

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Каржкин Андрей Виссарионович  
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 16.01.2025 12:46:24  
Уникальный программный ключ:  
2e905c9a64921ebc9b6e02a1d35ea14517858874

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Новоуральский технологический институт—  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НТИ НИЯУ МИФИ)

**Колледж НТИ**

Цикловая методическая комиссия общетехнических дисциплин энергетики и электроники

# **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОП.15 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
обучающихся по программе среднего профессионального образования

специальность 11.02.16

«Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

очная форма обучения

на базе основного общего образования

квалификация

специалист по электронным приборам и устройствам

Новоуральск 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
<b>1. РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБЪЕКТОВ.....</b>	<b>8</b>
1.1 РПЗ-1. Выбор числа и мощности трансформаторов связи на электростанции.....	8
1.2 РПЗ-2. Расчет ЛЭП и выбор неизолированных проводов.....	13
1.3 РПЗ-3. Расчет и выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на узловой распределительной подстанции.....	18
1.4 РПЗ-4. Расчет потерь мощности и электроэнергии в трансформаторе.....	21
1.5 РПЗ-5. Расчет электрических нагрузок цеха. Выбор числа и мощности питающих трансформаторов.....	25
1.6 РПЗ-6. Расчет и выбор компенсирующего устройства... ..	36
1.7 РПЗ-7. Определение местоположения подстанции.....	40
1.8 РПЗ-8. Расчет и выбор аппаратов защиты и линии электроснабжения.....	45
1.9 РПЗ-9. Расчет токов короткого замыкания.....	61
1.10 РПЗ-10. Проверка элементов цеховой сети... ..	71
1.11 РПЗ-11. Выбор и проверка силовых выключателей ВН.....	78
1.12 РПЗ-12. Расчет и выбор элементов реле защиты цехового трансформатора.....	83
1.13 РПЗ-13 Расчет заземляющего устройства электроустановок.....	91
1.14 РПЗ-14 Расчет молниезащиты.....	100
1.15 Памятка по оформлению расчетно-практического занятия.....	110
<b>2. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБЪЕКТОВ .....</b>	<b>112</b>
2.1 Рекомендации по организации и защите курсового проекта по дисциплине в образовательных учреждениях среднего профессионального образования.....	112
2.2 Оформление пояснительной записки.....	114
2.3 Пояснения к содержанию пояснительной записки... ..	115
<b>3. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....</b>	<b>117</b>
Тема 1. ЭСН и ЭО ремонтно-механического цеха... ..	118
Тема 2. ЭСН и ЭО участка кузнечно-прессового цеха... ..	120
Тема 3. ЭСН и ЭО электромеханического цеха.....	122
Тема 4. ЭСН и ЭО автоматизированного цеха.....	124
Тема 5. ЭСН и ЭО механического цеха тяжелого машиностроения.....	127
Тема 6. ЭСН и ЭО цеха обработки корпусных деталей... ..	129
Тема 7. ЭСН и ЭО механического цеха серийного производства... ..	131
Тема 8. ЭСН и ЭО насосной станции... ..	133
Тема 9. ЭСН и ЭО учебных мастерских... ..	135
Тема 10. ЭСН и ЭО цеха механической обработки деталей.....	137
Тема 11. ЭСН и ЭО инструментального цеха.....	139

Тема 12. ЭСН и ЭО механического цеха .....	141
Тема 13. ЭСН и ЭО цеха металлоизделий... ..	144
Тема 14. ЭСН и ЭО участка механосборочного цеха... ..	146
Тема 15. ЭСН и ЭО цеха металлорежущих станков.....	148
Тема 16. ЭСН и ЭО сварочного участка цеха... ..	150
Тема 17. ЭСН и ЭО прессового участка цеха.....	153
Тема 18. ЭСН и ЭО участка токарного цеха.....	155
Тема 19. ЭСН и ЭО строительной площадки жилого дома.....	157
Тема 20. ЭСН и ЭО узловой распределительной подстанции .....	160
Тема 21. ЭСН и ЭО комплекса томатного сока.....	162
Тема 22. ЭСН и ЭО гранитной мастерской... ..	165
Тема 23. ЭСН и ЭО деревообрабатывающего цеха .....	168
Тема 24. ЭСН и ЭО шлифовального цеха.....	171
Тема 25. ЭСН и ЭО комплекса овощных закусочных консервов.....	173
Тема 26. ЭСН и ЭО светонепроницаемой теплицы .....	176
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ Б... ..	197
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	203
4. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	215

## Введение

Данное методическое пособие предназначено для студентов и преподавателей по специальности 1806 («Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования») и позволяет решить вопросы курсового проектирования по предмету «Электроснабжение отрасли» полностью; опираясь на теоретический курс и не прибегая к дополнительным источникам.

Пособие включает три основные части:

1. Расчетно-практические занятия (РПЗ) по электроснабжению (ЭСН) объектов.
2. Курсовое проектирование по ЭСН (КП ЭСН) объектов.
3. Задания на курсовое проектирование.

*Расчетно-практические занятия* представлены в 14 наименованиях, каждое из которых включает:

- методику расчета;
- пример расчета;
- индивидуальные задания (30 вариантов).

Справочный материал представлен в Приложении А.

Выполнение РПЗ, объем которых определяется преподавателем, является предварительной стадией подготовки к выполнению КП ЭСН, являющимся логическим завершением курса «Электроснабжение отрасли».

*Курсовое проектирование по электроснабжению* объектов включает:

- рекомендации по организации выполнения и защиты согласно Госстандарту;
- порядок оформления пояснительной записки (ПЗ) с бланками и форматами необходимых таблиц. Введенная «Таблица критериев оценки» (не нумеруется) выполненного КП позволяет исполнителю предварительно, а преподавателю — окончательно и быстро оценить работу по пятибалльной системе;

- таблицу «Критерии оценки хода выполнения КП», позволяющую оценить объем выполненной работы в процентах.

*Задания на курсовое проектирование* содержат 26 тем индивидуальных заданий на КП ЭСН, каждая из которых включает:

- краткую характеристику объекта проектирования;
- план расположения ЭО объекта;
- перечень и номинальные данные электроприемников (3 базовых варианта).

*Приложение А* содержит справочный материал по силовым трансформаторам различных классов напряжений, по наиболее современным аппаратам защиты (серии ВА) и распределительным пунктам (ПР 85), структуру условных обозначений и расчетные зависимости.

*Приложения Б, В* содержат пример брошюровки КП ЭСН и фрагменты графических изображений, необходимых при выполнении графической части КП ЭСН.

Такой подход к курсовому проектированию по предмету «Электроснабжение отрасли» отвечает требованиям ЕСКД, ЕСТД и многократно опробован в Обнинском политехникуме. Повышается уровень оперативности преподавателей и самостоятельности работы студентов.

**Область применения.** Пособие может быть использовано в образовательных учреждениях среднего профессионального образования на любых отделениях (дневном, вечернем, заочном) и при дистанционном обучении не только по специальности 1806, но и по другим (в части касающейся).



Оно позволяет студентам самостоятельно и за короткое время разобраться в решаемых вопросах практически без помощи преподавателя.

Преподаватель, варьируя тремя основными вариантами, может обеспечить любое количество индивидуальных заданий на КП ЭСН по темам.

Предусмотрен самоконтроль хода выполнения КП и предварительная самооценка после выполнения.

# Часть 1

## РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБЪЕКТОВ

### 1.1. РПЗ–1. Выбор числа и мощности трансформаторов связи на электростанции

#### Методика расчета

При отсутствии графиков электрической нагрузки для трансформаторов, подключенных к генераторному распределительному устройству (ГРУ), вычисляют мощности трех режимов и выбирают наибольшую из них.

**Режим 1.** При минимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ( $S_{1p}$ , МВ·А):

$$S_{1p} = \sqrt{(P_r n_{гру} - P_{мин} - P_{св} n_{гру})^2 + (Q_r n_{гру} - Q_{мин} - Q_{св} n_{гру})^2},$$

где  $P_r, P_{св}$  — активная мощность одного генератора и его собственных нужд, МВт;  
 $Q_r, Q_{св}$  — реактивная мощность одного генератора и его собственных нужд, Мвар;  
 $P_{мин}$  — активная минимальная нагрузка на генераторном напряжении, МВт;  
 $Q_{мин}$  — реактивная минимальная нагрузка на генераторном напряжении, Мвар;  
 $n_{гру}$  — число генераторов, подключенных к ГРУ.

**Режим 2.** При максимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ( $S_{2p}$ , МВ·А):

$$S_{2p} = \sqrt{(P_r n_{гру} - P_{макс} - P_{св} n_{гру})^2 + (Q_r n_{гру} - Q_{макс} - Q_{св} n_{гру})^2},$$

где  $P_{макс}$  — активная максимальная нагрузка на генераторном напряжении, МВт;  
 $Q_{макс}$  — реактивная максимальная нагрузка на генераторном напряжении, Мвар.

**Режим 3.** При отключении одного генератора и максимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ( $S_{3p}$ , МВ·А):

$$S_{3p} = \sqrt{(P_r n'_{гру} - P_{макс} - P_{св} n'_{гру})^2 + (Q_r n'_{гру} - Q_{макс} - Q_{св} n'_{гру})^2},$$

где  $n'_{гру}$  — новое число генераторов, подключенных к ГРУ,

$$n'_{гру} = n_{гру} - 1.$$

Условие выбора мощности трансформаторов ( $S_{т,гру}$ ), подключенных к ГРУ:

$$S_{т,гру} \geq 0,7 S_{м,р}$$

где  $S_{м,р}$  — максимальная расчетная мощность, МВ·А. Это мощность одного из рассчитанных режимов.

При блочном подключении генераторов и трансформаторов

$$S_{\text{бл.р}} = \sqrt{(P_r - P_{\text{сн}})^2 + (Q_r - Q_{\text{сн}})^2}.$$

Условие выбора мощности блочного трансформатора:

$$S_{\text{т.бл}} \geq S_{\text{бл.р}},$$

где  $S_{\text{бл.р}}$  — полная расчетная мощность блочного трансформатора, МВ·А.

Для выбора трансформатора по справочнику нужно знать три величины: полную расчетную мощность, высокое и низкое напряжение.

Высокое напряжение ( $V_{\text{вн}}$ ) ориентировочно определяют из соотношения

$$V_{\text{вн}} = V_{\text{лнл}} = (1 \dots 10) P_{\text{пер}},$$

где  $V_{\text{лнл}}$  — напряжение линии электропередачи, кВ;

$P_{\text{пер}}$  — активная мощность передаваемая от электростанции в ЛЭП, МВт,

$$P_{\text{пер}} = P_r n_r - P_{\text{сн}} n_r - P_{\text{мин}},$$

где  $n_r$  — количество генераторов на электростанции.

Из полученного промежутка значений напряжения выбирается класс напряжения, соответствующий среднему номинальному значению по шкале напряжений:

$$10,5 - 21 - 36,75 - 115 - 158 - 230 - 247 - 525 - \dots \text{ кВ.}$$

Полную передаваемую мощность ( $S_{\text{пер}}$ ) без учета потерь определяют по формуле

$$S_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{пер}}}{\cos \varphi_r}; \quad Q_{\text{пер}} = P_{\text{пер}} \operatorname{tg} \varphi_r,$$

где  $\cos \varphi_r$  — коэффициент активной мощности генераторов электростанции.

Полную передаваемую мощность с учетом потерь в трансформаторах ( $S_{\text{лнл}}$ ) определяют как

$$S_{\text{лнл}} = \frac{S_{\text{пер}}}{K_{\text{пот}}},$$

где  $K_{\text{пот}}$  — коэффициент потерь в трансформаторе.

Зависимость  $K_{\text{пот}} = F(\cos \varphi_r)$

$\cos \varphi_r$	1	0,9	0,8	0,7	0,6
$K_{\text{пот}}$	1,02	1,06	1,08	1,085	1,09

Приблизительно потери в трансформаторах можно определить из соотношений

$$\Delta P_{\text{т}} = 0,02 S_{\text{пер}}; \quad \Delta Q_{\text{т}} = 0,1 S_{\text{пер}}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора ( $K_3$ ) определяется по формуле

$$K_3 = \frac{S_{\text{ф}}}{n S_{\text{т}}},$$

где  $S_{\text{ф}}$  — фактическая нагрузка на трансформаторы, МВ·А;

$S_{\text{т}}$  — номинальная мощность трансформатора, МВ·А;

$n$  — число трансформаторов, на которое распределена фактическая нагрузка.

В конце расчетно-практического задания пишется ответ, где указывается:

- количество и марка трансформаторов;
- значения их коэффициентов загрузки;
- полная передаваемая мощность  $S_{\text{лнл}}$ .

## Пример

### Дано:

Тип генератора — ТВФ-63

$V_r = 10,5 \text{ кВ}$

$\cos \varphi_r = 0,8$

$n_{гпу} = 2$

$n_{сн} = 1$

$P_{мин} = 50 \text{ МВт}$

$P_{макс} = 65 \text{ МВт}$

$\cos \varphi_n = 0,85$

$P_{сн} = 10 \%$

### Требуется:

- составить структурную схему электростанции (ЭС);
- рассчитать и выбрать трансформаторы;
- определить  $K_2$ ,  $S_{тгпу}$ ,  $V_{блп}$ .

### Решение:

- Составляется структурная схема ЭС и наносятся данные (рис. 1.1.1).
- Определяется расчетная мощность трансформатора ГРУ:

$$\begin{aligned}
 S_{1р} &= \sqrt{(P_r n_{гпу} - P_{мин} - P_{сн} n_{гпу})^2 + (Q_r n_{гпу} - Q_{мин} - Q_{сн} n_{гпу})^2} = \\
 &= \sqrt{(63 \cdot 2 - 50 - 6,3 \cdot 2)^2 + (47,3 \cdot 2 - 31 - 4,7 \cdot 2)^2} = 83,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \\
 Q_r &= P_r \operatorname{tg} \varphi_r = 63 \cdot 0,75 = 47,3 \text{ Мвар}; \\
 Q_{мин} &= P_{мин} \operatorname{tg} \varphi_n = 50 \cdot 0,62 = 31 \text{ Мвар}; \\
 P_{сн} &= 0,1 P_r = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ МВт}; \\
 Q_{сн} &= P_{сн} \operatorname{tg} \varphi_r = 6,3 \cdot 0,75 = 4,7 \text{ Мвар}; \\
 Q_{макс} &= P_{макс} \operatorname{tg} \varphi_n = 65 \cdot 0,62 = 40,3 \text{ Мвар}; \\
 S_{2р} &= \sqrt{(P_r n_{гпу} - P_{макс} - P_{сн} n_{гпу})^2 + (Q_r n_{гпу} - Q_{макс} - Q_{сн} n_{гпу})^2} = \\
 &= \sqrt{(63 \cdot 2 - 65 - 6,3 \cdot 2)^2 + (47,3 \cdot 2 - 40,3 - 4,7 \cdot 2)^2} = 66 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \\
 n'_{гпу} &= n_{гпу} - 1 = 2 - 1 = 1. \\
 S_{3р} &= \sqrt{(P_r n'_{гпу} - P_{макс} - P_{сн} n'_{гпу})^2 + (Q_r n'_{гпу} - Q_{макс} - Q_{сн} n'_{гпу})^2} = \\
 &= \sqrt{(63 - 65 - 6,3)^2 + (47,3 - 40,3 - 4,7)^2} = 8,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}.
 \end{aligned}$$

*Примечание.* Знак «минус» в первой скобке подкоренного выражения означает, что недостающая мощность потребляется из ЭНС.

$$S_{тгпу} \geq 0,7 S_{1р} = 0,7 \cdot 83,4 = 58,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

- Определяется расчетная мощность блочного трансформатора

$$\begin{aligned}
 S_{блп} &= \sqrt{(P_r - P_{сн})^2 + (Q_r - Q_{сн})^2} = \sqrt{(63 - 6,3)^2 + (47,3 - 4,7)^2} = 79,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \\
 S_{т.бл} &\geq S_{блп} = 79,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}.
 \end{aligned}$$

- Определяется передаваемая мощность

$$P_{пер} = P_r n_r - P_{сн} n_r - P_{мин} = 63 \cdot 3 - 6,3 \cdot 3 - 50 = 120,1 \text{ МВт};$$

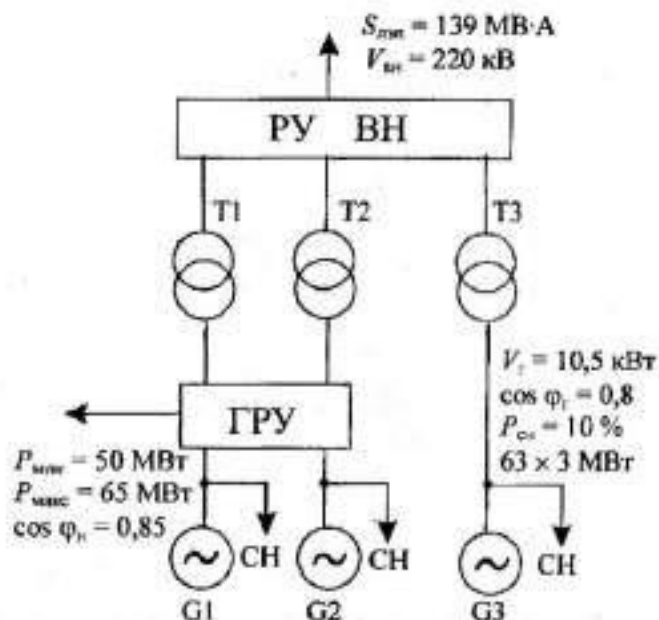


Рис. 1.1.1. Структурная схема ЭС

$$S_{\text{эп}} = \frac{S_{\text{пер}}}{K_{\text{пот}}} = \frac{P_{\text{пер}}}{\cos \varphi_r \cdot K_{\text{пот}}} = \frac{120,1}{0,8 \cdot 1,08} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$K_{\text{пот}} = F(\cos \varphi_r) = F(0,8) = 1,08.$$

- Определяется напряжение передачи

$$V_{\text{ли}} = V_{\text{эп}} = (1 \dots 10) P_{\text{пер}} = (1 \dots 10) \cdot 120,1 = 120,1 \dots 1201 \text{ кВ}.$$

Согласно шкале напряжение принимается  $V_{\text{ли}} = 220 \text{ кВ}$ .

- Выбираются трансформаторы согласно таблицам А.1, А.3.

Для ГРУ — два ТРДЦН 63000–220/10,5	Блочный — один ТД 80000–220/10,5
$V_{\text{ли}} = 230 \text{ кВ}$	$V_{\text{ли}} = 242 \text{ кВ}$
$V_{\text{ни}} = 11–11 \text{ кВ}$	$V_{\text{ни}} = 10,5 \text{ кВ}$
$\Delta P_{\text{хх}} = 70 \text{ кВт}$	$\Delta P_{\text{хх}} = 79 \text{ кВт}$
$\Delta P_{\text{кз}} = 265 \text{ кВт}$	$\Delta P_{\text{кз}} = 315 \text{ кВт}$
$\mu_{\text{к}} = 11,5 \%$	$\mu_{\text{к}} = 11 \%$
$i_{\text{хх}} = 0,5 \%$	$i_{\text{хх}} = 0,45 \%$

- Определяются коэффициенты загрузки трансформаторов

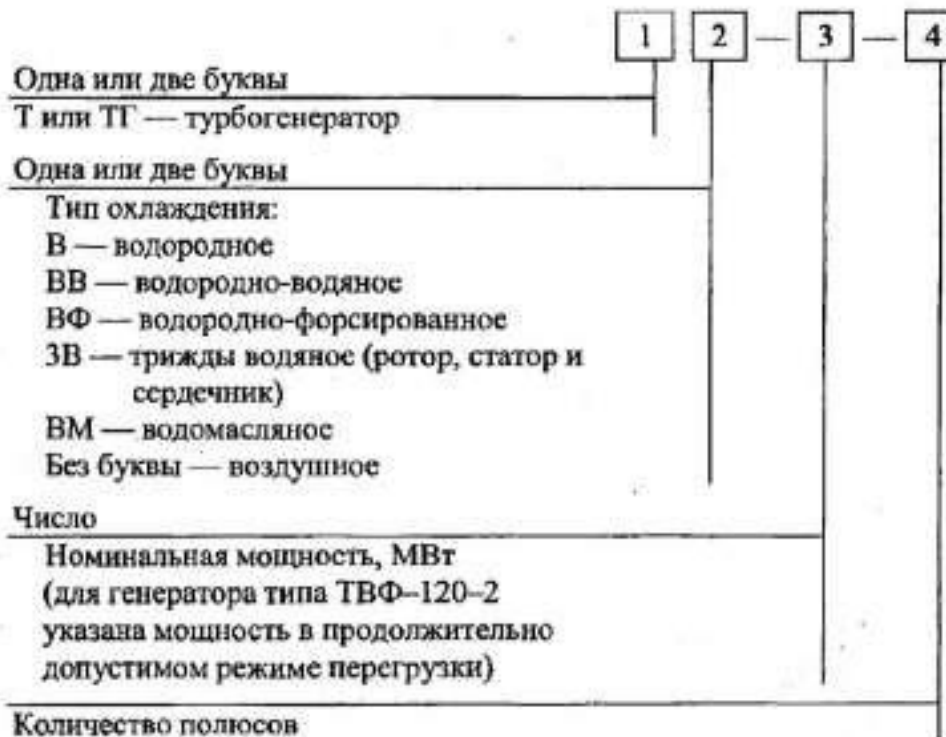
$$K_{\text{г.гру}} = \frac{S_{\text{ф.гру}}}{2S_{\text{т.гру}}} = \frac{83,4}{2 \cdot 63} = 0,66;$$

$$K_{\text{г.бл}} = \frac{S_{\text{ф.бл}}}{S_{\text{т.бл}}} = \frac{79,1}{80} = 0,99.$$

Наносятся необходимые данные ( $S_{\text{эп}}$ ,  $V_{\text{эп}}$ ) на структурную схему.

**Ответ:** На ЭС выбраны трансформаторы связи ГРУ — 2 × ТРДЦН 63000–220/10,5;  $K_{\text{г.гру}} = 0,66$ ; БЛ—ТДЦ 80000–220/10,5;  $K_{\text{г.бл}} = 0,99$ ;  $S_{\text{эп}} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

### Структура условного обозначения турбогенераторов



Например:

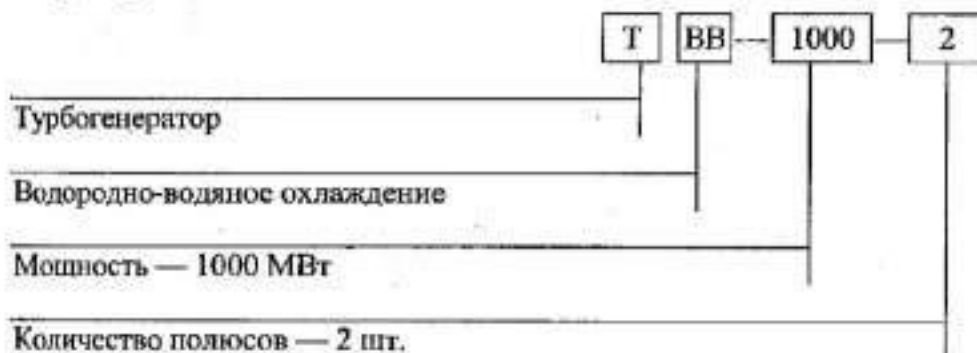


Таблица 1.1.1. Индивидуальные задания для РПЗ-1

Вариант	Генераторы						Нагрузка ГРУ		
	тип	$V_n$ , кВ	$\cos \varphi_r$	$n_{ГРУ}$	$n_{пл}$	$P_{сн}$ , %	$P_{мин}$ , МВт	$P_{макс}$ , МВт	$\cos \varphi_n$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Т-6-2	6,3	0,8	4	2	10	5	10	0,9
2	ТВФ-63-2	6,3	0,8	3	2	10	40	80	0,92
3	ТВФ-160-2	18	0,85	3	1	8	300	400	0,85
4	ТВВ-200-2	15,75	0,85	2	1	8	200	300	0,87
5	ТВВ-800-2	24	0,9	2	1	5	800	1200	0,95
6	ТВВ-320-2	20	0,85	3	1	6	300	400	0,93
7	ТВС-32-2	10,5	0,8	4	2	10	10	15	0,94
8	ТВВ-220-2	15,75	0,85	2	1	8	200	300	0,9
9	ТВФ-120-2	10,5	0,8	2	2	9	100	200	0,92
10	Т-6-2	10,5	0,8	5	3	10	8	10	0,93
11	ТВВ-165-2	18	0,85	3	1	8	300	400	0,94
12	ТВФ-63-2	6,3	0,8	4	1	10	30	50	0,95
13	ТВС-32-2	10,5	0,8	4	3	10	40	50	0,96
14	ТВМ-300-2	20	0,85	3	1	6	600	700	0,88
15	ТВФ-100-2	10,5	0,85	5	2	9	300	400	0,87
16	ТВВ-220-2	15,75	0,85	3	1	8	400	500	0,93
17	ТВС-32-2	6,3	0,8	3	1	10	4	6	0,9
18	ТВФ-60-2	10,5	0,8	3	2	10	10	20	0,85
19	ТВВ-165-2	18	0,85	2	1	8	200	300	0,86
20	Т-12-2	6,3	0,8	5	2	10	5	10	0,92
21	ТВВ-320-2	20	0,85	2	1	6	300	400	0,93
22	ТВФ-60-2	10,5	0,8	3	3	10	30	100	0,94
23	ТЗВ-800-2	24	0,9	2	1	5	800	1000	0,95
24	ТГВ-300-2	20	0,85	2	1	6	300	600	0,96
25	ТВФ-60-2	6,3	0,8	2	3	10	40	60	0,95
26	Т-12-2	10,5	0,8	3	3	10	5	10	0,94
27	ТВФ-100-2	10,5	0,85	2	2	9	100	200	0,93
28	ТВФ-120-2	10,5	0,8	4	1	9	100	200	0,92
29	ТВВ-200-2	15,75	0,85	3	1	8	400	500	0,9
30	ТВФ-63-2	10,5	0,8	2	1	10	50	65	0,85

## 1.2. РПЗ–2. Расчет ЛЭП и выбор неизолированных проводов

### Методика расчета

Расчитать линию электропередачи (ЛЭП) — это значит определить:

- сечение провода и сформировать марку;
- потери мощности;
- потери напряжения.

- Сечение провода, соответствующее минимальной стоимости передачи электроэнергии (ЭЭ), называют **экономическим**.

ПУЭ (правила устройства электроустановок) рекомендуют для определения расчетного экономического сечения ( $S_{эж}$ ) **метод экономической плотности тока**.

$$S_{эж} = \frac{I_{м.р.}}{j_{эж}},$$

где  $S_{эж}$  — экономическое сечение провода, мм<sup>2</sup>;

$I_{м.р.}$  — максимальный расчетный ток в линии при нормальном режиме работы, А.

Для трехфазной сети

$$I_{м.р.} = \frac{S_{пер}}{\sqrt{3}V_{пер}};$$

$j_{эж}$  — экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>; принимается на основании опыта эксплуатации.

$$j_{эж} = F(T_m, \text{вид проводника}),$$

где  $T_m$  — время использования максимальной нагрузки за год, час.

Проводник — неизолированные провода	$T_m$ , час		
	1000...3000	3000...5000	5000...8700
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0

Полученное расчетное экономическое сечение ( $S_{эж}$ ) приводят к ближайшему стандартному значению.

Если получено большое сечение, то берется несколько параллельных проводов (линий) стандартного сечения так, чтобы суммарное сечение было близко к расчетному.

- Формируется марка провода, указывается допустимый ток.
- Оптимальное расстояние передачи ( $L_{опт}$ , км) приближенно определяется из соотношения

$$L_{опт} = (0,3...1)V_{пер}.$$

- Потери мощности в ЛЭП определяются по формулам

$$\Delta P_{лэп} = \left( \frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 R_{лэп}; \quad \Delta Q_{лэп} = \left( \frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 X_{лэп},$$



где  $\Delta P_{\text{лэп}}$  — потери активной мощности в ЛЭП, МВт;  
 $\Delta Q_{\text{лэп}}$  — потери реактивной мощности в ЛЭП, Мвар;  
 $S_{\text{пер}}$  — полная передаваемая мощность, МВ·А;  
 $V_{\text{пер}}$  — напряжение передачи, кВ;  
 $R_{\text{лэп}}, X_{\text{лэп}}$  — полное активное и индуктивное сопротивление, Ом;  
 $n_{\text{лэп}}$  — число параллельных линий.

$$\Delta S_{\text{лэп}} = \sqrt{\Delta P_{\text{лэп}}^2 + \Delta Q_{\text{лэп}}^2}.$$

- Сопротивления в ЛЭП определяются из соотношений

$$R_{\text{лэп}} = \frac{1}{n_{\text{лэп}}} r_0 L_{\text{лэп}}; \quad X_{\text{лэп}} = x_0 L_{\text{лэп}},$$

где  $r_0, x_0$  — удельные сопротивления, Ом/км.

Значение активного сопротивления на единицу длины определяется для воздушных, кабельных и других линий при рабочей температуре

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S},$$

где  $\gamma$  — удельная проводимость, м/(Ом·мм<sup>2</sup>).

Так как чаще всего длительно допустимая температура проводников 65 или 70 °С, то без существенной ошибки принимают

$$\begin{aligned} \gamma &= 50 \text{ м/(Ом·мм}^2\text{)} \text{ для медных проводов,} \\ \gamma &= 30 \text{ м/(Ом·мм}^2\text{)} \text{ для алюминиевых проводов;} \end{aligned}$$

$S$  — сечение проводника (одной жилы кабеля), мм<sup>2</sup>.

Значение индуктивного сопротивления на единицу длины с достаточной точностью принимается равным

$$\begin{aligned} x_0 &= 0,4 \text{ Ом/км для воздушных ЛЭП ВН;} \\ x_0 &= 0,08 \text{ Ом/км для кабельных ЛЭП ВН.} \end{aligned}$$

- Потери напряжения в ЛЭП определяются из соотношения

$$\Delta V_{\text{лэп}} = \frac{10^2}{n_{\text{лэп}} V_{\text{лэп}}^2} P_{\text{пер}} L_{\text{лэп}} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_{\text{лэп}}),$$

где  $\Delta V_{\text{лэп}}$  — потеря напряжения в одной ЛЭП, %;

$P_{\text{пер}}$  — передаваемая по линии активная мощность, МВт;

$L_{\text{лэп}}$  — протяженность ЛЭП, км;

$r_0, x_0$  — активное и индуктивное сопротивления на единицу длины ЛЭП;

$V_{\text{лэп}}$  — напряжение передачи, кВ.

Для перевода % в кВ применяется соотношение

$$\Delta V_{\text{лэп}}^* = V_{\text{пер}} \Delta V_{\text{лэп}} \cdot 10^{-2}.$$

*Примечания.*

1. Наибольшая допустимая потеря напряжения в ЛЭП ( $\Delta V_{\text{лэп}}^*$ ) не должна превышать 10 % от номинального значения.
2. Приближенно потери активной мощности можно определять по формуле

$$\Delta P_{\text{лэп}} = 0,03 S_{\text{лэп}}.$$

В конце расчетно-практического задания пишется ответ, где указывается:

- условное обозначение, допустимый ток, протяженность ЛЭП;



- потери полной мощности ( $\Delta S_{\text{лэп}}$ );
- потери напряжения ( $\Delta V_{\text{лэп}}$ ).

### Пример

**Дано:**

$S_{\text{пер}} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А}$  (из РПЗ-1)  
 $V_{\text{пер}} = 220 \text{ кВ}$  (из РПЗ-1)  
 Марка провода — А  
 $\cos \varphi_{\text{лэп}} = 0,85$   
 $T_{\text{лэп}} = 4000 \text{ ч}$

**Требуется:**

- составить структурную схему ЛЭП;
- рассчитать и выбрать проводники;
- определить потери  $\Delta S_{\text{лэп}}$ ,  $\Delta V_{\text{лэп}}$ .

**Решение:**

- Составляется структурная схема ЛЭП и наносятся данные (рис. 1.2.1).
- По экономической плотности тока определяется расчетное сечение проводов и приводится к стандартному значению.

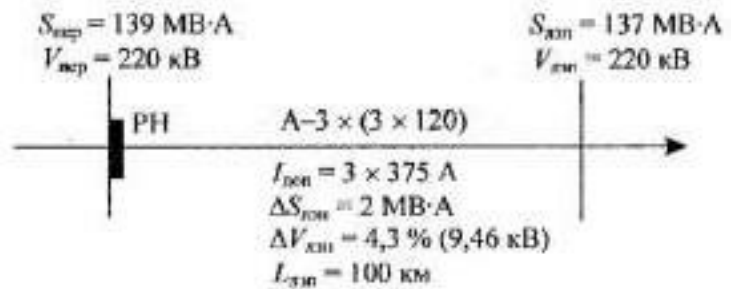


Рис. 1.2.1. Структурная схема ЛЭП

**Решение:**

- Составляется структурная схема ЛЭП и наносятся данные (рис. 1.2.1).
- По экономической плотности тока определяется расчетное сечение проводов и приводится к стандартному значению.

$$S_{\text{ж}} = \frac{I_{\text{м.р}}}{j_{\text{ж}}} = \frac{365,2}{1,1} = 332 \text{ мм}^2;$$

$$I_{\text{м.р}} = \frac{S_{\text{пер}}}{\sqrt{3}V_{\text{пер}}} = \frac{139 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 220} = 365,2 \text{ А};$$

$$j_{\text{ж}} = F(T_{\text{лэп}}, \text{Ал}) = F(4000, \text{Ал}) = 1,1 \text{ А/мм}^2.$$

По [5, с. 71] выбирается для ВЛ наружной прокладки провод

$$\text{А-3} \times (3 \times 120), \quad I_{\text{дон}} = 3 \times 375 \text{ А}.$$

- Определяется оптимальная длина ЛЭП

$$L_{\text{лэп}} = (0,3 \dots 1)V_{\text{пер}} = (0,3 \dots 1) \cdot 220 = 66 \dots 220 \text{ км}.$$

Принимается  $L_{\text{лэп}} = 100 \text{ км}$ .

- Определяется сопротивление ЛЭП

$$R_{\text{лэп}} = \frac{1}{n_{\text{лэп}}} r_0 L_{\text{лэп}} = \frac{1}{3} \cdot 0,28 \cdot 100 = 9,3 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S} = \frac{10^3}{30 \cdot 120} = 0,28 \text{ Ом/км};$$

$$\gamma_{\text{Ал}} = 30 \text{ м/(Ом} \cdot \text{мм}^2);$$

$$X_{\text{лэп}} = x_0 L_{\text{лэп}} = 0,4 \cdot 100 = 40 \text{ Ом}.$$

- Определяются потери мощности в ЛЭП:

$$\Delta P_{\text{лэп}} = \left( \frac{S_{\text{пер}}}{n_{\text{лэп}} V_{\text{пер}}} \right)^2 R_{\text{лэп}} = \left( \frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 9,3 = 0,4 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{\text{лэп}} = \left( \frac{S_{\text{пер}}}{n_{\text{лэп}} V_{\text{пер}}} \right)^2 X_{\text{лэп}} = \left( \frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 40 = 1,8 \text{ Мвар};$$

$$\Delta S_{\text{лэп}} = \sqrt{\Delta P_{\text{лэп}}^2 + \Delta Q_{\text{лэп}}^2} = \sqrt{0,4^2 + 1,8^2} = 1,84 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Принимается  $\Delta S_{\text{лэп}} = 2$ , тогда с учетом потерь

$$S_{\text{лэп}} = S_{\text{пер}} - \Delta S_{\text{лэп}} = 139 - 2 = 137 \text{ МВ}\cdot\text{А}$$

- Определяются потери напряжения в ЛЭП

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{лэп}} &= \frac{10^2}{n_{\text{лэп}} V_{\text{лэп}}^2} P_{\text{пер}} L_{\text{лэп}} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_{\text{лэп}}) = \\ &= \frac{10^2}{3 \cdot 220^2} \cdot 118,2 \cdot 100 \cdot (0,28 + 0,4 \cdot 0,62) = 4,3 \%; \\ P_{\text{пер}} &= S_{\text{пер}} \cos \varphi_{\text{лэп}} = 139 \cdot 0,85 = 118,2 \text{ МВт}. \end{aligned}$$

При  $\cos \varphi_{\text{лэп}} = 0,85$ ;  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{лэп}} = 0,62$

$$\Delta V'_{\text{лэп}} = V_{\text{пер}} \Delta V_{\text{лэп}} \cdot 10^{-2} = 220 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} = 9,46 \text{ кВ}.$$

**Ответ:**

ВЛ — А-3 × (3 × 120),  $I_{\text{лэп}} = 3 \times 375 \text{ А}$ ;  $L_{\text{лэп}} = 100 \text{ км}$ ;  $\Delta S_{\text{лэп}} = 2 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ;  $\Delta V_{\text{лэп}} = 4,3 \%$ .

Таблица 1.2.1. Индивидуальные задания для РПЗ-2, 3

Вариант	РПЗ-2			РПЗ-3					
	ЛЭП			Потребитель 1			Потребитель 2		
	марка провода	$\cos \varphi_{\text{лэп}}$	$T_{\text{м}} \text{ ч}$	$P_1, \text{ МВт}$	$V_1, \text{ кВ}$	$\cos \varphi_1$	$P_2, \text{ МВт}$	$V_2, \text{ кВ}$	$\cos \varphi_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АСКП	0,9	1000	63	6,3	0,8	25	35	0,95
2	АСК	0,85	1500	125	10	0,81	400	20	0,94
3	АС	0,8	2000	250	6,3	0,82	63	10	0,93
4	А	0,9	2500	200	35	0,83	80	6,3	0,92
5	АСКП	0,85	3000	200	6,3	0,84	40	35	0,91
6	АСК	0,8	3500	250	10	0,85	630	20	0,9
7	АС	0,9	4000	125	6,3	0,86	125	10	0,89
8	Л	0,85	4500	250	35	0,87	80	6,3	0,88
9	АСКП	0,8	5000	125	6,3	0,88	63	35	0,87
10	АСК	0,9	5500	125	10	0,89	630	20	0,86
11	АС	0,85	6000	63	6,3	0,9	125	10	0,85
12	А	0,8	6500	125	35	0,91	80	6,3	0,84
13	АСКП	0,9	7000	200	6,3	0,92	80	35	0,83
14	АСК	0,85	7500	200	10	0,93	400	20	0,82
15	АС	0,8	8000	125	6,3	0,94	80	10	0,81
16	А	0,9	7500	200	35	0,95	63	6,3	0,8
17	АСКП	0,85	7000	250	6,3	0,94	80	35	0,81
18	АСК	0,8	6500	200	10	0,93	400	20	0,82
19	АС	0,9	6000	200	6,3	0,92	80	10	0,83
20	А	0,85	5500	125	35	0,91	80	6,3	0,84
21	АСКП	0,8	5000	200	6,3	0,9	63	35	0,85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	АСК	0,9	4500	63	10	0,89	630	20	0,86
23	АС	0,85	4000	250	6,3	0,88	125	10	0,87
24	А	0,8	3500	125	35	0,87	80	6,3	0,88
25	АСКП	0,9	3000	250	6,3	0,86	40	35	0,89
26	АСК	0,85	2500	125	10	0,85	630	20	0,9
27	АС	0,8	2000	63	6,3	0,84	125	10	0,91
28	А	0,9	1500	200	35	0,83	80	6,3	0,92
29	АСКП	0,85	1000	250	6,3	0,82	25	35	0,93
30	АСК	0,85	4000	30	35	0,9	50	10	0,85

### 1.3. РПЗ–3. Расчет и выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на узловой распределительной подстанции

#### Методика расчета

- Составляется структурная схема узловой распределительной подстанции (УРП) и наносятся известные значения напряжения и полной мощности.
- При наличии двух подключенных к распределительному устройству трансформаторов (автотрансформаторов) выполняется условие

$$S_t \geq 0,7S_{\text{м.р.}}$$

где  $S_{\text{м.р.}}$  — максимальная проходная мощность, МВ·А.

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

$$\begin{aligned} S_{\text{тип}} &\geq S_{\text{НН}} = S_{\text{потр}} \\ S_{\text{тип}} &= K_{\text{выг}} S_{\text{вт}} n_{\text{ат}}, \end{aligned}$$

где  $S_{\text{тип}}$  — типовая мощность АТ, МВ·А;  
 $K_{\text{выг}}$  — коэффициент выгодности АТ;  
 $S_{\text{вт}}$  — номинальная мощность выбранного АТ;  
 $n_{\text{ат}}$  — количество АТ, подключенных к нагрузке НН;  
 $S_{\text{потр}}$  — нагрузка на НН, МВ·А.

$$K_{\text{выг}} = 1 - \frac{1}{K_{\text{т(ВН-СН)}}},$$

где  $K_{\text{т(ВН-СН)}}$  — коэффициент трансформации АТ,

$$K_{\text{т(ВН-СН)}} = \frac{V_{\text{ВН}}}{V_{\text{СН}}},$$

где  $V_{\text{ВН}}$ ,  $V_{\text{СН}}$  — значения напряжения на обмотках ВН, СН, кВ.

- Определяется баланс мощностей по УРП:

$$S_{\text{зис}} = S_{\text{зп}} - S_1 - S_2,$$

где  $S_{\text{зис}}$  — мощность, связанная с ЭНС, МВ·А;  
 $S_{\text{зп}}$  — мощность, приходящая от ЭС, МВ·А;  
 $S_1, S_2$  — мощности потребителей, МВ·А.

Если результат получается со знаком «плюс», то избыток приходящей от ЭС мощности отдается ЭНС, если со знаком «минус», то недостаток мощности берется из ЭНС.

- Определяется  $K_{\text{т}}$ :

$$K_{\text{т(АТ)}} = \frac{S_{\text{м.р.}}}{n_{\text{ат}} S_{\text{вт}}}; \quad K_{\text{т(Т)}} = \frac{S_{\text{м.р.}}}{n_{\text{т}} S_{\text{т}}}.$$

В ответе записывается:

— число и условное обозначение Т и АТ;

- коэффициенты загрузки;
- результат баланса мощностей по УРП ( $S_{\text{рас}}$ ).

### Пример

Дано:

- $S_{\text{ном}} = 137 \text{ МВ}\cdot\text{А}$  (из РПЗ-2)
- $V_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ}$  (из РПЗ-2)
- $V_{\text{рас}} = 110 \text{ кВ}$
- $P_1 = 30 \text{ МВт}$
- $V_1 = 35 \text{ кВ}$
- $\cos \varphi_1 = 0,9$
- $P_2 = 50 \text{ МВт}$
- $V_2 = 10 \text{ кВ}$
- $\cos \varphi_2 = 0,85$

Требуется:

- составить структурную схему УРП;
- рассчитать и выбрать трансформаторы;
- проверить АТ на допустимость режима работы.

Решение:

- Составляется структурная схема УРП для согласования четырех различных напряжений (рис. 1.3.1), наносятся необходимые данные.
- Определяются полные мощности потребителей

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{30}{0,9} = 33,3 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{50}{0,85} = 58,8 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

- Определяются расчетные мощности трансформаторов и автотрансформаторов по наибольшему значению:

$$S_{\text{ат}} \geq S_{\text{ат,р}} = 0,7 S_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 137 = 95,9 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{\text{т}} \geq S_{\text{т,р}} = 0,7 S_2 = 0,7 \cdot 58,8 = 41,2 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

- По таблицам А.3 и А.4 выбираются трансформаторы и автотрансформаторы, определяются  $K_{\Sigma}$

2 × АТДЦТН 125000-220/110/35

$V_{\text{вн}} = 230 \text{ кВ}$

$V_{\text{сн}} = 110 \text{ кВ}$

$V_{\text{шт}} = 38,5 \text{ кВ}$

$\Delta P_{\text{кк}} = 65 \text{ кВт}$

$\Delta P_{\text{кк(ВН-СН)}} = 315 \text{ кВт}$ ,  $u_{\text{кк(ВН-СН)}} = 11 \%$

$\Delta P_{\text{кк(ВН-НН)}} = 280 \text{ кВт}$ ,  $u_{\text{кк(ВН-НН)}} = 45 \%$

$\Delta P_{\text{кк(СН-НН)}} = 275 \text{ кВт}$ ,  $u_{\text{кк(СН-НН)}} = 28 \%$

$i_{\text{кк}} = 0,4 \%$

2 × ТРДН 63000-110/10

$V_{\text{вн}} = 115 \text{ кВ}$

$V_{\text{шт}} = 10,5-10,5 \text{ кВ}$

$\Delta P_{\text{кк}} = 50 \text{ кВт}$

$\Delta P_{\text{кк}} = 245 \text{ кВт}$

$u_{\text{кк}} = 10,5 \%$

$i_{\text{кк}} = 0,5 \%$

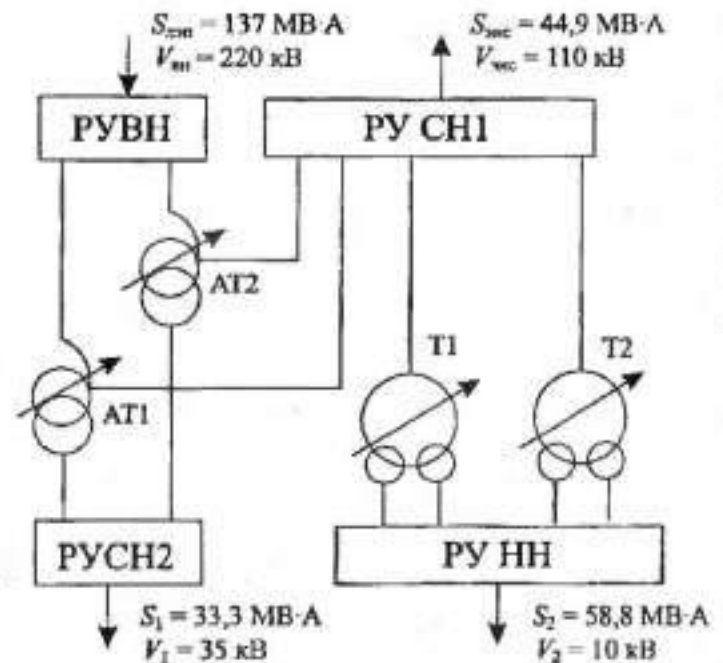


Рис. 1.3.1. Структурная схема УРП

$$K_{\lambda(AT)} = \frac{S_{\phi AT}}{n_{AT} S_{AT}} = \frac{137}{2 \cdot 125} = 0,55;$$

$$K_{\lambda(T)} = \frac{S_{\phi T}}{n_T S_T} = \frac{58,8}{2 \cdot 63} = 0,47.$$

- Проверяются АТ на допустимость режима работы согласно условию

$$(2 \cdot 62,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}) S_{\text{тип}} > S_1 (33,3 \text{ МВ} \cdot \text{А});$$

$$S_{\text{тип}} = K_{\text{выг}} S_{AT} = 0,5 \cdot 125 = 62,5 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$K_{\text{выг}} = 1 - \frac{1}{K_{\text{т(ВН-СН)}}} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5;$$

$$K_{\text{т(ВН-СН)}} = \frac{V_{\text{ВН}}}{V_{\text{СН}}} = \frac{220}{110} = 2.$$

Условие выполняется даже в случае работы на потребителя только одного АТ.

- Определяется баланс мощностей по УРП:

$$S_{\text{зис}} = S_{\text{кэл}} - S_1 - S_2 = 137 - 33,3 - 58,8 = 44,9 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Положительное значение  $S_{\text{зис}}$  означает, что ЭС обеспечивает потребителей ЭЭ полностью и 44,9 МВ·А отдается в ЭНС.

**Ответ:** На УРП установлены:

$$2 \times \text{АТДЦТН-125000220/110/35}, \quad K_{\lambda(AT)} = 0,55;$$

$$2 \times \text{ТРДН-63000/110/10}, \quad K_{\lambda(T)} = 0,47;$$

$$S_{\text{зис}} = 44,9 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

**Примечания.**

1. Принять  $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ .

2. Согласовываются классы напряжений:

для трансформаторов:

500/35, 20, 15 кВ,

330/20, 10 кВ,

220/20, 10, 6 кВ,

110/35, 20, 10, 6 кВ;

для автотрансформаторов:

500/110/35, 10,

330/110/35, 10, 6,

220/110/35, 10, 6.

## 1.4. РПЗ–4. Расчет потерь мощности и электроэнергии в трансформаторе

### Методика расчета

- Общую величину потерь ( $\Delta P_T$ ) активной мощности (кВт) в трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta P_T = \Delta P_{ст} + \Delta P_{об} K_3^2,$$

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

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

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

$K_3$  — коэффициент загрузки трансформатора, отн. ед. Это отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности:

$$K_3 = \frac{S_\phi}{S_T}.$$

- Общую величину потерь ( $\Delta Q_T$ ) реактивной мощности (квар) в трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{ст} + \Delta Q_{рас} K_3^2,$$

где  $\Delta Q_{ст}$  — потери реактивной мощности на намагничивание, квар. Намагничивающая мощность не зависит от нагрузки,

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

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

$$\Delta Q_{рас} \approx u_{кз} S_{н.т} \cdot 10^{-2};$$

$i_{хх}$  — ток холостого хода трансформатора, %;

$u_{кз}$  — напряжение короткого замыкания, %;

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

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

- На основании потерь мощности можно определить потери электроэнергии. Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях **времени использования потерь** ( $\tau$ ) и **времени использования максимальной нагрузки** ( $T_M$ ).

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

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



$\tau = F(\cos \varphi, T_m)$  определяется по графику (рис. 1.4.1).

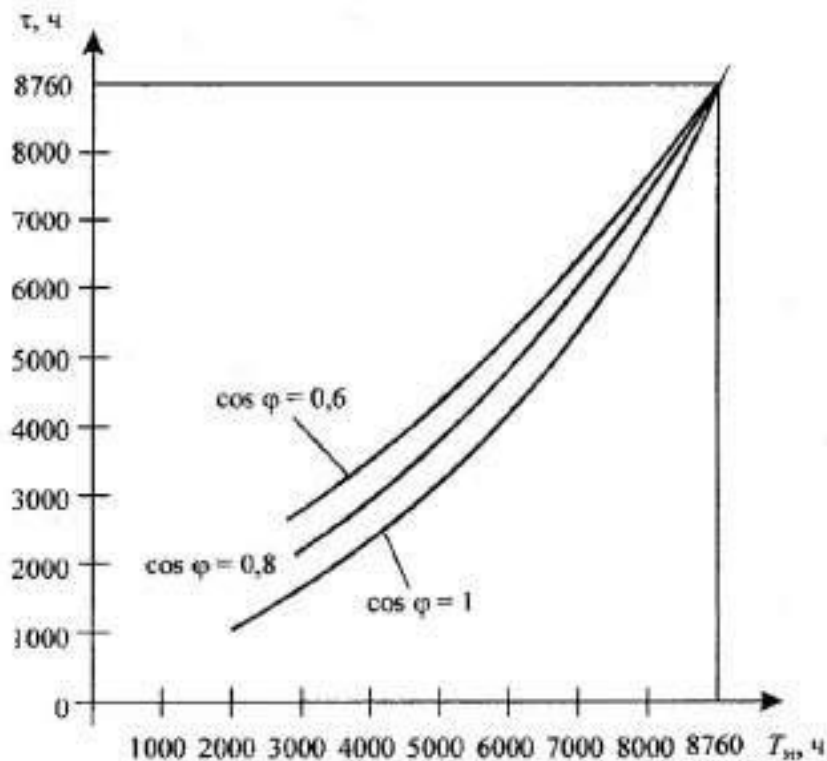


Рис. 1.4.1. График зависимости  $\tau = F(\cos \varphi, T_m)$

- Общая потеря активной энергии (кВт · ч) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta W_{a\tau} = \Delta W_{ct} + \Delta W_{об} = \Delta P_{ct} t + \Delta P_{об} K_3^2 \tau.$$

- Общая потеря реактивной энергии (квар · ч) в трансформаторе определяется по формуле

$$\Delta W_{p\tau} = S_{н\tau} (i_{xx} t + u_{кз} K_3^2 \tau) \cdot 10^{-2}.$$

### Пример

**Дано:**

Трансформатор — ЭС–Бл.

ТД 80000–220/10,5

$\Delta P_{xx} = 79$  кВт

$\Delta P_{кз} = 315$  кВт

$u_{кз} = 11$  %

$i_{xx} = 0,45$  %

$K_3 = 0,99$

$\cos \varphi = 0,8$

$T_m = 5000$  ч

$t = 5500$  ч

**Требуется:**

- определить потери мощности за год ( $\Delta P_{\tau}$ ,  $\Delta Q_{\tau}$ ,  $\Delta S_{\tau}$ );
- определить потери энергии за год ( $\Delta W_{a\tau}$ ,  $\Delta W_{p\tau}$ ,  $\Delta W_{\tau}$ ).

**Решение:**

- Определяются потери активной мощности в трансформаторе



$$\Delta P_{\tau} = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{ог}} K_3^2 = 79 + 315 \cdot 0,99^2 = 387,7 \text{ кВт} \approx 3,9 \cdot 10^2 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{ст}} \approx \Delta P_{\text{хх}} = 79 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{ог}} \approx \Delta P_{\text{кз}} = 315 \text{ кВт}.$$

- Определяются потери реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_{\tau} = \Delta Q_{\text{ст}} + \Delta Q_{\text{рвс}} K_3^2 = 3,6 \cdot 10^2 + 88 \cdot 10^2 \cdot 0,99^2 = 89,9 \cdot 10^2 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{\text{ст}} \approx i_{\text{хх}} S_{\text{н.т}} \cdot 10^2 = 0,45 \cdot 80000 \cdot 10^{-2} = 360 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{\text{рвс}} \approx u_{\text{кз}} S_{\text{н.т}} \cdot 10^{-2} = 11 \cdot 80000 \cdot 10^{-2} = 88 \cdot 10^2 \text{ квар}.$$

- Определяются полные потери мощности в трансформаторе

$$\Delta S_{\tau} = \sqrt{\Delta P_{\tau}^2 + \Delta Q_{\tau}^2} = \sqrt{(3,9 \cdot 10^2)^2 + (89,9 \cdot 10^2)^2} = 90,1 \cdot 10^2 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

- Определяются потери активной энергии в трансформаторе

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{вт}} &= \Delta W_{\text{ст}} + \Delta W_{\text{ог}} = \Delta P_{\text{ст}} t + \Delta P_{\text{ог}} K_3^2 \tau = \\ &= \Delta P_{\text{хх}} t + \Delta P_{\text{кз}} K_3^2 \tau = 79 \cdot 5500 + 315 \cdot 0,99 \cdot 3500 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

По графику рис. 1.4.1 определяется

$$\tau = F(\cos \varphi, T_m) = F(0,8; 5000) = 3500 \text{ ч}.$$

- Определяются потери реактивной энергии в трансформаторе

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{р.т}} &= S_{\text{н.т}} (i_{\text{хх}} t + u_{\text{кз}} K_3^2 \tau) \cdot 10^{-2} = \\ &= 80000 \cdot (0,45 \cdot 5500 + 11 \cdot 0,99^2 \cdot 3500) \cdot 10^{-2} = 32,2 \cdot 10^6 \text{ квар} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

- Определяются полные потери энергии в трансформаторе

$$\Delta W_{\tau} = \sqrt{\Delta W_{\text{вт}}^2 + \Delta W_{\text{р.т}}^2} = \sqrt{(1,5 \cdot 10^6)^2 + (32,2 \cdot 10^6)^2} = 34,5 \cdot 10^6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{ч}.$$

**Ответ:** Годовые потери в блочном трансформаторе электростанции:

$$\Delta P_{\tau} = 3,9 \cdot 10^2 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{\text{вт}} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta Q_{\tau} = 89,9 \cdot 10^2 \text{ кВт};$$

$$\Delta W_{\text{р.т}} = 32,2 \cdot 10^6 \text{ квар} \cdot \text{час};$$

$$\Delta S_{\tau} = 90,1 \cdot 10^2 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\Delta W_{\tau} = 34,5 \cdot 10^6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{час}.$$

Таблица 1.4.1. Индивидуальные задания для РПЗ-4

Вариант	Трансформатор (место установки)	$K_3$	$\cos \varphi$	$T_m$ , ч	$t$ , ч	Дополнительные сведения
1	2	3	4	5	6	7
1	УРП	РПЗ-3		3000	4000	УРП — узловая распределительная подстанция; ЭС — электростанция; ГРУ — генераторное распределительное устройство; Бл. — блочный
2	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		8000	4500	
3	ЭС-Бл.	РПЗ-1		3500	5000	
4	УРП	РПЗ-3		7500	5500	
5	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		4000	6000	
6	ЭС-Бл.	РПЗ-1		7000	6500	
7	УРП	РПЗ-3		4500	7000	
8	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		6500	7500	
9	ЭС-Бл.	РПЗ-1		5000	8000	

1	2	3	4	5	6	7
10	УРП	РПЗ-3		6000	7500	
11	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		5500	7000	
12	ЭС-Бл.	РПЗ-1		5500	6500	
13	УРП	РПЗ-3		6000	6000	
14	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		5000	5500	
15	ЭС-Бл.	РПЗ-3		6500	5000	
16	УРП	РПЗ-1		4500	4500	
17	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		7000	4000	
18	ЭС-Бл.	РПЗ-1		4000	4500	
19	УРП	РПЗ-3		7500	5000	
20	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		3500	5500	
21	ЭС-Бл.	РПЗ-1		8000	6000	
22	УРП	РПЗ-3		3000	6500	
23	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		8000	7000	
24	ЭС-Бл.	РПЗ-1		3500	7500	
25	УРП	РПЗ-3		7500	8000	
26	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		4000	7500	
27	ЭС-Бл.	РПЗ-1		7000	7000	
28	УРП	РПЗ-3		4500	6500	
29	ЭС-ГРУ	РПЗ-1		6500	6000	
30	ЭС-Бл.	РПЗ-1		5000	5500	

## 1.5. РПЗ–5. Расчет электрических нагрузок цеха. Выбор числа и мощности питающих трансформаторов

### Методика расчета

#### Метод коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм)

Это основной метод расчета электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных ( $P_m$ ,  $Q_m$ ,  $S_m$ ) расчетных нагрузок группы электроприемников.

$$P_m = K_m P_{cm}; \quad Q_m = K'_m Q_{cm}; \quad S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2},$$

где  $P_m$  — максимальная активная нагрузка, кВт;

$Q_m$  — максимальная реактивная нагрузка, квар;

$S_m$  — максимальная полная нагрузка, кВ·А;

$K_m$  — коэффициент максимума активной нагрузки;

$K'_m$  — коэффициент максимума реактивной нагрузки;

$P_{cm}$  — средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт;

$Q_{cm}$  — средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену, квар.

$$P_{cm} = K_n P_n; \quad Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $K_n$  — коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации по таблице 1.5.1;

$P_n$  — номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму, без учета резервных электроприемников, кВт;

$\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент реактивной мощности;

$K_m = F(K_n, n_2)$  определяется по таблицам (графикам) (см. табл. 1.5.3), а при отсутствии их может быть вычислен по формуле

$$K_m = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_2}} \sqrt{\frac{1 - K_{n\text{cp}}}{K_{n\text{cp}}}},$$

где  $n_2$  — эффективное число электроприемников;

$K_{n\text{cp}}$  — средний коэффициент использования группы электроприемников,

$$K_{n\text{cp}} = \frac{P_{cm\Sigma}}{P_{n\Sigma}},$$

где  $P_{cm\Sigma}$ ,  $P_{n\Sigma}$  — суммы активных мощностей за смену и номинальных в группе электроприемников, кВт;

$n_2 = F(n, m, K_{n\text{cp}}, P_n)$  может быть определено по упрощенным вариантам (таблица 1.5.2),

где  $n$  — фактическое число электроприемников в группе;

$m$  — показатель силовой сборки в группе,

$$m = \frac{P_{n\text{дб}}}{P_{n\text{нм}}},$$

где  $P_{\text{наиб}}$ ,  $P_{\text{наим}}$  — номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприемников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

В соответствии с практикой проектирования принимается  $K'_m = 1,1$  при  $n, \leq 10$ ;  $K'_m = 1$  при  $n, > 10$ .

### Приведение мощностей 3-фазных электроприемников к длительному режиму

$P_n = P_n$  — для электроприемников ДР;

$P_n = P_n \sqrt{\text{ПВ}}$  — для электроприемников ПКР;

$P_n = S_n \cos \varphi \sqrt{\text{ПВ}}$  — для сварочных трансформаторов ПКР;

$P_n = S_n \cos \varphi$  — для трансформаторов ДР,

где  $P_n$ ,  $P_n$  — приведенная и паспортная активная мощность, кВт;

$S_n$  — полная паспортная мощность, кВ·А;

ПВ — продолжительность включения, отн. ед.

### Приведение 1-фазных нагрузок к условной 3-фазной мощности

Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью и определяется величина неравномерности (Н)

$$H = \frac{P_{\text{ф.наб}} - P_{\text{ф.наим}}}{P_{\text{ф.наим}}} \cdot 100 \%,$$

где  $P_{\text{ф.наб}}$ ,  $P_{\text{ф.наим}}$  — мощность наиболее и наименее загруженной фазы, кВт.

При  $H > 15 \%$  и включении на фазное напряжение

$$P_y^{(3)} = 3P_{\text{м.ф}}^{(1)},$$

где  $P_y^{(3)}$  — условная 3-фазная мощность (приведенная), кВт;

$P_{\text{м.ф}}^{(1)}$  — мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

При  $H > 15 \%$  и включении на линейное напряжение

$$P_y^{(3)} = \sqrt{3}P_{\text{м.ф}}^{(1)} \text{ — для одного электроприемника;}$$

$$P_y^{(3)} = 3P_{\text{м.ф}}^{(1)} \text{ — для нескольких электроприемников.}$$

При  $H \leq 15 \%$  расчет ведется как для 3-фазных нагрузок (сумма всех 1-фазных нагрузок).

*Примечание.* Расчет электроприемников ПКР производится после приведения к длительному режиму.

### Определение потерь мощности в трансформаторе

Приближенно потери мощности в трансформаторе учитываются в соответствии с соотношениями

$$\Delta P = 0,02S_{\text{ТН}};$$

$$\Delta Q = 0,1S_{\text{ТН}};$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2};$$

$$S_{\text{ВН}} = S_{\text{ТН}} + \Delta S.$$

## Определение мощности наиболее загруженной фазы

- При включении на линейное напряжение нагрузки отдельных фаз однофазных электроприемников определяются как полусуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе (рис. 1.5.1).

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2};$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2};$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2}.$$

Из полученных результатов выбирается наибольшее значение.

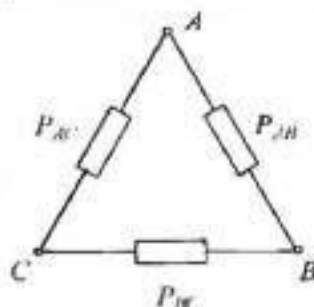


Рис. 1.5.1. Схема включения 1-фазных нагрузок на линейное напряжение

- При включении 1-фазных нагрузок на фазное напряжение нагрузка каждой фазы определяется суммой всех подключенных нагрузок на эту фазу (рис. 1.5.2).

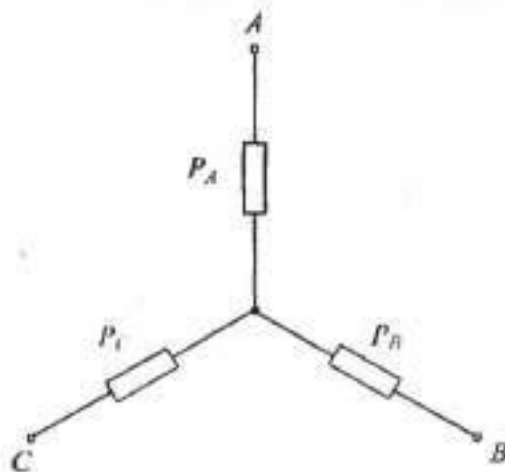


Рис. 1.5.2. Схема включения 1-фазных нагрузок на фазное напряжение

Таблица 1.5.1. Рекомендуемые значения коэффициентов

Наименование механизмов и аппаратов	$K_n$	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1	2	3	4	5
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (токарные, фрезерные, сверлильные, точильные, карусельные и т. п.)	0,14	0,16	0,5	1,73

1	2	3	4	5
Металлорежущие станки крупносерийного производства с нормальным режимом работы (те же)	0,16	0,2	0,6	1,33
Металлорежущие станки с тяжелым режимом работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные)	0,17	0,25	0,65	1,17
Переносной электроинструмент	0,06	0,1	0,65	1,17
Вентиляторы, сантехническая вентиляция	0,6	0,7	0,8	0,75
Насосы, компрессоры, дизельгенераторы	0,7	0,8	0,8	0,75
Краны, тельферы	0,1	0,2	0,5	1,73
Сварочные трансформаторы	0,25	0,35	0,35	2,67
Сварочные машины (стыковые и точечные)	0,2	0,6	0,6	1,33
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75	0,8	0,95	0,33

Таблица 1.5.2. Упрощенные варианты определения  $n_3$ 

$n$	$K_{н.ср}$	$m$	$P_n$	Формула для $n_3$
1	2	3	4	5
$< 5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$	Переменная	$n_3 = \frac{\left(\sum_1^n P_n\right)^2}{\sum_1^n P_n^2}$
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$	Постоянная	$n_3 = n$
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$< 3$	Переменная	$n_3 = n$
$\geq 5$	$< 0,2$	$< 3$		$n_3$ не определяется, а $P_m = K_3 P_{н.г.}$ , где $K_3$ — коэффициент загрузки $K_{3(квр)} = 0,75$ (повторно-кратковременный режим) $K_{3(длр)} = 0,9$ (длительный режим) $K_{3(авр)} = 1$ (автоматический режим)
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$		$n_3 = \frac{2 \sum_1^n P_n}{P_{н.об}}$
$\geq 5$	$< 0,2$	$\geq 3$		Применяются относительные единицы $n_3 = n_3^* n$ ; $n_3^* = F(n^*, P^*)$ ; $n^* = \frac{n_1}{n}$ ; $P^* = \frac{P_{н1}}{P_{нn}}$
$> 300$	$\geq 0,2$	$\geq 3$		—

Примечание. В таблице 1.5.2:

$K_3$  — коэффициент загрузки — это отношение фактической потребляемой активной мощности ( $P_{ф}$ ) к номинальной активной мощности ( $P_{н}$ ) электроприемника;



- $n_2^*$  — относительное число эффективных электроприемников определяется по таблице 1.5.4;  
 $n_1$  — число электроприемников с единичной мощностью больше или равной  $0,5P_{инб}$ ;  
 $n^*$  — относительное число наибольших по мощности электроприемников;  
 $P^*$  — относительная мощность наибольших по мощности электроприемников.

Таблица 1.5.3. Зависимость  $K_M = F(n_2, K_M)$

$n_2$	Коэффициент использования, $K_M$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	3,43	3,22	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,1	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,2	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05	1,03
35	1,25	1,41	1,3	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,1	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,1	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,06	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02

Таблица 1.5.4. Значения  $n_2^* = F(n^*, P^*)$

$n^*$	$P^*$																			
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	
1	2	3	4	5	6	7/8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,007	0,009	0,01	0,011	0,013	0,016	0,019	0,024	0,03	0,03	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34	
0,01	0,009	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019	0,023	0,026	0,031	0,037	0,047	0,059	0,059	0,1	0,14	0,2	0,32	0,52	
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,11	0,019	0,026	0,36	0,51	0,71	
0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,16	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81	
0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,15	0,18	0,22	0,22	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86	
0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,1	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22	0,26	0,21	0,41	0,51	0,64	0,79	0,9	
0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,18	0,21	0,26	0,31	0,27	0,47	0,58	0,7	0,83	0,92	
0,08	0,08	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,2	0,24	0,28	0,33	0,4	0,33	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94	
0,10	0,09	0,1	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22	0,25	0,29	0,34	0,4	0,47	0,38	0,66	0,70	0,85	0,92	0,95	
0,15	0,14	0,16	0,17	0,2	0,23	0,25	0,28	0,32	0,37	0,42	0,48	0,56	0,67	0,48	0,8	0,88	0,93	0,95		
0,20	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,47	0,54	0,64	0,69	0,76	0,56	0,89	0,93	0,95			

1	2	3	4	5	6	7/8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0,25	0,24	0,26	0,29	0,32	0,36	0,41	0,45	0,51	0,57	0,64	0,71	0,78	0,85	0,72	0,83	0,95			
0,30	0,29	0,32	0,35	0,39	0,43	0,48	0,53	0,6	0,66	0,73	0,8	0,86	0,9	0,84	0,95				
0,35	0,33	0,37	0,41	0,45	0,5	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95					
0,4	0,38	0,42	0,47	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,86	0,91	0,93	0,95						
0,45	0,43	0,47	0,52	0,58	0,64	0,7	0,76	0,81	0,87	0,91	0,93	0,95							
0,5	0,48	0,53	0,58	0,64	0,7	0,76	0,82	0,89	0,91	0,94	0,95								
0,55	0,52	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,87	0,91	0,94	0,95									
0,6	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94	0,95										
0,65	0,62	0,68	0,74	0,81	0,86	0,91	0,94	0,95											
0,7	0,66	0,73	0,8	0,86	0,9	0,94	0,95												
0,75	0,71	0,78	0,85	0,9	0,93	0,95													
0,8	0,76	0,83	0,89	0,94	0,95														
0,85	0,8	0,88	0,94	0,95															
0,9	0,85	0,92	0,95																
1,0	0,95																		

Таблица 1.5.5. Технические данные электроприемников

№ п/п	Наименование электроприемника	$P_{\text{н}}$ , кВт	$n$	$K_{\text{н}}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
<b>3-фазный ДР</b>						
1	Компрессорная установка	28	5	0,65	0,8	0,75
2	Вентиляторная установка	15	4	0,7		
3	Насосная установка	55	8			
4	Станок фрезерный	11,5	14	0,14	0,5	1,73
5	Станок токарный	14	12			
6	Станок строгальный	11	10			
7	Станок карусельный	40	2			
8	Станок наждачный	2,8	5			
9	Станок винторезный	15	6			
10	Станок расточный	42	2			
11	Станок шлифовальный	3	15			
12	Станок слиткообдирочный	45	4			
13	Станок галтовочный	4	8			
14	Молот ковочный	15	7	0,24	0,65	1,17
15	Пресс штамповочный	4,5	12			
16	Автомат фрезерный	7,5	20	0,17	0,75	0,35
17	Печь индукционная	8	4			
18	Печь дуговая	30	4			
19	Печь сопротивления	35	6	0,8	0,95	0,33
20	Конвейер ленточный	35	2	0,55	0,75	0,88
21	Транспортер роликовый	10	3			
<b>3-фазный ПКР</b>						
22	Кран мостовой, ПВ = 25 %	30	2	0,05		
23	Тележка подвесная, ПВ = 40 %	4	8	0,1	0,5	1,73
24	Тельфер транспортный, ПВ = 60 %	10	3			



1	2	3	4	5	6	7
	<b>1-фазный ПКР</b>					
25	Трансформатор сварочный, ПВ = 40 %	28 кВ·А	5	0,2	0,4	2,29
26	Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 %	16 кВ·А	5	0,3	0,35	2,67
27	Аппарат стыковой сварки, ПВ = 25 %	14 кВ·А	5	0,35	0,55	1,51
	<b>Осветительная установка</b>					
28	Лампы накаливания	9...11 Вт/м <sup>2</sup>			1	—
29	Газоразрядные лампы			0,85	0,95	0,33

### Пример

#### Дано:

Вариант — 30

Категория ЭСН-1

Электроприемники:

№ 1—7—19—21—24—25—29

Цех машиностроения — 350 м<sup>2</sup>

#### Требуется:

- составить схему ЭСН;
- рассчитать нагрузки и заполнить сводную ведомость нагрузок;
- выбрать ТП-10/0,4.

#### Решение:

- По таблице 1.5.5 по номерам находят нужные электроприемники и разбиваются на группы: 3-фазный ДР, 3-фазный ПКР, 1-фазный ПКР, ОУ.

Выбираются виды РУ: ШМА, РП, ЩО.

Исходя из понятия категории ЭСН-1, составляется схема ЭСН с учетом распределения нагрузки.

Так как потребитель 1 категории ЭСН, то ТП — двухтрансформаторная, а между секциями НН устанавливается устройство АВР (автоматическое включение резерва).

Так как трансформаторы должны быть одинаковые, нагрузка распределяется по секциям примерно одинаково, а поэтому принимаются следующие РУ: РП1 (для 3-фазного ПКР), РП2 (для 1-фазного ПКР), ЩО, ШМА1 и ШМА2 (для 3-фазного ДР).

Такой выбор позволит уравнивать нагрузки на секциях и сформировать схему ЭСН (рис. 1.5.2).

- Нагрузки 3-фазного ПКР приводятся к длительному режиму

$$P_n = P_n \sqrt{\text{ПВ}} = 5\sqrt{0,6} = 3,9 \text{ кВт.}$$

- Нагрузка 1-фазного ПКР, включенная на линейное напряжение, приводится к длительному режиму и к условной 3-фазной мощности:

$$P_n = S_n \cos \varphi \sqrt{\text{ПВ}} = 28 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{0,4} = 7,1 \text{ кВт;}$$

$$P_B = P_{\text{ф.нб}} = \frac{2P_n + 2P_n}{2} = 2P_n = 2 \cdot 7,1 = 14,2 \text{ кВт;}$$

$$P_A = P_C = P_{\text{ф.нм}} = \frac{P_n + 2P_n}{2} = 1,5P_n = 1,5 \cdot 7,1 = 10,7 \text{ кВт;}$$

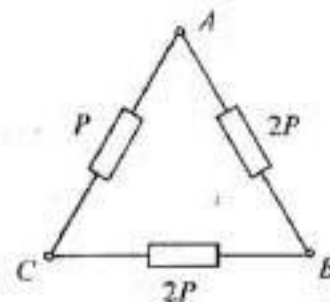


Рис. 1.5.1. Распределение 1-фазной нагрузки по фазам

$$H = \frac{P_{\text{ф.вб}} - P_{\text{ф.пм}}}{P_{\text{ф.вм}}} \cdot 10^2 = \frac{14,2 - 10,7}{10,7} \cdot 10^2 = 33 \% > 15 \%,$$

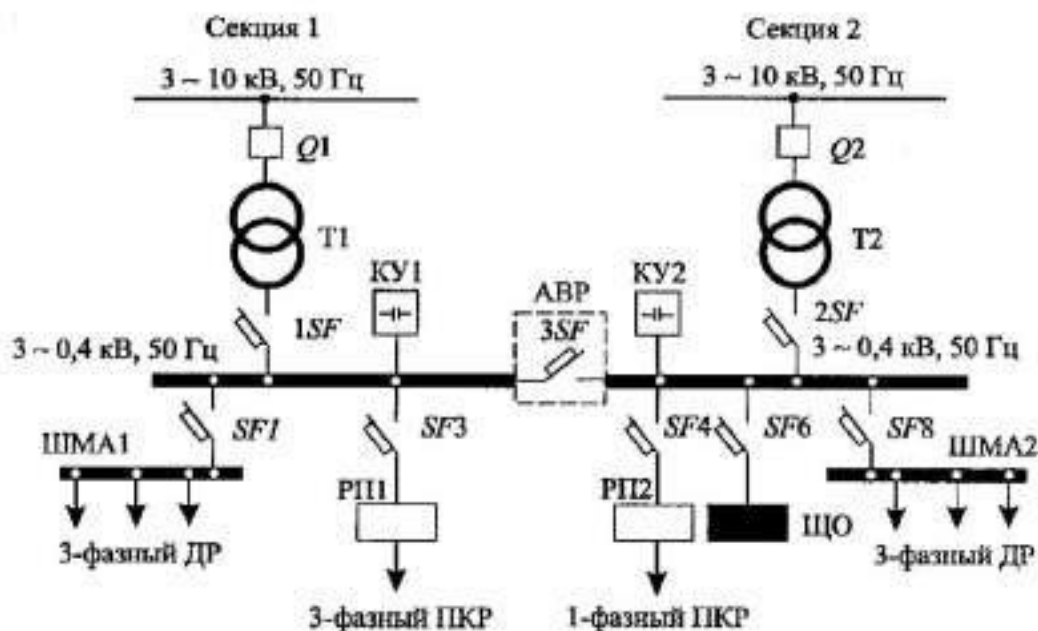


Рис. 1.5.2. Схема ЭСН цеха

тогда

$$P_y = 3P_{\text{ф.вб}} = 3 \cdot 14,2 = 42,6 \text{ кВт.}$$

- Определяется методом удельной мощности нагрузка ОУ:

$$P_{\text{оу}} = P_{\text{уд}} S = 10 \cdot 350 \cdot 10^{-3} = 3,5 \text{ кВт.}$$

- Распределяется нагрузка по секциям.

Секция 1	Нагрузка приведенная, кВт		Секция 2
	2	3	
1			4
РП1			РП2
Тельфер 3,9 × 8	31,2	42,6	42,6 Трансформатор сварочный
			ЩО
		3,5	3,5
ШМА1			ШМА2
Компрессорная установка 28 × 3	84	56	28 × 2 Компрессорная установка
Станок карусельный 40 × 1	40	40	40 × 1 Станок карусельный
Печь сопротивления 35 × 3	105	105	35 × 3 Печь сопротивления
Транспортер 10 × 1	10	20	10 × 2 Транспортер
ИТОГО	270,2	267,1	ИТОГО

Примечание. Резервные электроприемники в расчете электрических нагрузок не учитываются.

- Согласно распределению нагрузки по РУ заполняется «Сводная ведомость...» (таблица 1.5.6).

Колонки 1, 2, 3, 5, 6, 7.

Колонка 4:  $P_{\text{к.с}} = P_{\text{н}}$ , кроме РП2 с 1-фазными электроприемниками и ЩО.

Так как на РП1, РП2, ЩО электроприемники одного наименования, итоговых расчетов не требуется.

Расчеты производятся для ШМА1 и ШМА2.

Определяется  $m = \frac{P_{н.аб}}{P_{н.шм}}$ , результат заносится в колонку 8.

Определяются  $P_{см} = K_n P_n$ ,  $Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi$ ,  $S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}$ , результаты заносятся в колонки 9, 10, 11 соответственно.

Определяются  $K_{н.ср} = \frac{P_{см \Sigma}}{P_{н \Sigma}}$ ,  $\cos \varphi = \frac{P_{см \Sigma}}{S_{см \Sigma}}$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{см \Sigma}}{P_{см \Sigma}}$  для ШМА1 и ШМА2, результаты заносятся в колонки 5, 6, 7 соответственно.

Определяется  $n_3 = F(n, m, K_{н.ср}, P_n) = F(8, > 3, > 0,2, \text{переменная}) = 8$ , результат заносится в колонку 12.

Определяется  $K_m = F(K_{н.ср}, n_3)$ , результат заносится в колонку 13.

Определяются  $P_m = K_m P_{см}$ ;  $Q_m = K_m Q_{см}$ ;  $S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$ , результат заносится в колонки 15, 16, 17.

Определяется ток на РУ, результат заносится в колонку 18.

$$I_{м(РП1)} = \frac{S_{м(РП1)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{18,8}{1,73 \cdot 0,38} = 28,6 \text{ А};$$

$$I_{м(РП2)} = \frac{S_{м(РП2)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{21,3}{1,73 \cdot 0,38} = 32,4 \text{ А};$$

$$I_{м(ШМА1)} = \frac{S_{м(ШМА1)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{215}{1,73 \cdot 0,38} = 326,8 \text{ А};$$

$$I_{м(ШМА2)} = \frac{S_{м(ШМА2)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{196}{1,73 \cdot 0,38} = 297,9 \text{ А};$$

$$I_{м(РП1)} = \frac{S_{м(РП1)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{18,8}{1,73 \cdot 0,38} = 28,6 \text{ А};$$

$$I_{м(ШО)} = \frac{S_{м(ШО)}}{\sqrt{3}V_n} = \frac{3,2}{1,73 \cdot 0,38} = 4,9 \text{ А}.$$

Определяются потери в трансформаторе, результаты заносятся в колонки 15, 16, 17.

$$\Delta P_T = 0,02 S_{м(ШО)} = 0,02 \cdot 473,1 = 9,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 S_{м(ШО)} = 0,1 \cdot 473,1 = 47,3 \text{ квар};$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{9,5^2 + 47,3^2} = 48,3 \text{ кВт} \cdot \text{А}.$$

Определяется расчетная мощность трансформатора с учетом потерь, но без компенсации реактивной мощности.

$$S_T \geq S_p = 0,7 S_{м(ВН)} = 0,7 \cdot 521,4 = 365 \text{ кВт} \cdot \text{А}.$$

По [5, с. 116] выбирается КТП 2 × 400–10/0,4;

с двумя трансформаторами ТМ 400–10/0,4;

$$R_T = 5,6 \text{ мОм};$$

$$X_T = 14,9 \text{ мОм};$$

$$Z_T = 15,9 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм};$$

$$K_3 = \frac{S_{1Ш}}{S_T} = \frac{473,1}{2 \cdot 400} = 0,59.$$

$$\Delta P_{xx} = 0,950 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$\mu_{кз} = 4,5 \%;$$

$$i_{xx} = 2,1 \%.$$

**Ответ:** Выбрана цеховая КТП 2 × 400–10/0,4;  $K_3 = 0,59$ .

Таблица 1.5.6. Сводная ведомость нагрузок по цеху

Наименование РУ и электро- приемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену						Нагрузка максимальная			
	$P_{\text{н}}$ кВт	$n$	$P_{\text{н.с.}}$ кВт	$K_{\text{н}}$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$m$	$P_{\text{ср.}}$ кВт	$Q_{\text{ср.}}$ квар	$S_{\text{ср.}}$ кВ·А	$n_s$	$K_{\text{с}}$	$K'_{\text{с}}$	$P_{\text{м.}}$ кВт	$Q_{\text{м.}}$ квар	$S_{\text{м.}}$ кВ·А	$I_{\text{м.}}$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>РП1</b> Тельфер транспортный, ПВ – 60 %	$\frac{5}{3,9}$	8	31,2	0,3	0,5	1,73	—	9,4	16,3	18,8	—	—	—	9,4	16,3	18,8	28,6
<b>РП2</b> Трансформатор сварочный, 1-ф, ПВ – 40 %	7,1	5	42,6	0,2	0,4	2,29	—	8,5	19,5	21,3	—	—	—	8,5	19,5	21,3	32,4
<b>ШМА1</b> Компрессорная установка	28	3	84	0,65	0,8	0,75	—	54,6	41	—	—	—	—	—	—	—	—
Станок кару- сельный	40	1	40	0,14	0,5	0,73	—	5,6	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Печь сопротив- ления	35	3	105	0,8	0,95	0,33	—	84	27,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Транспортер роликовый	10	1	10	0,55	0,75	0,88	—	5,5	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>ВСЕГО по ШМА1</b>	—	8	239	0,63	0,87	0,56	> 3	149,7	83,2	171,3	8	1,3	1,1	194,6	91,5	215	326,8
<b>ШМА2</b> Компрессорная установка	28	2	56	0,65	0,8	0,75	—	36,4	27,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Станок кару- сельный	40	1	40	0,14	0,5	1,73	—	6,6	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Печь сопротив- ления	35	3	105	0,8	0,95	0,33	—	84	27,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Транспортер роликовый	10	2	20	0,55	0,75	0,88	—	11	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>ВСЕГО по ШМА-2</b>	—	8	221	0,62	0,88	0,63	> 3	137	74,4	155,9	8	1,3	1,1	178,1	81,8	196	297,9
<b>ЩО</b> ОУ с ГРЛ	—	—	3,5	0,85	0,95	0,33	—	3	1	3,2	—	—	—	3	1	3,2	4,9
<b>Всего на ШНН</b>								307,6	194,4	363,9	—	—	—	393,6	210,1	473,1	—
<b>Потери</b>														9,5	47,3	48,3	—
<b>Всего на ВН</b>														403,1	257,4	521,4	—

Таблица 1.5.7. Варианты индивидуальных заданий для РПЗ–5

Вариант	Кatego- рия ЭСН	$S, \text{ м}^2$	Номера электроприемников по таблице 1.5.5		Вариант
1	2	3	4	5	6
1	1	450	1-4-14-17-23-25-28	2-5-15-18-23-25-29	16
2	2	500	2-5-15-18-24-26-29	1-4-14-17-24-26-28	17
3	3	550	3-6-16-21-22-26-28	1-7-14-17-23-26-29	18
4	2	600	1-7-14-17-23-27-29	3-6-16-20-22-26-28	19
5	3	400	2-8-15-18-24-25-28	3-9-16-19-24-27-29	20
6	1	450	3-9-16-22-25-29	2-8-15-18-22-25-28	21
7	3	500	1-10-14-17-24-27-28	2-11-15-18-24-25-29	22

1	2	3	4	5	6
8	1	550	2- <u>11</u> -15-18-22-25-29	1- <u>10</u> -14-17-22-25-28	23
9	2	600	3- <u>12</u> -16-19-23-25-28	1-13-18- <u>22</u> -23-26-29	24
10	1	600	1- <u>13</u> -18-20-22-26-29	3- <u>12</u> -16-22-25-28	25
11	2	550	2- <u>14</u> -19-21-24-27-28	3-15-17- <u>20</u> -24-27-29	26
12	3	500	3- <u>15</u> -17-20-23-26-29	2-14-19- <u>21</u> -23-26-28	27
13	2	450	3- <u>16</u> -19-20-24-27-28	2-7- <u>17</u> -21-24-27-29	28
14	3	400	2-7- <u>17</u> -21-22-26-29	3- <u>16</u> -19-20-24-26-28	29
15	1	350	1-10- <u>18</u> -22-23-27-28	<u>1</u> -7-19-21-24-25-29	30

*Примечание.* Обведены номера электроприемников для расчета в РПЗ-8.

## 1.6. РПЗ–6. Расчет и выбор компенсирующего устройства

### Методика расчета

- Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать:
  - расчетную реактивную мощность КУ;
  - тип компенсирующего устройства;
  - напряжение КУ.
- Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из соотношения

$$Q_{к.р} = \alpha P_m (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k),$$

где  $Q_{к.р}$  — расчетная мощность КУ, квар;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$\operatorname{tg} \varphi, \operatorname{tg} \varphi_k$  — коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсацію реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения значения  $\cos \varphi_k = 0,92 \dots 0,95$ .

Задаввшись  $\cos \varphi_k$  из этого промежутка, определяют  $\operatorname{tg} \varphi_k$ .

Значения  $P_m, \operatorname{tg} \varphi$  выбираются по результату расчета нагрузок из «Сводной ведомости нагрузок».

- Задаввшись типом КУ, зная  $Q_{к.р}$  и напряжение, выбирают стандартную компенсирующую установку, близкую по мощности.

Применяются комплектные конденсаторные установки (ККУ) или конденсаторы, предназначенные для этой цели.

- После выбора стандартного КУ определяется фактическое значение  $\cos \varphi_\phi$

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_m},$$

где  $Q_{к.ст}$  — стандартное значение мощности выбранного КУ, квар.

По  $\operatorname{tg} \varphi_\phi$  определяют  $\cos \varphi_\phi$ :

$$\cos \varphi_\phi = \cos(\operatorname{arctg} \varphi_\phi).$$

### Структура условного обозначения компенсирующих устройств







### Пример 1

*Дано:* Исходные данные из РИЗ-5

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_m$ , кВт	$Q_m$ , квар	$S_m$ , кВ·А
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1

*Требуется:*

- рассчитать и выбрать КУ;
- выбрать трансформатор с учетом КУ;
- сравнить с трансформатором без учета КУ.

*Решение:*

- Определяется расчетная мощность КУ

$$Q_{\text{кр}} = \alpha P_m (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi_s) = 0,9 \cdot 393,6 \cdot (0,63 - 0,33) = 106,3 \text{ квар.}$$

Принимается  $\cos \varphi_s = 0,95$ , тогда  $\operatorname{tg} \varphi_s = 0,33$ .

- По [5, с. 127] выбирается 2 × УК 2–0,38–50 со ступенчатым регулированием по 25 квар, по одной на секцию.
- Определяются фактические значения  $\operatorname{tg} \varphi_\phi$  и  $\cos \varphi_\phi$  после компенсации реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{\text{квк}}}{\alpha P_m} = 0,63 - \frac{2 \cdot 50}{0,9 \cdot 393,6} = 0,35; \quad \cos \varphi_\phi = 0,94.$$

Результаты расчетов заносятся в «Сводную ведомость нагрузок» (таблица 1.6.1).

- Определяются расчетная мощность трансформатора с учетом потерь:

$$\begin{aligned} S_p &= 0,7 S_{\text{ВН}} = 0,7 \cdot 429,2 = 300,5 \text{ кВ·А;} \\ \Delta P_\gamma &= 0,02 S_{\text{НН}} = 0,02 \cdot 408,7 = 8,2 \text{ кВт;} \\ \Delta Q_\gamma &= 0,1 S_{\text{НН}} = 0,1 \cdot 408,7 = 40,9 \text{ квар;} \\ \Delta S_\gamma &= \sqrt{\Delta P_\gamma^2 + \Delta Q_\gamma^2} = \sqrt{8,2^2 + 40,9^2} = 41,7 \text{ кВ·А.} \end{aligned}$$

- По [5, с. 110] выбирается трансформатор типа ТМ 400–10/0,4:

$$\begin{aligned} R_\gamma &= 5,6 \text{ мОм;} & \Delta P_{\text{кх}} &= 0,95 \text{ кВт;} \\ X_\gamma &= 14,9 \text{ мОм;} & \Delta P_{\text{кз}} &= 5,5 \text{ кВт;} \\ Z_\gamma &= 15,9 \text{ мОм;} & u_{\text{кз}} &= 4,5 \% ; \\ Z_\gamma^{(1)} &= 195 \text{ мОм;} & i_{\text{кх}} &= 2,1 \% . \end{aligned}$$

- Определяется

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{2S_T} = \frac{408,7}{2 \cdot 400} = 0,51.$$

*Примечание.* При отсутствии пособия [5] можно использовать по этому вопросу любой другой справочный материал.

Таблица 1.6.1. Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{\text{н}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{н}}, \text{квар}$	$S_{\text{н}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1
КУ				$2 \times 50$	
Всего на НН с КУ	0,94	0,35	393,6	110,1	408,7
Потери			8,2	40,9	41,7
Всего ВН с КУ			401,8	151	429,2

*Ответ:* Выбрано  $2 \times \text{УК } 2-0,38-50$ ;  
 трансформаторы  $2 \times \text{ТМ } 400-10/0,4$ ; для КТП —  $2 \times 400-10/0,4$ .  
 $K_3 = 0,51$ .

### Пример 2 Расчет точек подключения КУ к ШМА

*Дано:*

Расчетная схема с реактивными нагрузками (рис. 1.6.1)

$Q_{\text{к(ШМА1)}} = 300 \text{ квар}$

$Q_{\text{к(ШМА2)}} = 700 \text{ квар}$  (300 квар и 400 квар)

*Требуется:*

- выбрать точки установки КУ.

*Решение:*

- На ШМА1 устанавливается одно КУ мощностью 300 квар.

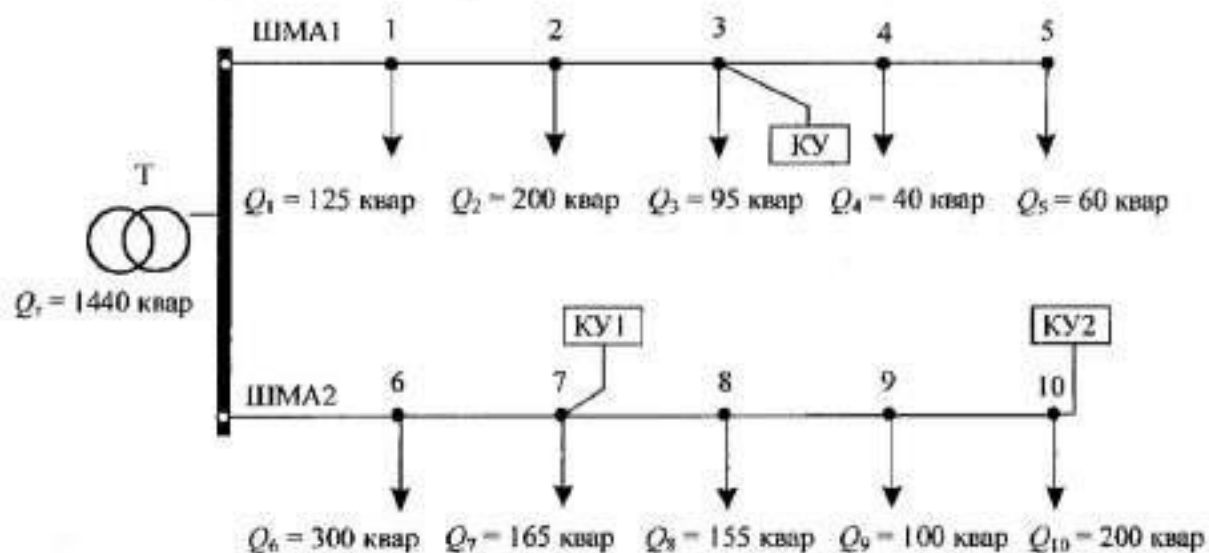


Рис. 1.6.1. Расчетная схема



Проверка выполнения условия  $Q_1' \geq \frac{Q_{к(ШМА1)}}{2} \geq Q_2'$  в точках подключения нагрузок:

точка 1:  $520 \geq 150 \leq 395$  — условие не выполняется;

точка 2:  $395 \geq 150 \leq 195$  — условие не выполняется;

точка 3:  $195 \geq 150 \geq 100$  — условие выполняется.

Следовательно, на ШМА1 подключается КУ мощностью 300 квар в точке 3.

- На ШМА2 устанавливается два КУ мощностью 300 и 400 квар. Проверяется выполнение

условия  $Q_1' \geq \frac{Q_{2к(ШМА2)}}{2} \geq Q_4'$  для дальнего КУ2 в точках подключения нагрузок:

точка 10:  $720 \geq 200 \geq 0$  — условие выполняется;

точка 9:  $620 \geq 200 \geq 200$  — условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{2к} = 400$  квар можно подключить к точке 9 или 10 по конструктивным соображениям.

КУ2 подключается к точке 10.

Проверяется выполнение условий  $Q_1' - Q_{2к} \geq \frac{Q_{1к(ШМА2)}}{2} \geq Q_2' - Q_{2к}$  для ближнего КУ1 в

точках подключения нагрузок:

точка 6:  $520 \geq 150 \leq 220$  — условие не выполняется;

точка 7:  $220 \geq 150 \geq 55$  — условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{1к} = 300$  квар можно подключить к точке 7.

**Ответ:** Подключить КУ мощностью 300 квар к точке 3; КУ1 мощностью 300 квар к точке 7; КУ2 мощностью 400 квар к точке 10.

## 1.7. РПЗ–7. Определение местоположения подстанции

### Методика расчета

**Определить местоположение подстанции** — это значит найти координаты центра нагрузок.

- По исходным данным построить оси  $X$  и  $Y$  генплана и нанести центры электрических нагрузок (ЦЭН) каждого цеха.
- С учетом размеров территории генплана выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую, приняв удобный радиус.

$$m_a = \frac{P_{\text{им}}}{\pi R_{\text{им}}^2}; \quad m_p = \frac{Q_{\text{им}}}{\pi R_{\text{им}}^2};$$

$$m_a = \frac{P_{\text{об}}}{\pi R_{\text{об}}^2}; \quad m_p = \frac{Q_{\text{об}}}{\pi R_{\text{об}}^2};$$

где  $m$  — масштаб нагрузок, кВт/км<sup>2</sup> или квар/км<sup>2</sup>;

$P_{\text{им}}, Q_{\text{им}}$  — наименьшая мощность цеха, кВт или квар;

$R_{\text{им}}$  — наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, км.

Величина  $m$  округляется и принимается как для активных, так и для реактивных нагрузок.

- Определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок всех цехов

$$R_a = \sqrt{\frac{P}{\pi m_a}}; \quad R_p = \sqrt{\frac{Q}{\pi m_p}},$$

где  $R_a$  и  $R_p$  — радиусы реактивной и активной нагрузок, км;

$P$  и  $Q$  — активная и реактивная нагрузки цехов, кВт и квар;

$m_a, m_p$  — масштаб нагрузок активной и реактивной, кВт/км<sup>2</sup> или квар/км<sup>2</sup>.

Если даны только  $P$  и  $\cos \varphi$ , то

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi.$$

- Определяются условные координаты ЦЭН всего предприятия

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i};$$

$A(X_{a0}, Y_{a0})$  — местоположение ГПП;

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i};$$

$B(X_{p0}, Y_{p0})$  — местоположение ККУ,

где  $X_{a0}, Y_{a0}$  — координаты ЦЭН активных, км;  
 $X_{p0}, Y_{p0}$  — координаты ЦЭН реактивных, км;  
 ККУ — комплектное компенсирующее устройство;  
 ГПП — главная понизительная подстанция.

- Составляется картограмма нагрузок, на которую наносятся все необходимые данные.

**Примечания.**

1. Картограмму нагрузок можно составить для цеха и определить ЦЭН, т. е. определить место установки внутрицеховой ТП.
2. Величина нагрузок на генплане изображается кругами, площадь которых пропорциональна им.

## Пример

**Дано:**

**Генплан 3 × 2 км с силовыми нагрузками цехов (1 кл. = 0,1 км)**

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
$P, \text{ кВт}$	100	160	1000	400	25
$X, \text{ км}$	0,6	1,45	2,4	1,55	0,4
$Y, \text{ км}$	1,45	1,25	0,9	0,55	0,4
$\cos \varphi$	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6

**Требуется:**

- определить координаты ЦЭН активных;
- определить координаты ЦЭН реактивных;
- нанести данные на генплан.

**Решение:**

- Наносятся на генплан центры электрических нагрузок (ЦЭН) каждого цеха (рис. 1.7.1), масштаб генплана  $m_r = 0,2 \text{ км/см}$ .
- Определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок, исходя из масштаба генплана.
- Определяется масштаб активных ( $m_a$ ) нагрузок, исходя из масштаба генплана. Принимается для наименьшей нагрузки (Ц5) радиус  $R_{a5} = 0,1 \text{ км}$ , тогда

$$m_a = \frac{P_5}{\pi R_{a5}^2} = \frac{25}{3,14 \cdot 0,1^2} = 796 \text{ кВт/км}^2.$$

Принимается  $m_a = 800 \text{ кВт/км}^2$ .

Определяется радиус для наибольшей нагрузки при принятом масштабе

$$R_{a3} = \sqrt{\frac{P_3}{\pi m_a}} = \sqrt{\frac{1000}{3,14 \cdot 800}} = 0,63 \text{ км}.$$

Нанесение нагрузок на генплан в данном масштабе возможно, масштаб утверждается. Определяются радиусы кругов для остальных нагрузок:

$$R_{a1} = \sqrt{\frac{P_1}{\pi m_a}}; \quad R_{a2} = 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{P_2}.$$

Результаты заносятся в «Сводную ведомость нагрузок цехов» (таблица 1.7.1).

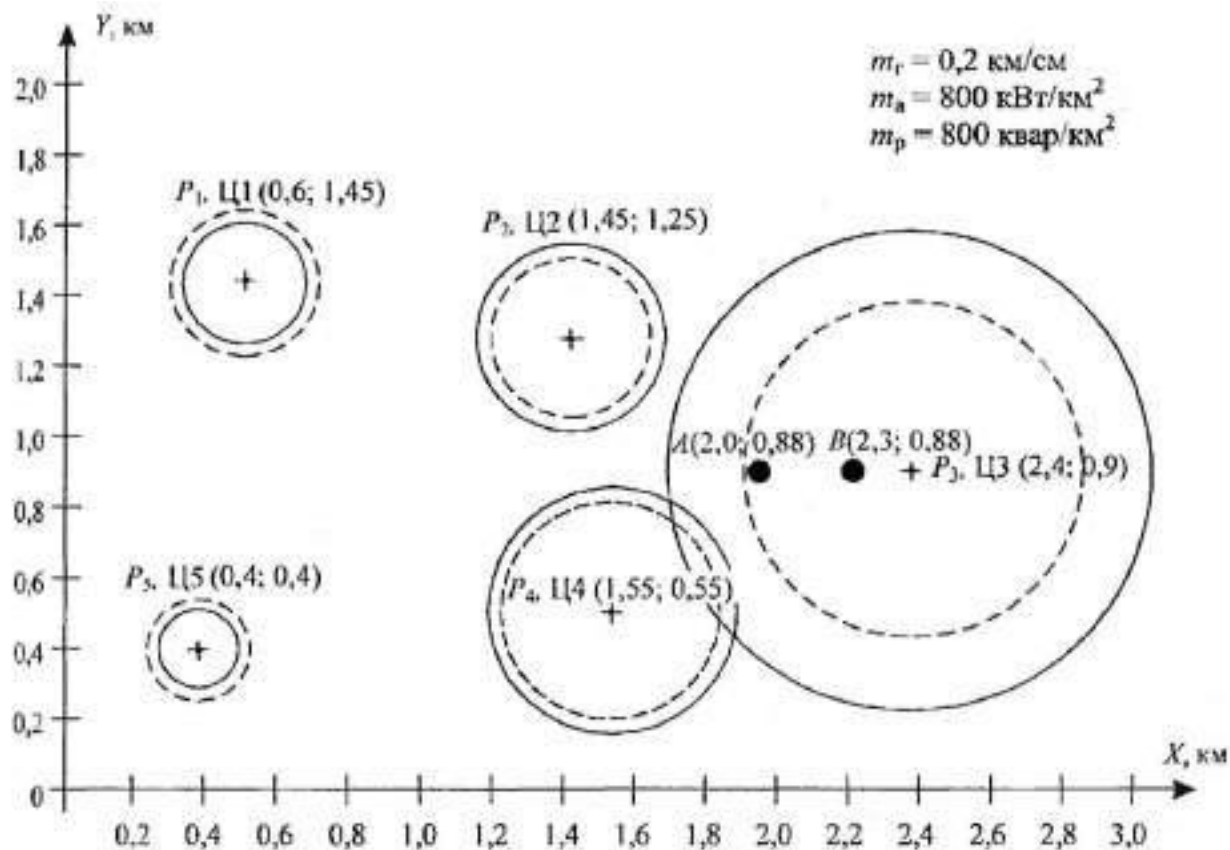


Рис. 1.7.1. Картограмма нагрузок

Определяются реактивные нагрузки каждого цеха из соотношения

$$Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi_i,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_i$  определяется по  $\cos \varphi_i$ .

Результаты заносятся в «Сводную ведомость нагрузок цехов».

Определяются радиусы кругов для реактивных нагрузок при том же масштабе, т. е. при  $m_p = 800$  квар/км<sup>2</sup> по формуле

$$R_{pi} = 2 \cdot 10^{-2} \sqrt{Q_i}.$$

Результаты заносятся в «Сводную ведомость нагрузок».

Нагрузки кругами наносятся на генплан, активные — сплошной линией, реактивные — штриховой.

Определяются условные ЦЭН активной и реактивной:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 0,6 + 160 \cdot 1,45 + 1000 \cdot 2,4 + 400 \cdot 1,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 2 \text{ км};$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 1,45 + 160 \cdot 1,25 + 1000 \cdot 0,9 + 400 \cdot 0,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 0,88 \text{ км}.$$

Вблизи точки  $A(2,0; 0,88)$  располагают ГПП.

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} = \frac{102 \cdot 0,6 + 141 \cdot 1,45 + 480 \cdot 2,4 + 300 \cdot 1,55 + 33 \cdot 0,4}{102 + 141 + 480 + 300 + 33} = 2,3 \text{ км};$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^n e_i} = \frac{102 \cdot 1,45 + 141 \cdot 1,25 + 480 \cdot 0,9 + 300 \cdot 0,55 + 33 \cdot 0,4}{102 + 141 + 480 + 300 + 33} = 0,88 \text{ км.}$$

Вблизи точки  $B(2,3; 0,83)$  располагают ККУ или синхронный компенсатор (СК).

- Составляются картограммы нагрузок для всего предприятия и наносятся необходимые данные.

Таблица 1.7.1. Сводная ведомость нагрузок цехов

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
$P$ , кВт	100	160	1000	400	25
$R_{\text{в}}$ , км	0,2	0,25	0,63	0,4	0,1
$\cos \varphi$	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6
$\operatorname{tg} \varphi$	1,02	0,88	0,48	0,75	1,33
$Q$ , квар	102	141	480	300	33
$R_p$ , км	0,22	0,24	0,44	0,35	0,11

**Ответ:** Место установки ГПП и ЦЭН точка  $A(2; 0,88)$ . Место установки ККУ и ЦЭН точка  $B(2,3; 0,88)$ .

Таблица 1.7.2. Индивидуальные задания для РПЗ-7

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	$\frac{P_1, \text{кВт}}{(X_1, Y_1)}$	$\cos \varphi_1$	$\frac{P_2, \text{кВт}}{(X_2, Y_2)}$	$\cos \varphi_2$	$\frac{P_3, \text{кВт}}{(X_3, Y_3)}$	$\cos \varphi_3$	$\frac{P_4, \text{кВт}}{(X_4, Y_4)}$	$\cos \varphi_4$	$\frac{P_5, \text{кВт}}{(X_5, Y_5)}$	$\cos \varphi_5$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	$\frac{25}{0,4; 0,4}$	0,7	$\frac{40}{0,5; 1,4}$	0,75	$\frac{63}{1,5; 1,2}$	0,8	$\frac{100}{2,4; 1,0}$	0,85	$\frac{160}{1,5; 0,5}$	0,9
2	$\frac{160}{0,5; 0,5}$	0,7	$\frac{100}{0,5; 1,2}$	0,75	$\frac{63}{1,6; 1,3}$	0,8	$\frac{40}{2,5; 1,2}$	0,85	$\frac{25}{1,6; 1,7}$	0,9
3	$\frac{100}{0,5; 1,5}$	0,85	$\frac{25}{1,5; 1,2}$	0,7	$\frac{40}{2,6; 1,0}$	0,75	$\frac{64}{1,6; 0,7}$	0,8	$\frac{160}{0,5; 0,5}$	0,9
4	$\frac{40}{0,5; 1,4}$	0,75	$\frac{63}{1,4; 1,5}$	0,8	$\frac{100}{2,7; 1,2}$	0,85	$\frac{160}{1,8; 0,8}$	0,9	$\frac{25}{0,6; 0,7}$	0,7
5	$\frac{63}{0,4; 0,9}$	0,8	$\frac{100}{1,2; 1,6}$	0,85	$\frac{160}{2,6; 1,3}$	0,9	$\frac{25}{1,8; 0,6}$	0,7	$\frac{40}{0,7; 0,9}$	0,75
6	$\frac{250}{0,7; 1,0}$	0,72	$\frac{100}{1,5; 1,8}$	0,8	$\frac{400}{1,6; 0,8}$	0,9	$\frac{630}{1,9; 2,0}$	0,85	$\frac{1000}{0,5; 2,0}$	0,83
7	$\frac{100}{0,5; 0,5}$	0,8	$\frac{400}{0,6; 1,6}$	0,9	$\frac{630}{1,5; 0,5}$	0,85	$\frac{1000}{1,7; 1,2}$	0,83	$\frac{250}{2,6; 1,0}$	0,72
8	$\frac{400}{0,4; 0,6}$	0,9	$\frac{630}{0,6; 1,5}$	0,85	$\frac{1000}{1,5; 0,6}$	0,83	$\frac{250}{1,8; 1,3}$	0,72	$\frac{100}{2,5; 1,2}$	0,8
9	$\frac{630}{0,6; 0,7}$	0,85	$\frac{1000}{0,6; 1,2}$	0,83	$\frac{250}{1,6; 0,7}$	0,72	$\frac{100}{1,8; 1,4}$	0,8	$\frac{400}{2,4; 1,5}$	0,9
10	$\frac{1000}{0,7; 0,8}$	0,83	$\frac{250}{0,6; 1,4}$	0,72	$\frac{100}{1,6; 0,6}$	0,8	$\frac{630}{1,7; 1,5}$	0,9	$\frac{400}{2,5; 1,4}$	0,85
11	$\frac{160}{0,6; 0,5}$	0,85	$\frac{100}{0,6; 1,2}$	0,7	$\frac{25}{1,5; 0,4}$	0,75	$\frac{40}{1,5; 1,2}$	0,8	$\frac{63}{2,6; 0,6}$	0,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	$\frac{100}{0,5;0,6}$	0,7	$\frac{63}{0,5;1,4}$	0,9	$\frac{25}{1,3;0,5}$	0,75	$\frac{40}{1,3;1,4}$	0,8	$\frac{160}{2,7;0,8}$	0,85
13	$\frac{63}{0,4;0,5}$	0,9	$\frac{40}{0,4;1,5}$	0,8	$\frac{25}{0,4;0,6}$	0,75	$\frac{160}{1,4;1,3}$	0,85	$\frac{100}{2,5;1,0}$	0,7
14	$\frac{40}{0,5;0,4}$	0,8	$\frac{25}{0,5;1,6}$	0,7	$\frac{160}{1,2;0,7}$	0,85	$\frac{100}{1,2;1,5}$	0,7	$\frac{63}{2,4;1,2}$	0,9
15	$\frac{25}{0,4;0,6}$	0,75	$\frac{160}{0,4;1,5}$	0,85	$\frac{100}{1,6;0,5}$	0,7	$\frac{63}{1,6;1,6}$	0,9	$\frac{40}{2,5;1,5}$	0,8
16	$\frac{1000}{0,6;0,3}$	0,7	$\frac{630}{0,5;1,5}$	0,75	$\frac{400}{1,5;1,2}$	0,8	$\frac{100}{1,4;0,4}$	0,85	$\frac{250}{2,5;0,5}$	0,9
17	$\frac{630}{0,5;0,4}$	0,7	$\frac{400}{0,5;1,5}$	0,75	$\frac{100}{1,5;1,3}$	0,8	$\frac{250}{1,4;0,5}$	0,85	$\frac{160}{2,5;0,8}$	0,9
18	$\frac{400}{0,4;0,5}$	0,75	$\frac{100}{0,5;1,5}$	0,8	$\frac{250}{1,5;1,4}$	0,85	$\frac{160}{1,4;0,6}$	0,9	$\frac{1000}{2,5;1,0}$	0,7
19	$\frac{100}{0,7;0,4}$	0,8	$\frac{250}{0,5;1,5}$	0,85	$\frac{160}{1,5;1,2}$	0,9	$\frac{1000}{1,4;0,5}$	0,7	$\frac{630}{2,5;1,2}$	0,75
20	$\frac{250}{0,5;0,6}$	0,85	$\frac{160}{0,5;1,6}$	0,9	$\frac{1000}{1,5;1,2}$	0,7	$\frac{630}{1,4;0,4}$	0,75	$\frac{400}{2,5;1,6}$	0,8
21	$\frac{630}{0,7;0,7}$	0,7	$\frac{1000}{0,5;1,6}$	0,8	$\frac{400}{1,4;1,2}$	0,9	$\frac{250}{1,2;0,4}$	0,75	$\frac{160}{2,7;0,4}$	0,85
22	$\frac{400}{0,6;0,6}$	0,7	$\frac{1000}{0,5;1,5}$	0,8	$\frac{250}{1,4;1,3}$	0,9	$\frac{160}{1,2;0,5}$	0,75	$\frac{630}{2,7;0,6}$	0,85
23	$\frac{100}{0,3;0,3}$	0,7	$\frac{1000}{0,5;1,4}$	0,9	$\frac{630}{1,4;1,4}$	0,8	$\frac{250}{1,2;0,6}$	0,85	$\frac{160}{2,7;0,8}$	0,75
24	$\frac{250}{0,4;0,4}$	0,8	$\frac{1000}{0,5;1,5}$	0,7	$\frac{160}{1,4;1,5}$	0,9	$\frac{400}{1,2;0,7}$	0,75	$\frac{630}{2,7;1,0}$	0,85
25	$\frac{160}{0,5;0,5}$	0,75	$\frac{1000}{0,5;1,2}$	0,8	$\frac{630}{1,4;1,6}$	0,85	$\frac{100}{1,2;0,5}$	0,9	$\frac{250}{2,7;1,2}$	0,7
26	$\frac{100}{0,3;0,3}$	0,6	$\frac{630}{0,4;1,0}$	0,8	$\frac{400}{1,2;1,4}$	0,85	$\frac{25}{1,6;0,4}$	0,7	$\frac{1000}{2,8;0,6}$	0,9
27	$\frac{250}{0,4;0,4}$	0,8	$\frac{630}{0,4;1,1}$	0,8	$\frac{400}{1,2;1,5}$	0,75	$\frac{40}{1,6;0,5}$	0,6	$\frac{1000}{2,8;0,8}$	0,85
28	$\frac{25}{0,3;0,3}$	0,6	$\frac{400}{0,4;1,2}$	0,7	$\frac{630}{1,2;1,6}$	0,8	$\frac{63}{1,6;0,3}$	0,75	$\frac{1000}{2,8;1,0}$	0,9
29	$\frac{40}{0,4;0,4}$	0,7	$\frac{400}{0,4;1,3}$	0,8	$\frac{630}{1,2;1,7}$	0,9	$\frac{63}{1,6;0,5}$	0,6	$\frac{1000}{2,8;1,2}$	0,85
30	$\frac{63}{0,5;0,4}$	0,7	$\frac{1000}{0,4;1,5}$	0,8	$\frac{220}{1,2;1,8}$	0,7	$\frac{40}{1,6;0,5}$	0,75	$\frac{630}{2,8;1,6}$	0,9



## 1.8. РПЗ—8. Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения

### Методика расчета

Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз.

- Токи (в амперах) в линии определяются по формуле

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_{н.т}} \text{ — сразу после трансформатора,}$$

где  $S_T$  — номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  
 $V_{н.т}$  — номинальное напряжение трансформатора, кВ.  
Принимается  $V_{н.т} = 0,4$  кВ.

$$I_{PY} = \frac{S_{м.ру}}{\sqrt{3}V_{н.ру}} \text{ — линия к РУ (РП или шинопровод),}$$

где  $S_{м.ру}$  — максимальная расчетная мощность РУ, кВ·А;  
 $V_{н.ру}$  — номинальное напряжение РУ, кВ.  
Принимается  $V_{н.ру} = 0,38$  кВ.

$$I_A = \frac{P_A}{\sqrt{3}V_{н.д}\eta_{д}\cos\varphi_d} \text{ — линия к ЭД переменного тока,}$$

где  $P_A$  — мощность ЭД переменного тока, кВт;  
 $V_{н.д}$  — номинальное напряжение ЭД, кВ;  
 $\eta_{д}$  — КПД ЭД, отн. ед.

*Примечание.* Если ЭД повторно-кратковременного режима, то  $P_A = P_{дн}\sqrt{ПВ}$ .

$$I_{св} = \frac{S_{св}\sqrt{ПВ}}{\sqrt{3}V_n} \text{ — линия к сварочному трансформатору,}$$

где  $S_{св}$  — полная мощность сварочного 3-фазного трансформатора, кВ·А;  
ПВ — продолжительность включения, отн. ед.

- В сетях напряжения менее 1 кВ в качестве аппаратов защиты могут применяться автоматические выключатели (автоматы), предохранители и тепловые реле.
- Автоматы выбираются согласно условиям:

$$\begin{aligned} I_{н.а} &\geq I_{н.р}; & I_{н.р} &\geq I_{дл} & \text{— для линии без ЭД;} \\ V_{н.а} &\geq V_c; & I_{н.р} &\geq 1,25I_{дл} & \text{— для линии с одним ЭД;} \\ & & I_{н.р} &\geq 1,1I_m & \text{— для групповой линии с несколькими ЭД,} \end{aligned}$$

где  $I_{н.а}$  — номинальный ток автомата, А;  
 $I_{н.р}$  — номинальный ток распределителя, А;  
 $I_{дл}$  — длительный ток в линии, А;  
 $I_m$  — максимальный ток в линии, А;  
 $V_{н.а}$  — номинальное напряжение автомата, В;  
 $V_c$  — напряжение сети, В;



$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{нр}}$$

$I_o \geq I_{лз}$  — для линии без ЭД;

$I_o \geq 1,2I_n$  — для линии с одним ЭД;

$I_o \geq 1,2I_{пик}$  — для групповой линии с несколькими ЭД,

где  $K_o$  — кратность отсечки;

$I_o$  — ток отсечки, А;

$I_n$  — пусковой ток, А,

$$I_n = K_n I_{н.д.}$$

где  $K_n$  — кратность пускового тока. Принимается  $K_n = 6,5 \dots 7,5$  — для АД;  $K_n = 2 \dots 3$  — для СД и МПТ;

$I_{н.д.}$  — номинальный ток, А;

$I_{пик}$  — пиковый ток, А,

$$I_{пик} = I_{н.лб} + I_m - I_{н.лб},$$

где  $I_{н.лб}$  — пусковой ток наибольшего по мощности ЭД, А;

$I_{н.лб}$  — номинальный ток наибольшего в группе ЭД, А;

$I_m$  — максимальный ток на группу, А.

Зная тип,  $I_{н.д.}$  и число полюсов автомата, выписываются все каталожные данные.

- Предохранители выбираются согласно условиям:

$I_{вс} \geq I_{лз}$  — для линии без ЭД;

$I_{вс} \geq \frac{I_n}{1,6}$  — для линии с ЭД и тяжелым пуском;

$I_{вс} \geq \frac{I_n}{2,5}$  — для линии с ЭД и легким пуском;

$I_{вс} \geq \frac{I_n + I_{лз}}{2,5}$  — для линии к РУ (РП или шинопровод);

$I_{вс} \geq 1,2I_{св} \sqrt{ПВ}$  — для линии к сварочному трансформатору,

где  $I_{вс}$  — ток плавкой вставки, А;

$$I_{н.п} \geq I_{вс}$$

где  $I_{н.п}$  — номинальный ток предохранителя, А.

- Тепловые реле выбираются согласно условию

$$I_{тр} \geq 1,25I_{н.д.}$$

где  $I_{тр}$  — ток теплового реле, номинальный, А.

Наиболее современными являются автоматы серии ВА и АЕ, предохранители серии ПР и ПН, тепловые реле серии РТЛ.

- Проводники для линий ЭСН выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям:

$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{у(п)}$  — для линии, защищенной автоматом с комбинированным расцепителем;

$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{вс}$  — для линии, защищенной только от КЗ предохранителем;

$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{тр}$  — для линии с тепловым реле,

где  $I_{доп}$  — допустимый ток проводника, А;

$K_{зщ}$  — коэффициент защиты.

Принимают  $K_{зщ} = 1,25$  — для взрыво- и пожароопасных помещений;  $K_{зщ} = 1$  — для нормальных (неопасных) помещений;  $K_{зщ} = 0,33$  — для предохранителей без тепловых реле в линии.

По типу проводника, числу фаз и условию выбора формируется окончательно марка аппарата защиты.

*Примечание.* Индивидуальные задания для РПЗ-8 представлены в таблице 1.5.7.

Номер электроприемника для расчета обведен.

## Варианты линий ЭСН

### Пример 1. Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШМА

**Дано:**

Электроприемник № 1 (ШМА1, РПЗ-5)  
КПД = 0,9

**Требуется:**

- составить расчетную схему ЭСН;
- рассчитать и выбрать АЗ;
- рассчитать и выбрать линии ЭСН (кл).

**Решение:**

1. Составляется расчетная схема ЭСН до электроприемника № 1, подключенного к ШМА1 (рис. 1.8.1). Этот электроприемник — компрессорная установка,  $P_n = 28$  кВт;  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $\eta = 0,9$ ; 3-фазный ДР. На схему наносятся известные данные.

*Примечание.* При составлении расчетной схемы длину шин НН трансформатора не принимать во внимание, а длину ШМА учитывать (от точки подключения питания к ШМА до точки подключения электроприемника).

2. Рассчитываются и выбираются АЗ типа ВА (наиболее современные).

- Линия Т1 — ШНН, 1SF, линия без ЭД:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_n} = \frac{400}{1,73 \cdot 0,4} = 578 \text{ А};$$

$$I_{на} \geq I_{нр};$$

$$I_{нр} \geq I_T = 578 \text{ А}.$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 55-39-3:

$$U_{на} = 380 \text{ В};$$

$$I_{на} = 630 \text{ А};$$

$$I_{нр} = 630 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр};$$

$$I_{y(кз)} = 2 I_{нр};$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}.$$

- Линия ШНН — ШМА1, SF1, линия с группой ЭД:

$$I_M = 326,8 \text{ А (из РПЗ-5)};$$

$$I_{на} \geq I_{нр};$$

$$I_{нр} \geq 1,1 I_M = 1,1 \cdot 326,8 = 359,5 \text{ А}.$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 55-39-3:

$$U_{на} = 380 \text{ В};$$

$$I_{на} = 400 \text{ А};$$

$$I_{нр} = 400 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр};$$

$$I_{y(кз)} = 5 I_{нр};$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА}.$$

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{нр}} = \frac{1483,4}{400} = 3,7.$$

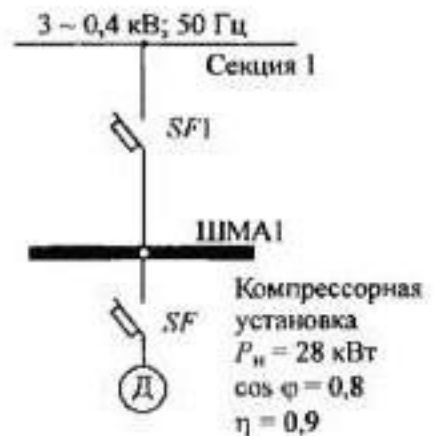


Рис. 1.8.1. Схема ЭСН электроприемника № 1

Принимается  $K_0 = 5$ .

$$I_0 \geq 1,25I_{\text{пнк}} = 1,25 \cdot 1186,7 = 1483,4 \text{ А.}$$

Так как на ШМА1 количество ЭД более 5, а наибольшим по мощности является станок карусельный, то

$$I_{\text{н.об}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3}V_{\text{н}} \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{40}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9} = 135,2 \text{ А;}$$

$$I_{\text{пнк}} = I_{\text{н.об}} + I_{\text{м}} - I_{\text{н.об}} K_{\text{н}} = 878,8 + 326,8 - 18,9 = 1186,7 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.об}} = 6,5 I_{\text{н.об}} = 6,5 \cdot 135,2 = 878,8 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.об}} K_{\text{н}} = 135,2 \cdot 0,14 = 18,9 \text{ А.}$$

- Линия ШМА1 — компрессорная установка, SF, линия с одним ЭД:

$$I_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}}}{\sqrt{3}V_{\text{д}} \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{28}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 59,2 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}};$$

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,25 I_{\text{д}} = 1,25 \cdot 59,2 = 74 \text{ А.}$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 52-31-3:

$$V_{\text{н.а}} = 380 \text{ В;}$$

$$I_{\text{н.а}} = 100 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.р}} = 80 \text{ А;}$$

$$I_{\text{у(н)}} = 1,25 I_{\text{н.р}};$$

$$I_{\text{у(к)}} = 7 I_{\text{н.р}};$$

$$I_{\text{откл}} = 25 \text{ кА.}$$

$$I_0 \geq 1,2 I_{\text{н}} = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 59,2 = 461,8 \text{ А.}$$

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{\text{н.р}}} = \frac{461,8}{80} = 5,8.$$

Принимается  $K_0 = 7$ .

3. Выбираются линии ЭСН с учетом соответствия аппаратам защиты согласно условию

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{\text{у(н)}}.$$

По [5, с. 65, 83] для прокладки в воздухе в помещениях с нормальной зоной опасности при отсутствии механических повреждений выбирается кабель марки АВВГ,  $K_{\text{зщ}} = 1$ .

- Линия с SF1:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{\text{у(н)}} = 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А.}$$

Выбирается АВВГ-3 × (3 × 95),  $I_{\text{доп}} = 3 \times 170 \text{ А.}$

- Линия с SF:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{\text{у(н)}} = 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А.}$$

Выбирается АВВГ-3 × 50,  $I_{\text{доп}} = 110 \text{ А.}$

4. По [5, с. 101] выбирается ШРА4-630-32-У3:

$$V_{\text{н.ш}} = 660 \text{ В;}$$

$$I_{\text{н.ш}} = 630 \text{ А;}$$

$$i_{\text{д}} = 35 \text{ кА;}$$

$$X_0 = 0,1 \text{ Ом/км;}$$

$$r_0 = 0,13 \text{ Ом/км;}$$

$$Z_0 = 0,1 \text{ Ом/км;}$$

$$\Delta u_0 = 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ В/м.}$$

Сечение шинпровода  $a \times b = 80 \times 5 \text{ мм.}$

*Примечание.* Вместо ШМА по току нагрузки устанавливается ШРА.

Полученные данные (основные) нанести на расчетную схему.

**Ответ:** 1SF, ВА 55–39–3; SF1, ВА 55–39–3; SF, ВА 52–31–3:

$$\begin{array}{lll} I_{н.р} = 630 \text{ А}; & I_{н.р} = 400 \text{ А}; & I_{н.р} = 80 \text{ А}; \\ I_{y(n)} = 1,25I_{н.р}; & I_{y(n)} = 1,25I_{н.р}; & I_{y(n)} = 1,25I_{н.р}; \\ I_{y(кз)} = 2I_{н.р}; & I_{y(кз)} = 5I_{н.р}; & I_{y(кз)} = 7I_{н.р}. \end{array}$$

Линия с SF1 — АВВГ–3 × (3 × 95),  $I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А.}$

Линия с SF — АВВГ–3 × 50,  $I_{доп} = 110 \text{ А.}$

ШРА4–630–32–У3.

### Пример 2. Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШМА4

**Дано:**

По [5, с. 100] РУ типа ШМА4–1250–44–У3:

$$I_n = 1250 \text{ А};$$

$$V_n = 660 \text{ В};$$

$$i_{y,доп} = 90 \dots 70 \text{ кА};$$

$$\Delta V_0 = 0,0893 \text{ В/м};$$

$$r_0 = 0,0338 \text{ Ом/км};$$

$$b \times a = 8 \times 140 \text{ мм};$$

$$x_0 = 0,0163 \text{ Ом/км};$$

$$z_0 = 0,0419 \text{ Ом/км};$$

$$z_{0н} = 0,0862 \text{ Ом/км.}$$

**Требуется:**

- составить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа ВА;
- выбрать проводник типа АПВГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.2).
- Определяется длительный ток в линии без ЭД

$$I_{дл} = I_n = 1250 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ВА

$$I_{н.р} \geq I_{дл} = 1250 \text{ А.}$$

$$I_{н.в} \geq I_{н.р}.$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 53–43–3:

$$V_{н.в} = 380 \text{ В};$$

$$I_{н.в} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 1280 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25I_{н.р};$$

$$I_{y(кз)} = 2I_{н.р};$$

$$I_{откл} = 31 \text{ кА.}$$

$I_{н.р}$  регулируется ступенями:  $0,63I_{н.в} - 0,8I_{н.в} - 1,0I_{н.в};$

$$I_{н.р} = 0,8I_{н.в} = 0,8 \cdot 1600 = 1280 \text{ А.}$$

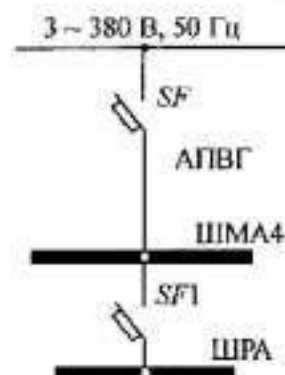


Рис. 1.8.2. Схема линии ЭСН

- Определяются данные и выбирается проводник типа АПВГ в соответствии с АЗ:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{y(n)} = 1,25 \cdot 1280 = 1600 \text{ А.}$$

При прокладке в помещениях с нормальными условиями в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается АПВГ–6 × (3 × 185),  $I_{доп} = 6 \times 270 \text{ А.}$

**Ответ:** АЗ типа ВА 53–43–3,  $I_{н.р} = 1280 \text{ А}; I_{y(n)} = 1,25 I_{н.р}; I_{y(кз)} = 2 I_{н.р}.$

Проводник типа АПВГ–6 × (3 × 185),  $I_{доп} = 6 \times 270 \text{ А.}$

### Пример 3. Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШРА4

**Дано:**

По [5, с. 101] РУ типа ШРА4–400–32–43:

$$I_n = 400 \text{ А;}$$

$$V_n = 660 \text{ В;}$$

$$i_{y, доп} = 25 \text{ кА;}$$

$$r_0 = 0,15 \text{ Ом/км;}$$

$$x_0 = 0,17 \text{ Ом/км;}$$

$$z_0 = 0,16 \text{ Ом/км;}$$

$$\Delta V = 0,08 \text{ В/м;}$$

$$a \times b = 50 \times 5 \text{ мм.}$$

АД наибольший на РУ типа 4А

По [5, с. 13]:

$$P_n = 22 \text{ кВт;}$$

$$\eta = 88,5 \%;$$

$$\cos \varphi = 0,91;$$

$$K_n = \frac{I_n}{I_{н.д}} = 7,5.$$

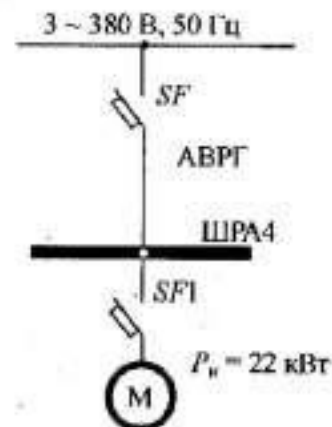


Рис. 1.8.3. Схема линии ЭСН

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа ВА;
- выбрать проводник типа АВРГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.3).
- Определяется длительный ток в линии

$$I_{дл} = I_n = 400 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ВА (линия с группой ЭД).

По [5, с. 57]

$$I_{н.р} \geq 1,1 I_{дл} = 1,1 \cdot 400 = 440 \text{ А;}$$

$$I_{н.д} \geq I_{н.р}$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 53–39–3:

$$V_{н.д} = 380 \text{ В;}$$

$$I_{н.д} = 630 \text{ А;}$$

$$I_{н.р} = 504 \text{ А;}$$

$I_{н.р}$  регулируется ступенчато:  $0,63 I_{н.д} - 0,8 I_{н.д} - 1,0 I_{н.д}.$

$$I_{н.р} = 0,8 I_{н.д} = 0,8 \cdot 630 = 504 \text{ А;}$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{н.р};$$

$$I_{y(кз)} = 2 I_{н.р};$$

$$I_{откл} = 25 \text{ кА.}$$

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{нр}} = \frac{837,6}{504} = 1,7.$$

Принимается  $K_0 = 2$ .

$$I_0 = 1,25I_{твк} = 1,25 \cdot 670,1 = 837,6 \text{ А};$$

$$I_{твк} = I_{н.об} + I_n - I_{н.д} = 311,7 + 400 - 41,6 = 670,1 \text{ А};$$

$$I_n = K_n I_{н.д} = 7,5 \cdot 41,6 = 311,7 \text{ А};$$

$$I_{н.д} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{22 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,885} = 41,6 \text{ А}.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа АВРГ:

$$I_{доп} \geq K_{шт} I_{y(n)} = 1,25 \cdot 504 = 630 \text{ А}.$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{шт} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается АВРГ-4 × (3 × 95),  $I_{доп} = 4 \times 170 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа ВА 53-39-3:

$$I_{нр} = 504 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр};$$

$$I_{y(кз)} = 2 I_{нр};$$

Проводник типа АВРГ-4 × (3 × 95),  $I_{доп} = 4 \times 170 \text{ А}$ .

#### Пример 4. Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ПР 85

**Дано:**

По [5, с. 94] РУ типа ПР 85-3099-54-T2:

$$I_n = 400 \text{ А};$$

$$I_{р.об} = 300 \text{ А};$$

4 × ВА 51-31-3.

АД наибольший на РУ типа 4А

По [5, с. 13]:

$$P_M = 55 \text{ кВт};$$

$$\eta = 91 \%;$$

$$\cos \varphi = 0,92;$$

$$K_n = \frac{I_n}{I_{н.д}} = 7,5.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа ВА;
- выбрать проводник типа АВВГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.4).
- Определяется длительный ток в линии

$$I_{дл} = I_{р.об} = 300 \text{ А (по заданию)}.$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ВА (линия с группой ЭД).  
По [5, с. 57]

$$I_{нр} \geq 1,1 I_{дл} = 1,1 \cdot 300 = 330 \text{ А};$$

$$I_{н.д} \geq I_{нр}$$

По [5, с. 42] выбирается ВА 53-37-3:

$$V_{н.д} = 380 \text{ В};$$

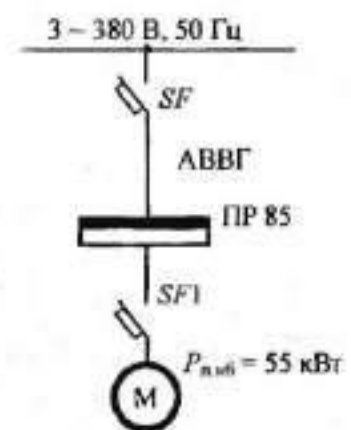


Рис. 1.8.4. Схема линии ЭСН

$$I_{н.д} = 400 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 400 \text{ А};$$

$$I_{y(кв)} = 3I_{н.р};$$

$$I_{сткл} = 20 \text{ кА.}$$

$I_{н.р}$  регулируется ступенчато:  $0,63I_{н.д} - 0,8I_{н.д} - 1,0I_{н.д}$ .

$$I_0 \geq 1,25I_{н.р} = 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = I_{н.д} + I_{рвс} - I_{н.д} = 749,5 + 300 - 400 = 649,5 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25I_{н.р};$$

$$I_{н.д} = K_n I_{н.р} = 7,5 \cdot 649,5 = 4871,25 \text{ А};$$

$$I_{н.д} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3}V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{55 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,91} = 99,9 \text{ А};$$

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{500}{649,5} = 0,77.$$

Принимается  $K_0 = 3$ .

- Определяются данные и выбирается проводник типа АВВГ:

$$I_{доп} \geq K_{защ} I_{y(n)} = 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А.}$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{защ} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается АВВГ-3 × (3 × 95),  $I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа ВА53-37-3:

$$I_{н.р} = 400 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25I_{н.р};$$

$$I_{y(кв)} = 3I_{н.р}.$$

Проводник типа АВВГ-3 × (3 × 95),  $I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А}$ .

### Пример 5. Линия с автоматом типа ВА и АД ДР типа 4А

**Дано:**

По [5, с. 13] АД типа 4А 132 М2У3:

$$P_n = 11 \text{ кВт};$$

$$\frac{M_{макс}}{M_n} = 2,2;$$

$$\frac{M_{мин}}{M_n} = 1;$$

$$\frac{M_n}{M_n} = 1,6;$$

$$K_n = \frac{I_n}{I_{н.д}} = 7,5;$$

$$S = 3,1 \text{ %};$$

$$\eta = 88 \text{ %};$$

$$\cos \varphi = 0,9.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа ВА;
- выбрать проводник типа АВРГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.5).
- Определяется длительный ток в линии

$$I_{дл} = I_{н.д} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{11 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,83} = 21,1 \text{ А.}$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ВА (линия с одним ЭД).

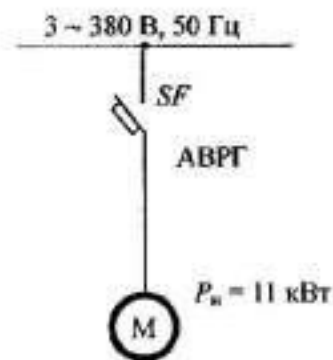


Рис. 1.8.5. Схема линии ЭСН



По [5, с. 57]:

$$I_{н.р} \geq 1,25I_{н.д} = 1,25 \cdot 21,1 = 26,4 \text{ А};$$

$$I_{н.д} \geq I_{н.р}.$$

По [5, с. 41] выбирается ВА 51-1-3:

$$V_{н.д} = 380 \text{ В};$$

$$I_{н.д} = 100 \text{ А};$$

$$I_{н.р} = 31,5 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,35I_{н.р};$$

$$I_{y(кз)} = 7I_{н.р};$$

$$I_{откл} = 6 \text{ кА}.$$

$$I_0 \geq 1,2I_n = 1,2 \cdot 158,3 = 189,9 \text{ А};$$

$$I_n = K_n I_{н.д} = 1,5 \cdot 21,1 = 158,3 \text{ А};$$

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{189,9}{31,5} = 6,03; \quad K_0 = 7.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа АВРГ с учетом соответствия АЗ:

$$I_{доп} \geq K_{ши} I_{y(n)} = 1,35 \cdot 31,5 = 42,5 \text{ А}.$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{ши} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается АВРГ-3 × 16,  $I_{доп} = 60 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа ВА 51-31-3:

$$I_{н.р} = 31,5 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,35I_{н.р};$$

$$I_{y(кз)} = 7I_{н.р}.$$

Проводник типа АВРГ-3 × 16,  $I_{доп} = 60 \text{ А}$ .

### Пример 6. Линия с автоматом типа ВА и АД ПКР типа МТКР

**Дано:**

По [5, с. 32] АД типа МТКР 412-6:

ПВ = 40 %;

$P_n = 30 \text{ кВт}$ ;

$\eta = 83 \%$ ;

$n_n = 935 \text{ об/мин}$ ;

$M_{\max} = 981 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;

$I_n = 70 \text{ А}$ ;

$I_p = 380 \text{ А}$ ;

$\cos \varphi = 0,78$ ;

масса = 315 кг.

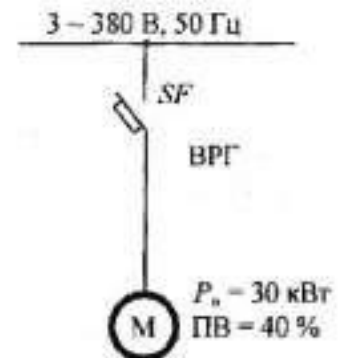


Рис. 1.8.6. Схема линии ЭСН

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа ВА;
- выбрать проводник типа ВРГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.6).
- Определяется длительный ток в линии

$$I_{\text{лн}} = \frac{P_n \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\text{ПВ}}}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,4}}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,78 \cdot 0,835} = 44,3 \text{ А.}$$

- Определяются данные и выбираются АЗ типа ВА (линия с одним ЭД).  
По [5, с. 57]

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,25 I_{\text{лн}} = 1,25 \cdot 44,3 = 55,4 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.л}} \geq I_{\text{н.р.}}$$

По [5, с. 41] выбирается ВА 51–31–3:

$$U_{\text{н.л}} = 380 \text{ В;}$$

$$I_{\text{н.л}} = 100 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.р}} = 63 \text{ А;}$$

$$I_{\text{y(n)}} = 1,35 I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{y(кз)}} = 10 I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{откл}} = 6 \text{ кА.}$$

$$I_0 \geq 1,2 I_n = 1,2 \cdot 380 = 456 \text{ А;}$$

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{\text{н.р}}} = \frac{456}{63} = 7,2; K_0 = 10.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа ВРГ с учетом соответствия АЗ:

$$I_{\text{лнн}} \geq K_{\text{шн}} I_{\text{y(n)}} = 1,35 \cdot 63 = 85,1 \text{ А.}$$

При нормальной прокладке в воздухе  $K_{\text{шн}} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается ВРГ–3 × 25,  $I_{\text{лнн}} = 95 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа ВА 51–31–3:

$$I_{\text{н.р}} = 63 \text{ А;}$$

$$I_{\text{y(n)}} = 1,35 I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{y(кз)}} = 10 I_{\text{н.р.}}$$

Проводник типа ВРГ–3 × 25,  $I_{\text{лнн}} = 95 \text{ А}$ .

### Пример 7. Линия с автоматом типа АЗ700 и АД ДР типа АИР

**Дано:**

По [5, с. 28] АД типа АИР 160 S2У3:

$$P_n = 15 \text{ кВт;}$$

$$\frac{M_{\text{ном}}}{M_n} = 2,7; \quad \frac{M_{\text{мех}}}{M_n} = 1,7;$$

$$\frac{M_n}{M_n} = 1,8; \quad K_n = \frac{I_n}{I_{\text{н.л}}} = 7;$$

$$S = 3 \%;$$

$$\eta = 89 \%;$$

$$\cos \varphi = 0,89.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа АЗ700;
- выбрать проводник типа АПВ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.7).
- Определяется ток в линии

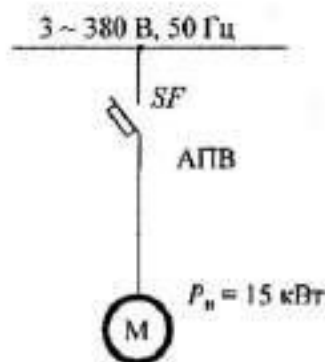


Рис. 1.8.7. Схема линии ЭСН

$$I_{\Delta\lambda} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,89} = 28,8 \text{ А.}$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа АЗ700 (линия с одним ЭД).  
По [5, с. 57]

$$I_{нр} \geq 1,25 I_{\Delta\lambda} = 1,25 \cdot 28,8 = 36 \text{ А;}$$

$$I_{н.а} \geq I_{нр.}$$

По [5, с. 47] выбирается АЗ716Ф:

$$V_{н.а} = 380 \text{ В;}$$

$$I_{н.а} = 160 \text{ А;}$$

$$I_{нр(т)} = 40 \text{ А, диапазон (16...160) А;}$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр(т)};$$

$$I_{нр(м)} = 160 \text{ А;}$$

$$I_{y(с)} = 4 I_{нр(м)}.$$

$$I_o \geq 1,2 I_n = 1,25 \cdot 201,6 = 241,9 \text{ А;}$$

$$I_o = K_o I_{\Delta\lambda} = 7 \cdot 28,8 = 201,6 \text{ А;}$$

$$K_c \geq \frac{I_o}{I_{нр(м)}} = \frac{241,9}{160} = 1,5; \quad K_o = 4.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа АПВ с учетом соответствия АЗ:

$$I_{доп} \geq K_{из} I_{y(n)} = 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ А.}$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{из} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается АПВ-3 × 16,  $I_{доп} = 60 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа АЗ716Ф:

$$I_{нр(т)} = 40 \text{ А;}$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр(т)};$$

$$I_{нр(м)} = 160 \text{ А.}$$

Проводник типа АПВ-3 × 16,  $I_{доп} = 60 \text{ А}$ .

### Пример 8. Линия с предохранителем, тепловым реле и АД ДР типа АИР

**Дано:**

По [5, с. 28] АД типа АИР 160 S2У3:

$$P_n = 15 \text{ кВт;}$$

$$\frac{M_{\max}}{M_n} = 2,7;$$

$$\frac{M_{\min}}{M_n} = 1,7;$$

$$\frac{M_{п}}{M_n} = 1,8;$$

$$K_{п} = \frac{I_n}{I_{н.д}} = 7;$$

$$S = 3 \%;$$

$$\eta = 89 \%;$$

$$\cos \varphi = 0,89.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ — Пр и ТР;
- выбрать проводник типа НРГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.8).

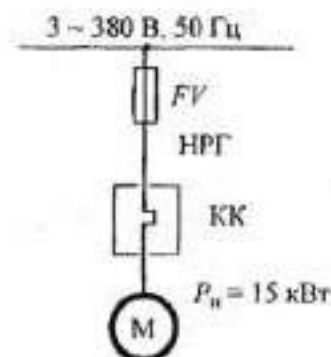


Рис. 1.8.8. Схема линии ЭСН

- Определяется длительный ток в линии с одним ЭД

$$I_{\text{дл}} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,89} = 28,8 \text{ А.}$$

- Определяются данные и выбирается АЗ — ТР

$$I_{\text{тр}} \geq 1,25 I_{\text{дл}} = 1,25 \cdot 28,8 = 36 \text{ А.}$$

По [5, с. 53] выбирается 2 × РТЛ–80,  $I_{\text{ср}} = 40 \text{ А}$ , диапазон (30...40) А.

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ПН2:

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{I_n}{\alpha} = \frac{201,6}{2,5} = 80,6 \text{ А;}$$

$$I_n = K_n I_{\text{дл}} = 7 \cdot 28,8 = 201,6 \text{ А.}$$

Для легкого пуска  $\alpha = 2,5$ .

По [5, с. 52] выбирается 3 × ПН2–100:

$$I_{\text{вс}} = 100 \text{ А;}$$

$$I_{\text{откл}} = 100 \text{ кА.}$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа НРГ с учетом соответствия АЗ:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{ш}} I_{\text{у(н)}} = I_{\text{ср}} = 40 \text{ А.}$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{\text{ш}} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается НРГ–3 × 6,  $I_{\text{доп}} = 42 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ — предохранитель типа 3 × ПН2–100,  $I_{\text{вс}} = 100 \text{ А}$ ; тепловое реле типа 2 × РТЛ–80,  $I_{\text{ср}} = 40 \text{ А}$ .

Проводник типа НРГ–3 × 6,  $I_{\text{доп}} = 42 \text{ А}$ .

### Пример 9. Линия с предохранителем, тепловым реле и АД ПКР типа 4АС

**Дано:**

По [5, с. 19] АД типа 4АС 200 L4У3;

$$P_n = 40 \text{ кВт;}$$

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = 2,2; \quad \frac{M_{\text{мин}}}{M_n} = 1,6;$$

$$\frac{M_n}{M_n} = 2; \quad K_n = \frac{I_n}{I_{\text{н.л}}} = 7;$$

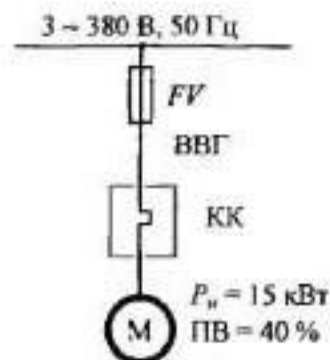
$$J = 0,47 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$n_n = 1410 \text{ об/мин;}$$

$$\eta = 89 \%;$$

$$\cos \varphi = 0,93;$$

$$\text{ПВ} = 40 \%.$$



**Рис. 1.8.9.** Схема линии ЭСН

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ — Пр и ТР;
- выбрать проводник типа ВВГ.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.9)

- Определяется номинальный ток ЭД и длительный ток в линии

$$I_{н.д} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{40 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,93 \cdot 0,89} = 73,5 \text{ А};$$

$$I_{дл} = I_{н.д} \cdot \sqrt{ПВ} = 73,5 \cdot \sqrt{0,4} = 46,5 \text{ А}.$$

- Определяются данные и выбирается тепловое реле для линии с ЭД:

$$I_{тр} \geq 1,25 I_{дл} = 1,25 \cdot 46,5 = 58,1 \text{ А}.$$

По [5, с. 53] выбирается 2 × РТЛ–80,  $I_{ср} = 60 \text{ А}$ , диапазон (54...66) А.

- Определяются данные и выбирается предохранитель:

$$I_{ис} \geq \frac{I_n}{\alpha} = \frac{514,5}{1,6} = 321,6 \text{ А}.$$

Пуск тяжелый,  $\alpha = 1,6$ .

$$I_n = K_n I_{н.д} = 7 \cdot 73,5 = 514,5 \text{ А}.$$

По [5, с. 52] выбирается 3 × ПН2–400:

$$I_{ис} = 355 \text{ А};$$

$$I_{отсч} = 40 \text{ кА}.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа ВВГ с учетом соответствия АЗ:

$$I_{доп} \geq K_{эл} I_{ср} = 60 \text{ А}.$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{эл} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается ВВГ–3 × 16,  $I_{доп} = 75 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ — предохранитель типа 3 × ПН2–400,  $I_{ис} = 355 \text{ А}$ ; тепловое реле типа 3 × РТЛ–80,  $I_{ср} = 60 \text{ А}$ .

Проводник типа ВВГ–3 × 16,  $I_{доп} = 75 \text{ А}$ .

### Пример 10. Линия с автоматом типа АЕ и РУ типа ШОС4

**Дано:**

По [5, с. 102] РУ типа ШОС4–63–44–У3:

$$I_n = 63 \text{ А};$$

$$V_n = 380/220 \text{ В};$$

$$i_{у.доп} = 5 \text{ кА};$$

$$I_{н.шт} = 25 \text{ А}.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ типа АЕ;
- выбрать проводник типа ППВ.

**Решение:**

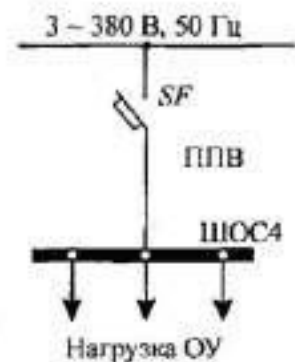
- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.10).
- Определяется длительный ток в линии с одним ЭД

$$I_{дл} = I_n = 63 \text{ А (по заданию)}.$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа АЕ:

$$I_{н.р} \geq I_{дл} = 63 \text{ А};$$

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}.$$



**Рис. 1.8.10.** Схема линии ЭСН

По [5, с. 50] выбирается АЗ типа АЕ2046:

$$V_{на} = 380 \text{ А};$$

$$I_{на} = 63 \text{ А};$$

$$I_{нр} = 63 \text{ А};$$

$$I_{y(n)} = 1,25 I_{нр};$$

$$I_{y(кз)} = 3 I_{нр};$$

$$I_{откл} = 5 \text{ кА}.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа ППВ в соответствии с АЗ:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{y(n)} = 1,25 \cdot 63 = 78,8 \text{ А}.$$

При прокладке в нормальных помещениях в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По [5, с. 83] выбирается ППВ–3 × 25,  $I_{доп} = 95 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа АЕ2046,  $I_{нр} = 63 \text{ А}$ ;  $I_{y(n)} = 1,25 I_{нр}$ ;  $I_{y(кз)} = 3 I_{нр}$ .

Проводник типа ППВ–3 × 25,  $I_{доп} = 95 \text{ А}$ .

### Пример 11. Линия с предохранителем и РУ типа ШОС2

**Дано:**

По [5, с. 102] РУ типа ШОС2–15–20–УЗ:

$$I_n = 16 \text{ А};$$

$$i_{y, доп} = 3 \text{ кА};$$

$$V_n = 220 \text{ В};$$

$$I_{ншт} = 6 \text{ А}.$$

**Требуется:**

- изобразить схему линии ЭСН;
- выбрать АЗ — Пр;
- выбрать проводник типа АПРТО.

**Решение:**

- Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 1.8.11).
- Определяется длительный ток в линии без ЭД

$$I_{дл} = I_n = 16 \text{ А (по заданию)}.$$

- Определяются данные и выбирается АЗ типа ПР2:

$$I_{вс} \geq I_{дл} = 16 \text{ А}.$$

По [5, с. 52] выбирается ПР2–60:

$$I_{вс} = 20 \text{ А};$$

$$I_{откл} = 4,5 \text{ кА}.$$

- Определяются данные и выбирается проводник типа АПРТО с учетом соответствия АЗ:

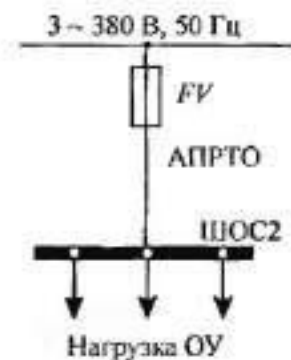
$$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{вс} = 0,33 \cdot 20 = 6,6 \text{ А}.$$

При наличии только максимальной защиты для предохранителя  $K_{зщ} = 0,33$ , прокладка в воздухе.

По [5, с. 83] выбирается АПРТО–2 × 2,5;  $I_{доп} = 21 \text{ А}$ .

**Ответ:** АЗ типа ПР2–60,  $I_{вс} = 20 \text{ А}$ .

Проводник типа АПРТО–2 × 2,5,  $I_{доп} = 21 \text{ А}$ .



**Рис. 1.8.11.** Схема линии ЭСН

### Пример 12. Выбор АД наибольшей мощности по реальному проводнику

**Дано:**

Проводник — реальный  
 Электроприемник — АД серии АИ  
 АЗ серии ВА

**Требуется:**

- составить схему линии ЭСН;
- выбрать наибольший по мощности АД ДР;
- записать марку провода.

**Решение:**

1. Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, наносятся известные данные (рис. 1.8.12).

2. Определяются данные проводника и формируется марка.

- Измеряется диаметр проводящей жилы ( $d_{ж} = 5,5$  мм), определяется расчетное ( $S_p$ ) сечение и приводится к стандартному значению ( $S$ ):

$$S_p = \frac{\pi d_{ж}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ мм}^2.$$

По [5, с. 82] выбирается  $S = 25 \text{ мм}^2$ .

- Формируется марка провода с медной жилой и прокладкой в трубе ПВ-3 × (1 × 25),  $I_{доп} = 100$  А.

3. Определяется наибольший возможный  $I_{н.д.}$

Согласно условиям по [5, с. 57] для линии с одним АД

$$\begin{aligned} I_{н.р} &\geq 1,25 I_{н.д.}; \\ I_{y(n)} &= 1,25 I_{н.р.}; \\ I_{доп} &\geq K_{шт} I_{y(n)}; \\ I_{н.д} &\leq \frac{I_{доп}}{K_{шт} \cdot 1,25 \cdot 1,25} = \frac{100}{1 \cdot 1,25 \cdot 1,25} = 64 \text{ А.} \end{aligned}$$

4. Определяется наибольшая расчетная мощность ( $P_{др}$ ) АД

$$P_{др} = \sqrt{3} U_n I_n \eta_{ал} \cos \varphi_{ал} = 1,73 \cdot 380 \cdot 64 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 33,7 \text{ кВт.}$$

Принимается  $\eta_{ал} \cos \varphi_{ал} = 0,8$ .

5. Выбирается по [5, с. 28] АИР180М2 и проверяется выполнение условия  $I_{н.д} \leq 64$  А.

$P_n = 30$  кВт;

$\eta_{ал} = 0,9$ ;

$\cos \varphi_{ал} = 0,88$ ;

$S = 2,5$  %;

$n_n = 2925$  об/мин;

$$I_{н.д} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \eta_{ал} \cos \varphi_{ал}} = \frac{30 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,88} = 57,6 \text{ А} < 64 \text{ А.}$$

**Ответ:** АД типа АИР180М2,  $P_n = 30$  кВт,  $n_n = 2925$  об/мин.

Проводник ПВ-3 × (1 × 25),  $I_{доп} = 100$  А.

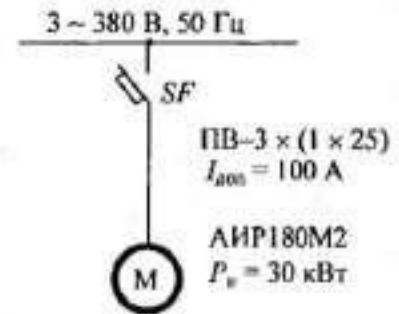


Рис. 1.8.12. Схема линии ЭСН



### Пример 13. Выбор АД наибольшей мощности по реальному автомату

Дано:

Автомат ВА 51-31-3  
 Электроприемник — АД серии АИ

Требуется:

- составить схему линии ЭСН;
- выбрать наибольший по мощности АД;
- определить параметры автомата.

Решение:

1. Составляется схема линии ЭСН, обозначаются элементы, вносятся известные данные (рис. 1.8.13).
2. Выписываются необходимые для расчета данные по [5, с. 41] для ВА 51-31-3,  $I_{на} = 100$  А.
3. Определяется наибольший возможный  $I_{н.д}$  согласно условиям по [5, с. 57] для линии с одним АД:

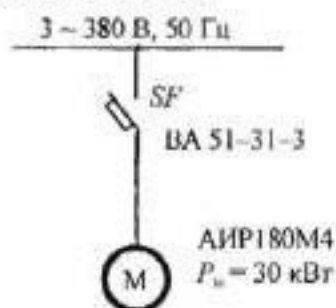


Рис. 1.8.13. Схема линии ЭСН

$$I_{н.р} \geq 1,25I_{н.д};$$

$$I_{н.р.об} = I_{на} = 100 \text{ А};$$

$$I_{н.д} \leq \frac{I_{н.р}}{1,25} = \frac{100}{1,25} = 80 \text{ А}.$$

4. Определяется наибольшая расчетная мощность ( $P_{дп}$ ) АД

$$P_{дп} = \sqrt{3}V_n I_n \eta_{н.д} \cos \varphi_{н.д} = 1,73 \cdot 380 \cdot 80 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 42,1 \text{ кВт}.$$

Приблизительно принимается  $\eta_{н.д} \cos \varphi_{н.д} = 0,8$ .

5. Принимается по [5, с. 29] АИР180М4:

$P_n = 30$  кВт;  
 $\eta = 0,915$ ;  
 $\cos \varphi = 0,86$ ;  
 $S = 2$  %;  
 $K_n = 7$ .

6. Определяются параметры автомата:

$$I_{н.д} = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3}V_n \eta_{н.д} \cos \varphi_{н.д}} = \frac{30 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,915 \cdot 0,86} = 58 \text{ А}.$$

Расчетные зависимости по [5, с. 57]:

$$I_{н.р} \geq 1,25I_{н.д} = 1,25 \cdot 58 = 72,5 \text{ А};$$

Принимается  $I_{н.р} = 80$  А;

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{1,2I_n}{I_{н.р}} = \frac{1,2 \cdot 58 \cdot 7}{80} = 6,09.$$

Принимается  $K_0 = 7$ .

ВА 51-31-3:

$V_{на} = 380$  В;  
 $I_{на} = 100$  А;  
 $I_{н.р} = 80$  А;  
 $I_{y(n)} = 1,25I_{н.р}$ ;  
 $I_{y(к)} = 7I_{н.р}$ ;  
 $I_{откл} = 7$  кА.

Ответ: АД типа АИР180М4,  $P_n = 30$  кВт,  $n_n = 1470$  об/мин.

АЗ типа ВА 51-31-3,  $I_{н.р} = 80$  А,  $I_{y(n)} = 1,25I_{н.р}$ ,  $I_{y(к)} = 7I_{н.р}$ .

## 1.9. РПЗ–9. Расчет токов короткого замыкания

### Методика расчета

Рассчитать токи короткого замыкания (КЗ) — это значит:

- по расчетной схеме составить схему замещения, выбрать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке 3-фазные, 2-фазные и 1-фазные токи КЗ, заполнить «Сводную ведомость токов КЗ».

• Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи — электрическими. Точки КЗ выбираются на ступенях распределения и на конечном электроприемнике.

Точки КЗ нумеруются сверху вниз, начиная от источника.

• Для определения токов КЗ используются следующие соотношения:

а) 3-фазного, кА:

$$I_*^{(3)} = \frac{V_*}{\sqrt{3}Z_*},$$

где  $V_*$  — линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_*$  — полное сопротивление до точки КЗ, Ом;

б) 2-фазного, кА:

$$I_*^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_*^{(3)} = 0,87 I_*^{(3)},$$

в) 1-фазного, кА:

$$I_*^{(1)} = \frac{V_{*ф}}{Z_0 + \frac{Z_T^{(1)}}{3}},$$

где  $V_{*ф}$  — фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_0$  — полное сопротивление петли «фаза–нуль» до точки КЗ, Ом;

$Z_T^{(1)}$  — полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, Ом;

г) ударного, кА

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_*^{(3)},$$

где  $K_y$  — ударный коэффициент, определяется по графику (рис. 1.9.1),

$$K_y = F \left( \frac{R_*}{X_*} \right).$$

*Примечание.* График может быть построен при обратном соотношении, т. е.

$$K_y = F \left( \frac{X_*}{R_*} \right);$$

д) действующего значения ударного тока, кА:

$$I_y = q I_*^{(3)},$$

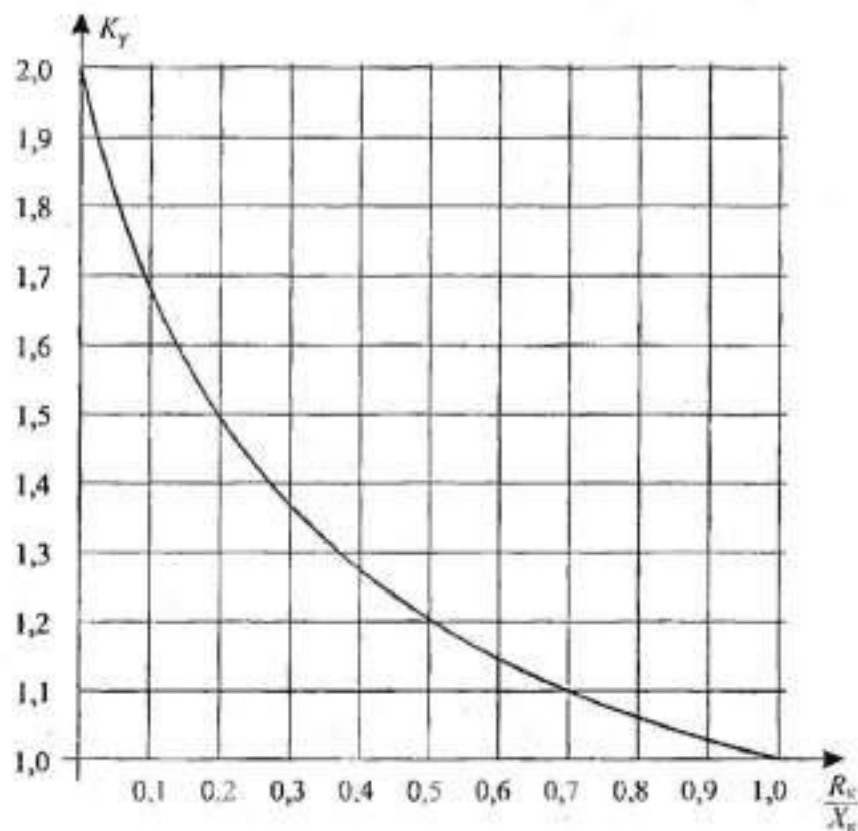


Рис. 1.9.1. Зависимость  $K_y = F\left(\frac{R_k}{X_k}\right)$

где  $q$  — коэффициент действующего значения ударного тока,

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}.$$

• Сопротивления схем замещения определяются следующим образом.

1. Для силовых трансформаторов по таблице 1.9.1 или расчетным путем из соотношений

$$R_T = \Delta P_k \left( \frac{V_{\text{НН}}}{S_T} \right)^2 \cdot 10^6;$$

$$Z_T = u_k \frac{V_{\text{НН}}^2}{S_T} \cdot 10^4;$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2},$$

где  $\Delta P_k$  — потери мощности КЗ, кВт;

$u_k$  — напряжение КЗ, %;

$V_{\text{НН}}$  — линейное напряжение обмотки НН, кВ;

$S_T$  — полная мощность трансформатора, кВ·А.

2. Для токовых трансформаторов по таблице 1.9.2.

3. Для коммутационных и защитных аппаратов по таблице 1.9.3. Сопротивления зависят от  $I_{\text{на}}$  аппарата.

*Примечание.* Сопротивление предохранителей не учитывается, а у рубильников учитывается только переходное сопротивление контактов.

4. Для ступеней распределения по таблице 1.9.4.

5. Для линий ЭСН кабельных, воздушных и шинпроводов из соотношений

$$R_n = r_0 L_n; \quad X_n = x_0 L_n.$$

где  $r_0$  и  $x_0$  — удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;

$L_n$  — протяженность линии, м.

Удельные сопротивления для расчета 3-фазных и 2-фазных токов КЗ определяются по таблицам 1.9.5–1.9.7.

При отсутствии данных  $r_0$  можно определить расчетным путем:

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S},$$

где  $S$  — сечение проводника, мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  — удельная проводимость материала, м/(Ом · мм<sup>2</sup>).

Принимается  $\gamma = 30$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>) — для алюминия,

$\gamma = 50$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>) — для меди,

$\gamma = 10$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>) — для стали.

При отсутствии данных  $x_0$  можно принять равным

$x_{0\text{вл}} = 0,4$  мОм/м — для воздушных линий,

$x_{0\text{каб}} = 0,06$  мОм/м — для кабельных линий,

$x_{0\text{пр}} = 0,09$  мОм/м — для проводов,

$x_{0\text{ш}} = 0,15$  мОм/м — для шинопроводов.

При расчете 1-фазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза–нуль» принимается равным:

$x_{0\text{н}} = 0,15$  мОм/м — для КЛ до 1 кВ и проводов в трубах,

$x_{0\text{н}} = 0,6$  мОм/м — для ВЛ до 1 кВ,

$x_{0\text{н}} = 0,4$  мОм/м — для изолированных открыто проложенных проводов,

$x_{0\text{н}} = 0,2$  мОм/м — для шинопроводов.

Удельное активное сопротивление петли «фаза–нуль» определяется для любых линий по формуле

$$r_{0\text{н}} = 2r_0.$$

6. Для неподвижных контактных соединений значения активных переходных сопротивлений определяют по таблице 1.9.8.

*Примечание.* При расчетах можно использовать следующие значения  $K_y$ :

$K_y = 1,2$  — при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВ·А;

$K_y = 1,3$  — при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью более 400 кВ·А;

$K_y = 1$  — при более удаленных точках;

$K_y = 1,8$  — при КЗ в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния.

• Сопротивления элементов на ВН приводятся к НН по формулам

$$R_{\text{НН}} = R_{\text{ВН}} \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2; \quad X_{\text{НН}} = X_{\text{ВН}} \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2,$$

где  $R_{\text{НН}}$  и  $X_{\text{НН}}$  — сопротивления, приведенные к НН, мОм;

$R_{\text{ВН}}$  и  $X_{\text{ВН}}$  — сопротивления на ВН, мОм;

$V_{\text{НН}}$  и  $V_{\text{ВН}}$  — напряжения низкое и высокое, кВ.

*Примечание.* На величину тока КЗ могут оказать влияние АД мощностью более 100 кВт с напряжением до 1 кВ в сети, если они подключены вблизи места КЗ. Объясняется это тем, что при КЗ резко снижается напряжение, а АД, вращаясь по инерции, генерирует ток в месте КЗ. Этот ток быстро затухает, а поэтому учитывается в начальный момент при определении периодической составляющей и ударного тока.

$$\Delta I_{\text{п(ад)}} = 4,5 I_{\text{н(ад)}}; \quad \Delta i_{\gamma} = 6,5 I_{\text{н(ад)}},$$

— где  $I_{\text{н(ад)}}$  — номинальный ток одновременно работающих АД.

Таблица 1.9.1. Сопротивление трансформаторов 10/0,4 кВ

Мощность, кВ·А	$R_{ТТ}$ , мОм	$X_{ТТ}$ , мОм	$Z_{ТТ}$ , мОм	$Z_{ТТ}^{(0)}$ , мОм
25	153,9	243,6	287	3110
40	88	157	180	1949
63	52	102	114	1237
100	31,5	64,7	72	779
160	16,6	41,7	45	487
250	9,4	27,2	28,7	312
400	5,5	17,1	18	195
630	3,1	13,6	14	129
1000	2	8,5	8,8	81
1600	1	5,4	5,4	54

Таблица 1.9.2. Значение сопротивлений первичных обмоток катушечных трансформаторов тока ниже 1 кВ

$K_{ТТ}$ трансформа- тора тока	Сопротивление, мОм класса точности			
	1		2	
	$X_{ТТ}$	$r_{ТТ}$	$X_{ТТ}$	$r_{ТТ}$
1	2	3	4	5
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	1,7	2,7	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	0,3	0,2	0,08	0,09
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 1.9.3. Значение сопротивлений автоматических выключателей, рубильников, разъединителей до 1 кВ

$I_{н.в.}$ , А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	$R_{в}$ , мОм	$X_{в}$ , мОм	$R_{н}$ , мОм	$R$ , мОм	$R$ , мОм
50	5,5	4,5	1,3	—	—
70	2,4	2	1	—	—
100	1,3	1,2	0,75	0,5	—
150	0,7	0,7	0,7	0,45	—
200	0,4	0,5	0,6	0,4	—
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2
600	11,12	0,13	0,25	0,15	0,15
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	—	0,06
2000	11,07	0,08	0,08	—	0,03
2500	0,06	0,07	0,07	—	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	—	0,02
4000	0,04	0,05	0,05	—	—

Таблица 1.9.4. Значение переходных сопротивлений на ступенях распределения

Ступень	Место	$R_{ст}$ , мОм	Дополнительные сведения
1	2	3	4
1	Распределительные устройства подстанции	15	Используются при отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях в сетях, питающихся от цеховых трансформаторов мощностью до 2500 кВ·А включительно
2	Первичные распределительные цеховые пункты	20	
3	Вторичные распределительные цеховые пункты	25	
4	Аппаратура управления электроприемников, получающих питание от вторичных РП	30	

Таблица 1.9.5. Значения удельных сопротивлений кабелей, проводов

$S$ , мм <sup>2</sup> жилы	$r_0$ , мОм/м при 20 °С жилы		$x_0$ , мОм/м	
	Al	Cu	кабель с бумажной поясной изоляцией	три провода в трубе или кабель с любой изоляцией (кроме бумажной)
1	2	3	4	5
1	—	18,5	—	0,133
1,5	—	12,3	—	0,126
2,5	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,78
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

Таблица 1.9.6. Значения удельных сопротивлений троллейных шиннопроводов до 1 кВ

Тип	$I_n$ , А	Сопротивление, мОм/м		
		$r_0$	$x_0$	$z_0$
1	2	3	4	5
ШТМ	250	0,315	0,18	0,36
	400	0,197	0,12	0,23
ШТА	250	0,474	0,15	0,496
	400	0,217	0,13	0,254



Таблица 1.9.7. Значение удельных сопротивлений комплектных шинопроводов

Параметры	Тип комплектного шинопровода						
	ШМА				ШРА		
1	2	3	4	5	6	7	8
$I_n, A$	1250	1600	2500	3200	250	400	630
$r_0, \text{МОм/м}$	0,034	0,03	0,017	0,015	0,21	0,15	0,1
$x_0, \text{МОм/м}$	0,016	0,014	0,008	0,007	0,21	0,17	0,13
$r_{0(\phi-0)}, \text{МОм/м}$	0,068	0,06	0,034	0,03	0,42	0,3	0,2
$x_{0(\phi-0)}, \text{МОм/м}$	0,053	0,06	0,075	0,044	0,42	0,24	0,26
$z_{0(\phi-0)}, \text{МОм/м}$	0,086	0,087	0,082	0,053	0,59	0,38	0,33

Таблица 1.9.8. Значение активных переходных сопротивлений неподвижных контактных соединений

$S, \text{мм}^2$ кабеля	$R_n, \text{МОм}$	$I_n, A$	$R_n, \text{МОм}$
16	0,85	ШРА	
25	0,064	250	0,009
35	0,056	400	0,006
50	0,043	630	0,0037
70	0,029	ШМА	
95	0,027	1600	0,0034
120	0,024	2500	0,0024
185	0,021	3200	0,0012
240	0,012	4000	0,0011

### Пример

Дано:

Расчетная схема (рис. 1.9.2)

$L_{ВН} = 3 \text{ км}$

$L_{к11} = 5 \text{ м}$  (длина линии ЭСН от ШНН до ШМА1)

$L_{ш} = 2 \text{ м}$  (участок ШМА1 до ответвления)

$L_{к12} = 20 \text{ м}$  (длина линии ЭСН от ШМА1 до потребителя)

Требуется:

- составить схему замещения, пронумеровать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления и нанести их на схему замещения;
- определить токи КЗ в каждой точке и составить «Сводную ведомость токов КЗ».

Решение:

1. Составляется схема замещения (рис. 1.9.3) и нумеруются точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

2. Вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения.

- Для системы

$$I_c = \frac{S_r}{\sqrt{3}V_c} = \frac{400}{1,73 \cdot 10} = 23,1 \text{ А.}$$



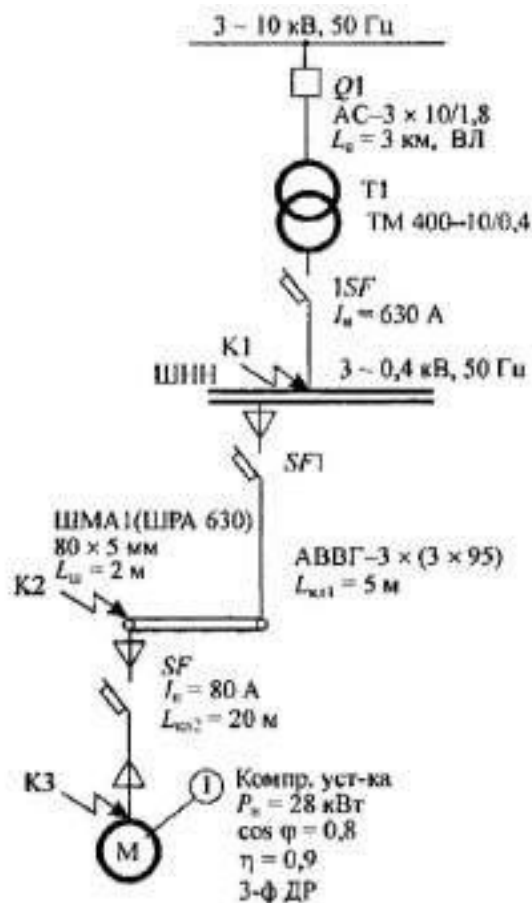


Рис. 1.9.2. Схема ЭСН расчетная

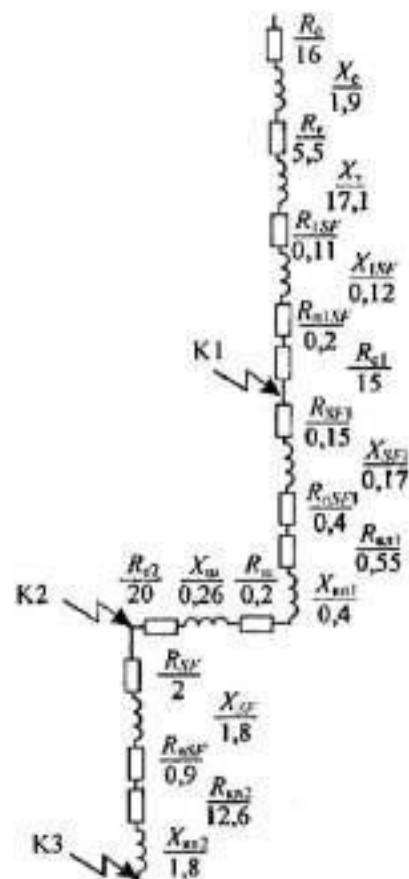


Рис. 1.9.3. Схема замещения

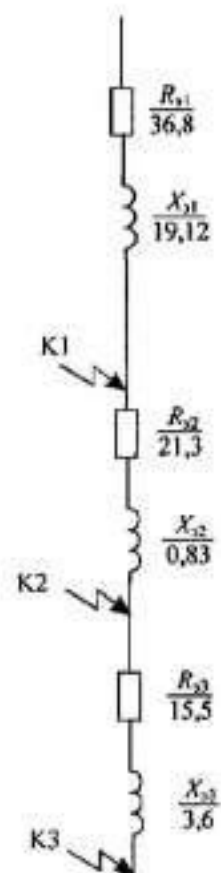


Рис. 1.9.4. Схема замещения упрощенная

По [5, с. 71] наружная ВЛ AC-3 x 10/1,8;  $I_{ном} = 84$  А;

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км};$$

$$X'_c = x_0 L_c = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \text{ Ом/км};$$

$$R'_c = r_0 L_c = 3,33 \cdot 3 = 10 \text{ Ом}.$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \left( \frac{V_{НН}}{V_{ВН}} \right)^2 = 10 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 16 \text{ МОм};$$

$$X_c = X'_c \left( \frac{V_{НН}}{V_{ВН}} \right)^2 = 1,2 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,9 \text{ МОм}.$$

- Для трансформатора по таблице 1.9.1

$$R_T = 5,5 \text{ МОм}, X_T = 17,1 \text{ МОм}, Z_T^{(1)} = 195 \text{ МОм}.$$

- Для автоматов по таблице 1.9.3

$$1SF \quad R_{1SF} = 0,11 \text{ МОм}; x_{1SF} = 0,12 \text{ МОм}; R_{н1SF} = 0,2 \text{ МОм};$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,15 \text{ МОм}; x_{SF1} = 0,17 \text{ МОм}; R_{нSF1} = 0,4 \text{ МОм};$$

$$SF \quad R_{SF} = 2 \text{ МОм}; X_{SF} = 1,8 \text{ МОм}; R_{нSF} = 0,9 \text{ МОм}.$$

- Для кабельных линий по таблице 1.9.5:

$$\text{КЛ1: } r'_0 = 0,33 \text{ мОм/м; } x_0 = 0,08 \text{ мОм/м.}$$

Так как в схеме 3 параллельных кабеля, то

$$r_0 = \frac{1}{3} r'_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,33 = 0,11 \text{ мОм/м;}$$

$$R_{кк1} = r_0 L_{кк1} = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ мОм;}$$

$$X_{кк1} = x_0 L_{кк1} = 0,08 \cdot 5 = 0,4 \text{ мОм.}$$

$$\text{КЛ2: } r_0 = 0,63 \text{ мОм/м; } x_0 = 0,09 \text{ мОм/м.}$$

$$R_{кк2} = 0,63 \cdot 20 = 12,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{кк2} = 0,09 \cdot 20 = 1,8 \text{ мОм.}$$

- Для шинпровода ШРА 630 по таблице 1.9.7

$$r_0 = 0,1 \text{ мОм/м; } x_0 = 0,13 \text{ мОм/м;}$$

$$r_{0ш} = 0,2 \text{ мОм/м; } x_{0ш} = 0,26 \text{ мОм/м.}$$

$$R_{ш} = r_0 L_{ш} = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ мОм;}$$

$$X_{ш} = x_0 L_{ш} = 0,13 \cdot 2 = 0,26 \text{ мОм.}$$

- Для ступеней распределения по таблице 1.9.4

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм; } R_{c2} = 20 \text{ мОм.}$$

3. Упрощается схема замещения, вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и наносятся на схему (рис. 1.9.4):

$$R_{z1} = R_c + R_T + R_{1SF} + R_{п1SF} + R_{c1} = 16 + 5,5 + 0,11 + 0,2 + 15 = 36,8 \text{ мОм;}$$

$$X_{z1} = X_c + X_T + X_{1SF} = 1,9 + 17,1 + 0,12 = 19,12 \text{ мОм;}$$

$$R_{z2} = R_{SF1} + R_{пSF1} + R_{кк1} + R_{ш} + R_{c2} = 1,15 + 0,4 + 0,55 + 0,2 + 20 = 21,3 \text{ мОм;}$$

$$X_{z2} = X_{SF12} + X_{кк1} + X_{ш} = 0,17 + 0,4 + 0,26 = 0,83 \text{ мОм;}$$

$$R_{z3} = R_{SF} + R_{пSF} + R_{кк2} = 2 + 0,9 + 12,6 = 15,5 \text{ мОм;}$$

$$X_{z3} = X_{SF} + X_{кк2} = 1,8 + 1,8 = 3,6 \text{ мОм.}$$

4. Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ и заносятся в «Сводную ведомость» (таблица 1.9.9):

$$R_{к1} = R_{z1} = 36,8 \text{ мОм; } X_{к1} = X_{z1} = 19,12 \text{ мОм;}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{36,8^2 + 19,12^2} = 41,5 \text{ мОм;}$$

$$R_{к2} = R_{z1} + R_{z2} = 36,8 + 21,3 = 58,1 \text{ мОм;}$$

$$X_{к2} = X_{z1} + X_{z2} = 19,12 + 0,83 = 19,95 \text{ мОм;}$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{58,1^2 + 19,95^2} = 61,4 \text{ мОм;}$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{z3} = 58,1 + 15,5 = 73,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{z3} = 19,95 + 3,6 = 23,55 \text{ мОм;}$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2} = \sqrt{73,6^2 + 23,55^2} = 77,3 \text{ мОм;}$$

$$\frac{R_{к1}}{X_{к1}} = \frac{36,8}{19,12} = 1,9; \quad \frac{R_{к2}}{X_{к2}} = \frac{58,1}{19,95} = 2,9;$$

$$\frac{R_{к3}}{X_{к3}} = \frac{73,6}{23,55} = 3,1.$$

5. Определяются коэффициенты  $K_y$  (рис. 1.9.2) и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{к1}}{X_{к1}}\right) = F(1,9) = 1,0;$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{\kappa 2}}{X_{\kappa 2}}\right) = F(2,9) = 1,0;$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{\kappa 3}}{X_{\kappa 3}}\right) = F(3,1) = 1,0;$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1;$$

$$q_2 = q_3 = 1.$$

6. Определяются 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и заносятся в «Ведомость»:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{V_{\kappa 1}}{\sqrt{3}Z_{\kappa 1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 41,5} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{V_{\kappa 2}}{\sqrt{3}Z_{\kappa 2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 61,4} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{V_{\kappa 3}}{\sqrt{3}Z_{\kappa 3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 77,3} = 2,8 \text{ кА};$$

$$I_{y\kappa 1} = q_1 I_{\kappa 1}^{(3)} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{y\kappa 2} = q_2 I_{\kappa 2}^{(3)} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{y\kappa 3} = q_3 I_{\kappa 3}^{(3)} = 2,8 \text{ кА};$$

$$i_{y\kappa 1} = \sqrt{2}K_{y1} I_{\kappa 1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,0 \cdot 5,6 = 7,9 \text{ кА};$$

$$i_{y\kappa 2} = \sqrt{2}K_{y2} I_{\kappa 2}^{(3)} = 1,41 \cdot 3,6 = 5,1 \text{ кА};$$

$$i_{y\kappa 3} = \sqrt{2}K_{y3} I_{\kappa 3}^{(3)} = 1,41 \cdot 2,8 = 4,0 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\kappa 1}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,6 = 4,9 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = 0,87 I_{\kappa 2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,6 = 3,1 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = 0,87 I_{\kappa 3}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,8 = 2,4 \text{ кА}.$$

Таблица 1.9.9. Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$R_{\kappa}$ , мОм	$X_{\kappa}$ , мОм	$Z_{\kappa}$ , мОм	$R_{\kappa}/X_{\kappa}$	$K_y$	$q$	$I_{\kappa}^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_{\kappa}^{(2)}$ , кА	$I_{\kappa}^{(1)}$ , кА	$Z_{\text{пн}}$ , мОм	$I_{\kappa}^{(1)}$ , кА
К1	36,8	19,12	41,5	1,9	1,0	1	5,6	7,9	5,6	4,9	15	2,9
К2	58,1	19,95	61,4	2,9	1,0	1	3,6	5,1	3,6	3,1	36,9	2,2
К3	73,6	23,55	77,3	3,1	1,0	1	2,8	4,0	2,8	2,4	62,3	1,7

7. Составляется схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рис. 1.9.5) и определяются сопротивления.

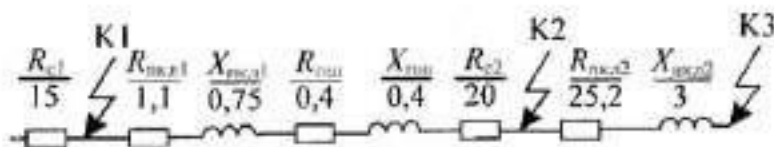


Рис. 1.9.5. Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий

$$\begin{aligned}
 X_{\text{ккл1}} &= x_{00}L_{\text{ккл1}} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ мОм}; \\
 R_{\text{ккл1}} &= 2r_0L_{\text{ккл1}} = 2 \cdot 0,11 \cdot 5 = 1,1 \text{ мОм}; \\
 R_{\text{шш}} &= r_{0\text{шш}}L_{\text{шш}} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ мОм}; \\
 X_{\text{шш}} &= x_{0\text{шш}}L_{\text{шш}} = 0,26 \cdot 2 = 0,52 \text{ мОм}; \\
 R_{\text{ккк2}} &= 2r_0L_{\text{ккк2}} = 2 \cdot 0,63 \cdot 20 = 25,2 \text{ мОм}; \\
 X_{\text{ккк2}} &= x_{00}L_{\text{ккк2}} = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ мОм}; \\
 Z_{\text{н1}} &= 15 \text{ мОм}; \\
 R_{\text{н2}} &= R_{\text{с1}} + R_{\text{ккл1}} + R_{\text{шш}} + R_{\text{с2}} = 15 + 1,1 + 0,4 + 20 = 36,5 \text{ мОм}; \\
 X_{\text{н2}} &= X_{\text{ккл1}} + X_{\text{шш}} = 0,75 + 0,52 = 1,27 \approx 1,3 \text{ мОм}; \\
 Z_{\text{н2}} &= \sqrt{R_{\text{н2}}^2 + X_{\text{н2}}^2} = \sqrt{36,5^2 + 1,3} = 36,9 \text{ мОм}; \\
 R_{\text{н3}} &= R_{\text{кк2}} + R_{\text{ккк2}} = 36,5 + 25,5 = 61,7 \text{ мОм}; \\
 X_{\text{н3}} &= X_{\text{н2}} + X_{\text{ккк2}} = 1,3 + 3 = 4,3 \text{ мОм}; \\
 Z_{\text{н3}} &= \sqrt{R_{\text{н3}}^2 + X_{\text{н3}}^2} = \sqrt{61,7^2 + 4,3} = 62,3 \text{ мОм}; \\
 I_{\text{к1}}^{(1)} &= \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{н1}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{15 + 195/3} = 2,9 \text{ кА}; \\
 I_{\text{к2}}^{(1)} &= \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{н2}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{36,9 + 195/3} = 2,2 \text{ кА}; \\
 I_{\text{к3}}^{(1)} &= \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{н3}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{62,3 + 195/3} = 1,7 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

**Ответ:** Результаты расчета токов КЗ представлены в «Сводной ведомости токов КЗ» (таблица 1.9.9).

Таблица 1.9.10. Варианты индивидуальных заданий для РПЗ-9

Вариант	№ эл. пр.	$L_{\text{шш}}$ , км	$L_{\text{кк1}}$ , м	$L_{\text{кк2}}$ , м	$L_{\text{ш}}$ , м	$L_{\text{ш2}}$ , м	$L_{\text{кк2}}$ , м	$L_{\text{кк1}}$ , м	$L_{\text{шш}}$ , км	№ эл. пр.	Вариант
1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1
1	4	1,5	15	30	6	5,5	25	15	2	6	16
2	2	3	20	25	4,5	6	20	20	1,8	24	17
3	3	4,5	25	20	3	5,5	15	25	1,6	7	18
4	23	6	30	15	1,5	5	10	30	1,5	6	19
5	8	7,5	35	10	1	4,5	30	10	1,4	19	20
6	9	9	40	5	0,5	4	5	40	1,2	2	21
7	10	10,5	20	28	1	3,5	28	20	1	11	22
8	11	12	15	23	1,5	3	23	25	2,5	10	23
9	12	13,5	25	18	2	2,5	18	30	2,4	22	24
10	13	6	40	13	2,5	2	15	10	2,3	12	25
11	14	15	30	8	3	1,5	13	15	2,2	20	26
12	15	16,5	25	20	3,5	1	8	35	2,1	21	27
13	16	18	15	15	4	0,5	10	40	0,8	17	28
14	17	19,5	30	10	4,5	3	15	25	0,6	16	29
15	18	21	10	25	5	2	20	5	3	1	30

**Примечание.** Длина шинпровода  $L_{\text{шш}}$  до ответвления используется в том случае, если при распределении нагрузки, указанной номером, электроприемник подключен к шинпроводу. В остальных случаях принимать  $L_{\text{шш}} = 0$ .

## 1.10. РПЗ–10. Проверка элементов цеховой сети

### Методика расчета

- Аппараты защиты проверяют:

1) на надежность срабатывания, согласно условиям

$$I_k^{(1)} \geq 3I_{bc} \text{ (для предохранителей);}$$

$$I_k^{(1)} \geq 3I_{н.р} \text{ (для автоматов с комбинированным расцепителем);}$$

$$I_k^{(1)} \geq 1,4I_o \text{ (для автоматов только с максимальным расцепителем на } I_{н.а} \leq 100 \text{ А);}$$

$$I_k^{(1)} \geq 1,25I_o \text{ (для автоматов только с максимальным расцепителем на } I_{н.а} > 100 \text{ А),}$$

где  $I_k^{(1)}$  — 1-фазный ток КЗ, кА;

$I_{bc}$  — номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА;

$I_{н.р}$  — номинальный ток расцепителя автомата, кА;

$I_o$  — ток отсечки автомата, кА;

2) на отключающую способность, согласно условию

$$I_{откл} \geq \sqrt{2}I_o^{(3)},$$

где  $I_{откл}$  — ток автомата по каталогу, кА;

$I_o^{(3)}$  — 3-фазный ток КЗ в установившемся режиме, кА;

3) на отстройку от пусковых токов, согласно условиям

$$I_o = I_{y(кз)} \geq I_n \text{ (для электродвигателя);}$$

$$I_o = I_{y(кз)} \geq I_{пнк} \text{ (для распределительного устройства с груншой ЭД),}$$

где  $I_{y(кз)}$  — ток установки автомата в зоне КЗ, кА;

$I_n$  — пусковой ток электродвигателя, кА.

### Основные понятия аппаратов защиты до 1 кВ

**Расцепитель** — чувствительный элемент, встроенный в автомат, при срабатывании воздействующий на механизм отключения.

**Расцепитель максимального тока** (электромагнитный или полупроводниковый) — устройство мгновенного срабатывания при токе КЗ.

**Тепловой расцепитель** (биметаллический или полупроводниковый) — устройство, срабатывающее с выдержкой времени при перегрузке.

**Расцепитель минимального напряжения** — устройство, срабатывающее при недопустимом снижении напряжения в цепи (до 0,3...0,5 от  $V_{ном}$ ).

**Независимый расцепитель** — устройство дистанционного отключения автомата или по сигналам внешних защит.

Максимальный и тепловой расцепители устанавливаются во всех фазах автомата, остальные по одному на автомат.

**Ток срабатывания расцепителя (ток трогания)** — наименьший ток, вызывающий отключение автомата.

**Уставка тока расцепителя** — настройка его на заданный ток срабатывания.

**Ток отсечки** — уставка тока максимального расцепителя на мгновенное срабатывание.

**Номинальный ток расцепителя** — это наибольший длительный ток расцепителя, не вызывающий отключения и перегрева.

**Отключающая способность** — наибольший ток КЗ, при котором отключение произойдет без повреждения.

• Проводки (кабели) проверяют:

1) на соответствие выбранному аппарату защиты, согласно условию

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{эщ}} I_{y(n)} \text{ (для автоматов и тепловых реле);}$$

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{эщ}} I_{\text{ас}} \text{ (для предохранителей),}$$

где  $I_{\text{доп}}$  — допустимый ток проводника по каталогу, А;

$I_{y(n)}$  — ток уставки автомата в зоне перегрузки, А;

$K_{\text{эщ}}$  — кратность (коэффициент) защиты (таблица 1.10.1);

2) на термическую стойкость, согласно условию

$$S_{\text{фл}} \geq S_{\text{тс}},$$

где  $S_{\text{фл}}$  — фактическое сечение кабельной линии, мм<sup>2</sup>;

$S_{\text{тс}}$  — термически стойкое сечение кабельной линии, мм<sup>2</sup>.

• Шинопроводы проверяют:

3) на динамическую стойкость, согласно условию

$$\sigma_{\text{ш, доп}} \geq \sigma_{\text{ш}},$$

где  $\sigma_{\text{ш, доп}}$  — допустимое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см<sup>2</sup>;

$\sigma_{\text{ш}}$  — фактическое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см<sup>2</sup>;

4) на термическую стойкость, согласно условию

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш, тс}},$$

где  $S_{\text{ш}}$  — фактическое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>;

$S_{\text{ш, тс}}$  — термически стойкое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>.

• Действие токов КЗ бывает динамическим и термическим.

*Динамическое.* При прохождении тока в проводниках возникает механическая сила, которая стремится их сблизить (одинаковое направление тока) или оттолкнуть (противоположное направление тока).

Максимальное усиление на шину определяется по формуле

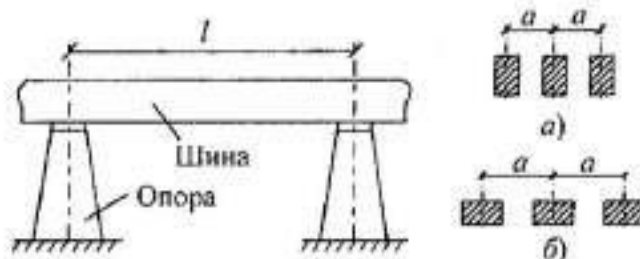
$$F_{\text{ш}}^{(3)} = 0,176 \frac{l}{a} i_y^2,$$

где  $F_{\text{ш}}^{(3)}$  — максимальное усилие, Н;

$l$  — длина пролета между соседними опорами, см;

$a$  — расстояние между осями шин, см;

$i_y$  — ударный ток КЗ, трехфазный, кА.



**Рис. 1.10.1.** Установка шин на опорах:

$a$  — на ребро;  $b$  — плашмя

*Примечание.* При отсутствии данных  $l$  принимается равным кратному числу от 1,5 м, т. е. 1,5–3–4,5–6 м.



Величина  $a$  принимается равной 100, 150, 200 мм.

Наибольший изгибающий момент ( $M_{\max}$ , Н·см) определяется следующим образом:

$M_{\max} = 0,125F_m^{(3)}l$  (при одном или двух пролетах),

$M_{\max} = 0,1F_m^{(3)}l$  (при трех и более пролетах).

Напряжение ( $\sigma$ , Н/см<sup>2</sup>) в материале шин от изгиба определяется по формуле

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W},$$

где  $W$  — момент сопротивления сечения, см<sup>3</sup>:

$W = \frac{bh^2}{6}$  — при расположении шин широкими сторонами друг к другу (на ребро);

$W = \frac{b^2h}{6}$  — при расположении шин планья;

$W = 0,1d^3$  — для круглых шин с диаметром  $d$ , см.

Шины будут работать надежно, если выполнено условие

$$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma.$$

Для сравнения с расчетным значением принимают

$\sigma_{\text{доп}} = 14 \cdot 10^3$  Н/см<sup>2</sup> — для меди;

$\sigma_{\text{доп}} = 7 \cdot 10^3$  Н/см<sup>2</sup> — для алюминия;

$\sigma_{\text{доп}} = 16 \cdot 10^3$  Н/см<sup>2</sup> — для стали.

Если при расчете оказалось, что  $\sigma > \sigma_{\text{доп}}$ , то для выполнения условия необходимо увеличить расстояние между шинами ( $a$ ) или уменьшить пролет между опорами — изоляторами.

*Примечание.* На динамическую стойкость проверяют шины, опорные и проходные изоляторы, трансформаторы тока.

*Термическое.* Ток КЗ вызывает дополнительный нагрев токоведущих частей и аппаратов. Повышение температуры сверх допустимой снижает прочность изоляции, так как время действия тока КЗ до срабатывания защиты невелико (доли секунды — секунды), то согласно ПУЭ допускается кратковременное увеличение температуры токоведущих частей (таблица 1.10.2).

Минимальное термически стойкое сечение определяется по формуле

$$S_{\text{тс}} = \alpha I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{\text{пр}}},$$

где  $\alpha$  — термический коэффициент, принимается:

$\alpha = 6$  — для меди,

$\alpha = 11$  — для алюминия,

$\alpha = 15$  — для стали;

$I_{\infty}^{(3)}$  — установившийся 3-фазный ток КЗ, кА;

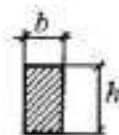
$t_{\text{пр}}$  — приведенное время действия тока КЗ, с (таблица 1.10.3).

Время действия тока КЗ  $t_{\text{д}}$  (таблица 1.10.3) имеет две составляющих: время срабатывания защиты  $t_{\text{з}}$  и время отключения выключателя  $t_{\text{о}}$ :

$$t_{\text{д}} = t_{\text{з}} + t_{\text{о}}.$$

Должно быть выполнено условие термической стойкости

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{тс.тс.}}$$





*Примечание.* Отсчет ступеней распределения ведется от источника.

Если условие не выполняется, то следует уменьшить  $t_z$  (быстродействие защиты).

- Проверка по потере напряжения производится для характерной линии ЭСН. Характерной линией является та, у которой  $K_n I_n L$  — наибольшая величина, где  $K_n$  — кратность пускового тока (для линии с ЭД) или тока перегрузки (для линии без ЭД);  $I_n$  — номинальный ток потребителя, А;  $L$  — расстояние от начала линии до потребителя, м. Принимается при отсутствии данных:  
 $K_n = 6 \dots 6,5$  для СД и АД с КЗ — ротором;  
 $K_n = 2 \dots 3$  для АД с Ф — ротором и МПТ.

*Примечание.* Обычно это линия с наиболее мощным ЭД или наиболее удаленным потребителем.

Для выполнения проверки составляется расчетная схема. В зависимости от способа задания нагрузки применяется один из трех вариантов:

а) по токам участков

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} P(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

б) по токам ответвлений

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} iL(r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

в) по мощностям ответвлений

$$\Delta V = \frac{10^5}{V_n^2} (Pr_0 + Qx_0)L,$$

где  $\Delta V$  — потеря напряжения, %;

$V_n$  — номинальное напряжение, В;

$I$  — ток участка, А;

$i$  — ток ответвления, А;

$L$  — длина участка, км;

$L$  — расстояние от начала ответвления;

$P$  — активная мощность ответвления, кВт;

$Q$  — реактивная мощность ответвления, квар;

$r_0, x_0$  — удельные активное и индуктивное сопротивления, Ом/км.

Данную формулу следует применить для всех участков с различным сечением, а затем сложить результаты.

Должно быть выполнено условие  $\Delta V \leq 10\%$  от  $V_{ном}$ .

Таблица 1.10.1. Значения  $K_{ши}$

$K_{ши}$	Аппарат защиты, вид помещения	Защита от перегрузки
1,25	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с резиновой и пластиковой изоляцией, во взрыво-, пожароопасных, жилых и торговых помещениях	Обязательна
1,0	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с любой изоляцией, в неопасных помещениях. Автоматы с комбинированным расцепителем, защищающие сети с любой изоляцией, в любых помещениях	
от 0,8 до 0,66	Автоматы с комбинированным регулируемым расцепителем, защищающие кабель с бумажной изоляцией	
0,33	Предохранители	Нет

Таблица 1.10.2. Значения  $T_{доп}$ , °С

Проводники	$T_{доп}$ , °С (норм)	$T_{доп}$ , °С (при КЗ)
Шины: медные	70	300
алюминиевые	70	200
Кабели, провода до 1 кВ	65	150
Кабели более 1 кВ	60	200

Таблица 1.10.3. Значения приведенного времени действия тока КЗ

Параметр	Степень							
	IV		III		II		I	
$t_{дв}$ , с	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4
$t_{пр}$ , с	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,7	2,5	3,5

### Пример

#### Дано:

Линия ЭСН (рис. 1.8.1) с результатами расчетов АЗ и проводников (пример 1 РПЗ-8), токов КЗ (пример в РПЗ-9).

#### Требуется проверить:

- АЗ по токам КЗ;
- проводники по токам КЗ;
- линию ЭСН по потере напряжения.

#### Решение:

1. Согласно условиям по токам КЗ АЗ проверяются:

- на надежность срабатывания:

$$1SF: I_{к1}^{(1)} \geq 3I_{нр(1SF)}; 2,9 > 3 \cdot 0,63 \text{ кА};$$

$$SF1: I_{к2}^{(1)} \geq 3I_{нр(SF1)}; 2,2 > 3 \cdot 0,4 \text{ кА};$$

$$SF: I_{к3}^{(1)} \geq 3I_{нр(SF)}; 1,7 > 3 \cdot 0,08 \text{ кА}.$$

Надежность срабатывания автоматов обеспечена;

- на отключающую способность:

$$1SF: I_{откл(1SF)} \geq \sqrt{2}I_{к1\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 5,6 \text{ кА};$$

$$SF1: I_{откл(SF1)} \geq \sqrt{2}I_{к2\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 3,6 \text{ кА};$$

$$SF: I_{откл(SF)} \geq \sqrt{2}I_{к3\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 2,8 \text{ кА}.$$

Автомат при КЗ отключается не разрушаясь;

- на отстройку от пусковых токов. Учтено при выборе  $K_o$  для  $I_{y(кз)}$  каждого автомата:

$$I_{y(кз)} \geq I_n \text{ (для ЭД)};$$

$$I_{y(кз)} \geq I_{пуск} \text{ (для РУ)}.$$

2. Согласно условиям проводники проверяются:

- на термическую стойкость:

$$\text{КЛ (ШНН—ШМА)}: S_{ккл} \geq S_{ккл.тс}; 3 \times 95 > 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{ккл.тс} = \alpha I_{к2\infty}^{(3)} \sqrt{t_{пр(1)}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2.$$

По таблице 1.10.3  $t_{пр(I)} = 3,5$  с.

КЛ (ШМА—Н):  $S_{к2} \geq S_{к2,тс}; 50 > 40,2 \text{ мм}^2;$

$$S_{к2,тс} = \alpha I_{к2}^{(3)} \sqrt{t_{пр(I)}} = 11 \cdot 2,8 \cdot \sqrt{1,7} = 40,2 \text{ мм}^2.$$

По таблице 1.10.3  $t_{пр(II)} = 1,7$  с.

По термической стойкости кабельные линии удовлетворяют;

- на соответствие выбранному аппарату защиты:  
учтено при выборе сечения проводника

$$I_{доп} \geq K_{ш} I_{у(п)}.$$

3. Согласно условиям шинопровод проверяется:

- на динамическую стойкость:

$$\sigma_{ш,дин} \geq \sigma_{ш}.$$

Для алюминиевых шин  $\sigma_{доп} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2.$

$$\sigma_{ш} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{5150}{5,3} = 972 \text{ Н/см}^2;$$

$$M_{\max} = 0,125 F_m^{(3)} l = 0,125 \cdot 137,3 \cdot 3 \cdot 10^2 = 5150 \text{ Н} \cdot \text{см},$$

так как  $L_{ш} = 2$  м, то достаточно иметь один пролет  $l = 3$  м.

$$F_m^{(3)} = 0,176 \frac{l}{a} i_{y,к2}^2 = 0,176 \cdot \frac{3 \cdot 10^2}{10} \cdot 5,1^2 = 137,3 \text{ Н}.$$

Принимается установка шин «плашмя» с  $a = 100$  мм (рис. 1.10.2):

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{5 \cdot 10^{-1} \cdot (80 \cdot 10^{-1})^2}{6} = 5,3 \text{ см}^3.$$

$$(7 \cdot 10^3) \sigma_{ш,дин} > \sigma_{ш} (0,972 \cdot 10^3).$$

Шинопровод динамически устойчив;

- на термическую стойкость:

$$S_{ш} \geq S_{ш,тс};$$

$$S_{ш} = bh = 5 \cdot 80 = 400 \text{ мм}^2;$$

$$S_{ш,тс} = \alpha I_{к2}^{(3)} \sqrt{t_{пр}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$(400 \text{ мм}^2) S_{ш} > S_{ш,тс} (74,1 \text{ мм}^2).$$

Шинопровод термически устойчив, следовательно, он выдержит кратковременно нагрев при КЗ до 200 °С.

4. По потере напряжения линия ЭСН должна удовлетворять условию

$$\Delta V \leq 10 \% \text{ от } V_{н}.$$

Составляется расчетная схема для потерь напряжения (рис. 1.10.3) и наносятся необходимые данные.

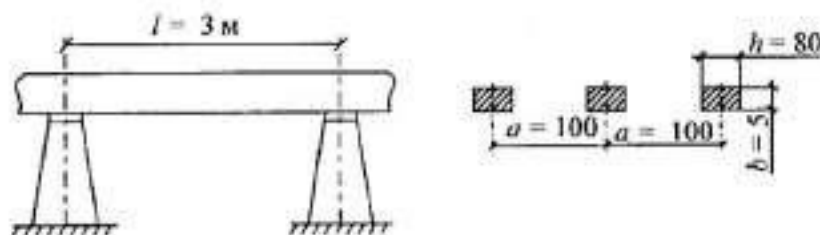


Рис. 1.10.2. Установка шин на опорах

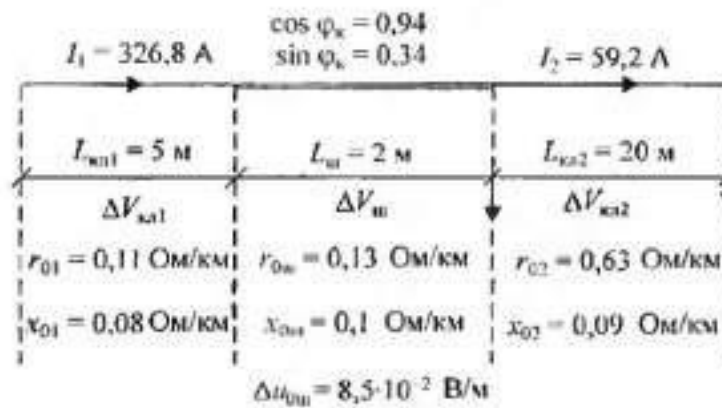


Рис. 1.10.3. Расчетная схема  $\Delta V$ .

Так как токи участков известны, то наиболее целесообразно выбрать вариант расчета  $\Delta V$  по токам участков.

$$\begin{aligned} \Delta V_{к11} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_1 L_{к11} (r_{01} \cos \varphi_k + x_{01} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot (0,11 \cdot 0,94 + 0,08 \cdot 0,34) = 0,1\%; \\ \Delta V_{ш} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_0 L_{ш} (r_{0ш} \cos \varphi_k + x_{0ш} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 \cdot 0,94 + 0,1 \cdot 0,34) = 0,05\% \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \Delta V_{ш} &= \Delta U_{ш} L_{ш} = 8,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 = 17 \cdot 10^{-2} \text{ В}; \\ \Delta V_{к12} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_2 L_{к12} (r_{02} \cos \varphi_k + x_{02} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 59,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (0,63 \cdot 0,94 + 0,09 \cdot 0,34) = 0,3\%; \\ \Delta V &= \Delta V_{к11} + \Delta V_{ш} + \Delta V_{к12} = 0,1 + 0,05 + 0,3 = 0,45\%; \\ \Delta V &\leq \Delta V_{доп} \quad 0,45\% < 10\%, \end{aligned}$$

что удовлетворяет силовые нагрузки.

**Ответ:** Выполненные проверки элементов ЭСН показали их пригодность на всех режимах работы.

## 1.11. РПЗ–11. Выбор и проверка силовых выключателей ВН

### Методика расчета

- Выключатели ВН выбираются по напряжению, току, категории размещения, конструктивному выполнению и коммутационной способности.  
Должны быть выполнены условия

$$\begin{aligned} V_{нв} &\geq V_{ну}; \\ I_{нв} &\geq I_{ну} \end{aligned}$$

где  $V_{нв}$  — номинальное напряжение выключателя, кВ;  
 $V_{ну}$  — номинальное напряжение установки, кВ;  
 $I_{нв}$  — номинальный ток выключателя, А;  
 $I_{ну}$  — номинальный ток установки, А.

- Выключатели ВН проверяются:  
а) на отключающую способность.  
Должны быть выполнены условия

$$\begin{aligned} I_{н.откл} &\geq I_{р.откл}; \\ S_{н.откл} &\geq S_{р.откл} \end{aligned}$$

где  $I_{н.откл}$  и  $I_{р.откл}$  — номинальное и расчетное значения токов отключения, кА;  
 $S_{н.откл}$ ,  $S_{р.откл}$  — номинальная и расчетная полные мощности отключения, МВ·А.

$$\begin{aligned} I_{р.откл} &= I_{с}^{(3)}; \\ S_{р.откл} &= \sqrt{3} I_{р.откл} V_{ну}; \\ S_{н.откл} &= \sqrt{3} I_{н.откл} V_{нв}. \end{aligned}$$

где  $I_{с}^{(3)}$  — 3-фазный ток КЗ в момент отключения выключателя, действующее значение в установившемся режиме, кА;

- б) на динамическую стойкость.  
Должно быть выполнено условие

$$i_{св} \geq i_{у}$$

где  $i_{св}$  — амплитуда предельного сквозного ударного тока КЗ выключателя, кА;  
 $i_{у}$  — амплитуда ударного тока электроустановки, кА,

$$i_{у} = K_{у} \sqrt{2} I_{с}^{(3)};$$

- в) на термическую стойкость.  
Должно быть выполнено условие

$$\begin{aligned} I_{тс} &\geq I_{р.тс}; \\ I_{р.тс} &= I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{тс}}} = I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_{п}}{t_{тс}}}, \end{aligned}$$

где  $I_{тс}, I_{р.тс}$  — токи термической стойкости, каталожный и расчетный, кА;  
 $t_{пр}$  — приведенное время действия КЗ, если отключение произойдет в зоне переходного процесса, с. Приблизительно  $t_{пр} \approx t_{д}$ ;  $t_{д}$  — время действия КЗ фактическое, с,

$$t_{д} = t_{рз} + t_{отв}$$

где  $t_{рз}$  — время срабатывания релейной защиты, с;  
 $t_{отв}$  — собственное время отключения выключателя, с.

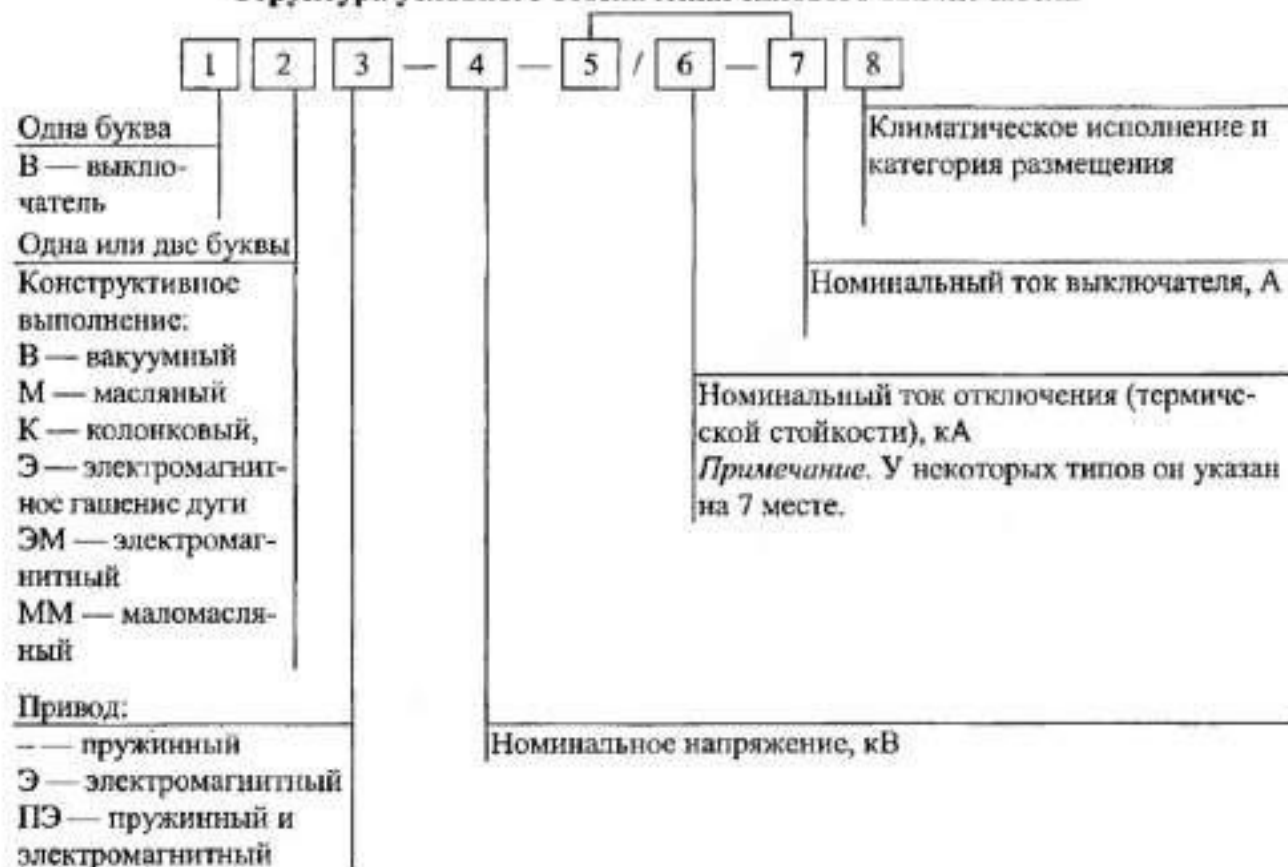
*Примечание.* Величина  $t_{рз}$  определяется при расчете конкретной РЗ.

Величина  $t_{отв}$  для быстродействующих выключателей  $\leq 0,1$  с, а для небыстродействующих  $> 0,1$  с.

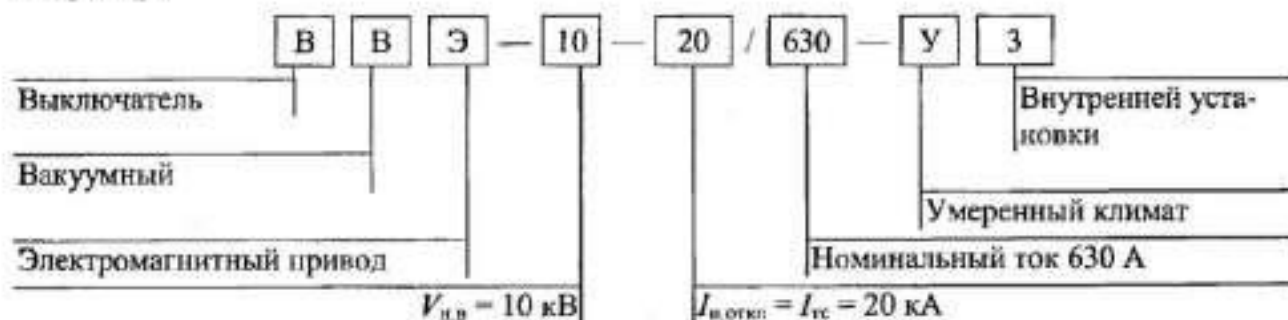
Время одного периода при частоте 50 Гц составляет 0,02 с. Время действия КЗ ( $t_{д}$ ) для сетей 10 кВ составляет 1...3 с, значит, самое быстрое отключение произойдет через 50 периодов, что соответствует зоне давно установившегося КЗ (через 8...10 периодов).

Каталожными данными являются:  $V_{н.в.}, I_{н.в.}, t_{ск}, I_{тс}, I_{н.откл.}, t_{отв}$ .

### Структура условного обозначения силового выключателя



*Например:*



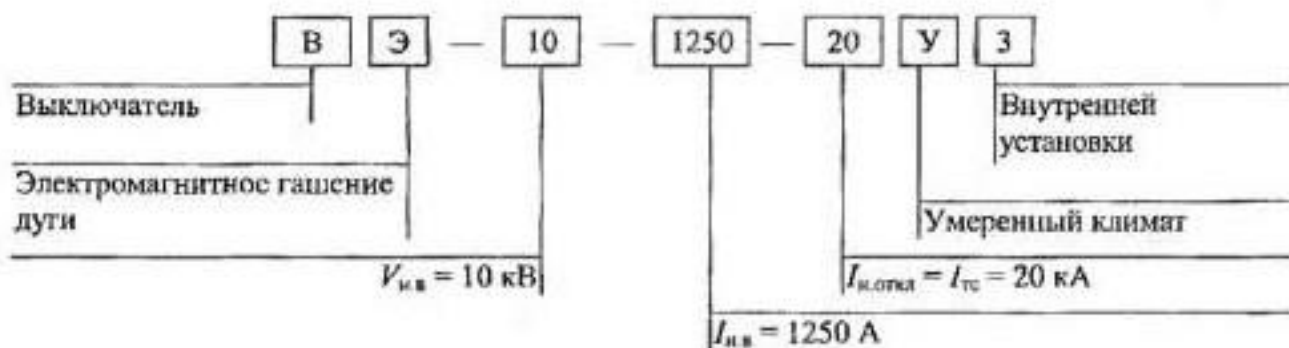


Таблица 1.11.1. Технические данные выключателей ВН на 10 кВ

Тип	Конструктивное исполнение	$I_{нв}, \text{ А}$	Предельные		$t_{тс}, \text{ с}$	$I_{н.откл}, \text{ кА}$	$t_{ов}, \text{ с}$
			$i_{св}, \text{ кА}$	$I_{тс}, \text{ кА}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
ВВЭ-10-20/630 У3 -20/1000 -20/1600 -31,5/630 -31,5/1000 -31,5/1600 -31,5/2000 -31,5/3150	Вакуумные	630	52	20	3	20	0,055
		1000					
		1600					
		630	80	31,5		31,5	
		1000					
		1600					
		2000					
		3150					
ВЭ-10-1250-20 У3 -1600- -2500- -3600- -1250-31,5 У3 -1600- -2500- -3600-	С электромагнитным гашением дуги	1250	51	20	4	20	0,06
		1600					
		2500					
		3600					
		1250	80	31,5		31,5	
		1600					
для КРУ	2500						
	3600						
ВЭМ-10Э-1000-20 У3 -1250-	Электромагнитный	1000	52	20	4	20	0,05
		1250					
ВММ-10-400-10 У2 -10-400-10 У1	Маломасляный	400	25	10	4	10	0,1
ВМПЭ-10-630-20 У2 -10-630-31,5 У2	Масляный	630	52	20	4	20	0,25
			80	31,5		31,5	0,5
ВК-10-630-20 У2 -1000- -1600- -630-31,5 У2 -1000- -1600-	Колонковый масляный	630	52	20	4	20	0,05
		1000					
		1600					
		630	80	31,5		31,5	
		1000					
		1600					
ВКЭ-10-20/630 У3 -20/1000 -20/1600 -31,5/630 -31,5/1000 -31,5/1600		630	52	20	4	20	0,07
		1000					
		1600					
		630	80	31,5		31,5	
		1000					
		1600					



## Пример

### Дано:

$$\begin{aligned}V_{н.у} &= 10 \text{ кВ} \\I_{н.у} &= 23,1 \text{ А} \\R_c &= 10 \text{ Ом} \\X_c &= 1,2 \text{ Ом} \\t_d &= 1 \text{ с}\end{aligned}$$

### Требуется:

- выбрать выключатель ВН, масляный;
- выполнить проверки;
- заполнить ведомость выключателя.

### Решение:

1. Составляется «Ведомость выключателя ВН» (таблица 1.11.2). Заносятся известные данные.

По таблице 1.11.1 согласно условиям выбирается выключатель ВММ-10-400-10 У1:

$$\begin{aligned}V_{н.л} &= 10 \text{ кВ}; \\I_{н.л} &= 400 \text{ А}; \\I_{н.откл} &= 10 \text{ кА}; \\I_{тс} &= 10 \text{ кА}; \\i_{ск} &= 25 \text{ кА}; \\t_{тс} &= 4 \text{ с}; \\t_{ов} &= 0,1 \text{ с}.\end{aligned}$$

Необходимые данные заносятся в «Ведомость».

2. Определяются расчетные данные и заносятся в «Ведомость».

- Ток КЗ на ВН

$$\begin{aligned}I_k^{(3)} &= \frac{V_{н.у}}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{10}{1,73 \cdot 10,1} = 0,57 \text{ кА}; \\Z_k &= \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{10^2 + 1,2^2} = 10,1 \text{ Ом}; \\i_y &= K_y \sqrt{2} I_k^{(3)} = 1,41 \cdot 0,57 = 0,8 \text{ кА}; \\K_y &= 1; \quad I_{\omega}^{(3)} = 0,57 \text{ кА}.\end{aligned}$$

- Отключающая способность

$$\begin{aligned}I_{р.откл} &= I_{\omega}^{(3)} = 0,57 \text{ кА}; \\S_{р.откл} &= \sqrt{3} I_{р.откл} V_{н.у} = 1,73 \cdot 0,8 \cdot 10 = 13,8 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \\S_{н.откл} &= \sqrt{3} I_{н.откл} V_{н.л} = 1,73 \cdot 10 \cdot 10 = 173 \text{ МВ} \cdot \text{А}.\end{aligned}$$

- Ток термической стойкости

$$I_{р.тс} = I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_n}{t_{тс}}} = 0,57 \sqrt{\frac{1}{4}} = 0,28 \text{ кА}.$$

Таблица 1.11.2. Ведомость выключателя ВН

Параметры	Усл. обозн.	Ед. изм.	Условие выбора	Данные выключателя		Дополнительные сведения
				расчет.	катал.	
<b>ВЫБОР</b>						
Номинальное напряжение	$V_n$	кВ	$V_{н.в} \geq V_{н.у}$	10	10	ВММ-10-400-10У1 (таблица 1.11.1)
Номинальный ток	$I_n$	А	$I_{н.в} \geq I_{н.у}$	23,1	400	
<b>ПРОВЕРКА</b>						
Ток отключения	$I_{н.откл}$	кА	$I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$	0,57	10	Отключающая способность
Мощность отключения	$S_{н.откл}$	МВ·А	$S_{н.откл} \geq S_{р.откл}$	13,8	173	
Амплитуда предельного ударного сквозного тока	$i_{ск}$	кА	$i_{ск} \geq i_y$	0,8	25	Динамическая стойкость
Предельный ток термической стойкости	$I_{тс}$	кА	$I_{тс} \geq I_{р.тс}$	0,28	10	Термическая стойкость

Условия выбора выполнены.

**Ответ:** Для ТП выбраны 2 × ВММ-10-400-10У1.

## 1.12. РПЗ–12. Расчет и выбор элементов релейной защиты (РЗ) цехового трансформатора

### Методика расчета

Рассчитать релейную защиту (РЗ) — это значит:

- выбрать вид и схему;
- выбрать токовые трансформаторы и токовые реле;
- Определить чувствительность защиты.

#### Основные понятия

**Ток срабатывания реле ( $I_{ср}$ )** — наименьший ток, при котором реле срабатывает.

**Напряжение срабатывания реле ( $V_{ср}$ )** — наименьшее напряжение, при котором реле срабатывает.

**Ток возврата реле ( $I_{вр}$ )** — наибольший ток, при котором реле возвращается в исходное состояние.

**Напряжение возврата реле ( $V_{вр}$ )** — наибольшее напряжение, при котором реле возвращается в исходное положение.

**Коэффициент возврата ( $K_{в}$ )** — это отношение тока или напряжения возврата к току или напряжению срабатывания, соответственно:

$$K_{в} = \frac{I_{вр}}{I_{ср}} = \frac{V_{вр}}{V_{ср}}$$

**Ток срабатывания защиты ( $I_{сз}$ )** — наименьший первичный ток, при котором срабатывает защита.

**Токовая отсечка (ТО)** — МТЗ с ограниченной зоной действия и токовым реле мгновенного действия (без реле времени).

**Ток срабатывания ТО ( $I_{с.то}$ )** — наименьший ток мгновенного срабатывания защиты в первичной цепи.

#### Выбор вида и схемы РЗ

Сеть ВН цехового трансформатора на напряжение 6...35 кВ имеет изолированную нейтраль. В схемах защиты с силовыми выключателями на ВН (рис. 1.12.1) можно применить следующие виды РЗ:

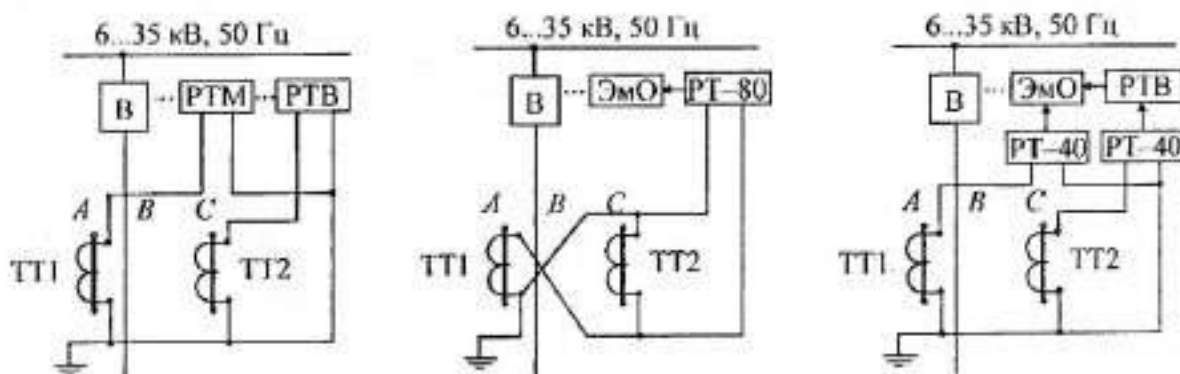


Рис. 1.12.1. Схемы защиты от междуфазных токов КЗ и перегрузок на ВН

- ТО (без выдержки времени) на реле типа РТ-40 косвенного действия при наличии электромагнита отключения (ЭМО), типа РТМ прямого действия при наличии пружинного привода;
- МТЗ на реле типа РТ-40 в сочетании с реле времени типа ЭВ-100 или ЭВ-200 для выключателей с ЭМО, типа РТВ для выключателя с пружинным приводом;
- сочетание ТО и МТЗ на реле типа ИТ-80, РТ-80, РТ-90 для выключателей с ЭМО, типа РТМ и РТВ для выключателей с пружинным приводом.

Токовая отсечка (ТО) обеспечит защиту в зоне КЗ, а максимальная токовая защита (МТЗ) — в зоне перегрузки. Наиболее распространенные схемы, сочетающие ТО и МТЗ, могут быть однорелейные и двухрелейные, на постоянном и переменном оперативном токе.

### Выбор токовых трансформаторов

- Определяется номинальный ток нагрузки на ВН ( $I_{нн}$ )

$$I_{нн} = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_{нн}} \quad (\text{для трансформатора}).$$

- Выбираются по  $I_{1нн}$  и  $I_{2нн}$  трансформаторы тока для установки (таблица 1.12.1) и определяется номинальный коэффициент трансформации

$$K_T = \frac{I_{1нн}}{I_{2нн}}.$$

- Выбирается тип реле тока для защиты (таблица 1.12.2) и определяется уставка срабатывания по току

$$I_{ср(МТЗ)} = \frac{K_{зап} K_{н} K_{сх}}{K_{в} K_T} I_{нн},$$

где  $I_{ср(МТЗ)}$  — ток срабатывания реле, расчетный, А;

$I_{нн}$  — наибольший ток нагрузки защищаемого участка, А;

$K_{зап}$  — коэффициент самозапуска ЭД;

$K_{н}$  — коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле и ТТ (таблица 1.12.3);

$K_{в}$  — коэффициент возврата реле;

$K_{сх}$  — коэффициент схемы включения реле.

**Коэффициент схемы ( $K_{сх}$ )** — это отношение тока реле ( $I_p$ ) к току фазы ( $I_\phi$ ).

$$K_{сх} = \frac{I_p}{I_\phi}.$$

В зависимости от вида защищаемого участка принимаются следующие значения наибольшего тока ( $I_{нн}$ ):

$I_{нн} = I_n$  — линия без электродвигателя;

$I_{нн} = I_n$  — линия с электродвигателем;

$I_{нн} = I_{к.минс}$  — для расчета токовой отсечки;

где  $I_n$ ,  $I_n$  и  $I_{к.минс}$  — ток номинальный в линии, пусковой ток ЭД и ток короткого замыкания (максимальный) в линии.

В зависимости от схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и вида короткого замыкания принимаются следующие значения коэффициентов схемы ( $K_{сх}$ ):

$K_{сх} = 1$  — при соединении обмоток по схеме «исполная звезда»;

$K_{сх} = 1,73$  — во всех случаях при 3-фазном КЗ;

$K_{сх} = 1$  — при КЗ двух фаз и одном токовом трансформаторе;

$K_{сх} = 2$  — при КЗ двух фаз и включении на разность токов обмоток двух ТТ.

Другие коэффициенты схемы на основании опыта эксплуатации принимаются:

$K_{\text{зан}} = 1$  — при отсутствии в линии ЭД,

$K_{\text{зан}} = 2,5 \dots 3,0$  — при наличии ЭД в линии,

$K_{\text{н}} = 1,1 \dots 2,0$  — уточняется по таблице 1.12.3,

$K_{\text{в}} = 0,8 \dots 0,85$ .

По расчетному значению тока срабатывания ( $I_{\text{ср.р}}$ ) выбирается его каталожное значение ( $I_{\text{ср.к}}$ ) согласно условию:

$$I_{\text{ср.к}} \geq I_{\text{ср.р}}$$

Если применяется блокировка минимального напряжения, то

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{р.мин}}}{K_{\text{н}} K_{\text{в}} K_{\text{V}}},$$

где  $V_{\text{р.мин}}$  — минимальное рабочее напряжение нормального режима, В, принимают  $V_{\text{р.мин}} = 0,7V_{\text{н}}$ ;

$K_{\text{н}} = 1,1$ ;

$K_{\text{в}} \leq 1,2$ ;

$K_{\text{V}}$  — коэффициент трансформации трансформатора напряжения,

$$K_{\text{V}} = \frac{V_1}{V_2}; \quad V_2 = 100 \text{ В.}$$

### Определение коэффициента чувствительности защиты

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{ср}} K_{\text{T}}} \text{ (без блокировки по напряжению),}$$

где  $I_{\text{к.мин}}$  — минимальный ток КЗ в конце защищаемого участка, А;

$I_{\text{с.з}}$  — ток срабатывания защиты, А.

МТЗ надежно сработает, если

$$K_{\text{ч}} \geq 1,2 \dots 1,5.$$

При наличии блокировки минимального напряжения аналогично:

$$K_{\text{ч}} = \frac{V_{\text{к.макс}}}{V_{\text{с.з}}} = \frac{V_{\text{к.макс}}}{V_{\text{ср}} K_{\text{V}}},$$

где  $V_{\text{к.макс}}$  — максимальное остаточное напряжение в месте установки защиты, кВ, принимают  $V_{\text{к.макс}} = 0,6V_{\text{н}}$ .

*Примечание.* При токовой отсечке

$$I_{\text{с.то}} = \frac{K_{\text{в}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{T}}} I_{\text{к.макс}}$$

### Структура условного обозначения трансформаторов тока

1		2		3	
Наименование (несколько букв)			Класс точности и число обмоток		
Т — трансформатор тока			Пишется через дробь, напр.: 0,5/Д.		
П — проходной			Это означает, что вторичных обмоток 2: одна класса точности		
Ш — шинный			0,5, а вторая — для дифференциальной защиты		
У — усиленный					
О — одновитковый (первичная обмотка — медный стержень)					
К — катушечный			Класс напряжения (цифра) в кВ		

Наименование (несколько букв)  
 М — модернизированный  
 Б — быстроснабжающийся  
 Ф — фарфоровая изоляция между первичной и вторичной обмотками  
 Д — имеет сердечник в специальном исполнении для дифференциальной защиты  
 З — имеет сердечник в специальном исполнении для защиты от замыканий на землю  
 Р — разъемный сердечник  
 В — встроенный в выключатель  
 Л — с изоляцией из литой синтетической смолы  
 Н — низковольтный  
 ТТ — низковольтный  
 ТК-48 — низковольтный  
 НП — нулевая последовательность

Шкала номинальных напряжений  
 0,66–3–6–10–15–20–35–110–150–220–500

Шкала номинальных первичных токов при  $I_2 = 5 \text{ А}$   
 1,5–10–15–20–30–40–50–75–100–150–200–250–300–400–500–600–750–800–1000–1200–1500–2000–3000–4000–5000–6000–8000–10000–12000–14000–16000–18000–20000–25000–28000–32000–35500–40000

Таблица 1.12.1. Трансформаторы тока

Тип	$I_{1н}$ , А	Обозначение
1	2	3
ТЛМ-6	300–400; 600–1500	Т — трансформатор тока
ТЛМ-10	50–400; 600–1500	Л — с литой изоляцией
ТПЛ-10	10–400	М — модернизированный или малогабаритный
ТПЛК-10	10–1500	П — проходной или для установки на плоских шинах
ТЛ-10	50–3000	К — катушечный
ТВЛМ-10	20–1500	В — втулочный
ТПШЛ-10	2000–5000	Ш — шинный
ТПОЛ-20	400–1500	О — одновинтовой или опорный
ТПОЛ-35	400–1500	

Примечание. Для всех трансформаторов  $I_{2н} = 5 \text{ А}$ .

Таблица 1.12.2. Реле тока

Тип	$I_{ср}$ , А	Тип	$I_{ср}$ , А
1	2	1	2
РТМ-I	5; 7,5; 10; 15	РТ-40/20	5...10
РТМ-II	10; 15; 20; 25	РТ-40/50	12,5...25
РТМ-III	30; 40; 50; 60	РТ-40/100	25...50
РТМ-IV	75; 100; 125; 150	РТ-40/200	50...100
РТМ-10-30	10; 20; 30	РТВ-I, РТВ-IV	5; 6; 7,5; 10



1	2	1	2
РТМ-5-15	5; 10; 15	РТВ-II, РТВ-V	10; 12,5; 15; 17,5
РТМ-20-60	20; 40; 60	РТВ-III, РТВ-VI	20; 25; 30; 35
РТМ-40-120	40; 80; 120	РТВ-5-10	5; 6; 7; 8; 10
РТ-40/0,2	0,05...0,1	РТВ-II-20	11; 12; 14; 16; 18; 20
РТ-40/0,6	0,15...0,3	РТВ-20-35	20; 22; 24; 27; 30
РТ-40/2	0,5...1	РТВ-80, РТВ-90	2-5, 4-10
РТ-40/6	1,5...3	ИТ-81/1	4-10
РТ-40/10	2,5...5	ИТ-81/2	2-5

*Примечание.* Уставку для РТ-40 при параллельном соединении катушек удвоить.

Таблица 1.12.3. Коэффициенты  $K_n$  и  $K_m$ 

Коэффициент		РТМ	РТ-40	РТВ	ИТ-80	РТ-80
$K_n$		0,8...0,85	0,8...0,85	0,8...0,85	0,85	0,85
$K_m$	ТО	1,8...2	1,6...1,8	1,4...1,5	1,4...1,5	1,4...1,5
	П	1,1...1,25				

### Пример

#### Дано:

Линия ЭСН цехового трансформатора, имеющая на ВН силовой выключатель с пружинным приводом

Тип трансформатора ТСЗ-250/10/0,4

$$I_{к2}^{(3)} = 0,3 \text{ кА}$$

$$I_{к1}^{(3)} = 1,8 \text{ кА}$$

Защита от междуфазных КЗ

#### Требуется:

- составить схему РЗ;
- рассчитать и выбрать элементы РЗ от токов КЗ и перегрузки;
- проверить надежность РЗ.

#### Решение:

1. Составляется схема РЗ (рис. 1.12.2) и наносятся данные.

- Так как требуется РЗ от токов КЗ и перегрузки, то принимается ТО (участок сразу после  $Q$  до точки К1) и МТЗ (далее до Т) на ВН.
- Так как выключатель силовой ( $Q$ ) имеет пружинный привод, к установке принимается реле прямого действия типа РТМ и РТВ.
- Для защиты от междуфазных КЗ принимается схема соединения ТТ и вторичной нагрузки (реле) — на разность токов двух фаз.
- Так как сеть с ИН на ВН, то замыкание одной фазы на землю (или повреждение изоляции) контролирует УКИ с включением сигнализации при нарушении.

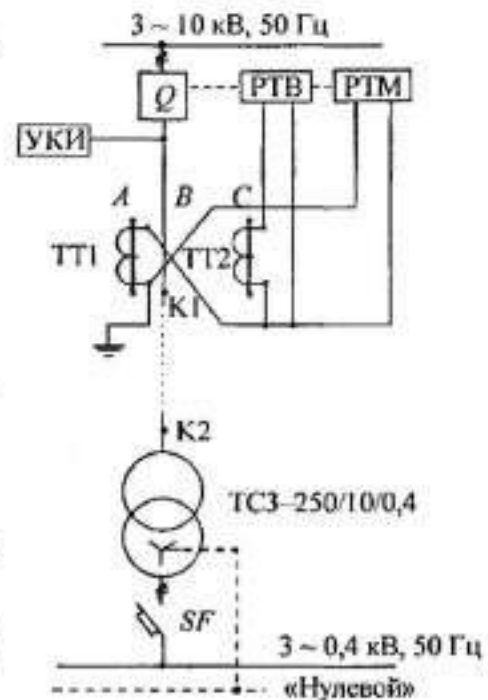


Рис. 1.12.2. Схема РЗ



- На НН сеть с ГЗН, 4-проводная, поэтому все виды защит обеспечивает автомат SF.
- Так как трансформатор «сухой», то ГЗ не устанавливается.

## 2. Выбираются токовые трансформаторы.

- Определяется ток в линии ЭСН

$$I_1 = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_1} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ А.}$$

- Так как в линии ЭСН нет ЭД, то отстройка от пусковых токов не требуется.  
Принимаются к установке в РЗ трансформаторы тока типа ТЛ-10 с  $I_1 = 50 \text{ А}$  и  $I_2 = 5 \text{ А}$  в количестве 2 штук по таблице 1.12.1.
- Определяется коэффициент трансформации

$$K_T = \frac{I_1}{I_2} = \frac{50}{5} = 10.$$

## 3. Выбирается реле ТО типа РТМ.

- Определяется ток срабатывания реле

$$I_{ср(р(то))} = \frac{K_n K_{сх}}{K_T} I_{н2,мин} = \frac{1,8 \cdot 1,73}{10} \cdot 0,3 \cdot 10^3 = 93,4 \text{ А.}$$

По таблице 1.12.3  $K_{н(то)} = 1,8$ .

$I_{н макс}^{(3)}$  будет при 3-фазном токе КЗ, тогда  $K_{сх} = 1,73$ .

- По таблице 1.12.2 выбирается РТМ-IV,  $I_{ср} = 100 \text{ А}$ ;
- Определяется  $K_{н(то)}$  и надежность срабатывания ТО при наименьшем (2-фазном) токе КЗ в начале линии ЭСН:

$$K_{н(то)} = \frac{I_{н1}^{(2)}}{I_{сз}} = \frac{0,87 \cdot 1800}{10 \cdot 100} = 1,57;$$

$$I_{н мин} = I_{н}^{(2)} = 0,87 I_{н}^{(3)};$$

$$I_{сз} = K_T I_{ср}.$$

Условие надежности  $K_n \geq 1,2$  выполнено, следовательно, ТО срабатывает надежно.

## 4. Выбирается реле МТЗ типа РТВ.

- Определяется ток срабатывания реле

$$I_{ср(р(мтз))} \geq \frac{K_{зп} K_n K_{сх}}{K_n K_T} I_{н0} = \frac{1 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}}{0,8 \cdot 10} \cdot 14,5 = 3,9 \text{ А.}$$

$$I_{ср(р)} \geq \frac{I_{н0}}{K_T}; \quad K_{зп} = 1 \text{ (нет ЭД)}; \quad K_{сх} = 1,25;$$

$$I_{н0} = 14,5 \text{ А.}$$

- По таблице 1.12.2 выбирается РТВ-I,  $I_{ср} = 5 \text{ А}$ .
- Определяется  $K_{н(мтз)}$  и надежность срабатывания МТЗ на остальном участке при  $I_{н2}^{(2)}$  (в конце линии):

$$K_{н(мтз)} = \frac{I_{н мин}}{I_{сз}} = \frac{0,87 \cdot 300}{5 \cdot 10} = 5,2.$$

Условие надежности выполнено ( $K_{н(мтз)} \geq 1,2$ ).

## 5. Составляется схема зон действия РЗ (рис. 1.12.3).

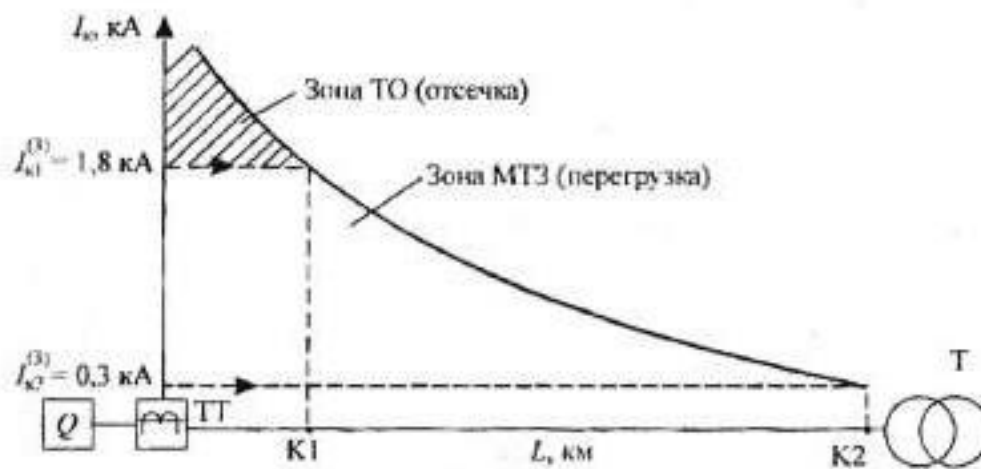


Рис. 1.12.3. Зоны действия РЗ

**Ответ:** РЗ состоит из:  
 2 × ТЛ-10,  $I_1 = 50$  А,  $I_2 = 5$  А;  
 РТМ-IV,  $I_{cp} = 100$  А;  
 РТВ-1,  $I_{cp} = 5$  А.

Таблица 1.12.4. Индивидуальные задания для РПЗ-12

Вариант	Электроприемник	Выключатель	РЗ		$I_k^{(3)}$ , кА	
			реле	схема	$I_{ки}$	$I_{кк}$
1	2	3	4	5	6	7
1	ТМ-100/35/0,4	П	2	НЗ	0,2	0,04
2	ТМ-2500/20/0,4	Э	1	НЗ	6	1,2
3	ТМ-2500/10/0,4	П	2	Разн.	12,5	2,4
4	ТМ-2500/6/0,4	Э	2	Разн.	12,5	2,4
5	ТМ-160/35/0,4	П	2	НЗ	0,3	0,06
6	ТСЗ-400/10/0,4	Э	1	Разн.	2	0,4
7	ТСЗ-400/6/0,4	П	2	Разн.	4	0,8
8	ТМ-250/35/0,4	Э	2	НЗ	0,4	0,08
9	ТМ-1000/20/0,4	П	2	НЗ	2,5	0,5
10	ТСЗ-250/15/0,4	Э	1	НЗ	0,8	0,16
11	ТСЗ-160/10/0,4	П	2	Разн.	0,8	0,16
12	ТСЗ-250/6/0,4	Э	2	Разн.	2,5	0,5
13	ТМ-1600/35/0,4	П	2	НЗ	3	0,6
14	ТМ-1600/20/0,4	Э	1	Разн.	4	0,8
15	ТСЗ-1600/10/0,4	П	2	Разн.	8	1,6
16	ТСЗ-1600/6/0,4	Э	2	НЗ	16	1,6
17	ТМН-1000/35/0,4	П	2	НЗ	2	0,4
18	ТСЗ-1000/15/0,4	Э	1	НЗ	3	0,6
19	ТСЗ-1000/10/0,4	П	2	Разн.	5	1
20	ТСЗ-1000/6/0,4	Э	2	Разн.	10	1
21	ТМ-630/35/0,4	П	2	НЗ	1	0,2
22	ТСЗ-630/15/0,4	Э	1	Разн.	2,1	0,42
23	ТСЗ-630/10/0,4	П	2	Разн.	3,2	0,64
24	ТСЗ-630/6/0,4	Э	2	НЗ	6,3	1,2
25	ТМ-400/35/0,4	П	2	НЗ	0,7	0,14

1	2	3	4	5	6	7
26	ТСЗ-400/15/0,4	Э	1	НЗ	1,3	0,26
27	ТСЗ-250/10/0,4	П	2	Разн.	1,8	0,3

*Примечание.*

П — пружинный привод;

Э — электромагнитный привод;

$I_{кн}$  — ток КЗ в начале действия МТЗ;

$I_{кк}$  — ток КЗ в конце линии ЭСН;

НЗ — схема «неполная звезда»;

Разн. — схема включения на разность токов двух фаз.

В каждом варианте РИЗ-12 требуется:

- составить схему РЗ, изобразить;
- рассчитать и выбрать по каталогу элементы РЗ (ТТ, РТ);
- проверить надежность ( $K_n$ ).

## 1.13. РПЗ–13. Расчет заземляющего устройства электроустановок

### Методика расчета

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

- определить расчетный ток замыкания на землю ( $I_3$ ) и сопротивление ЗУ ( $R_3$ );
- определить расчетное сопротивление грунта ( $\rho_p$ );
- выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;
- уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

*Примечание.* При использовании естественных заземлений

$$R_n = \frac{R_e R_3}{R_e - R_3},$$

где  $R_n, R_e$  — сопротивление искусственных и естественных заземлений, Ом.

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

$$R_e = \frac{\rho}{\sqrt{S}},$$

где  $\rho = 100$  Ом · м (суглинок);

$S$  — площадь, ограниченная периметром здания, м<sup>2</sup>.

**Определение  $I_3$  и  $R_3$**

В любое время года согласно ПУЭ

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3},$$

где  $R_3$  — сопротивление заземляющего устройства, Ом (не более 10 Ом);

$I_3$  — расчетный ток замыкания на землю, А (не более 500 А).

Расчетный (емкостный) ток замыкания на землю определяется приближенно

$$I_3 = \frac{V_n (35L_{каб} + L_{возд})}{350},$$

где  $V_n$  — номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$L_{каб}, L_{возд}$  — длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

*Примечание.* В электроустановках с ИН до 1 кВ

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3} \text{ (не более 4 Ом).}$$

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

По этой же формуле рассчитывают  $R_3$ , если ЗУ выполняется общим для сетей до и выше 1 кВ.

При совмещении ЗУ различных напряжений принимается  $R_3$  наименьшее из требуемых значений (таблица 1.13.1).

## Определение $\rho_p$ грунта

$$\rho_p = K_{\text{сез}} \rho_s$$

где  $\rho_p$  — расчетное удельное сопротивление грунта, Ом · м;  
 $K_{\text{сез}}$  — коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта,  
 $K_{\text{сез}} = F$  (климатическая зона, вид заземлителей), принимается по таблице 1.13.2.

## Выбор и расчет сопротивления электродов

Выбор электродов — по таблице 1.13.4.

Приблизленно сопротивление одиночного вертикального заземления определяется по формуле

$$r_v = 0,3 \rho_p.$$

Сопротивление горизонтального электрода (полосы) определяется по формуле

$$r_p = \frac{0,4 \rho_p}{L_n} \lg \frac{2L_n^2}{bt},$$

где  $L_n$  — длина полосы, м;

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

$t$  — глубина заложения, м.

Определение сопротивлений с учетом коэффициента использования.

$$R_v = \frac{r_v}{\eta_v}; \quad R_p = \frac{r_p}{\eta_p},$$

где  $R_v$  и  $R_p$  — сопротивление вертикального и горизонтального электродов с учетом коэффициентов использования, Ом;

$\eta_v$  и  $\eta_p$  — коэффициенты использования вертикального и горизонтального электродов, определяются по таблице 1.13.5:

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

где  $a$  — расстояние между вертикальными заземлителями, м;

$L$  — длина вертикального заземлителя, м;

$N_v$  — число вертикальных заземлителей.

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом соединительной полосы

$$R_v \leq \frac{R_p R_2}{R_p - R_2}$$

## Уточнение числа вертикальных электродов

Необходимое число вертикальных заземлителей определяется следующим образом:

$$N'_v = \frac{R_v}{R_v \eta_v} \quad (\text{при использовании естественных и искусственных заземлителей});$$

$$N'_v = \frac{R_v}{R_1 \eta_v} \quad (\text{при использовании только искусственных заземлителей});$$

$$N'_v = \frac{r_2}{R_v \eta_{в,у}},$$

где  $\eta_{в,у}$  — уточненное значение коэффициента использования вертикальных заземлителей.

Таблица 1.13.1. Наибольшие допустимые значения  $R_1$  для 3-фазных сетей

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

Примечание. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные выше значения в 0,01ρ раз, но не более 10-кратного.

Таблица 1.13.2. Коэффициенты сезонности  $K_{\text{сез}}$

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

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

ρ — удельное сопротивление грунта, измерено при нормальной влажности, Ом·м, принимается по таблице 1.13.3.

Таблица 1.13.3. Удельное сопротивление грунта (ρ)

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

Таблица 1.13.4. Рекомендуемые электроды

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

Таблица 1.13.5. Значения коэффициентов использования электродов

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

### Пример 1

Дано:

$$A \times B = 15 \times 12 \text{ м}$$

$$V_{\text{зп}} = 20 \text{ кВ}$$

$$L_{\text{лн(кл)}} = 10 \text{ км}$$

$$V_n = 0,4 \text{ кВ}$$

$$\rho = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м (сухость)}$$

$$t = 0,7 \text{ м}$$

Климатический район — IV

Вертикальный электрод — уголок (75 × 75),  $L_k = 3 \text{ м}$

Вид ЗУ — контурное

Горизонтальный электрод — полоса (40 × 4 мм)

Требуется:

- определить количество вертикальных и длину горизонтальных заземлителей;
- показать размещение ЗУ на плане;
- определить фактическое значение сопротивления ЗУ.

Решение:

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_n = 0,3\rho K_{\text{сез,в}} = 0,3 \cdot 300 \cdot 1,3 = 117 \text{ Ом.}$$

По таблице 1.13.2  $K_{\text{сез,в}} = F(\text{верт., IV}) = 1,3$ .

2. Определяется предельное сопротивление совмещенного ЗУ

$$R_{\text{зуп}} \leq \frac{125}{I_3} = \frac{125}{20} = 6,25 \text{ Ом (для ЛЭП ВН);}$$

$$I_3 = \frac{V_{\text{зп}} \cdot 35 \cdot L_{\text{кл}}}{350} = \frac{20 \cdot 35 \cdot 10}{350} = 20 \text{ А;}$$

Требуемое по НН  $R_{\text{зуп}} \leq 4 \text{ Ом на НН.}$



Принимается  $R_{\text{н}2} = 4 \text{ Ом}$  (наименьшее из двух).

Но так как  $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , то для расчета принимается

$$R_{\text{гг}} \leq 4 \frac{\rho}{100} = 4 \cdot \frac{300}{100} = 12 \text{ Ом.}$$

3. Определяется количество вертикальных электродов:

- без учета экранирования (расчетное)

$$N'_{\text{вп}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{гг}}} = \frac{117}{12} = 9,75. \text{ Принимается } N'_{\text{вп}} = 10;$$

- с учетом экранирования

$$N_{\text{вп}} = \frac{N'_{\text{вп}}}{\eta_{\text{в}}} = \frac{10}{0,69} = 14,5. \text{ Принимается } N_{\text{в}} = 15.$$

По таблице 1.13.5  $\eta_{\text{в}} = F(\text{тип ЗУ, вид заземления, } \frac{a}{L}, N_{\text{в}}) = F(\text{контурное, вертикальное, } 2, 10) = 0,69.$

4. Размещается ЗУ на плане (рис. 1.13.1) и уточняются расстояния, наносятся на план.

Так как контурное ЗУ закладывается на расстоянии не менее 1 м, то длина по периметру закладки равна

$$L_{\text{н}} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = (15 + 2) \cdot 2 + (12 + 2) \cdot 2 = 62 \text{ м.}$$

Тогда расстояние между электродами уточняется с учетом формы объекта. По углам устанавливаются по одному вертикальному электроду, а оставшиеся — между ними.

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается  $N_{\text{в}} = 16$ , тогда

$$a_{\text{в}} = \frac{B'}{n_{\text{в}} - 1} = \frac{14}{4} = 3,5 \text{ м}; \quad a_{\text{д}} = \frac{A'}{n_{\text{д}} - 1} = \frac{17}{4} = 4,25 \text{ м,}$$

где  $a_{\text{в}}$  — расстояние между электродами по ширине объекта, м;

$a_{\text{д}}$  — расстояние между электродами по длине объекта, м;

$n_{\text{в}}$  — количество электродов по ширине объекта;

$n_{\text{д}}$  — количество электродов по длине объекта.

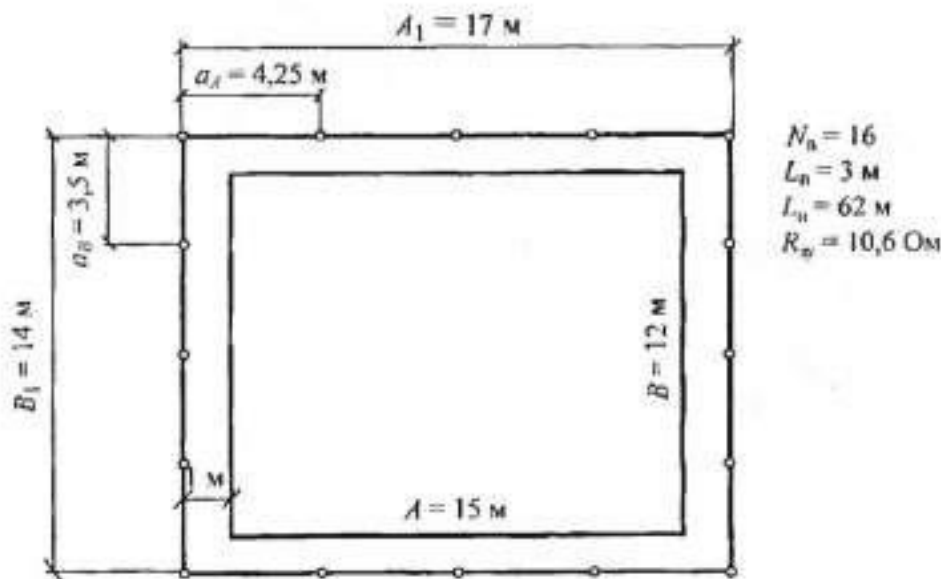


Рис. 1.13.1. План ЗУ подстанции

Для уточнения принимается среднее значение отношения

$$\left(\frac{a}{L_n}\right)_{\text{cp}} = \frac{1}{2} \left( \frac{a_B + a_A}{3} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{3,5 + 4,25}{3} \right) = 1,3.$$

Тогда по таблице 1.13.5 уточняются коэффициенты использования

$$\eta_B = F(\text{конт.}; 1,3; 16) = 0,56;$$

$$\eta_T = F(\text{конт.}; 1,3; 16) = 0,32.$$

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов

$$R_T = \frac{0,4}{L_n \eta_T} \rho K_{\text{сезг}} \lg \frac{2L_n^2}{bt} = \frac{0,4}{62 \cdot 0,32} \cdot 300 \cdot 1,8 \lg \frac{2 \cdot 62^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 54,2 \text{ Ом.}$$

По таблице 1.13.2  $K_{\text{сезг}} = F(IV) = 1,8$ .

$$R_n = \frac{r_B}{N_n \eta_B} = \frac{117}{16 \cdot 0,56} = 13,1 \text{ Ом.}$$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{\text{з.ф}} = \frac{R_n R_T}{R_n + R_T} = \frac{13,1 \cdot 54,2}{13,1 + 54,2} = 10,6 \text{ Ом;}$$
$$R_{\text{з.ф}}(10,6) < R_{\text{з}}(12),$$

следовательно, ЗУ эффективно.

**Ответ:** ЗУ объекта состоит из:

$$N_n = 16;$$

$$L_n = 3 \text{ м; } 75 \times 75 \text{ мм;}$$

$$a_A = 4,25 \text{ м; } a_B = 3,5 \text{ м;}$$

$$L_n = 62 \text{ м; } \text{полоса — } 40 \times 4 \text{ мм;}$$

$$R_{\text{з.ф}} = 10,6 \text{ Ом.}$$

## Пример 2

**Дано:**

$$L_{\text{вл}} = 5 \text{ км}$$

$$L_{\text{вл}} = 5 \text{ км}$$

$$\text{ТП-10/0,23 кВ}$$

$$\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м (грунт — щебень)}$$

$$A \times B = 15 \times 12 \text{ м}$$

$$t = 0,5 \text{ м}$$

Вид ЗУ — рядное

Климатическая зона — I

Вертикальный электрод — сталь  $\varnothing 16$ ,  $L = 5 \text{ м}$

Горизонтальный — полоса стальная  $40 \times 4 \text{ мм}$

**Требуется:**

- определить количество вертикальных электродов ( $N_n$ ) и длину горизонтальной полосы;
- определить фактическое  $R_{\text{з.ф}}$ ;
- разместить ЗУ на плане.

**Решение:**

1. Определяется расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_n = 0,3\rho K_{\text{сет.в}} = 0,3 \cdot 200 \cdot 1,9 = 114 \text{ Ом.}$$

По таблице 1.13.2  $K_{\text{сет.в}} = F(\text{зона I}) = 1,9;$   
 $K_{\text{сет.г}} = F(\text{зона I}) = 5,8.$

2. Определяется расчетное сопротивление совмещенных ЗУ подстанции

$$R_{\text{зз}} \leq \frac{125}{I_2} = \frac{125}{5,1} = 24,5 \text{ Ом};$$
$$I_2 = \frac{V_n(35L_{\text{зн}} + L_{\text{зн}})}{350} = \frac{10(35 \cdot 5 + 5)}{350} = 5,1 \text{ А.}$$

$R_{\text{зз}2} = 8 \text{ Ом};$  для сети НН, но допустимое при данном грунте определяется  $R_{\text{зз,доп}} = R_{\text{зз}2} \cdot 0,01\rho = 8 \cdot 0,01 \cdot 200 = 16 \text{ Ом.}$

Следовательно, для расчета принимается  $R_{\text{зз}} = 16 \text{ Ом.}$

3. Определяется количество вертикальных электродов расчетное:

- без учета экранирования

$$N'_{\text{в.р}} = \frac{r_n}{R_{\text{зз}}} = \frac{114}{16} = 7,1, \text{ принимается } N'_{\text{в.р}} = 8;$$

- с учетом экранирования

$$N_{\text{в.р}} = \frac{N'_{\text{в.р}}}{\eta_n} = \frac{8}{0,6} = 13,3, \text{ принимается } N_{\text{в.р}} = 14.$$

По таблице 1.13.5  $\eta_n = F(\text{рядное}; 1,8) = 0,6.$

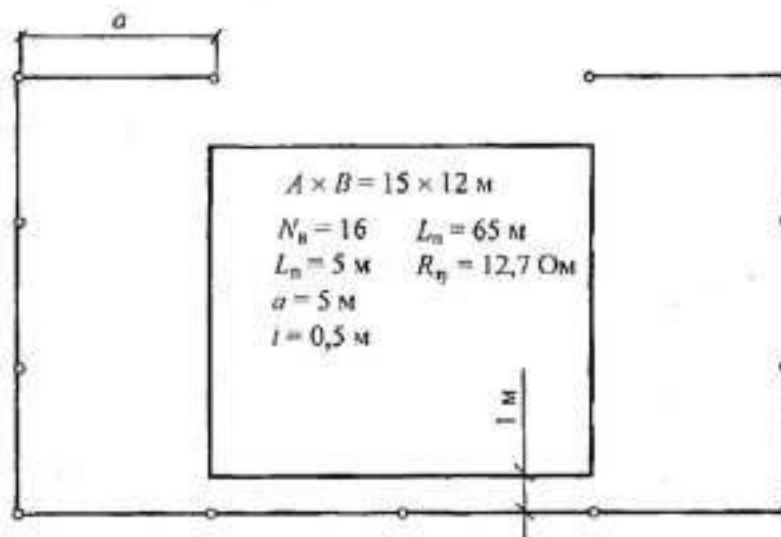
4. Размещается ЗУ на плане (рис. 1.13.2).

Так как выбрано  $\frac{a}{L} = 1$ , то  $a = L = 5 \text{ м.}$

Минимальное расстояние от объекта — 1 м.

*Примечание.* При прямой прокладке получится большая протяженность по территории, что нецелесообразно.

$$L_n = a(N_{\text{в.р}} - 1) = 5 \cdot (14 - 1) = 65 \text{ м.}$$



**Рис. 1.13.2.** План ЗУ ТП-10/0,23

5. Определяются уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов:

$$R_0 = \frac{r_0}{N_0 \eta_0} = \frac{114}{14 \cdot 0,54} = 15,1 \text{ Ом.}$$

По таблице 1.13.5  $\eta_0 = F(\text{рядное}; 1,14) = 0,54;$   
 $\eta_r = F(\text{рядное}; 1,14) = 0,54.$

$$R_r = \frac{0,4}{L_n \eta_r} \rho K_{\text{сез, r}} \lg \frac{2L_n^2}{bt} = \frac{0,4}{65 \cdot 0,54} \cdot 200 \cdot 5,81 \lg \frac{2 \cdot 65^2}{17,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5} = 79 \text{ Ом,}$$

так как вертикальный электрод круглый, то  $b = 1,1 \cdot 16 = 17,6 \text{ мм.}$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{\text{з.ф}} = \frac{R_0 R_r}{R_0 + R_r} = \frac{15,1 \cdot 79}{15,1 + 79} = 12,7 \text{ Ом.}$$

(16 Ом)  $R_{\text{з.доп}} > R_{\text{з.ф}}$  (12,7 Ом), следовательно, ЗУ будет эффективным.

**Ответ:** ЗУ ТП–10/0,23 состоит из 14 вертикальных электродов  $L_0 = 5 \text{ м, } d = 16 \text{ мм; } L_n = 65 \text{ м, } 40 \times 4 \text{ мм, } R_{\text{з.ф}} = 12,7 \text{ Ом.}$

Таблица 1.13.6. Индивидуальные задания для РПЗ–13

Вариант	ЛЭП, км		ТП — $\frac{V_1}{V_2}$ , кВ	Грунт, $\rho$ , Ом · м	$A \times B$ , м	$t$ , м	Вид ЗУ	Клим. зона	Искусственные заземлители, размер, мм	
	$L_{\text{кз}}$	$L_{\text{кв}}$							В	Г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	15	5	$\frac{35}{0,4}$	Песок 800	18 × 8	0,5	К	IV	Стальной уголок 50 × 50 × 5 $L = 2,5 \text{ м}$	Полоса 40 × 4
2	20	—	$\frac{20}{0,4}$	Супесь 300	15 × 10	0,6	Р	III		
3	—	3	$\frac{10}{0,4}$	Щебень 200	10 × 8	0,7	К	II		
4	5	1	$\frac{6}{0,4}$	Суглинок 100	12 × 10	0,7	Р	I		
5	3	—	$\frac{3}{0,4}$	Чернозем 50	10 × 10	0,6	К	II	Круглая сталь $d = 12$ $L = 5 \text{ м}$	Пру- ток $d = 10$
6	—	5	$\frac{35}{0,65}$	Глина 40	18 × 10	0,5	Р	III		
7	15	1	$\frac{20}{0,65}$	Торф 20	16 × 8	0,5	К	IV		
8	8	2	$\frac{10}{0,65}$	Песок 800	15 × 8	0,6	Р	IV	Стальной уголок 60 × 60 × 6 $L = 3 \text{ м}$	Пру- ток $d = 12$
9	6	—	$\frac{6}{0,65}$	Супесь 300	12 × 8	0,7	К	III		
10	—	2	$\frac{3}{0,65}$	Щебень 200	10 × 9	0,7	Р	II		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	25	1	$\frac{35}{0,23}$	Суглинок 100	20 × 10	0,6	К	I	Стальной уголок 60 × 60 × 6 L = 3 м	Пру- ток d = 12
12	10	5	$\frac{20}{0,23}$	Чернозем 50	15 × 12	0,5	Р	I	Труба стальная d = 60 L = 2,5 м	Полоса 40 × 4
13	10	—	$\frac{10}{0,23}$	Глина 40	15 × 8	0,5	К	II		
14	—	6	$\frac{6}{0,23}$	Торф 20	12 × 6	0,6	Р	III		
15	2	—	$\frac{3}{0,23}$	Песок 800	10 × 10	0,7	К	IV		
16	—	10	$\frac{20}{0,4}$	Супесь 300	15 × 12	0,7	Р	IV	Стальной уголок 75 × 75 × 8 L = 3 м	Полоса 40 × 4
17	4	5	$\frac{10}{0,4}$	Щебень 200	16 × 10	0,6	К	III		
18	5	—	$\frac{6}{0,4}$	Суглинок 100	10 × 8	0,5	Р	II		
19	—	2,5	$\frac{3}{0,4}$	Чернозем 50	12 × 10	0,5	К	I		
20	15	4	$\frac{20}{0,65}$	Глина 40	18 × 10	0,6	Р	I	Круглая сталь d = 15 L = 6 м	Пру- ток d = 12
21	9	1	$\frac{10}{0,65}$	Торф 20	18 × 8	0,7	К	IV		
22	4	2	$\frac{6}{0,65}$	Песок 800	16 × 10	0,7	Р	III		
23	1	2	$\frac{3}{0,65}$	супесь 300	12 × 8	0,6	К	II		
24	5	5	$\frac{10}{0,23}$	щебень 200	15 × 12	0,5	Р	I	Круглая сталь d = 16 L = 5 м	Полоса 40 × 4
25	3	3	$\frac{6}{0,23}$	Суглинок 100	12 × 10	0,5	К	I		

Примечание. К — контурное, Р — рядное.

## 1.14. РПЗ–14. Расчет молниезащиты

### Методика расчета

Рассчитать молниезащиту — это значит определить тип защиты, ее зону и параметры (таблица 1.14.1).

По типу молниезащита (м/з) может быть следующей:

- одностержневой;
- двухстержневой одинаковой или разной высоты;
- многократной стержневой;
- одиночной тросовой;
- многократной тросовой.

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А — степень надежности защиты  $\geq 99,5\%$ ;

Б — степень надежности защиты  $95 \dots 99,5\%$ .

Параметрами молниезащиты являются:

$h$  — полная высота стержневого молниесотода, м;

$h_0$  — высота вершины конуса стержневого молниесотода, м;

$h_x$  — высота защищаемого сооружения, м;

$h_m$  — высота стержневого молниеприемника, м;

$h_a$  — активная высота молниесотода, м;

$r_0, r_x$  — радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м;

$h_c$  — высота средней части двойного стержневого молниесотода, м;

$2r_c, 2r_x$  — ширина средней части зоны двойного стержневого молниесотода на уровне земли и на высоте защищаемого объекта, м;

$\alpha$  — угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

$L$  — расстояние между двумя стержневыми молниесотодами, м;

$a$  — длина пролета между опорами троса, м;

$h_{оп}$  — высота опоры троса, м;

$r_x + r'_x$  — ширина зоны тросового молниесотода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_{сх}$  — длина зоны двойного тросового молниесотода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_c$  — длина зоны двойного тросового молниесотода на уровне земли, м.

Ожидаемое количество поражений ( $N$ ) молнией в год производится по формулам:

— для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$N = 9\pi h_x^2 n \cdot 10^{-6},$$

где  $h_x$  — наибольшая высота здания или сооружения, м;

$n$  — среднегодовое число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения (т. е. удельная плотность ударов молнии в землю),  $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ , определяется по таблице 1.14.2;

— для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2] n \cdot 10^{-6},$$

где  $A$  и  $B$  — длина и ширина здания или сооружения, м.

*Примечание.* Если здание и сооружение имеют сложную конфигурацию, то  $A$  и  $B$  — это стороны прямоугольника, в который вписывается на плане защищаемый объект.

Таблица 1.14.1. Расчетные формулы молниеотводов при  $h \leq 150$  м

Зона А	Зона Б
1	2
<b>Одиночные стержневые молниеотводы (рис. 1.14.1)</b>	
$h_0 = 0,85h$ $r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)h$ $r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3}h)(h - 1,2h_x)$	$h_0 = 0,92h$ $r_0 = 1,5h$ $r_x = 1,5(h - 1,1h_x)$
<b>Двойные стержневые молниеотводы одинаковой высоты (рис. 1.14.2)</b>	
<b>При <math>L \leq h</math></b> $h_c = h_0$ $r_{cx} = r_x$ $r_c = r_0$	
<b>При <math>h &lt; L \leq 2h</math></b> $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$ <b>При <math>2h &lt; L \leq 4h</math></b> $h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h)$ $r_c = r_0 \left[ 1 - \frac{0,2}{h}(L - 2h) \right]$ $r_{cx} = r_c(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$ <b>При <math>L &gt; 4h</math></b> Молнисотводы рассматривать как одиночные	<b>При <math>h &lt; L \leq 6h</math></b> $h_c = h_0 - 0,14(L - h)$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$ <b>При <math>L &gt; 6h</math></b> Молниеотводы рассматривать как одиночные
<b>Двойные стержневые молниеотводы разной высоты (рис. 1.14.3)</b>	
Габаритные размеры торцевых областей зон защиты $h_{01}, h_{02}, r_{01}, r_{02}, r_{x1}, r_{x2}$ определяются как для одиночных стержневых молниеотводов. Габаритные размеры внутренней области зоны защиты определяются по формулам $r_c = 0,5(r_{01} + r_{02}); h_c = 0,5(h_{c1} + h_{c2}); r_x = (h_c - h_x) \frac{r_c}{h_c}$ Значения $h_{c1}$ и $h_{c2}$ определяются как для двойных стержневых молниеотводов одинаковой высоты	
<b>Многократные стержневые молниеотводы (рис. 1.14.4)</b>	
Зона защиты строится посредством попарно взятых соседних стержневых молниеотводов. Основным условием защищенности одного или нескольких объектов высотой с надежностью зон А или Б является $r_{cx} > 0$	
<b>Одиночные тросовые молниеотводы (рис. 1.14.5)</b>	
$h_0 = 0,85h$ $r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)$ $r_x = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4}h)(h - 1,2h_x)$	$h_0 = 0,92h$ $r_0 = 1,7h$ $r_x = 1,7(h - 1,1h_x)$
<b>Двойные тросовые молнисотводы одинаковой высоты (рис. 1.14.6)</b>	
<b>При <math>L \leq h</math></b> $h_c = h_0$ $r_{cx} = r_x$ $r_c = r_0$	



1	2
<p>При <math>h &lt; L \leq 2h</math></p> $h_c = h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4}h)(L-h)$ $r'_c = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$	<p>При <math>h &lt; L \leq 6h</math></p> $h_c = h_0 - 0,12(L-h)$ $r'_c = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$ $r_c = r_0$ $r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}$
<p><b>Двойные тросовые молниеотводы разной высоты (рис. 1.14.7)</b></p>	
<p>Значения <math>h_{01}, h_{02}, r_{01}, r_{02}, r_{x1}, r_{x2}</math> определяются по формулам одиночных тросовых молниеотводов. Для определения размеров <math>r_c</math> и <math>h_c</math> используются формулы</p> $r_c = 0,5(r_{01} + r_{02}); \quad h_c = (h_{c1} + h_{c2}).$ <p>Значения <math>h_{c1}, h_{c2}, r'_{x1}, r'_{x2}, r_{cx}</math> вычисляются по выше приведенным формулам двойного тросового молниеотвода</p>	

*Примечание.* Для одиночного тросового молниеотвода  $h$  — это высота троса в середине пролета. С учетом провеса троса сечением 35...50 мм<sup>2</sup> при известной высоте опор ( $h_{оп}$ ) и длине пролета ( $a$ ) высота троса (в метрах) определяется по формулам

$$h = h_{оп} - 2 \quad \text{— при } a \leq 120 \text{ м;}$$

$$h = h_{оп} - 3 \quad \text{— при } 120 < a \leq 150 \text{ м.}$$

Таблица 1.14.2. Зависимость  $n = F(t_{cp})$

$t_{cp}$ , ч/год	10...20	21...40	41...60
$\frac{n_s}{I/(км^2 \cdot год)}$	1	2	4
$t_{cp}$ , ч/год	61...80	81...100	101 и более
$\frac{n_s}{I/(км^2 \cdot год)}$	5,5	7	8,5

*Примечание.*  $t_{cp}$  — среднегодовая продолжительность гроз, ч/год. Определяется по картам, составленным на основании метеосводок за 10 лет.

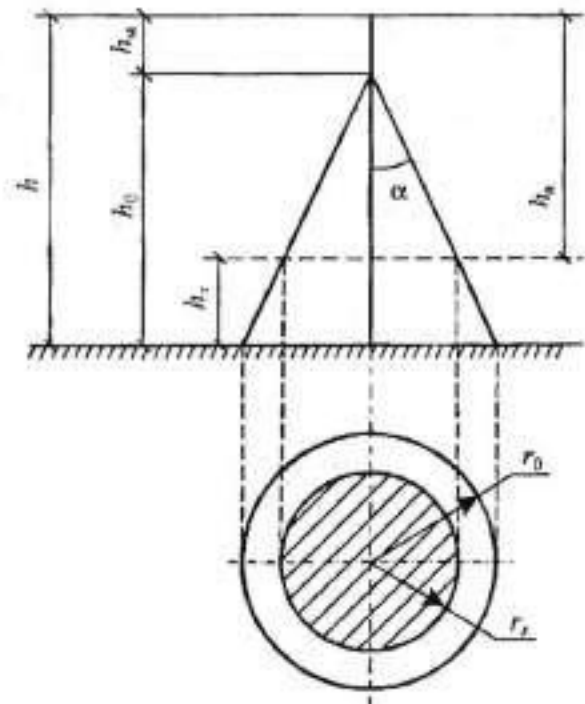


Рис. 1.14.1. Зона одиночного стержневого молниеотвода

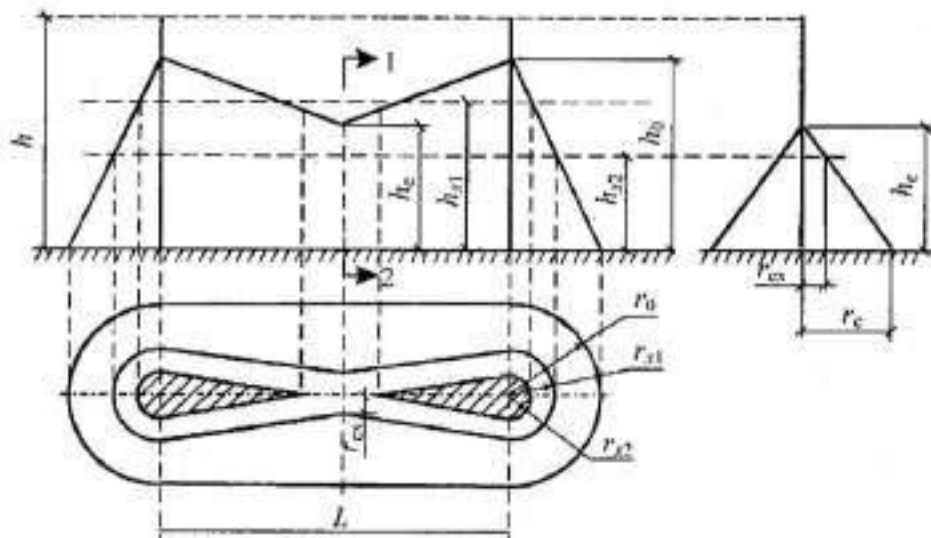


Рис. 1.14.2. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода равной длины

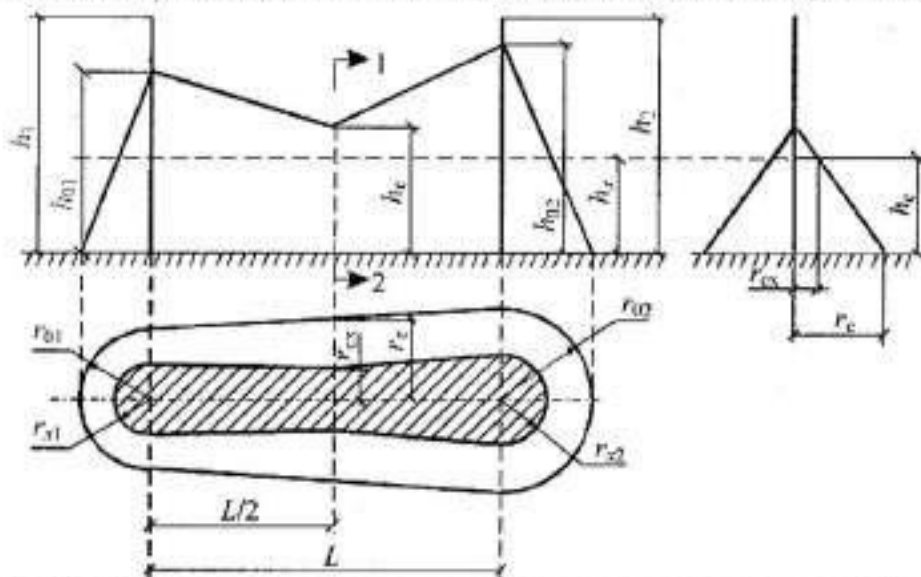


Рис. 1.14.3. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода разной длины

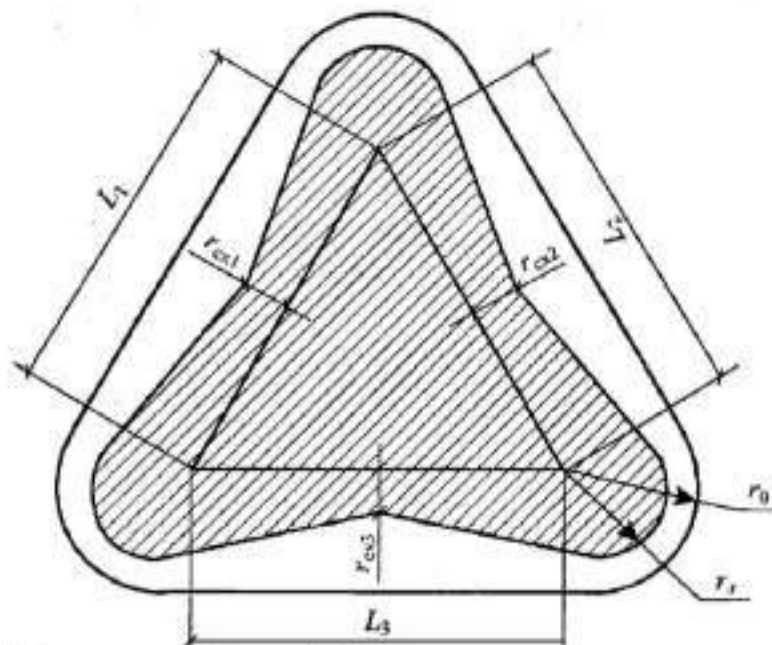


Рис. 1.14.4. Зона защиты (в плане) многократного стержневого молниеотвода

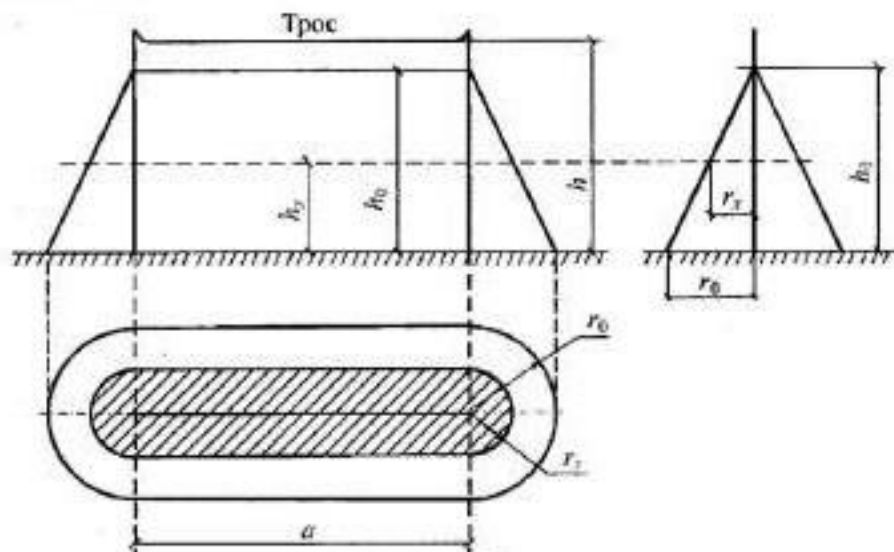


Рис. 1.14.5. Зона защиты одиночного тросового молниествода

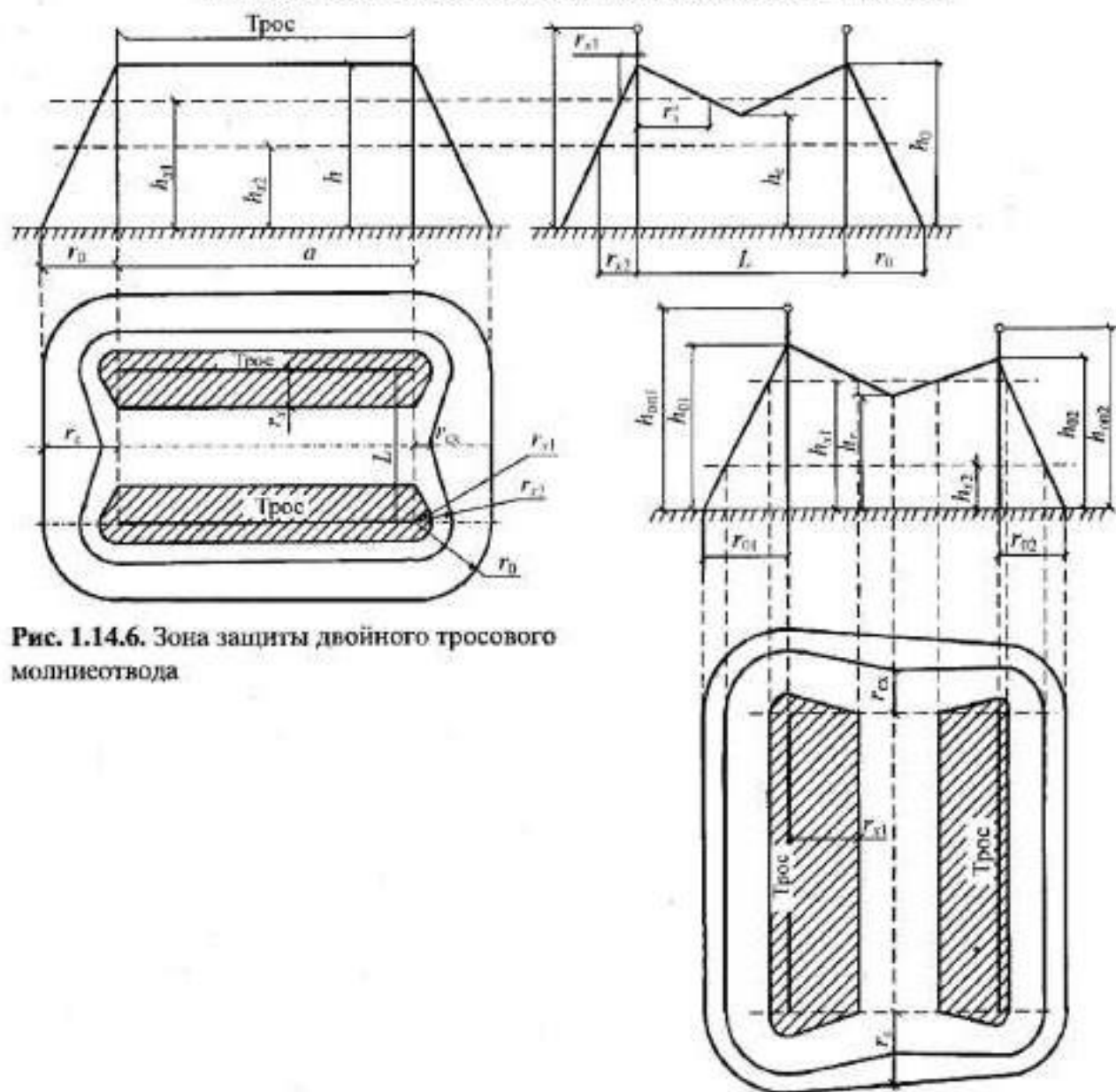


Рис. 1.14.6. Зона защиты двойного тросового молниествода

Рис. 14.7. Зона защиты двух тросовых молниестводов разной высоты

## Пример 1

**Дано:**

$$h = 50 \text{ м}$$

$$h_x = 20 \text{ м}$$

$$B = 20 \text{ м}$$

$$n = 6 \text{ 1/(км}^2 \cdot \text{год)}$$

Тип молниезащиты — однострелевая

**Требуется:**

- определить параметры зон молниезащиты и изобразить их;
- определить габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

**Решение:**

1. По формулам (таблица 1.14.1) для одиночного стержневого молниеотвода определяются параметры молниезащиты (м/з) для зон.

В масштабе изображаются зоны А и Б (рис. 1.14.8).

Зона А:

$$h_0 = 0,85h = 0,85 \cdot 50 = 42,5 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h) h = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cdot 50 = 50 \text{ м};$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h) (h - 1,2 h_x) = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 50) \cdot (50 - 1,2 \cdot 50) = 26 \text{ м};$$

$$h_u = h - h_0 = 50 - 42,5 = 7,5 \text{ м};$$

$$h_a = h - h_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

$$\alpha^{(A)} = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{50}{42,5} = 49,6^\circ.$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92 h = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м};$$

$$r_0 = (1,5 h) = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м};$$

$$r_x = 1,5 (h - 1,1 h_x) = 1,5 \cdot (50 - 1,1 \cdot 20) = 42 \text{ м};$$

$$h_u = h - h_0 = 50 - 46 = 4 \text{ м};$$

$$h_a = h - h_x = 50 - 20 = 30 \text{ м};$$

$$\alpha^{(B)} = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{75}{46} = 58^\circ.$$

2. Определяются габаритные размеры защищаемого объекта в каждой зоне молниезащиты. Для этого на расстоянии  $\frac{B}{2}$  от средней линии параллельно проводится линия до пересечения с окружностью  $r_x$  (рис. 1.14.8).

Зона А:

$$\varphi^{(A)} = \arcsin \frac{B}{2r_x^{(A)}} = \arcsin \frac{20}{2 \cdot 26} = 22,6^\circ;$$

$$\cos \varphi^{(A)} = \cos 22,6^\circ = 0,92;$$

$$A^{(A)} = 2r_x^{(A)} \cos \varphi^{(A)} = 2 \cdot 26 \cdot 0,92 = 48 \text{ м};$$

$$A \times B \times H = 48 \times 20 \times 20 \text{ м.}$$

Зона Б:

$$\varphi^{(B)} = \arcsin \frac{B}{2r_x^{(B)}} = \arcsin \frac{20}{2 \cdot 42} = 13,8^\circ;$$

$$\cos \varphi^{(B)} = \cos 13,8^\circ = 0,97;$$

$$A^{(B)} = 2r_x^{(B)} \cos \varphi^{(B)} = 2 \cdot 42 \cdot 0,97 = 81,6 \text{ м. Принимается } A = 81 \text{ м.}$$

$$A \times B \times H = 81 \times 20 \times 20 \text{ м.}$$

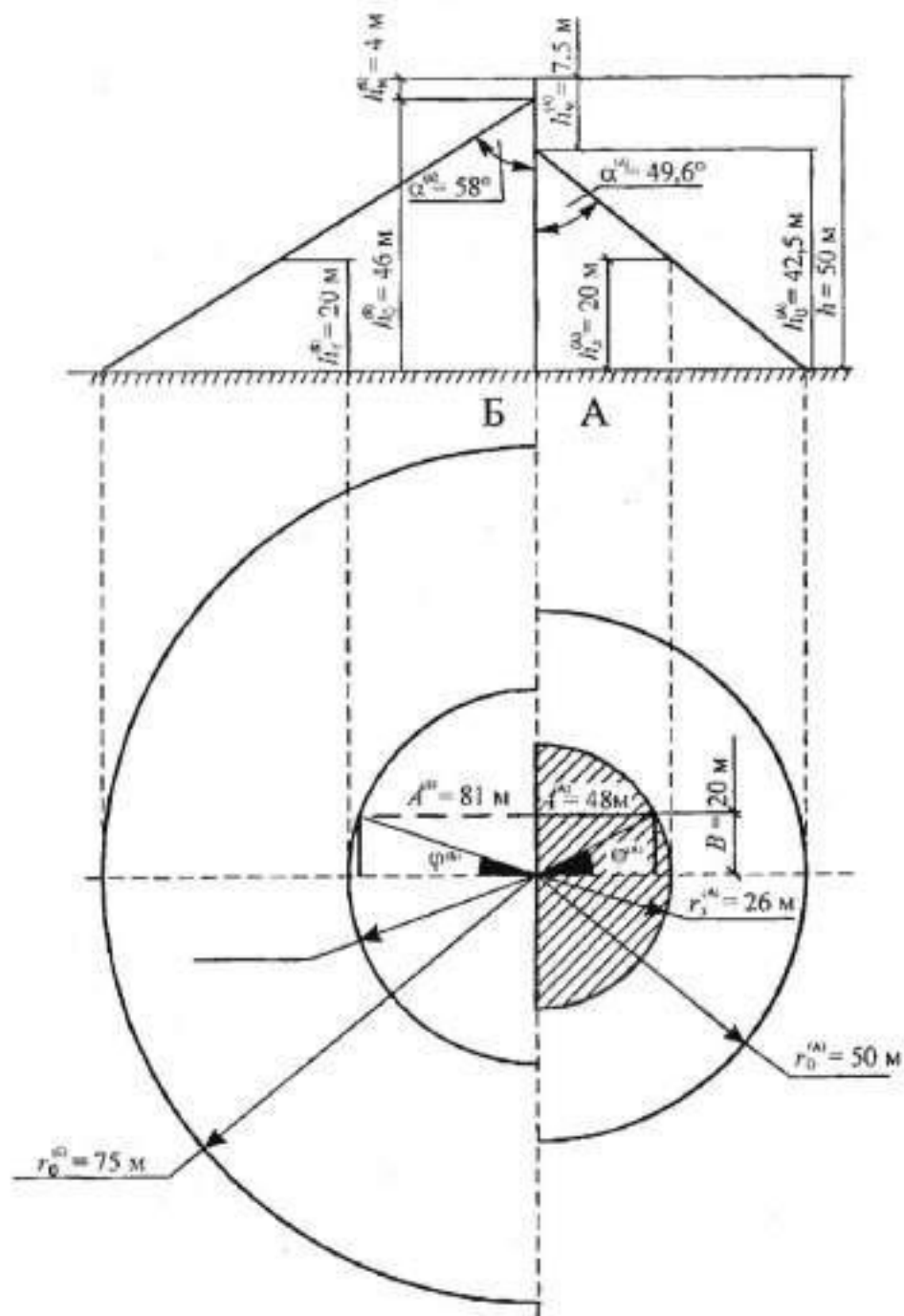


Рис. 1.14.8. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода,  $h = 50$  м

3. Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта в зонах при отсутствии молниезащиты.

$$N_A = [(B + 6h_x)(A^{(A)} + 6h_x) - 7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6} =$$

$$= [(20 + 6 \cdot 20)(48 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2] \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 12,3 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$$

$$N_B = [(B + 6h_x)(A^{(B)} + 6h_x) - 7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6} =$$

$$= [(20 + 6 \cdot 20)(81 + 6 \cdot 20) - 7,7 \cdot 20^2] \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}$$

В зоне молниезащиты Б количество поражений в год больше.

**Ответ:** Параметры зон молниезащиты указаны на рис. 1.14.8.

Для зоны А:  $A \times B \times H = 48 \times 20 \times 20$  м;  $N_A = 12,3 \cdot 10^{-2}$  поражений.

Для зоны Б:  $A \times B \times H = 81 \times 20 \times 20$  м;  $N_B = 12,3 \cdot 10^{-2}$  поражений.

## Пример 2

**Дано:**

Тип молниезащиты — двойная тросовая

$$h_{\text{от}1} = h_{\text{от}2} = 22 \text{ м}$$

$$h_x = 10 \text{ м}$$

$$L = 25 \text{ м}$$

$$a = 40 \text{ м}$$

$$n = 7 \text{ 1/}(\text{км}^2 \cdot \text{год})$$

**Требуется:**

- определить параметры зоны А молниезащиты и изобразить ее;
- определить габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

**Решение:**

1. По формулам (таблица 1.14.1) для двойных тросовых молниеотводов одинаковой высоты определяются параметры м/з для зоны А.

В масштабе зона А изображается на плане (рис. 1.14.9), так как  $a < 120$  м, то

$$\begin{aligned}h &= h_{\text{от}} - 2 = 22 - 2 = 20 \text{ м;} \\h_0 &= 0,85 h = 0,85 \cdot 20 = 17; \\r_0 &= (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} h) h = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot 20 = 26 \text{ м;} \\h_c &= h_0 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4} h) (L - h) = \\&= 17 - (0,14 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot (25 - 20) = 16,05 \text{ м;} \\r_c &= r_0 = 26 \text{ м;} \\r_{\text{ок}} &= r_0 \frac{(h_c - h_x)}{h_c} = 26 \cdot \frac{(16,05 - 10)}{16,05} = 9,8 \text{ м;} \\r_x &= (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} h) (h - 1,2 h_x) = \\&= (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \cdot 20) \cdot (20 - 1,2 \cdot 10) = 10,4 \text{ м.}\end{aligned}$$

**Примечание.** При пересечении верхней отметки сооружения с линией в пролете определяется  $r'_x$ .

$$\alpha = \text{arctg} \frac{r_0}{h_0} = \text{arctg} \frac{26}{17} = 56,8^\circ.$$

2. Определяются максимальные габариты защищаемого сооружения по рис. 1.14.9:

$$A = a + 2 r_{\text{ок}} = 40 + 2 \cdot 9,8 = 59,6 \text{ м.}$$

Принимается целое значение  $A = 59$  м.

$$B = L + 2 r_x = 25 + 2 \cdot 10,4 = 45,8 \text{ м.}$$

Принимается целое значение  $B = 45$  м.

$$A \times B \times H = 59 \times 45 \times 10 \text{ м.}$$

3. Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта в зоне А при отсутствии молниезащиты.

$$\begin{aligned}N &= [(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2] n \cdot 10^{-6} = \\&= [(45 + 6 \cdot 10)(59 + 6 \cdot 10) + 7,7 \cdot 10^2] \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ поражений.}\end{aligned}$$

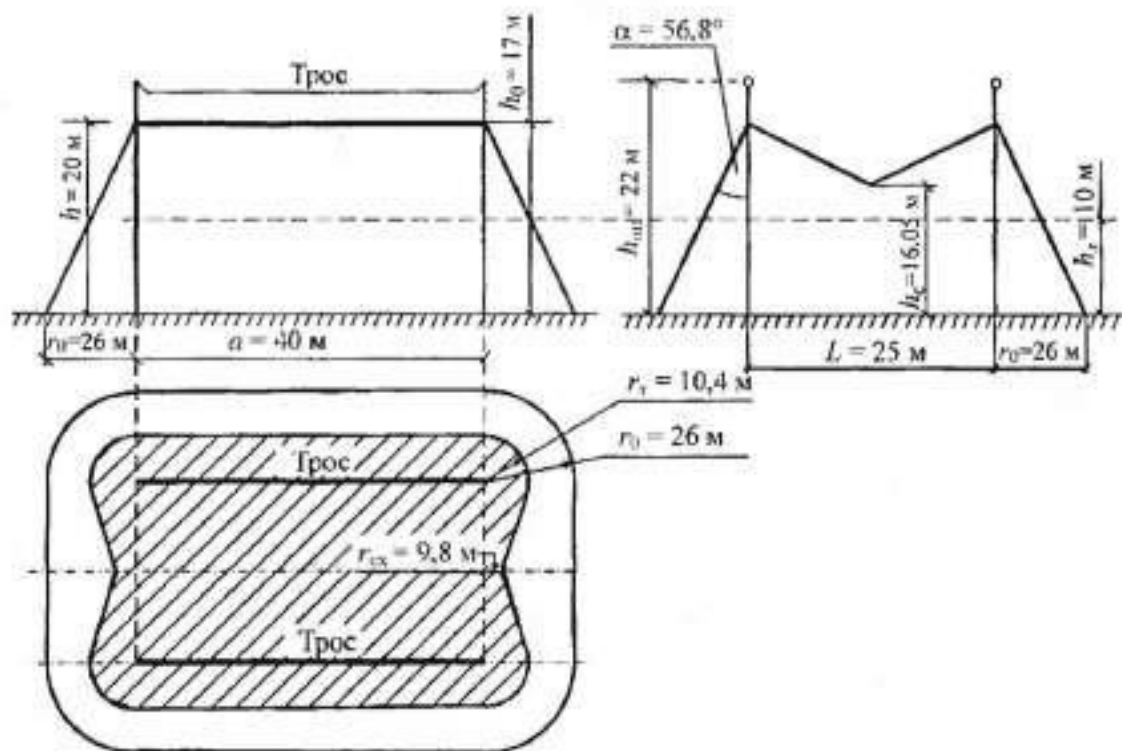


Рис. 1.14.9. Зона А защиты двойного тросового молниеотвода одинаковой высоты

Ответ: Параметры зоны А молниезащиты указаны на рис. 1.14.9.

$A \times B \times H = 59 \times 45 \times 10$  м;  $N = 8,2 \cdot 10^{-2}$  поражений.

Таблица 1.14.3. Индивидуальные задания для РПЗ-14

Вариант	Тип м/з	Зона	$h_{12}$ , м	$B$ , м	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$L$ , м	$a$ , м	$t_{cp}$ , ч/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1С	А	20	15	40	—	—	—	110
2	2С	Б	20	20	50	50	50	60	100
3	2С	А	20	20	30	50	40	—	20
4	1Т	Б	15	—	32	—	40	—	30
5	2Т	А	15	—	32	32	20	40	40
6	2Т	Б	15	—	32	22	25	30	90
7	1С	Б	20	15	40	—	—	—	80
8	2С	А	10	12	45	25	50	—	50
9	2С	А	10	12	30	30	45	—	60
10	1Т	А	8	—	22	—	30	—	70
11	2Т	Б	8	—	22	27	30	45	110
12	2Т	Б	8	—	17	17	30	35	70
13	1С	А	12	10	35	—	—	—	100
14	2С	Б	15	15	50	50	35	—	60
15	2С	Б	15	15	50	40	40	—	20
16	1Т	А	16	—	27	—	40	—	50
17	2Т	А	12	—	22	27	35	20	30
18	2Т	Б	12	—	27	27	35	25	80
19	1С	А	25	30	60	—	—	—	40
20	2С	Б	16	20	50	40	50	—	90



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	2С	А	16	20	50	50	40	—	90
22	1Т	А	12	—	27	—	30	—	40
23	2Т	Б	8	—	17	22	25	30	80
24	2Т	Б	8	—	27	27	25	20	30
25	1С	А	15	20	50	—	—	—	50
26	2С	Б	16	12	40	40	50	—	20
27	2С	Б	12	16	40	30	50	—	60
28	1Т	А	16	—	27	—	60	—	100
29	1С	Б	20	20	50	—	—	—	80
30	2Т	А	10	—	22	22	25	40	90

**Примечание.**

$L$  — расстояние между двумя стержневыми молниесводами (для типа м/з 2С) или расстояние между опорами тросового молниесвода (для м/з типа Т);

$a$  — длина пролета между опорами троса (для м/з типа 2Т);

$h_1, h_2$  — высота опор (для м/з типа Т);

1С — одиночная стержневая м/з;

2С — двойная стержневая м/з;

1Т — одиночная тросовая м/з;

2Т — двойная тросовая м/з;

В каждом варианте РПЗ-14 требуется:

- определить параметры зоны м/з и изобразить ее;
- определить наибольшие габаритные размеры защищаемого объекта;
- определить возможную поражаемость объекта.

## 1.15. Памятка по оформлению расчетно-практического занятия

**А.** Для выполнения РПЗ (ПЗ) каждому студенту следует иметь отдельную тетрадь объемом 48 листов.

На лицевой стороне обложки (на этикетке) указать:  
назначение тетради, учебное заведение, курс, группа, фамилия и инициалы.

**Например:**

Для РПЗ по ЭСН объектов, ОПТ, 3 курс, ЭПП-98э, Иванов С. Н.

*Примечание.* Если обложка глянцевая (или дерматин и т. п.), то следует иметь этикетку из белой бумаги, на которой ведется учет выполнения заданий.

**Б.** На внутренней стороне обложки указать нумерованный перечень литературы, которая используется при выполнении РПЗ и на которую делают ссылки.

Литература записывается по системе: номер, автор, название, место издания, издательство, год.

**Например:**

1. Коновалова Л. Л., Рожкова Л. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Энергоатомиздат, 1989.

*Примечание.* При групповом авторстве обязательно записать только первого (например, Коновалова Л. Л. и др.).

Ссылка должна включать: номер литературы по перечню, номер страницы, функциональную зависимость выбираемой величины (если она есть) или тип элемента.

**Например:**

Согласно [1, с. 117] выбирается  $t_n = F(T_m; \cos \varphi) = F(4200 \text{ ч}; 0,8) = 3000 \text{ ч}$ . По [1, с. 512] выбирается провод (кабель) типа АС-3  $\times 10/1,8$ ;  $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$ .

*Примечание.* В ссылках, наряду с номером страницы, можно дополнительно указать таблицу.

**В.** При выполнении каждого РПЗ должны соблюдаться следующие требования.

• Каждое РПЗ начинается с нового листа (страницы), где записывается: дата, вариант, номер по порядку, тема, «Дано:», «Требуется:».

**Например:** 26.03.02 г.

В-10. РПЗ-10. «Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения».

**Дано:** (выписать исходные данные).

**Требуется:** (записать задачи поэтапно — обычно 3).

• Решение выполняется по системе: словесное выражение этапа работы и обоснование в виде расчета.

При применении формул соблюдается следующая схема записи: формула, постановка значений вместо каждого символа, результат.

Впервые применяемые формулы должны иметь пояснение символов с единицами измерения.

**Например:**

Определяется ток трансформатора

$$I_{н.т} = \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} U_n} = \frac{40}{1,73 \cdot 0,4} = 57,8 \text{ А,}$$

где  $I_{н.т}$  — номинальный ток трансформатора, А;

$S_{н.т}$  — номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$V_n$  — номинальное напряжение, кВ.

*Примечание.* Все промежуточные расчеты и пояснения выполняются ниже формулы.

• Все рисунки (схемы) должны иметь нумерацию и подпись, а таблицы — нумерацию и название. Нумерация должна быть сквозная (порядковая) или в пределах раздела, но единая.

**Например:**

Рис. 10. Структурная схема ЭС ПП

Таблица 2.3. Сводная ведомость электрических нагрузок цеха

• Выполнение РПЗ заканчивается ответом (выводом), где указываются сокращенные (обобщенные), но достаточные данные.

Г. Для успешной сдачи РПЗ в форме устного опроса требуется:

- аккуратность и правильность выполнения с соблюдением всех принципов;
- знание символов применяемых формул и понятий;
- умение расшифровать условные обозначения элементов;
- понимание сущности выполненной работы;
- умение сделать выводы и небольшой анализ результата.

*Примечание.* По результату сдачи РПЗ ставится «зачет» или «оценка» (по усмотрению преподавателя).

Все спланированные работы должны быть выполнены и сданы до начала экзаменационной сессии данного семестра.

## Часть 2

# КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБЪЕКТОВ

### 2.1. Рекомендации по организации и защите курсового проекта по дисциплине в образовательных учреждениях среднего профессионального образования

#### Общие положения

Курсовой проект (КП) по дисциплине является одним из основных видов учебных занятий и формой контроля учебной работы студентов.

Выполнение КП осуществляется на заключительном этапе изучения учебной дисциплины, в ходе которого производится обучение применению полученных знаний и умений при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих специалистов.

Цели выполнения КП:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений по общепрофессиональным и специальным дисциплинам;
- углубление теоретических знаний в соответствии с заданной темой;
- формирование умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;
- формирование умений использовать справочную, нормативную и правовую документацию;
- развитие творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- подготовка к итоговой государственной аттестации.

Количество часов обязательной учебной нагрузки студента, отведенное на выполнение КП, определяется Государственным образовательным стандартом.

При отсутствии этого наименования дисциплины и время может быть определено образовательным учреждением. Количество КП на весь период обучения должно быть не более трех.

Сроки выполнения определяются учебным планом. Разработка тематики КП производится преподавателями учреждения, рассматривается на цикловой комиссии, утверждается зам. директора по УР.

Тема может быть предложена студентом при условии обоснования им ее целесообразности.

Допускается выполнение КП по одной теме группой студентов.

Тема может быть связана с производственной (профессиональной) практикой студента или с непосредственной работой (при заочной форме обучения).

КП может стать составной частью (раздела, главой) выпускной квалификационной работы.

## Структура КП

По содержанию КП может носить конструкторский или технологический характер.

По структуре он состоит из пояснительной записки (ПЗ) и практической части.

Пояснительная записка КП конструкторского характера включает:

- введение, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формируется цель;
- расчетную часть с расчетами по профилю специальности;
- описательную часть, в которой излагается принцип действия, конструкция, технологические особенности и другие обоснования принятых решений;
- организационно-экономическую часть;
- заключение, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей использования материалов проекта;
- список литературы;
- приложения (таблицы).

Практическая часть КП конструкторского и технологического характера может быть представлена чертежами, схемами, графиками, диаграммами, картинками, сценариями или другими изделиями или продуктами творческой деятельности в соответствии с темой.

Объем ПЗ должен быть не менее 5 страниц печатного текста (соответствуют 20 страницам рукописного) формата А4, а графической части — 1,5–2 листа формата А1.

КП оформляется и разрабатывается в соответствии с требованиями ЕСТД и ЕСКД.

## Организация выполнения КП

Общее руководство и контроль за ходом выполнения КП осуществляет преподаватель соответствующей дисциплины.

На время выполнения проекта планируются консультации за счет объема времени, отведенного в рабочем учебном плане на консультации.

В ходе консультаций преподаватель разъясняет назначение и задачи, структуру и объем, принципы разработки и оформления, распределение времени, отвечает на вопросы.

Основными функциями руководителя КП являются:

- консультирование по вопросам содержания и последовательности выполнения;
- оказание помощи студентам в подборе необходимой литературы;
- контроль хода выполнения КП;
- подготовка письменного отзыва на проект.

По завершении студентом проекта руководитель проверяет, подписывает его и вместе с письменным отзывом передает студенту для ознакомления.

Письменный отзыв должен включать:

- заключение о соответствии проекта теме;
- оценку качества выполнения;
- оценку полноты разработки поставленных вопросов, теоретической и практической значимости КП;
- оценку проекта.

Проверка, составление отзыва и прием КП осуществляется руководителем проекта вне расписания учебных занятий. На это отводится один час на каждого студента.

Защита КП является обязательной и проводится за счет объема времени, предусмотренного на изучение дисциплины.

Оценка по пятибалльной системе.

Студент, получивший неудовлетворительную оценку, имеет право выбрать новую тему или, по решению преподавателя, дорабатывает выбранную ранее. Сроки устанавливаются новые.

## Хранение КП

Выполненные КП хранятся 1 год в кабинете соответствующих дисциплин или в учебной части.

По истечении указанного срока все КП, не представляющие для кабинета интереса, списываются по акту.

## 2.2. Оформление пояснительной записки

### Порядок брошюровки ПЗ (Приложение Б)

Лист:	Этикетка (на обложку).
	1-й — титульный;
	2-й — Задание;
	3-й — Дополнение к заданию «Перечень и номинальные данные электроприемников»;
	4-й — Спецификация (составные части КП);
	5-й — Содержание;
	6-й — текст ПЗ в соответствии с Содержанием;
	Все таблицы и рисунки по ходу текста нумеруются и именуются. Нумерация сквозная или в пределах раздела;
	предпоследний — Заключение;
	последний — Литература;
	вне учета — Критерии оценки КП.

### Графическая часть

1. План размещения и ЭСН ЭО объекта (Э7).
2. Принципиальная однолинейная электрическая схема ЭСН ЭО объекта (Э3).

### Форматы

A4 (297 × 210 мм) — листы ПЗ.

A1 (841 × 594 мм) — чертежи.

### Этикетка

Обрезается с оставлением полей 5 мм со всех сторон и наклеивается на обложку из твердого материала. Рекомендованный формат и текст — в Приложении.



## Структура обозначения листов ПЗ

	МЦ	1806	012	000	ПЗ	
Аббревиатура объекта проектирования		Специальность по	Номер по списку в классном журнале			Вид документа
М — механический		Госстандарту				ПЗ — Пояснительная записка
Ц — цех						Э7 — План расположения ЭО
						Э3 — Принципиальная электрическая схема

*Примечание.* Обозначение наносится на все листы графической части и ПЗ, кроме титульного, задания и листов вне учета.

### 2.3. Пояснения к Содержанию пояснительной записки

В рекомендованном Содержании (Приложение Б) следует изложить в текстовом, расчетном и графическом виде, где это необходимо, вопросы составных частей, пунктов и подпунктов ПЗ.

*Примечание.* Представленное Содержание не является обязательным. Оно может быть расширено, составлено более подробно или содержать другие пункты, не противоречащие основной задаче проектирования электроснабжения объекта.

Предлагается следующий вариант обоснования и оформления текста ПЗ.

#### Введение

Следует отразить уровень и основные направления развития энергетики на данный момент времени.

Целесообразно указать руководящие документы (постановления), которые подтверждают изложенное и действуют в текущий момент.

От материала общего назначения перейти к значимости темы КП.

По объему — примерно 1 страница.

#### 1. Общая часть

1.1. На основе данных темы создать представление о проектируемом объекте, о его назначении и характере технологического процесса.

Дать краткую характеристику силовых нагрузок, обеспечивающих технологический процесс, по режиму работы, роду тока, питающему напряжению и т. п.

1.2. Руководствуясь «Классификатором помещений по взрыво-, пожаро-, электробезопасности» (таблица В.1), выбрать и обосновать нужный вариант. Заполнить таблицу Б.1 Приложения Б.

Данные учитывать при выборе элементов ЭСН цеховой сети.

#### 2. Расчетно-конструкторская часть

2.1. Руководствуясь категорией надежности ЭСН объекта, дать определение этой категории.

В соответствии с категорией выбрать количество источников (трансформаторов).

Нагрузку распределить по РУ, обеспечивая достаточную надежность технологического процесса. Крупные потребители, резко отличающиеся по мощности и режиму работы, целесообразно присоединить непосредственно к ШНН.

Руководствуясь вариантами (Приложения В.3, В.4), составить и именовать схему проектируемого объекта.



**2.2.** Применить метод упорядоченных диаграмм (коэффициента максимума), в соответствии с распределением по РУ, рассчитать нагрузки.

В текстовой части данного пункта ПЗ показать расчет только различающихся нагрузок (по одной 3-фазного ДР и ПКР, 1-фазного и т. п.), а остальные рассчитываются аналогично.

Рассчитать и выбрать КУ, присоединив его на ШНН (централизованная компенсация реактивной мощности).

Заполнить таблицу 2 «Сводная ведомость нагрузок» (Приложение Б), выбрать силовой трансформатор с учетом КУ.

**2.3.** Руководствуясь соотношениями (таблица В.1) и РПЗ–8 рассчитать, выбрать и сформировать марки аппаратов защиты всех линий ЭСН.

Руководствуясь схемой РУ (Приложение В.5) разработать составной РП (при необходимости), сформировать марки всех РП.

Выбрать и сформировать марки всех линий ЭСН и учетом соответствия аппарату защиты согласно условию  $I_{доп} \geq K_{шн} I_{y(n)}$ .

Заполнить таблицу 3 «Сводная ведомость электроприемников» (Приложение Б).

Выполнить чертеж 1 «План расположения и ЭСН ЭО...».

Для последующего расчета токов КЗ и потери напряжения обосновать и выбрать характерную линию согласно условию: произведение  $K_n I_{ном} I_{эл}$  — наибольшая величина, где  $K_n$  — кратность пускового тока (для линии с ЭД) или тока перегрузки (для линии без ЭД). При отсутствии данных принимается:

$K_n = 6$  или  $6,5$  (для СД и АД с КЗ-ротором);

$K_n = 2$  или  $3$  (для МПТ и АД с фазным ротором);

$I_{ном}$  — номинальный ток ЭП, А;

$I_{эл}$  — расстояние от начала линии до ЭП, м.

*Примечание.* Обычно это линия с наиболее мощным или наиболее удаленным ЭП (возможно совпадение).

**2.4.** Руководствуясь РПЗ–9, составить для выбранной характерной линии расчетную схему и схему замещения, нанести на них необходимые данные, выбрать и пронумеровать точки КЗ.

Рассчитать токи КЗ в выбранных точках и заполнить таблицу 4 «Сводная ведомость токов КЗ по точкам» (Приложение Б).

Руководствуясь РПЗ–10, выполнить проверки элементов ЭСН характерной линии по токам КЗ и потере напряжения.

Выполнить чертеж 2 «Принципиальная однолинейная электрическая схема ЭСН ЭО...» в соответствии с полученными результатами, руководствуясь Приложением В.6.

**3.** Подготовить исходные данные для КП (работы) по экономике, для чего на основании полученных результатов заполнить таблицу 5 «Ведомость монтируемого ЭО», таблицу 6 «Ведомость физических объемов электромонтажных работ» (Приложение Б).

**4.** Руководствуясь «ПТБ для эксплуатации ЭУ», изложить (в части касающейся) перечень организационных и технических мероприятий, их выполнение рассмотреть на примере одного ЭП и КП ЭСН.

### **Заключение**

Изложить выводы и рекомендации по дальнейшему использованию КП ЭСН.

## Часть 3

### ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

#### Перечень тем КП ЭСН

Вариант	Наименование темы	Ф. И. О. студента	Вариант	Наименование темы	Ф. И. О. студента
1	2	3	1	2	3
1	ЭСН и ЭО ремонтно-механического цеха		14	ЭСН и ЭО участка механо-сборочного цеха	
2	ЭСН и ЭО участка кузнечно-прессового цеха		15	ЭСН и ЭО цеха металлорежущих станков	
3	ЭСН и ЭО электромеханического цеха		16	ЭСН и ЭО сварочного участка цеха	
4	ЭСН и ЭО автоматизированного цеха		17	ЭСН и ЭО прессового участка цеха	
5	ЭСН и ЭО механического цеха тяжелого машиностроения		18	ЭСН и ЭО участка токарного цеха	
6	ЭСН и ЭО цеха обработки корпусных деталей		19	ЭСН и ЭО строительной площадки жилого дома	
7	ЭСН и ЭО механического цеха серийного производства		20	ЭСН и ЭО узловой распределительной подстанции	
8	ЭСН и ЭО насосной станции		21	ЭСН и ЭО комплекса томатного сока	
9	ЭСН и ЭО учебных мастерских		22	ЭСН и ЭО гранитной мастерской	
10	ЭСН и ЭО цеха механической обработки деталей		23	ЭСН и ЭО деревообрабатывающего цеха	
11	ЭСН и ЭО инструментального цеха		24	ЭСН и ЭО шлифовального цеха	
12	ЭСН и ЭО механического цеха		25	ЭСН и ЭО комплекса овощных закусочных консервов	
13	ЭСН и ЭО цеха металлоизделий		26	ЭСН и ЭО светонепроницаемой теплицы	

*Примечание.* Графа 3 предназначена для записи фамилии студента, получившего данную тему.

## Тема 1. ЭСН и ЭО ремонтно-механического цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Ремонтно-механический цех (РМЦ) предназначен для ремонта и настройки электромеханических приборов, выходящих из строя.

Он является одним из цехов металлургического завода, выплавляющего и обрабатывающего металл. РМЦ имеет два участка, в которых установлено необходимое для ремонта оборудования: токарные, строгальные, фрезерные, сверлильные станки и др. В цехе предусмотрены помещения для трансформаторной подстанции (ТП), вентиляторной, инструментальной, складов, сварочных постов, администрации и пр.

РМЦ получает ЭСН от главной понижающей подстанции (ГПП). Расстояние от ГПП до цеховой ТП — 0,9 км, а от энергосистемы (ЭСН) до ГПП — 14 км. Напряжение на ГПП — 6 и 10 кВ.

Количество рабочих смен — 2. Потребители цеха имеют 2 и 3 категорию надежности ЭСН. Грунт в районе РМЦ — чернозем с температурой +20 °С. Каркас здания цеха смонтирован из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 28 \times 9$  м.

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень оборудования РМЦ дан в таблице 3.1.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.1).

Таблица 3.1. Перечень ЭО ремонтно-механического цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Вентиляторы	55	48	30	
3...5	Сварочные агрегаты	14	10	12	ПВ = 40 %
6...8	Токарные автоматы	10	12	6	
9...11	Зубофрезерные станки	20	15	10	
12...14	Круглошлифовальные станки	5	4	6	
15...17	Заточные станки	1,5	3	2,5	1-фазные
18, 19	Сверлильные станки	3,4	3,2	2,2	1-фазные
20...25	Токарные станки	12	9	6	
26, 27	Плоскошлифовальные станки	17,2	8,5	10,5	
28...30	Строгальные станки	4,5	12,5	17,5	
31...34	Фрезерные станки	7,5	9,5	8,5	
35...37	Расточные станки	4	11,5	7,5	
38, 39	Краны мостовые	30	25	20	ПВ = 60 %

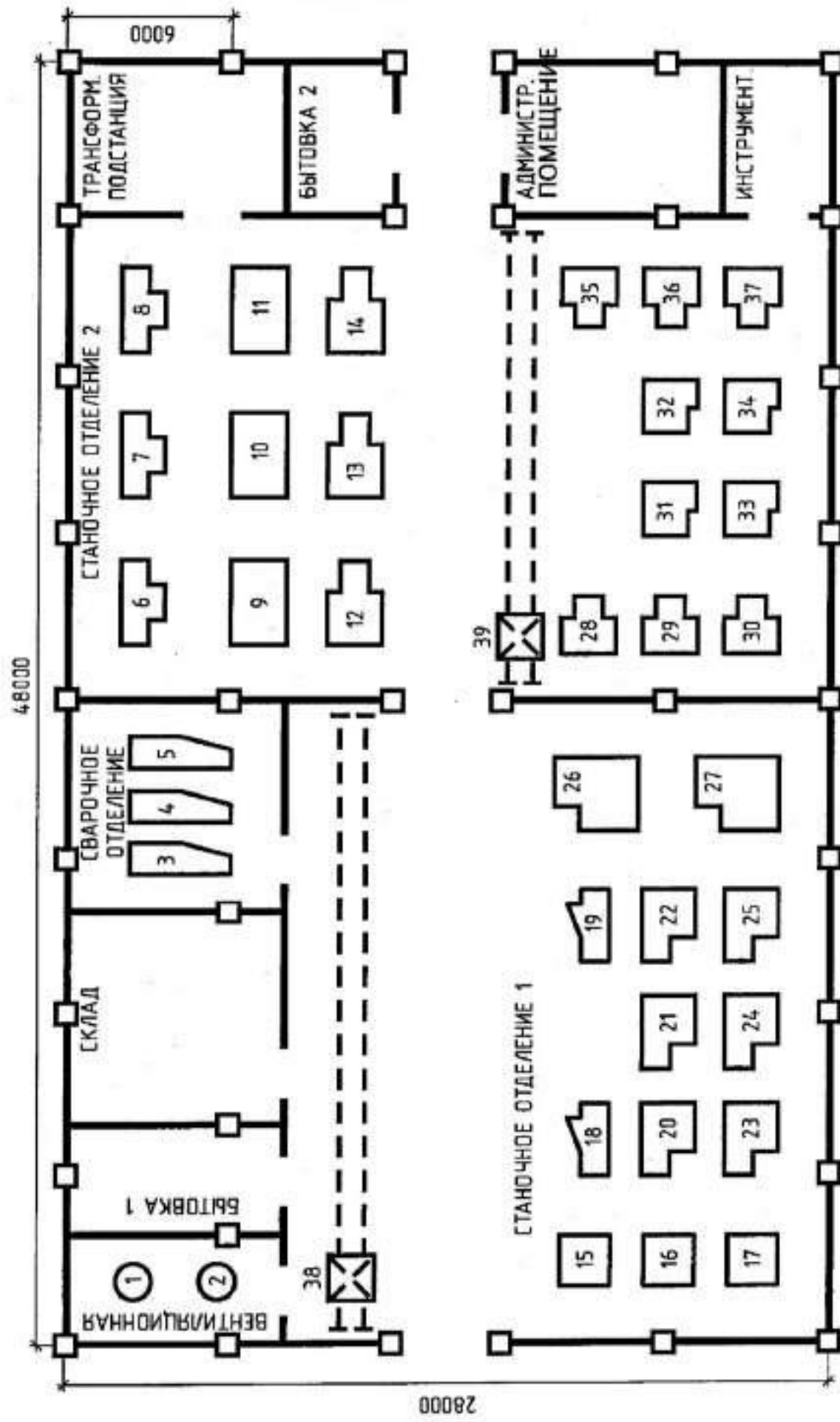


Рис. 3.1.1. План расположения ЭО ремонтно-механического цеха

## Тема 2. ЭСН и ЭО участка кузнечно-прессового цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Участок кузнечно-прессового цеха (КПЦ) предназначен для подготовки металла к обработке.

Он имеет станочное отделение, в котором установлено оборудование: обдирочные станки типа РТ-21001 и РТ-503, электротермические установки, кузнечно-прессовые машины, мостовые краны и др. Участок предусматривает наличие помещений для цеховой ТП, вентиляторной, инструментальной, складов, для бытовых нужд и пр.

ЭСН осуществляется от ГПП. Расстояние от ГПП до цеховой ТП — 1,4 км, а от ЭНС до ГПП — 12 км. Напряжение на ГПП — 6 и 10 кВ.

Количество рабочих смен — 2. Потребители участка имеют 2 и 3 категорию надежности ЭСН.

Грунт в районе КПЦ — суглинок с температурой +15 °С. От этой же цеховой ТП намечается ЭСН при расширении станочного парка.

Дополнительная нагрузка КПЦ в перспективе составит:

$$P_{\text{доп}} = 683 \text{ кВт}, Q_{\text{доп}} = 828 \text{ квар}, K_n = 0,5.$$

Каркас здания смонтирован из блоков-секций длиной 8 м каждая.

Размеры участка  $A \times B \times H = 96 \times 56 \times 10$  м.

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень оборудования участка КПЦ дан в таблице 3.2.

Мощность электропотребления ( $P_{\text{эл}}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.2).

Таблица 3.2. Перечень ЭО участка кузнечно-прессового цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{\text{эл}}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1	Вентилятор вытяжной	55	40	50	
2	Вентилятор приточный	75	60	70	
3...5	Электротермические установки	20	15	18	
6, 17, 36	Краны мостовые	30 кВ·А	25 кВ·А	20 кВ·А	ПВ = 25 %
7...16	Обдирочные станки типа РТ-503	37	21	25	
18...20	Кривошипные КПМ	15	10	12	
21...23	Фрикционные КПМ	7,5	4,5	5,5	
24...35	Обдирочные станки типа РТ-21001	21	17	19	

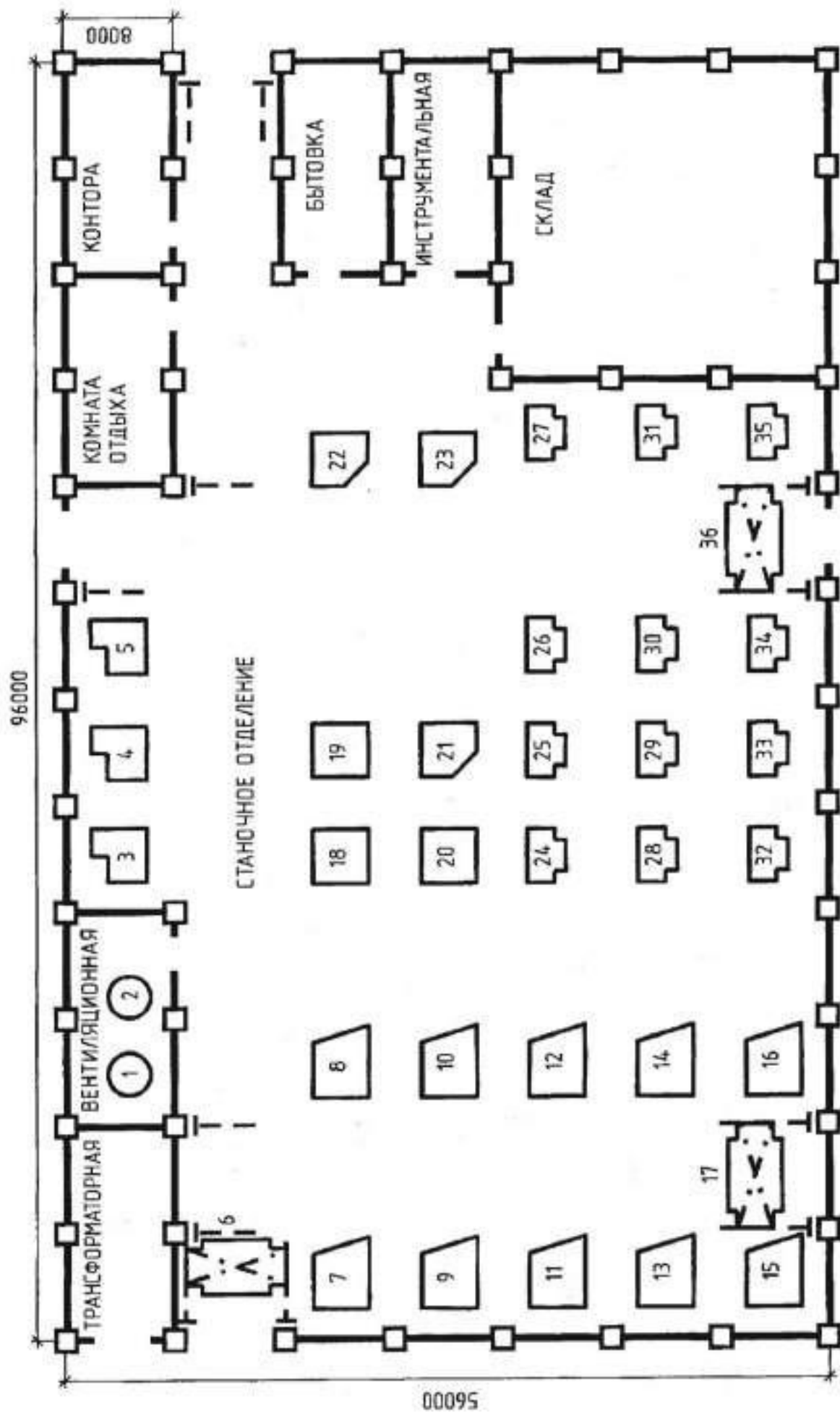


Рис. 3.2. План расположения ЭО участка кузнечно-прессового цеха



## Тема 3. ЭСН и ЭО электромеханического цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Электромеханический цех (ЭМЦ) предназначен для подготовки заготовок из металла для электрических машин с последующей их обработкой различными способами.

Он является одним из цехов металлургического завода, выплавляющего и обрабатывающего металл. ЭМЦ имеет станочное отделение, в котором установлено штатное оборудование: слиткообдирочные, токарные, фрезерные, строгальные, анодно-механические станки и др.

В цехе предусмотрены помещения для цеховой ТП, вентиляционной, инструментальной, для бытовых нужд и пр. ЭМЦ получает ЭСН от подстанции глубокого ввода (ПГВ). Расстояние от ПГВ до цеховой ТП — 0,5 км, а от ЭНС до ПГВ — 10 км. Напряжение на ПГВ — 10 кВ.

Количество рабочих смен — 2. Потребители ЭЭ цеха имеют 2 и 3 категорию надежности ЭСН.

Грунт в районе ЭМЦ — песок с температурой +20 °С. Каркас здания цеха смонтирован из блоков-секций длиной 8 и 9 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 9$  м.

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень оборудования ЭМЦ дан в таблице 3.3.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.3).

Таблица 3.3. Перечень ЭО электромеханического цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 21	Краны мостовые	36 кВ·А	25 кВ·А	30 кВ·А	ПВ = 25 %
2, 3, 22, 23	Манипуляторы электрические	3,2	3,5	2,8	
6, 28	Точильно-шлифовальные станки	2	1,8	2,2	
7, 8, 26, 27	Настольно-сверлильные станки	2,2	2	1,5	
9, 10, 29, 30	Токарные полуавтоматы	10	9,5	9,2	
11...14	Токарные станки	13	10,5	11	
15...20, 33...37	Слиткообдирочные станки	3	1,5	2	
24, 25	Горизонтально-фрезерные станки	7	7,5	5,5	
31, 32	Продольно-строгальные станки	10	9,5	7,8	
38...40	Анодно-механические станки	75	65	60	
41	Тельфер	5	5	5	
42, 43	Вентиляторы	4,5	4	6	



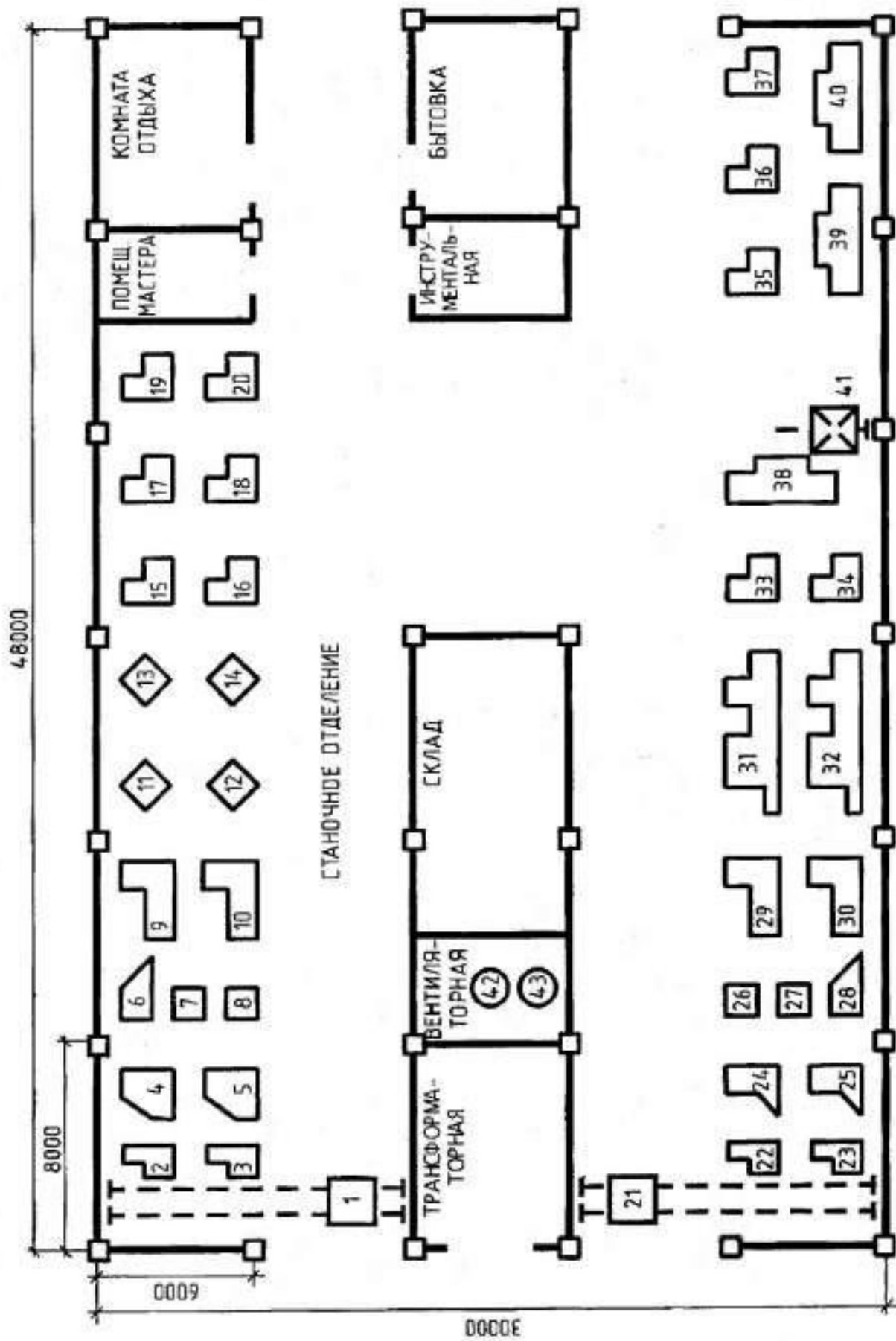


Рис. 3.3. План расположения ЭО электромеханического цеха

## Тема 4. ЭСН и ЭО автоматизированного цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Автоматизированный цех (АЦ) предназначен для выпуска металлоизделий.

Он является одним из цехов металлургического завода и имеет два основных участка: штамповочный и высадочный.

На участках установлено штатное оборудование: кузнечно-прессовое, станочное и др. В цехе предусмотрены помещения: для трансформаторной подстанции, агрегатная, вентиляционная, инструментальная, для бытовых нужд и др.

Цеховая ТП получает ЭСН от ГПП завода по кабельной линии длиной 1 км, напряжение — 10 кВ. Расстояние от энергосистемы до ГПП — 4 км, линия ЭСН — воздушная.

В перспективе от этой же ТП предусмотрено ЭСН других участков с расчетными мощностями:  $P_{p, \text{дип}} = 95 \text{ кВт}$ ,  $Q_{p, \text{дип}} = 130 \text{ квар}$ .

На штамповочном участке требуется частое перемещение оборудования. Количество рабочих смен — 2.

По надежности и бесперебойности ЭСН оборудование относится к 3 категории.

Грунт в районе АЦ — супесь с температурой +22 °С. Каркас здания цеха смонтирован из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8 \text{ м}$ .

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень оборудования АЦ дан в таблице 3.4.

Мощность электропотребления ( $P_{\text{эл}}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.4).

Таблица 3.4. Перечень ЭО участка автоматизированного цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{\text{эл}}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...6	Пресс эксцентриковый типа КА-213	2,2	1,8	2,5	
7...1	Пресс кривошипный типа К-240	3	4,5	4,2	
12...15	Вертикально-сверлильные станки типа 2А 125	3	4,5	3,5	
16, 17	Преобразователи сварочные типа ПСО-300	14	15	12	1-фазные
18	Автомат болтовывсадочный	4	2,8	3,4	
19	Автомат резьбонакатный	5	4,5	3,8	
20	Станок протяжный	7,5	8,2	8,5	
21, 22	Автоматы гайковывсадочные	10	18	22	
23, 24	Барабаны голтовочные	5	3	4	
25	Барабан виброголковочный	5,5	4,5	5	
26	Станок виброголковочный	8,2	7,5	10	
27	Автомат обрубной	10	15	3,5	
28	Машина шнекомоечная	5,2	4,2	3,5	
29...38	Автоматы гайконарезные	1,2	1,5	1,8	

*Продолжение табл. 3.4*

1	2	3	4	5	6
39	Кран-тележка	2	1,2	2,2	ПВ = 60 %
40, 41	Электроточило наждачное	1,5	2,4	2,2	1-фазное
42	Автомат трехпозиционный высадочный	5,8	7,5	6	
43, 44	Вибросито	0,8	0,6	0,8	1-фазное
45, 46	Вентиляторы	5	5,5	4	

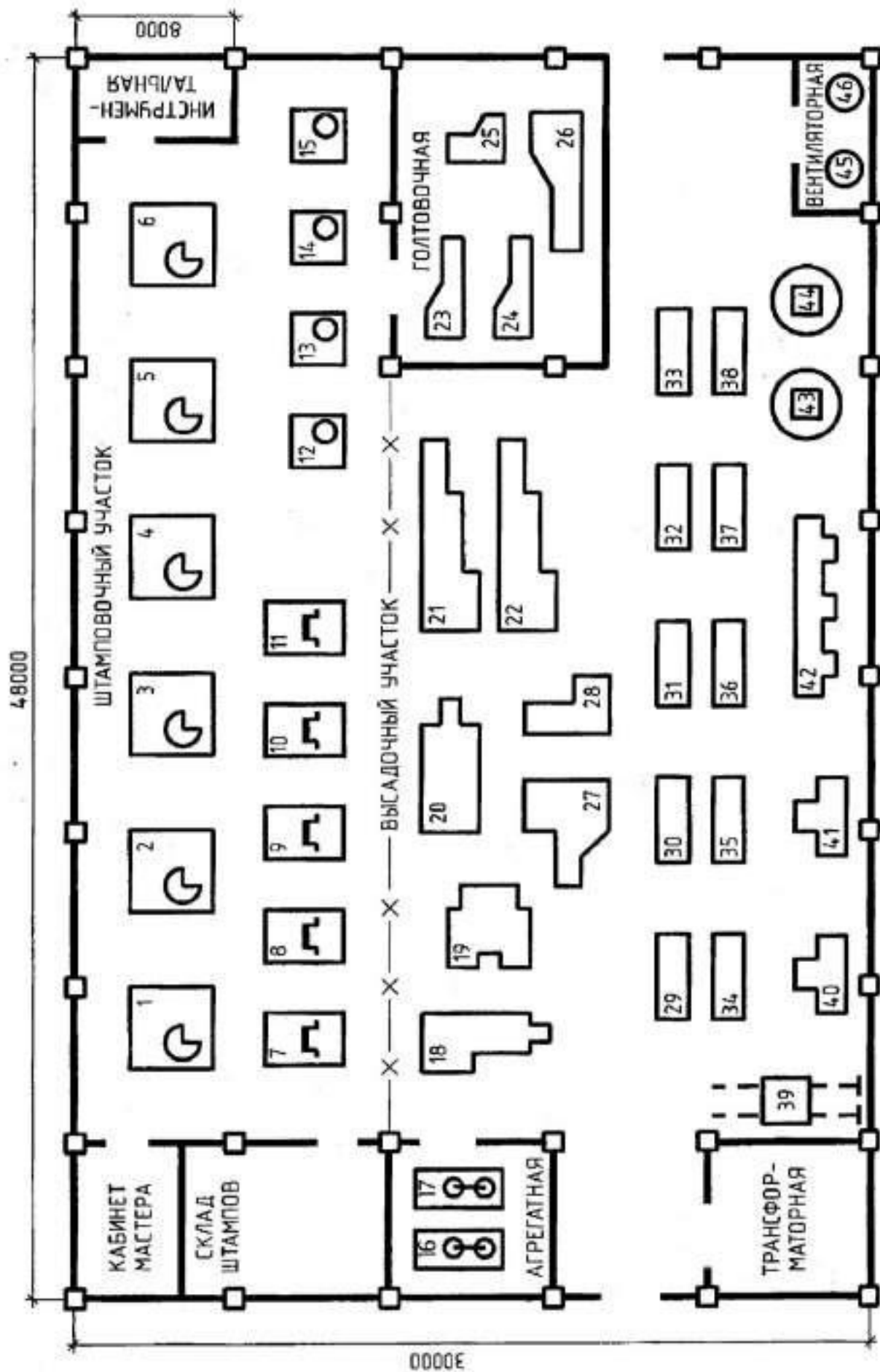


Рис. 3.4. План расположения ЭО автоматизированного цеха

## Тема 5. ЭСН и ЭО механического цеха тяжелого машиностроения

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Механический цех тяжелого машиностроения (МЦТМ) предназначен для серийного производства изделий.

Он является крупным вспомогательным цехом завода машиностроения и выполняет заказы основных цехов. Станочное отделение выполняет подготовительные операции (обдирку) изделий для дальнейшей обработки их на анодно-механических станках.

Для этой цели установлено основное оборудование: обдирочные, шлифовальные, анодно-механические станки и др.

В цехе предусмотрены производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.

МЦТМ получает ЭСН от ГПП или ПГВ завода.

Расстояние от ГПП до цеховой ТП — 1,2 км. Напряжение 6 и 10 кВ. На ГПП подается ЭСН от ЭНС, расстояние — 8 км. Количество рабочих смен — 2.

Потребители цеха относятся к 2 и 3 категории надежности ЭСН, работают в нормальной окружающей среде. Грунт в районе цеха — песок с температурой +20 °С.

Каркас здания МЦТМ смонтирован из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 9$  м.

Вспомогательные, бытовые и служебные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень оборудования цеха дан в таблице 3.5.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.5).

**Таблица 3.5. Перечень ЭО механического цеха тяжелого машиностроения**

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...5	Шлифовальные станки	88,5	65,5	50	
6, 16, 18...20	Обдирочные станки типа РТ-341	45	45	45	
17	Кран мостовой	60 кВ·А	50 кВ·А	40 кВ·А	
21...23, 29...31	Обдирочные станки типа РТ-250	35	35	35	
24...28, 34...36	Анодно-механические станки типа МЭ-31	18,4	18,4	18,4	
7...15	Анодно-механические станки типа МЭ-12	10	10	10	
32	Вентилятор вытяжной	28	22	18	
33	Вентилятор приточный	30	25	20	

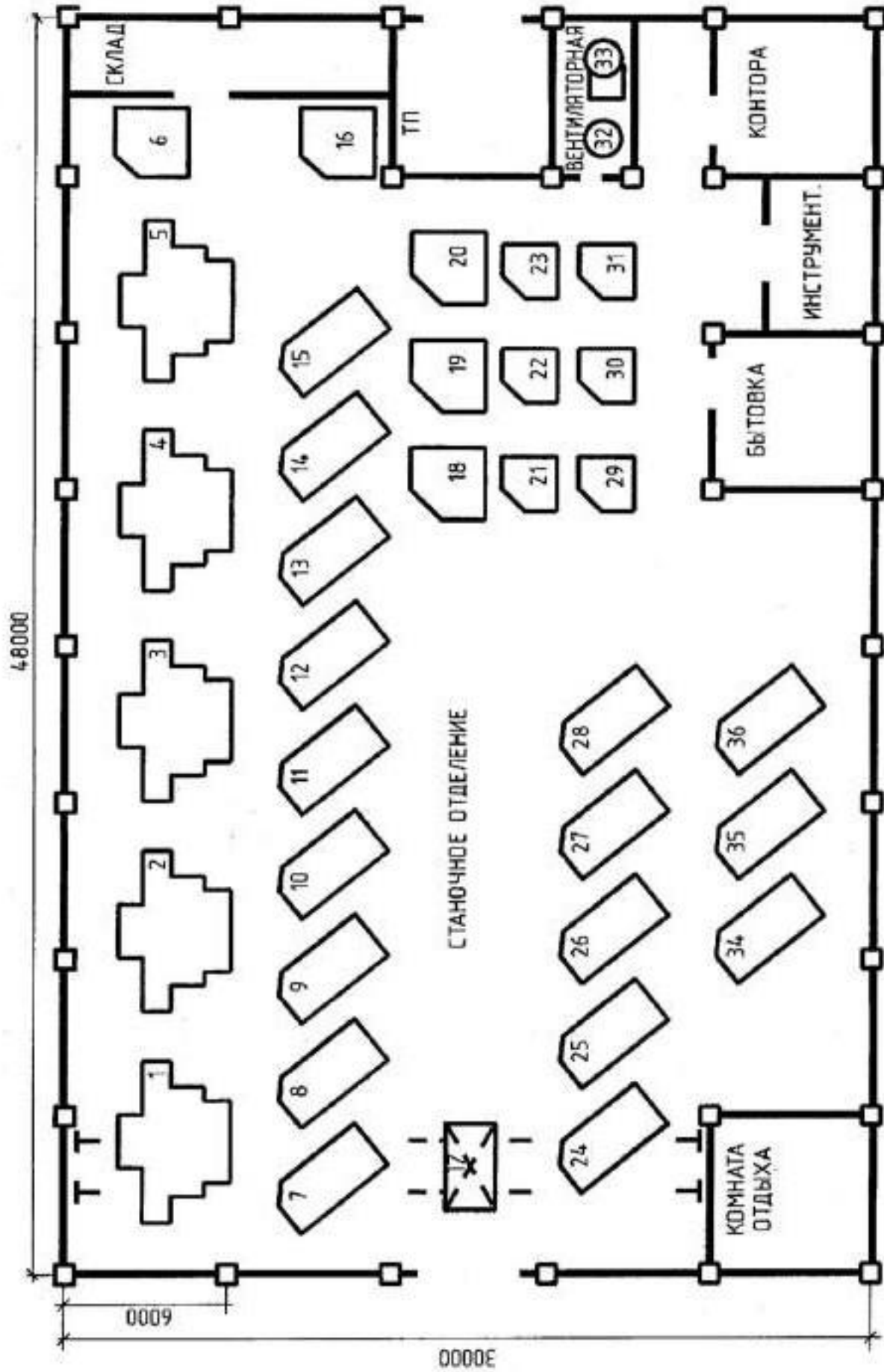


Рис. 3.5. План расположения ЭО механического цеха тяжелого машиностроения



## Тема 6. ЭСН и ЭО цеха обработки корпусных деталей

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Цех обработки корпусных деталей (ЦОКД) предназначен для механической и антикоррозийной обработки изделий. Он содержит станочное отделение, гальванический и сварочный участки. Кроме того, имеются вспомогательные, бытовые и служебные помещения.

Цех получает ЭСН от ГПП. Расстояние от ГПП до цеховой ТП — 0,8 км, а от энергосистемы до ГПП — 16 км.

Низкое напряжение на ГПП — 6 и 10 кВ. Количество рабочих смен — 2. Потребители цеха относятся к 2 и 3 категории надежности ЭСН.

Грунт в районе цеха — суглинок при температуре +5 °С. Каркас здания смонтирован из блоков-секций длиной 8 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень ЭО цеха дан в таблице 3.6.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО цеха обработки корпусных деталей показано на плане (рис. 3.6).

Таблица 3.6. Перечень ЭО цеха обработки корпусных деталей

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...4	Сварочные аппараты	52	48	45	ПВ = 60 %
5...9	Гальванические ванны	28	30	25	
10, 11	Вентиляторы	10	12	8	
12, 13	Продольно-фрезерные станки	33	28	18,5	
14, 15	Горизонтально-расточные станки	10,5	12,5	12	
16, 24, 25	Агрегатно-расточные станки	14	12	10,5	
17, 18	Плоскошлифовальные станки	12	14	12,5	
19...23	Краны консольные поворотные	6,5	9,5	7,2	ПВ = 25 %
26	Токарно-шлифовальный станок	11	8,2	7,5	
27...30	Радиально-сверлильные станки	5,2	4,8	6,5	
31, 32	Алмазно-расточные станки	6	7	5	

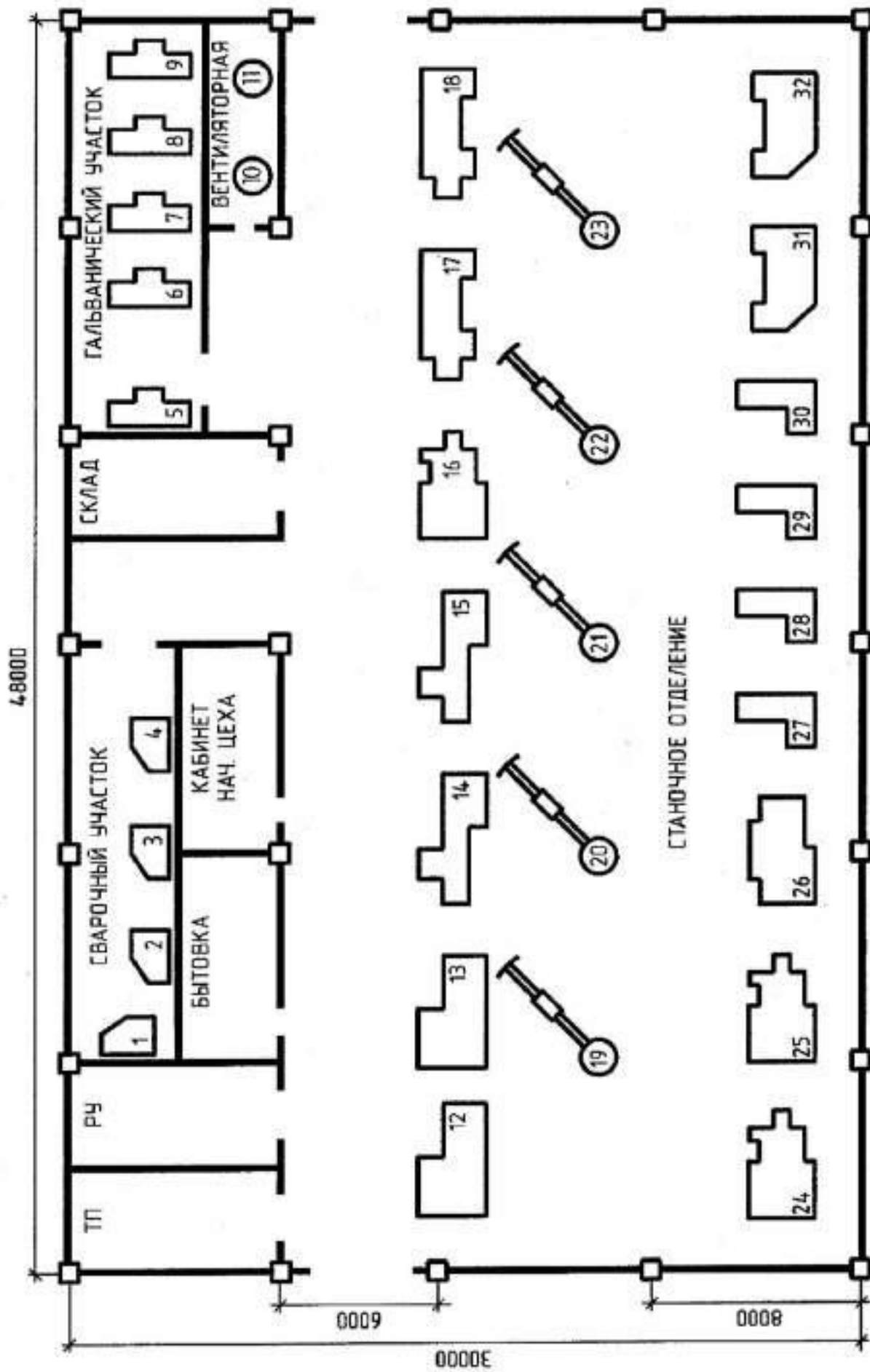


Рис. 3.6. План расположения ЭО цеха обработки корпусных деталей

## Тема 7. ЭСН и ЭО механического цеха серийного производства

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Механический цех серийного производства (МЦСП) предназначен для серийного выпуска продукции для завода тяжелого машиностроения.

Он является вспомогательным звеном в цепи промышленного производства завода.

Цех имеет станочное отделение, производственные, вспомогательные, бытовые и служебные помещения. ЭСН осуществляется от ГПП напряжением 6 и 10 кВ, расположенной на территории завода на расстоянии 1,2 км от цеха. От энергосистемы до ГПП — 12 км.

Количество рабочих смен — 2. Потребители цеха относятся к 1, 2 и 3 категориям надежности ЭСН.

Грунт в районе цеха — глина с температурой +10 °С. Каркас здания цеха смонтирован из блоков-секций длиной 4 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 32 \times 8$  м.

Все вспомогательные помещения двухэтажные высотой 3,5 м.

Перечень ЭО цеха дан в таблице 3.7.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение ЭО цеха показано на плане (рис. 3.7).

Таблица 3.7. Перечень ЭО механического цеха серийного производства

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...3	Карусельный фрезерный станок	11	12	10	
4, 5	Станок заточный	3,4	2,8	3,2	1-фазный
6, 7	Стапок наждачный	1,5	1,2	1,6	1-фазный
8	Вентилятор приточный	30	25	32	
9	Вентилятор вытяжной	28	23	30	
10	Продольно-строгальный станок	63,8	54	52,5	
11, 12	Плоскошлифовальный станок	38	42	24	
13...15	Продольно-фрезерный станок	24,5	20,5	18,5	
16...18	Резьбонарезной стапок	10	8	5	
19, 20	Токарно-револьверный станок	15	17	22	
21...28	Полуавтомат фрезерный	11,5	12,5	10,5	
29, 30	Зубофрезерный станок	38	27	19	
31...34	Полуавтомат зубофрезерный	9,5	10,2	8,5	
35	Кран мостовой	30 кВ·А	27 кВ·А	32 кВ·А	ПВ = 60 % cos φ = 0,92

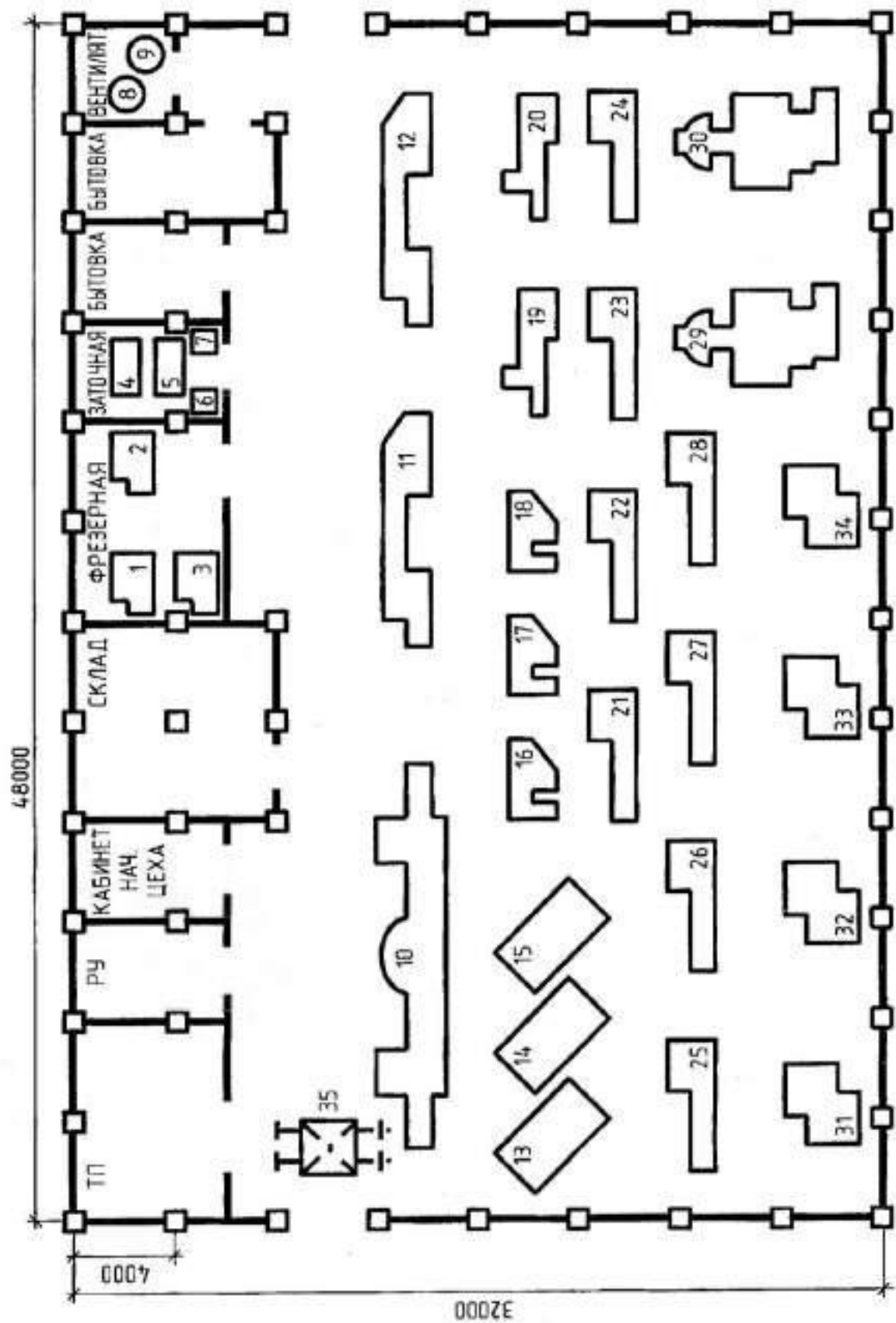


Рис. 3.7. План расположения ЭО механического цеха серийного производства

## Тема 8. ЭСН и ЭО насосной станции

### Краткая характеристика насосной станции и потребителей ЭЭ

Насосная станция (НС) предназначена для мелиорации. Она содержит машинный зал, ремонтный участок, агрегатную, сварочный пост, служебные, бытовые и вспомогательные помещения.

НС получает электроснабжение от государственной районной электростанции (ГРЭС) по воздушной ЛЭП-35. Расстояние от ГРЭС до собственной ТП — 5 км. Трансформаторная подстанция (ТП) находится вне помещения насосной станции на расстоянии 10 км.

Потребители ЭЭ по надежности ЭСН относятся к 2 и 3 категории. Количество рабочих смен — 3.

Основными потребителями являются 5 мощных автоматизированных насосных агрегата.

Грунт в районе здания — глина с температурой +10 °С. Каркас здания и ТП сооружен из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры здания НС  $A \times B \times H = 42 \times 30 \times 7$  м.

Все помещения, кроме машинного зала двухэтажные высотой 2,8 м.

Перечень ЭО насосной станции представлен в таблице 3.8.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО НС показано на плане (рис. 3.8).

Таблица 3.8. Перечень ЭО насосной станции

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Вентиляторы	5	8	10	
3	Сверлильный станок	3,4	4,2	2,8	1-фазный
4	Заточный станок	2,2	2,5	1,8	1-фазный
5	Токарно-револьверный станок	22	28	25	
6	Фрезерный станок	10	9,6	8,5	
7	Круглошлифовальный станок	5,5	6,2	7,8	
8	Резьбонарезной станок	8	6	7	
9...11	Электронагреватели отопительные	15,5	12,5	17,5	
12	Кран мостовой	30,8 кВт·А	40,2 кВт·А	28,6 кВт·А	ПВ = 25 %
13...17	ЭД вакуумных насосов	8	6	5	
18...22	Электродвигатели задвижек	1,2	0,8	1,5	1-фазные
23...27	Насосные агрегаты	630	250	360	
28	Щит сигнализации	1,1	0,8	1,2	1-фазный
29, 30	Дренажные насосы	9,5	11,2	8,4	
31, 32	Сварочные агрегаты	15 кВт·А	12 кВт·А	12,5 кВт·А	ПВ = 40 %

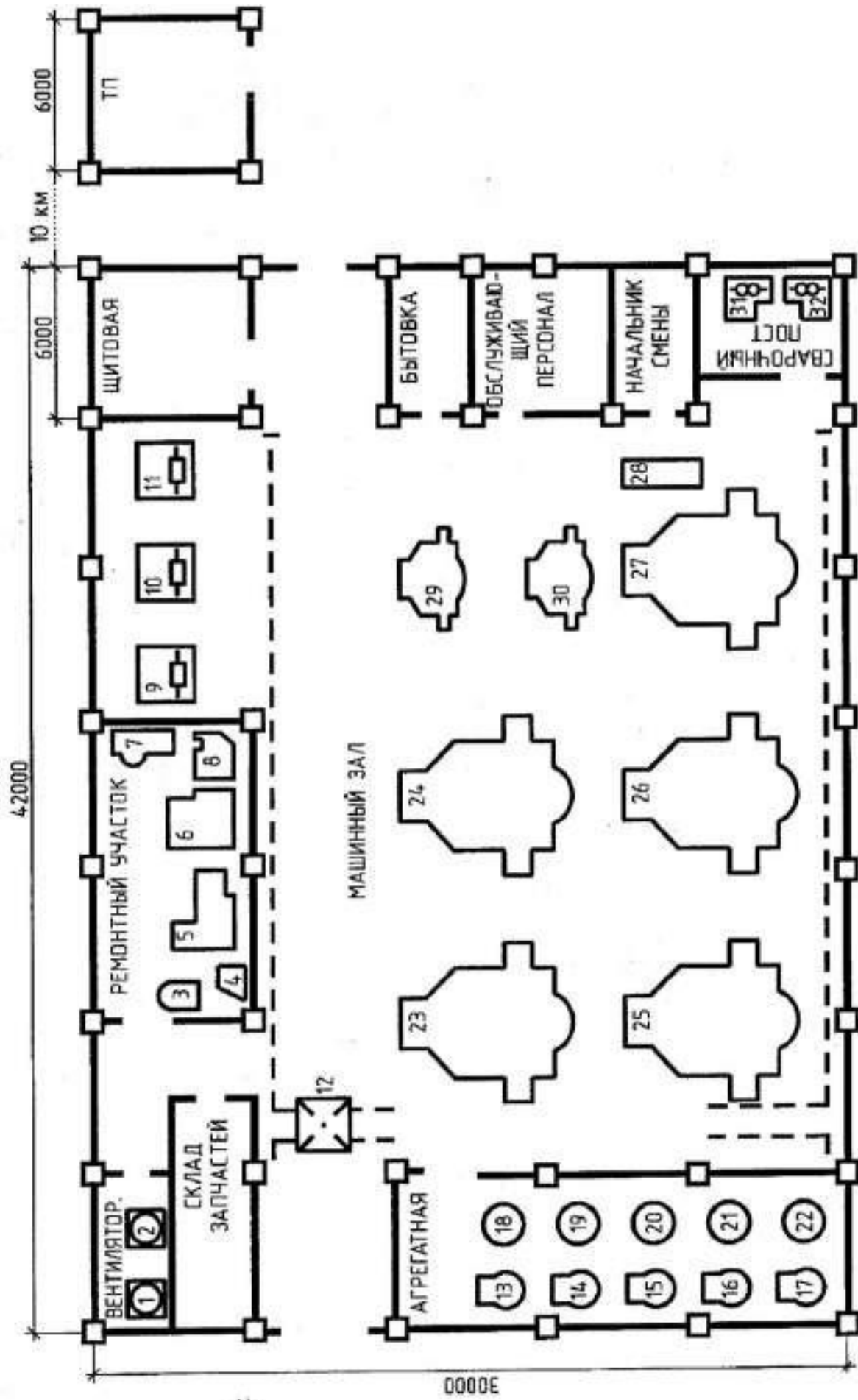


Рис. 3.8. План расположения ЭО насосной станции



## Тема 9. ЭСН и ЭО учебных мастерских

### Краткая характеристика учебных мастерских и потребителей ЭЭ

Учебные мастерские (УМ) предназначены для практической подготовки обучаемых. Они являются неотъемлемой частью учебно-материальной базы предприятия.

Кроме того, УМ можно использовать для выполнения несложных заказов силами учающихся нуждающимися организациям.

В учебных мастерских предусматривается наличие производственных, учебных, служебных и бытовых помещений.

ЭСН мастерских осуществляется от ТП, расположенной на расстоянии 50 м от здания.

ТП подключена к подстанции глубокого ввода (ПГВ), установленной в 4 км от нее, напряжение 10 кВ. Потребители ЭЭ относятся к 2 и 3 категории надежности ЭСН. Учебно-подготовительный процесс — односменный. Основные потребители ЭЭ — станки различного назначения.

Грунт в районе цеха — супесь с температурой +20 °С. Каркас здания и ТП сооружен из блоков-секций длиной 8 и 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 40 \times 30 \times 9$  м, все помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень ЭО учебных мастерских дан в таблице 3.9.

Мощность электропотребления ( $P_{\text{эл}}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО УМ показано на плане (рис. 3.9).

Таблица 3.9. Перечень ЭО учебных мастерских

№ ра плана	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{\text{эл}}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...3	Деревообрабатывающие станки	6	12,5	3,5	
4...7	Заточные станки	2,3	2,8	3,2	1-фазные
8...11	Сверлильные станки	7,5	3,5	4,2	
12	Вентилятор вытяжной	4,5	7,2	3,2	
13	Вентилятор приточный	5	8,5	4,5	
14...17	Сварочные агрегаты	14 кВ·А	18 кВ·А	16 кВ·А	1-фазные ПВ = 60 %
18...21	Токарные станки	3,8	6,3	5,7	
22...25	Круглошлифовальные станки	5,2	4,8	6,5	
26...28	Фрезерные станки	8	7,5	4,8	
29...33	Болтонарезные станки	3,2	2,5	2,5	
34...38	Резьбонарезные станки	8,1	6,2	4,2	



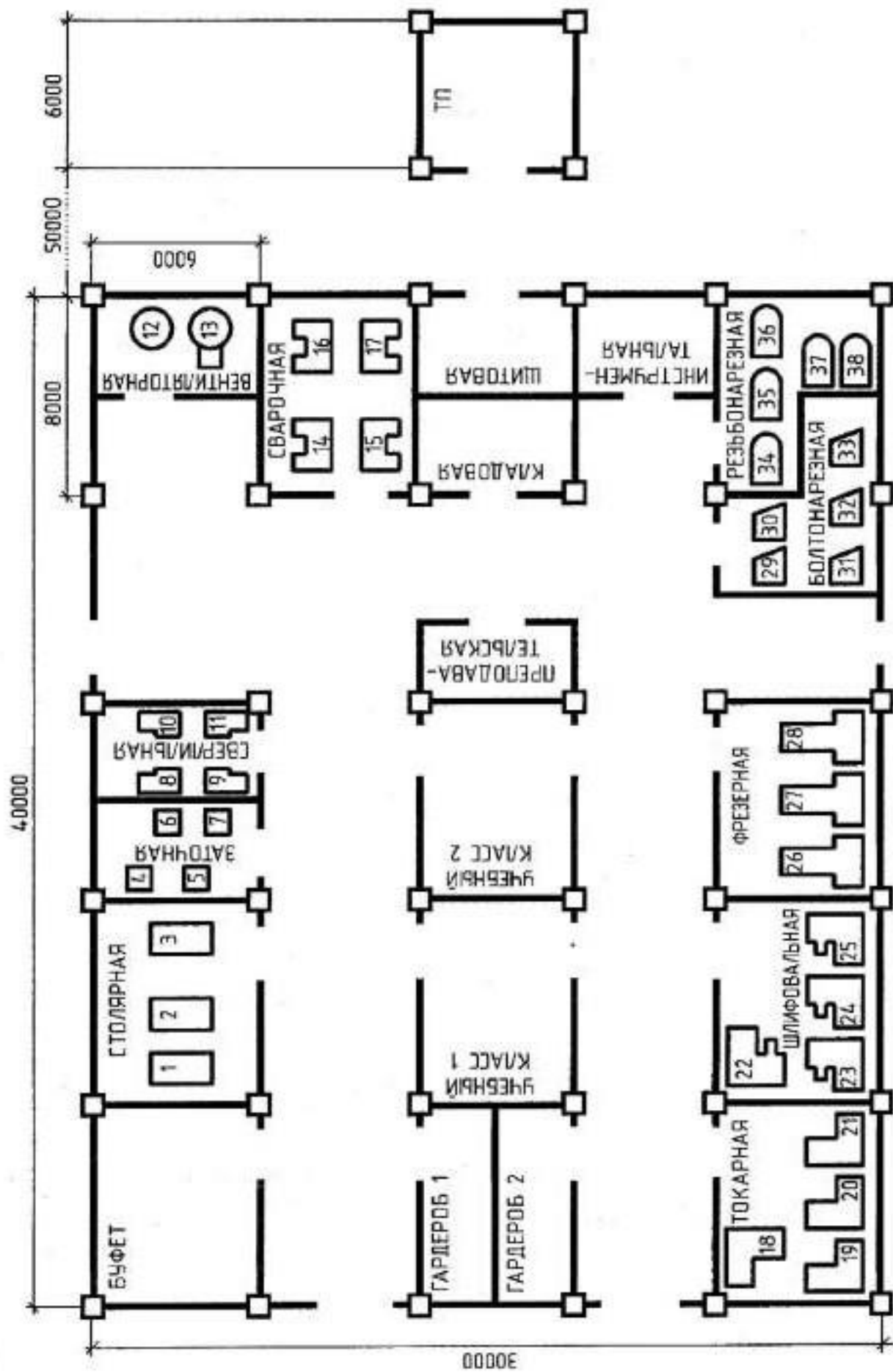


Рис. 3.9. План расположения ЭО учебных мастерских

## Тема 10. ЭСН и ЭО цеха механической обработки деталей

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Цех механической обработки деталей (ЦМОД) предназначен для обработки коленчатых валов автомобильного двигателя.

В цехе предусмотрены производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения различного назначения.

Основное оборудование размещено в станочном и ремонтно-механическом отделениях.

ЦСОД получает ЭСН от подстанции глубокого ввода (ПГВ) завода, расположенной на расстоянии 8 км от энергосистемы (ЭС). Напряжение на ПГВ — 6 или 10 кВ. Расстояние от ПГВ до цеха — 0,5 км.

Потребители ЭЭ по бесперебойности ЭСН имеют 2 категорию надежности.

Количество рабочих смен — 3.

Грунт в районе здания цеха — суглинок при +15 °С. Каркас здания сооружен из блочных секций длиной 8 и 4 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 28 \times 9$  м.

Вспомогательные помещения двухэтажные высотой 4 м.

Перечень ЭО ЦМОД дан в таблице 3.10.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного оборудования показано на плане (рис. 3.10).

Таблица 3.10. Перечень ЭО цеха механической обработки деталей

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 13, 15, 16, 34...36	Токарные специальные станки	10	12	8,5	
2, 43, 44	Алмазно-расточные станки	2,2	3,5	5,4	
3, 24...26	Вертикально-фрезерные станки	7,5	8,6	10	
4, 9	Наждачные станки	2,4	1,5	4,5	1-фазные
5, 6, 17, 18	Сверлильные станки	8	4	3,5	
7, 8	Заточные станки	1,5	3,2	2,5	1-фазные
10...12	Закалочные установки	15	12	20	
14, 19, 20	Круглошлифовальные станки	6,5	7,5	12	
21, 37...39	Токарные полуавтоматы	22	18	15	
22, 23	Балансировочные станки	2,7	3,4	1,8	
27...29	Вертикально-сверлильные станки	4	6	5	
30	Кран мостовой	30 кВ·А	25 кВ·А	18 кВ·А	ПВ = 40 %
31...33	Агрегатные станки	12	16,5	12,5	
41, 40, 42	Шпоночно-фрезерные станки	7	5	3	
45, 46	Магнитный дефектоскоп	1,2	1,3	1,5	1-фазный

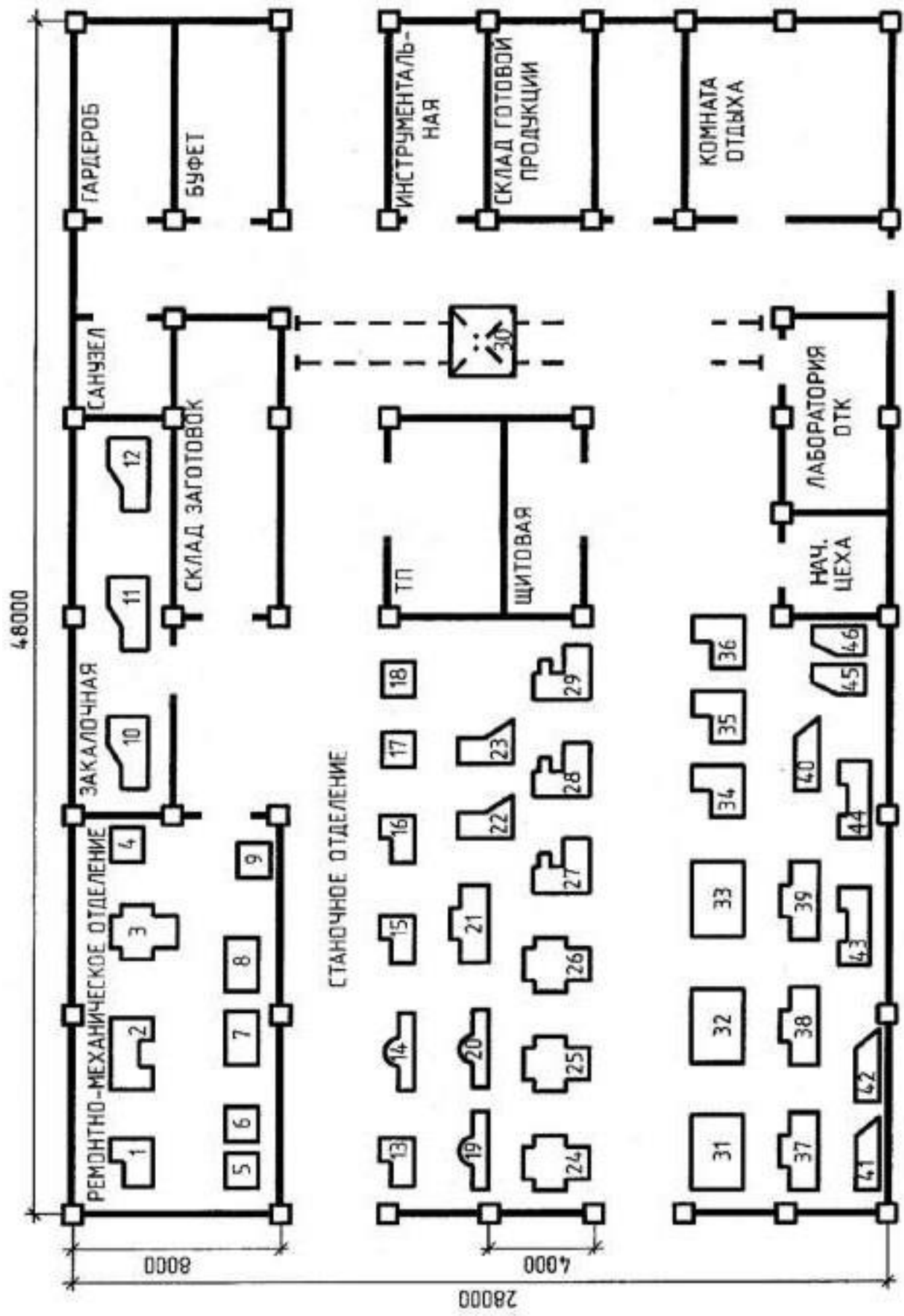


Рис. 3.10. План расположения ЭО цеха механической обработки деталей

## Тема 11. ЭСН и ЭО инструментального цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Инструментальный цех (ИЦ) предназначен для изготовления и сборки различного измерительного, режущего, вспомогательного инструмента, а также штампов и приспособлений для горячей и холодной штамповки.

ИЦ является вспомогательным цехом завода по изготовлению механического оборудования и станков. Цех имеет производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.

Станочный парк размещен в станочном отделении. Электроснабжение цеха осуществляется от собственной цеховой ТП. Здание расположено на расстоянии 1,2 км от заводской главной понизительной подстанции (ГПП), напряжение — 1 кВ. Расстояние ГПП от энергосистемы — 12 км.

Количество рабочих смен — 2. Потребители электроэнергии — 2 и 3 категории надежности ЭСН.

Грунт в районе цеха — чернозем с температурой +10 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень оборудования ИЦ дан в таблице 3.11.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение ЭО на плане показано на рис. 3.11.

Таблица 3.11. Перечень ЭО инструментального цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2, 40, 41, 46	Поперечно-строгальные станки	5,5	7,5	8,5	
3, 5...7, 28...31	Токарно-револьверные станки	4,8	3,2	2,8	
4, 8, 32...34	Одношпиндельные автоматы токарные	1,8	2,2	3,5	
9...15, 26, 27	Токарные автоматы	4,5	5,5	7,5	
16, 17, 19, 20, 44, 45	Алмазно-расточные станки	2,8	4,8	2,2	
18, 21...25, 37, 38	Горизонтально-фрезерные станки	10	12,5	9,5	
35, 36, 50, 51	Наждачные станки	1,5	2,5	3	1-фазные
39, 47	Кран-балки	5	10	15	ПВ = 60 %
42, 43, 48, 49, 52, 53	Заточные станки	2,3	3	2,5	1-фазные



Рис. 3.11. План расположения ЭО инструментальной цеха

## Тема 12. ЭСН и ЭО механического цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Механический цех (МЦ) является вспомогательным и выполняет заказы основных цехов предприятия.

Он предназначен для выполнения различных операций по обслуживанию, ремонту электротермического и станочного оборудования.

Для этой цели в цехе предусмотрены: станочное отделение, сварочный участок, компрессорная, производственные, служебные и бытовые помещения.

Основное оборудование установлено в станочном отделении: станки различного назначения и подъемно-транспортные механизмы.

МЦ получает электроснабжение (ЭСН) от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП).

ТП находится на расстоянии 1,5 км от ГПП предприятия, напряжение — 6 или 10 кВ.

От энергосистемы (ЭНС) до ГПП — 12 км.

Количество рабочих смен — 2.

Потребители ЭЭ относятся по надежности и бесперебойности ЭСН к 2 и 3 категории.

Грунт в районе цеха — супесь с температурой 0 °С, окружающая среда не агрессивная.

Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8 и 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 7$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,2 м.

Перечень ЭО цеха дан в таблице 3.12.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.12).

Таблица 3.12. Перечень ЭО механического цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...4	Сварочные автоматы	50 кВ·А	42 кВ·А	64 кВ·А	ПВ = 60 %
5...8	Вентиляторы	4,8	4,5	5	
9, 10	Компрессоры	30	50	40	
11, 12, 39, 40	Алмазно-расточные станки	2,5	2,8	3,2	
13...16	Горизонтально-расточные станки	25	18	15	
17, 19	Продольно-строгальные станки	40	30	20	
18	Кран-балка	15	10	12	ПВ = 60 %
20	Мостовой кран	55	45	60	ПВ = 40 %
21...26	Расточные станки	14	10	15	
27...29	Поперечно-строгальные станки	10	7,5	8,5	
30...33	Радиально-сверлильные станки	3	5	7	1-фазные
34...36	Вертикально-сверлильные станки	4	3	2,5	1-фазные



*Продолжение табл. 3.12*

1	2	3	4	5	6
37, 38	Электроды сопротивления	32	42	45	
41, 42	Заточные станки	1,5	2,5	2,2	1-фазные
43...50	Токарно-револьверные станки	4,5	12,5	8,8	

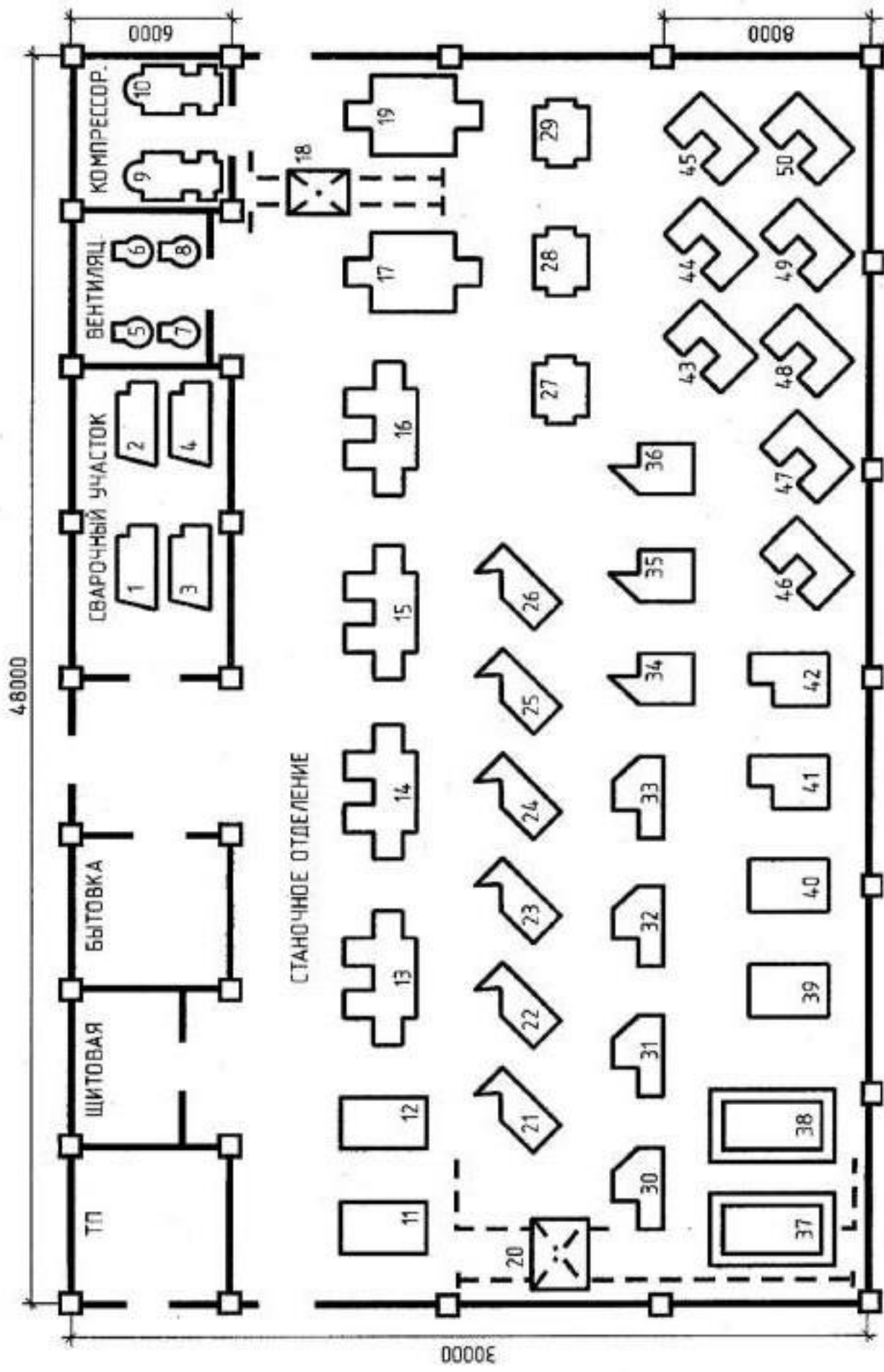


Рис. 3.12. План расположения ЭО механического цеха

## Тема 13. ЭСН и ЭО цеха металлоизделий

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Цех металлоизделий (ЦМ) является составной частью отрасли тяжелого машиностроения и предназначен для выпуска различных изделий для этого производства.

В цехе предусмотрено термическое отделение, в котором производится предварительная подготовка заготовок и окончательная подготовка готовых изделий.

В станочном отделении установлены станки различного назначения. Транспортные операции производятся с помощью мостовых кранов и наземных электротележек.

Кроме названных в цехе имеются вспомогательные, бытовые и служебные помещения.

ЦМ получает электроснабжение от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП), расположенной на расстоянии 1,6 км от заводской подстанции глубокого ввода (ПГВ). Напряжение — 10 или 35 кВ. От энергосистемы (ЭСН) до ПГВ — 15 км.

Количество рабочих смен — 2. Потребители ЭЭ по надежности ЭСН — 2 и 3 категории.

Грунт в районе цеха — песок с температурой +10 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 4, 6, и 8 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 10$  м.

Все помещения, кроме станочного и термического отделений, двухэтажные высотой 4 м.

Перечень ЭО цеха дан в таблице 3.13.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.13).

Таблица 3.13. Перечень ЭО цеха металлоизделий

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 31, 42	Краны мостовые	25	30	45	ПВ = 25 %
2, 3, 14	Продольно-строгальные станки	12,2	14	16,2	
15...17	Плоско-шлифовальные станки	3	4,5	5	1-фазные
4...8, 32...35, 39...41	Токарно-револьверные станки	3,5	8,5	12,5	
9...13	Токарные станки	15	12	17	
18, 19	Вертикально-сверлильные станки	2,5	3	2,8	1-фазные
20	Расточный станок	13	9,5	8	
21, 22	Фрезерные станки	3,8	4,8	4,2	
23, 24	Радиально-сверлильные станки	9,5	12,2	15	
25	Электрическая печь сопротивления	60	45	30	
26, 27	Электрические печи индукционные	24	28	32	
28...30	Электродуговые печи	50	55	48	
36...38	Вентиляторы	5	4,5	5,5	

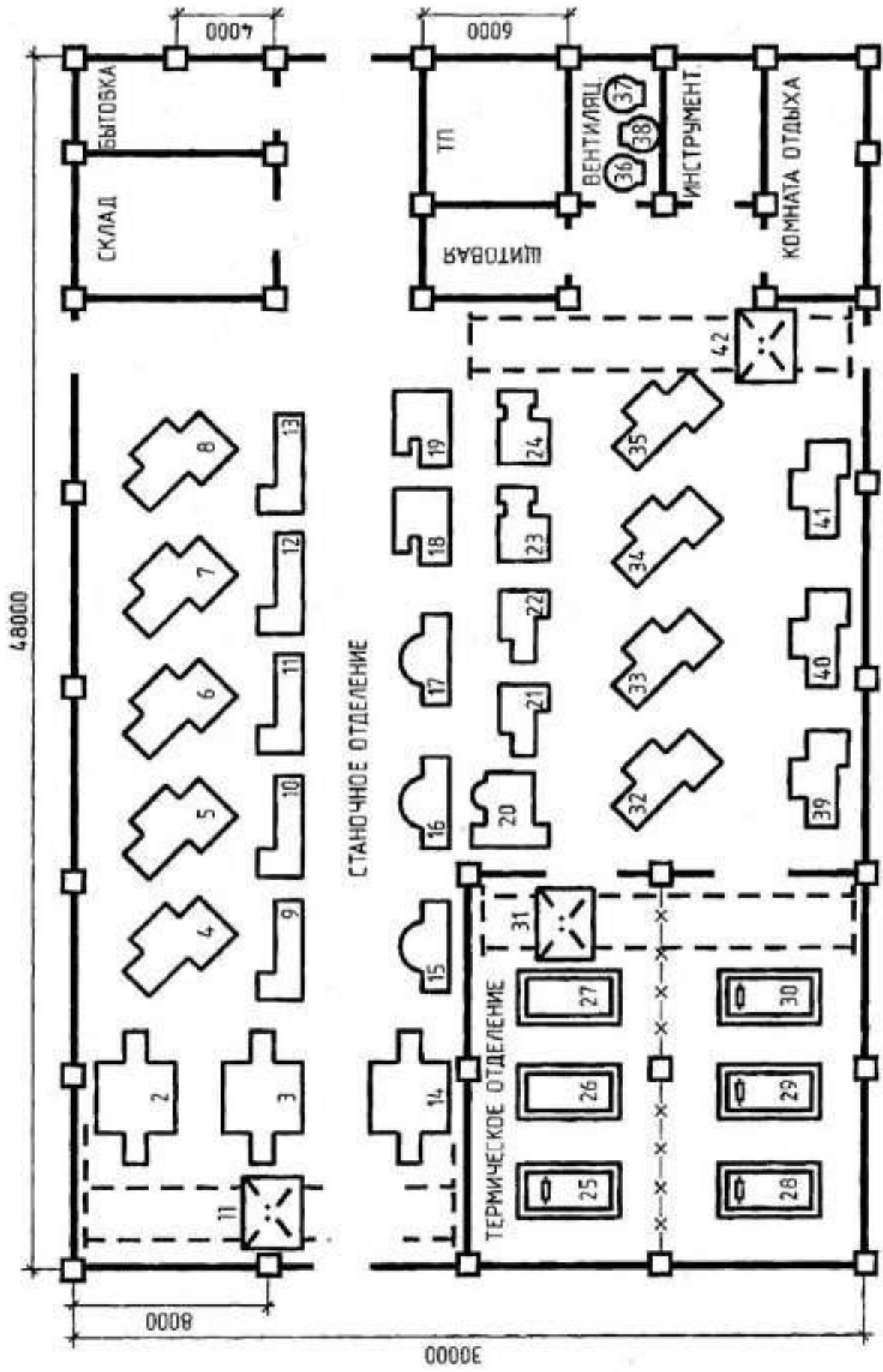


Рис. 3.13. План расположения ЭО цеха металлоизделий

## Тема 14. ЭСН и ЭО участка механосборочного цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Участок механосборочного цеха (УМЦ) предназначен для выпуска передней оси и заднего моста грузовых автомобилей.

Цех является составной частью производства машиностроительного завода.

УМЦ предусматривает производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.

УМЦ получает электроснабжение (ЭСН) от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП), расположенной на расстоянии 1,5 км от подстанции глубокого ввода (ПГВ) завода. Подводимое напряжение — 6, 10 или 35 кВ.

ПГВ подключена к энергосистеме (ЭС), расположенной на расстоянии 8 км.

Потребители ЭЭ относятся к 2 и 3 категории надежности ЭСН.

Количество рабочих смен — 2.

Грунт в районе цеха — глина с температурой +5 °С. Каркас здания сооружен из блочных секций длиной 6 и 8 м каждый.

Размеры участка  $A \times B \times H = 50 \times 30 \times 9$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 4,2 м.

Перечень ЭО участка механосборочного цеха дан в таблице 3.14.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприспособления.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.14).

Таблица 3.14. Перечень ЭО участка механосборочного цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...3	Наждачные станки	2,2	1,8	1,5	1-фазные
4...6	Карусельно-фрезерные станки	10	12,5	9,5	
7, 8	Вертикально-протяжные станки	14	15	8,5	
9...11	Токарные полуавтоматы	20,5	18	22	
12...14	Продольно-фрезерные станки	25	34	30	
15, 23	Горизонтально-расточные станки	17,5	12,8	15,2	
16, 17	Вертикально-сверлильные станки	7,5	5,5	6,5	
18, 19	Агрегатные горизонтально-сверлильные станки	17	11	20	
20, 21	Агрегатные вертикально-сверлильные станки	13	9	15	
22, 29	Шлифовально-обдирочные станки	4	4,5	5	
24, 25	Вентиляторы	4,5	5	4	
26, 27	Круглошлифовальные станки	5	3,5	2,8	
28	Закалочная установка	16	25	20	
30, 31	Клепальная машина	5	6,2	5,5	

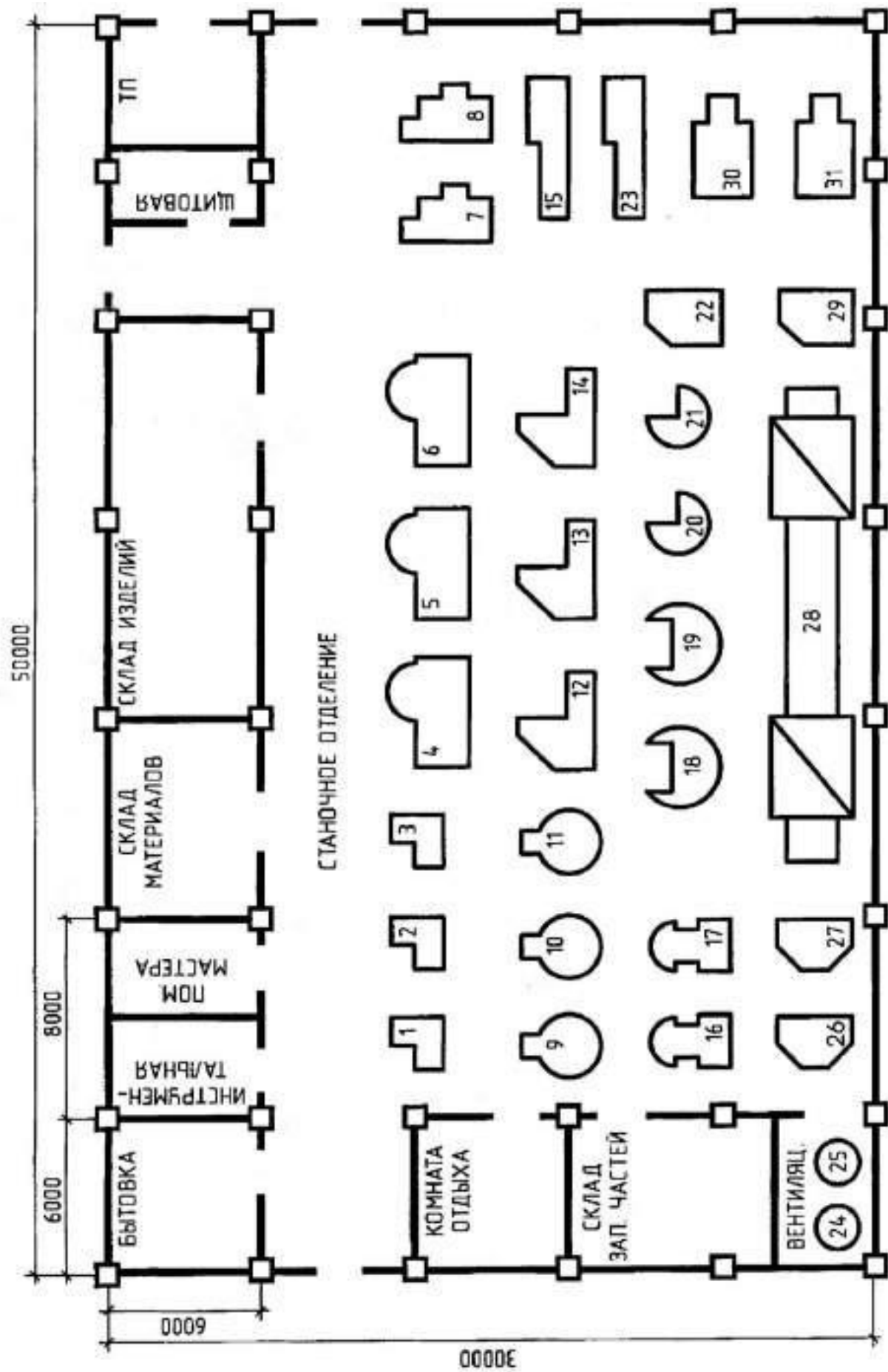


Рис. 3.14. План расположения ЭО участка механосборочного цеха



## Тема 15. ЭСН и ЭО цеха металлорежущих станков

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Цех металлорежущих станков (ЦМС) предназначен для серийного производства деталей по заказу.

ЦМС предусматривает наличие производственных, служебных, вспомогательных и бытовых помещений. Металлорежущие станки различного назначения размещены в станочном, заточном и резьбошлифовальном отделениях.

Транспортные операции выполняются кран-балкой и наземными электротележками.

Цех получает ЭСН от собственной цеховой трансформаторной подстанции (ТП), расположенной на расстоянии 1,3 км от ГПП завода. Подводимое напряжение — 10 или 35 кВ. ГПП подключена к энергосистеме (ЭНС), расположенной на расстоянии 15 км.

Потребители ЭЭ относятся к 2 и 3 категории надежности электроснабжения.

Количество рабочих смен — 3. Грунт в районе цеха — глина при температуре +5 °С.

Каркас здания сооружен из блоков-секций, длиной 6 и 8 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 50 \times 30 \times 8$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень ЭО цеха металлорежущих станков дан в таблице 3.15.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.15).

Таблица 3.15. Перечень ЭО цеха металлорежущих станков

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 11, 40	Электропривод раздвижных ворот	3,5	4	4,5	1-фазные ПВ = 25 %
2...4	Универсальные заточные станки	2,5	3,5	2,8	
5, 10	Заточные станки для червячных фрез	7	8	8,2	
6, 7	Резьбошлифовальные станки	4,8	5,2	6,4	
8, 9	Заточные станки для фрезерных головок	3	3,2	4,2	
12, 13, 17...19	Крутлошлифовальные станки	10,2	9,6	10	
14...16	Токарные станки	6,5	8,5	7,8	
20...22	Вентиляторы	4	4,5	5	
23, 24, 29, 30, 36, 37	Плоскошлифовальные станки	38	28	18,5	
25...28, 34, 35	Внутришлифовальные станки	8,9	10,4	12	
31	Кран-балка	10	12	15	ПВ = 40 %
32, 33, 38, 39	Заточные станки		2,8	3,2	

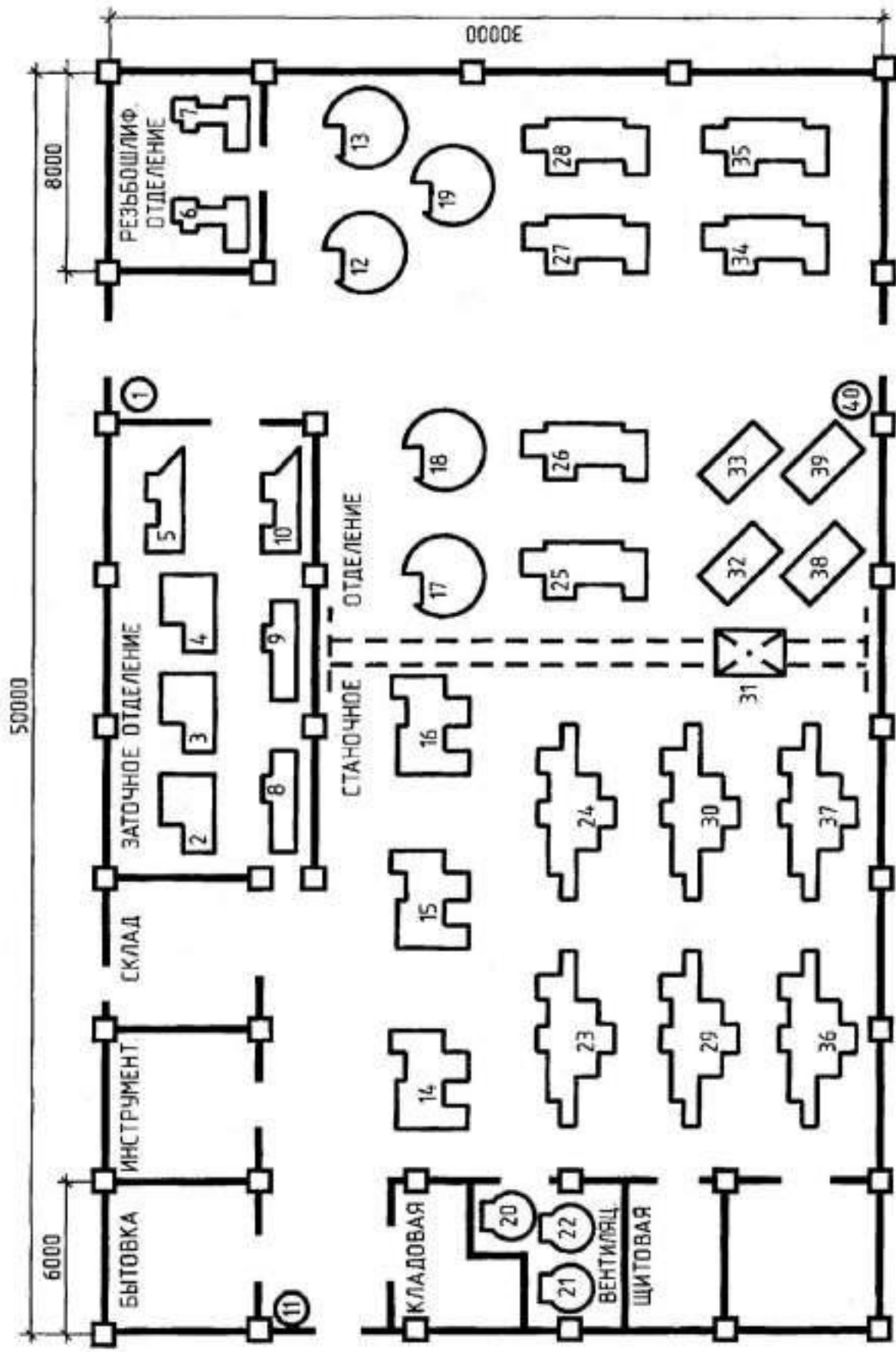


Рис. 3.15. План расположения ЭО цеха металлорежущих станков

## Тема 16. ЭСН и ЭО сварочного участка цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Сварочный участок (СУ) предназначен для подготовительных работ с изделиями. Он является частью крупного механического цеха завода тяжелого машиностроения.

На сварочном участке предусмотрены работы различного назначения: ручная электродуговая сварка и наплавка, полуавтоматическая и автоматическая импульсная наплавка под слоем флюса и т. п.

Он оборудован электроустановками (ЭУ): термическими сварочными, вентиляционными, а также металлообрабатывающими станками.

Транспортные операции осуществляются с помощью кран-балки, электротали, наземных электротележек, ленточных конвейеров.

Участок имеет механическое, термическое отделение, сварочные посты, отделение импульсной наплавки, где размещено основное оборудование.

Электроснабжение (ЭСН) обеспечивается от цеховой трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной на расстоянии 50 м от здания участка. В перспективе от этой же ТП предусматривается ЭСН станочного участка с дополнительной нагрузкой ( $P = 800$  кВт;  $\cos \varphi = 0,85$ ;  $K_n = 0,6$ ).

Электроприемники, обеспечивающие жизнедеятельность (вентиляция и кондиционирование) относятся к 2 категории надежности ЭСН, а остальные — к 3. Количество рабочих смен — 2.

Грунт в районе цеха — песок при температуре +12 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8, 6 и 4 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8$  м.

Все помещения, кроме механического отделения, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень ЭО цеха сварочного участка дан в таблице 3.16.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.16).

Таблица 3.16. Перечень ЭО сварочного участка цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 4	Сварочные преобразователи	12	22	16	
2	Сварочный полуавтомат	30	18	25	
3, 9, 13, 16, 41	Вентиляционные установки	6	9	8,5	
5...7	Сварочные выпрямители	8,8	12,2	7,2	
8, 10	Токарные станки импульсной наплавки	15,1	10,5	12,3	
11, 12, 14, 15	Сварочные агрегаты	6,5	8,1	10,4	

1	2	3	4	5	6
17, 21, 44, 46	Кондиционеры	16	12	24	
18...20	Электроды сопротивления	48	75	55	
22...26, 28	Слиткообдирочные станки	4,5	6,5	5,5	
27, 35, 37...39	Сверлильные станки	1,8	2,2	2,5	
29	Кран-балка	12	10	15	ПВ = 60 %
30, 34	Конвейеры ленточные	4,5	3	5	
31...33, 36	Обдирно-шлифовальные станки	5	4	3	
40	Сварочный степд	11,2	8,7	9,8	
42, 43	Сварочные трансформаторы	28 кВ·А	32 кВ·А	22 кВ·А	1-фазные ПВ = 4 %
45	Электроталь	2,5	3,5	4	ПВ = 25 %

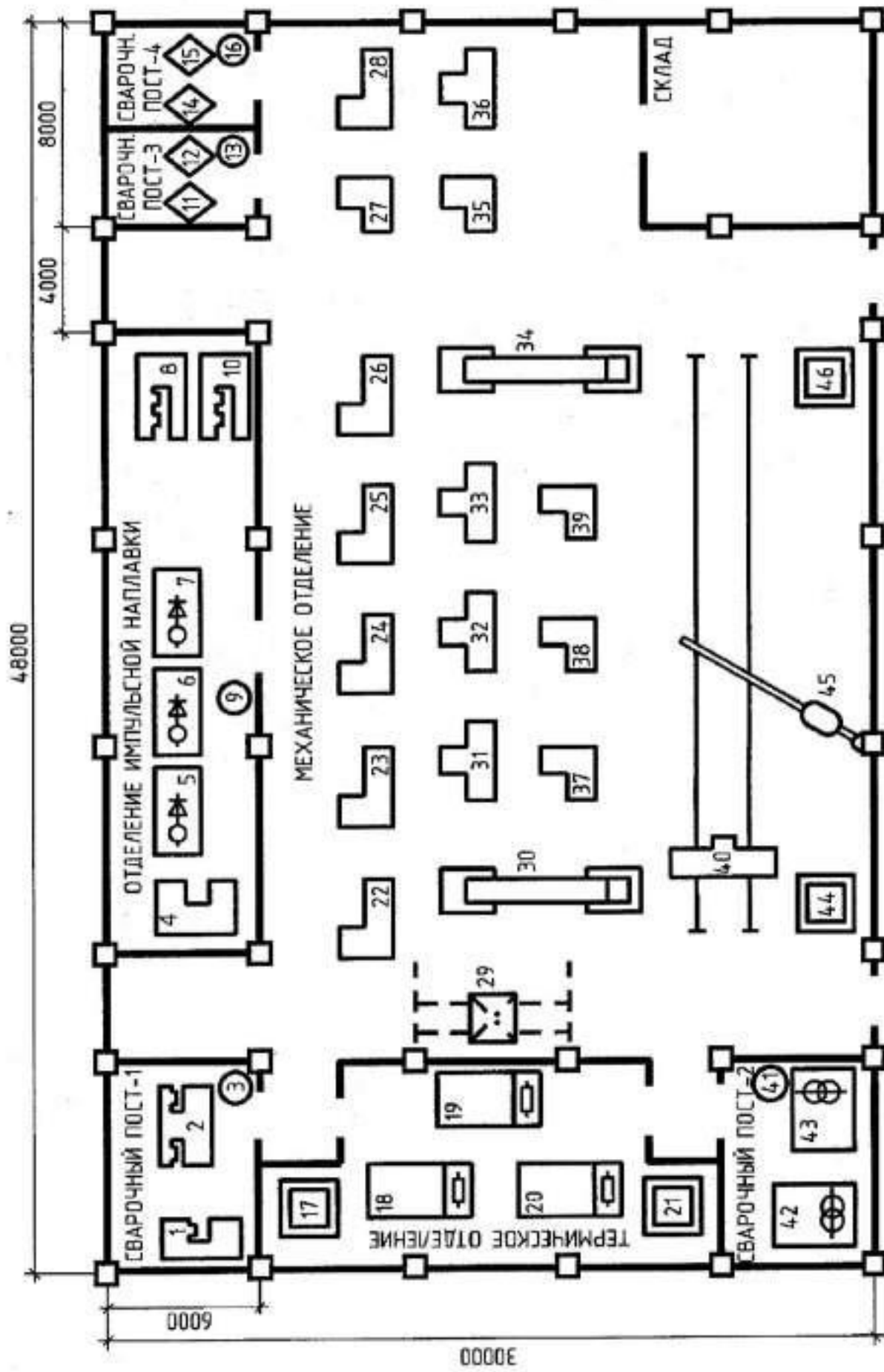


Рис. 3.16. План расположения ЭО сварочного участка цеха

## Тема 17. ЭСН и ЭО прессового участка цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Прессовый участок (ПУ) предназначен для штамповки деталей электротехнической промышленности. Он является составной частью крупного завода электроизделий.

На нем предусмотрены: станочное отделение, где размещен станочный парк; ремонтная мастерская, служебные, вспомогательные и бытовые помещения. Транспортные операции выполняются с помощью кран-балки и наземных электротележек.

Участок получает электроснабжение (ЭСН) от собственной трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной в пристройке здания. Распределительные устройства (РУ) потребителей ЭЭ размещены в станочном отделении. От этой же ТП получают ЭСН еще два участка с дополнительной нагрузкой каждый ( $S = 250 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $K_n = 0,5$ ).

Все электроприемники относятся к 2 категории надежности ЭСН. Количество рабочих смен — 3.

Грунт в районе здания — глина с температурой  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8 и 6 м каждый.

Размеры здания  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 7 \text{ м}$ .

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,2 м.

Перечень ЭО цеха металлорежущих станков дан в таблице 3.17.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.17).

Таблица 3.17. Перечень ЭО прессового участка цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1...3	Кузнечно-штамповочные автоматы	14,5	21,7	12,4	
4...8	Прессы электромеханические	28,1	13,9	15,7	
9...12	Прессы фрикционные	24,2	17,2	10,5	
13	Кран-балка	9,5	8,5	12,5	ПВ = 40 %
14...18	Молоты ковочные	10,2	12,3	17,3	
19, 20	Вентиляторы	4,5	5	3,8	
21...26	Прессы кривошипные	15	20	25	ПВ = 60 %
27, 28	Насосы масляные	3,5	4	2,5	
29, 30	Наждачные станки	1,5	2,5	3	1-фазные
31, 32	Шлифовальные станки	7,5	11,5	12	
33, 34	Сверлильные станки	3	2,5	3,2	



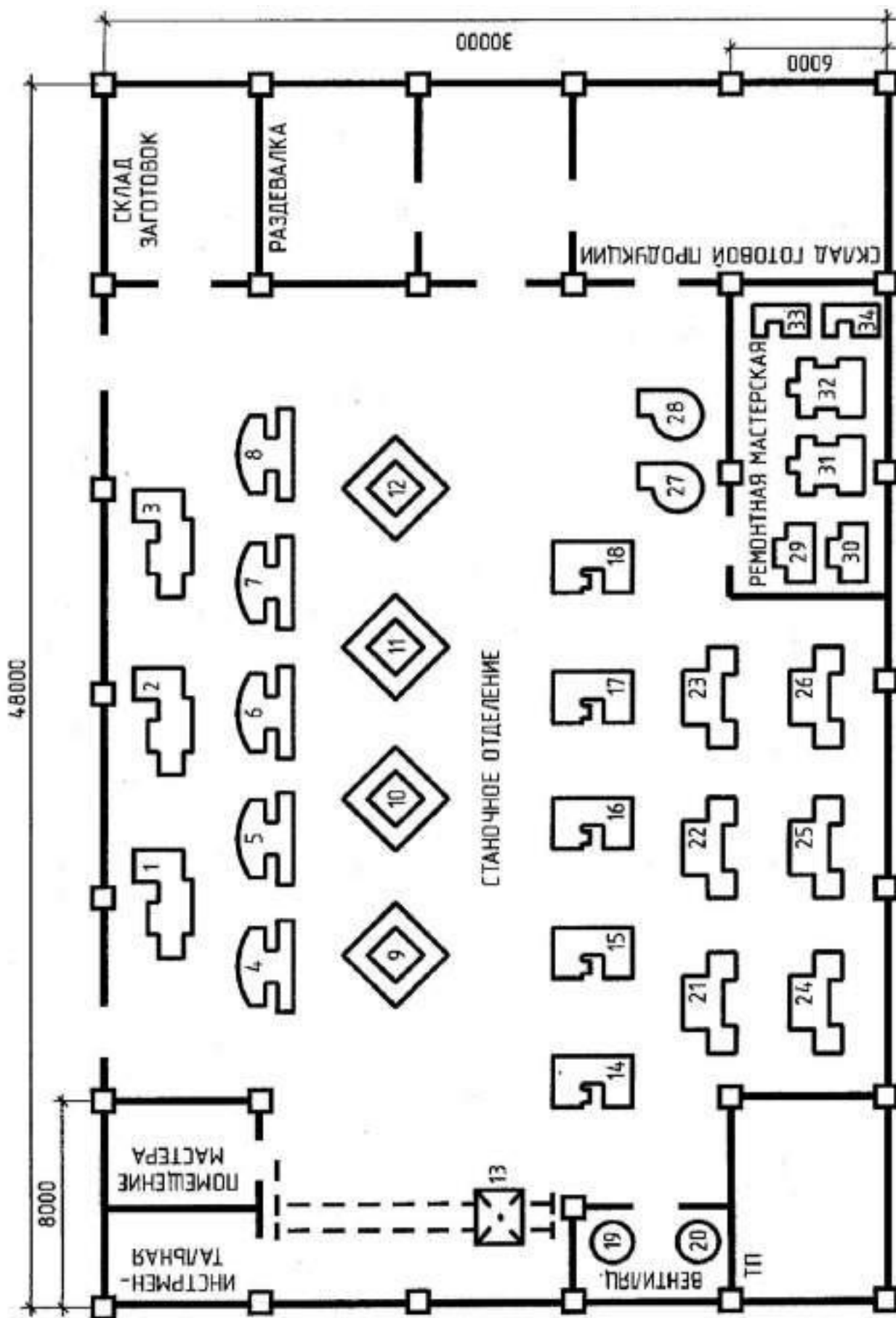


Рис. 3.17. План расположения ЭО прессового участка цеха

## Тема 18. ЭСН и ЭО участка токарного цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Участок токарного цеха (УТЦ) предназначен для обеспечения производимой продукции всего цеха. Он является составной частью цеха металлоизделий машиностроительного завода.

УТЦ имеет станочное отделение, где размещен станочный парк, вспомогательные (склады, инструментальная, мастерская и др.) и бытовые (раздевалка, комната отдыха) помещения.

Транспортные операции выполняются с помощью кран-балок и наземных электротележек.

Участок получает электроснабжение (ЭСН) от цеховой трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной в пристройке цеха металлоизделий. Дополнительная нагрузка ТП:  $P = 550$  кВт;  $\cos \varphi = 0,9$ ;  $K_{\text{н}} = 0,9$ . Все электроприемники по безопасности — 2 категории.

Количество рабочих смен — 2. Грунт в районе здания — супесь с температурой +8 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 6 и 4 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 28 \times 8$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень ЭО участка токарного цеха дан в таблице 3.18.

Мощность электропотребления ( $P_{\text{эл}}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.18).

Таблица 3.18. Перечень ЭО участка токарного цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{\text{эл}}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Токарно-револьверные многоцелевые станки	10	8	9	
3, 21, 27	Кран-балки	5,2	7,1	4,8	ПВ = 60 %
4, 5	Токарные станки с ЧПУ	8	7,5	5	
6, 7, 15, 16	Сверлильно-фрезерные станки	6,4	4,2	7,2	
8	Кондиционер	4,8	3,8	5,5	1-фазный
9...12	Токарные станки с ЧПУ повышенной точности	9,2	10,4	7	
13, 17, 18	Координатно-сверлильные горизонтальные станки	12,5	11,2	9,8	
14	Строгальный станок	15	18,5	12	
19	Шлифовальный станок	7,5	6,4	8,5	
20	Наждачный станок	3	2,5	3,2	1-фазный
22, 23	Токарные многоцелевые прутково-патронные модули	18	12	15	
24, 29, 30	Токарные вертикальные полуавтоматы с ЧПУ	35	45	30	
25, 26, 28	Координатно-сверлильные вертикальные станки	11	9	8,7	

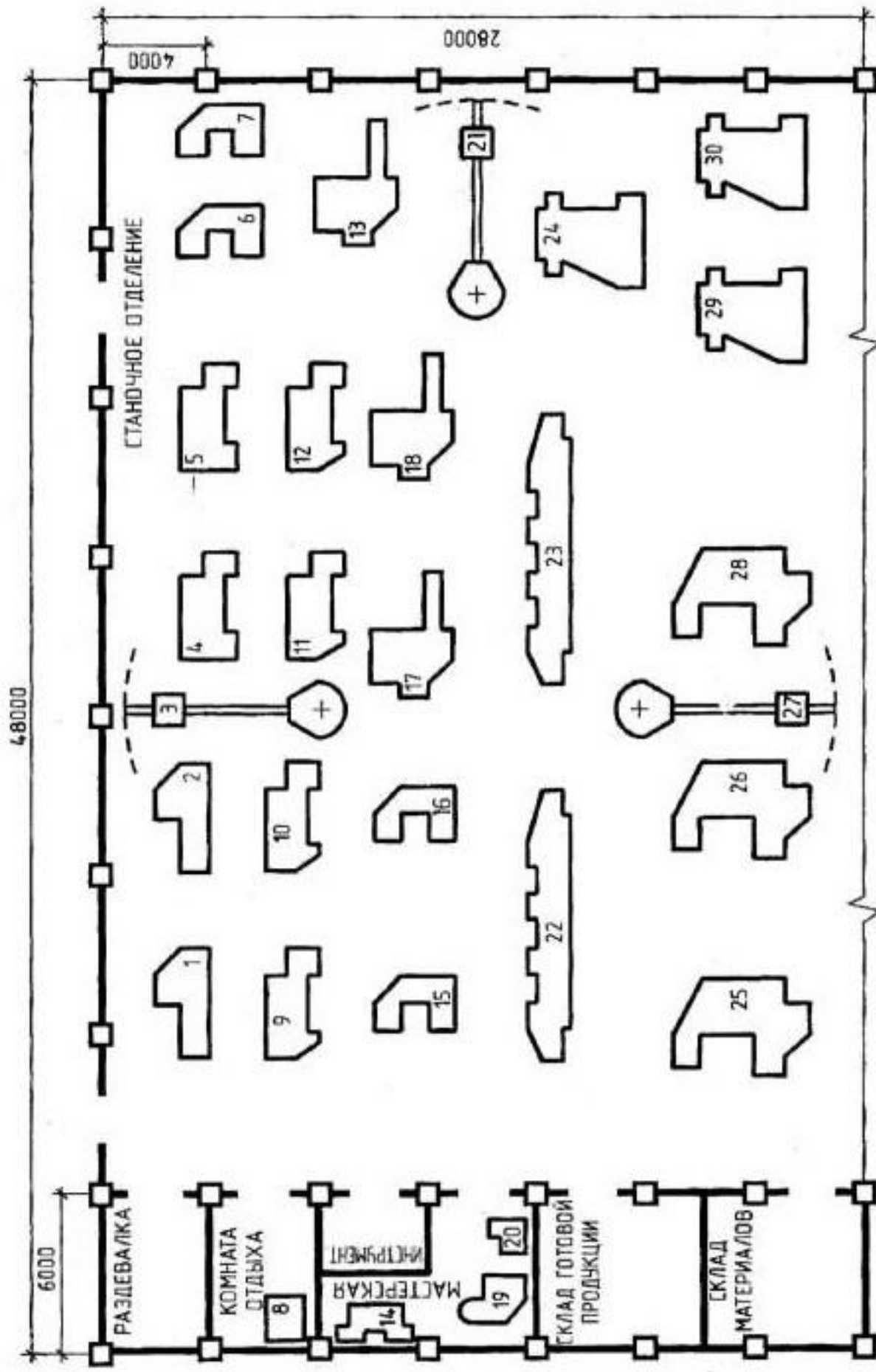


Рис. 3.18. План расположения ЭО участка токарного цеха

## Тема 19. ЭСН и ЭО строительной площадки жилого дома

### Краткая характеристика стройплощадки и потребителей ЭЭ

Строительная площадка (СП) предназначена для постройки жилого 12-этажного дома из монолитного железобетона. Дом является составной частью микрорайона. Территория строительной площадки предусматривает размещение временных производственных, вспомогательных и бытовых помещений.

Строительные механизмы распределены по месту стройки.

Транспортно-подъемные операции выполняются башенным краном, кранами-погрузчиками, грузовыми транспортерами, мачтовыми подъемниками и наземным транспортом.

СП получает электроснабжение (ЭСН) от комплектной трансформаторной подстанции (КТП-10/0,4 кВ), размещенной на стройплощадке.

Рабочее освещение выполнено на железобетонных опорах прожекторами заливного света типа ПЗС-35, размещенных по периметру территории, охранное — светильниками типа РКУ с лампами ДРЛ-490, сигнальное — лампами накаливания (42 В).

Все электроприемники по надежности ЭСН имеют 2 категорию.

Количество рабочих смен — 2.

Грунт в районе стройплощадки — суглинок с температурой +10 °С. Ограждение стройплощадки выполнено деревянными щитами длиной 5 м каждый, прикрепленными к столбам.

Размеры ограждения  $A \times B = 50 \times 30$  м.

Высота вспомогательных помещений — 3,2 м.

Строительный модуль здания — 3,6 м.

Перечень ЭО стройплощадки дан в таблице 3.19.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.19).

Таблица 3.19. Перечень ЭО строительной площадки жилого дома

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Сварочные трансформаторы	20 кВ·А	32 кВ·А	28 кВ·А	ПВ = 25 %
3	Токарно-винторезный станок	10,5	9,5	7,5	
4	Трубогибочный станок	2,2	2,4	2,2	
5	Ножницы механические	3,2	3	2,8	
6, 11	Транспортер грузовой	5	12	10	
7, 27	Кран-погрузчик	18,2	15,5	28	ПВ = 50 %
8	Башенный кран	41,5	37,5	34	ПВ = 60 %
9, 10, 19, 20, 22	Насосы раствора	6,5	4,5	3,5	
12, 14	Малярная станция	15	10	12	
15, 16	Трансформаторы термообработки бетона	50 кВ·А	35 кВ·А	63 кВ·А	ПВ = 40 %

*Продолжение табл. 3.19*

1	2	3	4	5	6
17, 18	Насос водяной поршневой	7,5	5,5	6,5	
21, 23	Подъемник мачтовый грузовой	12	9,5	15	ПВ = 60 %
24	Станок-резак по металлу	7	5	4,5	
25	Станок наждачный	1,5	3	2,5	1-фазный
26	Вертикально-сверлильный станок	1,2	2,5	3,2	1-фазный

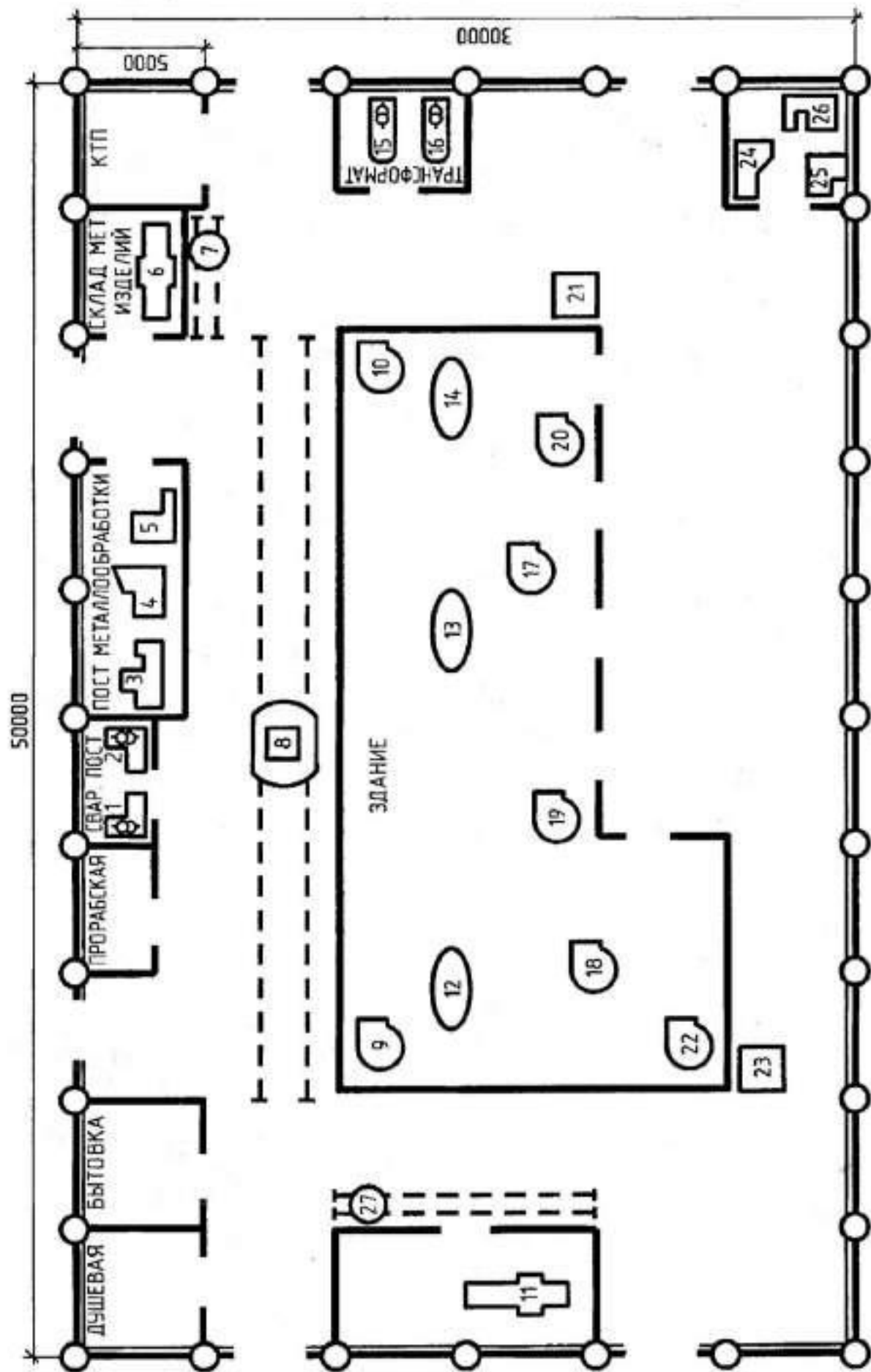


Рис. 3.19. План расположения ЭО строительной площадки жилого дома



## Тема 20. ЭСН и ЭО узловой распределительной подстанции

### Краткая характеристика УРП и потребителей ЭЭ

Узловая распределительная подстанция (УРП) предназначена для связи напряжений трех классов: 220, 110 и 10 кВ.

Она состоит из двух автотрансформаторов типа АТДЦТН-125000/220/110/20. На стороне высокого напряжения (ВН) установлено по 4 выключателя ВН типа У-220, на стороне среднего напряжения (СН) — по 5 выключателей СН типа У-110, на стороне низкого напряжения (НН) — по 12 шкафов типа КРУ-10.

Автотрансформаторы, открытые распределительные устройства (ОРУ-220 и ОРУ-110) размещены на открытой площадке, а шкафы в здании ЗРУ-10.

УРП обслуживается и имеет объединенный пункт управления (ОПУ) с дежурным персоналом. Кроме этого предусмотрены производственные, служебные, вспомогательные и бытовые помещения.

Потребители собственных нужд (СН) получают ЭСН от трансформаторов собственных нужд (ТСН) и по надежности ЭСН относятся к 1 категории.

Количество рабочих смен — 3. Грунт в районе цеха — супесь с температурой +12 °С. Территория УРП имеет ограждение из блоков-секций длиной 8 и 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B = 48 \times 30$  м. Все помещения закрытого типа и имеют высоту 3,6 м.

Перечень ЭО УРП дан в таблице 3.20.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.20).

Таблица 3.20. Перечень ЭО узловой распределительной подстанции

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Трансформаторы собственных нужд	—	—	—	Выбрать
3, 4	Компрессорные установки	20	30	40	
5, 6	Зарядно-подзарядные агрегаты АБ типа ВАЗП	23	23	23	
7, 8	Синхронные компенсаторы	70	80	90	
9, 10	Электронагреватели для выключателей и приводов типа У-220, У-110	219,2	219,2	219,2	
11	Электронагреватель шкафов КРУ-10	24	24	24	
12, 13	Электронагреватели трансформаторного масла	75	50	85	
14, 15	Насосы системы охлаждения АТ	29,6	22,6	28,6	
16	Отопление, вентиляция и освещение ЗРУ-10	6	5	7	
17	Отопление, вентиляция и освещение ОПУ	8	9	11,5	
18, 19	Наружное освещение ОРУ-220, ОРУ-110	5	7	6	

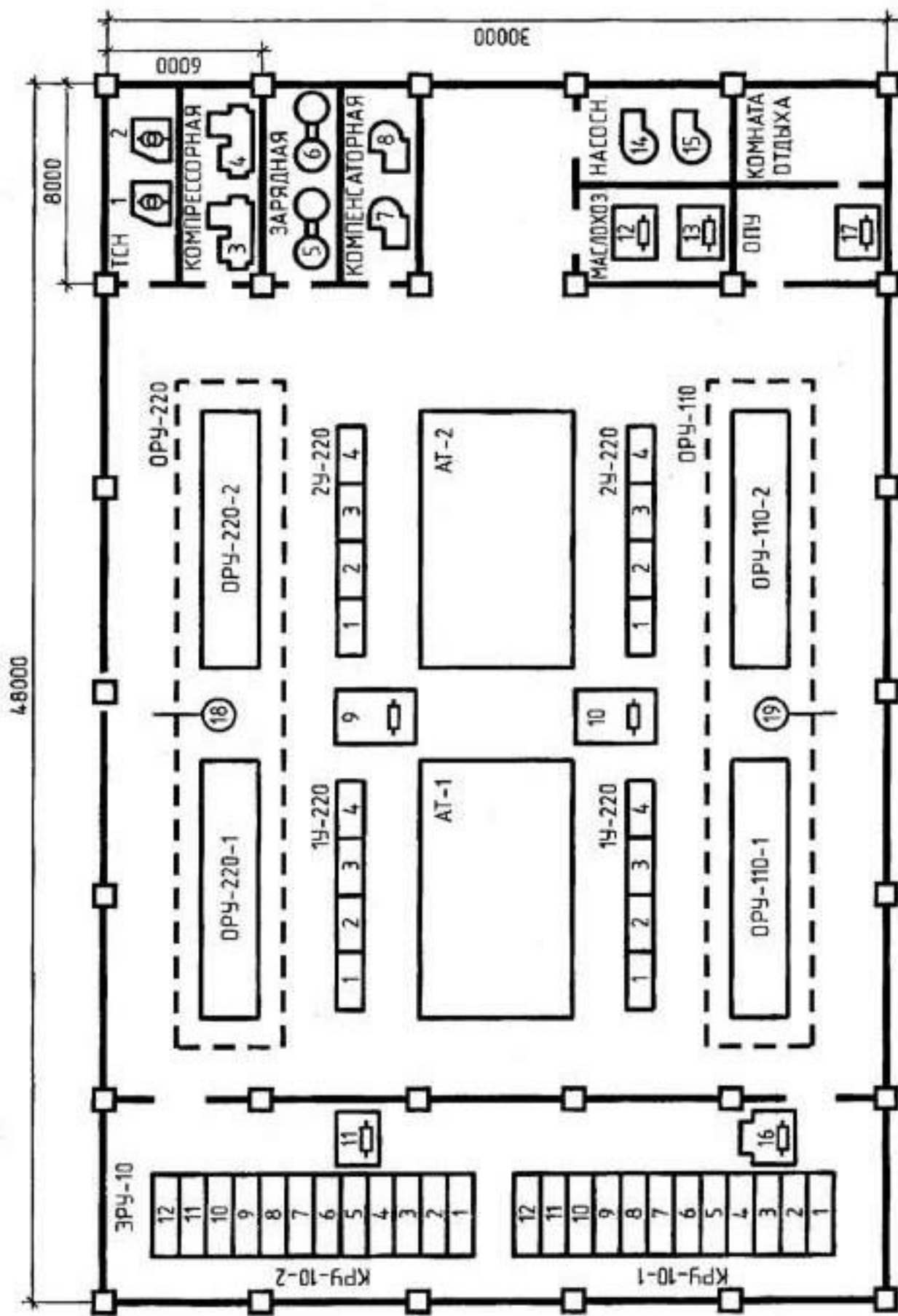


Рис. 3.20. План расположения ЭО узловой распределительной подстанции

## Тема 21. ЭСН и ЭО комплекса томатного сока

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Комплекс томатного сока (КТС) предназначен для производства томатного сока из исходного сырья (томатов).

Технологический процесс осуществляется последовательно на двух автоматизированных технологических линиях и заканчивается закрытием банок с фасованной продукцией.

Данный комплекс является составной частью современного крупного предприятия по переработке плодов и овощей.

КТС имеет технологический участок, в котором установлены поточные линии, а также вспомогательные и бытовые помещения.

Основные операции автоматизированы, а вспомогательные транспортные операции выполняются с помощью наземных электротележек и подъемников.

Электроснабжение (ЭСН) осуществляется от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП) 10/0,4 кВ, которая подключена к приемному пункту предприятия.

Все электроприемники по бесперебойности ЭСН — 2 категории.

Количество рабочих смен — 3 (круглосуточно).

Грунт в районе здания — глина с температурой +12 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 4, 6 и 8 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 52 \times 30 \times 9$  м.

Все помещения, кроме технологического участка, двухэтажные высотой 4,2 м.

Перечень ЭО комплекса дан в таблице 3.21.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.21).

Таблица 3.21. Перечень ЭО комплекса томатного сока

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 24	Конвейеры ленточные сортировочные	0,75	0,75	0,75	
2, 3, 25, 26	Унифицированные вентиляторные мочные машины	4,1	4	4,1	
4, 27	Конвейеры роликовые сортировочные	0,6	1,1	1,8	
5	Станок токарный	12	6,4	8,5	
6, 7	Станки шлифовальные	2,2	2,8	3,6	
8	Станок сверлильный	3,2	4,5	1,5	1-фазный
9, 10	Вентиляторы	3,8	5	4,5	
11, 17, 23, 28	Электрические подъемники передвижные	4,5	4,8	3,2	
12, 18	Элеваторы подачи томатов в дробилку	0,75	1,1	0,75	
13, 19	Установки дробления томатов	4,5	2,9	4,5	

1	2	3	4	5	6
14, 20	Подогреватели дробленой томатной пасты	6	11	6	
15, 21	Установки экстракторные	9	9	9	
16, 22	Установки разлива сока с подогревателем	3	4	3	

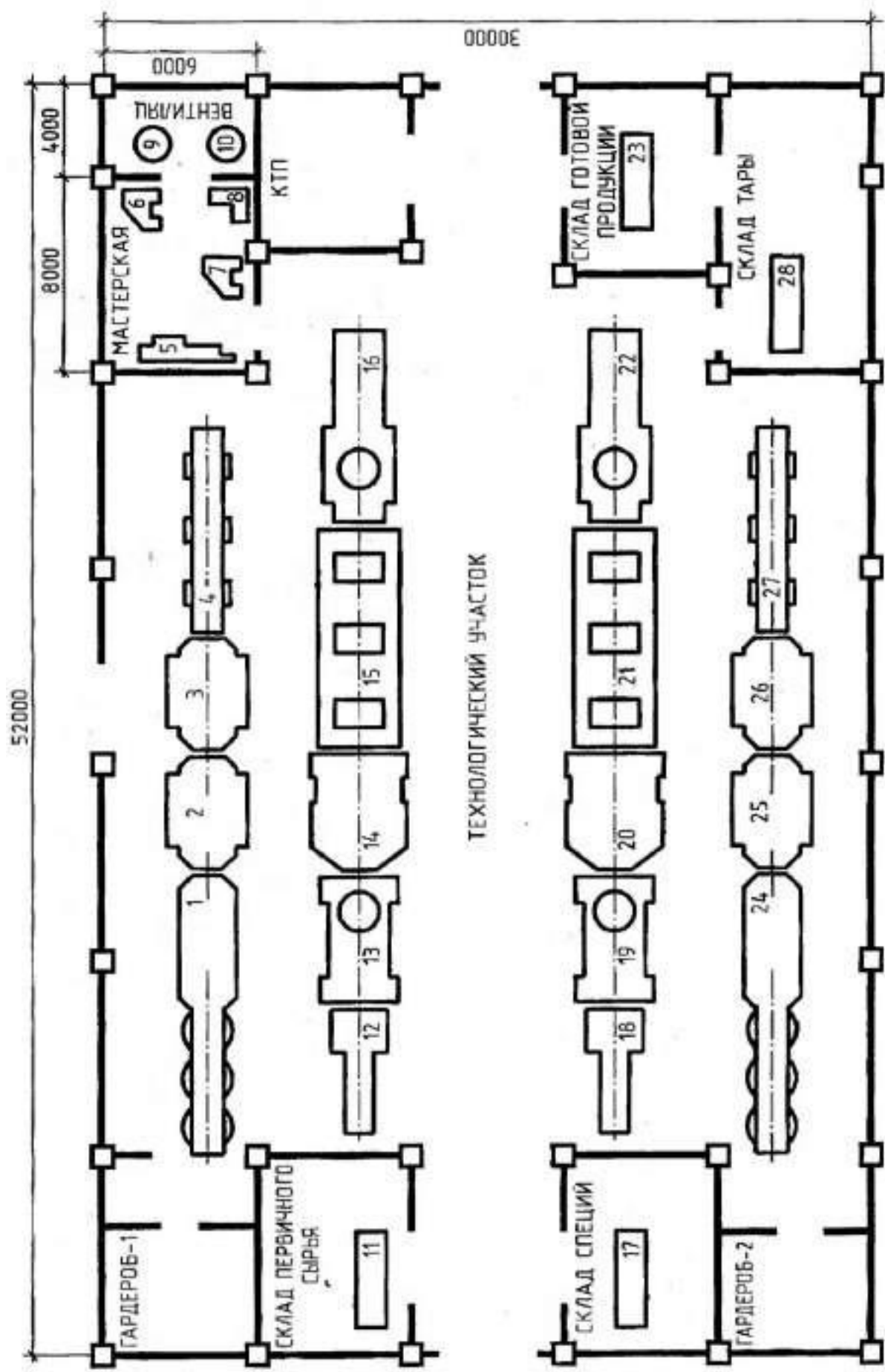


Рис. 3.21. План расположения ЭО комплекса томатного сока

## Тема 22. ЭСН и ЭО гранитной мастерской

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Гранитная мастерская (ГМ) предназначена для оказания ритуальных услуг населению. Она является составной частью комплекса бытового обслуживания.

В ГМ обрабатывают плиты из гранита, мрамора и прессованной крошки, а также выполняют гравировальные работы.

Транспортные операции выполняются подвесными и наземными электротележками.

В мастерской предусмотрены:

1) технологические помещения:

— распиловочная, для пиления камня на плиты требуемых размеров;

— слесарная, для приведения инструмента в рабочее состояние;

— граверная, для выполнения надписей и портретов на камне;

— компрессорные, для получения сжатого воздуха пневмоинструментам;

2) бытовые помещения:

— бойлерная, для получения горячей воды от электроротла;

— душевая, для помывки рабочего персонала;

— кабинет, для отдыха и оформления заказов.

Кроме этого есть склад для хранения готовой продукции.

Электроснабжение (ЭСН) осуществляется от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП), подключенной к городской сети.

По категории надежности ЭСН — это потребитель 3 категории, кроме вентиляторов и ОУ, которые относятся к 2 категории.

Объект имеет сильную запыленность. Внутренняя проводка для защиты от пыли и механических повреждений выполняется в трубах.

Количество рабочих смен — 1. Грунт в районе гранитной мастерской — суглинок с температурой +8 °С. ЭО КТП и ГМ имеют общий заземлитель, выполненный из прутковых электродов.

Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 4 и 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 24 \times 14 \times 4$  м.

Перечень ЭО гранитной мастерской дан в таблице 3.22.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.22).

Таблица 3.22. Перечень ЭО гранитной мастерской

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1	Компрессорная установка	50	45	30	
2	Компрессор	5	11	7	
3, 20	Вентиляторы	4,5	5	3,5	
4, 18	Распиловочные станки	11	12,5	8,5	



1	2	3	4	5	6
5, 15	Электротали	5	4,5	3,5	ПВ = 40 %
6	Кран-балка	10	15	12	ПВ = 25 %
7	Электрокотел	4,5	3	1,5	1-фазные ТЭНы
8, 9	Электронагреватели	3	1,5	3	1-фазные
10	Горн электрический	2	2,5	1,5	
11, 12	Сварочные агрегаты	55 кВ·А	45 кВ·А	30 кВ·А	ПВ = 60 %
13	Наждачный станок	1,5	2	2,5	1-фазный
14, 17	Станок полировальный	6	8	7	
16	Электроплита	5	7,5	5	
19	Станок токарный	2,5	3	4,5	
21, 22	Станки гравировальные	1,2	1,5	1,1	1-фазные

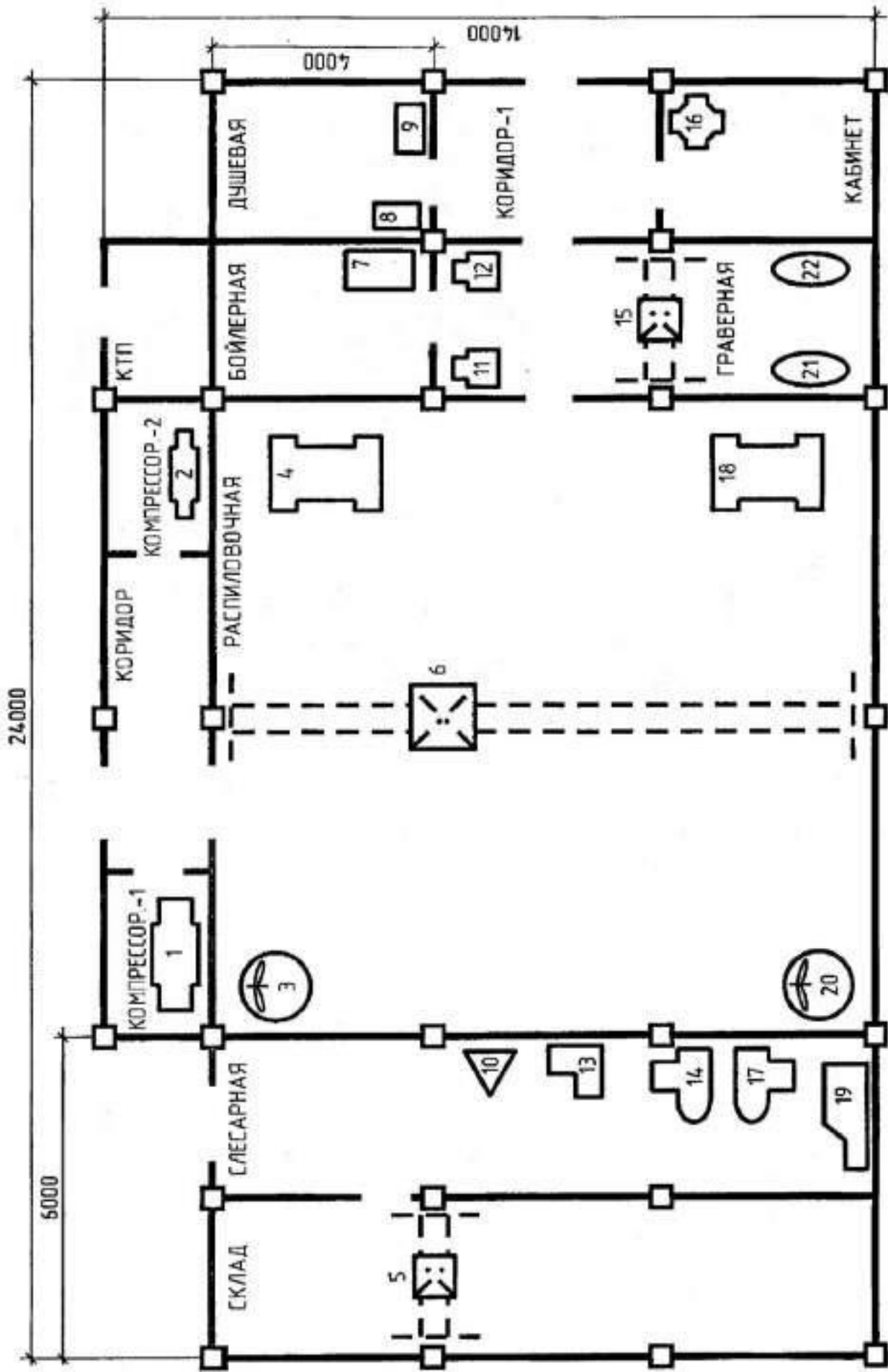


Рис. 3.22. План расположения ЭО гранитной мастерской

## Тема 23. ЭСН и ЭО деревообрабатывающего цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Деревообрабатывающий цех (ДЦ) предназначен для изготовления оконных блоков и является составной частью крупного домостроительного комбината.

Весь технологический процесс осуществляется двумя потоками. Каждый поток состоит из трех автоматизированных линий:

- ДЛ2 — линия раскроя пиломатериалов;
- ДЛ8А — линия обработки оконных блоков;
- ДЛ10 — линия сборки.

Готовая продукция проходит через малярную и идет к потребителю. Транспортировка деталей по цеху осуществляется электрокарами, для подзаряда аккумуляторов которых имеется зарядная. Кроме этого предусмотрены производственные, вспомогательные и бытовые помещения.

Участок раскроя пиломатериалов и зарядная являются пожароопасными помещениями.

Электроснабжение (ЭСН) цех получает от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП), подключенной к ГПП комбината.

По категории надежности ЭСН — это потребитель 1 категории.

Количество рабочих смен — 3 (круглосуточно).

Грунт в ДЦ — суглинок с температурой +10 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 8$  м.

Все помещения, кроме технологических участков, двухэтажные высотой 3,6 м.

Перечень ЭО цеха дан в таблице 3.23.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.23).

Таблица 3.23. Перечень ЭО деревообрабатывающего цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 2	Вентиляторы	4,5	5	5,5	
3	Компрессор	6	7,5	5	
4	Установка окраски электростатической	3,5	4,5	4,8	1-фазная
5, 6	Зарядные агрегаты	5	3,8	4,5	1-фазные
7, 8	Токарные станки	2,8	2,5	1,8	
9, 29	Лифты вертикальные ДВ1	3	3	3	
10, 30, 15, 35	Загрузочные устройства	2,8	3,2	2,5	
11, 31	Торцовочные станки ДС1	3,2	3,4	2,8	
12, 32, 22, 42	Транспортеры ДТ4	3	2,8	2,6	

1	2	3	4	5	6
13, 33	Многопильные станки ЦМС	6	4	5	
14, 34	Станки для заделки сучков	2,2	2,6	2,4	
16, 36	Фуговальные станки	4,5	3	3,5	
17, 37, 20, 40	Транспортеры ДТ6	4,2	3,8	4	
18, 38	Шипорезные станки ДС35	4	4,2	4,5	
21, 41	Станки четырехсторонние ДС38	6	5	4	
23, 24, 43, 44	Станки для постановки полупетель ДС39	1,8	1,6	1,4	
19, 39	Перекладчики ДБ14	3,8	3,6	4	
26, 46	Сборочный полуавтомат ДА2	2,4	2,5	2,6	
28, 48	Станок для снятия провессов ДС40	1,5	1,2	1,4	

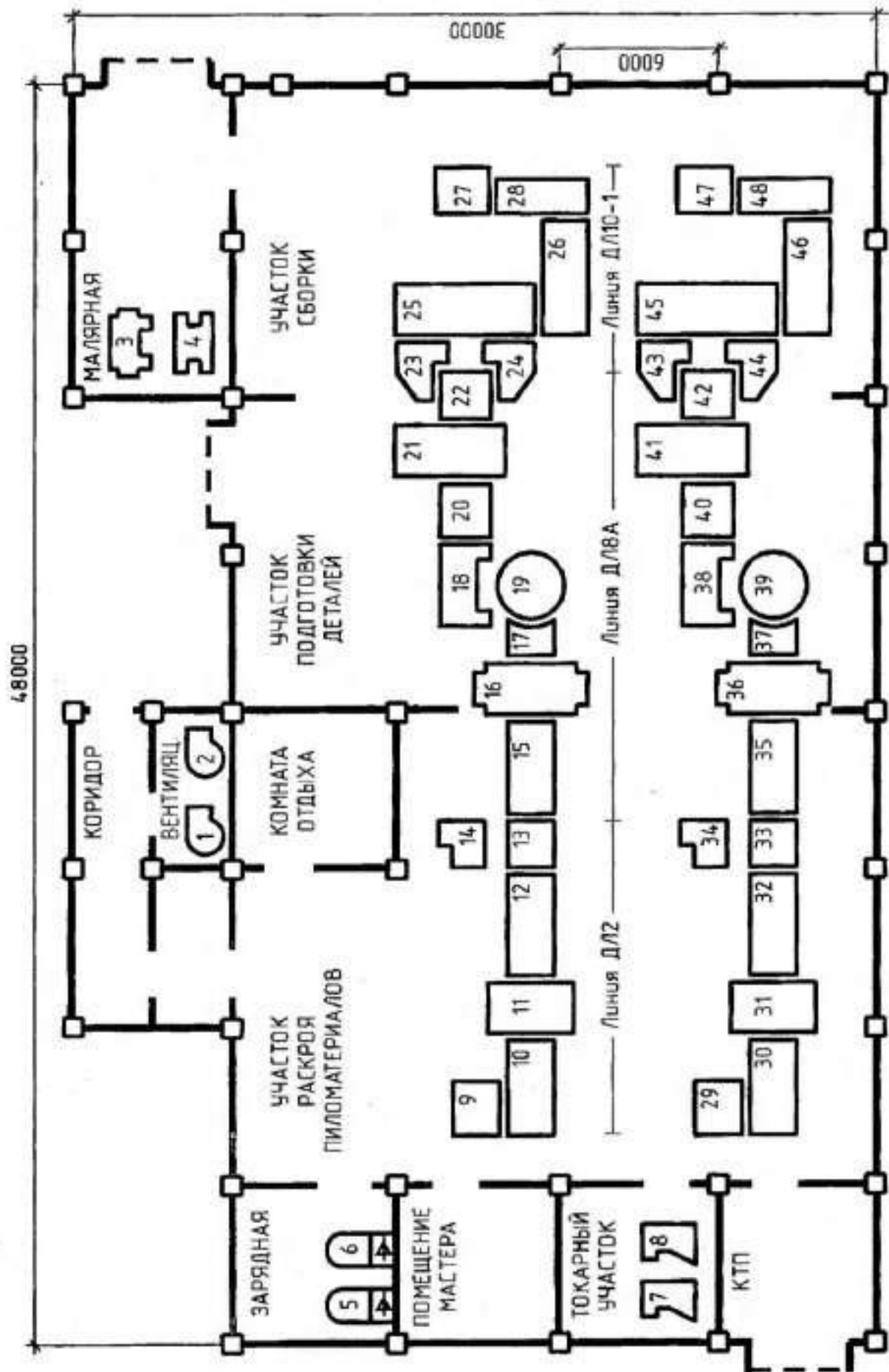


Рис. 3.23. План расположения ЭО деревообрабатывающего цеха

## Тема 24. ЭСН и ЭО шлифовального цеха

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Шлифовальный цех (ШЦ) предназначен для высококачественной обработки поверхностей изделий механическим и химическим способом. Он является составной частью крупного химического комбината.

В шлифовальном цехе размещены: станочное отделение, вспомогательные и бытовые помещения. Станочное отделение относится к пыльному помещению, так как при механической шлифовке постоянно и в больших количествах выделяется пыль, которая удаляется системой вентиляции.

Склад химикатов относится к взрывоопасным помещениям, так как там хранятся кислоты и щелочи.

Транспортные операции осуществляются с помощью мостовых кранов, грузовых лифтов и наземных электротележек.

Электроснабжение цех получает от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП), подключенной к подстанции глубокого ввода (ПГВ) комбината и расположенной за пределами здания на расстоянии 10 м.

По категории надежности ЭСН — это потребитель 3 категории, а вентиляция и ОУ — 2 категории.

Прокладка линий ЭСН должна быть защищена от агрессивной среды и механических повреждений. Количество рабочих смен — 1.

Грунт в районе здания — песок с температурой +5 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 8 м каждый.

Размеры цеха  $A \times B \times H = 96 \times 56 \times 10$  м.

Помещения малого размера имеют высоту 3,6 м.

Перечень ЭО шлифовального цеха дан в таблице 3.24.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.24).

Таблица 3.24. Перечень ЭО шлифовального цеха

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1, 4, 12, 26, 30	Электроприводы ворот подъемных	4	5	4,5	ПВ = 25 %
2, 3, 5, 6	Вентиляторы	10	12,5	15	
7, 8, 17	Краны мостовые	72	55	48	ПВ = 60 %
9...11, 16, 21, 25	Лифты грузовые	7,5	5,2	6,4	ПВ = 40 %
13...15, 18...20, 22...24, 27, 29	Шлифовальные станки	15	18	16,5	



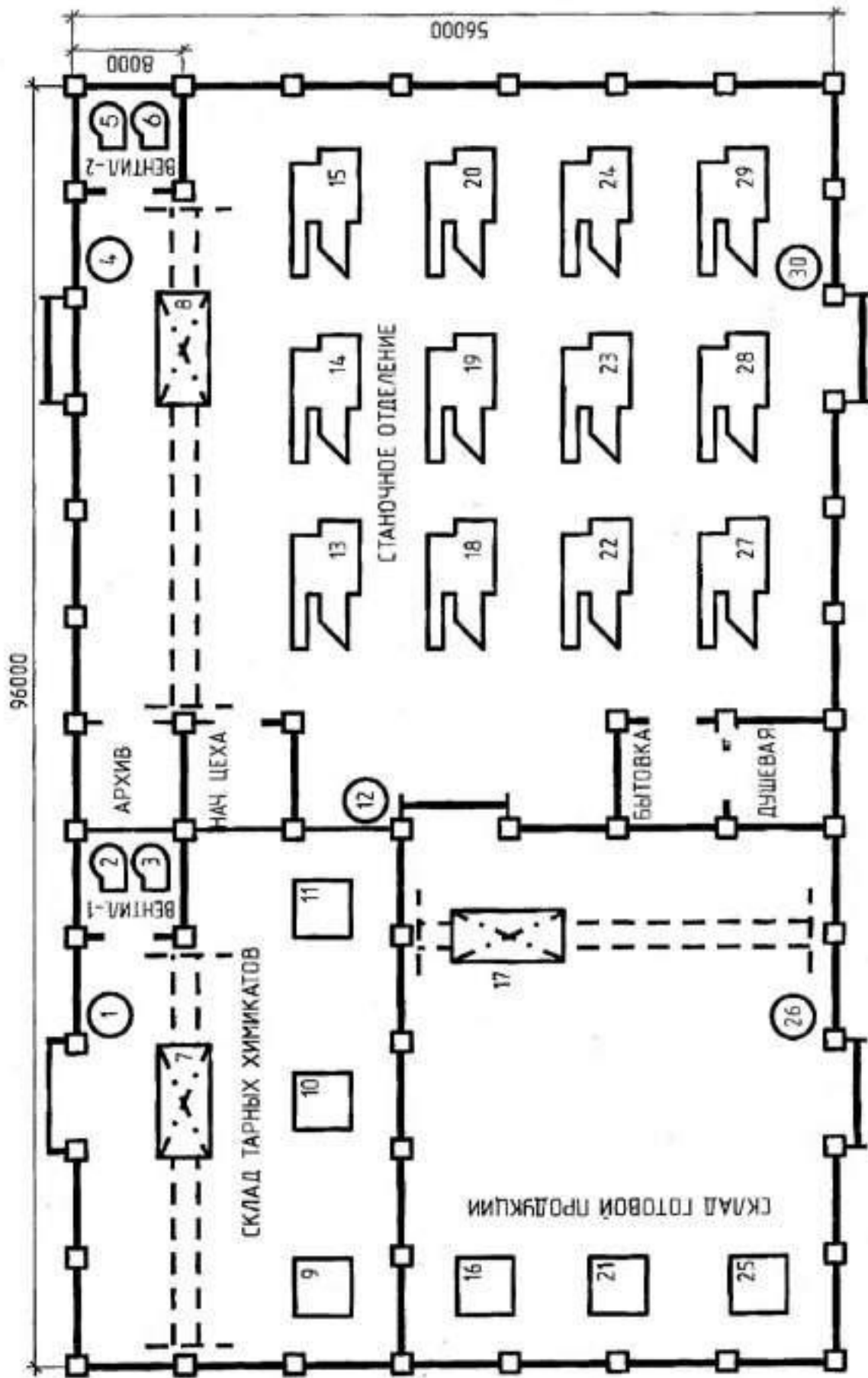


Рис. 3.24. План расположения ЭО шифровального цеха

## Тема 25. ЭСН и ЭО комплекса овощных закусочных консервов

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Комплекс овощных закусочных консервов (КОЗК) предназначен для производства консервов «Перец, фаршированный овощами» в жестяных банках из исходного сырья.

Технологический процесс осуществляется на трех автоматизированных поточных линиях А9–К1Б последовательно и заканчивается фасованной продукцией.

Данный комплекс является составной частью крупного современного предприятия по переработке плодов и овощей.

КОЗК имеет технологический участок, в котором установлены поточные линии, а также вспомогательные бытовые помещения. Основные операции автоматизированы, вспомогательные транспортные операции выполняются с помощью трех кран-балок с электроталями, подъемников и наземных электротележек.

Электроснабжение (ЭСН) осуществляется от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП) 10/0,4 кВ, которая подключена к приемному пункту предприятия. Все электроприемники по бесперебойности ЭСН — 2 категории.

Грунт в районе здания — глина с температурой +12 °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций, длиной 6 м каждый. Размеры здания  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 7,2$  м.

Помещения, кроме технологического участка и ТП, двухэтажные высотой 3,2 м.

Перечень ЭО участка токарного цеха дан в таблице 3.25.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.25).

Таблица 3.25. Перечень ЭО комплекса овощных закусочных консервов

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1	Контейнероопроектировщик				
2	Мощная машина плодов	2 × 4,5	2 × 3	2 × 5,05	
3	Роликовый конвейер	0,6	1,1	1,8	
4	Сепаратор	1,1	0,8	1,3	
5	Автомат для очистки перца	3,7	3	4,2	
6	Конвейер 1	1,1	0,75	1,5	
7	Весы электрические	0,5	0,5	0,5	
8	Машина для резки перца	0,75	0,6	1,5	
9	Моечная машина встряхивающая	1,1	0,9	2	
10	Бланширователь ковшовый	1,1	0,55	1,1	
11, 18	Автомат дозировочно-наполнительный	5,5	3	4	
12	Стол механизированный	1,5	1,2	2,2	
13	Транспортер элеваторный	0,6	0,6	0,6	
14	Фаршеналполнитель	1,1	0,9	1,2	
15	Конвейер 2	0,25	0,4	0,8	

1	2	3	4	5	6
16, 17, 20	Конвейер пластинчатый	0,87	1,1	1,5	
19	Закаточная машина	3	2,2	4	
21	Машина моечная банок жестяных	3,3	3,3	9,55	
22	Устройство загрузки в автоклав	1,5	1,2	1,7	
23	Насос подогревателя	5,5	4	7,5	
24	Реактор подогревателя	1,5	1,5	3	
25	Фаршемешалка	3	2,5	4,2	
26	Насосная установка фарша	1,37	1,1	1,65	
27, 28, 29	Кран-балка с электроталью	7,5	6	9,5	ПВ = 40 %
30	Зарядный агрегат статический	3,5	2,7	6,2	1-фазный
31, 32	Компрессоры	3,7	4,2	5,1	
33, 34	Насосы водяные	3,5	2,8	4	
35	Калорифер для обогрева	5,5	7,1	8,2	1-фазный
36, 37	Вентиляторы	4,2	4,5	5	

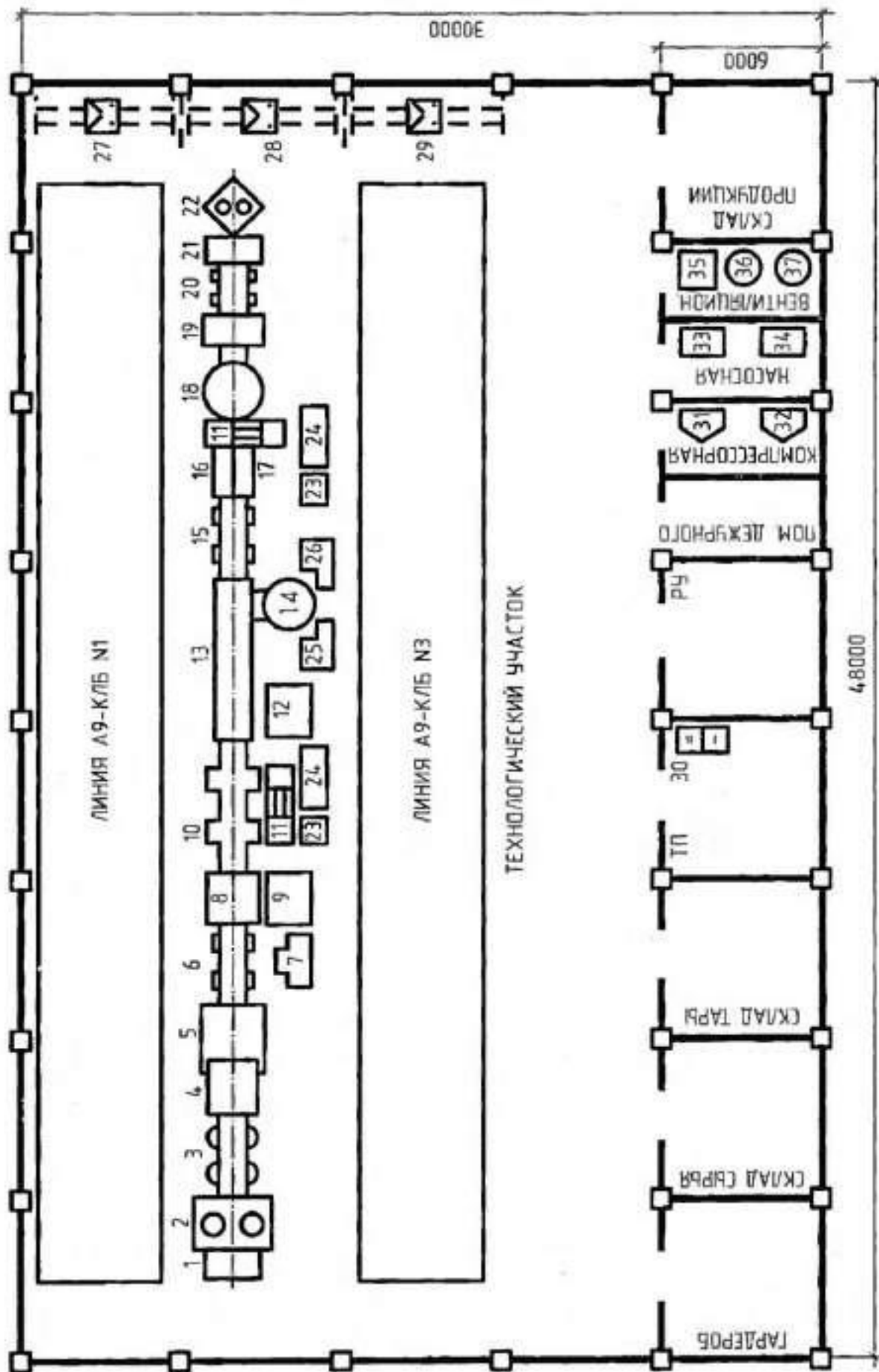


Рис. 3.25. План расположения ЭО комплекса овецных закусочных колбасов

## Тема 26. ЭСН и ЭО светонепроницаемой теплицы

### Краткая характеристика производства и потребителей ЭЭ

Светонепроницаемая теплица (СНТ) предназначена для культивирования овощей в районах Крайнего Севера. Она является принципиально новым сооружением и превосходит светопроницаемые теплицы по технико-экономическим показателям.

СНТ позволяет провести 6 культурооборотов в год с общей урожайностью до 180 кг/м<sup>2</sup>.

На площади одноэтажной теплицы размещены: рассадное отделение и две камеры для выращивания овощей, лаборатория, насосная, зал кондиционеров и другие помещения.

Для создания теплового затвора на наружных боксах спроектированы тепловые боксы (ТБ).

Обогрев осуществляется за счет тепла облучательной установки, а поддержание микроклимата — кондиционерами.

Облучательная установка состоит из набора секций с плоскими световодами. Воздух в ламповом отсеке нагревается до 80 °С и по воздухопроводу распределяется по помещениям.

Электроснабжение (ЭСН) теплица получает от собственной комплектной трансформаторной подстанции (КТП), расположенной в пристройке.

Питание на КТП напряжением 10 кВ подается от распределительного пункта (РП) электростанции.

По надежности ЭСН СНТ относится к 2 категории. Количество рабочих смен — 3 (круглосуточно).

Грунт — глина с температурой –5 °С. Каркас теплицы сооружен из теплоизоляционных блоков-секций длиной 6 м каждый.

Размеры теплицы  $A \times B \times H = 48 \times 30 \times 10$  м.

Высота пристроек по периметру — 4 м.

Перечень ЭО СНТ дан в таблице 3.26.

Мощность электропотребления ( $P_{эл}$ ) указана для одного электроприемника.

Расположение основного ЭО показано на плане (рис. 3.26).

Таблица 3.26. Перечень ЭО светонепроницаемой теплицы

№ на плане	Наименование ЭО	Вариант			Примечание
		1	2	3	
		$P_{эл}$ , кВт			
1	2	3	4	5	6
1	Сверлильный станок	2,5	1,5	2,2	1-фазный
2	Наждачный станок	1,5	2,4	3	1-фазный
3	Токарный станок	4,5	7,5	5,8	
4...9	Кондиционеры	5	6,2	5,4	
10...15	Насосные агрегаты	3	4	3,2	
16	Щит общего рабочего освещения	1,2	1,5	1,3	
17	Щит облучательной установки	59	64,8	84,2	

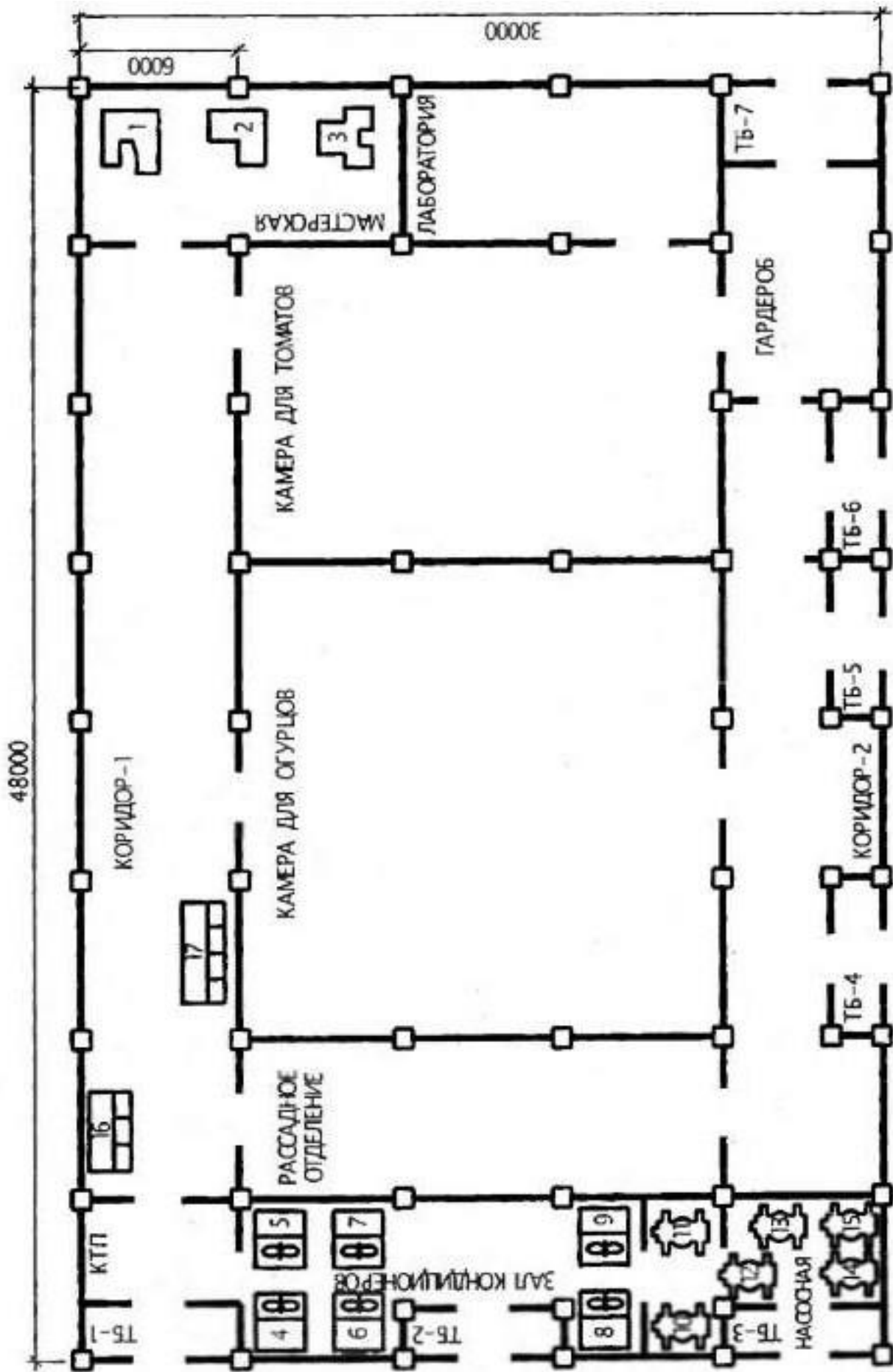


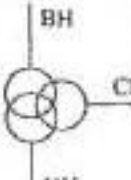

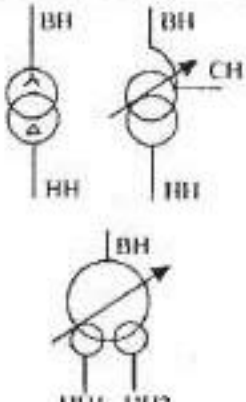


Рис. 3.26. План расположения ЭО востонспронимасмой теплицы

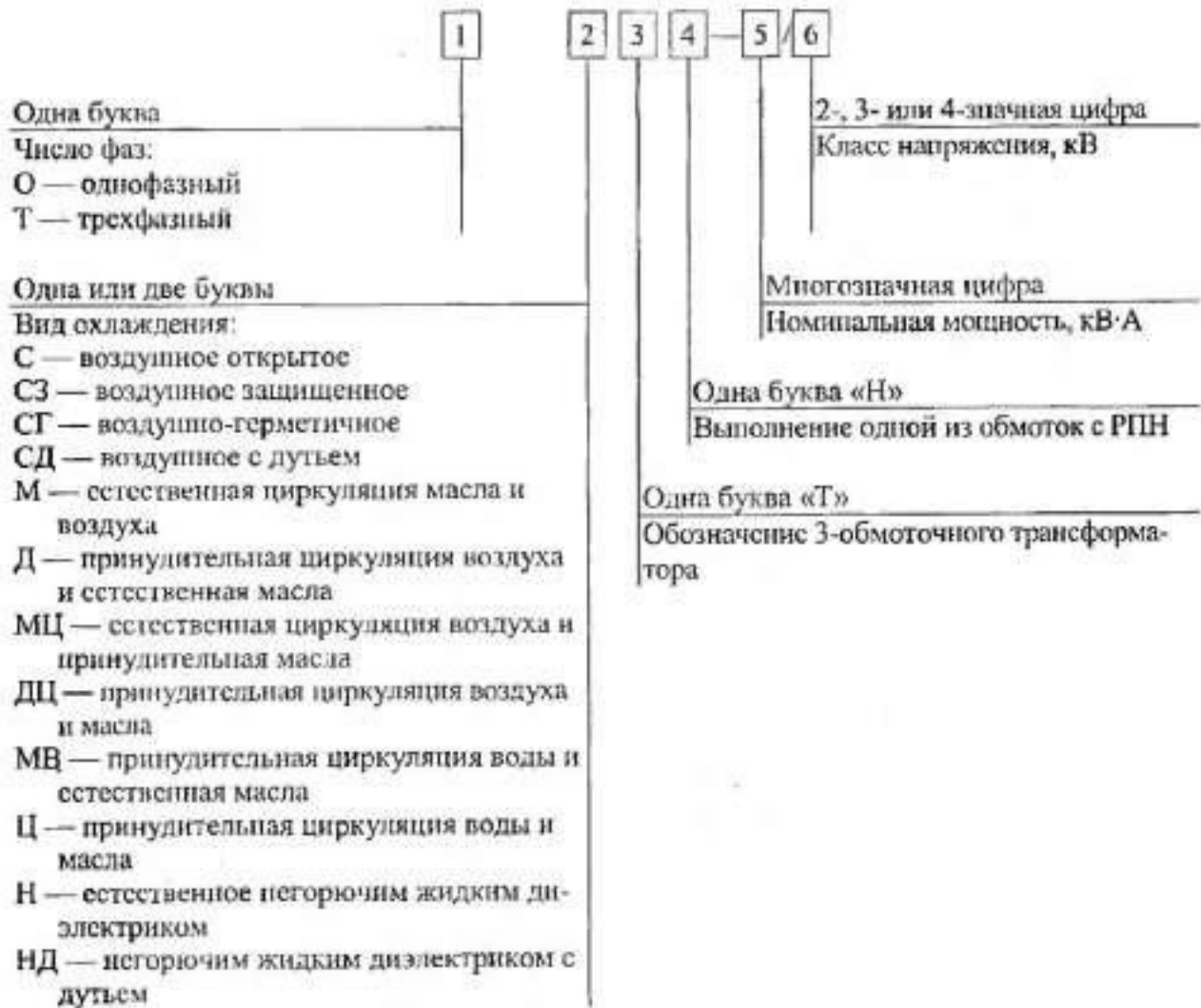


## ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

### А.1. Условные графические и буквенные обозначения силовых трансформаторов (автотрансформаторов) в электрических схемах согласно стандартов ЕСКД

Наименование элемента схемы	Обозначение графическое	Буквенный код
Трансформатор силовой двухобмоточный без расщепления обмотки НН		Т
Автотрансформатор силовой. Общее обозначение		АТ
Трансформатор силовой трехобмоточный		Т
Трансформатор силовой двухобмоточный с расщеплением обмотки НН на две		Т
<p>Трансформатор силовой двухобмоточный с указанием способа соединения обмоток. Автотрансформатор силовой с РПН в обмотке ВН (стрелка).</p> <p>Трансформатор силовой двухобмоточный с расщеплением обмотки НН на две и с РПН в обмотке ВН</p>		Т, АТ Т

## Структура условного обозначения трансформаторов



### Примечания.

1. Для обозначения автотрансформатора впереди добавляется буква «А».
2. Для обозначения защиты масла азотной полушкой без расширителя после вида охлаждения ставится буква «З», например «ТМЗ».
3. Для обозначения расщепленной обмотки НН после числа фаз ставится буква «Р», например «ТРДН».
4. Для обозначения трансформатора собственных нужд электростанций последняя буква ставится «С», например «ТРДНС».

**Таблица А.1. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы классов  
напряжения 110, 220, 330, 500 кВ**

Тип	ВН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{\text{св}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт	$u_{\text{кз}}$ , %	$i_{\text{кз}}$ , %
1	2	3	4	5	6	7
ТМН-2500/110	110	6,6 11	22	5,5	10,5	1,5
ТМН-6300/110	115	6,6 11	44	10	10,5	1
ТДН-10000/110	115	6,6 11 16,5 22	58	14	10,5	0,9
ТДН-16000/110	115	6,6 11 16,5 22	85	18	10,5	0,7
ТДН-25000/110	115	38,5	120	25	10,5	0,65
ТДН-40000/110	115	38,5	170	34	10,5	0,55
ТДН-63000/110	115	38,5	245	50	10,5	0,5
ТДН-80000/110	115	38,5	310	58	10,5	0,45
ТДЦ-80000/110	121	6,3 10,5	310	85	11	0,6
ТДЦ-125000/110	121	10,5 13,8	400	120	10,5	0,55
ТДЦ-200000/110	121	13,8 15,75 18	550	170	10,5	0,5
ТДЦ-250000/110	121	15,75	640	200	10,5	0,5
ТДЦ-40000/110	121	20	900	320	10,5	0,45
ТДЦ-80000/220	242	6,3 10,5 13,8	315	79	11	0,45
ТДЦ-125000/220	242	10,5 13,8	380	120	11	0,55
ТДЦ-200000/220	242	13,8 15,75 18	660	130	11	0,4
ТДЦ-250000/220	242	13,8 15,75	600	207	11	0,5
ТДЦ-400000/220	242	15,75 20	870	280	11	0,45
ТНЦ-630000/220	242	15,75 20 24	1200	400	12,5	0,35
ТНЦ-1000000/220	242	24	2200	480	11,5	0,4
ТДЦ-125000/330	347	10,5 13,8	380	125	11	0,55
ТДЦ-200000/330	347	13,8 15,75 18	520	180	11	0,5

1	2	3	4	5	6	7
ТДЦ-250000/330	347	13,8 15,75	605	214	11	0,5
ТДЦ-400000/330	347	15,75 20	790	300	11,5	0,45
ТНЦ-630000/330	347	24	1300	345	11,5	0,35
ТНЦ-1000000/330	347	24	2200	480	11,5	0,4
ТНЦ-1250000/330	347	24	2200	715	14,5	0,55
ТДЦ-250000/500	525	13,8 15,75 20	590	205	13	0,45
ТДЦ-400000/500	525	13,8 15,75 20	790	315	13	0,45
ТЦ-630000/500	525	15,75 20 24 36,75	1210	420	14	0,4
ТНЦ-1000000/500	525	24	1800	570	14,5	0,4

Таблица А.2. Трехфазные трехобмоточные трансформаторы классов напряжения 35, 110, 220 кВ

Тип	ВН, кВ	СН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{св}}$ , кВт	$\mu_{\text{св}}, \%$			$i_{\text{хх}}, \%$
						ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТМТН-6300/35	35	10,5 13,8 15,75	6,3	12	55	7,5	7,5	16,5	1,2
ТМТН-10000/35	35	10,5 13,8 15,75	6,3	19	75	8	16,5	7	1
ТМТН-16000/35	35	10,5 13,8 15,75	6,3	28	115	8	16,5	7	0,95
ТМТН-6300/110	115	16,5 22 38,5	6,6 11	12,5	52	10,5	17	6	1,1
ТДТН-10000/110	115	16,5 22 38,5	6,6 11	17	76	10,5	17,5	6,5	1
ТДТН-16000/110	115	22 34,5 38,5	6,6 11	21	100	10,5	17,5	6,5	0,8
ТДТН-25000/110	115	11 22 38,5	6,6 11	28,5	140	10,5	17,5	6,5	0,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ТДТН-40000/110	115	11 22 38,5	6,6 11	39	200	10,5	17,5	6,5	0,6
ТДТН-63000/110	115	11 38,5	6,6 11	53	290	10,5	18	7	0,55
ТДТН-80000/110	115	11 38,5	6,6 11	64	365	11	18,5	7	0,5
ТДТН-25000/220	230	38,5	6,6 11	45	130	12,5	20	6,5	0,9
ТДТН-40000/220	230	38,5	6,6 11	54	220	12,5	22	9,5	0,55

**Примечания.**

1. Каждая обмотка рассчитана на номинальную мощность трансформатора.
2. Потери КЗ ( $\Delta P_{кз}$ ) указаны на основном ответвлении для основной пары обмоток ВН—СН.
3. Трансформаторы с ВН 115 кВ имеют РПН в обмотке ВН  $\pm 16\%$ ;  $\pm 9$  ступеней.
4. Трансформаторы с ВН 35 кВ имеют РПН в обмотке ВН  $\pm 6 \times 1,5\%$ .

**Таблица А.3. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы с расщеплением обмотки НН на две классы напряжения 110, 220, 330, 500, 750 кВ**

Тип	ВН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$u_{кз}$ , %	$i_{хх}$ , %
1	2	3	4	5	6	7
ТРДН-25000/110	115	6,3-6,3 6,3-10,5 10,5-10,5	120	25	10,5	0,65
ТРДН-40000/110	115	6,3-6,3 6,3-10,5 10,5-10,5	170	34	10,5	0,55
ТРДН-63000/110	115	6,3-6,3 6,3-10,5 10,5-10,5	245	50	10,5	0,5
ТРДН-80000/110	115	6,3-6,3 6,3-10,5 10,5-10,5	310	58	10,5	0,45
ТРДЦН-125000/110	115	10,5-10,5	400	105	11	0,55
ТРДН-32000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	150	45	11,5	0,65
ТРДНС-40000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	170	50	11,5	0,6

1	2	3	4	5	6	7
ТРДН-63000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	265	70	11,5	0,5
ТРДЦН-100000/220	230	11-11	340	102	12,5	0,65
ТРДЦН-160000/220	230	11-11	500	155	12,5	0,6
ТРДНС-40000/330	330	6,3-6,3 10,5-10,5 6,3-10,5	180	80	11	0,8
ТРДНС-63000/330	330	6,3-6,3 10,5-10,5 6,3-10,5	230	100	11	0,8
ОРЦ-333000/500	525	15,75-15,75 20-20	950	200	11,5	0,3
ОРЦ-417000/500	$\frac{525}{\sqrt{3}}$	15,75-15,75	1050	210	12,5	0,2
ОРНЦ-533000/500	$\frac{525}{\sqrt{3}}$	15,75-15,75 24-24	1260	230	13,5	0,15
ОРЦ-417000/750	$\frac{787}{\sqrt{3}}$	20-20 24-24	800	320	14	0,35
ОРЦ-533000/750	$\frac{787}{\sqrt{3}}$	15,75-15,75 20-20 24-24	900	350	14	0,3

Таблица А.4. Автотрансформаторы классов напряжения 220, 330, 500, 750, 1150 кВ

Тип АТ	ВН, кВ	СН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{\text{нн}}$ , кВт	$P_{\text{нн}}$ , кВт		
					ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
1	2	3	4	5	6	7	8
АТДЦТН 63000-220/110	230	121	6,3 10,5 38,5	45	215	160	140
АТДЦТН 125000-220/110	230	121	6,3 10,5 38,5	85	290	235	230
АТДЦТН 200000-220/110	230	121	10,5 13,8 38,5	125	430	360	320
АТДЦТН 250000-220/110	230	121	11 13,8 15,75 38,5	145	520	410	400
АТДЦТН 125000-330/110	330	115	6,6 11 15,75 38,5	115	370	240	210
АТДЦТН 200000-330/110	330	115	6,6	180	600	400	350
АТДЦТН 240000-330/220	330 347	242	38,5	130	560	260	230



1	2	3	4	5	6	7	8
АТДЦТН 250000–330/150	330 347	165	10,5 38,5	130	700	350	320
АТДЦТН 250000–500/110	500	121	11 38,5	250	550	223	179
АОДЦТН 133000–330/220	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5 38,5	50	250	125	105
АОДЦТН 167000–500/220	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5 11 13,8 15,75 20 38,5	90	315	105 105 190 280 280 105	95 95 67 250 250 95
АОДЦТН 267000–330/220	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5 13,8 15,75 20 38,5	125	470	110 110 160 310 110	100 100 150 250 100
АОДЦТН 167000–500/330	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,5 38,5	61	300	86	81
АОДЦТН 267000–750/220	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	$\frac{230}{\sqrt{3}}$	10,5	200	600	145	140
АОДЦТН 333000–750/330	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	$\frac{330}{\sqrt{3}}$	10,5 15,75	217	580	255	235
АОДЦТН 417000–750/500	$\frac{750}{\sqrt{3}}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	10,5 15,75	125	630	60	60
АОДЦТН 667000–1150/500	$\frac{1150}{\sqrt{3}}$	$\frac{500}{\sqrt{3}}$	20	360	1250	330	330

Тип АТ	$u_k, \%$			$i_{\text{до}}, \%$
	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
	9	10	11	
АТДЦТН 63000–220/110	11	34	21	0,6
АТДЦТН 125000–220/110	11	31	19	0,5
АТДЦТН 200000–220/110	11	32	20	0,5
АТДЦТН 250000–220/110	11	32	20	0,5
АТДЦТН 125000–330/110	10	35	22	0,5
АТДЦТН 200000–330/110	10	33	22	0,6
АТДЦТН 240000–330/110	9,5	74	60	0,5
АТДЦТН 250000–330/150	9,5	74	60	0,5
АТДЦТН 250000–500/110	10,5	24	13	0,5
АОДЦТН 133000–330/220	9	60	48	0,2
АОДЦТН 167000–500/220	11	35	21,5	0,25
АОДЦТН 267000–500/220	11,5	37	23	0,25
АОДЦТН 167000–500/330	9,5	67	61	0,2
АОДЦТН 267000–750/220	13	31	17	0,35
АОДЦТН 333000–750/330	10	28	17	0,35
АОДЦТН 417000–750/500	11,5	81	68	0,15
АОДЦТН 667000–1150/500	11,5	35	22	0,35

## А.2. Общие сведения об автоматических выключателях серии ВА

При эксплуатации электросетей длительные перегрузки проводов и кабелей, КЗ вызывают повышение температуры токопроводящих жил больше допустимой.

Это приводит к преждевременному износу их изоляции, следствием чего может быть пожар, взрыв во взрывоопасных помещениях, поражение персонала.

Для предотвращения этого линия ЭСН имеет аппарат защиты, отключающий поврежденный участок.

Аппаратами защиты являются: автоматические выключатели, предохранители с плавкими вставками и тепловые реле, встраиваемые в магнитные пускатели.

**Автоматические выключатели** являются наиболее совершенными аппаратами защиты, надежными, срабатывающими при перегрузках и КЗ в защищаемой линии.

Чувствительными элементами автоматов являются расцепители: тепловые, электромагнитные и полупроводниковые.

Тепловые расцепители срабатывают при перегрузках, электромагнитные — при КЗ, полупроводниковые — как при перегрузках, так и при КЗ.

Наиболее современные автоматические выключатели серии ВА предназначены для замены устаревших АЗ7, АЕ, АВМ и «Электрон».

Они имеют уменьшенные габариты, совершенные конструктивные узлы и элементы. Работают в сетях постоянного и переменного тока. В таблице А.6 предоставлены данные ВА, так как они наиболее современные и применяются в комплектных распределительных устройствах в виде различных комбинаций (ПР 85, ПР 87).

### Автоматические выключатели серии ВА

Выключатели серии ВА разработок 51, 52, 53, 55 предназначены для отключений при КЗ и перегрузках в электрических сетях, отключений при недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей.

Выключатели серии ВА разработок 51 и 52 имеют тепловой (ТР) и электромагнитный расцепители, иногда только ЭМР.

ВА 51 имеют среднюю коммутационную способность.

ВА 52 — повышенной.

ВА 51Г и ВА 52Г предназначены для защиты АД с КЗ — ротором, работающих в режиме АСЗ (пуск и отключение).

Уставка срабатывания в зоне перегрузки  $1,25I_{н.р}$  в течение времени не более 2 ч (с нагретого состояния).

Имеют 2- и 3-полюсное исполнение на напряжение до 660 переменного и до 400 В постоянного тока.

ВА 51-31-1 применяются только для ОУ и имеют 1-полюсное исполнение.

Выключатели серии ВА разработок 53, 55, 75 имеют полупроводниковый максимальный расцепитель с регулированием ступеней:

— номинального тока расцепителя: 0,63; 0,8; 1,0 от номинального тока выключателя. Например, при  $I_{н.з} = 160$  А можно установить  $I_{н.р} = 100, 125, 160$  А;

— уставки срабатывания в зоне КЗ для переменного тока —  $(2, 3, 5, 7, 10)I_{н.р}$ , для постоянного —  $(2, 4, 6)I_{н.р}$ ;

— уставки времени срабатывания при  $6I_{н.з}$  переменном и  $5I_{н.з}$  постоянном токе — 4,8 и 16 с.

ВА 53 — токоограничивающие, ВА 55 — селективные с выдержкой времени в зоне КЗ: 0,1; 0,2; 0,3 с — для переменного и 0,1; 0,2 с — для постоянного тока.

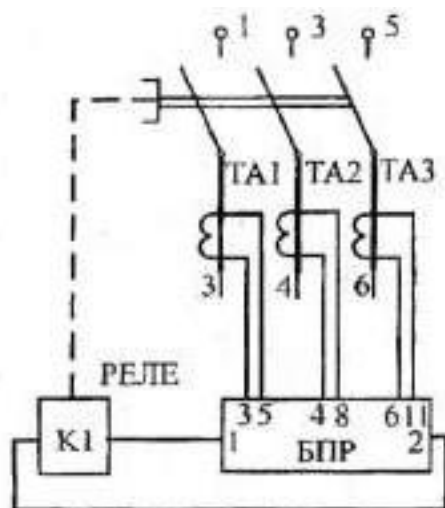


Рис. А.1. Принципиальная электрическая схема ВА 53 (55, 75)

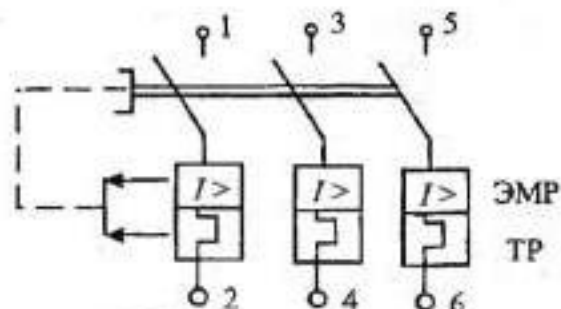


Рис. А.2. Принципиальная электрическая схема ВА 51 (52)

БПР — блок полупроводникового расцепителя. Селективность обеспечивается при токах КЗ до 20...28 кА в зависимости от конкретного типа выключателя.

При больших токах КЗ выключатели срабатывают мгновенно (без выдержки времени).

Ток срабатывания в зоне перегрузки равен  $1,25I_{н.р.}$  для всех выключателей. Максимальные значения  $I_{y(кз)}$  выбирают, если на защищенном участке возможны большие броски тока, обусловленные технологическим процессом, включением трансформаторов или пуском ЭД.

При спокойном характере нагрузки  $I_{y(кз)}$  следует выбирать не более  $5I_{н.р.}$ , а при отсутствии бросков тока  $I_{y(кз)} = 2I_{н.р.}$ . В случае необходимости кратность отсечки можно увеличить в период эксплуатации.

Уставку по времени срабатывания в зоне перегрузки более 4 с следует принимать при тяжелых условиях пуска ЭД (большая кратность пускового тока, значительный момент инерции механизма) или при длительных пиках тока технологической перегрузки.

По условиям отстройки от пусковых токов (или пиков нагрузки) желательно, чтобы ток и время срабатывания превышали расчетные значения не менее чем в 1,5 раза.

По условиям селективности выключатель, который ближе к источнику питания, должен иметь время действия не менее чем в 1,5 раза больше (при том же токе) времени действия выключателя ниже лежащей ступени.

Выключатели ВА 56 не имеют максимальных расцепителей, но имеют главные контакты с электродинамическими компенсаторами, которые обладают термической и электродинамической стойкостью. Несмотря на отсутствие расцепителей при больших значениях тока КЗ, они автоматически отключаются.

Таблица А.5. Расчетные зависимости для выбора аппаратов защиты в силовых сетях НН

Аппарат защиты	Линия без ЭД	Линия с одним ЭД	Линия с группой ЭД
1	2	3	4
Автомат с комбинированным расцепителем	$I_{н.р.} \geq I_M$ $I_0 \geq I_M$	$I_{н.р.} \geq 1,25I_{н.л}$ $I_0 \geq 1,25I_{пуск}$	$I_{н.р.} \geq 1,1I_M$ $I_0 \geq 1,25I_{пик}$
Предохранитель с плавкой вставкой	$I_{ис} \geq I_M$	$I_{ис} \geq I_{н.л}$ $I_{ис} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha}$	$I_{ис} \geq I_M$ $I_{ис} \geq \frac{I_{пик}}{\alpha}$

**Примечания.**

$I_m$  — максимальный расчетный ток в линии, А;

$I_o$  — ток отсечки, А;

$I_{пуск}$  — пусковой ток ЭД, А,  $I_{пуск} = K_n I_{н.д.}$

$K_n$  — кратность пускового тока, при отсутствии данных принимается  $K_{н(эл)} = 6,5$ ;

$I_{пик}$  — пиковый ток, А. Это наибольший ток, возникающий в линии, длительностью 1...2 с;

$I_{пик} = I_{пуск.нб} + I_{м.гр} - I_{н.нб} K_n$  (в группе более 5 ЭД);

$I_{пик} = I_{пуск.нб} + I_{м.гр} - I_{н.нб}$  (в группе до 5 ЭД включительно);

$I_{м.гр}$  — максимальный расчетный ток в группе, А;

$I_{пуск.нб}, I_{н.нб}$  — пусковой и номинальный токи наибольшего по мощности ЭД в группе, А;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий условия пуска, принимается:  $\alpha = 1,6...2$  (при тяжелом пуске, длительность > 2,5 с),  $\alpha = 2,5$  (при легком пуске, длительность ≤ 2 с).

При выборе аппаратов защиты в линии с КУ выполнить условие

$$I_o \geq 1,3 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3}U_A} \text{ (для автоматов); } I_{вс} \geq 1,6 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3}U_A} \text{ (для предохранителей),}$$

где  $Q_{ку}$  — мощность конденсаторной установки, квар.

При выборе плавкой вставки в линии сварочного аппарата выполнить условие

$$I_{вс} \geq 1,2 I_{н.св} \sqrt{ПВ} \text{ (повторно-кратковременный режим),}$$

где  $I_{н.св}$  — номинальный ток сварочного аппарата при работе, А.

**Структура условного обозначения автоматического выключателя**

ВА	51	—	31	—	1
Обозначение выключателя				Обозначение количества полюсов:	
Разработка				1 — один	
51, 52 — с ТР и ЭМР				2 — два	
53, 55, 75 — с ПМР				3 — три	
56 — без МР					
Обозначение номинального тока ( $I_n$ , А) выключателя.					
25 — 25 А		39 — 630 А			
29 — 63 А		41 — 1000 А			
31 — 100 А		43 — 1600 А			
33 — 160 А		45 — 2500 А			
35 — 250 А		47 — 4000 А			
37 — 400 А					

**Таблица А.6. Технические данные автоматических выключателей серии ВА**

Тип	Номинальный ток, А		Кратность уставки		$I_{откл}$ , кА
	$I_{н.д.}$	$I_{н.р.}$	$K_{у(тр)}$	$K_{у(эм)}$	
1	2	3	4	5	6
ВА 51-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	1,2	14	3
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5			1,5
ВА 51-25		6,3; 8	1,35	7, 10	2
		10; 12,5			2,5
		16; 20; 25			3,0

1	2	3	4	5	6	
BA 51-31-1 BA 51Г-31	100	6,3; 8; 10; 12	1,25	3, 7, 10	2	
		10			2,5	
		20; 25			3,5	
		31,5; 40; 50; 63			5	
		80; 100			0	
BA 51-31 BA 51Г-31	100	6,3; 8		1,25	3, 7, 10	2
		10; 12,5				2,5
						3,8
		31,5; 40; 50; 63				6
		80; 100				7
BA 51-33 BA 51Г-33	160	80; 100; 125; 160	1,25		10	12,5
BA 51-35	250	80, 100, 125, 160 200, 250			12	15
BA 51-37	400	250, 320, 400			10	25
BA 51-39	630	400, 500, 630				35
BA 52-31 BA 52Г-31	100	16, 20, 25			1,35	3, 7, 10
		31,5; 40		15		
		50; 63		18		
		80; 100		25		
BA 52-33 BA 52Г-33	160	80, 100		1,25	10	28
		125, 160				35
BA 52-35	250	80, 100, 125, 160, 200, 250	12		30	
BA 52-37	400	250, 320, 400	10			
BA 52-39	630	250, 320, 400, 500, 630			40	
BA 53-37 BA 55-37	160	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25		2, 3, 5, 7, 10	20
	250					25
	400					
BA 53-39 BA 55-39	160 250 400 630					
BA 53-41 BA 55-41	1000				2, 3, 5, 7	
BA 53-43 BA 55-43	1600					
BA 53-45 BA 55-45 BA 75-45	2500			2, 3, 5		36
BA 75-47	4000				2, 3, 5, 7	45
					2, 3, 5	

## Структура условного обозначения степени защиты

	1	P	5	4
International Protection				
Защита от соприкосновения и попадания посторонних твердых тел: 4 — размером более 1 мм 5 — от пыли X — отсутствует				
				Защита от проникновения воды: 4 — от брызг в любом направлении X — отсутствует



**Таблица А.7. Технические данные ПР 85 с одно- и трехполюсными  
линейными выключателями**

Номер схемы	$I_n$ , А	Рабочий $I_n$ , А		Количество ВА 51-31 линейных		Дополнительные сведения
		IP21 У3	IP54 УХЛ2, Т2	1-полюсн.	3-полюсн.	
1	2	3	4	5	6	7
С зажимами на вводе						
001	160	120	120	3	—	Все ПР 85 по спо- собу установки имеют исполне- ние навесное (степень защиты IP21 и IP54) или утопленное (IP21)
002				6	—	
003				3	1	
004				—	2	
005				12	—	
006				6	2	
007				—	4	
008				18	—	
009				12	2	
010				6	4	
011				—	6	
012	250	200	183	12	2	
013				6	2	
014				—	4	
015				18	—	
016				12	2	
017				6	4	
018				—	6	
019				24	—	
020				18	—	
021				12	4	
022				6	6	
023				—	8	
024				30	—	
025				24	2	
026				18	4	
027				12	6	
028				6	8	
029				—	10	
030	400	320	300	18	—	
031				12	2	
032				6	4	
033				—	6	
034				24	—	
035				18	2	
036				12	4	
037				6	6	
038				—	8	
039				30	—	
040				24	2	
041				18	4	



1	2	3	4	5	6	7
042	400	320	300	12	6	
043				6	8	
044				—	10	
149	630	504	473	—	6	
150				—	8	
151				—	10	
152				—	12	
С выключателем ВА 51–33 на вводе						
045	160	128	120	3	—	
046				6	—	
047				3	1	
048				—	2	
049				12	—	
050				6	2	
051				—	4	
052				18	—	
053				12	2	
054				6	4	
055				—	6	
С выключателем ВА 51–35 на вводе						
056	250	200	188	12	—	
057				6	2	
058				—	4	
059				18	—	
060				12	2	
061				6	4	
062				—	6	
063				24	—	
064				18	2	
065				12	4	
066				6	6	
067				—	8	
068				30	—	
069				24	2	
070				18	4	
071				12	6	
072				6	8	
073				—	10	
С выключателем ВА 51–37 на вводе						
074	400	320	300	—	4	
075				18	—	
076				—	2	
077				6	4	
078				—	6	
079				24	—	
080				18	2	
081				12	4	

1	2	3	4	5	6	7
082	400	320	300	6	6	
083				—	8	
084				30	—	
085				24	2	
086				18	4	
087				12	6	
088				18	—	
089				—	10	
С выключателем ВА 55-37 на вводе						
099	400	320	300	—	4	Все ПР 85 по схемам 099...114, 124...139, 152 имеют навесное и напольное исполнение (степень защиты IP21 и IP54)
100				18	—	
101				12	2	
102				6	4	
103				—	6	
104				24	—	
105				18	2	
106				12	4	
107				6	6	
108				—	8	
109				30	—	
110				24	2	
111				18	4	
112				12	6	
113				6	8	
114				—	10	
С выключателем ВА 56-37 на вводе						
124	400	320	300	—	4	
125				18	—	
126				12	2	
127				6	4	
128				—	6	
129				24	—	
130				18	2	
131				12	4	
132				6	6	
133				—	8	
134				30	—	
135				24	2	
136				18	4	
137				12	6	
138				6	8	
139				—	10	



Таблица А.8. Технические данные ПР 85 с 3-полюсными линейными выключателями

Номер схемы	$I_n, A$	Рабочий $I_n, A$ при исполнении		Количество 3-полюсных линейных выключателей		Дополнительные сведения
		IP21 У3	IP54 УХЛ2, Т2	ВА 51-31	ВА 51-35	
1	2	3	4	5	6	7
С зажимами на вводе						
153	630	504	473		2	ПР 85 по схемам 153...155 имеют только навесное исполнение (IP21 и IP54)
154				2	2	
155				4	2	
156				6	2	
157				8	2	
С выключателем ВА 51-39 на вводе						
090	630	504	473	6	—	Все остальные ПР 85 имеют навесное и напольное исполнение (IP21 и IP54)
091				8	—	
092				10	—	
093				12	—	
094				—	4	
095				2	2	
096				4	2	
097				6	2	
098				8	2	
С выключателем ВА 55-39 на вводе						
115	630	504	473			
116				8	—	
117				10	—	
118				12	—	
119				—	4	
120				2	2	
121				4	2	
122				6	2	
123				8	2	
С выключателем ВА 56-39 на вводе						
140	630	504	473	6	—	
141				3	—	
142				10	—	
143				12	—	
144				—	4	
145				2	2	
146				4	2	
147				6	2	
148				8	2	

**Приложение А**  
(обязательное)

Образец бланка задания на КП

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Новоуральский технологический институт  
(колледж НТИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДАЮ

.....

«.....».....20.....г.

**ЗАДАНИЕ**  
для курсового проекта

Студенту .....

(Ф.И.О. студента)

Группы ..... Специальности .....

(наименование специальности)

Тема курсового проекта .....

Исходные данные к проекту: .....

1. По пояснительной записке

1.1 по описательной части: .....

.....

.....

.....

.....

1.2 по расчетной части:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**(рекомендуемое)**

Пример последовательности брошюровки ПЗ, использования стандартных бланков, разработанных форм таблиц и их заполнения в пояснительной записке КП ЭСН.

2. Содержание и объем графической части .....

.....  
.....

3. Календарный план работы над проектом

№ п/п	Наименование этапов курсового проекта	Срок выполнения

Срок исполнения проекта .....

4. Литература .....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Руководитель проекта /...../

Председатель ЦМК /...../



Перечень ЭО механического цеха

Номер на плане	Наименование ЭО	$P_{\text{эл}}$ , кВт	Примечание
1	2	3	4
18	Кран-балка	15	ПВ = 60%
41, 42	Заточные станки	1,5	1-фазные

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

МЦ.1806.012.000.ПЗ

Лист  
3



Таблица 1. Классификация помещений по взрыво-, пожаро-, электробезопасности

Наименование помещений	Категория			Примечание
	взрывоопасности	пожароопасности	электробезопасности	
1	2	3	4	5
Вентиляционная	В-Ша	П-Ша	ПО	

Таблица 2. Сводная ведомость нагрузок

Наименование электроприемников	Заданная нагрузка, приведенная к длительному режиму						m	Сменная нагрузка			n <sub>c</sub>	K <sub>с</sub>	K <sub>с</sub> <sup>г</sup>	Максимальная нагрузка			
	n	P <sub>н</sub> кВт	P <sub>исл</sub> кВт	K <sub>к</sub>	cos φ	tg φ		P <sub>сн</sub> кВт	Q <sub>сн</sub> квар	S <sub>сн</sub> кВ·А				P <sub>м</sub> кВт	Q <sub>м</sub> квар	S <sub>м</sub> кВ·А	I <sub>м</sub> А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РП																	
Конвейер ленточный	1	0,75	0,75	0,5	0,7	1	—	0,4	0,4								
Элеватор	1	0,75	0,75	0,4	0,6	1,3	—	0,3	0,4								
Всего на НН без КУ	31	—	106,5	0,5	0,82	0,68	—	70,2	47,7	84,9	—	—	—	91,5	51,6	105,4	—
КУ															30		
Всего на НН с КУ	31	—	106,5	0,5	0,95	0,33	—	70,2	23,2	73,9	—	—	—	91,5	21,6	94	—
Потери мощности														1,88	9,4		—
Всего на ВН														93,3	31	114,9	
														8			

Таблица 3. Сводная ведомость ЭСН электроприемников

РУ		Электроприемники					Аппараты защиты				Линия ЭСН			
Тип	$I_n$ , А	№ п/п	Наименование	$n$	$P_{\Sigma}$ , кВт	$I_n$ , А	Тип	$I_{\Sigma(3)}$ , А	$I_{\Sigma P}$ , А	$K_{\Sigma(n)}$	$K_{\Sigma(3)}$	Марка	$I_{\text{ном}}$ , А	$L$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП 3 ПР 85- 301121 -У3	160	1	Станок	1	3,6	12,4	ВА 51-15-3	25	16	1,35	7	АВВГ-3 × 4	27	18
		2	Станок сверлильный	1	4,5	15,5	ВА 51-15-3	25	20	1,35	7	АВВГ-3 × 4	27	24

Таблица 4. Сводная ведомость токов КЗ по точкам

№ точки КЗ	Трёхфазные токи КЗ								Двухфазные токи КЗ	Однофазные токи КЗ				Примечания
	$X_{\Sigma}$ , мОм	$R_{\Sigma}$ , мОм	$Z_{\Sigma}$ , мОм	$I_k^{(3)}$ , кА	$K_{\Sigma}$	$I_{\Sigma}$ , кА	$q$	$I_{\Sigma}$ , кА	$I_k^{(2)}$ , кА	$X_{\Sigma}$ , мОм	$R_{\Sigma}$ , мОм	$Z_{\Sigma}$ , мОм	$I_k^{(1)}$ , кА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
К1 К2 К3	44	68,3	81,2	2,9	1	4,06	1	29	25	1,35	17,1	17,2	1,1	—

Таблица 5. Ведомость монтируемого ЭО

№ п/п	Наименование ЭО	Тип, марка	Ед. изм.	п	Примеч.
1	2	3	4	5	6
1	Трансформатор	ТМ160-10/0,4	шт.	1	
2	Конд. уст-ка	КСК1-0,38-30	шт.	1	
3	Кабели	АВВГ-3 × 4		52	

Таблица 6. Ведомость физических объемов электромонтажных работ

№ п/п	Вид работ	Тип, марка ЭО	Ед. изм.	п	Примеч.
1	2	3	4	5	6
1	Монтаж тр-ри	ТМ160-10/0,4	шт.	1	
2	Монтаж КУ	КСК1-0,38-30	шт.	1	
3	Прокладка КЛ	—	м	300	

Критерии оценки выполненного КП ЭСН при защите

№ п/п	Критерии оценки	Количество баллов				
		5	4	3	2	1
1	2	3	4	5	6	7
1	Выполнение задания	В срок	Задержка 1 суток	Задержка 2 суток	Задержка 4 суток	Задержка 5 суток
2	Оформление пояснительной записки	Старательно	Старания мало	Старания нет	Небрежно	—
3	Качество графиков, таблиц и рисунков ПЗ	Качественно	Некачественно	Небрежно	—	—
4	Грамотность и обоснование решений	Полностью	Частично	Слабо	—	—
5	Качество чертежа 1	Качественно	Хорошо	Небрежно	—	—
6	Качество чертежа 2	Качественно	Хорошо	Небрежно	—	—
7	Доклад	Полно и уверенно	Достаточно	Неполно	—	—
8	Применение современных изделий	100 %	75 %	50 %	25 %	—
9	Ответы на вопросы	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %
10	Реальность проекта	Реальный	Частично	Учебный	—	—
Итого (сумма баллов)						
Общая оценка КП						

### 3. Критерии оценки в процессе выполнения КП ЭСН

Подготовительная часть (10 %)			Расчетно-конструкторская часть									Заключительная часть (15 %)		
			Расчет электрических нагрузок (25 %)			Расчет элементов ЭСН (25 %)			Расчет тока КЗ, проверки (25 %)					
5 %	2 %	3 %	15 %	7 %	3 %	10 %	7 %	8 %	5 %	10 %	10 %	5 %	2 %	8 %
Материалы (ватман, бумага и т. п.), средства работы, бланки, задания, форма таблиц ПЗ	Общая часть		Распределение ЭО и выбор вида РУ, расчет электрических нагрузок и заполнение «Сводной ведомости» (таблица 2 без КУ)	Расчет и выбор КУ, определение расчетной мощности тр-ра с учетом КУ (таблица 2 с КУ)	Выбор питающего щитового тр-ра с учетом КУ	Расчет и выбор АЗ, расчет и выбор линий ЭСН, выбор и формирование типа РУ (таблица 3)	Выполнение черт. 1 «План размещения и ЭСН объекта»	Выполнение черт. 2 «Принцип одной из линий электрической схемы ЭСН ЭО объектов»	Выбор характерной линии ЭСН и точек КЗ, составление расчетной схемы, составление схемы замещения	Определение сопротивления и индуктивности на схеме замещения, вычисление сопротивления до точек КЗ, определение тока КЗ и заполнение «Ведомости...» (таблица 4)	Проверка характерной линии ЭСН по потере $V$ , проверка элементов характерной линии ЭСН по токам КЗ	Составление ведомостей ЭО и монтажных работ (таблицы 5, 6)	Организационно-технические мероприятия по ТБ	Перечень литературы, прайс-лист, оценка, корректировка ПЗ, проверка последовательности оформления ПЗ, брошюровка ПЗ
	Характеристики объекта проектирования, прокладка, классификация помещений по взрывопожароопасности, электроопасности (таблица 1)	Характеристики объекта нагрузки, разработка схемы ЭСН по обеспечению работоспособности объекта												



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### В.1. Общие положения графического выполнения чертежей

#### Размещение оборудования на плане

Производственные здания возводятся одно- и многоэтажными. В одноэтажных зданиях организуется производство крупных, тяжелых деталей. Ширину пролета принимают  $b = 12, 18, 24$  или  $36$  м, а шаг колонн  $t = 12$  м.

В многоэтажных зданиях принимают  $b = 4,6$  или  $8$  м, а  $t = 6$  м. Наиболее распространенная ширина помещения  $b = 18$  и  $24$  м.

При планировке предварительно на листе миллиметровой бумаги наносят сетку колонн в масштабе  $1 : 100$ , реже  $1 : 50$  или  $1 : 200$ .

Контуры оборудования (темплеты) вырезают из картона или плотной бумаги в том же масштабе, что и план. Около каждого станка предусматривается площадка (стеллаж) для складирования и хранения заготовок (деталей).

#### Например:

Место рабочего у станка обозначают кружком в соответствующем масштабе ( $d = 500$  мм), половина которого затушевывается. Светлая часть кружка — лицо рабочего обращено к станку.

Темплетная планировка позволяет наглядно представить занятую и свободную площади и расстояние между оборудованием.

Темплеты станков располагаются в короткую технологическую линию, чтобы изделия транспортировались по кратчайшему пути. При размещении темплетов учитывается расположение строительных колонн, элементов зданий, путей транспортировки, проходов и т. п. Кроме того, учитывается возможность использования подъемно-транспортных механизмов, перспектива развития.

Наиболее удобно размещать станки вдоль пролета, а поперечное расположение применяют для лучшего использования площадей.

Под углом располагают станки револьверные (работа с прутками), протяжные, продольно-строгальные и т. п. Рабочее место — со стороны прохода.

У наружных стен (там больше уровень естественного освещения) располагают рабочие места слесарей-лекальщиков, резьбо-шлифовальные станки и т. п.

Транспортировка изделий возможна следующими способами:

— наземными электрическими тележками, автокарами с подъемными платформами, передвижными подъемными кранами. Их грузоподъемность  $0,73; 1,0; 1,5; 3,0; 5,0$  т; скорость хода  $6 \dots 15$  км/час;

— электроталью с монорельсом, грузоподъемностью от  $0,25$  до  $5$  т;

— конвейерами с шириной ленты от  $200$  до  $600$  мм и скоростью перемещения от  $6$  до  $30$  м/мин;

— мостовыми кранами для тяжелых изделий грузоподъемностью  $5; 10; 15; 20$  т;

— кран-балками (стрелами) с ручными и электрическими тальми грузоподъемностью от  $1,0$  до  $3,0$  т; вылет стрелы — для обслуживания двух соседних станков;

— манипуляторами (промышленными роботами).

**Габаритные и модульные размеры на чертеже обязательны.**



Код схемы определяется ее видом и типом (буква и цифра).

Виды схем определяются в зависимости от элементов и связей, входящих в нее, и обозначаются буквами русского алфавита. Различают 10 видов схем:

Э — электрическая	В — вакуумная
Г — гидравлическая,	Л — оптическая
П — пневматическая	Р — энергетическая
Х — газовая	Е — деления (на составные части)
К — кинематическая	С — комбинированная

Типы схем определяются их назначением и обозначаются арабскими цифрами. Различают 8 типов схем:

1 — структурная	5 — подключения
2 — функциональная	6 — общая
3 — принципиальная (полная)	7 — расположение
4 — соединений (монтажная)	0 — объединенная (совмещает несколько типов схем)

*Например:*

Э3 — сх. электрическая принципиальная.

Э7 — сх. электрическая расположения.

Толщина линий согласно ГОСТ выбирается в пределах от 0,2 до 1 мм и выдерживается во всем комплекте чертежей.

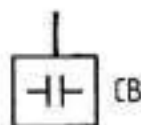
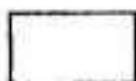
Графические обозначения элементов и линий взаимосвязи выполняются линиями одинаковой толщины. Допускается утолщение линий при необходимости выделить отдельные электрические цепи, например силовые цепи.

На одной схеме рекомендуется применять не более трех типоразмеров линий по толщине.

## В.2. Основные условные графические обозначения в схемах ЭСН

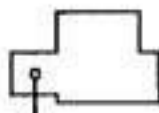
### Потребители

Электроприемник  
(общее обозначение)



Конденсаторная  
установка

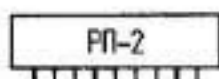
Темплет  
электроустановки



$\frac{2}{13,2}$

□ Номер на плане  
- Мощность, кВт

### Распределительные устройства



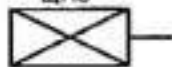
Общее обозначение РУ  
(РП, РЩ, ШР и т. п.)

ЩО

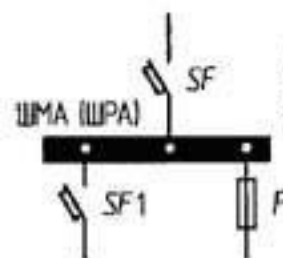


- Щит рабочего освещения

ЩАО



- Щит аварийного освещения



Шинный  
с разъёмными  
присоединениями

### Прокладка

- На стойках (шинапровод)

- В лотке

- В траншее (кабели)

- В полу

- В канале (пучок кабелей)

- Под полом

- В трубе

### Разводка

- Кабель (провод)

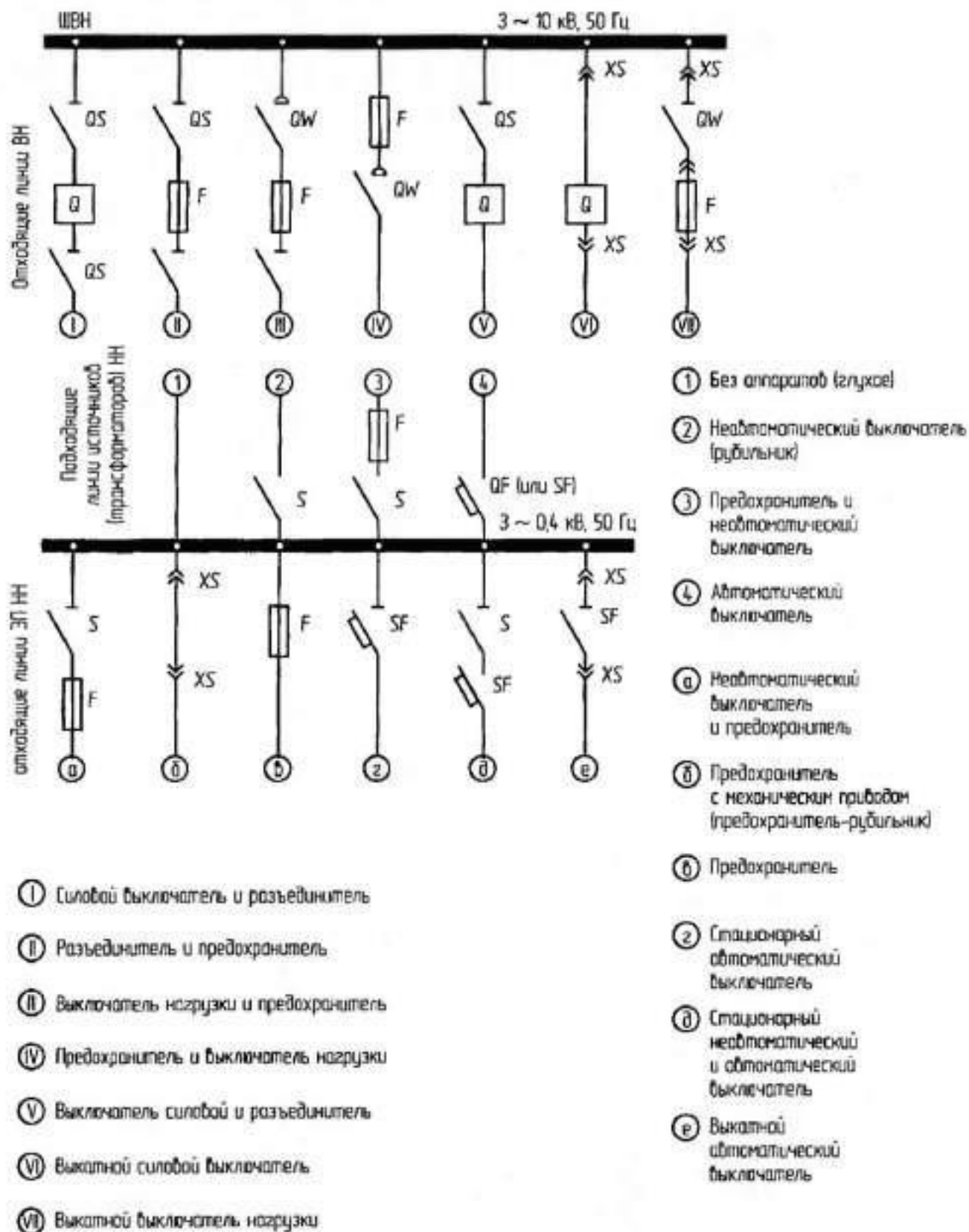
- Кабель гибкий

- Сборка кабелей  
(проводов в пучок)

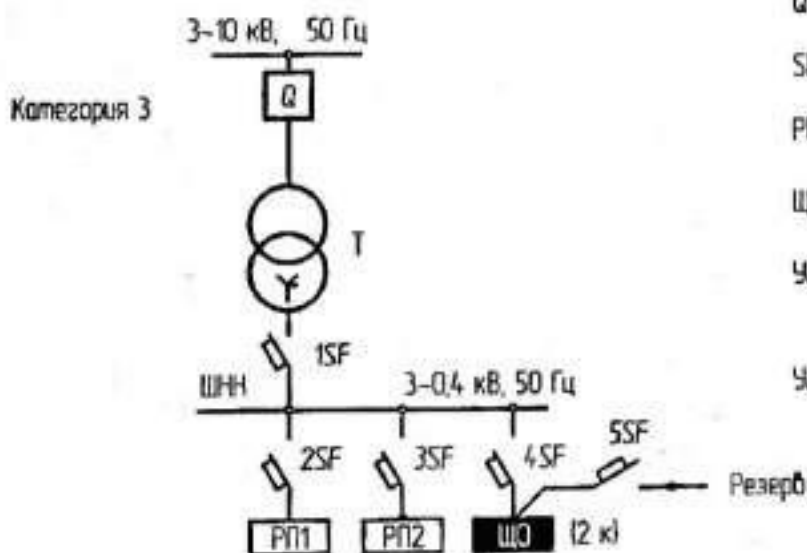
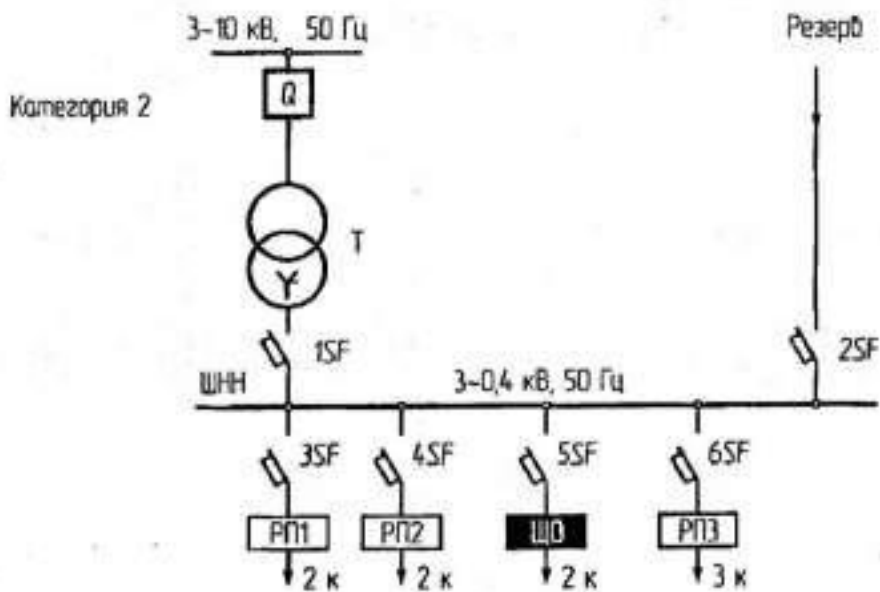
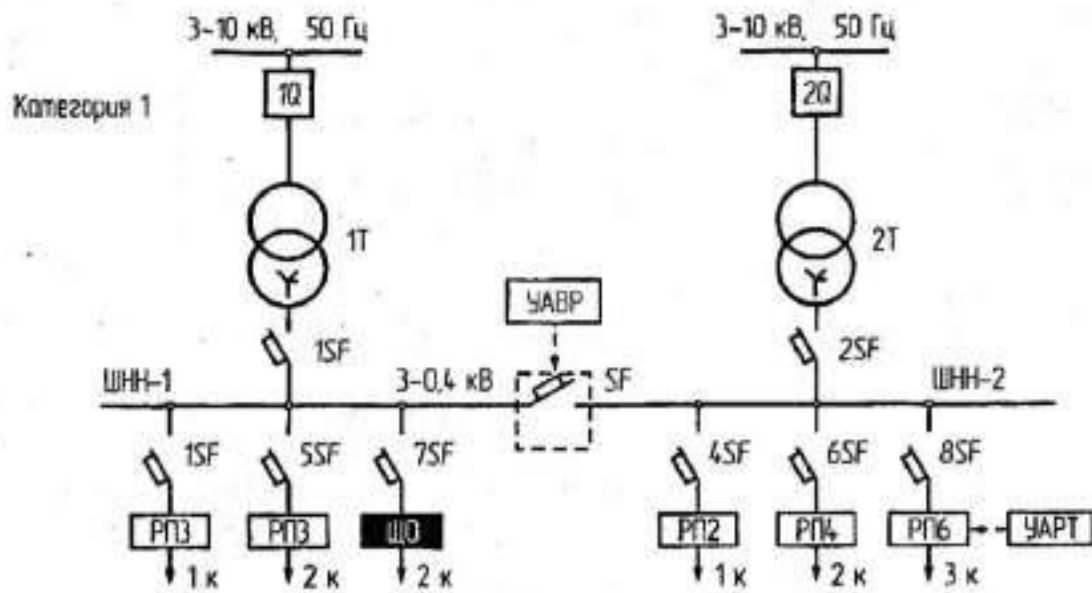
- Разводка кабелей  
из пучка

Примечание. Прокладку на чертеже показать в начале  
отходящих от РП линий.

### В.3. Возможные варианты присоединения линий ЭСН к шинам цеховых сетей

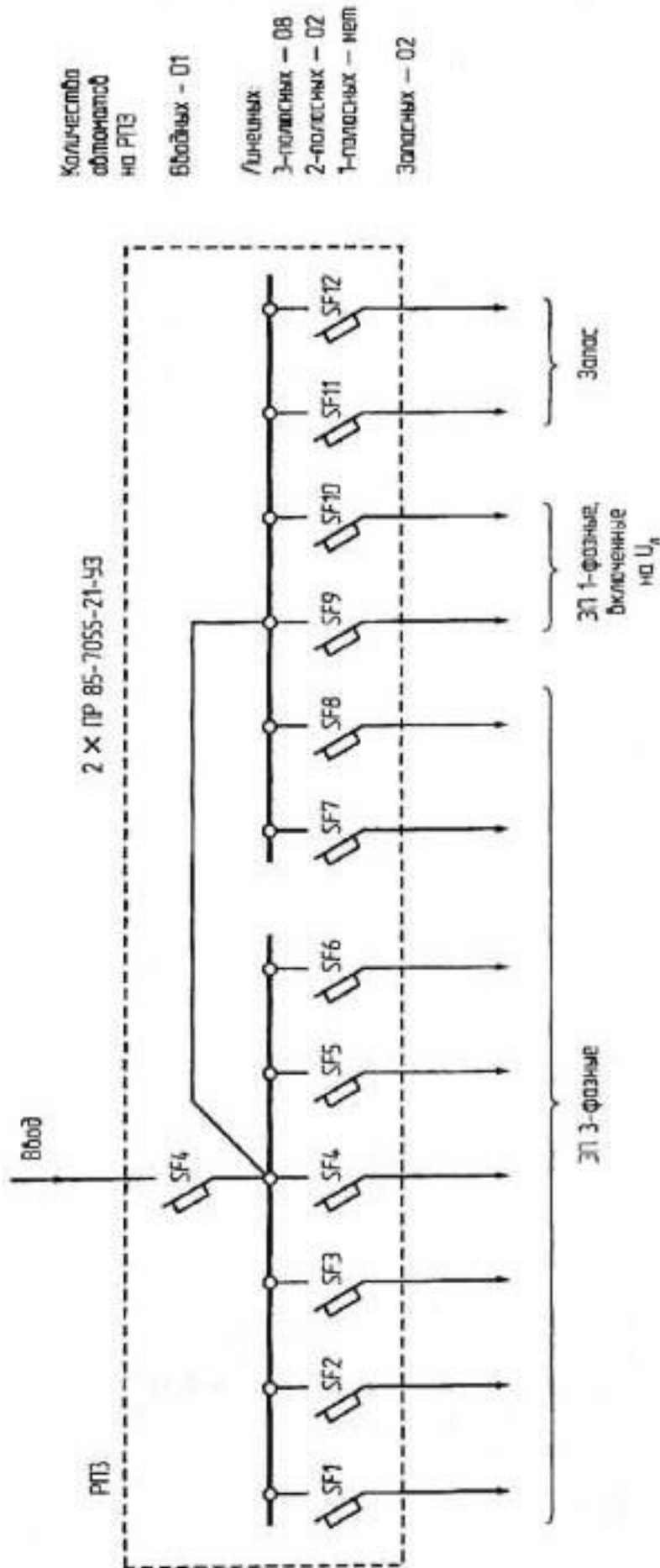


## В.4. Основные варианты цеховых радиальных схем ЭСН с РП



- Q – силовой выключатель ВН
- SF – автоматический выключатель НН
- РП – распределительный пункт
- ЩО – щит освещения (рабочего)
- УАВР – устройства автоматического включения резерва
- УАРТ – устройства автоматической разгрузки по току

## В.5. Схема составного распределительного устройства

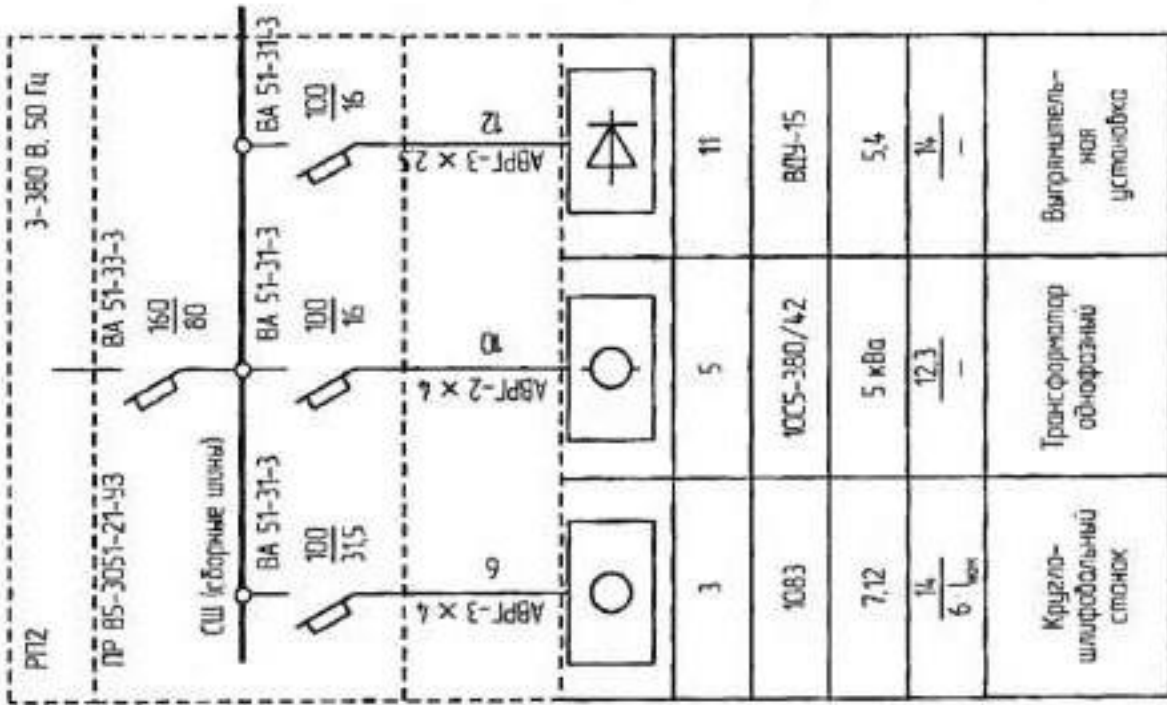
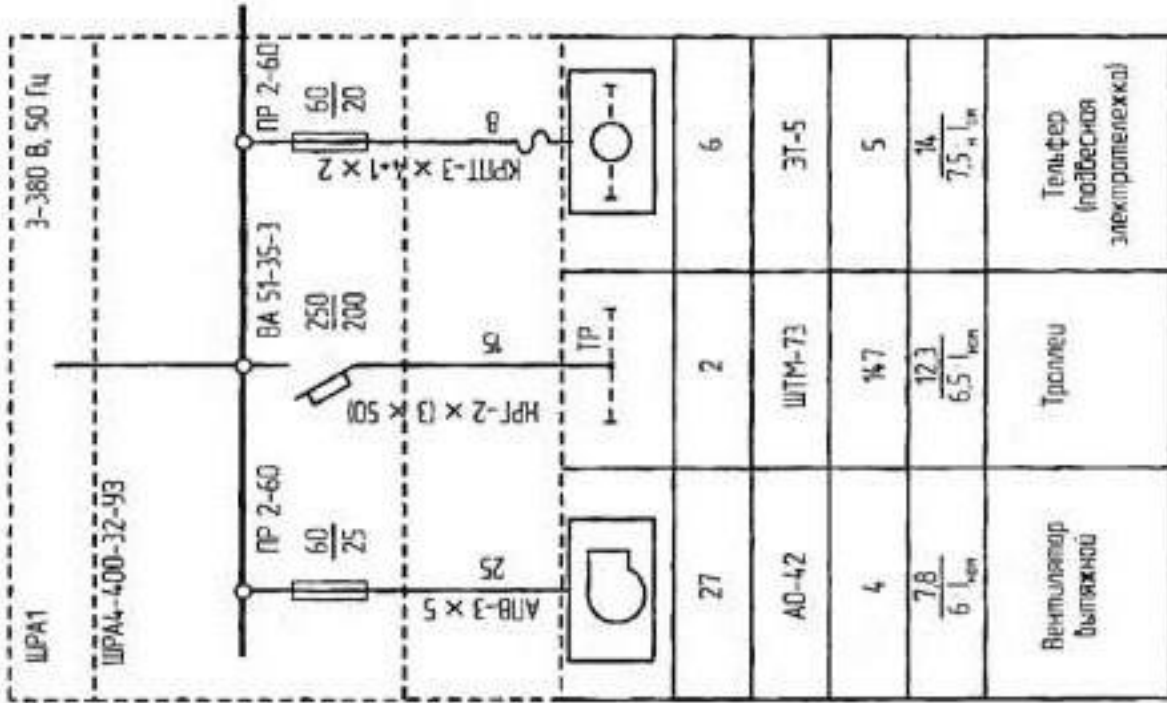


### Примечания

1. Составное РУ собирается из отдельных схем в любом количестве по типу ЭП.
2. Для однофазных ЭП, выключенных на  $U_n$ , допускается использование 2 полюсов усиленного 3-полюсного автомата.



## В.6. Обобщенная однолинейная схема ЭСН электроустановок промышленного предприятия



Распределительное устройство		Тип	
		АЗ (вкл.)	АЗ (выкл.)
Объект	Марка пробы	М	
	Мощность	кВт	
Электродвигатель	Обозначение		
	№ на плане		
	Тип (при его наличии)		
Наименование	P <sub>ном</sub> кВт		
		I <sub>ном</sub> А	
	I <sub>пуск</sub> А		

Таблица В.1. Классификация помещений по взрыво-, пожаро-, электробезопасности

Класс, зона	Характеристика зоны	Требуемая степень защиты ЭУ	Дополнительные сведения
1	2	3	4
<b>Пожароопасность</b>			
П-I	Обращаются горючие жидкости с температурой вспышки более 61 °С (например, склады минеральных масел и установки регенерации) внутри помещений	IP44	
П-II	Выделяются горючие пыль или волокна с концентрацией воспламенения к объему воздуха более 65 г/м <sup>3</sup>	IP54	
П-IIA	Обращаются твердые горючие вещества (склады)	IP44	Закрытые
П-III	Обращаются горючие жидкости с температурой вспышки более 61 °С или твердые горючие вещества вне помещений (например, склады минеральных масел, угля, торфа, дерева и т. п.)	IP44	Открытые складские пространства
<b>Взрывоопасность</b>			
В-I	Выделяются горючие газы или пары ЛВЖ, способные образовать с воздухом в помещении взрывоопасную смесь при нормальном режиме работы	Взрывобезопасность	Газообразная или жидкая основа
В-IA	То же, но при аварии или неисправности	Не менее IP44	
В-IB	Возможно образование смеси с большой взрывной концентрацией (15 % и более) или водорода при аварии или неисправности в помещении (например, аммиачные КУ, электролизные, зарядные и т. п.)		
В-Iг	Возможно образование взрывоопасной смеси на открытом воздухе (например, выбросы технологических установок, резервуары и открытые пространства с горючими жидкостями)		Выбросы вентиляции и предохранительных устройств
В-II	Возможно образование взрывоопасной смеси в помещении из взвешенных частиц (пыль, волокна) и воздуха в нормальных условиях	Взрывобезопасность	Твердая основа (пыль, волокна)
В-IIA	То же, но при аварии или неисправности	IP54	
<b>Электроопасность</b>			
ОО (особо опасные)	Относятся помещения: — особо сырые (относительная влажность близка к 100 %, т. е. поверхности, покрытые влагой); — с химически активной средой, разрушающей изоляцию; — территория размещения наружных ЭУ		

Класс, зона	Характеристика зоны	Требуемая степень защиты ЭУ	Дополнительные сведения
1	2	3	4
ПО (с повышенной опасностью)	<p>Относятся помещения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— сырые (относительная влажность воздуха длительная более 75 %);</li> <li>— с токопроводящей пылью, оседающей на ЭО;</li> <li>— с токопроводящими полями (металл, земля, ж/бетон, кирпич и т. п.);</li> <li>— жаркие (температура постоянно или более 1 суток +35 °С);</li> <li>— возможно соприкосновение одновременно с корпусом ЭО и конструкциями, связанными с землей</li> </ul>		
БПО (без повышенной опасности)	<p>Относятся помещения, не относящиеся в отношении опасности поражения людей электротоком к ОО и с ПО</p>		

**Приложение В**  
(обязательное)

Образец титульного листа КП

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

Новоуральский технологический институт  
(колледж НТИ НИЯУ МИФИ)

---

Цикловая методическая комиссия  
общетехнических дисциплин , энергетики и спецтехнологии

## **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по специальности

140448.51 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и  
электромеханического оборудования (по отраслям)

на тему

Электроснабжение цеха по изготовлению валов и шестерён

Выполнил

студент группы КЭЛ-41Д

Рябов В. А.

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Проверил

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Стародубцева А. Н.

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Нормоконтроль:

Стародубцева А. Н.

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Новоуральск 2013

## 4 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### 4.1 Основная литература

- 4.1.1. Стандарт организации СТО НТИ –1–2009. Курсовое проектирование. Общие требования к организации проектирования, содержанию и оформлению курсовых проектов и работ. – Новоуральск, НТИ, 2009.
- 4.1.2. Воробьев Н.И.. Проектирование электронных устройств: Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 2006.
- 4.1.3. Стандарт организации СТО НТИ –2009. Требования к оформлению текстовой документации.– Новоуральск, НТИ, 2009.
- 4.1.4. Акимова Н.А., Н.Ф.Котеленец, Н.И.Сентюрихин. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования .[Текст] – Учеб.пособие для студ учреждений СПО.– М.: Мастерство, 2008.
- 4.1.5. Келим Ю.М. Типовые элементы систем автоматического управления. [Текст] – Учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования . - М. : Форум : Инфра-М, 2009.
- 4.1.6. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование. [Текст] – Учеб.для сред. проф. образования. - М. : Форум : ИНФРА-М, 2010.

### 4.2 Дополнительная литература

- 4.2.1. Алиев И.И. Электротехнический справочник. [Текст] – Учеб. для сред. проф. образования.- М.:РадиоСофт,2009.
- 4.2.2. Алиев И.И. Кабельные изделия : справочник [Текст] – Учеб.для сред. проф. образования.- М. :РадиоСофт, 2010.
- 4.2.3. Варварин В.К.Выбор и наладка электрооборудования. [Текст] – Учеб. для сред. проф. образования.- М.:ФОРУМ-ИНФРА-М,2010.
- 4.2.4. Ганенко А.П., Милованов Ю.В., Лапсарь М.И. Оформление текстовых и графических материалов при подготовке дипломных проектов, курсовых и письменных экзаменационных работ (требования ЕСКД): Учеб.пособие для нач. проф. Образования.– М.:ИРПО;Изд.центр «Академия», 2009.
- 4.2.5. Каминский Е.А..Практические приемы чтения схем электроустановок. М.:Энергоатомиздат ,2010.
- 4.2.6. КисаримовР.А.Справочник электрика. [Текст] – Учеб. для сред. проф. образования.-М.:Радио Софт,2011.
- 4.2.7. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок [Текст] – Учеб.для сред. проф. образования. - М. : Высшая школа, 2010.
- 4.2.8. Серебrenицкий П. П., Схиртладзе А. Г. Программирование для автоматизированного оборудования [Текст] –Учебник для средн. проф. учебных заведений – М.: Высш. шк., 2009.
- 4.2.9. ШеховцовВ.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб.для сред. проф. образования / В. П. Шеховцов. - М. : Форум : ИНФРА-М, 2010.

4.2.10. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов. [Текст] –Учебное пособие для студ.сред.проф.образования СПО - М. : Академия, 2009

### **4.3 Нормативные документы**

4.3.1 ГОС СПО по специальности (регистрационный номер 144 от 25.02.2010г.) 140448.51 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электротехнического оборудования (по отраслям)»

#### **4.4 Интернет – ресурсы:**

4.4.1.Первый радиолобительский форум России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.radioman.ru/index.php>;

4.4.2. Сайт проектировщиков Белоруссии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.proektant.by/>;

4.4.3. Электронно-библиотечная система [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.iqlib.ru](http://www.iqlib.ru);

4.4.4. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>;

4.4.5. Библиотека Новоуральского технологического института НИЯУ МИФИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nsti.ru/library/generalinfo/welcome>.

4.4.6. Периодические издания:

4.4.7. «Электротехника»: ежемесячный научно-технический журнал: издательство ЗАО «Знак»;

**4.4.8.** «Электричество» ежемесячный теоретический и научно-практический журнал: издательство «Знак».