
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
электроснабжения силовых
электроприемников цеха

методическое пособие



Содержание

Введение	3
1. Расчет электрических нагрузок	7
2. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов	16
3. Выбор схемы и компоновки цеховой КТП	20
4. Выбор схемы силовой сети цеха	22
5. Выбор способов прокладки силовой сети цеха	25
6. Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000В	
6.1. Выбор и проверка комплектных шинопроводов	27
6.2. Выбор силовых распределительных пунктов	28
7. Выбор сечений силовых линий	
7.1. Выбор сечений по допустимому нагреву	30
7.2. Проверка сечений по потере напряжения	32
7.3. Проверка сечений на соответствие выбранному аппарату защиты	34
8. Выбор защитной аппаратуры	38
9. Расчет токов короткого замыкания	41
10. Проверка правильности выбора защитной аппаратуры	51
11. Методические указания по выполнению графической части проекта электрооборудования электроприемников цеха	53
Приложение 1. Среднее значение коэффициента использования (K_i) и мощности ($\cos \phi$) для характерных групп электроприемников	56
Приложение 2. Технические данные силовых трансформаторов	59
Приложение 3. Планы двухтрансформаторных цеховых КТП	63
Приложение 4. Технические характеристики магистральных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 660В, частотой 50-60 Гц	71
Приложение 5. Технические характеристики магистральных шинопроводов для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 380/220В, частотой 50-60 Гц	72
Приложение 6. Технические данные распределительных шкафов с плавкими предохранителями	73
Приложение 7. Технические данные распределительных силовых пунктов ПР-11	76
Приложение 8. Технические данные распределительных силовых пунктов ПР8501 с трехполюсными АВ	79
Приложение 9. Технические данные силовых распределительных пунктов серии ПР8503	81
Приложение 10. Допустимые токовые нагрузки кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией на напряжение 0,66 кВ, 1 кВ	83

Приложение 11. Допустимые токовые нагрузки трехжильных кабелей с СПЭ-изоляцией напряжением 1 кВ	84
Приложение 12. Длительно допустимый ток для гибких кабелей с резиновой изоляцией напряжением 1 кВ	85
Приложение 13. Технические характеристики предохранителей	86
Приложение 14. Классификация автоматических выключателей	87
Приложение 15. Характеристики автоматических выключателей	88

Введение

При проектировании внутрицехового электроснабжения необходимо учитывать некоторые характеристики силовых электроприемников (ЭП): режим работы, коэффициент мощности, количество фаз, род тока. В связи с этим ниже приводятся характеристики отдельных групп силовых ЭП.

Для всех ЭП важным показателем является их номинальная мощность. Для электродвигателей номинальные мощности выражаются в киловаттах: для однодвигательных ЭП – p_n , кВт; для многодвигательных – суммарная номинальная мощность – P_n , 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 100кВт 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 380 В 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 660 В, 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 380/220 В 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 4500 кВА. Питание индукционных печей и установок закалки и нагрева осуществляется от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В 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 150–180 МВА. 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 220 В 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.

1. Расчет электрических нагрузок

До расчета электрической нагрузки следует привести характеристики ЭП цеха согласно табл. 1.

Таблица 1

Характеристики электроприемников цеха

Обозначение ЭП на плане цеха	Наименование электроприемников	Номинальная мощность, P_H , кВт S_H , кВА	$\cos\varphi$	кпд, η , %	Номинальный ток, I_H , А	Коэффициент использования, K_H
1	2	3	4	5	6	7

Значения коэффициентов мощности и коэффициентов использования для характерных групп электроприемников приведены в [прил. 1](#).

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

1) для трехфазных электродвигателей

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cos\varphi \eta}, \text{ А}; \quad (1)$$

2) для многодвигательного электропривода трехфазного исполнения

$$I_H = \frac{\sum P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cos\varphi \eta}, \text{ А}, \quad (2)$$

где $\sum P_H$ – суммарная номинальная мощность ЭП многодвигательного привода, кВт; $\cos\varphi$ и η – коэффициент мощности и КПД наиболее мощного ЭП данного привода;

3) для трехфазной электрической печи, сварочного трансформатора

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

4) для однофазных электродвигателей на фазное напряжение ($U_{\text{ф}}$)

$$I_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi \eta}, \text{ A}; \quad (4)$$

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

$$I_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 10^3}{2U_{\text{ф}} \cos \varphi \eta} = \frac{\sqrt{3}P_{\text{H}} \cdot 10^3}{2U_{\text{H}} \cos \varphi \eta}, \text{ A}; \quad (5)$$

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

$$I_{\text{H}} = \frac{S_{\text{H}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}}}, \text{ A}; \quad (6)$$

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

$$I_{\text{H}} = \frac{\sqrt{3}S_{\text{H}} \cdot 10^3}{2U_{\text{H}}}, \text{ A}; \quad (7)$$

8) для остальных трехфазных ЭП

$$I_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{\text{H}} \cos \varphi}, \text{ A}; \quad (8)$$

9) для остальных однофазных ЭП на фазное напряжение

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{ф}} \cos \varphi}, \text{ А}; \quad (9)$$

10) для остальных однофазных ЭП на линейное напряжение

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

Во всех формулах: $P_{\text{н}}$, $S_{\text{н}}$ – номинальная мощность ЭП ($P_{\text{н}}$ – в кВт, $S_{\text{н}}$ – в кВА).

Расчет электрических нагрузок цеха и любого другого узла системы электроснабжения (силового распределительного пункта, распределительного или магистрального шинпровода, секции шин) необходимо произвести по методу коэффициента расчетной активной мощности ($K_{\text{р}}$). Расчетная активная мощность ($P_{\text{р}}$) – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке ($I_{\text{р}}$), 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 $K_{\text{и}}$ и $\cos \varphi$. 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.

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

$$P_{\text{с}} = K_{\text{и}} P_{\text{н}}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

$$Q_c = K_{и} P_{н} \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{кВАр.} \quad (12)$$

Коэффициент расчетной активной мощности зависит от значения группового коэффициента использования ($K_{и\text{гр.}}$), эффективного числа ЭП ($n_{э}$) и постоянной времени нагрева (T_0).

Групповой коэффициент использования узла питания определяется по формуле:

$$K_{и\text{гр.}} = \frac{\sum K_{и} P_{н}}{\sum P_{н}}. \quad (13)$$

Эффективное число ЭП рассчитывается по формуле:

$$n_{э} = \left(\sum_{i=1}^n p_{ни} \right)^2 / \sum_{i=1}^n n p_{ни}^2, \quad (14)$$

где $n_{э}$ – число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое дает то же значение расчетного максимума (P_p), что и группа из реального числа ЭП (n), различных по мощности и режиму работы; $\sum_{i=1}^n p_{ни}$ – суммарная установленная мощность ЭП узла питания, кВт; $p_{ни}$ – номинальная (установленная) мощность i -го ЭП, кВт.

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

$$n_{э} = 2 \left(\sum_{i=1}^n p_{ни} \right) / p_{н\text{max}}, \quad (15)$$

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

Найденное по формулам (41) или (42) $n_{э}$ округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Постоянные времени нагрева принимаются следующие:

100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 3

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_3	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:

$$P_p = K_p \sum K_{и} P_{н}, \text{ кВт.} \quad (16)$$

Расчетная реактивная мощность для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от n_3 определяется по формулам:

$$\text{при } n_3 \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \sum K_{и} P_{н} \text{tg}\varphi, \text{ кВАр;} \quad (17)$$

$$\text{при } n_3 > 10 \quad Q_p = \sum K_{и} P_{н} \text{tg}\varphi, \text{ кВАр.} \quad (18)$$

Расчетная реактивная мощность для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций независимо от n_3 определяется по формуле:

$$Q_p = K_p \sum K_{и} P_{н} \text{tg}\varphi, \text{ кВАр.} \quad (19)$$

Полная расчетная мощность узла питания

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА.} \quad (20)$$

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

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{поу}})^2 + (Q_p + Q_{\text{поу}})^2}, \text{ кВА.} \quad (21)$$

Расчетный ток узла питания

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \text{ А.} \quad (22)$$

При определении расчетных нагрузок цеха и отдельных узлов питания следует пользоваться табл. 4.

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:

$$p_H = 3p_{H.0}; \quad q_H = 3q_{H.0}, \quad (23)$$

где $p_{H.0}$, $q_{H.0}$ – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

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

$$p_H = \sqrt{3}p_{H.0}; \quad q_H = \sqrt{3}q_{H.0}. \quad (24)$$

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

Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92)

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП** $n_3 = (\sum P_n)^2 / \sum n p_n^2$	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_p = S_p / (\sqrt{3} U_n)$	
по заданию технологов		по справочным данным			$K_n P_n$	$K_n P_n \text{tg}\varphi$	$n p_n^2$			активная, кВт $P_p = K_p \sum K_n P_n$	реактивная, кВАр** $Q_p = 1,1 \sum K_n P_n \text{tg}\varphi$ при $n_3 \leq 10$; $Q_p = \sum K_n P_n \text{tg}\varphi$ при $n_3 > 10$	полная, кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$		
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.* n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		коэффициент использования K_n				коэффициент реактивной мощности $\frac{\cos \varphi}{\text{tg}\varphi}$						
		одного ЭП P_n	общая $P_n = n p_n$											
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_3 по выражению

$$n_3 = 2 \sum P_n / p_{n, \text{макс}}$$

расчетная реактивная мощность принимается равной

$$Q_p = K_p K_n P_n \text{tg}\varphi = P_p \text{tg}\varphi .$$

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

$$\begin{aligned} P_{HA(o)} &= \sum P_{HA} + \sum P_{HAB} P_{(AB)A} + \sum P_{HAC} P_{(AC)A}, \text{ кВт}; \\ P_{HB(o)} &= \sum P_{HB} + \sum P_{HAB} P_{(AB)B} + \sum P_{HBC} P_{(BC)B}, \text{ кВт}; \\ P_{HC(o)} &= \sum P_{HC} + \sum P_{HAC} P_{(AC)C} + \sum P_{HBC} P_{(BC)C}, \text{ кВт}, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\sum P_{HA}$, $\sum P_{HB}$, $\sum P_{HC}$ – суммарная мощность однофазных ЭП на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз A , B и C ; P_{HAB} , P_{HAC} , P_{HBC} – 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.

Таблица 5

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

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, $\cos\varphi$								
	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:

$$\begin{aligned} P_{HA} &= P_{HA(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\ P_{HB} &= P_{HB(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}; \\ P_{HC} &= P_{HC(o)} + \frac{\sum P_{H3}}{3}, \text{ кВт}, \end{aligned} \quad (26)$$

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

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

$$\Delta P_{нр} = \frac{P_{н\max} - P_{н\min}}{P_{н\min}} \cdot 100, \% , \quad (27)$$

где $P_{н\max}$, $P_{н\min}$ – 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 нагруженной фазы:

$$P_{н(о)} = 3P_{н\max(о)}, \text{ кВт.} \quad (28)$$

2. Выбор числа и мощности цеховых 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 устанавливаются, 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.

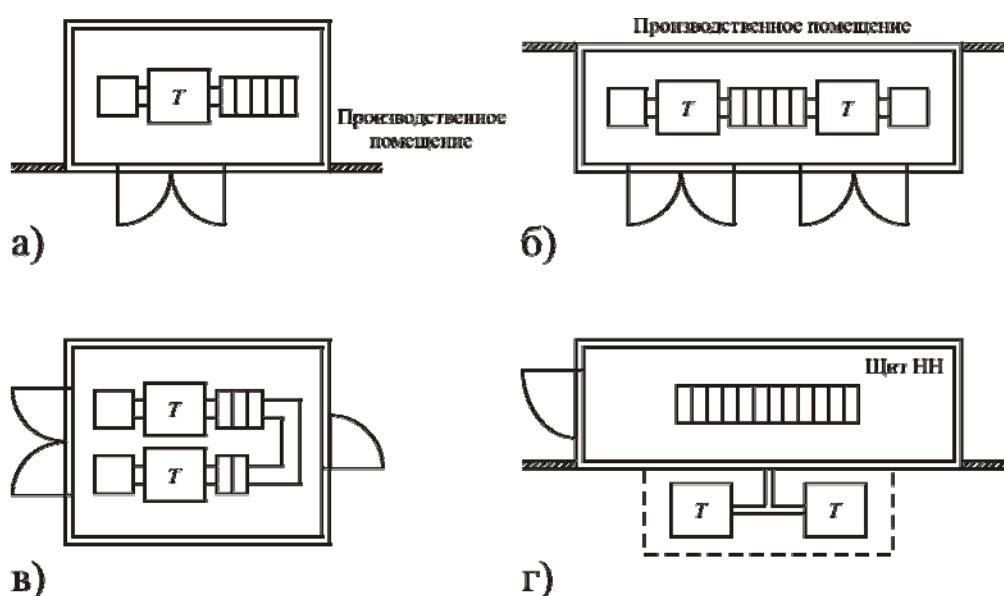


Рис. 1. Варианты размещения цеховых КТП и их компоновки: а – однотрансформаторная КТП встроенного типа; б – двухтрансформаторная КТП пристроенного типа однорядного исполнения; в – двухтрансформаторная КТП отдельно стоящая двухрядного исполнения; г – КТП с наружной установкой трансформаторов

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 переключателями 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/м². 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/м².

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:

$$S_{\text{нт}} \geq S_{\text{р}}, \text{ кВА}, \quad (29)$$

где $S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; $S_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка цеха, кВА.

Для двухтрансформаторных подстанций

$$S_{\text{нт}} = \frac{S_{\text{р}}}{2K_3}, \text{ кВА}, \quad (30)$$

где K_3 – 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 ($S_{руд}$):

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

Далее по [прил.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 $I_n > 250$ А можно питать только от шин КТП непосредственно, ЭП с $I_n \leq 80$ А – только через распределительные пункты, ЭП с $80 < I_n \leq 250$ 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.4. Расчет электрических нагрузок секций шин также приводят в табличной форме.

Далее следует определить потери напряжения во вторичных обмотках цеховых трансформаторов по формуле:

$$\Delta U_T = \beta(U_{ка} \cos \varphi_{ср} + U_{кр} \sin \varphi_{ср}), \quad \% \quad (31)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора; $U_{ка}$, $U_{кр}$ – соответственно активная и индуктивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %; $\cos \varphi_{ср}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

$$\beta = \frac{S_{рт}}{S_{нт}}, \quad (32)$$

где $S_{рт}$ – расчетная нагрузка трансформатора.

$$U_{ка} = \frac{P_k}{S_{нт}} \cdot 100, \quad \% \quad (33)$$

где P_k – мощность потерь короткого замыкания, кВт.

$$U_{кр} = \sqrt{U_k^2 - U_{ка}^2}, \quad \% \quad (34)$$

где U_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

3. Выбор схемы и компоновки цеховой КТП

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

В состав подстанции может входить РУВН, 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.

РУНН 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 $I_{на} = 100; 250; 400$ А (2×100 + 2×250; 4×250; 2×250 + 2×400);
- 2) рубильник, предохранитель с $I_{на} = 600$ А ;
- 3) рубильники, автоматические выключатели с $I_{нтр} \geq 100$ А (6×100; 4×250; 2×600; 4×100);
- 4) автоматические выключатели с $I_{нтр} \geq 100$ А (6×100; 4×250; 2×600; 4×100);
- 5) разъединитель, автоматический выключатель с $I_{нтр} = 400; 1000$ 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 [прил. 3](#) 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.

4. 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. 2 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.3 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.

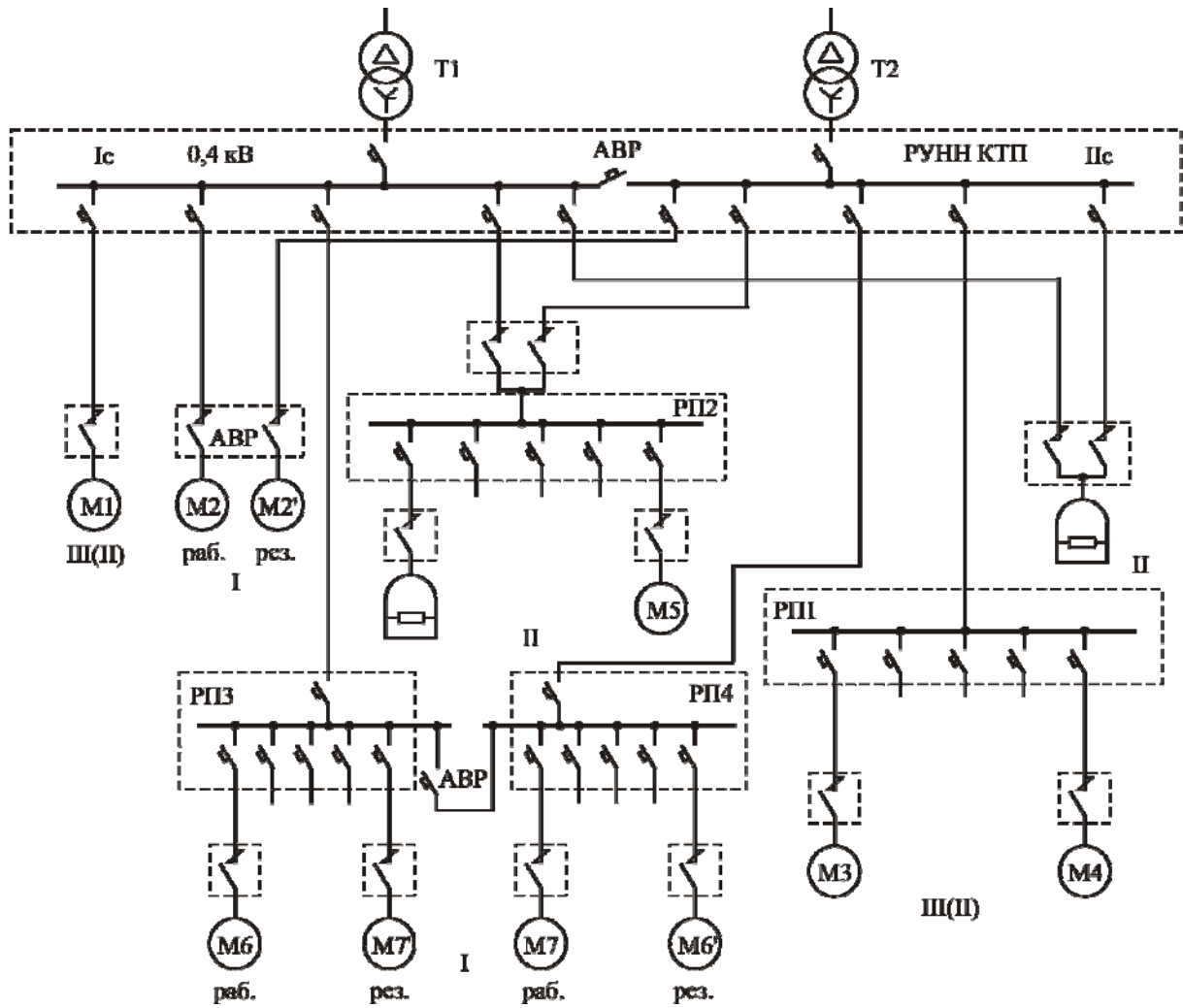


Рис. 2. Пример радиальной схемы для ЭП различных категорий по надёжности электроснабжения

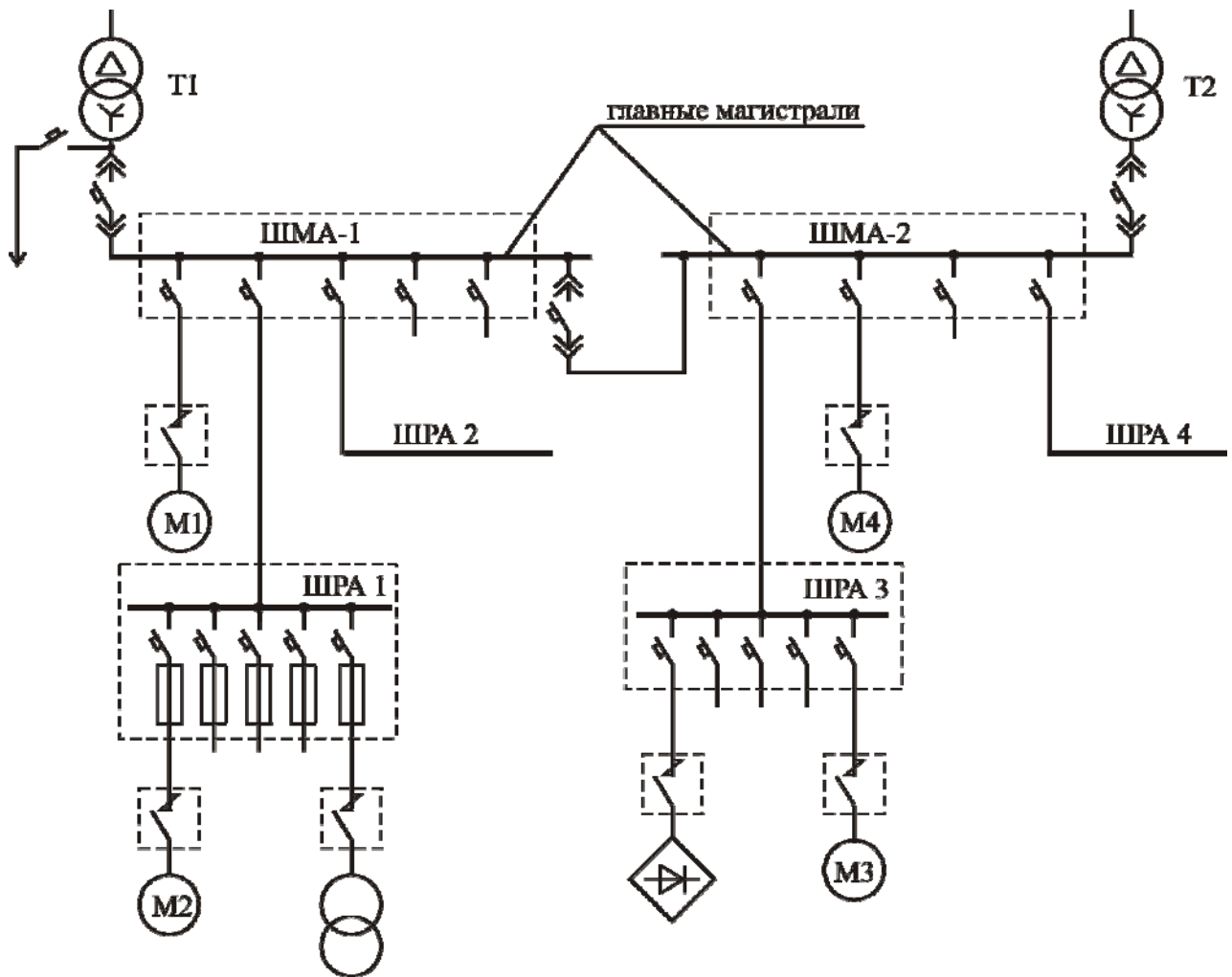


Рис. 3. Пример выполнения магистральной схемы при двухтрансформаторной КТП

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

На практике наибольшее распространение получили смешанные схемы.

5. 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

вливают 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) $1,5 \div 6$ 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.

6. Выбор силового электрооборудования напряжением до 1000 В

6.1. Выбор и проверка комплектных шинопроводов

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

$$I_p \leq I_n, \quad (35)$$

где I_n – номинальный ток шинопровода, А.

Технические характеристики магистральных шинопроводов приведены в [прил. 4](#), распределительных – в [прил. 5](#).

Для оценки уровня напряжения, подводимого к ЭП, запитанным от шинопроводов, необходимо учитывать потери напряжения в шинопроводах.

Потери напряжения в шинопроводах определяют по формуле:

$$\Delta U_{ш} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_n} (r_0 \cos \varphi_{cp} + x_0 \sin \varphi_{cp}) \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot l_i, \quad \% \quad (36)$$

где r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, Ом/км; $\cos\varphi_{cp}$ – средневзвешенный коэффициент нагрузки шинопровода; I_{pi} – ток расчётный i -той нагрузки, А; l_i – длина шинопровода от ввода до точки подключения i -той нагрузки, км.

При токе нагрузки, близком к номинальному току шинопровода, потери напряжения допускается определять по линейной потере напряжения на 100 м шинопровода по формуле:

$$\Delta U_{ш} = \frac{\Delta U_{лш} \cdot l_{ш}}{U_{н}}, \quad \% \quad (37)$$

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

После расчета токов короткого замыкания необходимо сделать проверку выбранных сечений шинопроводов по термической и электродинамической стойкости. Для этого ток трехфазного КЗ ($I_{к}^{(3)}$), рассчитанный в начале шинопровода следует сравнить с термической стойкостью шинопровода, а ударный ток – с электродинамической стойкостью по условиям:

$$\begin{aligned} I_{к}^{(3)} &\leq i_{тс}, \quad \text{кА}, \\ i_{уд} &\leq i_{уд \text{ доп.}}, \quad \text{кА}, \end{aligned} \quad (38)$$

где $i_{тс}$ – термическая стойкость шинопровода, кА; $i_{уд \text{ доп.}}$ – электродинамическая стойкость шинопровода, кА, взятые из технических характеристик.

6.2. Выбор силовых распределительных пунктов

В качестве силовых распределительных пунктов (РП) можно выбирать щиты распределительные (корпуса для электрощитового ЭО), либо типовые РП. Данные по щитам распределительным, а также по осветительно-силовым щиткам приведены в части 1 методических указаний по курсовому и дипломному проектированию. 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 [прил.6](#). В случае необходимости защиты линий от токов КЗ и от токов перегрузки следует выбирать распределительные пункты с АВ, технические данные которых приведены в [прил. 7, 8, 9](#).

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-Ia; В-II, В-IIa.

7. 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.

7.1. 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:

$$I_p \leq I_d K_{\text{п}}, \quad (39)$$

где I_p – максимальный рабочий (расчетный) ток нагрузки, А; I_d – 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:

$$I_p = I_n, \quad \text{А.} \quad (40)$$

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

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_{\text{ни}}, \quad \text{А.} \quad (41)$$

Для магистралей и питающих линий определяется расчетная нагрузка группы ЭП по методу коэффициента активной расчетной мощности, а затем рассчитывается ток нагрузки по формуле (22).

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.6; в зависимости от способа прокладки кабелей в коробах – в табл. 7.

Таблица 6

Поправочные коэффициенты на токи для кабелей
в зависимости от температуры воздуха

Материал изоляции жил кабеля	Значение $K_{\text{п}}$ 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 7

Значения поправочных коэффициентов для кабелей,
прокладываемых в коробах

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

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

Значения длительно допустимых токов для кабелей с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией приведены в

[прил.10](#), для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена – в [прил. 11](#), для гибких кабелей – в [прил. 12](#).

Для электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых сечением более 10 мм² ток ЭП приводится к длительному режиму работы умножением I_H на коэффициент $K_{ПВ} = 1,14\sqrt{ПВ}$:

$$I_p = I_H K_{ПВ} = 1,14 I_H \sqrt{ПВ}, \text{ А}, \quad (42)$$

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:

$$1,25 I_p \leq I_d K_{п}. \quad (43)$$

7.2. Проверка сечений по потере напряжения

Согласно ПУЭ, для силовых электроприемников отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\%$.

Выбранные по допустимому нагреву сечения силовых линий проверяют по потере напряжения по условию:

$$\Delta U_{\Sigma} = \Delta U_{тр} + \Delta U_{пл} + \Delta U_{рл} \leq \Delta U_{доп}, \quad (44)$$

где $\Delta U_{тр}$ – потери напряжения во вторичной обмотке цехового трансформатора, %; $\Delta U_{пл}$ – потери напряжения в питающей линии, %; $\Delta U_{рл}$ – потери напряжения в распределительной линии, %; $\Delta U_{доп}$ – допустимые потери напряжения, равные 10 % для силовых электроприемников.

Потери напряжения в распределительных линиях определяются по формулам:

– при питании одиночного ЭП

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} I_p l \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad \% \quad (45)$$

– для магистрали

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \sum_{i=1}^n I_{pi} l_i, \quad \% \quad (46)$$

Потери напряжения в питающей линии

$$\Delta U_{\text{пл}} = \frac{\sqrt{3} I_p l \cdot 100}{U_H} (r_0 \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad \% \quad (47)$$

где I_p – расчетный ток линии, А; I_{pi} – расчетный ток i -ой нагрузки магистральной линии, А; r_0 , x_0 – соответственно удельные активное и индуктивное сопротивления линий, Ом/км; l – длина линии, км; l_i – длина линии до точки подключения i -ой нагрузки к магистрали, км; $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенный коэффициент мощности группы электроприемников.

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в табл. 8.

Таблица 8

Удельные активные и индуктивные сопротивления кабелей

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U_H 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

Номинальное сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление при U_n до 1 кВ, Ом/км
	алюминиевых	медных	
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.

7.3. 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:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п}}, \text{ А}, \quad (48)$$

где $I_{\text{п}}$ – пиковый ток электроприемника, определяемый по 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 – $2,5I_{\text{H}}$;

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

Для распределительной линии, питающей группу одновременно запускаемых ЭП:

$$I_{\text{пик}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{п}i}, \text{ А}, \quad (49)$$

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:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + \sum_{i=1}^n I_{\text{H}i}, \text{ А}, \quad (50)$$

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

Для питающей линии

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п max}} + (I_{\text{р}} - K_{\text{и}} I_{\text{H max}}), \text{ А}, \quad (51)$$

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; $I_{\text{H max}}$ – 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:

$$\frac{I_d}{I_3} \geq K_{\text{защ}}, \quad (52)$$

где I_d – длительно допустимый ток проводника, А; I_3 – ток аппарата защиты, А; $K_{\text{защ}}$ – коэффициент защиты.

Значения коэффициента защиты и принимаемый ток аппарата защиты приведены в табл. 9.

Таблица 9

Значения коэффициента защиты

Тип защитного аппарата и принимаемый ток защиты I_3	Коэффициент защиты $K_{\text{защ}}$ 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: $I_3 = I_{\text{н вст.}}$	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток срабатывания автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель: $I_3 = I_{\text{нзр}}$	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя выключателя с нерегулируемой обратно-зависимой характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки): $I_3 = I_{\text{нтр}}$	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой, обратнозависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки): $I_3 = I_{\text{уст}}$ при перегрузке	1,0	1,0	0,8	0,66

Данные по выбору сечений силовых линий свести в табл. 10.

Таблица 10

Выбор сечений силовых линий

1	2	3	4	5	Расчетные токи		8	9	10	11	12	13	14	15
					6	7								
Номер кабельной линии	Обозначение ЭП на плане цеха	Способ прокладки	Марка кабеля	Длина линии l , м	Рабочий ток $I_{р}$, А	Пиковый ток $I_{пик}$, А	Поправочный коэффициент $K_{п}$	Сечение по допустимому нагреву S , мм ²	Длительно допустимый ток $I_{д}$, 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

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 мм² по меди и 25 мм² 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 мм², иметь сечение 16 мм² при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм² и не менее 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Окончательно выбранное сечение в табл.10 указывать в полном виде с указанием марки проводника и сечений фазных и нулевых проводников (например, АВВГ 3×50 + 2×25).

8. 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 $U_{н пр.}$ должно быть, как правило, равно номинальному напряжению сети, где они устанавливаются:

$$U_{н пр.} = U_c; \quad (53)$$

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

$$I_{н пр.} \geq I_p; \quad (54)$$

– по номинальному току плавкой вставки предохранителя $I_{н вст.}$, который должен быть отстроен от пусковых токов:

$$I_{н вст.} \geq \frac{I_{п.}}{a}, \quad (55)$$

где $I_{п.}$ – 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 $2 \div 5$ 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:

$$I_{\text{н вст.}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{2,5}, \quad (56)$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток магистрали, рассчитанный по формуле (50).

При защите питающей линии номинальный ток плавкой вставки выбирается по условию (56), а пиковый ток определяется по формуле (51).

Последовательно включенные предохранители должны быть проверены по селективности. По защитным характеристикам плавких предохранителей определяют время отключения при протекании максимального тока КЗ ($I_{\text{к}}^{(3)}$). 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 [прил.13](#).

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

Автоматические выключатели выбирают по следующим условиям:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{на}} &\geq U_{\text{с}}; \\
 I_{\text{на}} &\geq I_{\text{р}}; \\
 I_{\text{нтр}} &\geq I_{\text{р}}; \\
 I_{\text{нэр}} &\geq (1,25 \div 1,35)I_{\text{пик}},
 \end{aligned}
 \tag{57}$$

где $U_{\text{на}}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (АВ); $I_{\text{на}}$ – номинальный ток АВ; $I_{\text{нтр}}$ – номинальный ток теплового расцепителя; $I_{\text{нэр}}$ – номинальный ток (ток уставки) электромагнитного расцепителя; $U_{\text{с}}$ – напряжение сети; $I_{\text{р}}$ – максимальный рабочий ток линии; $I_{\text{пик}}$ – 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 [прил.14](#), а их технические характеристики – в [прил. 15](#).

Результаты выбора защитных аппаратов свести в табл. 11.

Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей
(силовых и осветительных)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер линии	Обозначение ЭП или узла питания на схеме	Тип автоматического выключателя или предохранителя	Номинальное напряжение аппарата защиты, U_n , В	Расчетный ток линии, I_p , А	Пиковый ток линии, $I_{пик}$, А	Номинальный ток аппарата защиты, $I_{на}$, А	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{нтр}$, А или номинальный ток плавкой вставки предохранителя, $I_{н пл. вст.}$, А	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, $I_{нэр}$, А

9. Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ необходим для проверки защитных аппаратов по отключающей способности, проверки защит по чувствительности действия и шинопроводов (ШМА, ШРА) по термической и электродинамической стойкости.

С этой целью рассчитываются токи трехфазного короткого замыкания ($I_K^{(3)}$) на выходе защитных аппаратов, токи однофазного КЗ ($I_K^{(1)}$) в конце защищаемой зоны аппарата защиты, ток трехфазного КЗ и ударный (i_y) в начале шинопровода.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;

2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;

3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;

4) значения параметров синхронных и асинхронных электродвигателей.

При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать:

1) сопротивление электрической дуги в месте КЗ;

2) изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ;

3) влияние комплексной нагрузки (электродвигатели, преобразователи, термические установки, лампы накаливания) на ток КЗ, если номинальный ток электродвигателей нагрузки превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета нагрузки.

Токи КЗ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Следует использовать шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

Сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (58)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В; $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи до точки КЗ, мОм.

Значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (59)$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности относительно точки КЗ, мОм.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчетную схему, на которой приводятся технические характеристики цехового трансформатора (тип, схема соединения обмоток, номинальная мощность, номинальные напряжения обмоток, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь при КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи коммутационно-защитных аппаратов, точки КЗ.

Пример расчетной схемы приведен на рис.4.

Далее составляются схемы замещения прямой и нулевой последовательностей, представленные на рис. 5 и рис.6.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы, приведенное к ступени низшего напряжения сети, рассчитывается по формуле

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3}I_{\text{к.ВН}}^{(3)}U_{\text{ср.ВН}}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}, \quad (60)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В; $U_{\text{ср.ВН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В; $I_{\text{к.ВН}}^{(3)} = I_{\text{по ВН}}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА; $S_{\text{к}}$ – условная

мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА.

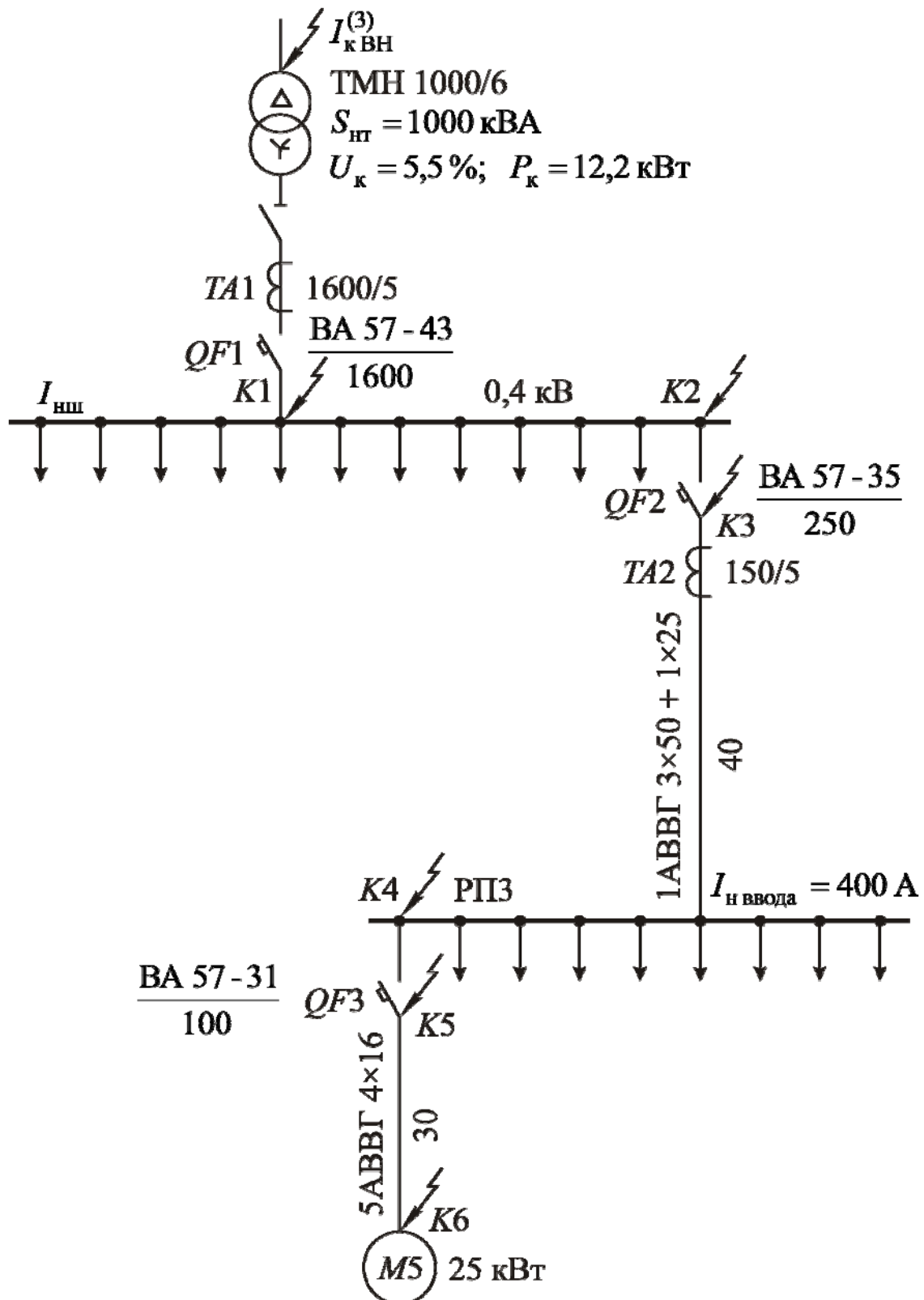


Рис. 4. Расчетная схема

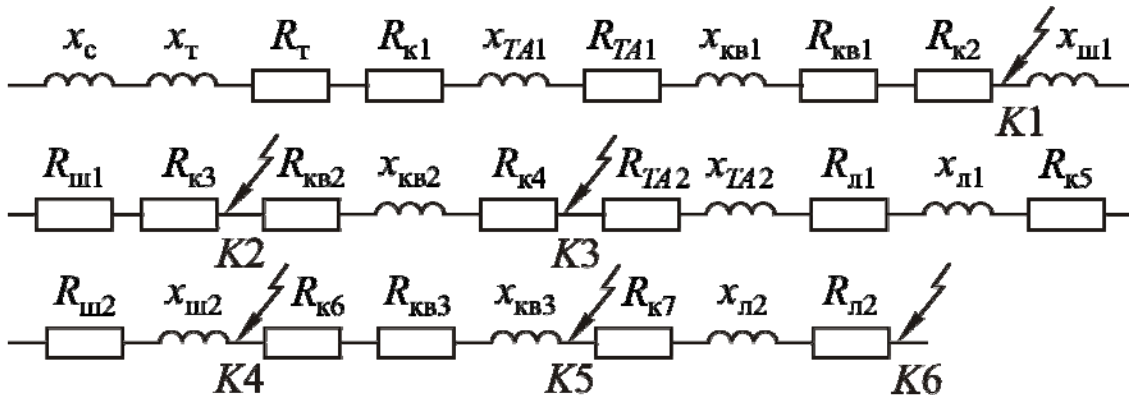


Рис.5. Схема замещения прямой последовательности: x_c – эквивалентное сопротивление системы; R_T, x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цехового трансформатора; R_{TA}, x_{TA} – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока; R_{KB}, x_{KB} – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей; $R_{ш}, x_{ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинпроводов; $R_{л}, x_{л}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности кабельных линий; R_k – активное сопротивление различных контактов.

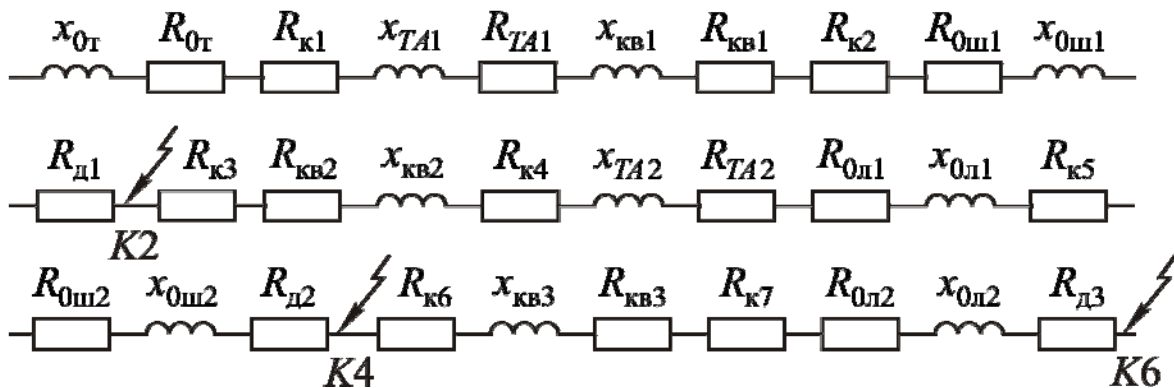


Рис.6. Схема замещения нулевой последовательности: R_{0T}, x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цехового трансформатора; $R_{0ш}, x_{0ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпроводов; $R_{0л}, x_{0л}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабельных линий; $R_{д}$ – сопротивление дуги в месте короткого замыкания.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиомах допускается рассчитывать по формуле

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_0 U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (61)$$

где I_0 – номинальный ток отключения силового выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора .

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов (r_T, x_T) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$r_T = \frac{P_K U_{НН}^2}{S_{НТ}^2} 10^6; \quad (62)$$

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100P_K}{S_{НТ}}\right)^2} \frac{U_{НН}^2}{S_{НТ}} 10^4, \quad (63)$$

где $S_{НТ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА; P_K – потери КЗ в трансформаторе, кВт; $U_{НН}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ; u_K – напряжение КЗ трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчете КЗ в сети низшего напряжения следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями изготовителей.

Активные и индуктивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей шинопроводов приведены в табл.12.

Таблица 12

Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			$r_{ш}$	$x_{ш}$	$r_{0ш}$	$x_{0ш}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,045
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,12	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,100	0,130	0,162	0,164

Значения удельных сопротивлений кабелей приведены в табл. 17.

Значения активных сопротивлений контактов различного вида приведены в табл. 13, 14, 15.

Таблица 13

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,021	0,012

Таблица 14

Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов
коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъемных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,30	–	–
70	1,00	–	–
100	0,75	0,50	–
150	0,65	–	–
200	0,60	0,40	–
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	–	–	–

При приближенном учете сопротивлений контактов принимают: $r_k = 0,1$ мОм – для контактных соединений кабелей; $r_k = 0,01$ мОм – для шинпроводов; $r_k = 1,0$ мОм – для коммутационных аппаратов.

При расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи КЗ. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в табл.16. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов КЗ можно пренебречь.

Расчеты токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом индуктивных и активных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными соответствующим сопротивлениям прямой последовательности.

Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в табл. 17.

Таблица 16

Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформаторов тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		3	
	x_{TA}	r_{TA}	x_{TA}	r_{TA}
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,30	0,20	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 17

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	r_{KB}	x_{KB}
50	7	4,50
70	3,50	2
100	2,15	1,20
140	1,30	0,70
200	1,10	0,50
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,10
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,10	0,05

При определении минимального значения тока КЗ следует учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги в месте КЗ.

Приближенные значения активного сопротивления дуги приведены в табл. 18.

Таблица 18

Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия КЗ	Активное сопротивление дуги (r_d), мОм, при КЗ за трансформаторами мощностью, кВА					
	250	400	630	1000	1600	2500
КЗ вблизи выводов низшего напряжения трансформатора: - в разделке кабелей напряжением: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ - в шинпроводе типа ШМА напряжением: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ						
	15	10	7	5	4	3
	14	8	6	4,5	3,5	2,5
	12	7	5	4	3	2
	—	—	—	6	4	3
	—	—	—	5	3,5	2,5
КЗ в конце шинпровода типа ШМА длиной 100–150 м напряжением: 0,4 кВ 0,525 кВ 0,69 кВ	—	—	—	6–8	5–7	4–6
	—	—	—	5–7	4–6	3–5
	—	—	—	4–6	3–5	2–4
	—	—	—	—	—	—

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_k^{(3)}, \text{ кА}, \quad (64)$$

где K_y – ударный коэффициент, определяемый по графику на рис. 16 и зависящий от отношения активного и индуктивного сопротивлений в точке КЗ:

$$K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right).$$

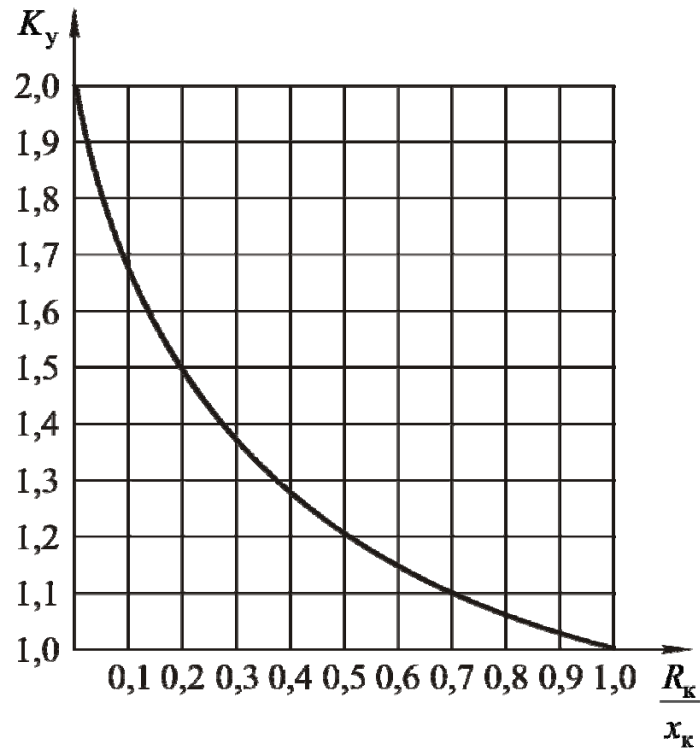


Рис.7. Зависимость $K_y = f\left(\frac{R_k}{x_k}\right)$

Пример расчета токов короткого замыкания привести для одной точки КЗ. Результаты расчета токов КЗ свести в табл.19.

Таблица 20

Результаты расчета токов КЗ

Обозначение точки КЗ	$R_{1\Sigma}$, мОм	$x_{1\Sigma}$, мОм	$z_{1\Sigma}$, мОм	$R_{0\Sigma}$, мОм	$x_{0\Sigma}$, мОм	$I_k^{(1)}$, кА	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9

10. Проверка правильности выбора защитной аппаратуры

Предохранители и автоматические выключатели проверяются по отключающей способности по условию:

$$I_0 \geq I_k^{(3)}, \quad (65)$$

где I_0 – отключающая способность аппарата защиты, кА;
 $I_K^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на выходе аппарата защиты, кА.

Проверка правильности выбора предохранителя по чувствительности:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{н.вст.}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{н.вст.}} &\geq 4 \text{ – для помещений со взрывоопасной средой;} \end{aligned} \right\} (66)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты предохранителя, А; $I_{н.вст.}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А.

Проверка правильности выбора автоматических выключателей по чувствительности действия защит:

– для тепловых расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 3 \text{ – для помещений с нормальной средой;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нтр}} &\geq 6 \text{ – для взрывоопасных помещений;} \end{aligned} \right\}; (67)$$

– для электромагнитных расцепителей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,4 \text{ – для АВ с } I_{на} \leq 100 \text{ А;} \\ \frac{I_K^{(1)}}{I_{нэр}} &\geq 1,25 \text{ – для остальных АВ;} \end{aligned} \right\}, (68)$$

где $I_K^{(1)}$ – ток однофазного КЗ в конце зоны защиты автоматического выключателя, А; $I_{нтр}$ – номинальный ток

теплового расцепителя АВ, А; $I_{нэр}$ – номинальный ток электромагнитного расцепителя АВ, А.

Данные по проверке предохранителей свети в табл.21, автоматических выключателей – в табл. 22.

Таблица 21

Проверка правильности выбора предохранителей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип предохранителя	$I_{нпр.},$ А	$I_{н.вст.},$ А	$I_0,$ кА	$I_k^{(3)},$ кА	$I_k^{(1)},$ кА	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{н.вст.}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 22

Проверка правильности выбора автоматических выключателей

№ линии	Обозначение ЭП	Тип АВ	$I_{на},$ А	$I_{нтр},$ А	$I_{нэр},$ А	$I_0,$ кА	$I_k^{(3)},$ кА	$I_k^{(1)},$ кА	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{нтр}}$	$\frac{I_k^{(1)}}{I_{нэр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Если выбранные аппараты не проходят проверку по отключающей способности, то их необходимо заменить на другие типы аппаратов с большей отключающей способностью. Если защитные аппараты не проходят проверку по чувствительности, необходимо увеличить сечения линий, чтобы увеличить ток однофазного КЗ.

11. Методические указания по выполнению графической части проекта электроснабжения электроприемников цеха

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.

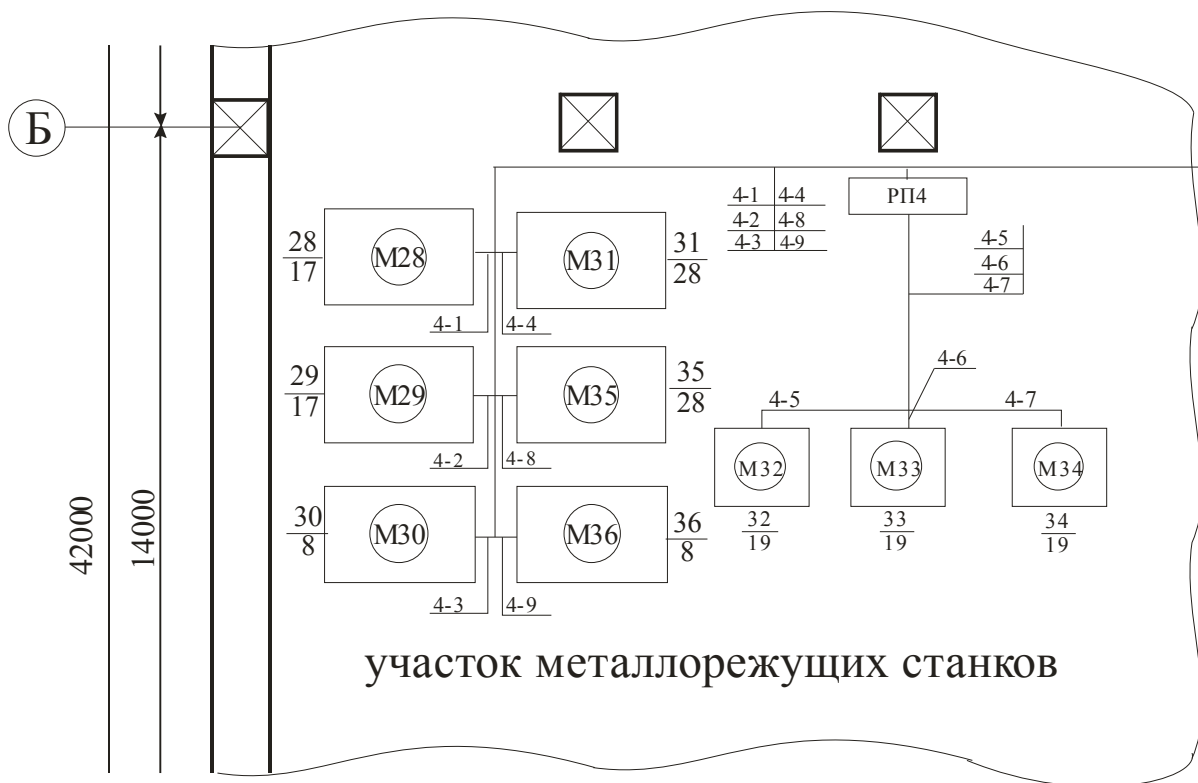


Рис.8 . Фрагмент плана расположения ЭО цеха.

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;

Приложение 1

Средние значения коэффициентов использования ($K_{и}$)
и мощности ($\cos\varphi$) для характерных групп электроприемников

Наименование электроприемников	$K_{и}$	$\cos\varphi$
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

Продолжение прил. 1

1	2	3
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	0,65	0,7
вискозного корда	0,5	0,7
ацетатного шёлка	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

Технические данные силовых трансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, $S_{нт}$, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		Ток ХХ, i_x , %	Напряжение КЗ, U_k , %	Габаритные размеры, мм			Масса, кг	
		$U_{вн}$	$U_{нн}$		XX, P_x	КЗ, P_k			длина	ширина	высота	масла	полная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТСЗ-25/10-УЗ	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-УЗ	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-УЗ	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-УЗ	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-УЗ	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-УЗ									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-160/10-УЗ	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-УЗ									1550	1100	2200	–	950
ТСЗГЛ-250/10-УЗ	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-УЗ									2090	1170	2200	–	1540
ТСЗГЛ-400/10-УЗ	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-УЗ									2090	1170	2200	–	1760
ТСЗГЛ-630/10-УЗ	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-УЗ									2100	1260	2200	–	2200
ТСЗГЛ-1000/10-УЗ	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-УЗ								8,0	2300	1260	2200	–	3170
ТСЗГЛ-1250/10-УЗ	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-УЗ								8,0	2300	1260	2200	–	3570
ТСЗГЛ-1600/10-УЗ	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-УЗ								8,0	2560	1260	2410	–	4660

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
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
ТС3-16/0,66-УХЛ4	16	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,115	0,44	3,0	3,8	800	440	860	–	160
ТС3-25/0,66-УХЛ4	25	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,155	0,60	3,0	3,8	810	440	940	–	195
ТС3-40/0,66-УХЛ4	40	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,22	0,88	3,0	3,8	880	440	980	–	240
ТС3-63/0,66-УХЛ4	63	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,29	1,28	3,0	3,8	920	440	1100	–	310
ТС3-100/0,66-УХЛ4	100	0,38; 0,66	0,23	У/У _н -0	0,39	1,45	3,0	3,8	980	550	1120	–	460
ТС3-160/10	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
ТС3-250/10	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
ТС3-400/10	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
ТС3-630/10	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
ТС3-1000/10	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
ТС3-1600/10	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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TM-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
TM-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
TM-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					
TM-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			4,2		6,5					
TM3-250/10	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
TH3-250/10													2000
TM-400/10; TMH-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			5,9							
TM3-400/10	400	6; 10	0,4;	У/У _н -0; Д/У _н -11	0,92	5,5	2,1	4,5	1860	2000	1400		2100
TH3-400/10			0,69										2600
TM-630/10; TMH-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			8,5							
TM3-630/10	630	6; 10	0,4;	У/У _н -0; Д/У _н -11	1,42	7,6	1,8	5,5	2000	2190	1400		2900
TH3-630/10			0,69										3400
TM-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			11,6							
TMH-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										
TM3-1000/10	1000	6; 10	0,4;	У/У _н -0; Д/У _н -11	2,45	10,6	1,4	5,5	2300	232	1500		4170
TH3-1000/10			0,69										5600

Продолжение прил.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
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;	У/У _н -0;	3,30	18,0	1,3	5,5	2700	2650	1600		6500
ТНЗ-1600/10			0,69	Д/У _н -11									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;	Д/У _н -11;	4,60	24,0	1,0	5,5	2900	2900	1800		10000
ТНЗ-2500/10			0,69	У/У _н -0									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
ТМГ11-1600/10-У1	1600	6; 10	0,4	Д/У _н -11	2,15	16,5	0,4	6,0	2180	1260	2170	1300	4250
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 геафолиевой 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.

Планы двухтрансформаторных цеховых КТП

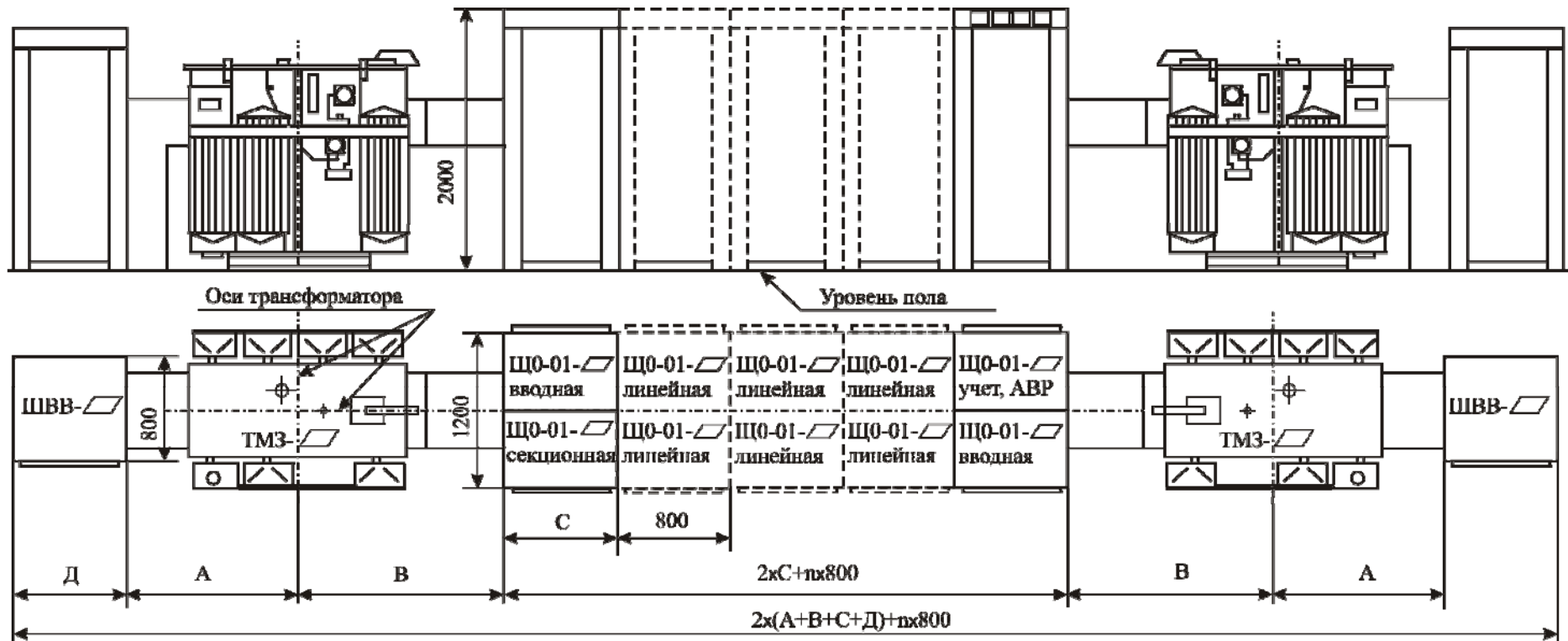


Рис. 3.1. План двухтрансформаторной КТП одностороннего расположения со стационарными выключателями

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)	

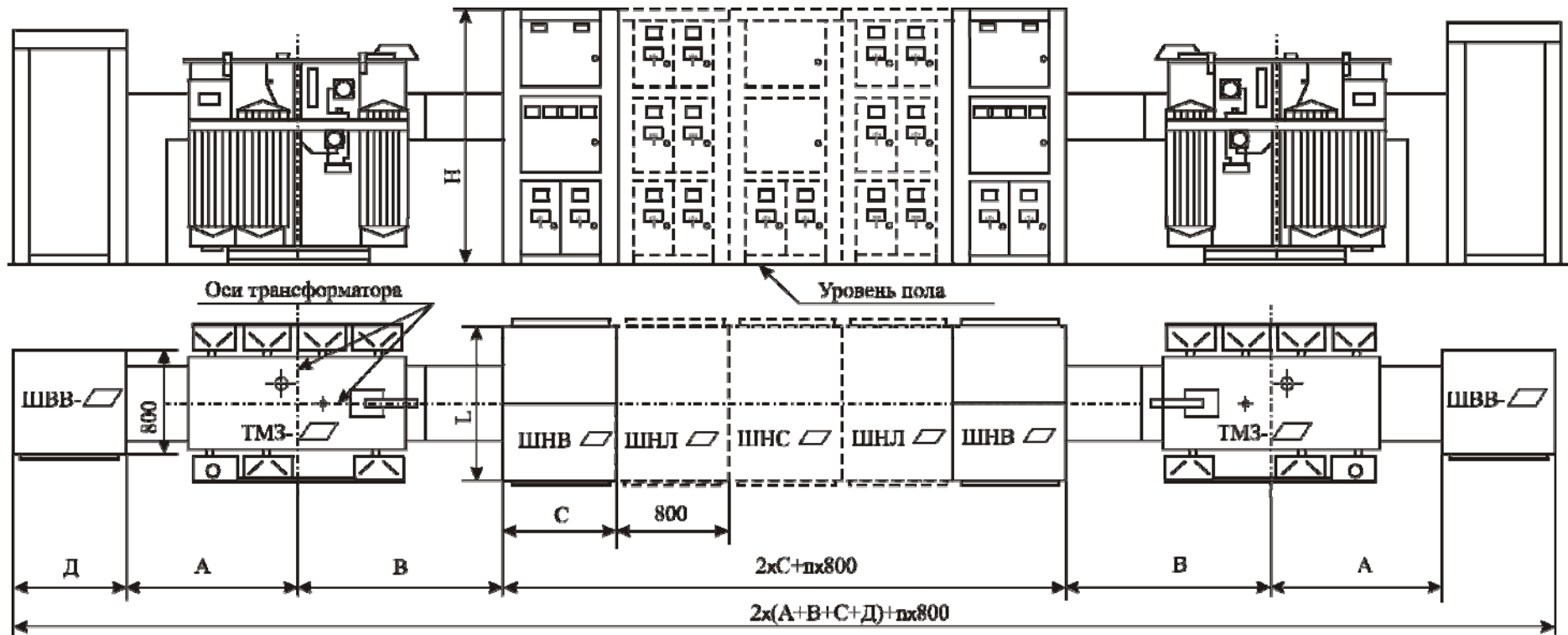


Рис.3.2. План двухтрансформаторной КТП однорядного расположения с выдвижными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП однорядного расположения
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-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

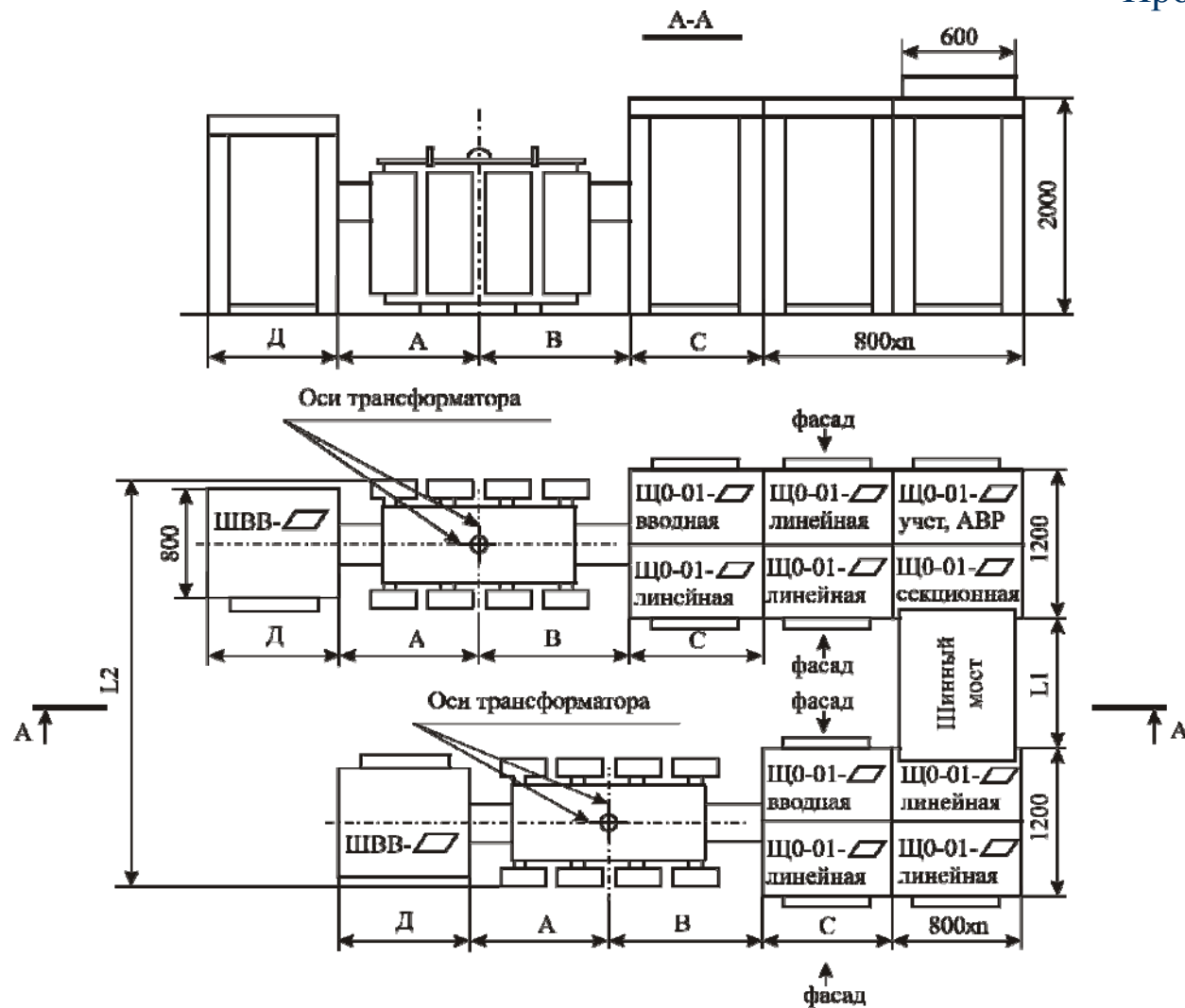


Рис. 3.3. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Размеры двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения левого исполнения со стационарными выключателями

Наименование	Условные обозначения размера, мм					
	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)	

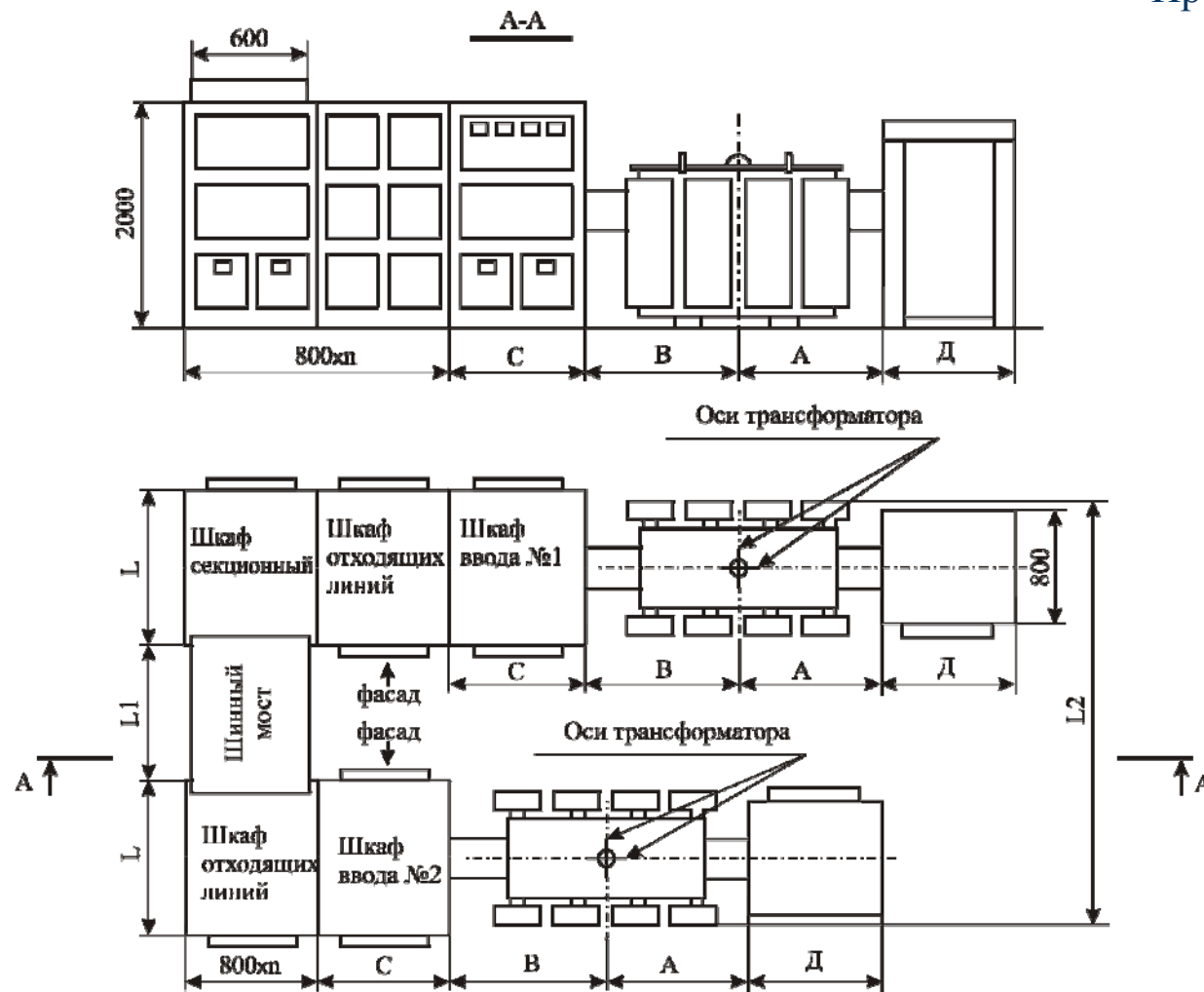


Рис. 3.4. План двухтрансформаторной КТП двухрядного расположения правого исполнения с выдвигаемыми выключателями

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

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	0,031	0,031	0,02	0,013
индуктивное, x_0	0,022	0,022	0,02	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, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	11,5	11,5	13,5	16,5
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	300×160	300×160	444×215	44×295
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			

Приложение 5

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, $\cos\varphi=0,8$), $\Delta U_{лш}$, В	6,5	8	8,5	—
Поперечное сечение прямой секции (ширина×высота), мм ²	260×80	284×95	284×125	70×80
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	

Технические характеристики шкафов распределительных с плавкими предохранителями

Тип		Номинальный ток шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях			Схема
ШРС1	ШР11		НПН-2 $I_H = 60$ А	ПНП-31 ПН2-100	ППН-35 ПН2-250	
1	2	3	4	5	6	7
-20У3	-73701-22У3, УХЛ3	250	4	5	–	 <p>Рис. 2а</p>
-50У3	-73701-54У2	200	5	–	–	
-21У3	-73702-22У3, УХЛ3	250	–	5	–	
-51У3	-73702-54У2	200	–	–	–	
-22У3	-73703-22У3, УХЛ3	250	–	–	–	
-52У3	-73703-54У2	200	2	3	–	 <p>Рис. 2б</p>
-23У3	-73504-22У3, УХЛ3	400	8	–	–	
-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	–	–	–	

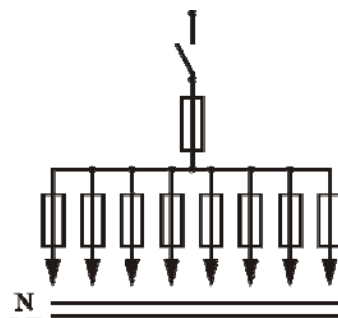
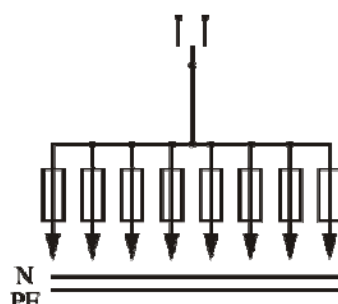
1	2	3	4	5	6	7
-25Y3	-73509-22Y3, УХЛ3	400	4	4	-	Рис. 2б
-55Y3	-73509-54Y2	320				
-28Y3	-73510-22Y3, УХЛ3	400	2	4	2	
-58Y3	-73510-54Y2	320				
	-73511-22Y3, УХЛ3	400	-	6	2	
	-73511-54Y2	320				
	-73512-22Y3, УХЛ3	400	8	-	-	
	-73512-54Y2	320				
	-73513-22Y3, УХЛ3	400	-	8	-	
	-73513-54Y2	320				
	-73514-22Y3, УХЛ3	400	-	-	8	
	-73514-54Y2	320				
	-73515-22Y3, УХЛ3	400	4	4	-	
	-73515-54Y2	320				
	-73516-22Y3, УХЛ3	400	2	4	2	
	-73516-54Y2	320				
	-73517-22Y3, УХЛ3	400	-	6	2	
	-73517-54Y2	320				

Рис. 2в

1	2	3	4	5	6	7
	-73518-22У3, УХЛ3	400	8	-	-	 <p>Рис. 2г</p>
	-73518-54У2	320				
	-73519-22У3, УХЛ3	400	-	8	-	
	-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.

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР-11

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, $I_{н \text{ ввода, А}}$	Количество автоматических выключателей для отходящих линий	
		однополюсных ВА 47-100-1	трехполюсных ВА 47-100
		с тепловыми расцепителями на ток $I_{нтр} = 10 \div 100 \text{ А}$	
1	2	3	4
–	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			

1	2	3	4
–	400	–	8
BA 88-39			
–	400	18	2
BA 88-39			
–	400	12	4
BA 88-39			
–	400	6	6
BA 88-39			
–	400	30	–
BA 88-39			
–	400	–	10
BA 88-39			
–	400	24	2
BA 88-39			
–	400	18	4
BA 88-39			

1	2	3	4
–	400	12	6
BA 88-39			
–	400	6	8
BA 88-39			
–	250	–	4
BA 88-39			
–	400	–	6
BA 88-39			
–	630	–	8
BA 88-39			
–	630	–	12
BA 88-39			

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

Приложение 8

Технические данные распределительных силовых пунктов ПР8501 с трехполюсными АВ

Наличие и тип вводного выключателя	Номинальный ток ввода, I_n , А	Количество трехполюсных АВ на отходящих линиях	
		ВА 51-31	ВА 51-35
		с тепловыми расцепителями на ток, А	
		16 ÷ 100	100 ÷ 250
1	2	3	4
–	160	4	–
		6	
		8	
–	250	4	–
		6	
		8	
		10	
ВА 51-33	160	2	–
		4	
		6	
ВА 51-35	250	4	–
		6	
		8	
		10	

1	2	3	4
–	630	6	–
BA 51-39		8	–
–		10	–
BA 51-39		12	–
–		–	4
BA 51-39		2	2
–		4	2
BA 51-39		6	2
–		8	2

Примечание. Степень защиты распределительных пунктов IP21, IP54.

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; 160; 200	6	–
–			
ВА 57-35		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.

Допустимые токовые нагрузки кабелей с резиновой и поливинилхлоридной
изоляцияй на напряжение 0,66 кВ, 1 кВ

Номиналь- ное 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

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 (ПвБбШв); АПвВнг-LS (ПвВнг-LS); АПвБбШнг-LS (ПвБбШнг-LS); АПвБбШп (ПвБбШп); АПвБбШпг (ПвБбШпг).

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

Приложение 12

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

Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя, $I_{н.пр.}, A$	Номинальный ток плавкой вставки, $I_{н.вст.}, A$	Предельно отключаемый ток, I_0 , 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

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_o , кА	Уставка УЗО при его наличии, mA
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВА 51	3	25 ÷ 630	Комбинированный	380/660	0,3 ÷ 630	3 ÷ 14 $I_{нтр}$	1,5 ÷ 35	—
ВА 61	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	0,5 ÷ 63	B, C, D	1,5 ÷ 30	10; 30; 100; 300
ВА 69	3	63 ÷ 100	Комбинированный	380	2 ÷ 100	C	4,0 ÷ 6,0	—
ВА 47	1; 2; 3; 4	63 ÷ 100	Комбинированный	220/380	0,5 ÷ 100	B, C, D	3,0 ÷ 10	10; 30; 100; 300
АД	2,4	63	Комбинированный	220/380	6 ÷ 63	C	4,5	10; 30; 100; 300
ВА 63 премиум	1; 2; 3; 4	63	Комбинированный	380	1 ÷ 63	C	10	—
ВА 57	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	4000 ÷ 5000	3,0 ÷ 40	—
ВА 88	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10 $I_{нтр}$, регулируемый	25 ÷ 50	—
ВА 52	3	100 ÷ 630	Комбинированный	380/660	16 ÷ 630	3; 7; 10 $I_{нтр}$	8,0 ÷ 40	—
ВА 53	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	20 ÷ 36	—
ВА 55	3	400 ÷ 1600	Полупроводниковый	380/660	160 ÷ 1600	2; 3; 5; 7; 10	18 ÷ 40	—
ВА 99	3; 4	125 ÷ 1600	Комбинированный	380	12,5 ÷ 1600	500; 10 $I_{нтр}$, регулируемый	35 ÷ 50	—

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_o , кА		Уставка УЗО при его наличии, мА
						$U_H = 380$ В	$U_H = 660$ 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; $10I_{нтр}$	3	3	-
				2,0; 2,5; 3,15; 4; 5		1,5	1,5	
ВА 51Г-25		25	Комбинированный	6,3; 8	$14I_{нтр}$	2	2	-
				10; 12,5		2,5	2	
				16; 20; 25		3,8		
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	В, С, 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	В, С, 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	С	4	-	-
				50; 63		4		
ВА 51-31; ВА 51Г-31	1; 3	100	Комбинированный	6,3; 8	3; 7; $10I_{нтр}$	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; $10I_{нтр}$	12	8	-
				31,5; 40		15		
				50; 63		18	10	
				80; 100		25		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
BA 57-31	3	100	Комбинированный	16	400	4	3	-	
				20		6			
				25		25			
				31,5		800	4		6
				40					
				50; 63					
				80; 100					
BA 47-100	3	100	Комбинированный	16; 20; 25; 35; 40; 50; 63; 80; 100	С и D	10	-	10;30;100;300	
BA 47+N	2	32	Комбинированный	6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	С	3	-	-	
BA 63 премиум	1;2;3;4	63	Комбинированный	1; 2; 3; 4; 5; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	С	10	-	-	
АД-12	2	63	Комбинированный	6; 10; 16; 25; 32; 40; 50; 63	С	4,5 (230 В)	-	10;30;100;300	
АД-14	2	63	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	С	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	
BA 51-33 BA 51Г-33	3	160	Комбинированный	80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	12,5	9	-	
BA 52-33 BA 52Г-33	3; 4	160	Комбинированный	80; 100	10I _{нтр}	28	12	-	
				125; 160		35			
BA 88-32	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	25	-	-	
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}				
BA 99/125	3; 4	125	Комбинированный	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	500	35	-	-	
				50; 63; 80; 100; 125	10I _{нтр}				
BA 88-33	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	-	-	
BA 99/160	3; 4	160	Комбинированный	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	10I _{нтр}	35	-	-	
BA 51-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	15	-	-	
BA 52-35	3	250	Комбинированный	80; 100; 125; 160; 200; 250	12I _{нтр}	30	15	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 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		
				160	1600	40	18	
				200; 250	2500			
BA 88-35 BA 99/250	3; 4	250	Комбинированный	125; 160; 200; 250	10I _{нтр}	35	-	-
BA 51-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	10I _{нтр}	25	12	-
BA 52-37	3	400	Комбинированный	250; 320; 400	10I _{нтр}	30	18	-
BA 53-37 BA 55-37	3	400	Комбинированный	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10	20	20	-
BA 88-37	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	10I _{нтр}	35	-	-
BA 99/400	3; 4	400	Комбинированный	250; 315; 400	10I _{нтр}	50	-	-
BA 51-39	3	630	Комбинированный	400; 500; 630	10I _{нтр}	35	20	-
BA 52-39	3	630	Комбинированный	250; 320; 400; 500; 630	10I _{нтр}	40	20	-
BA 53-39 BA 55-39	3	630	Полупроводниковый	160; 250; 400; 630	2, 3, 5, 7, 10	25	25	-
BA 57-39	3	630	Комбинированный	320	3200	25	-	-
				400	2000; 4000			
				500	2500; 5000	40	18	
				630	3200; 5000			
BA 88-40	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	10I _{нтр}	35	-	-
BA 99/800	3; 4	800	Комбинированный	400; 500; 630; 800	10I _{нтр}	50	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BA 53-41 BA 55-41	3	1000	Полупроводниковый	400; 630; 800; 1000	2; 3; 5; 7	25	25	–
BA 53-43 BA 55-43	3	1600	Полупроводниковый	1000; 1250; 1600	2; 3; 5	36	36	–
BA 88-43 BA 99/1600	3; 4	1600	Комбинированный	800; 1000; 1250; 1600	Регулируемая	50	–	–
BA 75-45	3	2500	Полупроводниковый	1600; 2000; 2500	2; 3; 5; 7	36	36	–
BA 75-47	3	4000	Полупроводниковый	2500; 3000; 3500; 4000	2; 3; 5	45	45	–