) для однофазных электродвигателей, подключаемых на линейное напряжение и являющихся нагрузкой двух фаз

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^{3}}{2 U_{ф} \cos \varphi \, \eta} = \frac{\sqrt{3} P_{н} \cdot 10^{3}}{2 U_{н} \cos \varphi \, \eta}, \text{ А}; \quad (5.4)$$

5) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на фазное напряжение

$$I_{н} = \frac{S_{н} \cdot 10^{3}}{U_{ф}}, \text{ А}; \quad (5.5)$$

6) для однофазных электрических печей, сварочных трансформаторов на линейное напряжение

$$I_{н} = \frac{\sqrt{3} S_{н} \cdot 10^{3}}{2 U_{н}}, \text{ А}; \quad (5.6)$$

7) для остальных трехфазных ЭП

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^{3}}{\sqrt{3} U_{н} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (5.7)$$

8) для остальных однофазных ЭП на фазное напряжение

$$I_{н} = \frac{P_{н} \cdot 10^{3}}{U_{ф} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (5.8)$$

9) для остальных однофазных ЭП на линейное напряжение

$$I_{н} = \frac{\sqrt{3} P_{н} \cdot 10^{3}}{2 U_{н} \cos \varphi}, \text{ А.} \quad (5.9)$$

Где

во всех формулах:

$P_{н}$, $S_{н}$ – номинальная мощность ЭП ($P_{н}$ – в кВт, $S_{н}$ – в кВА).

Расчет электрических нагрузок цеха и любого другого узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинопровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности ($K_{р}$). Расчетная активная мощность ($P_{р}$) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке ($I_{р}$), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

При расчете электрических нагрузок цеха или другого узла питания все ЭП распределяются на характерные группы с одинаковыми $K_{и}$ и cosφ. При этом резервные ЭП в расчете не учитываются и номинальные мощности ЭП с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму (ПВ = 100 %).

Для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если среди этих электродвигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Сначала производится расчет нагрузок для всего цеха с учетом освещения. Расчет производится в следующем порядке:

Для каждой характерной группы ЭП определяются средние активная ($P_{с}$) и реактивная ($Q_{с}$) мощности по формулам:

$$P_{с} = K_{и} P_{н}, \text{ кВт,} \quad (5.10)$$

$$Q_{с} = K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр} \quad (5.11)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования ($K_{и\,гр.}$), эффективного числа ЭП ($n_{э}$) и постоянной времени нагрева (T_{0}).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{и\,гр.} = \frac{\sum K_{и} P_{н}}{\sum P_{н}} \quad (5.12)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_э = \left(\sum_{i=1}^{n} p_{нi} \right)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n} np_{нi}^2 , \quad (5.13)$$

где

$n_э$ – число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума ($P_р$), что и группа из реального числа ЭП (n), различных по мощности и режиму работы;

$\sum_{i=1}^{n} p_{нi}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт;

$p_{нi}$ – номинальная (установленная) мощность i-го ЭП, кВт.

При большом числе ЭП цеха допускается определять эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_э = 2\left(\sum_{i=1}^{n} p_{нi} \right) \Big/ p_{н\,max} , \quad (5.14)$$

где

$p_{н\,max}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП цеха.

Найденное по формулам значение $n_э$ округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

– $T_0 = 10$ мин. – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, щиты. Значения $K_р$ для этих сетей в зависимости от $K_{и\,гр.}$ и $n_э$ принимаются по табл. 5.4;

– $T_0 = 2{,}5$ ч. – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов; значения $K_р$ принимаются по табл.5.5.

Таблица 5.4- Значения коэффициентов расчетной нагрузки $K_р$ для питающих сетей напряжением до 1000 В

$n_э$	Коэффициент использования $K_{и\,гр.}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0

11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,30	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 5.5- Значения коэффициентов расчетной нагрузки $K_р$ на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_э$	Коэффициент использования $K_{и\,гр.}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6–8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9–10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10–25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 – 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Расчетная активная мощность узла питания определяется по формуле:

$$P_р = K_р \sum K_и P_н \text{, кВт} \quad (5.15)$$

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от $n_э$ определяется по формулам:

при $n_э \le 10$ $Q_р = 1{,}1 \sum K_и P_н \operatorname{tg}\varphi$, кВАр; (5.16)

при $n_э > 10$ $Q_р = \sum K_и P_н \operatorname{tg}\varphi$, кВАр (5.17)

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от $n_э$ определяется по формуле:

$$Q_р = K_р \sum K_и P_н \operatorname{tg}\varphi, \text{ кВАр} \quad (5.18)$$

Полная расчетная мощность узла питания

$$S_р = \sqrt{P_р^2 + Q_р^2}, \text{ кВА} \quad (5.19)$$

На шинах низкого напряжения цеховой КТП при совместном питании силовой и осветительной нагрузки полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_р = \sqrt{\left(P_р + P_{роу}\right)^2 + \left(Q_р + Q_{роу}\right)^2}, \text{ кВА} \quad (5.20)$$

Расчетный ток узла питания

$$I_р = \frac{S_р}{\sqrt{3}U_н}, \text{ А} \quad (5.21)$$

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания необходимо учесть наличие однофазных электроприемников.

При наличии одного однофазного ЭП и включении его на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью:

$$p_н = 3p_{н.о}; \quad q_н = 3q_{н.о}, \quad (5.22)$$

где

$p_{н.о}$, $q_{н.о}$ – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью

$$p_н = \sqrt{3}p_{н.о}; \quad q_н = \sqrt{3}q_{н.о} \quad (5.23)$$

При наличии группы однофазных ЭП они должны быть распределены по фазам. Далее определяется нагрузка каждой фазы от однофазных ЭП суммированием установленной мощности однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение, и

Таблица 5.6- Расчет электрических нагрузок

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП** $n_э = (\Sigma P_н)^2 / \Sigma np_н^2$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_р$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_р = S_р / (\sqrt{3} U_н)$
по заданию технологов				по справочным данным		$K_и P_н$	$K_и P_н \operatorname{tg}\varphi$	$np_н^2$			активная, кВт $P_р = K_р \Sigma K_и P_н$	реактивная, кВАр** $Q_р = 1{,}1 \Sigma K_и P_н \operatorname{tg}\varphi$ при $n_э \le 10$; $Q_р = \Sigma K_и P_н \operatorname{tg}\varphi$ при $n_э > 10$	полная, кВА $S_р = \sqrt{P_р^2 + Q_р^2}$	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		коэффициент использования $K_и$	коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos\varphi}{\operatorname{tg}\varphi}$									
		одного ЭП $p_н$	общая $P_н = np_н$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

* Резервные ЭП, а также ЭП, работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

** При расчете электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию: допускается определять $n_э$ по выражению

$$n_э = 2\Sigma P_н / p_{н.макс},$$

расчетная реактивная мощность принимается равной

$$Q_р = K_р K_и P_н \operatorname{tg}\varphi = P_р \operatorname{tg}\varphi .$$

мощности однофазных ЭП, подключенных на линейное напряжение, с использованием коэффициентов приведения нагрузок к одной фазе по формулам:

$$P_{нA(о)} = \sum p_{нA} + \sum p_{нAB}\, p_{(AB)A} + \sum p_{нAC}\, p_{(AC)A}, \text{ кВт;}$$
$$P_{нB(о)} = \sum p_{нB} + \sum p_{нAB}\, p_{(AB)B} + \sum p_{нBC}\, p_{(BC)B}, \text{ кВт;} \quad (5.24)$$
$$P_{нC(о)} = \sum p_{нC} + \sum p_{нAC}\, p_{(AC)C} + \sum p_{нBC}\, p_{(BC)C}, \text{ кВт,}$$

где

$\sum p_{нA}, \sum p_{нB}, \sum p_{нC}$ – суммарная мощность однофазных ЭП на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз *A*, *B* и *C*; $p_{нAB}$, $p_{нAC}$, $p_{нBC}$ – номинальные мощности однофазных ЭП на линейное напряжение, подключенных соответственно к фазам *A* и *B*, *A* и *C*, *B* и *C*; $p_{(AB)A}$, $p_{(AB)B}$, $p_{(AC)A}$, $p_{(AC)C}$, $p_{(BC)B}$, $p_{(BC)C}$ – коэффициенты приведения по активной мощности (в скобках указаны фазы, от которых запитан однофазный ЭП, за скобкой – фаза, для которой определяется нагрузка).

Значения коэффициентов приведения однофазных нагрузок по активной мощности представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.7- Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, cosφ								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
p(AB)A, p(BC)B, p(AC)C	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
p(AB)B, p(BC)C, p(AC)A	–0,4	–0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5

Затем определяется общая мощность трехфазных и однофазных ЭП каждой фазы:

$$P_{нA} = P_{нA(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт;}$$
$$P_{нB} = P_{нB(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт;} \quad (5.25)$$
$$P_{нC} = P_{нC(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт,}$$

где

$\sum P_{н3}$ – суммарная установленная мощность трехфазных ЭП узла питания, кВт.

Рассчитывается неравномерность загрузки фаз ($\Delta P_{нр}$):

$$\Delta P_{нр} = \frac{P_{н\,max} - P_{н\,min}}{P_{н\,min}} \cdot 100 \text{ , \% , } (5.26)$$

где

$P_{\text{н max}}$, $P_{\text{н min}}$ – соответственно номинальные мощности максимально и минимально нагруженной фазы.

При неравномерности нагрузки фаз не более 15 % однофазные ЭП учитываются при расчете нагрузок как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы:

$$P_{\text{н(о)}} = 3P_{\text{н max(о)}} \text{, кВт. (5.27)}$$

6. Выбор трансформаторов

Как правило, цеховые трансформаторные подстанции (ТП) встроены в здание цеха или пристроены к нему. Пристроенной называется подстанция, непосредственно примыкающая к основному зданию, встроенной – подстанция, вписанная в общий контур здания, внутрицеховая – расположенная внутри производственного здания (в открытом или отдельном закрытом помещении).

Отдельно стоящие закрытые цеховые подстанции устанавливают, когда невозможно разместить ТП внутри цехов или у наружных их стен по требованиям технологии или пожаро- и взрывоопасности производства. Отдельно стоящие ТП целесообразно применять при питании от одной подстанции нескольких рядом расположенных цехов с небольшой электрической нагрузкой.

По возможности ТП устанавливают в центре электрических нагрузок, максимально приближая к цеховым электроприемникам, что позволяет сократить протяженность сетей 0,4 кВ и уменьшить в них потери мощности и энергии.

Возможно применение цеховых ТП с размещением распределительного устройства (щита) низкого напряжения в цехе, а трансформаторов – снаружи около питаемых от него производственных зданий.

Варианты размещения цеховых КТП представлены на рис. 1.

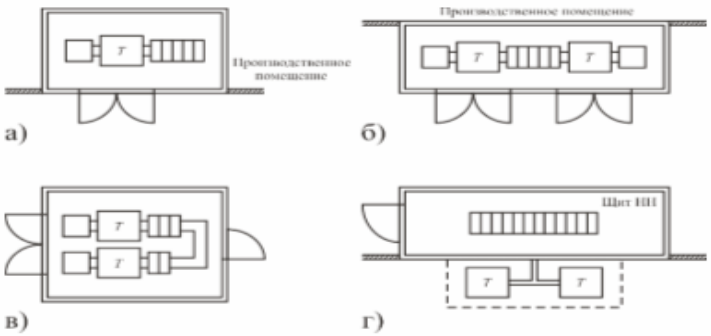


Рис.6. 1 – Варианты размещения цеховых КТП и их компоновки: а – однотрансформаторная КТП встроенного типа; б – двухтрансформаторная КТП пристроенного типа однорядного исполнения; в – двухтрансформаторная КТП отдельно стоящая двухрядного исполнения; г – КТП с наружной установкой трансформаторов

На выбор числа трансформаторов влияет категория потребителей по надежности электроснабжения, график нагрузки цеха и удельная мощность нагрузки. Однотрансформаторные подстанции при наличии складского резерва можно использовать для питания электроприемников III и даже II категории. Однотрансформаторные КТП можно применить и для питания электроприемников I категории, если их мощность не превышает 15–20 % мощности трансформатора и возможно резервирование подстанций на вторичном напряжении перемычками с АВР.

Двухтрансформаторные цеховые подстанции применяют при преобладании электроприемников I и II категории и в энергоемких цехах при большой удельной мощности нагрузки $0,5 \div 4$ кВА/м^2. Двухтрансформаторные КТП используют для питания электроприемников любой категории по надежности электроснабжения в следующих случаях:

1) суточный или годовой график нагрузки цеха очень неравномерен (например, односменная работа цеха, когда выгодно в ненагруженные часы отключать один трансформатор);

2) возможен дальнейший быстрый рост нагрузки;

3) удельная мощность нагрузки не менее 0,4 кВА/м^2.

Более двух трансформаторов используют для питания цеховых ЭП при необходимости раздельного питания силовой и осветительной нагрузки цеха; если имеются мощные ЭП, требующие блочного питания, или нагрузка цеха превышает нагрузочную способность двухтрансформаторной КТП с трансформаторами мощностью 2500 кВА (приблизительно > 3500 кВА).

Следует учесть, что если нагрузка цеха не более 400 кВА, то экономически нецелесообразно устанавливать собственную КТП в этом цехе.

Необходимо объединить нагрузки рядом расположенных цехов и выбрать ТП по суммарной мощности, расположив ее в центре электрических нагрузок.

Мощность трансформатора в однотрансформаторной КТП выбирается по условию:

$$S_{\text{нт}} \geq S_{\text{р}}, \text{ кВА}, \quad (31)$$

где

$S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$S_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка цеха, кВА.

Для двухтрансформаторных подстанций

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_{\text{р}}}{2K_{\text{з}}}, \text{ кВА}, \quad (32)$$

где

$K_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки трансформатора, принимаемый при преобладании потребителей I категории (до 80 %) в пределах $0,6 \div 0,7$; при преобладании потребителей II категории – $0,7 \div 0,8$; для III категории – $0,95 \div 1$.

В последние годы ведется поиск наиболее эффективных методов выбора цеховых трансформаторов. Один из подходов к решению этой задачи основан на применении комплексного метода расчета электрических

нагрузок (прогноз увеличения нагрузки во времени и в зависимости от технологических показателей цеха). В этом случае выбор мощности цеховых трансформаторов можно произвести по удельной плотности нагрузки ($S_{руд}$):

Таблица 6.1– Расчет электрических нагрузок

$S_{руд}$, кВА/м^2……менее 0,2;	$0{,}2 \div 0{,}5$;	более 0,5
$S_{нт}$, кВА……...до 1000;	$1000 \div 1600$;	$1600 \div 2500$

Далее по таблице 6.2 следует выбрать тип трансформатора и привести его технические характеристики.

При выборе двухтрансформаторной КТП необходимо определить нагрузку секций шин, распределив ЭП цеха между цеховыми трансформаторами. Цеховые ЭП могут питаться либо от шин КТП непосредственно, либо через силовые распределительные пункты в зависимости от их единичной мощности. Линейные панели РУНН КТП комплектуются автоматическими выключателями (АВ) с номинальным током $I_{на} \geq 250$ А, снабженные тепловыми расцепителями с номинальным током $I_{нтр} \geq 100$ А. Силовые распределительные пункты (РП) комплектуются АВ с $I_{на} \leq 250$ А с $I_{нтр} \leq 250$ А. В связи с этим мощные ЭП с номинальным током $I_{н} > 250$ А можно питать только от шин КТП непосредственно, ЭП с $I_{н} \leq 80$ А – только через распределительные пункты, ЭП с $80 < I_{н} \leq 250$ А можно питать либо от шин КТП непосредственно, либо через РП. ЭП малой и средней мощности объединяют в группы по территориальному признаку и питают либо от распределительных шинопроводов (ШРА) при магистральных схемах цеховых сетей, либо от РП при радиальных схемах. Нагрузки ШРА и РП определяют по методу коэффициента расчетной активной мощности и результаты сводят в таблицу, аналогичную табл. 5.6. Расчет электрических нагрузок секций шин также приводят в табличной форме.

Таблица 6.2- Технические данные силовых трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, $S_{нт}$, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Ток ХХ, $i_х$, %	Напряжение КЗ, $U_к$, %	Габаритные размеры, мм			Масса, кг	
		$U_{вн}$	$U_{нн}$		ХХ, $P_х$	КЗ, $P_к$			длина	ширина	высота	масла	полная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТСЗ-25/10-У3	25	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,15	0,60	2,8	4,5	770	725	1230	–	320
ТСЗ-40/10-У3	40	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,255	0,88	2,6	4,5	810	725	1230	–	410
ТСЗ-63/10-У3	63	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,30	1,28	1,8	4,5	850	725	1230	–	440
ТСЗ-100/10-У3	100	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,40	1,72	1,6	4,5	890	725	1395	–	560
ТСЗГЛ-100/10-У3	100	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	0,60	1,30	2,0	4,0	1470	1100	1400	–	850
ТСЗГЛФ-100/10-У3									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-160/10-У3	160	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	0,65	2,15	1,4	4,0	1470	1100	1500	–	900
ТСЗГЛФ-160/10-У3									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-250/10-У3	250	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	0,90	3,00	2,5	5,5	2050	1170	1845	–	1500
ТСЗГЛФ-250/10-У3									2090	1170	2200	–	1540
ТСЗГЛ-400/10-У3	400	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	1,20	3,90	2,5	5,5	2050	1170	2100	–	1705
ТСЗГЛФ-400/10-У3									2090	1170	2200	–	1760

ТСЗГЛ-630/10-У3	630	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	1,65	5,73	2,0	5,5	2050	1260	2000	–	2180
ТСЗГЛФ-630/10-У3									2100	1260	2200	–	2200
ТСЗГЛ-1000/10-У3	1000	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	2,15	8,40	1,5	6,0	2250	1260	2200	–	3150
ТСЗГЛФ-1000/10-У3								8,0	2300	1260	2200	–	3170
ТСЗГЛ-1250/10-У3	1250	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	2,25	10,6	1,0	6,0	2250	1260	2200	–	3550
ТСЗГЛФ-1250/10-У3								8,0	2300	1260	2200	–	3570
ТСЗГЛ-1600/10-У3	1600	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	3,20	11,3	1,0	6,0	2510	1260	2410	–	4660
ТСЗГЛФ-1600/10-У3								8,0	2560	1260	2410	–	4660
ТСЗГЛ-25000/10-У3	2500	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	4,40	16,4	0,5	6,0	2800	1620	2420	–	5500
ТСЗГЛФ-2500/10-У3								8,0	2800	1620	2420	–	5500
ТСЗ-16/0,66-УХЛ4	16	0,38; 0,66	0,23	У/$У_н$-0	0,115	0,44	3,0	3,8	800	440	860	–	160
ТСЗ-25/0,66-УХЛ4	25	0,38; 0,66	0,23	У/$У_н$-0	0,155	0,60	3,0	3,8	810	440	940	–	195
ТСЗ-40/0,66-УХЛ4	40	0,38; 0,66	0,23	У/$У_н$-0	0,22	0,88	3,0	3,8	880	440	980	–	240
ТСЗ-63/0,66-УХЛ4	63	0,38; 0,66	0,23	У/$У_н$-0	0,29	1,28	3,0	3,8	920	440	1100	–	310
ТСЗ-100/0,66-УХЛ4	100	0,38;	0,23	У/$У_н$-0	0,39	1,45	3,0	3,8	980	550	1120	–	460

		0,66											
ТСЗ-160/10	160	6; 10	0,23; 0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,70	2,70	4,0	5,5	1800	950	1700	–	1400
ТСЗ-250/10	250	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,00	3,80	3,5	5,5	1850	1000	1850	–	1800
ТСЗ-400/10	400	6; 10	0,23; 0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,30	5,40	3,0	5,5	2250	1000	2160	–	2400
ТСЗ-630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	2,00	7,30	1,5	5,5	2250	1000	2300	–	3400
ТСЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	3,00	11,20	1,5	5,5	2400	1350	2550	–	4600
ТСЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	4,20	16,00	1,5	5,5	2650	1350	3200	–	6500
ТМ-25/10	25	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,13	0,6	3,2	4,5	1120	460	1225		380
ТМ-40/10	40	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,175	0,88	3,0	4,5	1120	480	1270		485
ТМ-63/10	63	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,24	1,28	2,8	4,5	1120	560	1400		600
ТМ-100/10	100	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,33	1,97	2,6	4,5	1200	800	1470		720
ТМ-160/10	160	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,51	2,65	2,4	4,5	1220	1020	1600		1100
			0,69			3,10		6,5					
ТМ-250/10	250	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,74	3,7	2,3	6,5	1310	1050	1760		1425
			0,69	Д/$У_н$-11		4,2		6,5					
ТМЗ-250/10	250	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,75	3,7	2,3	4,5	1800	1400	1750		1700
ТНЗ-250/10													2000
ТМ-400/10; ТМН-400/10	400	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,95	5,5	2,1	4,5	1400	1080	1900	700	1900
			0,69	Д/$У_н$-11		5,9							
ТМЗ-400/10	400	6;	0,4;	У/$У_н$-0;	0,92	5,5	2,1	4,5	1860	2000	1400		2100

ТНЗ-400/10		10	0,69	Д/$У_н$-11									2600
ТМ-630/10; ТМН-630/10	630	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,31	7,6	2,0	5,5	1750	1275	2150		3000
			0,69	Д/$У_н$-11		8,5							
ТМЗ-630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,42	7,6	1,8	5,5	2000	2190	1400		2900
ТНЗ-630/10													3400
ТМ-1000/10	1000	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	2,45	12,2	1,4	5,5	2700	1750	3000	1000	5000
			0,69	Д/$У_н$-11		11,6							
ТМН-1000/10	1000	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	2,45	12,2	1,4	5,5	3450	1000	3400	2000	8000
			0,69	Д/$У_н$-11									
ТМЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	2,45	10,6	1,4	5,5	2300	232	1500		4170
ТНЗ-1000/10													5600
ТМ-1600/10; ТМН-1600/10	1600	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	3,30	18,0	1,3	5,5	2450	2300	3400		7000
			0,69	Д/$У_н$-11					3700	1850	4000		9600
ТМЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	3,30	18,0	1,3	5,5	2700	2650	1600		6500
ТНЗ-1600/10													8000
ТМ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	Д/$У_н$-11	4,60	26,0	1,0	5,5	3500	2260	3600		8000
ТМН-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	Д/$У_н$-11; У/Д-11	4,60	23,5	1,0	5,5	3650	2230	4000		12200
ТМЗ-2500/10	2500	6; 10	0,4; 0,69	Д/$У_н$-11; У/$У_н$-0	4,60	24,0	1,0	5,5	2900	2900	1800		10000
ТНЗ-2500/10													12000
ТМГ11-400/10-У1	400	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	0,83	5,4	0,8	4,5	1350	855	1415	325	1255
ТМГ11-630/10-У1	630	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,06	7,45	0,6	5,5	1545	1000	1540	450	1860
ТМГ11-1000/10-У1	1000	6; 10	0,4	У/$У_н$-0; Д/$У_н$-11	1,4	10,8	0,5	5,5	1720	1135	1860	795	2750
ТМГ11-1250/10-У1	1250	6; 10	0,4	Д/$У_н$-11	1,65	13,5	0,5	6,0	1825	1130	2020	875	3250
ТМГ11-	1600	6;	0,4	Д/$У_н$-11	2,15	16,5	0,4	6,0	2180	1260	2170	1300	4250

1600/10-У1		10											
ТМГСУ-25/10-У1	25	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,115	0,60	2,8	5,5	900	530	930	65	280
ТМГСУ-40/10-У1	40	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,115	0,88	2,6	4,5	900	560	1000	98	370
ТМГСУ-63/10-У1	63	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,22	1,28	1,8	4,5	940	730	1020	130	420
ТМГСУ-100/10-У1	100	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,27	1,97	1,2	4,5	1000	720	1180	152	540
ТМГСУ-160/10-У1	160	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,41	2,60	1,0	4,5	1120	750	1200	175	680
ТМГСУ-250/10-У1	250	6; 10	0,4	У/$У_н$-0	0,58	3,70	0,8	4,5	1220	840	1240	250	950

Примечание: 1. ТСЗГЛ, ТСЗГЛФ – трехфазные сухие трансформаторы с геафоливой литой изоляцией, класс нагревостойкости изоляции – F (геафоль – эпоксидный компаунд с кварцевым наполнителем): ТСЗГЛ – вводы ВН внутри кожуха; ТСЗГЛФ – вводы ВН выведены на фланец, расположенный на торцевой поверхности кожуха. 2. ТМГ – трехфазный масляный герметичный трансформатор. 3. ТМГСУ – трехфазный масляный герметичный с симметрирующим устройством трансформатор, обеспечивающий поддержание симметричности фазных напряжений в сетях потребителей с неравномерной пофазной нагрузкой. Сопротивление нулевой последовательности этих трансформаторов в среднем в три раза меньше, чем у трансформаторов без симметрирующего устройства.

7. Выбор схемы и компоновки цеховой КТП

Цеховые трансформаторные подстанции, как правило, не имеют распределительного устройства высокого напряжения (РУ ВН) и состоят из шкафов ввода высокого напряжения, трансформаторов и распределительного устройства низкого напряжения (РУ НН).

В состав подстанции может входить РУ ВН, если в цехе имеются высоковольтные электроприемники (двигатели, электротехнологические установки), либо если цеховые трансформаторы запитаны по магистральной схеме. Цеховая трансформаторная подстанция может не иметь РУНН, если цеховые электрические сети выполняются по схеме "блок трансформатор – магистраль" (БТМ). В этом случае функцию распределительного устройства низкого напряжения выполняет магистральный шинопровод (ШМА), проложенный в цехе.

РУ НН состоит из панелей распределительных щитов: вводных, линейных, секционной. Линейные панели комплектуются трансформаторами тока, амперметрами и коммутационно-защитной аппаратурой следующих видов:

1) блоки рубильник – предохранитель с $I_{\text{на}} = 100\ ;\ 250;\ 400\ \text{А}$ (2×100 + 2×250; 4×250; 2×250 + 2×400);

2) рубильник, предохранитель с $I_{\text{на}} = 600\ \text{А}$;

3) рубильники, автоматические выключатели с $I_{\text{нтр}} \geq 100\ \text{А}$ (6×100; 4×250; 2×600; 4×100);

4) автоматические выключатели с $I_{\text{нтр}} \geq 100\ \text{А}$ (6×100; 4×250; 2×600; 4×100);

5) разъединитель, автоматический выключатель с $I_{\text{нтр}} = 400\ ;1000\ \text{А}$ (1×400; 1×1000).

Вводные панели комплектуются трансформаторами тока, амперметрами, вольтметрами и коммутационно-защитными аппаратами:

1) рубильник, предохранитель;

2) разъединитель;

3) разъединитель, автоматический выключатель.

Секционные панели комплектуются либо рубильником, либо разъединителем, а также автоматическим выключателем с рубильниками или разъединителями.

Автоматические выключатели в панелях РУНН могут иметь стационарное исполнение или выдвижное, что влияет на компоновку цеховой подстанции. В таблице 7.1 приведены способы компоновки цеховых КТП при однорядном и двухрядном расположении панелей со стационарными и выдвижными выключателями.

В данном разделе необходимо указать способ присоединения цеховых трансформаторов к распределительной сети, тип выбранной КТП, ее комплектацию и компоновку.

Таблица7.1 – Планы двухтрансформаторных цеховых КТП

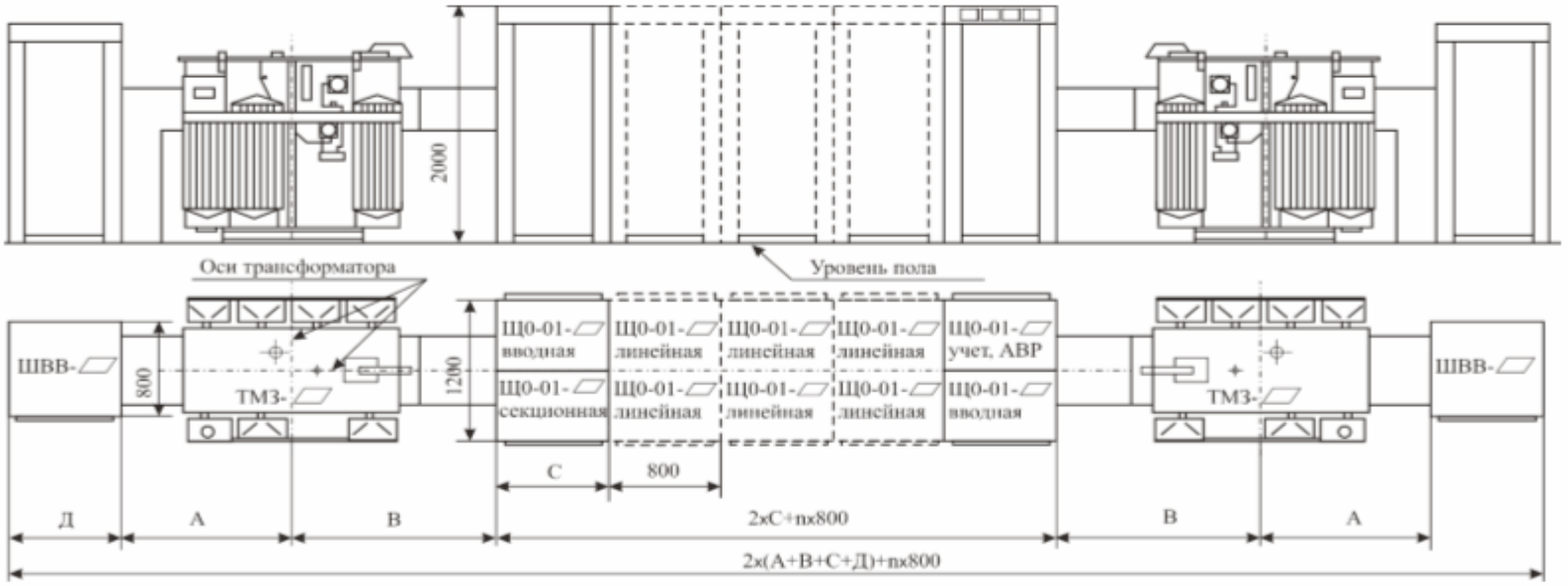


Рис. 1. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения со стационарными выключателями

Наименование	**Условные обозначения размера, мм**					
	А	В	С		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	

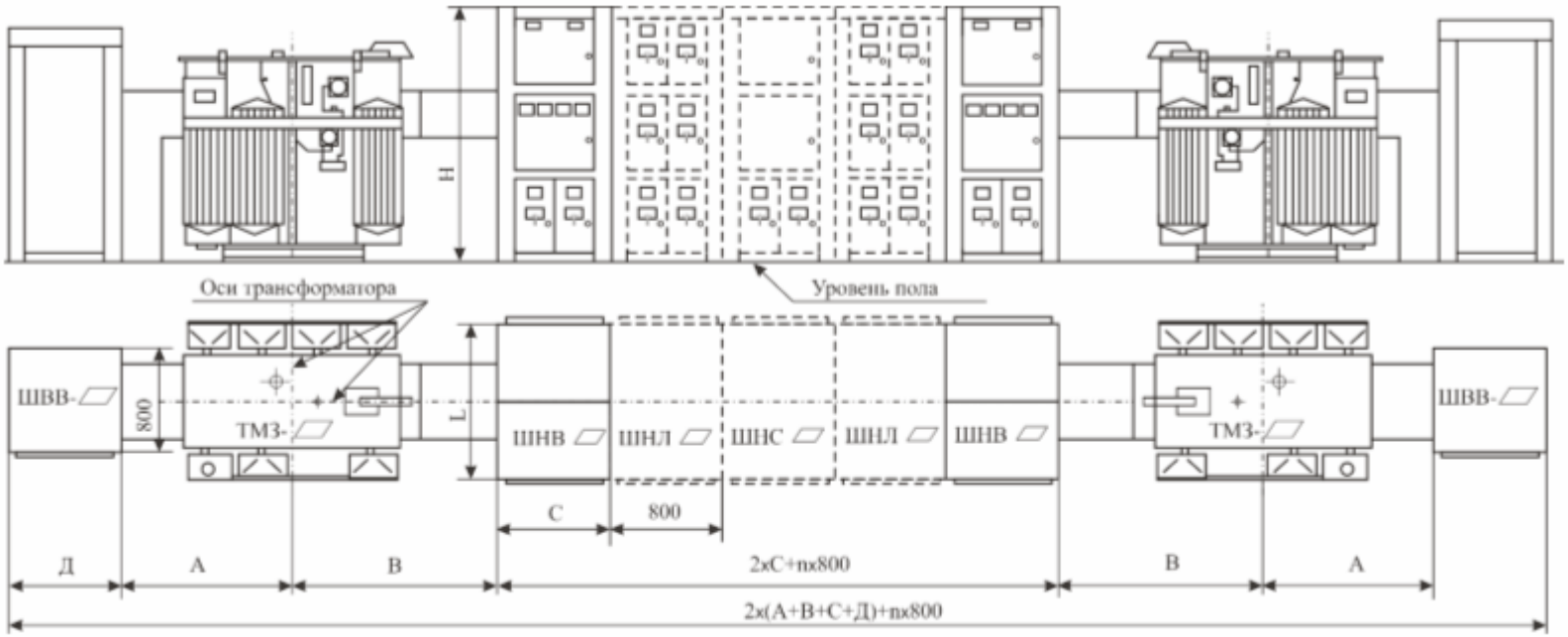


Рис. 2. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения с выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения **с выдвижными выключателями**

Наименование	**Условные обозначения размера (мм)**									
	A	B	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"			Шкафы с выключателями фирмы "Merlin Gerin"		
					C	L	H	C	L	H
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН			В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	2400	1000	1200	2300
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	2400	1000	1200	2300

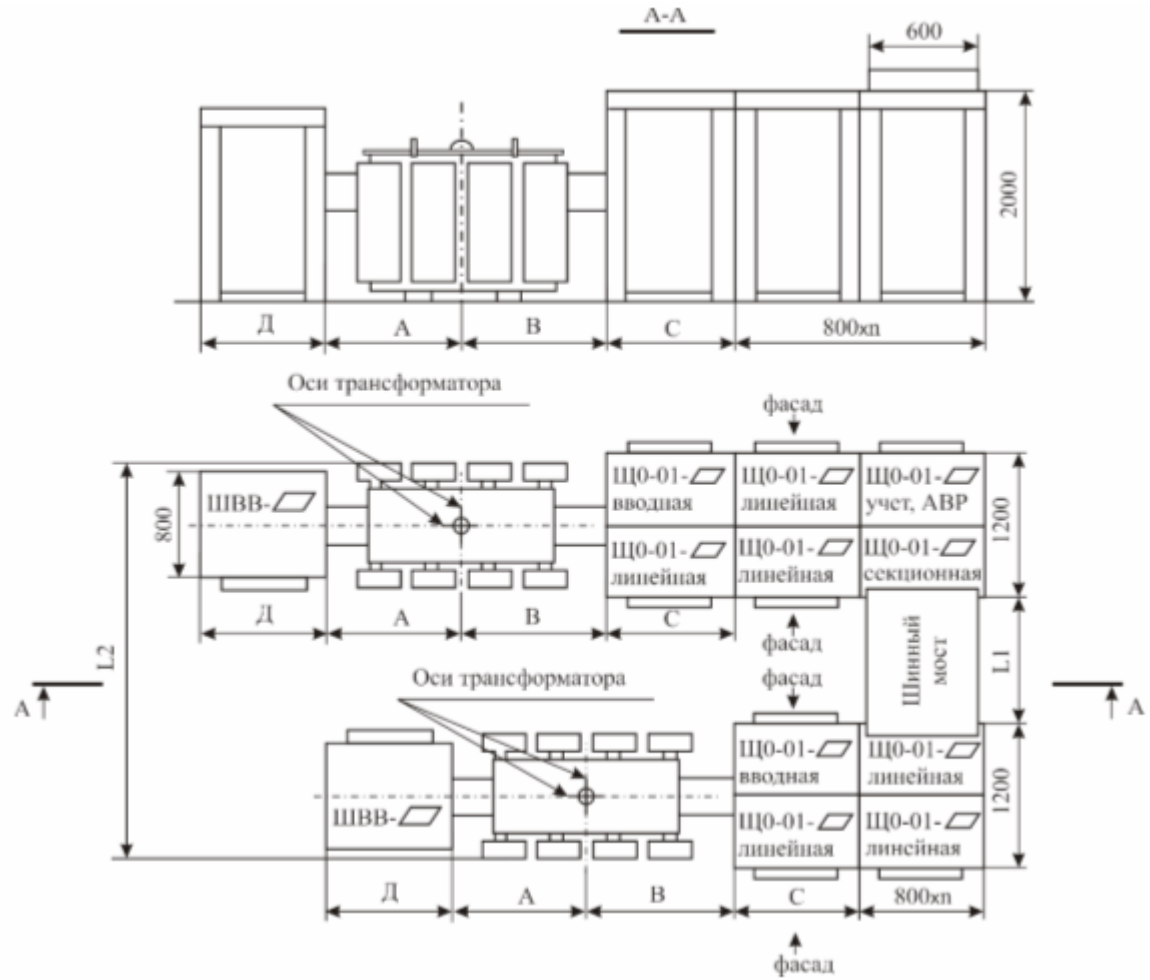


Рис. 3. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП **двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями**

Наименование	**Условные обозначения размера, мм**					
	A	B	C		Д	
КТП-250кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводной панели РУНН	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	
КТП-1600 кВА	1300	1800	800 (1120)		1120 (800)	
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120		1120 (800)	

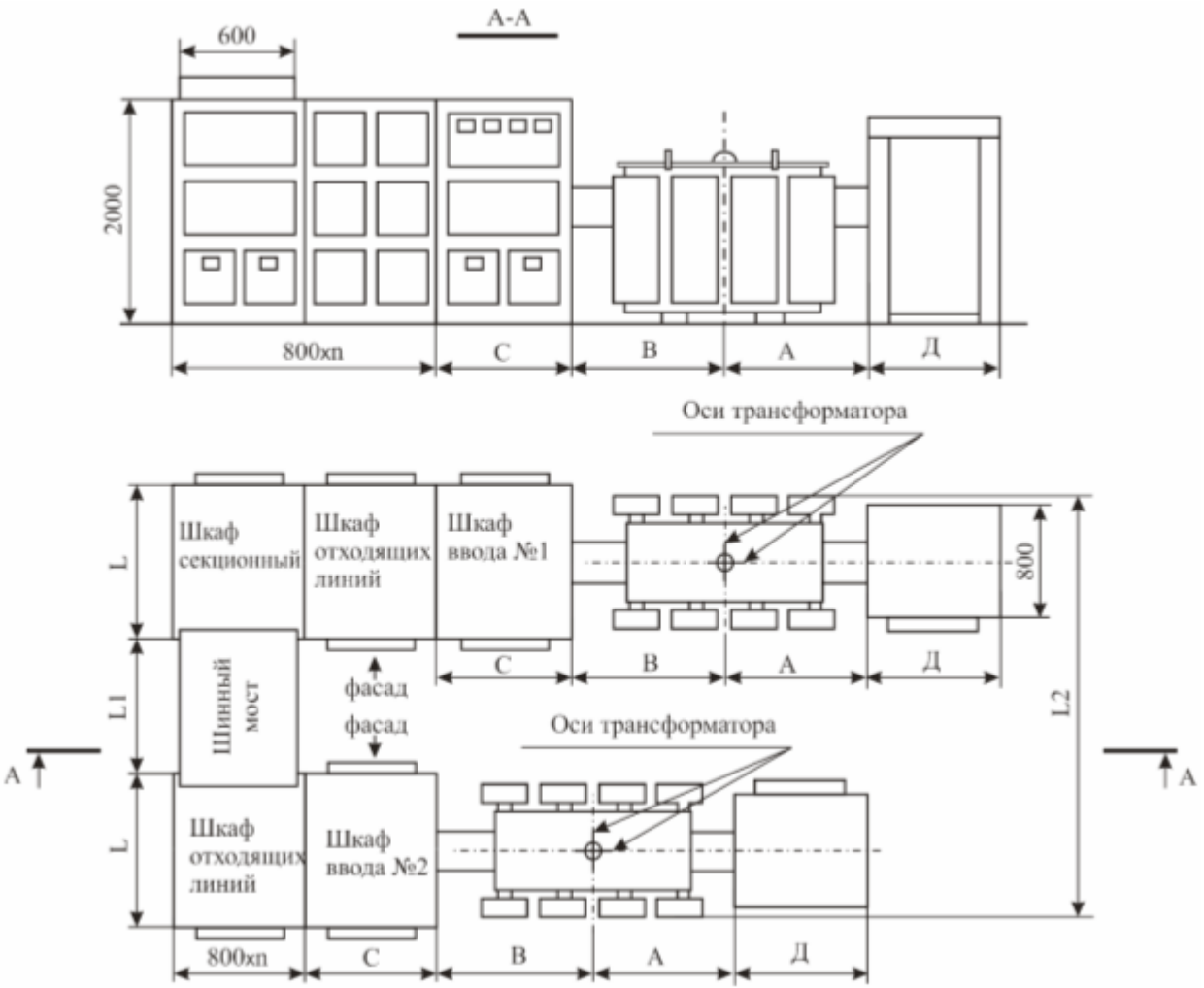


Рис. 4. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения с выдвижными выключателями

Размеры **двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения с выдвижными выключателями**

Наименование	**Условные обозначения размера (мм)**									
	А	В	Д		Шкафы с выключателями серии "ВА" и "Электрон"			Шкафы с выключателями фирмы "Merlin Gerin"		
					С	L	Н	С	L	Н
					В зависимости от типа вводного шкафа РУНН			В зависимости от типа вводного шкафа РУНН		
КТП-250 кВА	850	800	800	В зависимости от типа вводного шкафа УВН	800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-400 кВА	1000	1000	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-630 кВА	1100	1250	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1000 кВА	1250	1350	800		800	1200	2300	1000	1200	2300
КТП-1600 кВА	1300	1800	1120(800)		800(1120)	1500	2400	1000	1200	2300
КТП-2500 кВА	1400	1900	1120(800)		1120	1500	2400	1000	1200	2300

8. Выбор схемы силовой сети цеха

Внутрицеховые сети выполняют по радиальной, магистральной или смешанной схемам. На выбор схемы влияют категория потребителей по надежности электроснабжения, взаимное расположение ЭП по площади цеха, их единичная мощность, связанность электроприемников единым технологическим процессом и характеристика окружающей среды.

Радиальные схемы применяют в помещениях с любой окружающей средой. Данные схемы характерны тем, что от источника питания (КТП) прокладывают линии, питающие непосредственно ЭП большой мощности или комплектные распределительные устройства (шкафы, пункты, сборки, щиты), от которых по отдельным линиям питаются электроприемники малой и средней мощности. Распределительные устройства следует располагать в центре электрических нагрузок данной группы потребителей (если позволяет окружающая среда) с целью уменьшения длины распределительных линий. Линии, по которым запитываются распределительные устройства, называются питающими и выполняются, как правило, кабелями. Радиальные схемы требуют установки на цеховых подстанциях большого числа коммутационных аппаратов и значительного расхода кабелей.

Радиальные схемы следует применять:

- для электроснабжения потребителей I категории;
- для электроснабжения мощных ЭП, не связанных единым технологическим процессом;
- для электроснабжения потребителей, взаимное расположение которых делает нецелесообразным питание их по магистральной схеме;
- для питания насосных и компрессорных станций;
- во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещениях, в которых распределительные устройства должны быть вынесены в отдельные помещения с нормальной средой.

На рис. 8.1 приведен пример выполнения радиальной схемы.

Наиболее экономичными являются магистральные схемы. Широкое применение получили схемы "блок трансформатор – магистраль" (БТМ) без распределительных устройств на подстанциях. В схемах БТМ целесообразно использование комплектных шинопроводов: в питающей сети – магистральных шинопроводов серии ШМА, в распределительной сети – распределительных шинопроводов серии ШРА. Магистральные схемы с шинопроводами обеспечивают высокую степень надежности электроснабжения. Их основными достоинствами являются универсальность и гибкость, позволяющие производить изменения технологического процесса и перестановку технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей.

Магистральные схемы применяют:

– для питания электроприемников, связанных единым технологическим процессом, когда прекращение питания одного

электроприемника вызывает необходимость прекращения всего технологического процесса;

– для питания большого числа мелких электроприемников, не связанных единым технологическим процессом, равномерно распределенных по площади цеха.

На рис. 8. 2 приведена схема БТМ для двухтрансформаторной подстанции. Магистральные шинопроводы подключаются к вводным автоматическим выключателям. Непосредственно к трансформатору допускается присоединять некоторые ЭП или освещение для бесперебойного их питания при отключении главной магистрали.

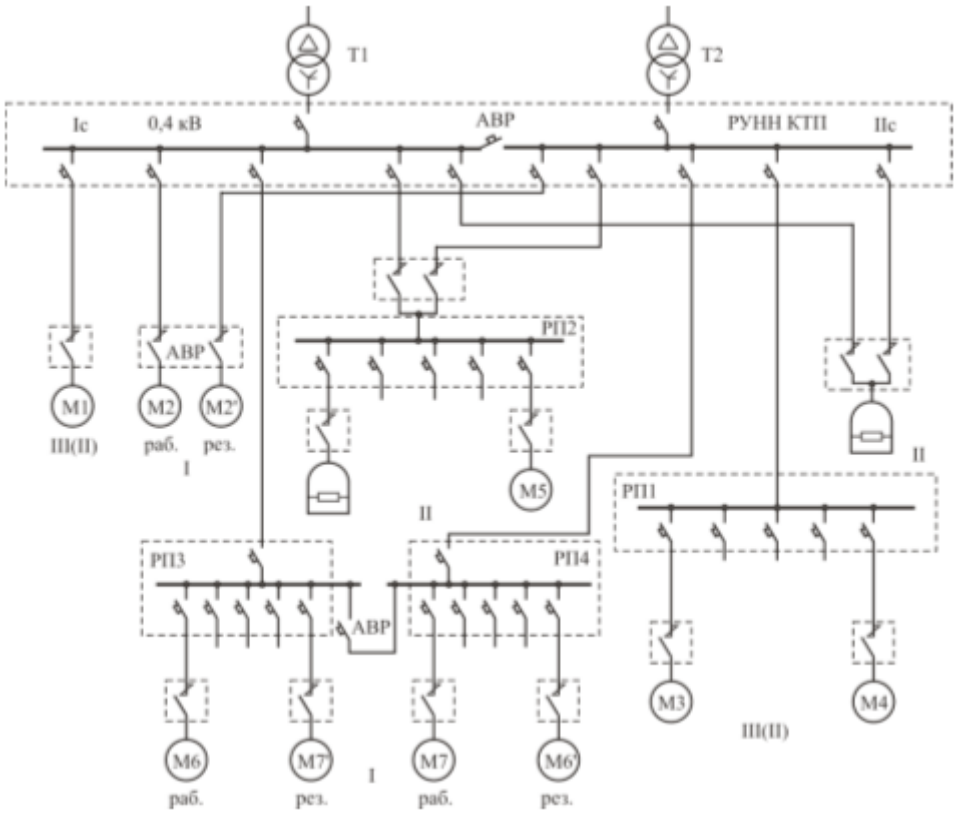


Рис. 8.1. Пример радиальной схемы для ЭП различных категорий по надёжности электроснабжения

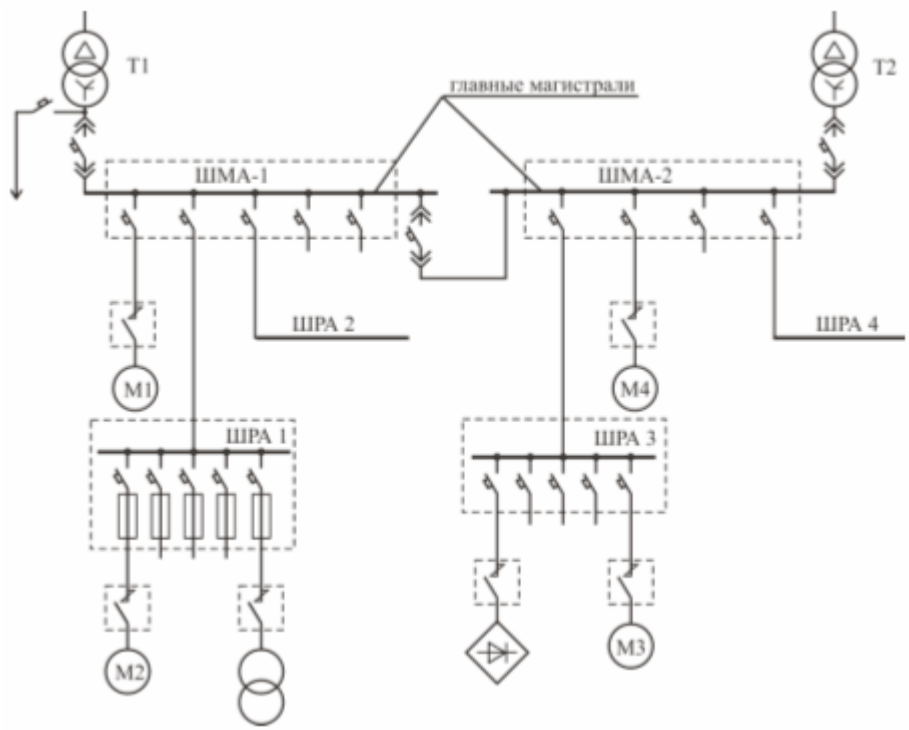


Рис. 8.2. Пример выполнения магистральной схемы при двухтрансформаторной КТП

Магистральные шинопроводы прокладываются в цехе на высоте 4 ч 4,5 метров от пола, распределительные шинопроводы для удобства эксплуатации устанавливаются, как правило, на высоте 2,5 ч 3 метров.

На практике наибольшее распространение получили смешанные схемы.

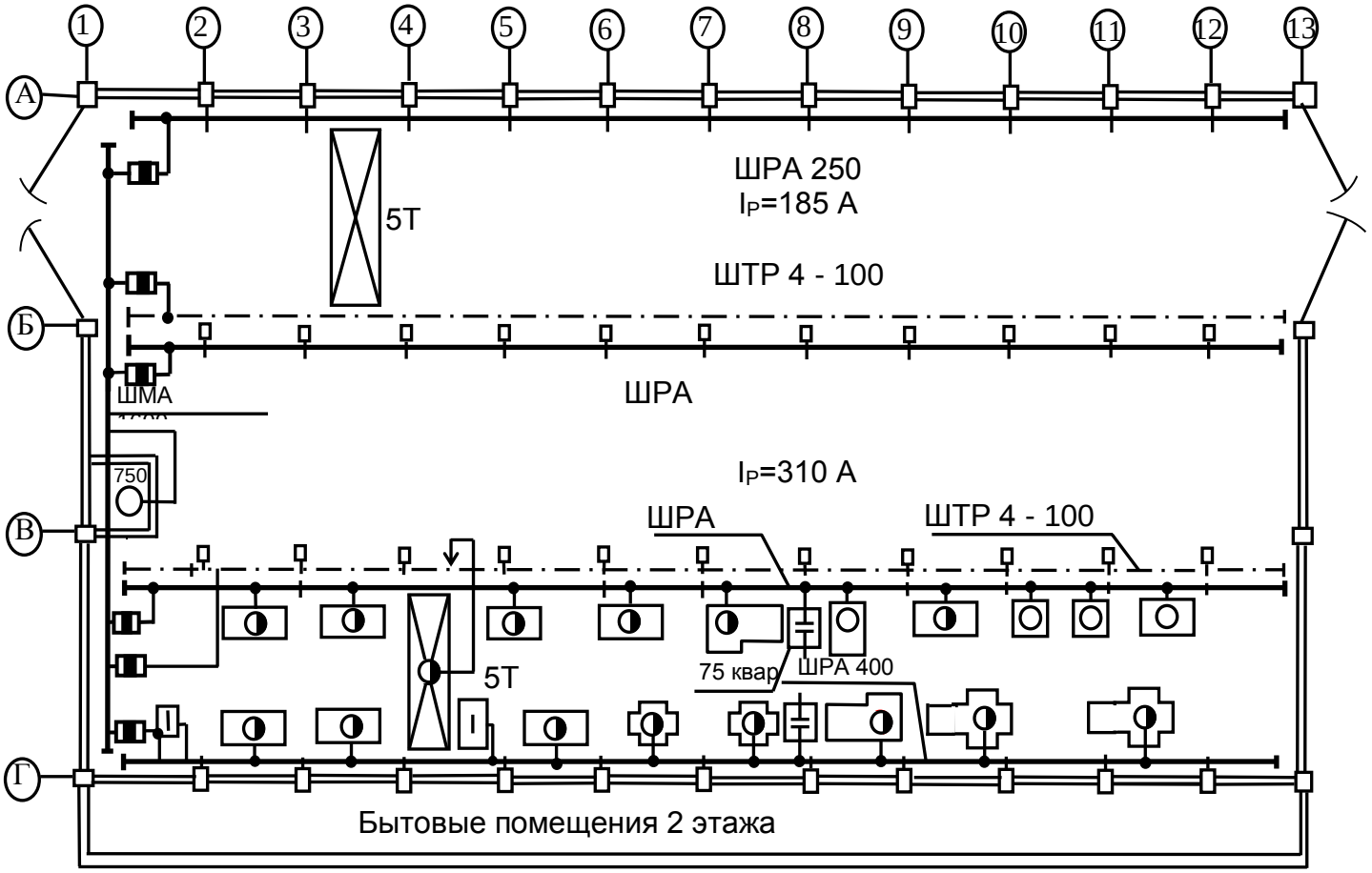
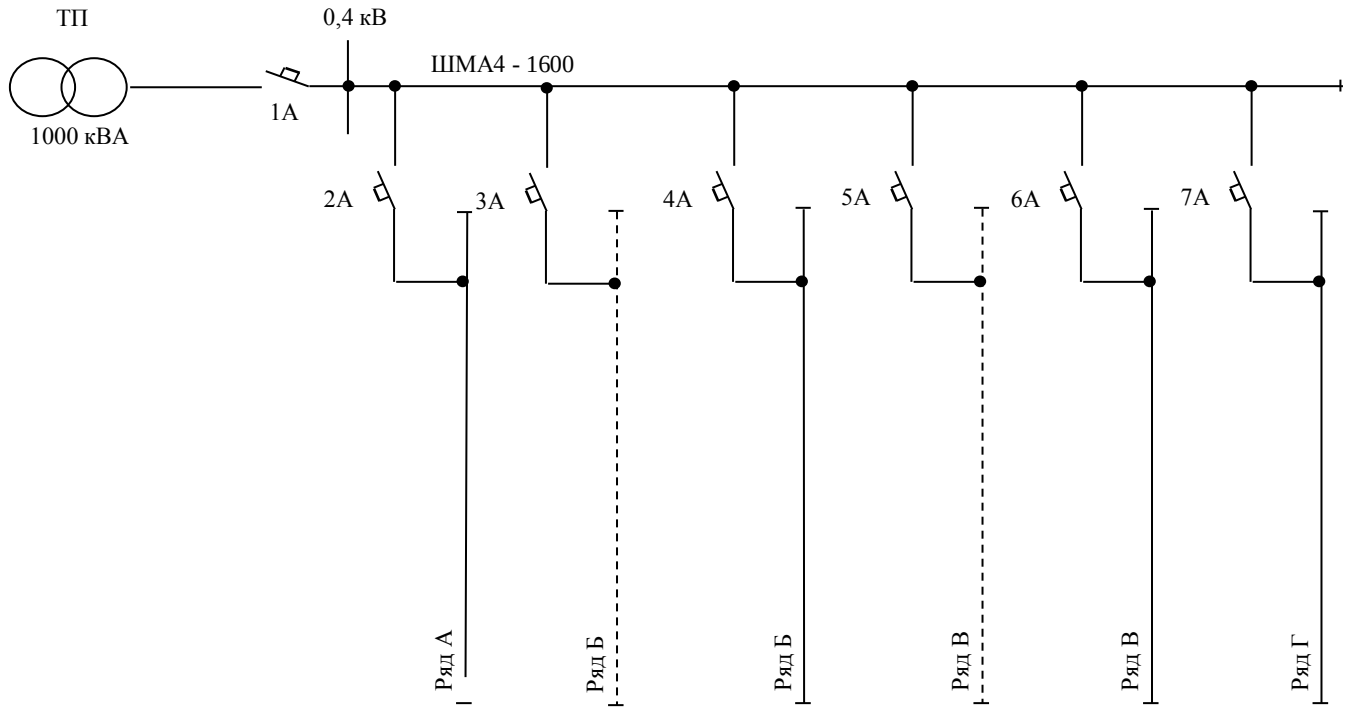


Рис.8.3. План механического цеха с нанесением магистральных электрических сетей



Обозначение и наименование электроустройства	ШРА4-250	ШТР4-100	ШРА4-400	ШТР4-100	ШРА4-250	ШРА 4-400
Расчетный ток, А	185	30	310	30	150	300
Тип автоматического включателя и его номинальный ток	ВА55-37 250	ВА51Г-25 100	ВА51Г-25 400	ВА51Г-25 100	ВА55-37 250	ВА55 - 37 400
Ток уставки расцепителя, А	200	40	320	40	200	320

Рис. 8.4. Схема питающей цеховой сети 0,4 кВ

9. Выбор способов прокладки силовой сети цеха

В зависимости от выбранной схемы цеховых сетей они конструктивно могут быть выполнены комплектными шинопроводами или кабельными линиями, проложенными открыто или скрыто. На выбор способов прокладки кабелей влияют количество линий, совпадающих по трассе, и характеристика окружающей среды. В соответствии с ПУЭ производственные помещения в зависимости от характеристики окружающей среды делят на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, с химически активной средой, пыльные, пожаро- и взрывоопасные. В любой среде возможна прокладка кабелей открыто по строительным конструкциям (не более шести кабелей, идущих в одном направлении) с учётом следующих ограничений:

−в помещениях с химически активной средой необходимо использовать кабели с изоляцией, инертной к химически агрессивной среде (например, поливинилхлоридную);

−в пожароопасных – кабели с негорючим наружным слоем: например, защитные герметичные оболочки кабелей из негорючей резины (АНРГ) или негорючего поливинилхлорида (АПвВнг-LS, АПвВГнг);

−во взрывоопасных зонах любого класса использовать только бронированные кабели;

−во взрывоопасных зонах классов В-I и В-IIа использовать бронированные кабели только с медными жилами;

−во взрывоопасных зонах всех классов запрещается использовать кабели с полиэтиленовой изоляцией и полиэтиленовой защитной оболочкой.

Тросовые проводки применяют в помещениях со сложной конфигурацией строительной части, где из-за большого числа различных трубопроводов, колонн, ферм и балок трудно выполнить проводку другого типа.

Прокладку в стальных трубах следует использовать только во взрывоопасных зонах вместо бронированных кабелей.

Для защиты кабелей от воздействия окружающей среды и механических повреждений возможно использовать прокладку в алюминиевых трубах и полимерных (полипропиленовые, поливинилхлоридные, полиэтиленовые и др.)

При большом числе кабельных линий, совпадающих по направлению, следует использовать прокладку кабелей на специальных кабельных конструкциях, на лотках, в коробах и кабельных каналах с учётом влияния окружающей среды на выбор марки кабеля.

Целесообразно использование модульной прокладки в цехах машиностроительной, приборостроительной, радиотехнической и других отраслей промышленности. Применение модульной сети делает электротехническую часть производства независимой от размещения технологического оборудования. В такой сети кабели прокладываются под полом в трубах с ответвительными коробками для присоединения ЭП с шагом (модулем) 1,5 ч 6 метров в зависимости от характера производства и габаритов технологического оборудования.

Для питания передвижных ЭП (крановых электродвигателей тельферов, мостовых кранов, кран-балок) применяют троллейные линии, выполненные из профильной стали или алюминиевых шин, а также троллейными шинопроводами типа ШТМ. Возможно использовать для их питания гибкие кабели.

10. Расчет необходимой мощности компенсирующих устройств и выбор мощности и места расположения цеховой трансформаторной подстанции

На основании данных раздела 5 производится определение расчетного $tg\varphi_{Р,Ц}$:

$$tg\varphi_{ф} = tg_{\varphi} - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_{М}} \text{ ,} \qquad (10.1)$$

Необходимая мощность компенсирующих устройств определяется по выражению:

$$Q_{к.р} = \alpha P_{М}(tg\,\varphi - tg\,\varphi_{к}) \text{ ,} \qquad (10.2)$$

Где

tg_{φ} , $tg\,\varphi_{к}$ – коэффициеты реактивной мощности до и после компенсации.

$Q_{к.р}$ – расчетная мощность КУ, квар.

α – коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается

$$\alpha = 0{,}9$$

По $Q_{КУ}$ выбирается число и мощность конденсаторных установок. Конденсаторные установки следует принимать комплектными в соответствии с табл. 10.1.

Таблица 10.1- Данные комплектных конденсаторных установок

N п/п	Тип ККУ	$U_{ном}$, В	$Q_{ном}$, квар
1	УКН-0,38-75УЗ	380	75
2	УКТ-0,38-108УЗ	380	108
3	УКН-0,38-150УЗ	380	150
4	УКЛ(П)Н-0,38-216-108УЗ	380	216
5	УКЛ(П)Н-0,38-324-108УЗ	380	324
	УКЛ(П)Н-0,38-432-108УЗ	380	432
	УКЛ(П)-0,38-300-150УЗ	380	300
	УКЛ(П)-0,38-450-150УЗ	380	450
	УКЛ(П)Н-0,38-600-150УЗ	380	600
	УКЛ(П)Н-0,38-108-36УЗ	380	108
	УКЛ(П)Н-0,38-216-36УЗ	380	216
	УКЛ(П)Н-0,38-150-50УЗ	380	150
	УКЛ(П)Н-0,38-300-50УЗ	380	300

Примечание. УК- установка конденсаторная; Л(П)-левое(правое) расположение вводной ячейки; Н,Т -параметр регулирования ,соответственно напряжение и ток; УЗ- для внутренней установки.

После выбора компенсирующих устройств производится уточнение расчетной нагрузки цеха по выражению

$$S_{р.у} = \sqrt{P_{р.ц}^2 + \left(Q_{р.ц} - Q_{ку}\right)^2} \qquad (10.3)$$

По $S_{Р.У}$ выбирается мощность цеховых трансформаторов.

В зависимости от категории электроснабжения потребителей цеха выбирается количество цеховых трансформаторов $n_т$ и их коэффициент загрузки $К_{з.т}$.

При наличии потребителей I категории $К_{з.т}$= 0.6-0.7, при II и III категориях

$К_{з.т}$= 0,75-0,85, при однотрансформаторных подстанциях $К_{з.т}$= 0,9-0,95.

Мощность цеховых трансформаторов определяется по выражению

$$S_Т = \frac{S_{р.у}}{К_{з.т} \cdot n_т}\ , \qquad (10.4)$$

По $S_т$ выбирается ближайший по мощности трансформатор (в табл.6 2 приведены данные цеховых трансформаторов).

При наличии двух подключенных к распределительному устройству трансформаторов (автотрансформаторов) выполняется условие

$$S_т \geq 0{,}7S_{м.р}\ ,$$

Где

$S_{м.р}$— максимальная проходная мощность, МВ-А.

Выбранные АТ проверяются на допустимость режима, т. е. обмотка НН не должна перегружаться.

Условие

$$S_{тип} \geq S_{НН} = S_{потр}\ , \ (10.5)$$

$$S_{тип} = К_{выг} S_{ат}\, n_{ат}\ , \quad (10.6)$$

$$K_{з(АТ)} = \frac{S_{м.р}}{n_{ат} S_{ат}}\ ;\ K_{з(Т)} = \frac{S_{м.р}}{n_т S_т} \quad (10.7\ )$$

Где:

$S_{тип}$ - типовая мощность АТ, МВА;

$К_{выг}$ - коэффициент выгодности АТ;

$S_{ат}$ - номинальная мощность выбранного АТ;

$n_{ат}$ - количество АТ, подключенных к нагрузке НН;

$S_{потр}$ - нагрузка на НН, МВА.

Расчет потерь мощности в трансформаторе

Общую величину потерь $\Delta P_{т}$ активной мощности (кВт) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta P_т = \Delta P_{ст} + \Delta P_{об} K_з^2 \ , \ (10.8)$$

Где

$\Delta P_{ст}$— потери в стали, кВт; при $V_{ном}$ нагрузки не зависят, а зависят только от мощности трансформатора;

$\Delta P_{об}$— потери в обмотках, кВт; при номинальной нагрузке трансформатора зависят от нагрузки

$\Delta P_{об} \approx \Delta P_{кз}$ (потери КЗ, кВ); $\Delta P_{ст} \approx \Delta P_{хх}$

$K_з$— коэффициент загрузки трансформатора, отн. ед. Это отношение фактической на грузки трансформатора к его номинальной мощности:

$$K_з = \frac{S_ф}{S_т} \quad (10.9)$$

Общую величину потерь $(\Delta Q_{т})$ реактивной мощности (кВАр) в трансформаторе определяют по формуле

Где

$Q_{ст}$ - потери реактивной мощности на намагничивание, квар. Намагничивающая

$$\Delta Q_т = \Delta Q_{ст} + \Delta Q_{рас} K_з^2 \ , (10.10)$$

мощность не зависит от нагрузки,

$$I$$

$$\Delta Q_{ст} \approx i_{хх} S_{н.т} \cdot 10^{-2} \ ; (10.11)$$

Где:

$\Delta Q_{рас}$ - потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке,

$I_{хх}$ - ток холостого хода трансформатора, %;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания, %;

$S_{н.т.}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ-А.

Значения $\Delta P_{хх}$, $\Delta P_{об}$, $i_{хх}$, $u_{кз}$ берут по данным каталогов для конкретного трансформатора

На основании потерь мощности можно определить потери электроэнергии. Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях времени использования потерь (τ) и времени использования максимальной нагрузки $T_м$

Время максимальных потерь(τ) — условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год.

Время использования максимума нагрузки ($T_м$)— условное число часов, в течение которых работа с максимальной нагрузкой передает за год столько энергии, сколько при работе по действительному графику.

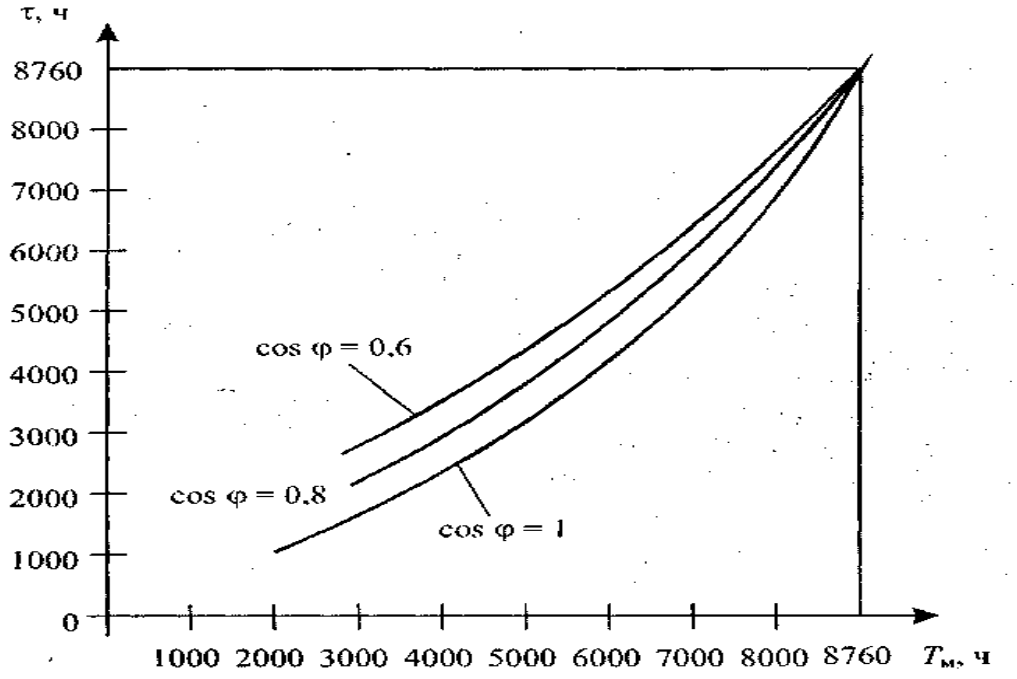


Рис. 1.4.1. График зависимости $\tau = F(\cos\varphi, T_м)$

10.1 **Определение местоположения цеховой подстанции**

Определяются условные координаты ЦЭН цеха по формулам

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=0}^{n} PiXi}{\sum_{i=0}^{n} Pi} \; ; \; Y_{a0} = \frac{\sum_{i=0}^{n} PiYi}{\sum_{i=0}^{n} Pi} \qquad (10.12)$$

Где
A(X_{a0}, Y_{a0}) – местоположение ГПП;

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Q_iY_i}{\sum_{i=0}^{n} Q_i} \; ; \; Y_{p0} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Q_iY_i}{\sum_{i=0}^{n} Q_i} \qquad (10.13)$$

B(X_{p0}, Y_{p0}) – местоположение ККУ;
где
X_{a0},-Y_{a0} – координаты ЦЭН активных, км.
X_{p0},-Y_{p0} – координаты ЦЭН реактивных, км.
Рассчитываем при помощи калькуляторов, а затем сравниваем с решением программы и делаем вывод.

11. Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000 В

11.1 Выбор и проверка комплектных шинопроводов

Сечение шин выбирают по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки по условию:

$$I_{р} \leq I_{н}, \quad (11.1)$$

где

$I_{н}$ – номинальный ток шинопровода, А.

Технические характеристики магистральных шинопроводов приведены в таблице 11.1, распределительных – в таблице 11.2.

где $\Delta U_{лш}$ – линейная потеря напряжения шинопровода, В; $l_{ш}$ – длина шинопровода до точки подключения нагрузки, м; $U_{н}$ – номинальное напряжение, В.

Таблица 11.1-Технические характеристики магистральных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 660 В, частотой 50–60 Гц

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШМА А73УЗ	ШМА А73ПУЗ	ШМА 68-НУЗ	
Номинальный ток	1600	1600	2500	4000
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	70	90	70	100
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	20	35	35	50
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	 0,031 0,022	 0,031 0,022	 0,02 0,02	 0,013 0,015
Сопротивление петли фаза - нуль (полное), Ом/км	0,016	0,016	—	—
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка сосредоточена в конце линии, cosφ= 0,8), $\Delta U_{лш}$, В	11,5	11,5	13,5	16,5
Поперечное сечение прямой секции (ширинаЧвысота), мм^2	300Ч160	300Ч160	444Ч215	44Ч295
Степень защиты	IP20	IP20	IP20	IP20
Типы автоматических выключателей, установленных в ответвительных секциях	А3734С, 400 А, 660 В А3744С, 630 А, 660 В А3736Ф, 400 А, 380 В А3736Ф, 630 А, 380 В			

Таблица11.2- Технические характеристики комплектных распределительных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В, частотой 50–60 Гц

Характеристики	Тип шинопровода			
	ШРА 73УЗ			ШРМ 73УЗ
Номинальный ток	1600	1600	2500	100
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), $i_{уд.доп}$, кА, не менее	15	25	35	10
Термическая стойкость, $i_{тс}$, кА	7	10	14	7
Сопротивление на фазу, Ом/км: активное при температуре 20 °С, r_0 индуктивное, x_0	 0,21 0,21	 0,15 0,17	 0,10 0,13	 — —
Линейная потеря напряжения на 100 м при номинальном токе (нагрузка распределена равномерно, cosφ= 0,8), $\Delta U_{лш}$, В	6,5	8	8,5	—
Поперечное сечение прямой секции (ширинаЧвысота), мм^2	260Ч80	284Ч95	284Ч125	70Ч80
Степень защиты	IP32	IP32	IP32	IP32
Типы коммутационно-защитной аппаратуры, установленной в ответвительных коробках: Предохранители Автоматические выключатели (ток, А)	 ПН2-100 А3710 (160) А3120 (100) АЕ2050 (100)	 ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	 ПН2-100 А3710 (160) А3720 (250) А3120 (100) АЕ2050 (100)	 На ток 25А АЕ2033(25)
Наличие ответвительных коробок с разъединителями на токи: 160 А 250А	 Есть Нет	 Есть Есть	 Есть Есть	

11.2 Выбор силовых распределительных пунктов

В качестве силовых распределительных пунктов (РП) можно выбирать щиты распределительные (корпуса для электрощитового ЭО), либо типовые РП. Типовые РП комплектуются либо предохранителями (серии ШР11 и ШРС1), либо автоматическими выключателями (серии ПР8501, ПР 8503, ПР11 и др.)

Распределительные пункты выбирают по степени защиты, по номинальному току ввода, по количеству отходящих линий, типу защитного аппарата (с предохранителями или с автоматическими выключателями) и номинальному току аппаратов для присоединений. Если отходящие линии необходимо защищать только от токов КЗ, то целесообразнее использовать РП с предохранителями, номенклатура и технические параметры которых приведены в таблице 11.3 В случае необходимости защиты линий от токов КЗ и от токов перегрузки следует выбирать распределительные пункты с АВ, технические данные которых приведены в таблицах 11.4, 11.5, 11.6.

Согласно ПУЭ от перегрузки должны быть защищены:

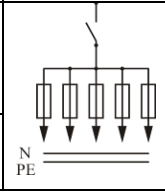
– сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

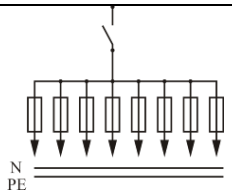
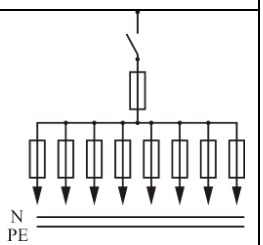
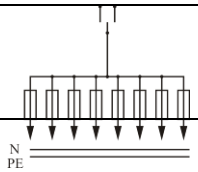
– осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для переносных и бытовых ЭП, а также в пожароопасных зонах;

– силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях – только в случае, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

– сети всех видов во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа; В-II, В-IIа.

Таблица11.3- Технические характеристики шкафов распределительных с плавкими предохранителями

Тип		Номинальный ток шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях			Схема
ШРС 1	ШР11		НПН-2 $I_н$ = 60 А	ПНП-31 ПН2-100	ППН-35 ПН2-250	
1	2	3	4	5	6	7
-20У3	-73701-22У3, УХЛ3	250	5	–	–	
-50У3	-73701-54У2	200				
-21У3	-73702-22У3, УХЛ3	250	–	5	–	

-51У3	-73702-54У2	200				Рис. 2а
-22У3	-73703-22У3, УХЛ3	250	2	3	–	
-52У3	-73703-54У2	200				
-23У3	-73504-22У3, УХЛ3	400	8	–	–	 Рис. 2б
-53У3	-73504-54У2	320				
-24У3	-73505-22У3, УХЛ3	400	–	8	–	
-54У3	-73505-54У2	320				
	-73506-22У3, УХЛ3	400	–	–	8	
	-73506-54У2	320				
	-73707-22У3, УХЛ3	400	–	3	2	
	-73707-54У2	320				
-27У3		400	–	5	2	
-57У3		320				
-26У3	-73708-22У3, УХЛ3	400	–	–	5	
-56У3	-73708-54У2	320				
-25У3	-73509-22У3, УХЛ3	400	4	4	–	Рис. 2б
-55У3	-73509-54У2	320				
-28У3	-73510-22У3, УХЛ3	400	2	4	2	
-58У3	-73510-54У2	320				
	-73511-22У3, УХЛ3	400	–	6	2	 Рис. 2в
	-73511-54У2	320				
	-73512-22У3, УХЛ3	400	8	–	–	
	-73512-54У2	320				
	-73513-22У3, УХЛ3	400	–	8	–	
	-73513-54У2	320				
	-73514-22У3, УХЛ3	400	–	–	8	
	-73514-54У2	320				
	-73515-22У3, УХЛ3	400	4	4	–	
	-73515-54У2	320				
	-73516-22У3, УХЛ3	400	2	4	2	
	-73516-54У2	320				
	-73517-22У3, УХЛ3	400	–	6	2	
	-73517-54У2	320				
	-73518-22У3, УХЛ3	400	8	–	–	
	-73518-54У2	320				

	-73519-22У3, УХЛ3	400	–	8	–	Рис. 2г
	-73519-54У2	320				
	-73520-22У3, УХЛ3	400	–	–	8	
	-73520-54У2	320				
	-73521-22У3, УХЛ3	400	4	4	–	
	-73521-54У2	320				
	-73522-22У3, УХЛ3	400	2	4	2	
	-73522-54У2	320				
	-73523-22У3, УХЛ3	400	–	6	2	
	-73523-54У2	320				

Примечание:
1. Схема ШР11-73707; ШР11-73708 соответствует рис. 2а.
2. Степень защиты распределительных пунктов IP22, IP44.

Таблица11.4- Технические данные распределительных силовых пунктов ПР-11

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, $I_{н\ ввода}$, А	Количество автоматических выключателей для отходящих линий	
		однополюсных ВА 47-100-1	трехполюсных ВА 47-100
		с тепловыми расцепителями на ток $I_{нтр}$ = 10 ч 100 А	
1	2	3	4
– ВА 88-39	250	6	8
– ВА 88-39	400	18	–
– ВА 88-39	400	–	6
– ВА 88-39	400	12	2
– ВА 88-39	400	6	4
– ВА 88-39	400	24	–
– ВА 88-39	400	–	8
– ВА 88-39	400	18	2
– ВА 88-39	400	12	4
– ВА 88-39	400	6	6

– ВА 88-39	400	30	–
– ВА 88-39	400	–	10
– ВА 88-39	400	24	2
–	400	18	4
– ВА 88-39	400	12	6
– ВА 88-39	400	6	8
– ВА 88-39	250	–	4
– ВА 88-39	400	–	6
– ВА 88-39	630	–	8
– ВА 88-39	630	–	12

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Таблица11.5- Технические данные распределительных силовых пунктов ПР8501 с трехполюсными АВ

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, $I_н$, А	Количество трехполюсных АВ на отходящих линиях	
		ВА 51-31	ВА 51-35
		с тепловыми расцепителями на ток, А	
		16 ч 100	100 ч 250
–	160	4	–
		6	
–	250	4	–
		6	
		8	
		10	
ВА 51-33	160	2	–
		4	
		6	
ВА 51-35	250	4	–
		6	
		8	
		10	
– ВА 51-39	630	6	–
– ВА 51-39		8	–
– ВА 51-39		10	–
–		12	–

ВА 51-39			
–		–	4
ВА 51-39			
–		2	2
ВА 51-39			
–		4	2
ВА 51-39			
–		6	2
ВА 51-39			
–		8	2

Таблица11.6- Технические данные силовых распределительных пунктов серии ПР8503

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода $I_{\text{н ввода}}$, А	Количество и тип автоматических выключателей на отходящих линиях	
		ВА 57-31 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 100$ А или АЕ2040-10БС с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 63$ А	ВА 57-35 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 250$ А
1	2	3	4
ВА 57-39 (ВА 52-39)	320; 400; 500	6; 8; 10; 12	–
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		–	4, 6
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	2
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		4	2
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		6	2
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		8	2
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	4
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		4	4
–			
ВА 57-35	100; 125;	6	–
–			

ВА 57-35	160; 200	8	–
–			
ВА 57-35		10	–
–			
ВА 57-35		4	–
–		12	–
		ВА 57 Ф35 с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 250$ А	ВА 61-29-1В (однополюсный) с $I_{\text{нтр}} = 16 \div 63$ А
ВА 57-39 (ВА 52-39)	320; 400; 500	4	24; 18; 12[1)]
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		2	24; 18; 12[1)]
–			
ВА 57-39 (ВА 52-39)		–	48; 36[1)]
–			
ВА 57 Ф35	100; 125; 160; 200	–	48; 36[1)]
–			

Примечание:

1. Возможна замена трех однополюсных выключателей ВА 61-29-1 на один трехполюсный ВА 61-29-3.

2. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

11.3 Выбор сечений силовых линий

Сечения силовых линий выбираются по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током нагрузки, по потере напряжения и по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

Выбор сечений по допустимому нагреву

Силовые линии разделяют на распределительные, непосредственно питающие один или несколько ЭП, и питающие, которые питают группу электроприемников, но непосредственно к ним не подключаются.

Сечение по допустимому нагреву выбирают по условию:

$$I_{\text{р}} \le I_{\text{д}} K_{\text{п}}, \quad (11.2)$$

Где

$I_{\text{р}}$ – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А;

$I_{\text{д}}$ – длительно допустимый ток, А;

$K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия охлаждения проводника и зависящий от температуры окружающей среды и способа прокладки.

За расчетный ток нагрузки линии, питающей одиночный электроприемник, принимается номинальный ток нагрузки этого ЭП:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{н}}, \text{ А}. \quad (11.3)$$

Для линии, питающей многодвигательный агрегат с одновременным пуском электродвигателей, расчетный ток нагрузки равен сумме номинальных токов двигателей:

$$I_{\text{р}} = \sum_{i=1}^{n} I_{\text{н}i}, \text{ А}. \quad (11.4)$$

Для магистралей и питающих линий определяется расчетная нагрузка группы ЭП по методу коэффициента активной расчетной мощности, а затем рассчитывается ток нагрузки.

Поправочный коэффициент необходимо учитывать при прокладке линий в жарких помещениях, а также при прокладке кабелей в коробах. Значения поправочных коэффициентов в зависимости от температуры окружающей среды для разных видов изоляции жил приведены в табл. 11.7; в зависимости от способа прокладки кабелей в коробах – в табл. 11.8.

Таблица 11.7 – Поправочные коэффициенты на токи для кабелей в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение $К_п$ при температуре воздуха, °С					
	+25	+30	+35	+40	+45	+50
резиновая изоляция	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
поливинилхлоридная (ПВХ) изоляция	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
изоляция из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74

Таблица 11.8 – Значения поправочных коэффициентов для кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводников, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные ЭП с коэффициентом использования до 0,7	группы ЭП и отдельные ЭП с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	– 2 3 – 9 10 – 11 12 – 14 15 – 18	До 4 5 – 6 7 – 9 10 – 11 12 – 14 15 – 18	1,00 0,85 0,75 0,70 0,65 0,60	– – – – – –
Однослойно	2 – 4 5	2 – 4 5	– –	0,67 0,60

В остальных случаях $K_{\text{п}} = 1$.

Значения длительно допустимых токов для кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией приведены в таблице11.9 для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена – в таблице 11.10 для гибких кабелей – в таблице 11.11.

Таблица11.9 – Допустимые токовые нагрузки кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией на напряжение 0,66 кВ, 1 кВ

Номинальное сечение жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А											
	одножильных				двухжильных				трехжильных			
	с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой		с алюминиевой жилой		с медной жилой	
	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле
1,5	–	–	29	32	–	–	24	33	–	–	21	28
2,5	30	32	40	42	25	33	33	44	21	28	28	37
4	40	41	53	54	34	43	44	56	29	37	37	48
6	51	52	67	67	43	54	56	71	37	44	49	58
10	69	68	91	89	58	72	76	94	50	59	66	77
16	93	83	121	116	77	94	101	123	67	77	87	100
25	122	113	160	148	103	120	134	157	88	100	115	130
35	151	136	197	178	127	145	166	190	109	121	141	158
50	189	166	247	217	159	176	208	230	136	147	177	192
70	233	200	318	265	–	–	–	–	167	178	226	237
95	284	237	386	314	–	–	–	–	204	212	274	280
120	330	269	450	358	–	–	–	–	236	241	321	321
150	380	305	521	406	–	–	–	–	273	274	370	363
185	436	343	594	455	–	–	–	–	313	308	421	406
240	515	396	704	525	–	–	–	–	369	355	499	468

Таблица 11.10 – Допустимые токовые нагрузки трехжильных кабелей с СПЭ-изоляцией напряжением 1 кВ

Номинальное сечение жилы, мм^2	Допустимые токовые нагрузки кабелей при прокладке на воздухе при температуре окружающей среды 25 °С и в земле при температуре окружающей среды 15 °С			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе
4	50	40	39	31
6	61	53	46	40
10	87	76	67	58
16	113	101	87	78
25	147	133	113	102
35	178	164	137	126
50	217	205	166	158
70	268	262	201	194
95	316	318	240	237
120	363	372	272	274
150	410	429	310	317
185	459	488	384	363
240	529	579	401	428

Примечание:

1. Марки кабелей: АПвВГ (ПвВГ); АПвБбШв (ПвВбШв); АПвВнг-LS (ПвВнг-LS); АПвВбШнг-LS (ПвВбШнг-LS); АПвБбШп (ПвБбШп); АПвВбШпг (ПвВбШпг).

2. Во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Iа может прокладываться кабель марки ПвБбШнг-LS; во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIа – кабели марок АПвВнг-LS, ПвВнг-LS, АПвВбШнг-LS.

Таблица 11.11 – Длительно допустимый ток для гибких кабелей с резиновой изоляцией напряжением 1 кВ

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы для медных проводников сечением более 6 мм^2 и алюминиевых сечением более 10 мм^2 ток ЭП приводится к длительному режиму работы умножением $I_н$ на коэффициент $K_{ПВ} = 1{,}14\sqrt{ПВ}$:

$$I_р = I_н K_{ПВ} = 1{,}14\, I_н \sqrt{ПВ}\ , \text{А}, \quad (11.5)$$

Где

ПВ – относительная продолжительность включения в относительных единицах; 1,14 – коэффициент запаса.

Во взрывоопасных зонах сечения распределительных линий, питающих асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, выбирают по условию:

$$1{,}25\ I_р \le I_д K_п . \quad (11.6)$$

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в табл. 11.12.

Таблица 11.12 – Удельные активные и индуктивные сопротивления кабелей

Номинальное сечение жилы, мм^2	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при $U_н$ до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
1,5	–	12,26	0,101
2,5	13,3	7,36	0,099
4	7,74	4,6	0,095
6	5,17	3,07	0,09
10	3,1	1,84	0,073
16	1,94	1,15	0,0675
25	1,24	0,74	0,0662
35	0,89	0,52	0,0637

50	0,62	0,37	0,0625
70	0,443	0,26	0,0612
95	0,326	0,194	0,0602
120	0,258	0,153	0,0602
150	0,206	0,122	0,0596
185	0,167	0,099	0,0596
240	0,013	0,077	0,0587

Если ЭП, запитанные от одного РП или ШРА, имеют одинаковую мощность, то проверку сечений по потере напряжения следует проводить для наиболее удаленного электроприемника.

Таблица 11.13. – Допустимый длительный ток для трехжильных кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой лил пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение жилы, мм^2	Ток, А, для кабелей при прокладке	
	в воздухе	в земле
2,5	19	29
4	27	38
6	32	46
10	42	70
16	60	90
25	75	115
35	90	140
50	110	175
70	140	210
95	170	255
120	200	295
150	235	335
185	270	385

Таблица 11.14. – Длительно допустимый ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение жилы, мм^2	Ток, А, для проводов проложенных в трубе			
	трех одножильных	четырех одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	18	15	17	14
2,5	19	19	19	16
4	28	23	25	21
6	32	30	31	28
8	40	37	38	32
10	47	39	42	38
16	60	55	60	55
25	80	70	75	65
35	95	85	95	75
50	130	120	125	105
70	165	140	150	135
95	200	175	190	165
120	220	200	230	190
150	255	-	-	-

11.4 Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты

Данная проверка производится после выбора защитной аппаратуры. Для выбора защитных аппаратов необходимо рассчитать пиковые нагрузки линий, которые возникают при пуске электроприемников. Для распределительной линии, питающей одиночный электроприемник, пиковый ток равен пусковому току этого ЭП:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \text{ А}, \quad (11.7)$$

где

$I_{\text{п}}$ – пиковый ток электроприемника, определяемый па паспортным данным ЭП.

При отсутствии паспортных данных пусковой ток может быть принят равным:

– для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и синхронных – 5-кратному значению номинального тока;

– для асинхронных электродвигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока – $2,5 I_{\text{н}}$;

– для печных и сварочных трансформаторов – $3 I_{\text{н}}$ (без приведения к ПВ = 100 %).

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых ЭП:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^{n} I_{\text{п}i} \text{, А, (11.8)}$$

где

$I_{\text{п}i}$ – пусковой ток *i*-ого ЭП.

Для магистрали пиковой нагрузкой является пуск электроприемника с самым большим пусковым током в то время, когда все остальные ЭП нормально работают:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + \sum_{i=1}^{n} I_{\text{н}i} \text{, А, (11.9)}$$

Где

$I_{\text{н}i}$ – номинальный ток *i*-ого нормально работающего ЭП.

Для питающей линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + \left(I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\text{н max}}\right), \text{А, (11.10)}$$

где

$I_{\text{п max}}$ – наибольший пусковой ток ЭП в группе;

$I_{\text{р}}$ – расчетный максимальный ток всех ЭП, питающихся от данной линии;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования запускаемого ЭП;

$I_{\text{н max}}$ – номинальный ток ЭП с наибольшим пусковым током.

Для того чтобы протекание токов перегрузки и токов короткого замыкания по проводникам не приводило к их перегреву, выбранное сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию:

$$\frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{з}}} \geq K_{\text{защ}} \text{, (11.11)}$$

где

$I_{\text{д}}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

$I_{\text{з}}$ – ток аппарата защиты, А;

$K_{\text{защ}}$ – коэффициент защиты.

Значения коэффициента защиты и принимаемый ток аппарата защиты приведены в табл. 11.13.

Таблица 11.15 – Значения коэффициента защиты

Тип защитного аппарата и принимаемый ток защиты $I_з$	Коэффициент защиты $K_{защ}$ или кратность длительно допустимого тока для сетей			
	при обязательной защите от перегрузки			не требуется защиты от перегрузки
	проводники с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво- и пожаро-опасные помещения	невзрыво- и непожаро-опасные помещения		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей: $I_з = I_{н\ вст.}$	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток срабатывания автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель: $I_з = I_{нэр}$	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток рас-цепителя выключателя с нерегулируемой обратно-зависимой характеристи-кой (независимо от нали-чия или отсутствия от-сечки): $I_з = I_{нтр}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания рас-цепителя автоматического выключателя с регулируе-мой, обратнозависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки): $I_з = I_{уст}$ при перегрузке	1,0	1,0	0,8	0,66

Данные по выбору сечений силовых линий свести в табл. 11.14.

Таблица 11.16- Выбор сечений силовых линий

Номер кабельной линии	Обозначение ЭП на плане цеха	Способ прокладки	Марка кабеля	Длина линии l, м	Расчетные токи		Поправочный коэффициент $K_{...}$	Сечение по допустимому нагреву S, мм^2	Длительно допустимый ток $I_{...}$, А	Потери напряжения в линии $\Delta U_л$, %	Суммарные потери напряжения ΔU_Σ, %	Коэффициент защиты $K_{защ}$	Ток аппарата защиты $I_з$, А	Окончательно выбранное сечение
					Рабочий ток $I_р$, А	Пиковый ток $I_{пик}$, А								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Силовые линии, питающие однофазные электроприемники, могут иметь двух- или трехпроводное исполнение, а питающие трехфазные ЭП, четырех- или пятипроводные.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение N-проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников.

Сечение нулевых защитных проводников (PE) проводников при их наличии должно равняться сечению фазных проводников при сечении последних до 16 мм^2, иметь сечение 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Окончательно выбранное сечение в табл. 19 указывать в полном виде с указанием марки проводника и сечений фазных и нулевых проводников (например, АВВГ 3×50 + 2×25).

11.5 Выбор защитной аппаратуры

Предохранители предназначены для защиты от токов короткого замыкания. Предохранители имеют простую конструкцию, небольшие размеры и сравнительно малую стоимость. Однако предохранителям присущи и серьезные недостатки, ограничивающие область их применения, к числу которых относятся: большой разброс срабатывания плавкой вставки – до 50 % по току, необходимость замены плавкой вставки или всего предохранителя после однократного срабатывания, возможность работы двигателя на двух фазах при перегорании предохранителя на одной фазе и др.

Предохранители выбирают по следующим параметрам:

– по номинальному напряжению: номинальное напряжение предохранителей $U_{\text{н пр.}}$ должно быть, как правило, равно номинальному напряжению сети, где они устанавливаются:

$$U_{\text{н пр.}} = U_{\text{с}}; \quad (11.12)$$

– по номинальному току предохранителя $I_{\text{н пр}}$:

$$I_{\text{н пр.}} \geq I_{\text{р}}; \quad (11.13)$$

по номинальному току плавкой вставки предохранителя $\mathrm{I}_{\text{н вст.}}$, который должен быть отстроен от пусковых токов:

$$\mathrm{I}_{\text{н вст.}} \geq \frac{\mathrm{I}_{\text{п}}}{\text{а}}, \quad (11.14)$$

где

$I_{\text{п}}$ – пусковой ток ЭП, А;

a – коэффициент, зависящий от пускового режима защищаемых электродвигателей и типа плавкого предохранителя.

При выборе плавких вставок безинерционных предохранителей (ПН, НПН, ППН) для защиты электродвигателей с легким режимом пуска (электропривод вентиляторов, насосов, металлорежущих станков и пр. с длительностью пуска 2 ч 5 с) $a = 2{,}5$; для электродвигателей с тяжелым режимом пуска (электропривод кранов, дробилок, центрифуг и т. п. с частыми пусками и большой длительностью пускового периода) $a = 1{,}6$. Для малоинерционных предохранителей (ПР2) при легком режиме пуска $a = 3$ и при тяжелом режиме $a = 2$. При частых пусках двигателей с легким режимом пуска (15 и более в час) плавкие вставки нужно выбирать, как для тяжелого режима.

При защите магистрали, питающей несколько ЭП с разными режимами пуска:

$$\mathrm{I}_{\text{н вст.}} \geq \frac{\mathrm{I}_{\text{пик}}}{2{,}5}, \quad (11.15)$$

где

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток магистрали.

При защите питающей линии номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию (11.15), а пиковый ток определяется по формуле (11.7).

Последовательно включенные предохранители должны быть проверены по селективности. По защитным характеристикам плавких

предохранителей определяют время отключения при протекании максимального тока КЗ ($I_к^{(3)}$). Селективность срабатывания предохранителей обеспечивается, если время отключения более удаленного от места повреждения предохранителя не менее чем в три раза больше времени отключения предохранителя, ближайшего к месту КЗ.

Технические характеристики некоторых типов предохранителей представлены в таблице 11.15

Автоматические выключатели, в основном, предназначены для защиты электроустановок напряжением до 1000 В от коротких замыканий и перегрузок.

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям:

$U_{на} \geq U_с$; $I_{на} \geq I_р$; $I_{нтр} \geq I_р$; $I_{нэр} \geq (1,25 \div 1,35) I_{пик}$,	(11.16)

Где

$U_{на}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (АВ);

$I_{на}$ – номинальный ток АВ;

$I_{нтр}$ – номинальный ток теплового расцепителя;

$I_{нэр}$ – номинальный ток (ток уставки) электромагнитного расцепителя;

$U_с$ – напряжение сети;

$I_р$ – максимальный рабочий ток линии;

$I_{пик}$ – пиковый ток линии.

Номинальные токи расцепителей соседних автоматических выключателей последовательно включенных в сеть должны различаться не менее чем на одну ступень. Номинальные токи расцепителей автоматического выключателя, ближайшего к источнику питания (вводного в ТП), должны быть не менее чем в 1,5 раза больше, чем у наиболее удаленного. Выполнение этих условий обеспечивает селективность срабатывания тепловых расцепителей. При коротких замыканиях селективность защиты обеспечиваться не будет, так как электромагнитные расцепители при токах, равных или больших их токов уставки, срабатывают практически мгновенно. Для гарантированного обеспечения селективности следует выбирать АВ с регулируемой характеристикой срабатывания, у которых возможно задавать (выставлять) время срабатывания.

Классификация автоматических выключателей серий ВА приведена в таблице11.16, а их технические характеристики – в таблице - 11.17

Результаты выбора защитных аппаратов свести в таблице 11.18.

Таблица 11.17- Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей (силовых и осветительных)

Номер линии	Обозначение ЭП или узла питания на схеме	Тип автоматического выключателя или предохранителя	Номинальное напряжение аппарата	Расчетный ток линии, $I_р$,	Пиковый ток линии, $I_{пик}$,	Номинальный ток аппарата	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А или номинальный	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 11.18- Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, $I_{н\ пр.}$, А	Номинальный ток плавкой вставки, $I_{н\ вст.}$, А	Предельно отключаемый ток, $I_{о}$, кА, при напряжении	
			220/380	380/660
ПР2	15	6; 10; 15	1,2/0,8	0,8/0,7
	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	5,5/1,8	4,5/3,5
	100	60; 80; 100	11/6,0	13/11
	200	100; 125; 160; 200	11/6,0	13/11
	350	200; 225; 260; 300; 350	11/6,0	13/11
	600	350; 430; 500; 600	15/13	23/30
	1000	600; 700; 850; 1000	15/13	23/30
НПН2	60	6; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 60	–	10/ –
ПН2	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100	–
	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100	–
	400	200; 250; 315; 355; 400	60/40	–
	600	315; 400; 500; 600	60/40	–
ППН-31	100	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	–	– /50
ППН-33	160	50; 63; 80; 125; 160	–	– /50
ППН-35	250	125; 160; 200; 250	–	– /50
ППН-39	630	200; 250; 320; 400; 500; 600	–	– /50

Подведем итог сказанному выше.

Выбор защитных аппаратов производится по следующим факторам:

1) предохранители

а) для электроприемника

$I_{вст} \geq I_{пуск}/2,5$ - при редких пусках

$I_{вст} \geq I_{пуск}/1,6\text{-}2$ - при частых пусках

$I_{вст} \geq I_{ном}$ - для электроприемников без пусковых токов

б) в групповых сетях

$I_{вст} \geq I_р$

2) автоматические выключатели

а) для электроприемника

$I_{ном.р} \geq I_{ном}$

$I_{отс} \geq 2,1I_{пуск}$ - для АЕ 2000

$I_{отс} \geq 1,8I_{пуск}$ - для других типов

б) в групповых сетях

$I_{ном.р} \geq I_р$

При наличии пиковых токов проверить на несрабатывание отсечки

$I_{отс} \geq 1,5I_{пик}$.

У электроприемников можно применять неселективные автоматы, в групповых сетях следует применять селективные автоматы.

Таблица 11.19- Классификация автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{на}$, А	Тип расцепителя	$U_{на}$, В	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А	Отключающая способность $I_{о}$, кА	Уставка УЗО при его наличии, mA
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51	3	25 ч 630	Комбинированный	380/660	0,3 ч 630	3 ч 14$I_{нтр}$	1,5 ч 35	–
ВА 61	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	0,5 ч 63	B, C, D	1,5 ч 30	10; 30; 100; 300
ВА 69	3	63 ч100	Комбинированный	380	2 ч 100	C	4,0 ч 6,0	–
ВА 47	1; 2; 3; 4	63 ч 100	Комбинированный	220/380	0,5 ч 100	B, C, D	3,0 ч 10	10; 30; 100; 300
АД	2,4	63	Комбинированный	220/380	6 ч 63	C	4,5	10; 30; 100; 300
ВА 63 премиум	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	1 ч 63	C	10	–
ВА 57	3	100 ч 630	Комбинированный	380/660	16 ч 630	4000 ч5000	3,0 ч 40	–
ВА 88	3; 4	125 ч 1600	Комбинированный	380	12,5 ч 1600	500; 10$I_{нтр}$, регулируемый	25 ч 50	–
ВА 52	3	100 ч 630	Комбинированный	380/660	16 ч 630	3; 7; 10$I_{нтр}$	8,0 ч 40	–
ВА 53	3	400 ч 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ч 1600	2; 3; 5; 7; 10	20 ч 36	–
ВА 55	3	400 ч 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ч 1600	2; 3; 5; 7; 10	18 ч 40	–
ВА 99	3; 4	125 ч1600	Комбинированный	380	12,5 ч 1600	500; 10$I_{нтр}$, регулируемый	35 ч 50	–

Таблица11.20- Характеристики автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Число полюсов	Номинальный ток, $I_{на}$,А	Тип расцепителя	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$,А	Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А	Отключающая способность, $I_{о}$, кА		Уставка УЗО при его наличии, mA
						$U_{Н}$ = 380 В	$U_{Н}$ = 660 В	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51-25		25	Комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,78; 1,0; 1,25; 1,6	7; 10$I_{нтр}$	3	3	–
						1,5	1,5	
				2,0; 2,5; 3,15; 4;5		2	2	
ВА 51Г-25				6,3; 8	14$I_{нтр}$	2,5	2	
				10; 12,5		3,8		
				16; 20; 25				
ВА 47-29 (ВА 47-63)	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	0,5;1;1,6;2;2,5;3;4; 5;6,3;10;13;16;20;25;32;40;50;63	B, C, D	4,5	–	–
ВА 61-29	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,3; 8	B, C, D	1,5	–	10;30;100;300
				10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63		3		
ВА 69-29	3	63	Комбинированный	2; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40	C	4	–	–
				50; 63		4		
ВА 51-31; ВА 51Г-31	1; 3	100	Комбинированный	6,3; 8	3; 7; 10$I_{нтр}$	2	1,5	–
				10; 12,5		2,5	2	

				16; 20; 25		3,8		
				31,5; 40; 50; 63		6	4	
				80; 100		7		
ВА 52-31; ВА 52Г-31	3	100	Комбинированный	16; 20; 25	3,; 7; 10$I_{нтр}$	12	8	–
				31,5; 40		15		
				50; 63		18	10	
				80; 100		25		
ВА 57-31	3	100	Комбинированный	16	400	4	3	–
				20		6		
				25		25		
				31,5		4	6	
				40				
				50; 63	800			
				80; 100	1200			
ВА 47-100	3	100	Комбинированный	16; 20; 25; 35; 40; 50; 63; 80; 100	C и D	10	–	10;30;100;300
ВА 47+N	2	32	Комбинированный	6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	C	3	–	–
ВА 63 премиум	1;2;3;4	63	Комбинированный	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	C	10	–	–
АД-12	2	63	Комбинированный	6; 10; 16; 25; 32; 40; 50; 63	C	4,5 (230 В)	–	10;30;100;300
АД-14	2	63	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	C	4,5	–	30; 100; 300
ВД 1-63 (УЗО)	2	63	–	16; 25; 32; 40; 50; 63	–	–	–	10;30;100;300
ВД 1-63 (УЗО)	4	63	–	16; 25; 32; 40; 50; 63	–	–	–	30; 100; 300
ВА 51-33 ВА 51Г-33	3	160	Комбинированный	80; 100; 125; 160	10$I_{нтр}$	12,5	9	–
ВА 52-33	3; 4	160	Комбинир	80; 100	10$I_{нтр}$	28	12	–

ВА 52Г-33			ованный	125; 160		35		
ВА 88-32	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	25	–	–
				50; 63; 80; 100; 125	$10I_{нтр}$			
ВА 99/125	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	35	–	–
				50; 63; 80; 100; 125	$10I_{нтр}$			
ВА 88-33	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	$10I_{нтр}$	35	–	–
ВА 99/160	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	$10I_{нтр}$	35	–	–
ВА 51-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	$12I_{нтр}$	15	–	–
ВА 52-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	$12I_{нтр}$	30	15	–
ВА 57-35	3	250	Комбинированный	16	320	3,5	3,5	–
				20		6	5,5	
				25		9	6	
				31,5; 40; 50	630	10	9	
				63	1250	15	12	
				80		25	15	
				100		30		
				125		35	18	
				160	1600	40		
				200; 250	2500			
ВА 88-35 ВА 99/250	3; 4	250	Комбинированный	125; 160; 200; 250	$10I_{нтр}$	35	–	–
ВА 51-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	$10I_{нтр}$	25	12	–
ВА 52-37	3	400	Комбинир	250; 320; 400	$10I_{нтр}$	30	18	–

			ованный					
ВА 53-37 ВА 55-37	3	400	Комбинированный	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10	20	20	–
ВА 88-37	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{нтр}$	35	–	–
ВА 99/400	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	$10I_{нтр}$	50	–	–
ВА 51-39	3	630	Комбинированный	400; 500; 630	$10I_{нтр}$	35	20	–
ВА 52-39	3	630	Комбинированный	250; 320; 400; 500; 630	$10I_{нтр}$	40	20	–
ВА 53-39 ВА 55-39	3	630	Полупроводниковый	160; 250; 400; 630	2, 3, 5, 7, 10	25	25	–
ВА 57-39	3	630	Комбинированный	320	3200	25	–	–
				400	2000; 4000			
				500	2500; 5000	40	18	–
				630	3200; 5000			
ВА 88-40	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{нтр}$	35	–	–
ВА 99/800	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	$10I_{нтр}$	50	–	–
ВА 53-41 ВА 55-41	3	1000	Полупроводниковый	400; 630; 800; 1000	2; 3; 5; 7	25	25	–
ВА 53-43 ВА 55-43	3	1600	Полупроводниковый	1000; 1250; 1600	2; 3; 5	36	36	–
ВА 88-43 ВА 99/1600	3; 4	1600	Комбинированный	800; 1000; 1250; 1600	Регулируемая	50	–	–
ВА 75-45	3	2500	Полупроводниковый	1600; 2000; 2500	2; 3; 5; 7	36	36	–
ВА 75-47	3	4000	Полупроводниковый	2500; 3000; 3500; 4000	2; 3; 5	45	45	–

11.6 Расчет заземления

В сетях напряжением 380/220 В применяется зануление электроприемников. Подстанция имеет два напряжения 10 кВ и 380/220 В. Поэтому для нее необходимо применять заземление.

Определяется сопротивление заземляющего устройства

для сети 10 кВ $R_{зу} \le \frac{125}{I_з}$ Ом,

для сети 380/220 В $R_{зу} \le 4$ Ом.

Из двух сопротивлений выбирается наименьшее.

Определяется расчетное удельное сопротивление земли

$$\rho_р = \rho \cdot К_с \ (К_с = 1{,}1 – 1{,}35).$$

Определяется конфигурация заземляющего контура подстанции. В качестве вертикальных заземлителей следует брать арматурный пруток диаметром 12 мм, длиной 5 м.

Определяется сопротивление вертикального заземлителя

$$R_в = 0{,}228 \cdot \rho_р.$$

Определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_в}{R_{зу} \cdot К_{и.в}};$$

где

$К_{и.в}$ – коэффициент использования вертикальных электродов ($К_{и.в}$=0,4-0,5).

Определяется сопротивление полосы, соединяющей горизонтальные электроды

$$R'_г = \frac{R_г}{К_{и.г}};$$

где

$R_г$ – сопротивление горизонтальной полосы ($R_г=2\rho_р/l$);

$К_{и.г}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов ($К_{и.г}$=0,3-0,4).

Определяется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом горизонтальной полосы

$$R_{в.в} = \frac{R'_в \cdot R_{со}}{R'_в - R_{со}}.$$

Определяется уточненное число вертикальных электродов

$$n_{ут} = \frac{R_в}{R_{в.г} \cdot К_{и.в}}.$$

Рисуется план заземления подстанции.

Расчет заземляющего устройства электроустановок

Методика расчета

Рассчитать заземляющее устройство (ЗУ) в электроустановках (ЭУ) с изолированной нейтралью (ИН) — это значит:

—определить расчетный ток замыкания на землю ($I_з$) и сопротивление ЗУ ($R_з$);

—определить расчетное сопротивление грунта($\rho_р$);

—выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;

—уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

Примечание. При использовании естественных заземлений

$$R_и = \frac{R_в R_з}{R_в - R_з}$$

где $R_и, R_в$ — сопротивление искусственных и естественных заземлений, Ом.

Сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяется по формуле

$$R_е = \frac{\rho}{\sqrt{S}}$$

Где

ρ = 100 Ом · м (суглинок);

S – площадь, ограниченная периметром здания, $м^2$.

Определение $I_з$ *и* $R_з$

В любое время года согласно ПУЭ

$$R_з \leq \frac{250}{I_з}$$

Где

$R_з$ - сопротивление заземляющего устройства, Ом (не более 10 Ом);

$I_з$ – расчетный ток замыкания на землю, А (не более 500 А). Расчетный (емкостный)

ток замыкания на землю определяется приближенно

$$I_з = \frac{V_н(35L_{кл} + L_{бл})}{350}$$

где

$V_н$ - номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$L_{кл}, L_{вл}$ – длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

Примечание. В электроустановках с ИН до 1 кВ

$$R_з \le \frac{125}{I_з}$$ (не более 4 Ом)

При мощности источника до 100 кВ-А — не более 10 Ом.

По этой же формуле рассчитывают $R_з$, если ЗУ выполняется общим для сетей до и выше 1 кВ.

При совмещении ЗУ различных напряжений принимается $Р_З$ наименьшее из требуемых значений (таблица 11.20.1).

Определение $\rho_р$ грунта

$$\rho_р = К_{сез}\rho,$$

Где

$\rho_р$ — расчетное удельное сопротивление грунта, Ом • м;

$К_{сез}$ — коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта, $К_{сез}$= F(климатическая зона, вид заземлителей), принимается по таблице 11.20.2

Выбор и расчет сопротивления электродов

Выбор электродов — по таблице 11.20.4

Приближенно сопротивление одиночного вертикального заземления определяется по формуле

$$r_в = 0{,}3\rho_р$$

Сопротивление горизонтального электрода (полосы) определяется по формуле

$$r_р = \frac{0{,}4\rho_р}{L_п}\log\frac{2L_п^2}{bt}$$

где

$L_п$ — длина полосы, м;

b — ширина полосы, м; для круглого горизонтального заземлителя b = 1,1d;

t — глубина заложения, м.

Определение сопротивлений с учетом коэффициента использования.

$$R_в = \frac{r_в}{\eta_в}$$

Где

$R_в$ и $R_г$ — сопротивление вертикального и горизонтального электродов с учетом коэффи-

циентов использования, Ом;

$\eta_в$ и $\eta_г$ — коэффициенты использования вертикального и горизонтального электродов, определяются по таблице 11.20.5

$$\eta = F(\text{тип ЗУ, вид заземлителя } \frac{a}{L}, N_в)$$

где a — расстояние между вертикальными заземли-

телями, м;

L — длина вертикального заземлителя, м;

$N_в$— число вертикальных заземлителей.

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом соединительной полосы

$R_в \leq R_г R_з / R_г - R_з$.

$N_в' = R_в / R_г \eta_в$(при использовании естественных и искусственных заземли-

телей)

$N_в' = R_в / R_з \eta_в$(при использовании только искусственных заземлителей)

$N_в = r_в / R_н \eta_{в.ут}$

Уточнение числа вертикальных электродов

Необходимое число вертикальных заземлителей определяется следующим образом:

$N_в' = \frac{R_d}{R_и \eta_в}$*(при* использовании естественных и искусственных заземлите-

лей);.

$N_в' = \frac{R_в}{R_з \eta_в}$(при использовании только искусственных заземлителей);

$$N_в = \frac{r_в}{R_и \eta_{в.ут}},$$

где

$\eta_{в.ут}$ - уточненное значение коэффициента использования вертикальных заземлителей.

Таблица 11.20.1 – Наибольшие допустимые значения $R_З$ для 3-фазных сетей

Напряжение сети, кВ	Режим нейтрали	$R_{з.нб.}$, Ом	Вид ЗУ
110 и выше	ЗН	0,5	Заземление
3…35	ИН	10	
0,66 0,38 0,22	ГЗН	2 4 8	Зануление
0,66; 0,38; 0,22	ИН	4	Заземление

Примечание. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом-м допускается увеличивать указанные выше значения в $0{,}01\rho$ раз, но не более 10-кратного.

Таблица 11.20.2 – Коэффициенты сезонности $K_{сез}$

Климатическая зона	Вид заземления		Дополнительные сведения
	вертикальный	горизонтальный	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глубина заложения вертикальных заземлителей от поверхности земли 0,5…0,7 м
II	1,7	4,0	Глубина заложения горизонтальных 0,3…0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примечание. Зона I имеет наиболее холодный, IV — теплый климат;

ρ — удельное сопротивление грунта, измерено при нормальной влажности, Ом • м, принимается по таблице 11.20.3

Таблица 11.20.3 – Удельное сопротивление грунта

Грунт	Торф	Глина, земля садовая	Чернозем	Суглинок	Каменистая почва	Супесь	Песок с галькой
Р, Ом*м	20	40	50	100	200	300	800

Таблица 11.20.4. – Рекомендуемые электроды

Вид электрода	Размеры,мм	L,м	t,м
Стальной уголок	50 х 50 х 5 60 х 60 х 6 75 х 75 х 8	2,5…3	0,5…0,7
Круглая сталь	12…16	5…6	
Труба стальная	60	2,5	
Полоса стальная	40 х 4	Расчетная	
Пруток стальной	10…12		

$N_в$	$\frac{a}{L}$						Дополнительные сведения
	1		2		3		
	$\eta_в$	$\eta_г$	$\eta_в$	$\eta_г$	$\eta_в$	$\eta_г$	
4	$\frac{0,69}{0,74}$	$\frac{0,45}{0,77}$	$\frac{0,78}{0,83}$	$\frac{0,55}{0,89}$	$\frac{0,85}{0,88}$	$\frac{0,7}{0,92}$	Числитель для контурного ЗУ, а знаменатель — для рядного
6	$\frac{0,62}{0,63}$	$\frac{0,4}{0,71}$	$\frac{0,73}{0,77}$	$\frac{0,48}{0,83}$	$\frac{0,8}{0,83}$	$\frac{0,64}{0,88}$	
10	$\frac{0,55}{0,59}$	$\frac{0,34}{0,62}$	$\frac{0,69}{0,75}$	$\frac{0,4}{0,75}$	$\frac{0,76}{0,81}$	$\frac{0,56}{0,82}$	
20	$\frac{0,47}{0,49}$	$\frac{0,27}{0,42}$	$\frac{0,64}{0,68}$	$\frac{0,32}{0,56}$	$\frac{0,71}{0,77}$	$\frac{0,45}{0,68}$	
30	$\frac{0,43}{0,43}$	$\frac{0,24}{0,31}$	$\frac{0,6}{0,65}$	$\frac{0,3}{0,46}$	$\frac{0,68}{0,75}$	$\frac{0,41}{0,58}$	

Список используемой литературы

Основная литература

1. Хорошилов, А.В. Электропитающие системы и электрические сети [Текст]: учебник/ А.В. Хорошилов, А.В. Пилюгин, Л.В. Хорошилова, В.И. Бирюлин, О.М. Ларин.- Старый Оскол: ТНТ, 2013.- 352 с.

2. Сибикин,Ю.Д. Электрические подстанции [Текст]: учеб. пособие для высш. и среднепроф. образования.- М.:РадиоСофт,2013.- 416 с.

3. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения [Текст]: учебник/ Н.П.Гужов, В.Я.Ольховский, Д.А.Павлюченко.- Ростов н/Д.: Феникс, 2011.- 382 с.

4. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие/ Э.А.Киреева.- 2-е изд., стер.- М.: КНОРУС, 2013.- 368 с.

Дополнительная литература

1. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат,1990.

2. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат,1991.

3. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения.- М.: Энергоатомиздат,1992.

4. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

5. Применение ЭВМ для расчетов систем электроснабжения. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 10.04. Н.Новгород, ГПИ, 1992.

6. Расчеты токов короткого замыкания в электрических сетях. Методические указания. Н. Новгород, ГПИ, 1991.

7. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

8. Вагин Г.Я. Режимы электросварочных машин. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга.- М.: Энергоатомиздат, 1983.

10. Федоровский Н.Л. Электрическое освещение. Учебное пособие. Н.Новгород. ГПИ, 1992.

11. Мукосеев Ю. Л. Вопросы электроснабжения промышленных предприятий. М., Высшая школа, 1973.

12. Правила устройства электротехнических установок. М., Энергоатомиздат, 1998.

13. Вагин Г.Я. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие.- Горький, ГПИ, 1986.

14. Сборник задач по курсу “Электроснабжение промышленных предприятий”. Н.Новгород, НГТУ, 1993.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 - Выбор мощности электроприемников, пусковой и защитной аппаратуры

№ по плану	Технологическое оборудование		Характеристика среды	Электродвигатели или электроприемники		Пусковой аппарат		Ток уставки расцепителя автомата или номинальный ток плавкой вставки, А	Провод или кабель			Труба		Примечание
	№ по технологической спецификации	Наименование		тип	мощность, кВт	тип	Номинальный ток теплового элемента / Уставка теплового элемента, А		марка	сечение, число жил	длина линий, м	марка и диаметр	длина линии, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1– Сопротивления понижающих трансформаторов току однофазного короткого замыкания

Номинальная мощность, кВА	Схема соединения обмоток	Значения сопротивлений, мОм	
		$R_т$	$X_т$
250	$У/У_н$	115	289
250	$Δ/У_н$	28,2	81,6
400	$У/У_н$	66,6	183
400	$Δ/У_н$	17,7	51
630	$У/У_н$	36,4	123
630	$Δ/У_н$	10,2	40,5
1000	$У/У_н$	2,3	77,8
1000	$Δ/У_н$	5,7	25,8
1600	$У/У_н$	18,3	60,8
1600	$Δ/У_н$	3,3	16,2
2500	$Δ/У_н$	1,92	10,38

Таблица 2 – Удельные сопротивления проводов или четырехжильных кабелей с алюминиевыми жилами для петли “фаза - нуль” току однофазного к. з.

Сечение жил	$R_{ф-о}$, МОм/м	$X_{ф-о}$, МОм/м	$Z_{ф-о}$, МОм/м
1	2	3	4
3 х 2,5 + 2,5	25	0,23	25
3 х 4 + 2,5	20,31	0,22	20,31
3 х 4 + 4	15,62	0,214	15,62
3 х 6 + 4	13,02	0,207	13,02
3 х 6 + 6	10,42	0,2	10,42
3 х 10 + 6	8,33	0,199	8,33
3 х 10 + 10	6,24	0,198	6,24
3 х 16 + 10	5,07	0,194	5,07
3 х 25 + 10	4,37	0,19	4,37
3 х 25 + 16	3,2	0,186	3,2
3 х 35 + 10	4,01	0,187	4,02
3 х 35 + 16	2,84	0,183	2,85
3 х 50 + 16	2,58	0,18	2,58
3 х 50 + 25	1,87	0,176	1,88
3 х 70 + 25	1,7	0,173	1,71
3 х 70 + 35	1,34	0,17	1,35
3 х 95 + 35	1,22	0,17	1,23
3 х 95 + 50	0,95	0,166	0,97
3 х 120 + 35	1,155	0,168	1,167
3 х 120 + 70	0,71	0,162	0,726
3 х 150 + 50	0,833	0,164	0,85
3 х 150 + 70	0,655	0,161	0,674
3 х 185 + 50	0,79	0,163	0,81
3 х 185 + 95	0,498	0,153	0,523

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Основные технические показатели проекта

«Электроснабжение ……цеха».

1. Установленная мощность…..…….(кВт, кВА)

2. Число электроприемников
переменного тока……шт.

с частотой = 200-10000 Гц……шт.

(отличной от 50 Гц)……

3. Напряжение цеховой электрической сети……В

4. Расчетная мощность (максимальная)……кВА

5. Коэффициент мощности
до компенсации……

после компенсации……

6. Тип, число и мощность трансформаторов цеховой подстанции……

7. Коэффициент загрузки трансформаторов……

8. Напряжение питания цеховых подстанций……кВ.

Методические указания по выполнению графической части проекта электроснабжения электроприемников цеха

Графическая часть состоит из:

1. Схема питающей и распределительной сети.
2. План цеха с нанесением силовой распределительной сети.
3. План освещения цеха (по желанию)

На планах размещения электрооборудования цеха наносят и указывают:

- строительные конструкции и строительные оси;
- наименование производственных участков;
- классы взрывоопасных и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон;
- обозначение силовых ЭП, их позиционные номера и паспортную мощность;
- комплектные распределительные устройства на напряжение до 1000 В (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные пункты, ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства) и их обозначения;
- линии питающие и распределительные и их обозначения (номера);
- компоновку цеховой КТП.

Пример оформления плана расположения электрооборудования приведен на рис.17.

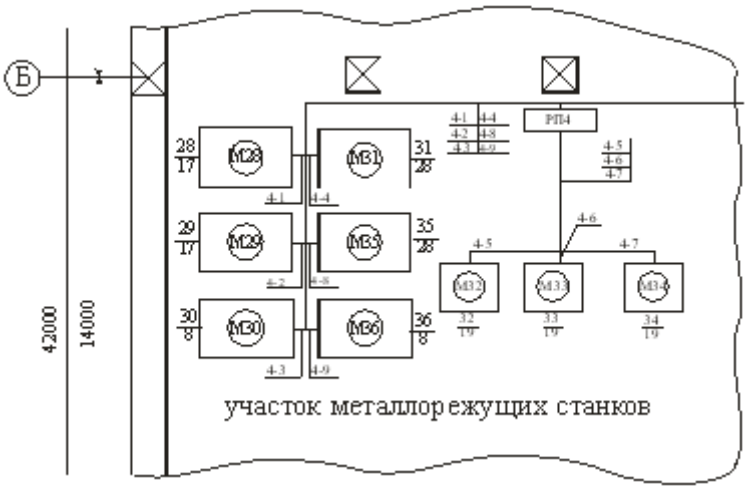


Рис.17 . Фрагмент плана расположения ЭО цеха.

На схемах цеховой электрической сети наносят и указывают:

- цеховые трансформаторы, их тип и мощность, схему соединения обмоток;
- над силовыми линиями: номер линии, марка проводника, количество и сечение жил, под линией –длина линии в метрах;

– возле коммутационно-защитной аппаратуры: тип аппарата и номинальный ток плавкой вставки для предохранителя или номинальный ток теплового расцепителя для автоматического выключателя;

– для силовых ЭП их обозначение и паспортную мощность;

– типы комплектных распределительных устройств.

Пример оформления схемы цеховой сети приведен на рис.18.

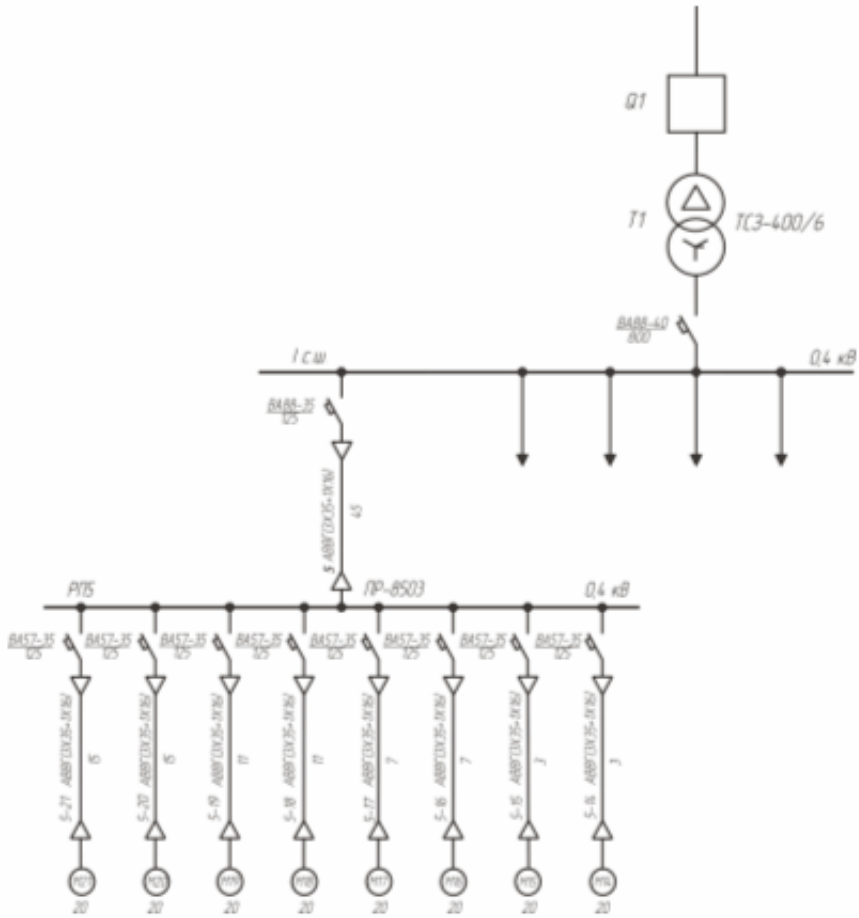


Рис.18. Фрагмент схемы цеховой электрической сети.