

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт
**ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

О.П. БАЛАШОВ

Электроснабжение

Учебно-методическое пособие к расчетно-графической работе для студентов, обучающихся, по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

Рекомендовано Рубцовским индустриальным институтом (филиалом) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» в качестве учебного-методического пособия для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

Рубцовск 2023

Балашов О.П. Электроснабжение: Учебно-методическое пособие к расчетно-графической работе для студентов, обучающихся, по направлению «Электроэнергетика и электротехника», всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2023. – 70 с.

В учебно-методическом пособии рассмотрены этапы выполнения расчетно-графической работы по дисциплине «Электроснабжение», включающие: расчет электрических нагрузок, выбор напряжения электроснабжения, выбор распределительных шкафов, шинопроводов, аппаратов защиты и распределительных сетей низкого напряжения, обеспечивающих питание электроприемников, расчет и выбор режимов работы систем электроснабжения объектов капитального строительства, выбор оборудования цеховых трансформаторных подстанций общего назначения с учетом компенсации реактивной мощности, расчет токов короткого замыкания системы электроснабжения низкого напряжения и проверки оборудования на термическую и динамическую стойкость и отключающую способность аппаратов защиты.

Приведены исходные данные для 50 вариантов расчетно-графической работы. В приложениях имеется обширный справочный материал для выполнения проекта системы электроснабжения объекта капитального строительства.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения.

Рассмотрено и одобрено
на заседании НМС РИИ
Протокол № 6 от 29.06.23

Рецензент: к.т.н., доцент

А.А. Кононов

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИИ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО- ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	5
1 Краткая характеристика объекта проектирования.....	5
2 Расчет электрических нагрузок объекта.....	5
2.1 Расчет силовой нагрузки цеха.....	5
2.2 Расчет осветительной нагрузки.....	8
3 Выбор напряжения электроснабжения.....	9
4 Выбор электрических сетей и распределительных шкафов (шинопроводов) силовых электроустановок.....	9
5 Расчет и выбор режимов работы электроэнергетических установок и систем электроснабжения. Выбор аппаратов защиты и распределительной сети.....	13
5.1 Выбор аппаратов защиты и распределительной сети.....	13
5.2 Расчет и выбор режимов работы электроэнергетических установок и систем электроснабжения.....	18
6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховой подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	21
7 Выбор схемы электроснабжения цеховой трансформаторной подстанции по высокому напряжению.....	23
8 Расчет токов короткого замыкания в сетях низкого напряжения и проверка электрических аппаратов.....	25
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	32
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49
Приложения.....	51
Приложение А Справочный материал к расчету электрических нагрузок....	51
Приложение Б Коэффициенты использования, спроса и мощности потребителей электроэнергии.....	54
Приложение В Технические данные силовых трансформаторов и компенсирующих устройств.....	57
Приложение Г Технические характеристики шинопроводов, распределительных шкафов и ящиков с рубильниками.....	59
Приложение Д Технические характеристики аппаратов защиты.....	63
Приложение Ж Технические характеристики проводников.....	66
Приложение Е Сопротивления низковольтных аппаратов и проводников....	69

СОДЕРЖАНИИ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1. Краткая характеристика объекта проектирования
2. Расчет электрических нагрузок цеха
3. Выбор напряжения электроснабжения цеха
4. Выбор распределительных шкафов (шинопроводов) силовых электроустановок
5. Расчет и выбор режимов работы электроэнергетических установок и систем электроснабжения. Выбор аппаратов защиты и распределительной сети
6. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховой подстанций с учетом компенсации реактивной мощности
7. Выбор схемы электроснабжения цеховой трансформаторной подстанции по высокому напряжению
8. Расчет токов короткого замыкания в сетях низкого напряжения и проверка электрических аппаратов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

1 Краткая характеристика объекта проектирования

В данном разделе необходимо охарактеризовать проектируемый объект (цех):

- описать технологический процесс выполняемый на данном объекте (цеху);
- предполагаемая сменность работы объекта;
- основные группы электроприемников, их категория надежности электроснабжения.

2 Расчет электрических нагрузок объекта

Расчет нагрузок объекта в расчетно-графической работе должен выполняться согласно действующим «Указаниям по расчету электрических нагрузок» РТМ 36.18.32.4-92.

2.1 Расчет силовой нагрузки цеха

Расчет нагрузок начинают с определения расчетных мощностей цеха, технологическая планировка которого дана в задании. Последовательность расчета обычно такова:

1) Вначале необходимо выбрать место установки распределительных шкафов (ШР) и распределительных шинопроводов (ШС) и присоединить к ним электроприемники (ЭП), ориентируясь на их взаимное расположение. На один шкаф рекомендуется присоединять до 8-10 электроприемников, на шинопроводы - до 20-25, электроприемники мощностью свыше 100 - 120 *кВт* рекомендуется присоединять к магистральному шинопроводу или низковольтному щиту трансформаторной подстанции.

Питание подъемно-транспортных устройств (мостовых кранов, кран-балок и т. п.) должно осуществляться от внутренних питающих электрических сетей общего назначения напряжением 380/220 В переменного тока через троллейные шинопроводы (ТР) или с помощью гибких кабельных токопроводов. Питание троллейных шинопроводов с расчетным током порядка 100 А и более рекомендуется осуществлять радиальными кабельными линиями от цеховых трансформаторных подстанций или магистральных шинопроводов, а при меньших токах - от распределительных шкафов или распределительных шинопроводов.

2) Все ЭП, присоединенные к узлу нагрузки (ШР, ШС), разбиваются на однородные по режиму работы группы с одинаковыми значениями коэффициента использования $k_{И}$ и коэффициента мощности $\cos\varphi$, которые принимаются по справочным данным из приложения Б. По величине $\cos\varphi$

определяют $tg\varphi$.

Расчет электрических нагрузок рекомендуется выполнять в табличной форме. Образец таблицы и пример расчета приведен в приложении А3.

Графы 1-4 заполняются на основании полученного задания и графы 5, 6 согласно справочным материалам (Приложение А3), в которых заносят значения коэффициентов использования и реактивной мощности для индивидуальных ЭП. При наличии в справочных материалах интервальных значений k_u для расчета следует принимать наибольшее значение.

Для ЭП с повторно-кратковременным режимом работы их номинальные мощности не приводятся к длительному режиму (ПВ=100%), а записываются паспортными значениями.

При включении однофазного ЭП он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью.

Нагрузки отдельных фаз при включении однофазных ЭП на линейное напряжение определяются как полусуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе (рисунок 1, а):

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2}; \quad P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}; \quad P_C = \frac{P_{CA} + P_{BC}}{2}. \quad (1)$$

При включении однофазных нагрузок на фазное напряжение нагрузка каждой фазы определяется суммой всех подключенных нагрузок на эту фазу (рисунок 1, б).

Из полученных результатов выбирается наибольшее значение.

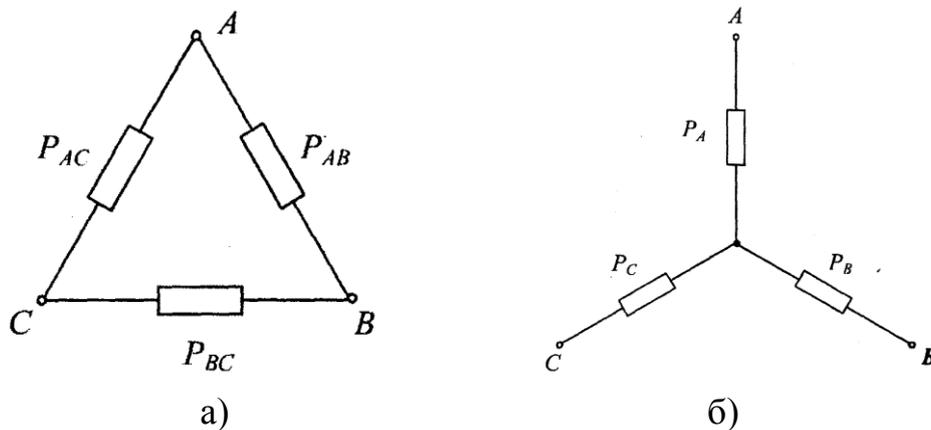


Рисунок 1 – Схема включения однофазных нагрузок:
а) на линейное напряжение, б) на фазное напряжение

При числе неравномерно распределенных по фазам только однофазных приемников до трех включительно $P_{н. эк}$ определяют упрощенными способами:

а) при включении ЭП на фазное напряжение 220 В в трехфазную систему 380/220 В

$$P_{н. эк} = 3P_{н. о}, \quad (2)$$

б) при включении одного ЭП на линейное напряжение эквивалентная трехфазная номинальная мощность определяется:

$$P_{н. эк} = \sqrt{3} P_{н. о}, \quad (3)$$

в) при двух-трех ЭП, включенных на разные линейные напряжения трехфазной сети:

$$P_{н. эк} = 3P_{н. л}, \quad (4)$$

где $P_{н. л}$ - номинальная мощность приемника наиболее загруженной фазы.

3) В графу 2 заносится количество ЭП по каждой группе n и определяется в целом по узлу (ШР, ШС) присоединения Σn ;

4) Для каждой группы однородных ЭП (например, металлорежущие станки, сварочные установки, вентиляторы и т.п.) находят суммарную номинальную мощность P_n . В графах 7 и 8 соответственно записываются построчно промежуточные средние величины активной и реактивной нагрузки, рассчитывают по формулам:

$$P_{cp} = P_n \cdot K_u, \text{ кВт}; \quad (5)$$

$$Q_{cp} = P_n \cdot K_u \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}. \quad (6)$$

5) В итоговой строке для узла присоединения (ШС, ШР и т.п.) определяются суммы этих величин ΣP_n , ΣP_{cp} , ΣQ_{cp} .

6) Для узла определяется групповой коэффициент использования K_u и групповой $\operatorname{tg} \varphi$ по формулам:

$$K_u = \frac{\sum P_{cp}}{\sum P_n}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{cp}}{\sum P_{cp}}. \quad (7)$$

Значения найденных величин заносятся в графы 5 и 6 итоговой строки узла присоединения.

7) Для расчёта эффективного числа ЭП $n_э$ в графе 9 построчно определяются для каждой характерной группы ЭП одинаковой мощности величины $n \cdot p^2_n$, а в итоговой строке – их суммарное значение $\Sigma n \cdot p^2_n$. Как правило, $n_э$ для итоговой строки вычисляют по выражению:

$$n_э = \frac{(\sum P_n)^2}{\sum n p^2_n}. \quad (8)$$

8) В зависимости от средневзвешенного (группового) коэффициента использования K_u и эффективного числа ЭП $n_э$ находится и заносится в графу 11 итоговой строки расчетный коэффициент K_p , который для ШС или ШР принимается по приложению А1.

Для вводного шкафа, магистрального шинопровода, шин цеховых ТП и т.п. K_p принимается по приложению А2, если $\sum P_{cp} > 250 \text{ кВт}$, и по приложению А1, если $\sum P_{cp} \leq 250 \text{ кВт}$.

9) Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП (графа

12) определяется с учетом K_p по выражению:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{cp} = K_p \cdot \Sigma k_u \cdot P_n. \quad (9)$$

В случаях, когда расчетная мощность окажется меньше номинальной мощности наибольшего ЭП, следует принимать $P_p = P_{n. \max}$.

10) Расчетная реактивная мощность (графа 13) для групп ЭП (ШР, ШС) определяется:

$$Q_p = 1,1 \cdot \Sigma Q_{cp} \quad \text{при } n_{\Sigma} \leq 10; \quad (10)$$

$$Q_p = \Sigma Q_{cp} \quad \text{при } n_{\Sigma} > 10. \quad (11)$$

Для вводных шкафов, магистральных шинопроводов и на шинах цеховых ТП, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху или корпусу

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (12)$$

11) Расчетная полная мощность (графа 14) и расчетный ток (графа 15) находятся по формулам:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (13)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (14)$$

После выполнения расчета силовой нагрузки по цеху приступают к расчету осветительной нагрузки.

2.2 Расчет осветительной нагрузки

Расчет осветительной нагрузки в расчетно-графической работе выполняют методом удельной мощности и коэффициента спроса. Для этого намечают тип источника света и в зависимости от предполагаемого разряда зрительных работ на объекте принимают удельную мощность осветительной нагрузки $p_{уд.о}$ (Bm/m^2). Рекомендуемые значения $p_{уд.о}$ для некоторых объектов приведены в приложении Б2.

По плану цеха на основании указанного габарита производят расчет реальной площади. Определяют установленную мощность освещения цеха по формуле:

$$P_{y.o} = p_{уд.о} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (15)$$

где F - площадь рассчитываемого цеха, m^2 .

В зависимости от назначения и площади цеха, объекта, по таблице приложения Б3 принимают коэффициент спроса, K_c . Расчетная мощность осветительной нагрузки определяется по формулам:

$$P_{p.o} = P_{y.o} \cdot K_c; \quad (16)$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (17)$$

При выборе источников света для объекта или цеха следует ориентироваться на применение светодиодных ламп (LED) промышленного

назначения как наиболее энергоэффективных, у которых коэффициент мощности составляет 0,95 - 0,98 ($tg\varphi = 0,33-0,2$).

Полученные значения $P_{y.o}$, $P_{p.o}$ и $Q_{p.o}$ вносят в таблицу расчета нагрузок приложение А3 и суммируют с итоговой силовой нагрузкой для определения общей электрической нагрузки по объекту или цеху.

3 Выбор напряжения электроснабжения

Выбор напряжения электроснабжения должен включать определение величины напряжения распределения электрической энергии на высоком напряжении и напряжения потребления (внутрицехового электроснабжения).

При выборе напряжения распределения следует ориентироваться на значения 10 и 6 кВ с изолированной нейтралью. В настоящее время при проектировании следует отдавать предпочтение напряжению 10 кВ как наиболее экономичному по сравнению с напряжением 6 кВ, обладающему большей пропускной способностью и меньшими потерями мощности, напряжения и электрической энергии.

Для внутрицехового электроснабжения в большинстве случаев применяется уровень напряжения, соответствующий номинальному напряжению электроприемников и потребителей электрической энергии. Так как большинство электроприемников и потребителей, задействованных в технологическом процессе, составляют трехфазные потребители с номинальным значением 380 В и однофазные осветительные установки 220 В, то рекомендуется выбирать значение напряжения 0,4/0,23 кВ с глухозаземленной нейтралью. При наличии электроприемников с номинальным напряжением 660 В следует рассмотреть возможность питания таких потребителей через отдельные источники питания или согласующие трансформаторы, позволяющие подключить и потребители напряжением 380 и 220 В.

4 Выбор электрических сетей и распределительных шкафов (шинопроводов) силовых электроустановок

Электрические сети напряжением до 1 кВ могут выполняться магистральными или радиальными. Выбор вида сети зависит от планировки и габаритов технологического оборудования, условий окружающей среды объекта или цеха, особенностей проведения подъемно-транспортных работ.

Радиальные схемы (рисунок 2) применяются для питания:

- а) мелких групп ЭП, находящихся в различных местах и удаленных от щита низкого напряжения цеховых подстанций;
- б) мощных сосредоточенных групп ЭП (электродвигателей насосов, компрессоров, электрических печей и т.п.);
- в) ЭП ответственных потребителей;

г) при наличии в цехе неблагоприятной среды (агрессивной, пожаро-взрывоопасных зон и др.).

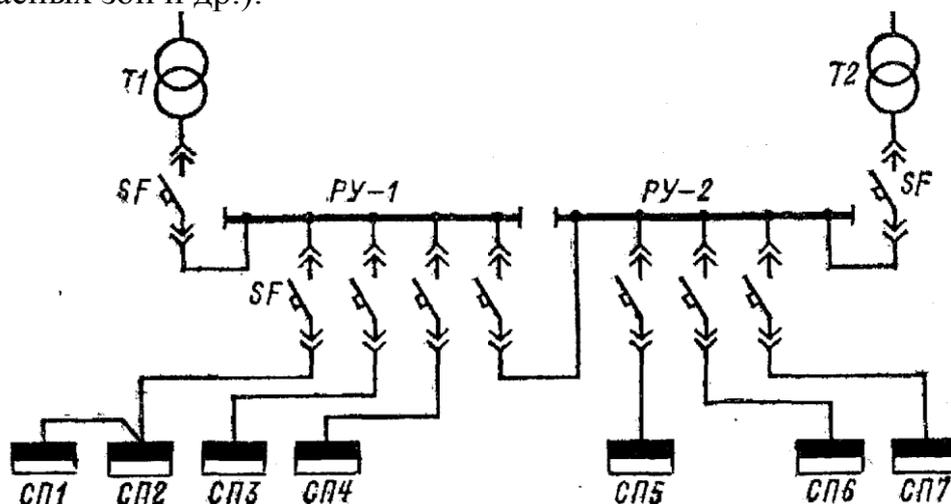


Рисунок 2 – Радиальная схема распределения электроэнергии на напряжение до 1 кВ

Радиальная схема электроснабжения представляет собой совокупность линий цеховой электрической сети, отходящих от РУ низшего напряжения ТП и предназначенных для питания небольших групп приемников электроэнергии, расположенных в различных местах цеха.

Распределение электроэнергии к отдельным потребителям при радиальных схемах осуществляют самостоятельными линиями от силовых пунктов (СП), распределительных шкафов (ШР) или распределительных шинопроводов (ШС), располагаемых в центре электрических нагрузок данной группы потребителей. Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность электроснабжения. Однако они требуют больших затрат на электрооборудование и монтаж, чем магистральные схемы.

Радиальные сети, как правило, выполняются кабелем или проводом. При применении радиальных схем не рекомендуются многоступенчатые схемы (число ступеней не должно быть более двух).

Магистральные схемы (рисунок 3) обеспечивают надежность несколько ниже, чем радиальные, при одинаковом конструктивном исполнении сети, так как при повреждении магистрали отключаются все ЭП, подключенные к ней. Тем не менее, у современных магистральных шинопроводов надежность достаточно велика.

Применение магистральных схем имеет ряд преимуществ перед радиальными:

- а) ниже стоимость;
- б) применение гибких и жестких шинопроводов обеспечивает скоростной индустриальный монтаж и удобство при эксплуатации;
- в) в магистральных сетях, как правило, сопротивление линии меньше и поэтому меньше потери мощности и напряжения.

Однако последнее приводит к увеличению и удорожанию аппаратуры из-за больших величин токов КЗ, хотя и незначительно.

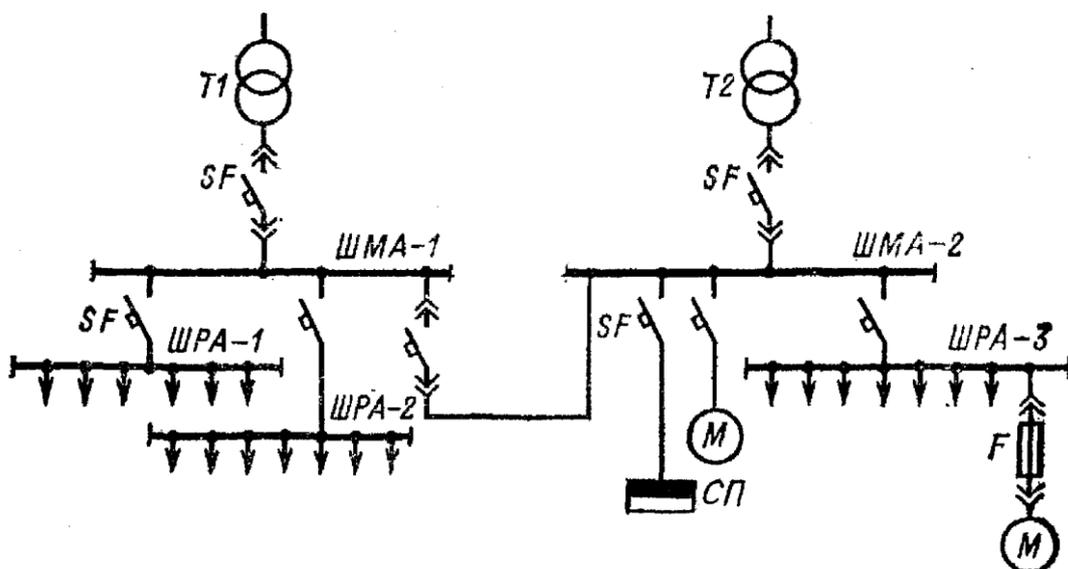


Рисунок 3 – Схема блока трансформатор – магистраль для двухтрансформаторной подстанции

Линию цеховой электрической сети, отходящую от распределительного устройства низшего напряжения цеховой ТП и предназначенную для питания отдельных наиболее мощных приемников электроэнергии и распределительной сети цеха, называют главной магистральной линией (или главной магистралью).

Главные магистрали рассчитывают на большие рабочие токи (до 6300 А); они имеют небольшое количество присоединений. Широко применяют магистральные схемы типа блока трансформатор – магистраль (БТМ). В такой схеме отсутствует РУ низкого напряжения на цеховой подстанции, а магистраль подключается непосредственно к цеховому трансформатору через вводный автоматический выключатель. При двухтрансформаторной подстанции и схеме БТМ между магистралями для взаимного резервирования устанавливают переключку с автоматическим выключателем.

Магистральные распределительные сети напряжением до 1 кВ рекомендуется выполнять с помощью комплектных распределительных шинопроводов.

Цеховые сети напряжением до 1 кВ должны преимущественно выполняться по магистральным схемам. Применение радиальных схем следует ограничивать цехами, в которых прокладка магистралей невозможна или явно нецелесообразна.

Выбор распределительных шинопроводов осуществляется по расчетному току группы электроприемников. Условие выбора принимает вид:

$$I_{н\ шра} \geq I_p, \quad (18)$$

где $I_{н\ шра}$ – номинальный ток распределительного шинопровода;

I_p – расчетный ток группы электроприемников.

Справочные данные по распределительным шинопроводам приведены в приложении Г3.

Выбор магистральных шинопроводов осуществляется на основании следующего условия:

$$I_{тр. max} \geq I_{н шма} \geq I_{н.тр}, \quad (19)$$

где $I_{н.тр}$ – номинальный ток силового трансформатора;

$I_{н шма}$ – номинальный ток магистрального шинопровода;

$I_{тр.max}$ – значение максимального тока, протекающего через силовой трансформатор.

Выбранные шинопроводы должны быть проверены на динамическую стойкость согласно условию:

$$i_{уд} \leq i_{дин}, \quad (20)$$

где $i_{уд}$ – расчетный ударный ток КЗ в начале шинопровода;

$i_{дин}$ – допустимый ударный ток КЗ (ток динамической стойкости) для данного типа шинопровода.

Справочные данные по магистральным шинопроводам приведены в приложении Г1.

Выбор силовых шкафов и пунктов выполняют по степени защиты в зависимости от характера окружающей среды в цехе, от его комплектации — предохранителями или автоматическими выключателями.

Номинальный ток силового пункта I_n должен быть больше расчетного тока I_p группы приемников:

$$I_{н шр} \geq I_p, \quad (21)$$

где $I_{н шр}$ – номинальный ток распределительного шкафа (пункта);

I_p – расчетный ток группы электроприемников.

Число присоединений к силовому пункту и их токи не должны превышать числа отходящих от силового пункта линий и их допустимые токи:

$$N_{прис} \leq N_{лин}, \quad (22)$$

$$I_n \leq I_{лин}, \quad (23)$$

где I_n – номинальный ток электроприемника;

$I_{лин}$ – номинальный ток линии распределительного шкафа (пункта).

Справочные данные по распределительным шкафам приведены в приложении Г2 и Г4.

Выбор ящиков с рубильниками или пакетными выключателями выполняют, по степени защиты в зависимости от характера среды в цехе, от его комплектации — рубильник или рубильник с предохранителями.

Условие выбора принимает вид:

$$I_n \geq I_p, \quad (24)$$

где I_n – номинальный ток ящика;

I_p – расчетный ток группы или одного электроприемника.

Выбор номинального тока предохранителя и тока плавкой вставки ящика осуществляется согласно п. 5 выражениям (32 или 36) для одиночного ЭП и (34 или 38) для группы ЭП.

Справочные данные по ящикам с рубильниками приведены в приложении Г5.

5 Расчет и выбор режимов работы электроэнергетических установок и систем электроснабжения. Выбор аппаратов защиты и распределительной сети

5.1 Выбор аппаратов защиты и распределительной сети

Основным методом выбора площади сечения проводников является выбор по нагреву длительным расчетным током и по условию соответствия, выбранному току аппарата защиты.

Сначала выбирается марка проводника в зависимости от характеристики среды помещения и способа прокладки сети (провода в трубе, кабель в воздухе, кабель в земле и т.д.). Затем определяются номинальные токи ЭП или расчетные токи групп ЭП и сравниваются с длительно допустимым током проводника принятой марки и условий прокладки.

В производственных помещениях наиболее распространенными способами являются прокладка проводов марок АПВ, АПР в стальных тонкостенных или электросварных трубах и прокладка небронированных кабелей типа АВВГ, АВРГ, АНРГ по фермам, стенам зданий, а также на тросу внутри помещений с прокладкой и их размещением на высоте не менее 2,5 м от пола, что снижает возможность механических повреждений.

Расчет и выбор сечения проводов заключается в определении номинальных токов ЭП или расчетных токов групп ЭП и сравнении их с допустимыми токами проводов или кабелей в зависимости от способа их прокладки (приложение Ж).

$$I_n \leq I_{доп},$$

$$\text{или } I_p \leq I_{доп}. \quad (25)$$

Допустимые токовые нагрузки на провода и кабели, а также выбор условного диаметра труб в зависимости от сечения и количества проводов приведены в приложениях Ж1, Ж2 и Ж3.

Проверка сечения проводников по потере напряжения выполняется, в большинстве случаев, для протяженных сетей и мощных ЭП, в данной работе проверку сетей по потере напряжения выполнять не требуется.

При определении номинальных или расчетных токов необходимо обратить внимание на то, в чем выражена мощность ЭП (в $kВт$ или $kВ\cdot А$), трехфазный или однофазный ЭП, а также подключен он на фазное или линейное напряжение.

Номинальный ток I_n , определяется по общей формуле для большинства трехфазных ЭП:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}, \quad (26)$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (27)$$

Для многодвигательного электропривода номинальный ток равен:

$$I_n = \frac{\sum P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n}. \quad (28)$$

Для однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение,

$$I_n = \frac{P_\phi}{U_{н. \phi} \cdot \cos \varphi_n}, \quad (29)$$

где P_ϕ - активная мощность однофазного ЭП, *кВт*;

$U_{н. \phi}$ - номинальное фазное напряжение сети, *кВ*, например, 0,22 *кВ* в трехфазной сети 0,38/0,22 *кВ* и 0,38 *кВ* в трехфазной сети 0,66/0,38 *кВ*.

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) в формулах (26 - 29) следует принимать номинальным, а не средневзвешенным, как при расчете нагрузок узла.

Для ЭП с двигательной нагрузкой - $\cos \varphi_n = 0,8 - 0,85$;

для электронагревательных приборов и печей - $\cos \varphi_n = 0,95 - 1,0$;

для сварочных машин и машин контактного нагрева - $\cos \varphi_n = 0,5 - 0,6$;

для сварочных трансформаторов - $\cos \varphi_n = 0,4 - 0,5$.

При повторно-кратковременном режиме работы ЭП ($ПВ \leq 40\%$) в соответствии с ПУЭ, а также для сечения медных проводов выше 6 $мм^2$ и алюминиевых сечением выше 10 $мм^2$ применяется условие:

$$I_{доп} \geq \frac{I_n \cdot \sqrt{ПВ}}{0,875}. \quad (30)$$

При сечении медных проводов менее 6 $мм^2$ и алюминиевых менее 10 $мм^2$ $ПВ$ не учитывается.

При эксплуатации электрической сети возможны нарушения нормального режима ее работы: перегрузки, короткие замыкания, при которых ток в проводниках резко возрастает. Поэтому электрические сети должны быть надежно защищены от аварийных режимов. Согласно ПУЭ защита электрических сетей от токов КЗ должна быть предусмотрена во всех случаях.

От перегрузок необходимо защищать:

1) силовые и осветительные сети, выполненные внутри помещения открыто проложенными изолированными незащищенными проводниками с горючей изоляцией;

2) силовые сети при длительных технологических перегрузках;

3) сети в пожаро- или взрывоопасных помещениях.

Для защиты сетей до 1000 В применяют плавкие предохранители и автоматические выключатели с электромагнитными, полупроводниковыми, тепловыми или комбинированными расцепителями.

Плавкие предохранители применяются для защиты электрических сетей и установок от токов КЗ. Защита от перегрузок с помощью предохранителей возможна только при условии, что защищаемые элементы установки будут выбраны с запасом по току, превышающему примерно на 25% номинальный ток плавких вставок:

$$I_{доп} \geq 1,25 \cdot I_{н. пл. вст.} \quad (31)$$

Выбор плавкой вставки предохранителя для защиты сети к ЭП с пусковым током производится по условию:

$$I_{н. пл. вст.} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha}, \quad (32)$$

где $I_{н. пл. вст.}$ - ток плавкой вставки, принимается по шкале номинальных токов после расчета (приложение Д1);

$\alpha = 1,6 \div 2,5$ - коэффициент перегрузки, зависящий от длительности пуска электродвигателя.

При легком пуске ЭП или при пуске в течение ($t_{пуск} < 3с$) принимается $\alpha = 2-2,5$, при тяжелом пуске ЭП ($t_{пуск} \geq 3с$) принимается $\alpha = 1,6$.

Тяжелый пуск наблюдается у электроприемников, имеющих большой момент инерции или запуск которых осуществляется под нагрузкой. К таким ЭП можно отнести конвейеры, транспортеры, краны, лебедки и т.п.

Пусковой ток одного электродвигателя определяется по формуле:

$$I_{пуск} = K \cdot I_n \quad (33)$$

Для защиты линии предохранителями, питающими группу ЭП с пусковыми токами, вместо $I_{пуск}$ определяется пиковый ток $I_{пик}$:

$$I_{пик} = I_{р. гр} + I_{н. max}(K - 1), \quad (34)$$

где $I_{р. гр}$ - расчетный ток группы ЭП;

$I_{н. max}$ - номинальный ток наибольшего электроприемника (электродвигателя) в группе;

K - кратность пускового тока ($K = 5 \div 7$).

$$I_{н. пл. вст.} \geq \frac{I_{пик}}{\alpha}, \quad (35)$$

$\alpha = 1,6 \div 2,5$ - коэффициент перегрузки наибольшего электродвигателя.

Для одиночных ЭП, не имеющих пусковых токов, превышающих номинальный ток ЭП:

$$I_{н. пл. вст.} \geq I_n \quad (36)$$

Для одиночных сварочных трансформаторов:

$$I_{н.пл.вс} \geq 1,2 \cdot I_n \sqrt{ПВ}, \quad (37)$$

где I_n - номинальный ток сварочного трансформатора;

$ПВ$ – продолжительность включения в относительных единицах.

Для линии к группе ЭП без пусковых токов:

$$I_{н.пл.вс} \geq I_p, \quad (38)$$

где I_p - расчетный ток группы ЭП.

В виду того что предохранители как аппараты защиты обладают значительной тепловой инерционностью, что увеличивает их время срабатывания при коротком замыкании предпочтение следует отдавать автоматическим выключателям.

Автоматические воздушные выключатели предназначены для автоматического размыкания электрических цепей при КЗ и перегрузках, для редких оперативных переключений при нормальных режимах.

При выборе номинальных токов расцепителей автоматических выключателей необходимо учитывать следующие требования:

- номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети;

- отключающая способность должна быть рассчитана на максимальные токи КЗ, протекающие по защищаемому элементу;

- номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки или номинального тока ЭП.

При защите сетей от перегрузки автоматическими выключателями номинальные токи тепловых, полупроводниковых или комбинированных расцепителей следует выбирать по условию:

$$I_{н.расц.т(к)} \geq k_n I_n,$$

или $I_{н.расц.т(к)} \geq k_n I_p, \quad (39)$

где k_n – коэффициент надежности;

I_n – номинальный ток электроприемника;

I_p – расчетный ток группы электроприемников.

Значения коэффициентов k_n принимаются:

$k_n = 1,05$ – для ЭП без пусковых токов;

$k_n = 1,2$ - для сварочного оборудования;

$k_n = 1,2 \div 1,35$ – для ЭП с пусковыми токами в зависимости от типа автоматических выключателей (1,2 – для серий АЕ20, А3700; 1,25 – для А3100; 1,35 – для серии ВА).

При защите сетей от токов КЗ автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями не должны срабатывать при допустимых кратковременных перегрузках. Это достигается выбором тока уставки

электромагнитного расцепителя мгновенного действия (тока отсечки) по условию:

$$I_{н. \text{ эл. расц}(o)} \geq (1,25 \div 1,35) I_{\text{пуск}},$$

$$\text{или } I_{н. \text{ эл. расц}(o)} \geq 1,35 I_{\text{ник}}. \quad (40)$$

Меньшие значения уставок расцепителей принимают для электроприемников, имеющих меньшую длительность пуска и меньшую кратность пускового тока, большие - при больших.

В зависимости от вида защиты (от токов КЗ или от перегрузки) ПУЭ устанавливает соотношение между токами защитных аппаратов I_3 (предохранителей или выключателей) и допустимым током провода $I_{\text{доп}}$.

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{защ}} I_3. \quad (41)$$

Для сетей, защищаемых только от токов КЗ, коэффициенты защиты принимаются равными:

$K_{\text{защ}} = 0,33$ - для предохранителей с плавкими вставками;

$K_{\text{защ}} = 0,22$ - для автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями.

Тогда условия защиты сети от токов КЗ принимает вид:

$$I_{\text{доп}} \geq 0,33 I_{н. \text{ пл. вс}}; \quad (42)$$

$$I_{\text{доп}} \geq 0,22 I_{н. \text{ эл. расц}(o)}. \quad (43)$$

Для сетей, защищаемых от перегрузки выключателями с тепловыми или комбинированными расцепителями, коэффициент защиты принимается равным $K_{\text{защ}} = 1,0$.

Условие защиты сети выключателями от перегрузки примет вид:

$$I_{\text{доп}} \geq I I_{н. \text{ расц. т}(к)}. \quad (44)$$

Рассмотрим пример выбора аппаратов защиты и проводников для отдельных ЭП.

Для токарно-револьверного станка мощностью 22 кВт номинальный ток рассчитывается по формуле:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 39,4 \text{ A}.$$

Токарно-револьверный станок получает питание от распределительного шинпровода ШС2 типа ШРА4-250-441У. Шинопроводы типа ШРА4-250-441У комплектуются автоматическими выключателями А3710, номинальный ток выключателя $I_n=160 \text{ A}$, номинальный ток теплового расцепителя $I_{н. \text{ расц. т}}=16-160 \text{ A}$, АЕ2050, номинальный ток выключателя $I_n=100 \text{ A}$, номинальный ток теплового расцепителя $I_{н. \text{ расц. т}}=16-100 \text{ A}$, предохранителями ПН2-100, номинальный ток предохранителя $I_n=100 \text{ A}$, номинальный ток плавкой вставки $I_{н. \text{ пл. вс}}=30-100 \text{ A}$. Для защиты сети от перегрузки принимается автоматический выключатель типа АЕ2050 с меньшим номинальный ток.

По приложению Д2 принимается ближайшее стандартное значение номинального тока теплового расцепителя 50 А по условию:

$$I_{н. расц. м(к)} \geq \kappa_n I_n = 1,2 \cdot 39,4 = 47,3 A.$$

По приложению Ж1 и Ж3 выбираются для подключения станка четыре алюминиевых провода сечением 16 мм² в металлической трубе диаметром 32 мм - АПВ4(1x16) Т32.

$$\text{Условие выбора провода} - I_{доп} = 55 A \geq I_n = 39,4 A.$$

Условие защиты сети от перегрузки выполняется, если:

$$I_{доп} = 55 A \geq I_{н. расц. м} = 50 A.$$

5.2 Расчет и выбор режимов работы электроэнергетических установок и систем электроснабжения

Так как система электроснабжения проектируется в зависимости от количества и взаимного размещения ШР, ШС и трансформаторной подстанции следует проработать питающую схему, обеспечивающую подключение узлов электрических нагрузок и мощных электроприемников.

Для радиальных схем электроснабжения ЭП (рисунок 4) со стороны цеховых ТП следует осуществить выбор РУ низшего напряжения с числом линейных автоматических выключателей, равным числу присоединенных узлов нагрузки и мощных ЭП. Кроме того, следует осуществить выбор вводных и секционного коммутационно-защитных аппаратов трансформаторной подстанции.

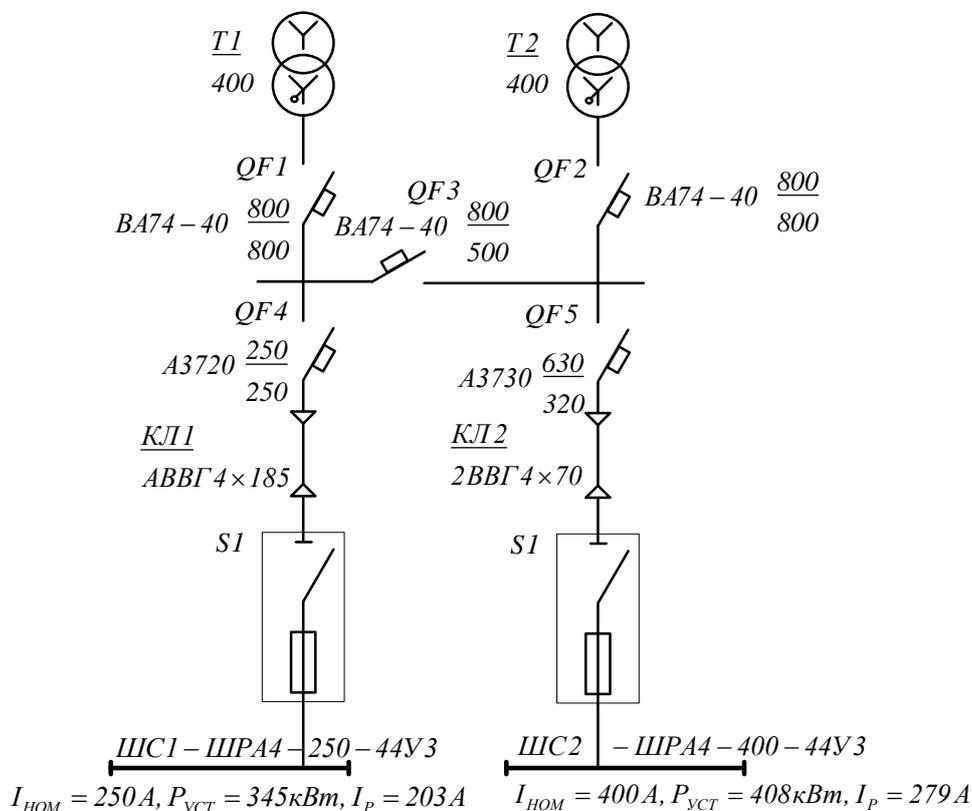


Рисунок 4 - Радиальная схема электроснабжения цеха

Для схемы типа блок трансформатор-магистраль (БТМ) с магистральным

шинопроводом (рисунок 5). В такой схеме отсутствует РУ низшего напряжения на цеховой ТП, а магистраль подключается непосредственно к цеховому трансформатору через вводной автоматический выключатель.

При двухтрансформаторной подстанции и схеме БТМ между магистралями для взаимного резервирования устанавливается перемычка с автоматическим выключателем. Рекомендуется применять магистральные схемы с числом отходящих от ТП магистралей, не превышающим числа силовых трансформаторов. При этом пропускная способность питающих магистралей не должна быть меньше номинальной мощности силового трансформатора.

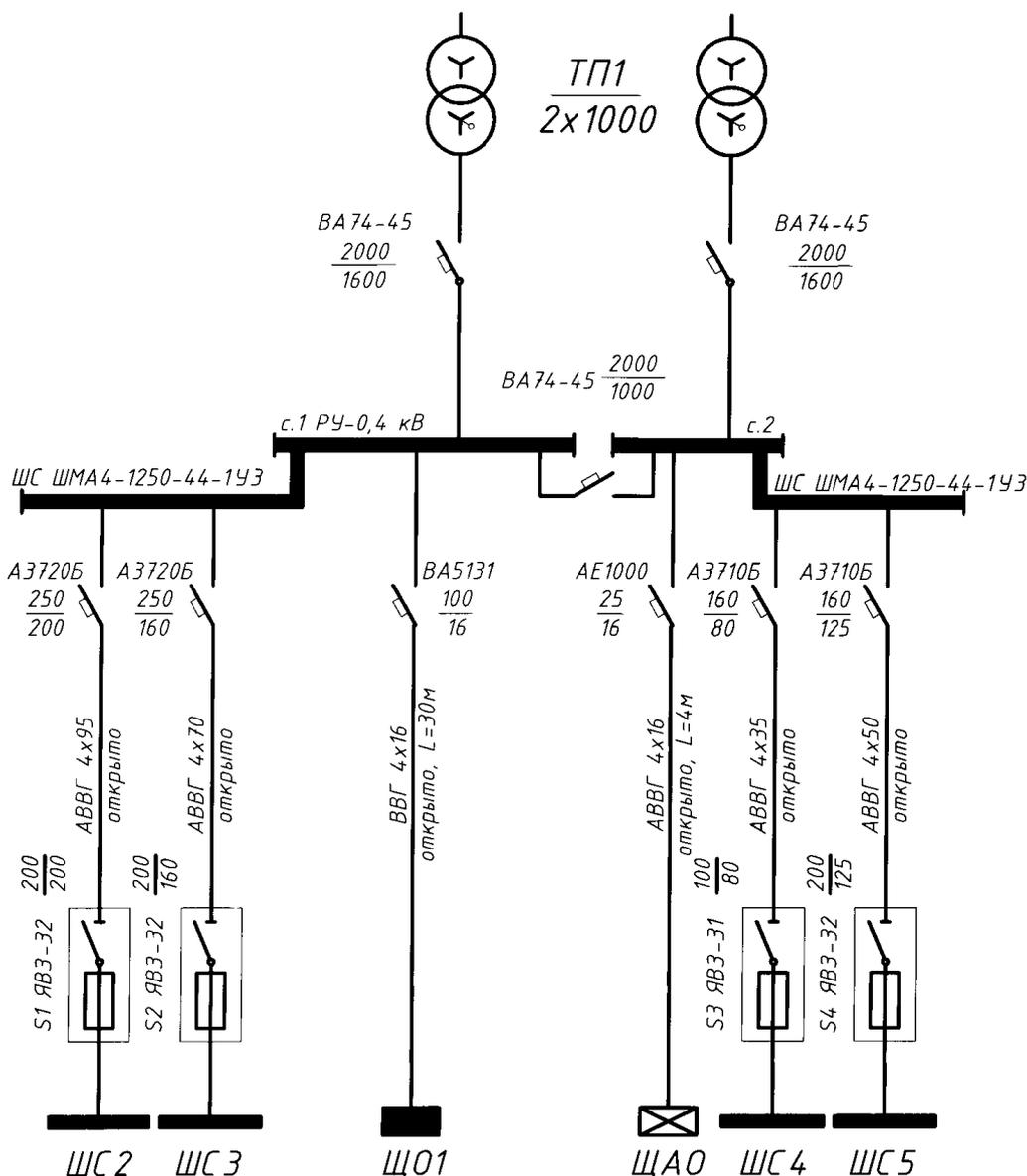


Рисунок 5— Схема блока трансформатор – магистраль для двухтрансформаторной подстанции

Для главных магистралей следует выбирать комплектные шинопроводы типов ШМА4, ШМА5 на токи 1250, 1600, 2500, 3200, 4000 А. Магистральные шинопроводы обычно прокладываются по нижнему поясу ферм. Когда этому не препятствуют местные условия, магистральные шинопроводы крепят на

колоннах на высоте 3 - 4 м и более над полом помещения на кронштейнах или вдоль ряда колонн на специальных стойках. Это обеспечивает небольшую длину спусков к распределительным магистралям, силовым шкафам (пунктам) или мощным приемникам электроэнергии.

Распределительные шинопроводы и пункты, предназначенные для питания приемников малой и средней мощности должны быть подключены отдельными линиями от РУ 0,4 кВ ТП. Комплектные распределительные шинопроводы серии ШРА4, ШМА5 выпускаются на токи 100, 250, 400 и 630 А. Крепление шинопроводов типа ШРА выполняют на стойках на высоте 2,0 – 2,5 м над полом, на кронштейнах к стенам и колоннам, на подвесах к фермам здания. Отдельные приемники подключают к ШРА через ответвительные коробки с аппаратами ВА-51, А3710, АЕ2050 на токи 10, 16, 20, 25, 63, 100, 160, 250 А кабелем или проводом, проложенным в трубах или металлорукавах.

Комплектные распределительные пункты серий ПР8501 на токи 160, 250, 400 и 630 А и ПР 11 на токи 100, 250, 400 и 630 А имеют напольное и навесное исполнение с возможностью ввода кабелей сверху или снизу. Подключение отдельных электроприемников осуществляется через аппараты защиты ВА51 – 31, ВА51 – 35 и АЕ2000 на токи 10, 16, 20, 25, 63, 100, 160, 250 А кабелем или проводом, проложенным в трубах или металлорукавах.

Вводный выключатель выбирается по номинальной мощности силовых трансформаторов с учетом их допустимой перегрузки.

Так, для двухтрансформаторных подстанций:

$$I_{н.расц} \geq 1,3 \cdot I_{н.тр}, \quad (45)$$

где $I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (46)$

для однострансформаторных подстанций

$$I_{н.расц} \geq I_{н.тр}. \quad (47)$$

После определения номинального тока расцепителя вводного выключателя по приложению Д3 выбирается тип и номинальный ток автоматического выключателя и трансформаторов тока на вводе.

На отходящих от РУ-0,4 линиях устанавливают автоматические выключатели с учетом расчетного тока линии, питающей ШР, ШС (в современных КТП устанавливают выключатели серии ВА):

$$I_{н.расц} \geq 1,35 \cdot I_p.$$

Следует отметить, что на щитах подстанции применяются автоматические выключатели с номинальным током 250 А и более, а на присоединениях к магистральным шинопроводам - 400 А и более, но расцепители этих выключателей могут быть настроены на токи меньше указанных величин, и их следует выбирать по справочным данным.

6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховой подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Прежде чем приступать к выбору количества и мощности трансформаторов цеховых подстанций, необходимо определить расчетные нагрузки (до 1 кВ) цеха и категорию надежности электроснабжения потребителей.

Количество трансформаторов на цеховых подстанциях определяется категорией надежности электроснабжения питаемых ЭП.

Однотрансформаторные подстанции предусматривают:

а) для питания ЭП III категории, допускающих перерыв электроснабжения на время замены или ремонта оборудования;

б) для питания ЭП II категории в случае сооружения в цехе нескольких однотрансформаторных подстанций, питаемых от разных линий, и устройства между ними соединительных перемычек по шинпроводам или кабелям на низком напряжении;

в) для питания ЭП I-II категории, если мощность ЭП I категории не превышает 15-20% мощности трансформатора и возможно резервирование на вторичном напряжении от других подстанций с устройством АВР.

Следует заметить, что в большинстве случаев нагрузка трансформаторов в производственных цехах неоднородна по надежности электроснабжения, и, даже если имеются потребители I-II категории, всегда присутствуют потребители III категории (10-20%), которые в аварийных случаях можно отключить без ущерба для производства.

Двухтрансформаторные подстанции применяют при преобладании ЭП I-II категорий, для питания ЭП II-III категорий в энергоемких цехах с удельной плотностью нагрузки более $0,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$, а также удаленных потребителей III категории.

Число и мощность трансформаторов взаимосвязаны между собой, поскольку при одной нагрузке цеха, S_p , число трансформаторов будет меняться в зависимости от их единичной мощности. Мощности цеховых трансформаторов принимают по следующей шкале: 100, 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500 $\text{кВ}\cdot\text{А}$.

При этом расчетную мощность $S_{p.m}$ или количество трансформаторов N с учетом коэффициента загрузки K_z можно определить по формулам:

$$S_{p.m} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_z} \quad \text{или} \quad N \geq \frac{S_p}{S_{нтр} \cdot K_z}. \quad (48)$$

где S_p – общая расчетная нагрузка цеха, включающая силовую и осветительную.

Полученные значения округляют до ближайшей стандартной величины.

Проверку выбранной мощности трансформаторов с учетом требований взаимного резервирования и допустимой аварийной перегрузки производят по формуле:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_p K_{1,2}}{(N-1)K_{з.а.}}, \quad (49)$$

где $K_{1,2}$ - доля электроприемников I и II категорий в расчетной нагрузке.

$K_{з.а.}$ - допустимый коэффициент загрузки трансформаторов в аварийном режиме, для трансформаторов с масляным охлаждением $K_{з.а.}=1,3$, для трансформаторов с сухим диэлектриком $K_{з.а.}=1,2$.

При отсутствии данных в расчетно-графической работе можно принимать $K_{1,2} = 0,8$ для двухтрансформаторных подстанций, питающих потребители I и II категории надежности.

В одном цеху, корпусе могут размещаться несколько подстанций с трансформаторами одинаковой мощности.

Коэффициент загрузки $K_з$ принимается:

1) для двухтрансформаторных подстанций при преобладании нагрузок I категории **0,65-0,75**, при преобладании нагрузок II категории **0,7-0,8**;

2) для однострансформаторных подстанций с учетом взаимного резервирования нагрузок II категории $K_з = \mathbf{0,7-0,85}$, а при нагрузках III категории **0,85-0,95**.

Указанные коэффициенты загрузки в нормальном и аварийном режимах должны находиться в указанных пределах после проведения мер по компенсации реактивной мощности.

Компенсацию реактивной мощности следует проводить на низком напряжении, подключая средства компенсации к шинам РУ 0,4 кВ КТП или магистральному шинопроводу при выборе схемы блок трансформатор – магистраль. Вследствие этого нормативное значение коэффициента реактивной мощности $tg\varphi_{эн}$ для расчетов следует принять 0,35. Тогда экономически обоснованная величина реактивной мощности составит:

$$Q_э = P_p \cdot tg\varphi_{эн}, \quad (50)$$

где P_p – общая расчетная активная нагрузка цеха;

$tg\varphi_{эн}$ - нормативное значение коэффициента реактивной мощности цеха.

Необходимая мощность компенсирующих устройств определяется как

$$Q_{ку} = Q_p - Q_э. \quad (51)$$

Найденная величина мощности компенсирующих устройств (КУ) распределяется между трансформаторами цеха и округляют до ближайших больших стандартных значений комплектных конденсаторных установок (приложение В2). В целях удобства компенсации реактивной мощности целесообразно КУ принимать регулируемой.

После распределения КУ между подстанциями следует уточнить величины электрических нагрузок и повторно определить коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и аварийном режимах, а затем скорректировать мощности и количество трансформаторов в цеху, где была проведена компенсация.

В случае объединения нагрузок нескольких объектов их расчетные активные и реактивные мощности складываются.

При выборе места размещения цеховых подстанций необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1) с целью наибольшего приближения к ЭП до 1 кВ и сокращения длины низковольтных сетей подстанции следует располагать внутри цеха или же встраивать в него вблизи центра нагрузок с некоторым смещением в сторону источника питания. Если же для цеха запроектировано несколько подстанций, их необходимо распределить по площади цеха пропорционально нагрузкам. Конструктивно эти трансформаторные подстанции в большинстве случаев выполняются комплектными (КТП);

2) отдельно стоящие закрытые ТП 6-10/ 0,4 - 0,66 кВ проектируют тогда, когда по условиям пожаро-, взрывоопасности производства или по требованиям технологии невозможно разместить ТП внутри цеха или даже пристроить их у наружных стен.

Отдельно стоящие ТП целесообразны также и для питания небольших объектов с рассредоточенными по нескольким направлениям небольшими нагрузками.

В связи с тем, что в большинстве случаев на ТП используются масляные трансформаторы, их нельзя встраивать в жилые и общественно-административные здания.

3) В цехах с пыльной и химически активной средой, но не пожаро- и взрывоопасной, ТП выполняются встроенными в виде отдельных закрытых помещений. Внутри цеха, состоящего из нескольких пролетов, КТП размещают у колонн здания или у каких-либо постоянных помещений цеха. При наличии мостовых кранов в многопролетном цехе подстанции необходимо размещать в мертвой зоне работы кранов.

7 Выбор схемы электроснабжения цеховой трансформаторной подстанции по высокому напряжению

Для электроснабжения электроприемников принимают комплектные трансформаторные подстанции (КТП), обеспечивающие возможность производства индустриального монтажа независимо от готовности строительно-монтажных работ в целом по цеху.

Современные КТП внутреннего и наружного исполнения состоят из следующих основных узлов:

1) шкафов ввода высокого напряжения (внутренней установки ВВ-1, ВВ-2, ВВ-3 и наружной установки ВВН-1 и ВВН-2);

2) трансформаторов;

3) шкафов распределительного устройства низкого напряжения.

Шкафы ВВ-1 – глухое присоединение, показаны на рисунке 6, а, схема включения с шкафами ВВ-2 (соответственно ВВН-1) приведены на рисунке 6, б, схема шкафов ВВ-3 (соответственно ВВН-2) приведены на рисунке 6, в.

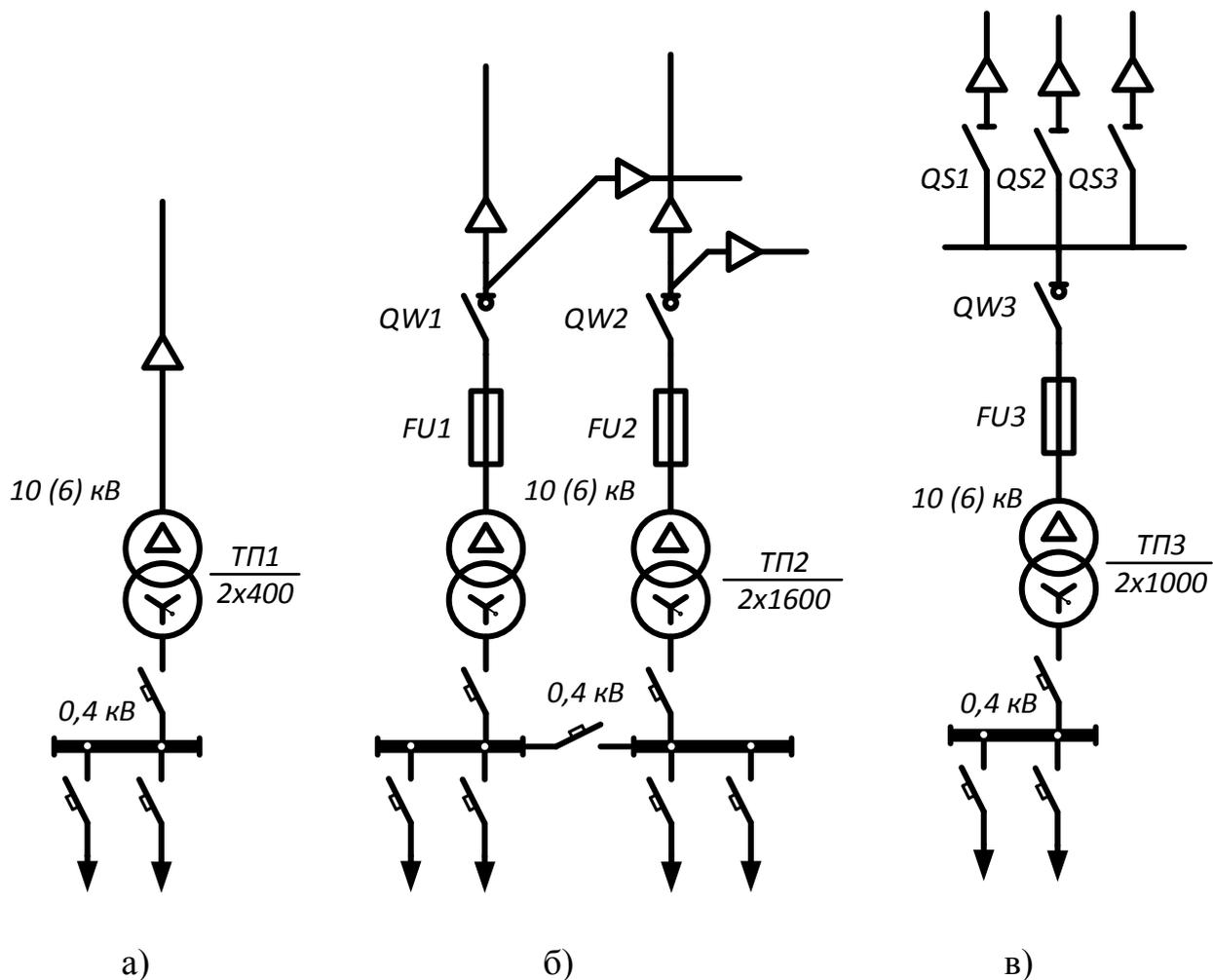


Рисунок 6 – Схемы включения трансформаторов КТП в электрическую сеть

При радиальной схеме распределения электроэнергии на напряжении 6 – 10 кВ рекомендуется глухое присоединение трансформатора (блок линия-трансформатор), за исключением случаев:

1) питание ТП осуществляется от пункта, находящегося в ведении другой организации;

2) установка отключающего аппарата необходима по условиям защиты (например, газовой или однофазных коротких замыканий).

При магистральной схеме распределения электроэнергии на напряжении 6 – 10 кВ установка отключающего аппарата обязательна.

На стороне 6-10 кВ в этом случае устанавливаются шкафы с выключателями нагрузки (ВНА-10) или разъединителями (РВЗ-10) и предохранителями (ПКТ-10).

Компоновка ТП представлена на рисунке 7.

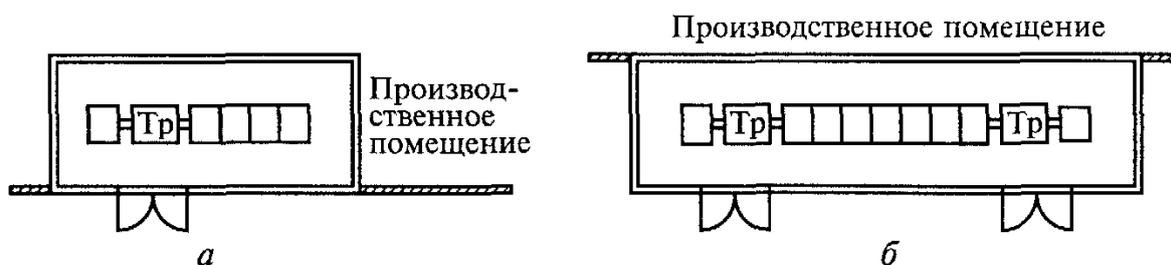


Рисунок 7 – Компоновка КТП с одним и двумя трансформаторами:
 а) однотономная ТП встроенного типа; б) двухтономная ТП пристроенного типа.

8 Расчет токов короткого замыкания в сетях низкого напряжения и проверка электрических аппаратов

Расчет токов короткого замыкания в сетях 0,4 кВ выполняется с целью проверки выбранной коммутационно-защитной аппаратуры (выключателей, предохранителей), сборных шин распределительных шинопроводов и шкафов на термическую и динамическую стойкость ($i_{дин} > i_{уд}$), а также проверки чувствительности защит ($I_{но}^{(1)} > 3 \cdot I_{н.н.вс}$ или $I_{но}^{(1)} > 3 \cdot I_{н.расц.т(к)}$).

Расчет токов короткого замыкания начинают с составления расчетной схемы сети до точки короткого замыкания, на основании которой составляют схему замещения элементов.

При составлении схемы замещения необходимо учесть активные и индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, в том числе:

- а) силовых трансформаторов;
- б) проводов, кабелей, шин;
- в) токовых катушек расцепителей автоматических выключателей;
- г) первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока с коэффициентом трансформации менее 600/5 (на большие токи трансформаторы тока выполняются шинными и сопротивление токам КЗ они практически не оказывают).

Кроме того, учитывают активные сопротивления всех переходных контактов $R_{пер}$ в этой цепи (на шинах, на вводах и выводах аппаратов, разъемных контактов аппаратов и контактов в месте КЗ). При отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях рекомендуется при расчете токов КЗ в сетях, питаемых силовыми трансформаторами, учитывать их суммарные сопротивления следующим образом:

- 15 мОм – для распределительных устройств на подстанции;
- 20 мОм – для магистральных шинопроводов и первичных распределительных шкафов, питаемых радиальными линиями от ТП;
- 25 мОм – для распределительных шинопроводов и вторичных распределительных шкафов;
- 30 мОм – для аппаратуры, установленной непосредственно у ЭП.

Сопротивления элементов схемы определяют по данным заводоизготовителей или находят по справочной литературе или в приложении Е.

Сопротивления кабелей, проводов, шинопроводов определяются на основании значений активных и индуктивных сопротивлений (приложения Е2, Г1 и Г3), отнесенных к единице длины:

$$\begin{aligned} R &= r_{y\partial} \cdot l; \\ X &= x_{y\partial} \cdot l, \end{aligned} \tag{52}$$

где l – длина кабельной линии (провода, шинопровода), м.

Сопротивления выключателей и трансформаторов тока зависят от номинального тока аппарата и приведены в приложениях Е1 и Е4.

Сопротивления понижающих трансформаторов зависят от мощности и схемы соединения обмоток (приложение Е3).

Для установок напряжением до 1 кВ при расчетах токов КЗ считают, что мощность питающей системы не ограничена и напряжение на стороне высшего напряжения цеховой ТП является неизменным.

Расчет токов КЗ выполняется в именованных единицах: вольтах, амперах, Омах (миллиомах).

Расчетной величиной для проверки оборудования и аппаратов защиты на динамическую устойчивость и отключающую способность является ток трехфазного КЗ, а для проверки аппаратов защиты на надежность срабатывания – ток однофазного КЗ у наиболее мощного из наиболее удаленных электроприемников.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ следует рассчитывать по формуле:

$$I_{no}^{(3)} = \frac{U_{cp.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{PE3.1}^2 + X_{PE3.1}^2}}, \tag{53}$$

где $R_{PE3.1}$, $X_{PE3.1}$ – соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление прямой последовательности короткозамкнутой цепи, МОм.

Ударный ток трехфазного тока КЗ в электроустановках с одним источником энергии – системой

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}^{(3)}, \tag{54}$$

где $K_{y\partial}$ – ударный коэффициент, который может быть определен в зависимости от отношения результирующих сопротивлений цепи КЗ (таблица 1).

При определении ударного тока КЗ на шинах РУ 0,4 кВ цеховой КТП необходимо принять значение ударного коэффициента $K_{y\partial} = 1,3$.

Таблица 1 – Зависимость значения ударного коэффициента от отношения $X_{PE3.1}/R_{PE3.1}$

$X_{PE3.1}/R_{PE3.1}$	0,5	0,8	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{y\delta}$	1,0	1,02	1,05	1,12	1,2	1,35	1,46	1,53	1,59	1,63	1,67	1,71

На величину тока КЗ могут оказать влияние асинхронные электродвигатели, если они присоединены вблизи места КЗ. Объясняется это тем, что при КЗ резко снижается напряжение и электродвигатели, вращаясь по инерции, генерируют ток КЗ. Этот ток быстро затухает, поэтому учитывается только при определении $I_{no}^{(3)}$ и $i_{y\delta}$.

Ток подпитки от асинхронных двигателей определяется:

$$I_{no.\delta\epsilon} = \frac{E_{\delta\epsilon}}{x_{*d}} \cdot I_{p.\delta\epsilon} = \frac{0,9}{0,2} \cdot I_{p.\delta\epsilon} = 4,5I_{p.\delta\epsilon}, \quad (55)$$

где $E_{\delta\epsilon} = 0,9$ – расчетная относительная ЭДС асинхронного двигателя;

$x_{*d} = 0,2$ – относительное сверхпереходное сопротивление асинхронного двигателя;

$I_{p.\delta\epsilon}$ – расчетный ток от группы электродвигателей, который может быть рассчитан по формуле:

$$I_{p.\delta\epsilon} = \frac{P_{n.\delta\epsilon}}{P_{n.yч}} \cdot I_{p.yч}, \quad (56)$$

где $I_{p.yч}$ – расчетный ток участка по заданию 1 (графа 15 приложение А3);

$P_{n.yч}$ – номинальная установленная мощность участка (графа 4 приложение А3);

$P_{n.\delta\epsilon}$ – номинальная установленная мощность электродвигателей на участке.

Апериодическая составляющая тока КЗ от асинхронных двигателей затухает очень быстро, поэтому ее можно не учитывать. Ударный ток на шинах РУ-0,4 кВ цеховой ТП с учетом подпитки от двигателей определяется:

$$i_{y\delta} = K_{y\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{no}^{(3)} + \sqrt{2} \cdot I_{no.\delta\epsilon}. \quad (57)$$

Для надежного срабатывания защитного аппарата в возможно короткое время ПУЭ требуют, чтобы ток однофазного замыкания $I_{no}^{(1)}$ в установках, не опасных по взрыву, был не менее трехкратной величины номинального тока плавкой вставки предохранителя $I_{н.пл.вс}$ или теплового расцепителя автоматического выключателя $I_{н.расц.т}$ ближайшего аппарата защиты.

При защите сетей автоматическими выключателями с одним электромагнитным расцепителем ток однофазного КЗ должен быть в 1,4 раза больше тока уставки мгновенного срабатывания для выключателей с номинальным током до 100 А и в 1,25 раза больше – для выключателей с номинальным током более 100 А. Если автоматический выключатель имеет

тепловой и электромагнитный расцепитель, то достаточным является проверка на срабатывание теплового расцепителя.

Расчет токов, несимметричных КЗ, следует выполнять с использованием метода симметричных составляющих. При этом расчете учитываются сопротивления элементов токам прямой, обратной и нулевой последовательности. Активные и индуктивные сопротивления обратной последовательности принимаются равными сопротивлениям прямой последовательности, т.е. $R_2=R_1$ и $X_2=X_1$, сопротивления же нулевой последовательности R_0 и X_0 принимают по справочным материалам (см. приложение Е).

При отсутствии точных данных ориентировочно принимают:

- для шин и шинопроводов $R_{0Ш} = 10 \cdot R_{1Ш}$ и $X_{0Ш} = 10 \cdot X_{1Ш}$;

- для кабелей и проводов, проложенных в трубах, $R_{0КЛ} = 10 \cdot R_{1КЛ}$ и $X_{0КЛ} = 4 \cdot X_{1КЛ}$.

Влияние тока двигателей на ток однофазного КЗ не учитывается.

Если электроснабжение ЭУ напряжением до 1 кВ осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор, то начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы следует рассчитывать по формуле:

$$I_{no}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном}}{\sqrt{(2\sum R_{PE3.1} + \sum R_{PE3.0})^2 + (2\sum X_{PE3.1} + \sum X_{PE3.0})^2}}, \quad (58)$$

где $U_{ср.ном} = 400 В$;

$R_{PE3.1}$, $X_{PE3.1}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление прямой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм;

$R_{PE3.0}$, $X_{PE3.0}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм;

Схема замещения для расчета тока однофазного КЗ также отличается от схемы замещения для расчета тока трехфазного КЗ. При однофазном замыкании ток короткого замыкания протекает по так называемой петле «фаза – нуль». Если сопротивления всех фазных проводников имеют одинаковое сечение, то сечение нулевых проводников, как правило, должно быть не меньше половины сечения фазного проводника и нулевой проводник в большинстве случаев используется для зануления корпусов оборудования. Расчетная схема и схемы замещения выглядят, как указано в примере на рисунках 8 - 11.

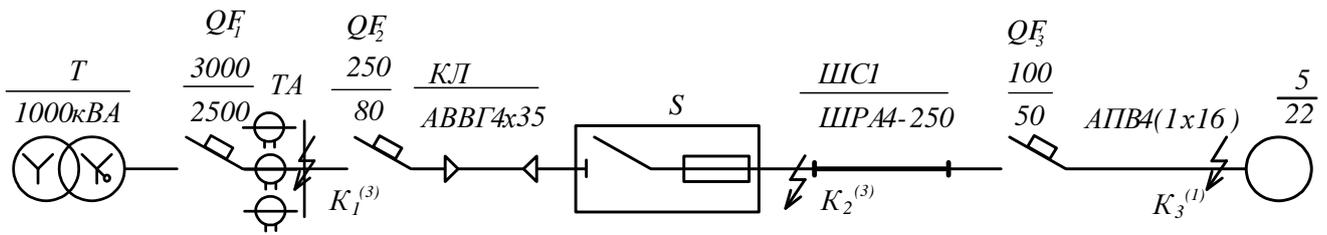


Рисунок 8 – Расчетная схема участка

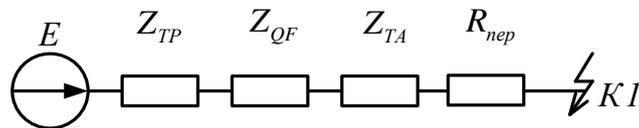


Рисунок 9 – Схема замещения для расчета тока трехфазного КЗ в точке К1

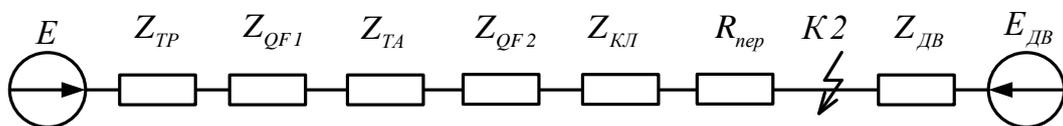


Рисунок 10 – Схема замещения для расчета тока трехфазного КЗ в точке К2

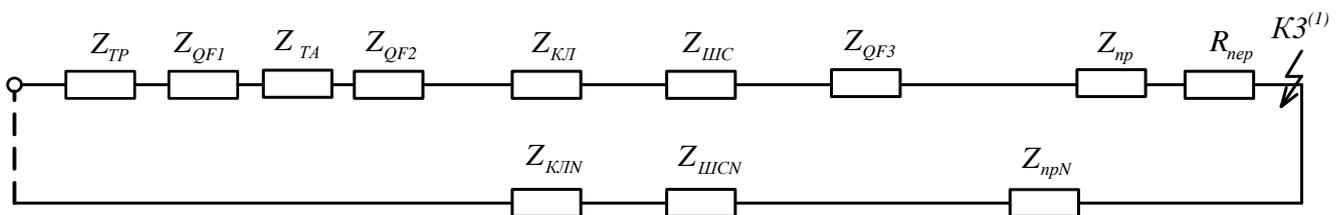


Рисунок 11 – Схема замещения для расчета тока однофазного КЗ в точке К3

Результаты расчета сопротивлений элементов сети рекомендуется представлять в форме таблиц. В таблицах 2 - 4 представлены расчеты сопротивлений электрической сети согласно точкам КЗ $K_1^{(3)}$, $K_2^{(3)}$ и $K_3^{(1)}$ соответственно.

Таблица 2 – Расчет сопротивлений короткозамкнутой цепи при КЗ в точке $K_1^{(3)}$

Элемент схемы	Сопротивление, мОм	
	R_l	X_l
Трансформатор 1000 кВ·А, схема соединения Y/Y ₀	1,7	8,6
Вводной выключатель QF ₁ I _n = 3000 А	0,13	0,07
Трансформатор тока ТА 2500/5	0	0
Переходное сопротивление R _{пер}	15	–
Итого	16,83	8,67

Таблица 3 – Расчет сопротивлений короткозамкнутой цепи при КЗ в точке $K_2^{(3)}$

Элемент схемы	Сопротивление, мОм	
	R_l	X_l
Трансформатор 1000 кВ·А, схема соединения Y/Y ₀	1,7	8,6
Вводной выключатель QF ₁ I _n =3000 А	0,13	0,07
Трансформатор тока ТА 2500/5	0	0
Выключатель QF ₂ I _n =250 А	1,1	0,5
КЛ АВВГ 4x35 длина 50м	0,894·50=44,7	0,088·50=4,4
Переходное сопротивление $R_{пер}$	20	–
Итого	67,63	13,57

Таблица 4 – Расчет сопротивлений короткозамкнутой цепи при однофазном КЗ в точке $K_3^{(1)}$

Элемент схемы	Сопротивление, мОм			
	$R_1+R_2=2R_l$	R_0	$X_1+X_2=2X_l$	X_0
Трансформатор 1000 кВ·А, схема соединения Y/Y ₀	2·1,7=3,4	19,6	2·8,6=17,2	60,6
Вводной выключатель QF ₁ I _n =3000 А	2·0,13=0,26	0,13	2·0,07=0,14	0,07
Трансформатор тока ТА 3000/5	0	0	0	0
Выключатель QF ₂ I _n =250 А	2·1,1=2,2	1,1	2·0,5=1,0	0,5
КЛ АВВГ 4x35 длина 50м	2·44,7=89,4	447	2·4,4=8,8	17,6
ШРА4-250 длина 5,5м	2·1,16=2,32	11,6	2·1,16=2,32	11,6
Выключатель QF ₃ I _n =100 А	2·2,15=4,3	2,15	2·1,2=2,4	1,2
Провод АПВ 4(1x16) длина 3,5м	2·6,8=13,6	68	2·0,33=0,66	1,32
Переходное сопротивление $R_{пер}$	2·30=60	30	-	-
Провод АПВ 1(1x16) длина 3,5м	2·6,8=13,6	68	2·0,33=0,66	1,32
ШРА4-250 длина 5,5м	2·1,16=2,32	11,6	2·1,16=2,32	11,6
КЛ АВВГ 4x35 длина 50м	2·44,7=89,4	447	2·4,4=8,8	17,6
Итого	280,8	1106,18	44,3	123,41

Значения тока КЗ для точки $K_1^{(3)}$.

$$I_{noK_1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,83^2 + 8,67^2}} = 12,2 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial K_1} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 12,2 = 22,4 \text{ кА}$$

Значения тока КЗ для точки $K_2^{(3)}$.

$$I_{noK_2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{67,63^2 + 13,57^2}} = 3,3 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial K_2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,3 = 4,7 \text{ кА}$$

Значения тока КЗ для точки $K_3^{(1)}$.

$$I_{no K_3}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(280,8 + 1106,18)^2 + (44,3 + 123,41)^2}} = 0,496 \text{ кА} = 496 \text{ А}$$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Таблица 5 - Варианты заданий

Номер варианта	Объект	Номер варианта	Объект	Номер варианта	Объект
1	РМЦ-1	21	РМЦ-3	41	РМЦ-5
2	КПЦ-1	22	КПЦ-3	42	КПЦ-5
3	ЭМЦ-1	23	ЭМЦ-3	43	ЭМЦ-5
4	ШУ-1	24	ШУ-3	44	ШУ-5
5	МЦ-1	25	МЦ-3	45	МЦ-5
6	ЦОД-1	26	ЦОД-3	46	ЦОД-5
7	ШЦ-1	27	ШЦ-3	47	ШЦ-5
8	МСЦ-1	28	МСЦ-3	48	МСЦ-5
9	ЦТС-1	29	ЦТС-3	49	ЦТС-5
10	ПСЦ-1	30	ПСЦ-3	50	ПСЦ-5
11	РМЦ-2	31	РМЦ-4		
12	КПЦ-2	32	КПЦ-4		
13	ЭМЦ-2	33	ЭМЦ-4		
14	ШУ-2	34	ШУ-4		
15	МЦ-2	35	МЦ-4		
16	ЦОД-2	36	ЦОД-4		
17	ШЦ-2	37	ШЦ-4		
18	МСЦ-2	38	МСЦ-4		
19	ЦТС-2	39	ЦТС-4		
20	ПСЦ-2	40	ПСЦ-4		

Примечание - Цифра у названия объекта означает номер в столбце мощностей электроприемников (таблица 6 - 16).

Таблица 6 – Электрические нагрузки ремонтно-механического цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
РМЦ (План ремонтно-механического цеха - рисунок 12)						
1	Кран мостовой, ПВ=60%	30	25	20	15	12
2-5	Сварочные преобразователи, ПВ=40%	25	30	35	40	45
6-8	Токарные автоматы	8	12	16	20	22
9,31	Вентиляторы	55	45	40	35	30
10-12	Зубофрезерные станки	20	18	15	12	10
13	Печь сопротивления	20	18	15	13	12
14-16	Вертикально-сверлильные станки	15,5	12,5	10,5	8,5	8,0
17-19	Круглошлифовальные станки	4	6	8	10	12
20-22	Сверлильные станки, U=220В	2,2	3,0	3,5	4,0	4,5
23-26	Заточные станки, U=220В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
27-30	Фрезерные станки	12,5	10,5	8,5	6,5	5,5

Таблица 7 - Электрические нагрузки кузнечно-прессового цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
КПЦ (План кузнечно-прессового цеха - рисунок 13)						
1,29	Кран мостовой ПВ=25%	22	28	30	32	35
2	Вентилятор приточный	60	65	70	75	60
3	Вентилятор вытяжной	55	50	45	40	35
4-7	Электротермические установки	15	18	20	22	25
8	Печь сопротивления	20	15	15	12	10
9-12, 28	Пресс кривошипный	10	12	15	17	19
13-15, 40-42	Обдирочные станки РТ-21001	21	19	17	15	19
16-18, 24-27	Пресс фрикционный	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
19-23	Заточные станки. U=220В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
30-39	Обдирочные станки РТ-503	27	29	32	35	37
43-45	Сверлильные станки. U=220В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5

Таблица 8 - Электрические нагрузки электромеханического цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ЭМЦ (План электромеханического цеха - рисунок 14)						
1,28	Кран мостовой ПВ=25%	22	28	30	32	30
2-4	Электротермические установки	15	18	20	22	25
5,6	Вентилятор вытяжной	55	50	45	40	35
7-10	Настольно-сверлильные станки, U=220В	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
11-16	Обдирочные станки РТ-503	27	29	32	35	37
17-22, 36-38	Заточные станки	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
23-27	Переносной электроинструмент, U=220 В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
29,30	Пресс фрикционный	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
31, 32, 39, 40	Обдирочные станки РТ-21001	21	19	17	15	19
33-35	Пресс кривошипный	10	12	15	17	19
41	Сварочный трансформатор, ПВ=25%, U=220 В	8	9	12	15	18

Таблица 9 - Электрические нагрузки штамповочного участка

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ШУ (План штамповочного участка - рисунок 15)						
1	Печь сопротивления	30	29	27	25	21
2-7	Пресс типа КА-213	2,2	2,5	2,8	3,0	3,2
8-15	Пресс типа К-240	5,5	5	4,5	4,0	3,5
16-21	Вертикально-сверлильный станок	3,0	3,5	4,0	4,2	4,5
22,41	Вентиляторы	10	12	15	17	19
23-26	Автомат резьбонакатной	5	4,7	4,5	4,3	4,0
27,28	Автомат обрубной	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
29,31	Автомат отрезной	8	9	10	11	12
32-35	Автомат гайконарезной	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
36,37	Вибросито, U=220 В	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
38-40	Ручной инструмент U=220 В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5

Таблица 10 - Электрические нагрузки механического цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
МЦ (План механического цеха- рисунок 16)						
1-5	Шлифовальные станки	50	55	60	65	70
6-12	Токарные станки	11	15	17	19	21
13-17	Переносной электроинструмент, U=220 В	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
18-20	Обдирочные станки	45	40	38	35	33
21-24	Наждачный станок	2,5	3	3,5	4,0	2,5
25-27	Сверлильные станки	2,2	3,0	3,5	4,0	4,5
28	Кран мостовой, ПВ=40%	32	28	45	32	37
29-33	Токарно-винторезные станки	25	23	21	19	17
34-39	Обдирочные станки	20	22	25	26	27
40,41	Сварочный трансформатор, ПВ=25%, U=380 В	8	9	12	15	18
42	Вентилятор вытяжной	15	18	21	25	27
43	Вентилятор приточный	25	30	32	35	40

Таблица 11 - Электрические нагрузки цеха обработки корпусных деталей

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ЦОД (План цеха обработки корпусных деталей - рисунок 17)						
1,2	Вентилятор	8	10	12	14	15
3-6	Сварочные машины, U=380В, ПВ=60%	52	50	48	45	42
7-11	Гальванические ванны, U=12 В	300А	400А	500А	600А	700А
12,13	Продольно-фрезерные станки	17	23	28	33	35
14,15	Горизонтально-расточные станки	15	13	11	10,5	10
16,17	Плоскошлифовальные станки	8	9	10	11	12
18-22	Краны консольные, ПВ=25%	9,5	9	8,5	8	7,5
23-25	Агрегатно-расточные станки	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5
26-28	Радиально-сверлильные станки	7,5	7	6,5	6	5,5
29	Печь сопротивления	20	25	30	32	35
30,31	Алмазно-расточные станки	5	6	7	8	9

Таблица 12 - Электрические нагрузки шлифовального цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ШЦ (План шлифовального цеха - рисунок 18)						
1,15	Краны мостовые, ПВ=60%	25	30	25	22	45
2-11	Шлифовальные станки	18	17	16	15	14
12-14	Сверлильные станки, U=220 В	4	3,5	3,2	3	2,2
16-18	Лифты грузовые, ПВ=40%	7,5	7	6,5	6	5,5
19-21	Лифты грузовые, ПВ=25%	8	8,5	9,5	10	11
22-25	Круглошлифовальные станки	10,5	11	11,5	12	12,5
26	Вентилятор приточный	25	30	32	35	38
27-29	Установки ВЧ нагрева	35	33	30	45	55
30-32	Внутришлифовальные станки	9,5	8	7,5	7	6,5
33	Вентилятор вытяжной	15	13	11	10,5	10
34-37	Переносной электроинструмент, U=220 В	1,5	2	2,5	3	3,5

Таблица 13 - Электрические нагрузки механосборочного цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
МСЦ (План механосборочного цеха - рисунок 19)						
1	Кран мостовой, ПВ=60%	12	15	17	20	21
2-5	Наждачные станки	1,5	2	2,5	3	3,5
6-8	Карусельно-фрезерные станки	8,5	9	9,5	10	10,5
9,32	Вентиляторы	15	13	11	10,5	10
10-12	Токарные полуавтоматы	22	21	20	19,5	19
13-15	Продольно-фрезерные станки	25	30	32	35	38
16,17	Сварочные трансформаторы, ПВ=25%, U=220 В	8	9	12	15	18
18-20	Вертикально-сверлильные станки	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
21,22	Агрегатно-сверлильные станки	15	12	11	10	9
23,25	Агрегатно-сверлильные станки	7	7,5	8	8,5	9
26-30	Переносной электроинструмент, U=220 В	1,5	2	2,5	3	3,5
31	Закалочная установка	20	25	30	35	40

Таблица 14 - Электрические нагрузки цеха токарных станков

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ЦТС (План цеха токарных станков - рисунок 20)						
1,2	Токарно-револьверные станки	10	9	8	7	6
3,4	Токарные станки с ЧПУ	7,5	8	8,5	9	9,5
5,12,24	Краны консольные, ПВ=25%	4,5	4,8	5,0	5,5	6
6-9	Токарные станки	11	10,5	10	9,5	9
10,11	Переносной электроинструмент, U=220 В	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0
13,14	Токарные полуавтоматы	22	21	20	19,5	19
15,16	Сверлильно-фрезерные станки	4,5	5	5,5	5,8	6
17	Печь сопротивления	30	33	30	28	25
18-20	Сверлильные станки, U=220 В	2,5	3,5	4	4,5	4,5
21-23	Токарные автоматы с ЧПУ	40	35	32	30	28
25-27	Продольно-фрезерные станки	25	30	32	35	38

Таблица 15 - Электрические нагрузки прессово-сварочного цеха

Номер по плану	Наименование	Установленная мощность, кВт				
		Вариант				
		1	2	3	4	5
ПСЦ (План прессово-сварочного цеха - рисунок 21)						
1-6	Электромеханические пресса	13,5	15,5	20	22,5	27
7-10	Фрикционные пресса	24,5	20	18,5	15,5	14,5
11-13	Кузнечные автоматы	14,5	12,5	11,5	11	10,5
14-17, 36-38	Сварочные агрегаты, U=380 В	10,5	9,5	8,5	7,5	7
18	Вентилятор вытяжной	15	13	11	10,5	10
19	Вентилятор приточный	25	30	32	35	38
20-22	Пресса кривошипные	11	13	15	10,5	9,5
23,24	Шлифовальные станки	6,5	7,5	8	9	10
25-28	Молоты ковочные	10,2	12,3	15,5	17,5	18,5
29-35	Сварочные трансформаторы, U=220 В, кВт·А	20	25	28	30	32
39	Кран мостовой, ПВ=60%	12	15	17	20	21

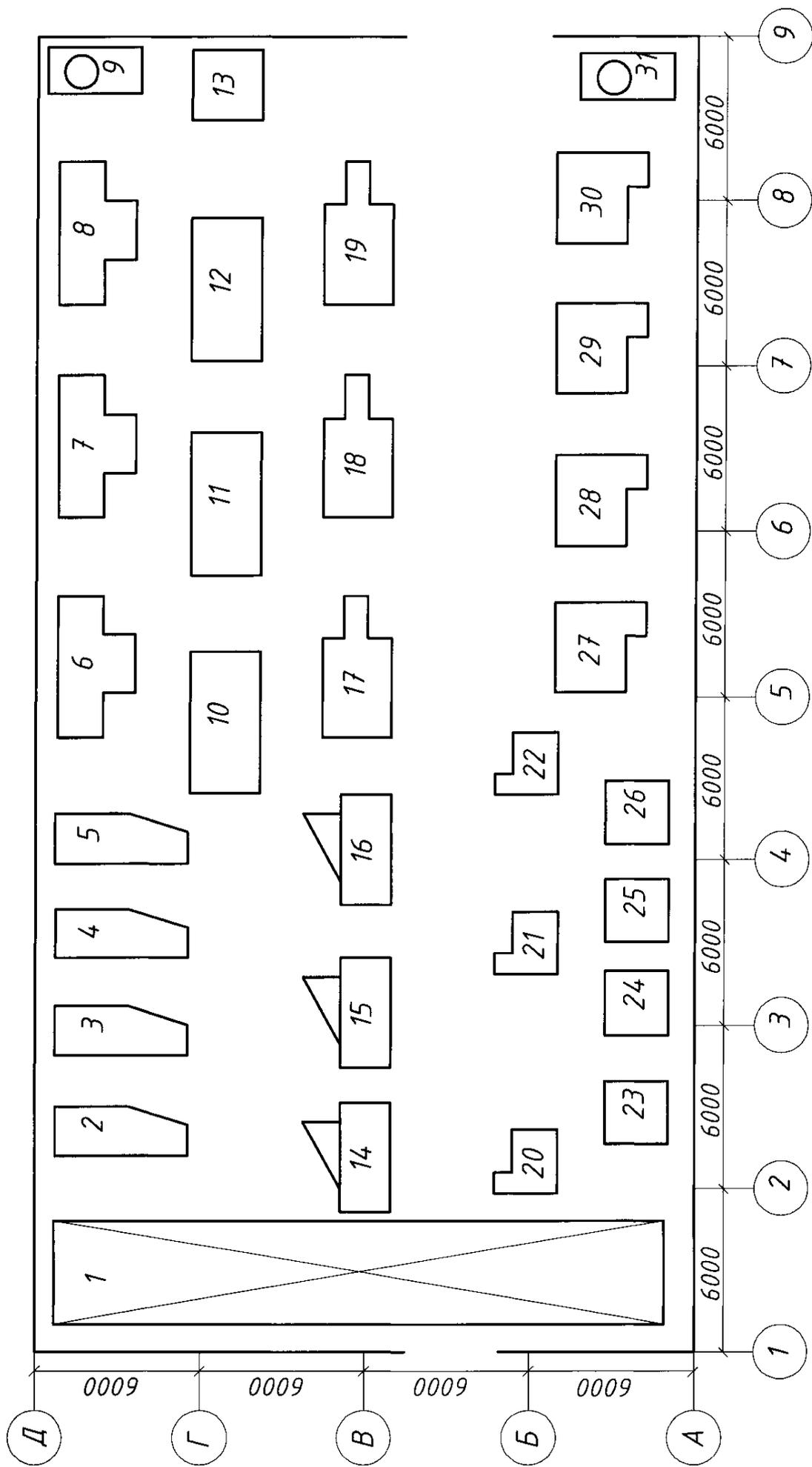


Рисунок 12 – План ремонтно-механического цеха (РМЦ)

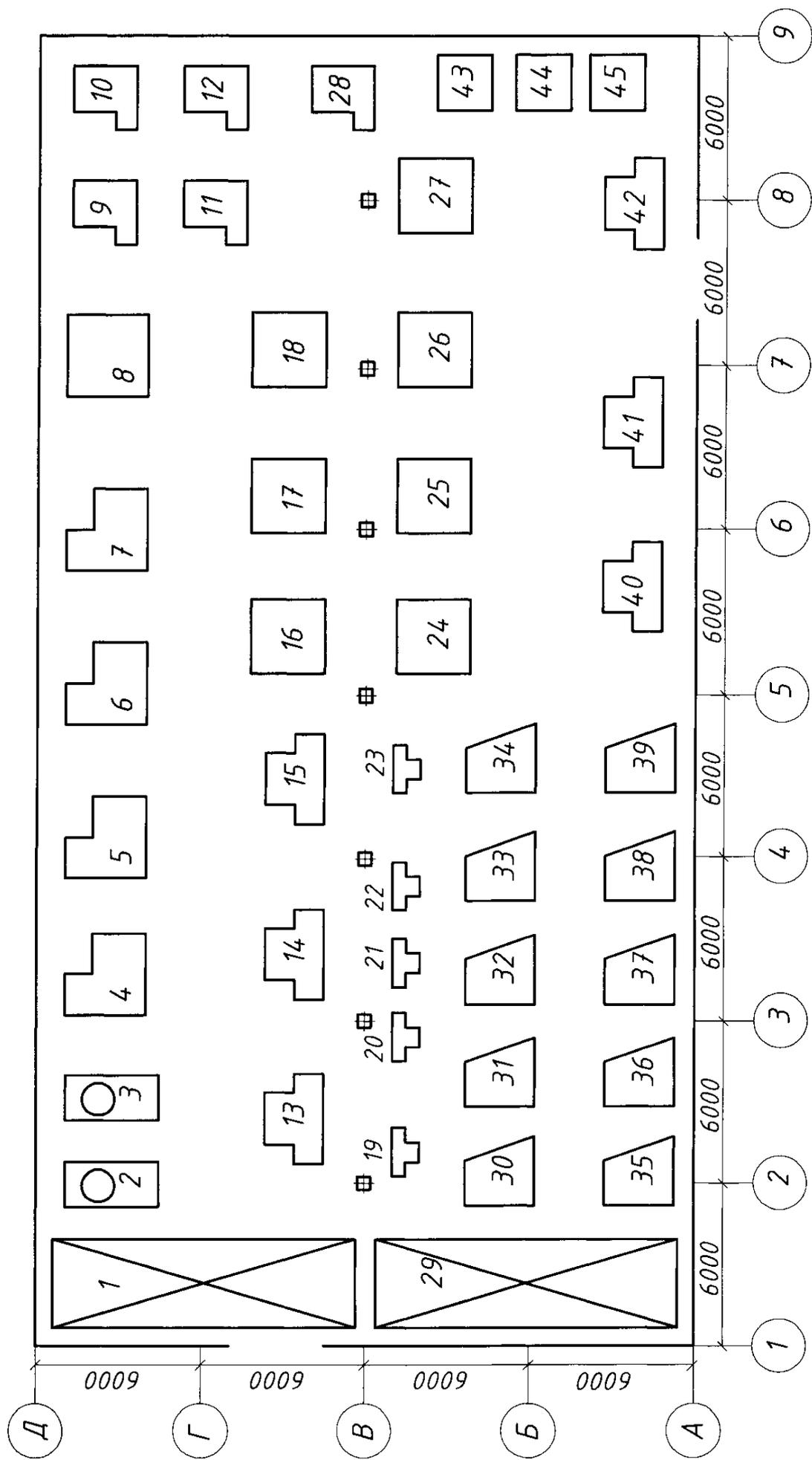


Рисунок 13 – План кузнечно-прессового цеха (КПЦ)

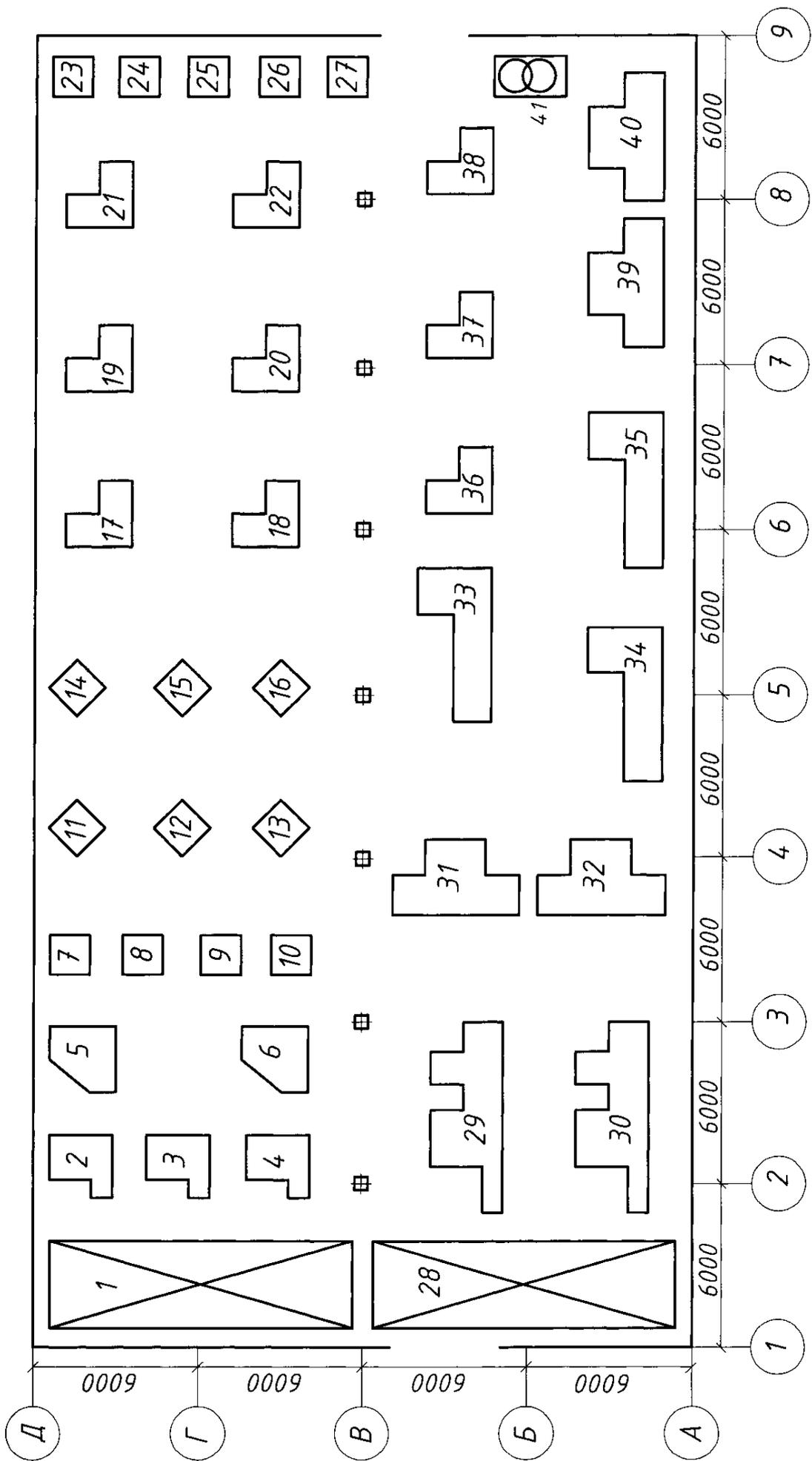


Рисунок 14 — План электромеханического цеха (ЭМЦ)

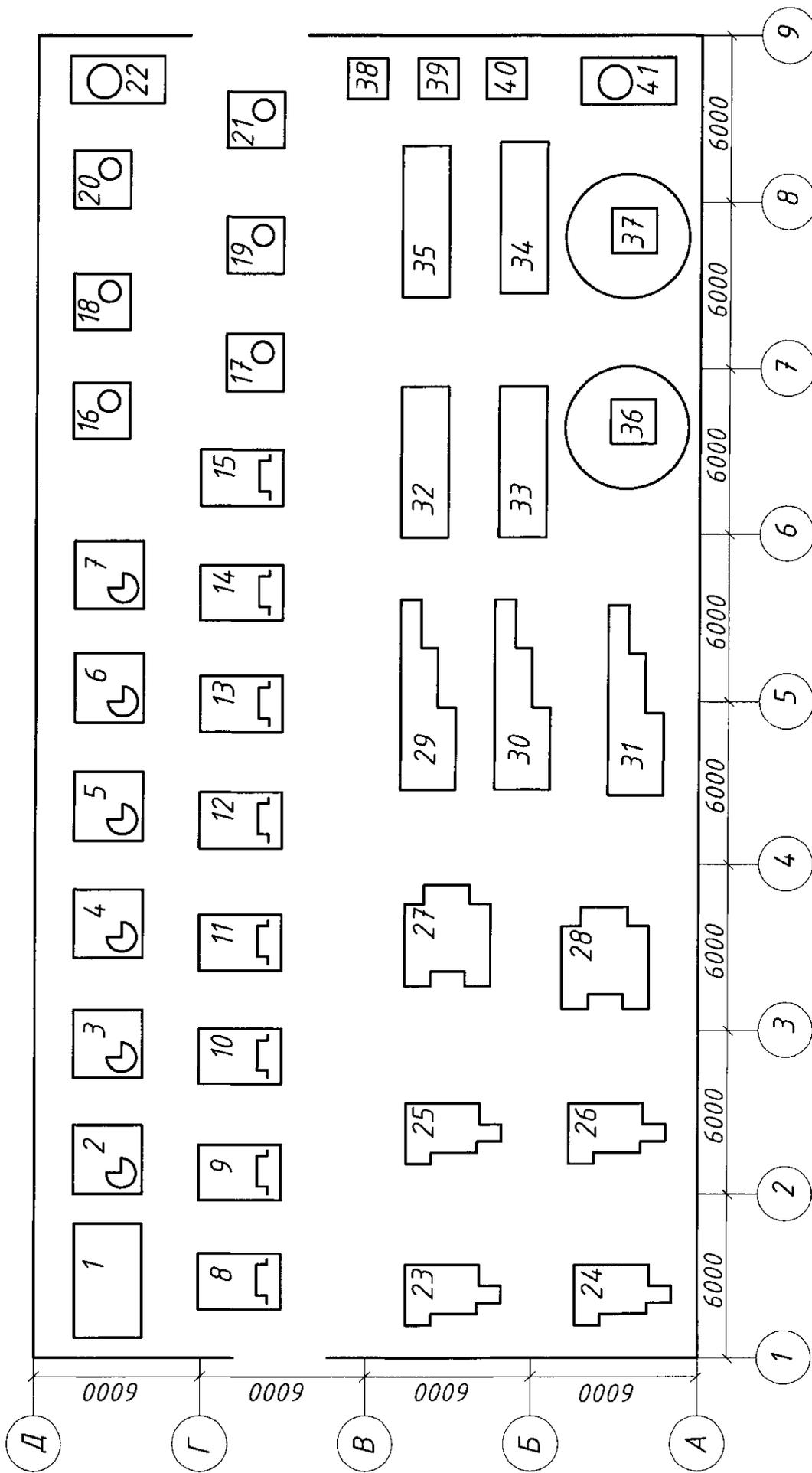


Рисунок 15 – План штамповочного участка (ШУ)

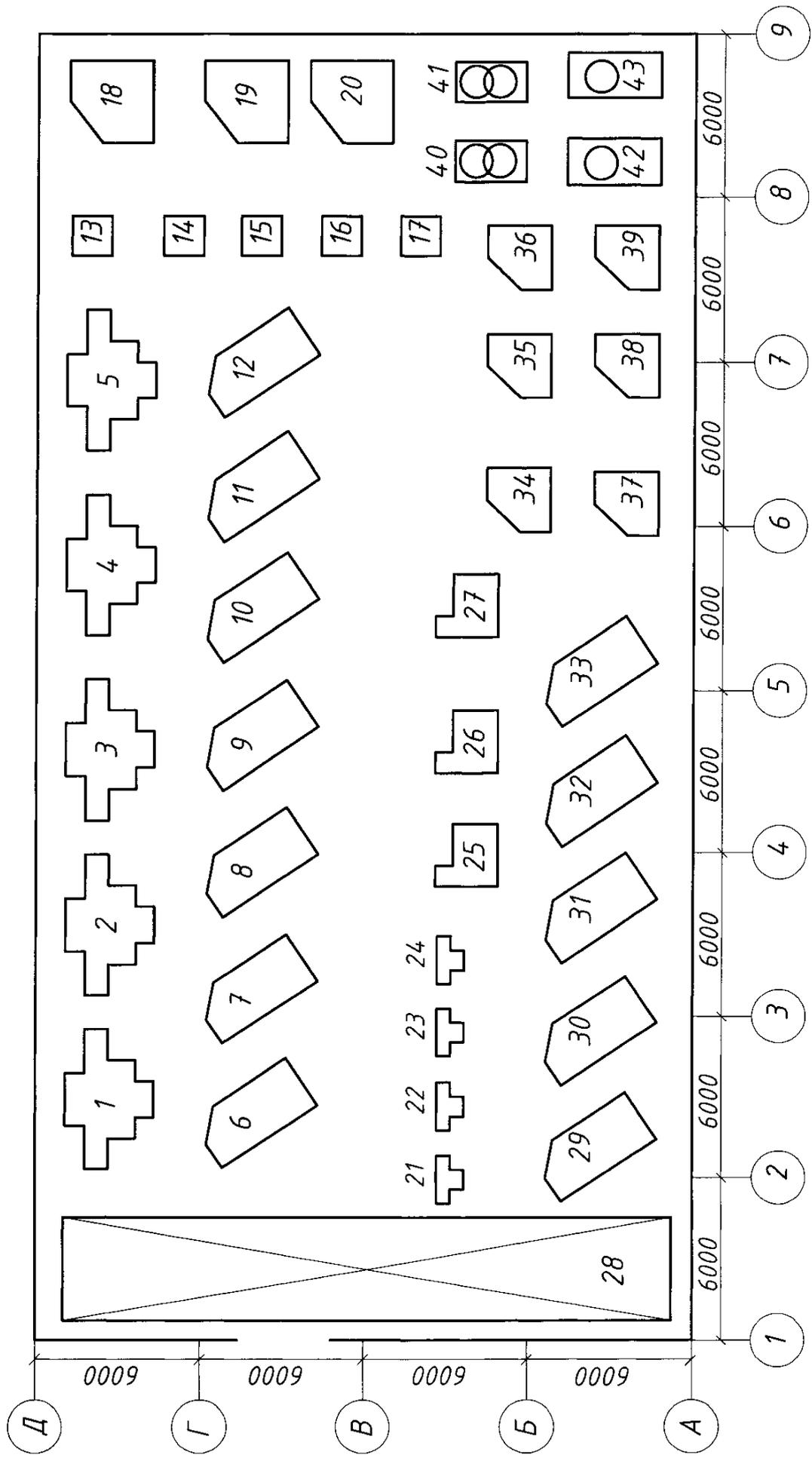


Рисунок 16 – План механического цеха (МЦ)

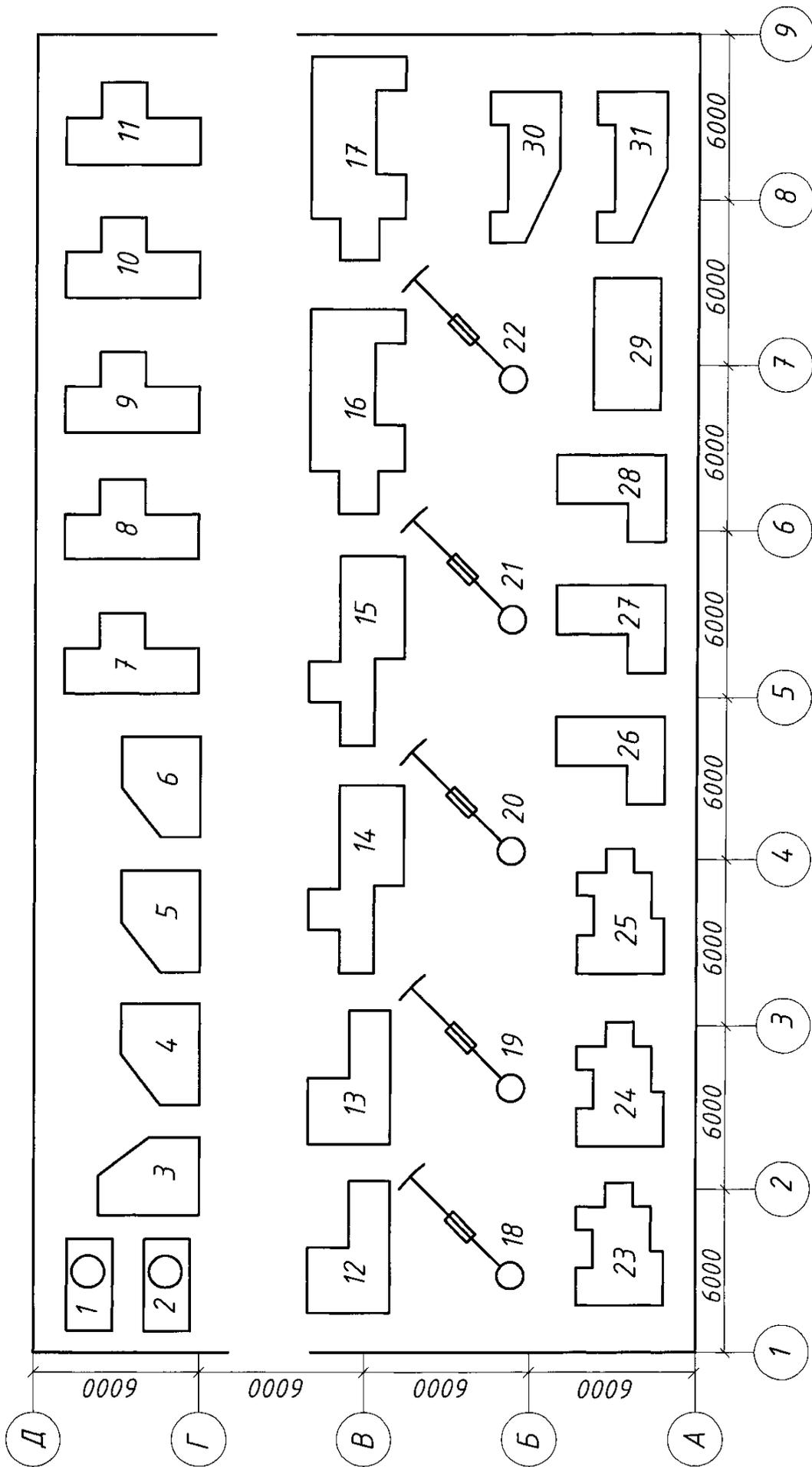


Рисунок 17 – План цеха обработки корпусных деталей (ЦОД)

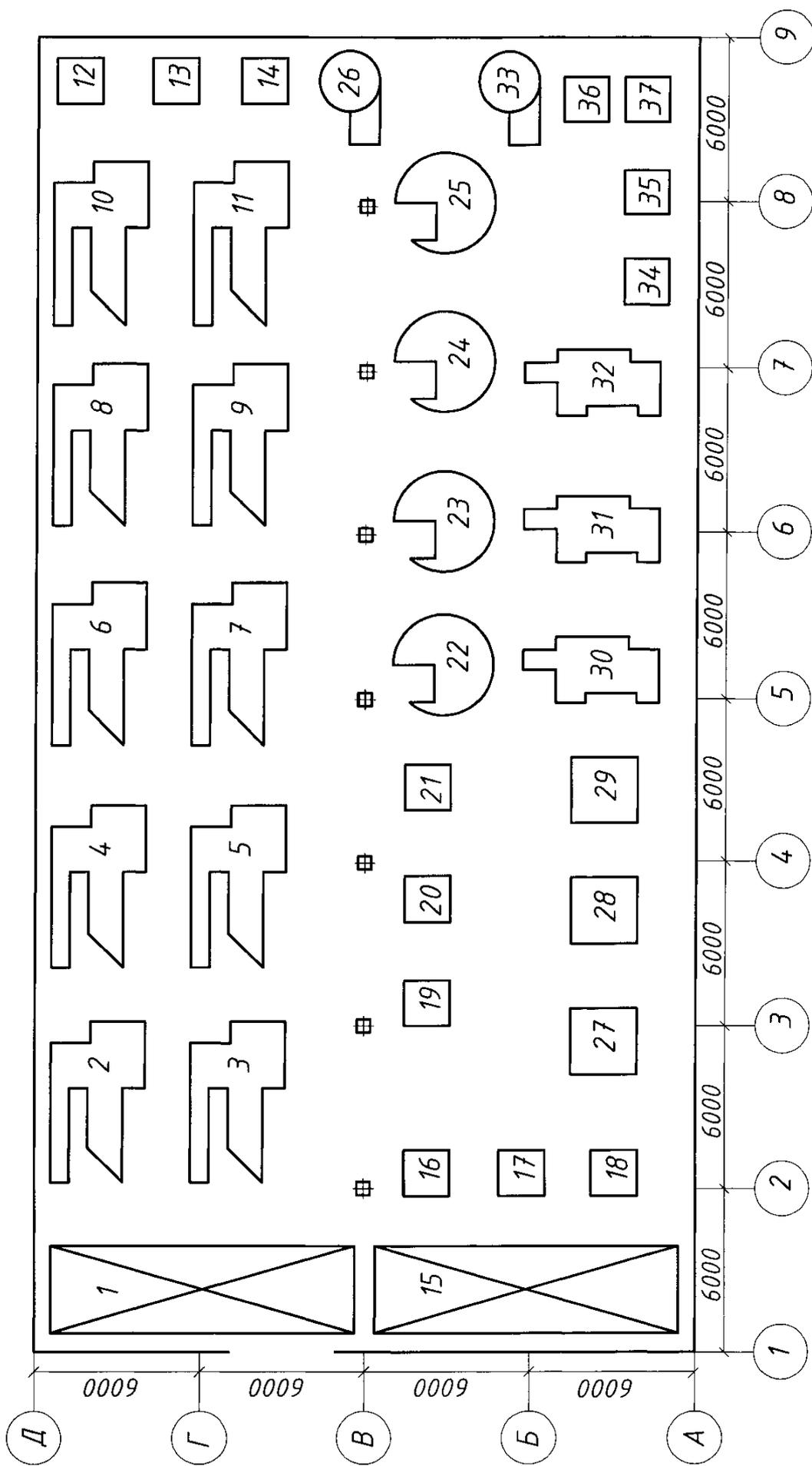


Рисунок 18 – План шлифовального цеха (ШП)

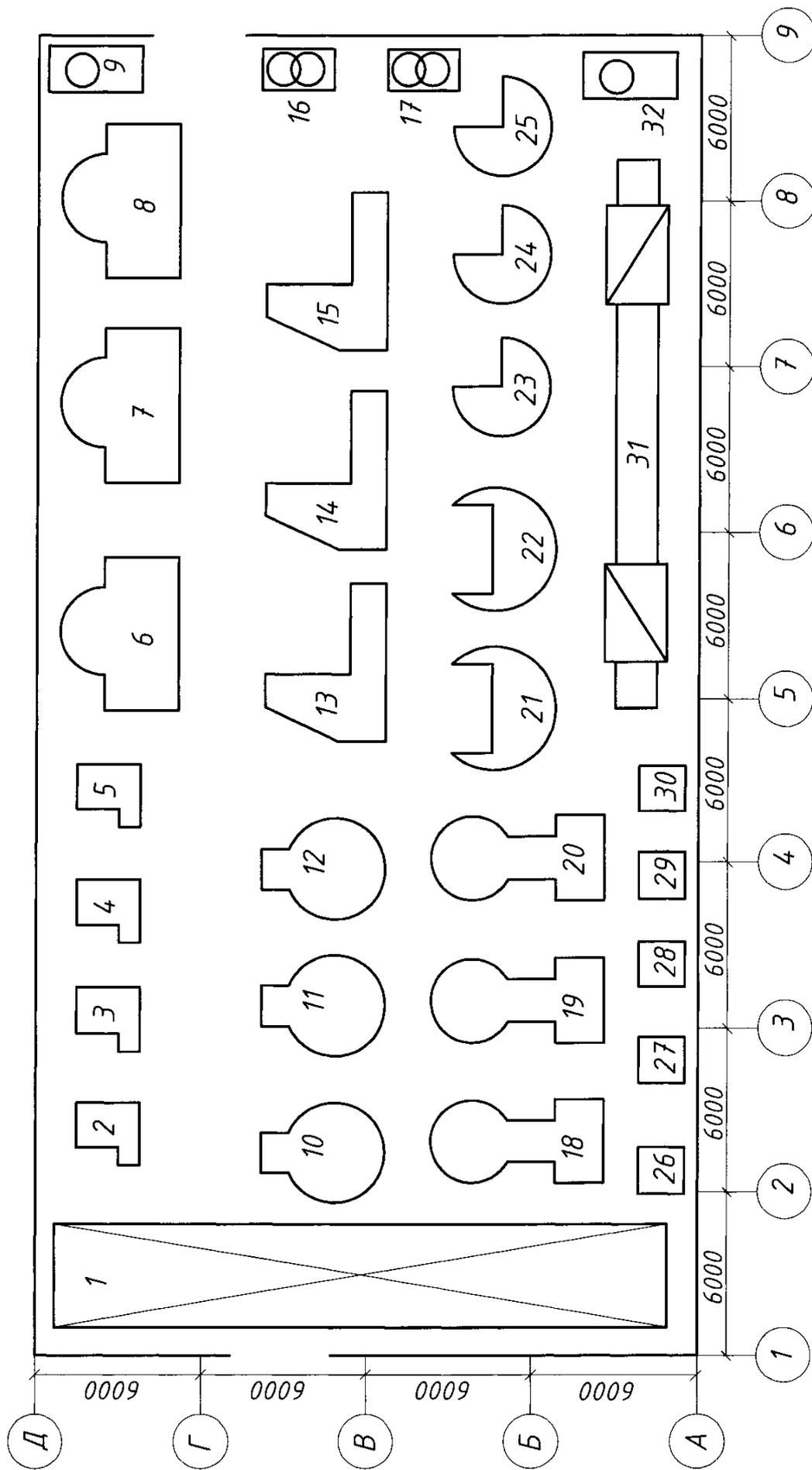


Рисунок 19 – План механосборочного цеха (МСП)

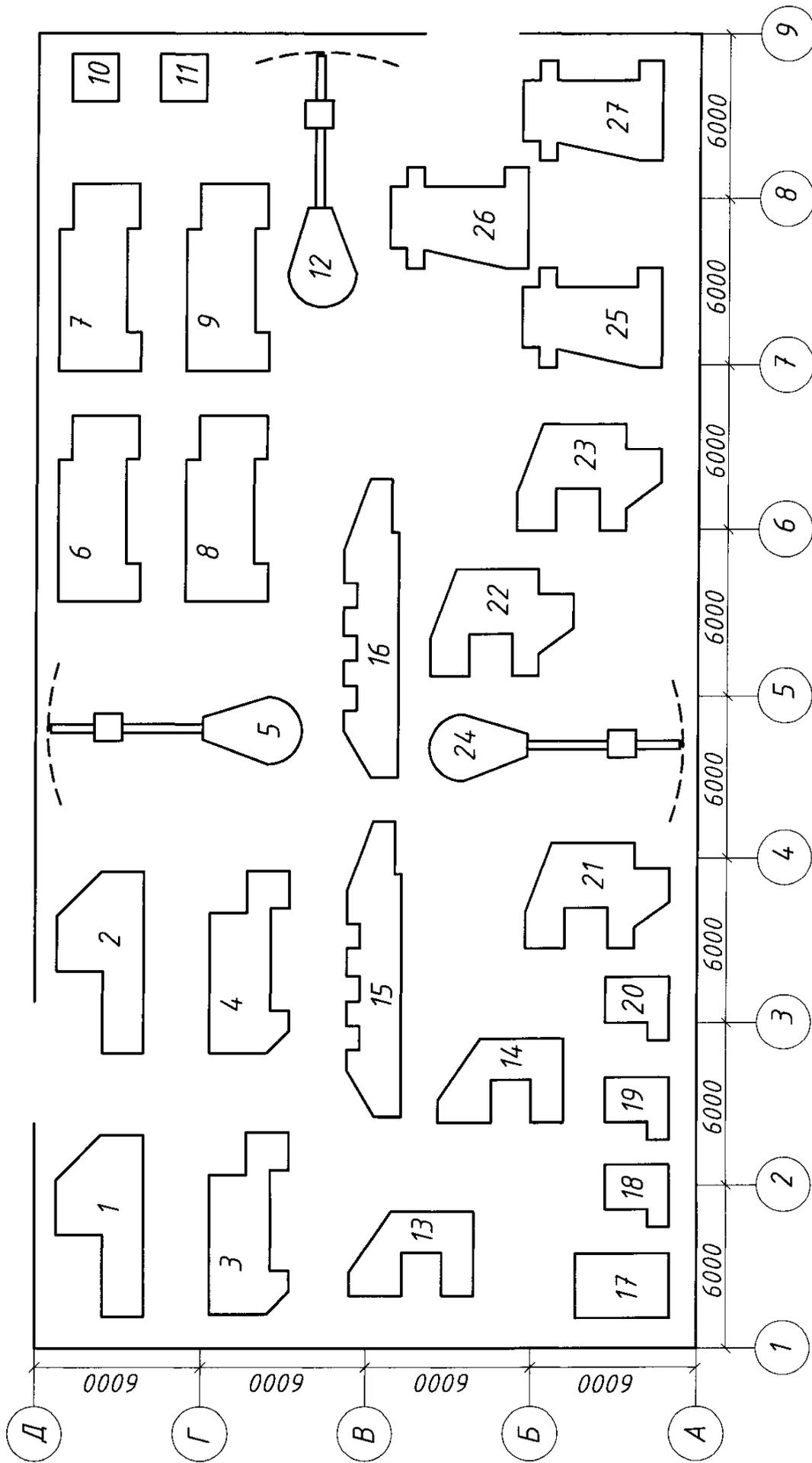


Рисунок 20 — План цеха токарных станков (ЦТС)

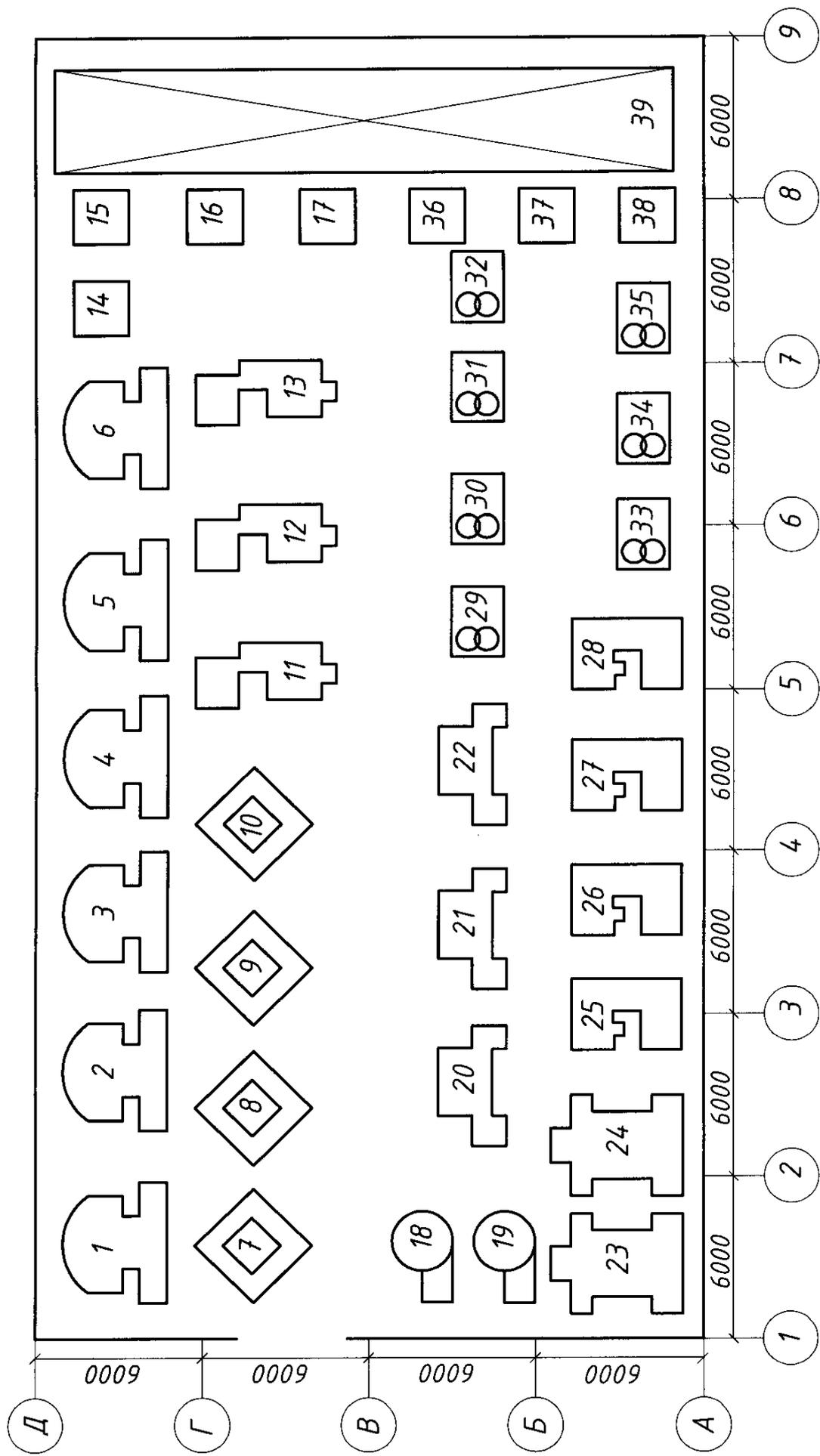


Рисунок 21 — План прессово-сварочного цеха (ПСЦ)

Дополнительные нагрузки цеховой трансформаторной подстанции

Таблица 16 - Шифры вариантов задания

№ варианта	Шифр	№ варианта	Шифр	№ варианта	Шифр
1	11	18	81	35	71
2	12	19	30	36	48
3	19	20	39	37	49
4	13	21	31	38	98
5	17	22	37	39	50
6	15	23	33	40	51
7	16	24	35	41	55
8	24	25	83	42	54
9	28	26	63	43	64
10	92	27	72	44	55
11	20	28	38	45	61
12	21	29	90	46	70
13	29	30	99	47	79
14	22	31	40	48	88
15	27	32	47	49	59
16	74	33	42	50	60
17	75	34	45		

Примечание: Цифры в шифре указывают номер строки каждого из двухрасчетных дополнительных нагрузок (пример: шифр 34, нагрузка 1 – 3-я строка, нагрузка 2 – четвертая строка).

Таблица 17 – Дополнительные расчетные нагрузки цеха 0,4 кВ

№ строки	Нагрузка 1			Нагрузка 2		
	P_{p1} , кВт	Q_{p1} , квар	$K_{ат}$, ЭС	P_{p2} , кВт	Q_{p2} , квар	$K_{ат}$, ЭС
1	910	630	II-III	780	520	III
2	600	300	II	850	1100	II-III
3	660	640	II-III	1100	880	II-III
4	700	500	I-II	720	430	III
5	150	250	II-III	630	500	III
6	880	850	II	260	410	I-II
7	200	300	II-III	1300	1100	II-III
8	220	470	I-II	1130	960	II-III
9	990	1050	II-III	1090	1180	I-II
0	440	350	III	860	750	II-III

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения: учебник / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. – 262 с. : схем., табл., ил. – (Учебники НГТУ). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438343>
2. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов: учебное пособие : [16+] / Ю. Д. Сибикин. – Изд. 3-е, стер. – Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 329 с.: ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575058>
3. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 357 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117> (дата обращения: 18.03.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-3979-5. – DOI 10.23681/469117. – Текст: электронный.
4. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. М.: КНОРУС, 2011. – 368с.
5. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учебное пособие. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006.-480 с.
6. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Нормы технологического проектирования. НТП ЭПП-94. АООТ ВНИПКИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1994 – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/9633/>
7. Проектирование силовых электроустановок промышленных предприятий. Нормы технологического проектирования. ОАО ВНИПКИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1997. – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/9634/>
8. Библия электрика: ПУЭ, МПОТ, ПТЭ: профессиональное руководство / - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2011. - 688 с. - ISBN 978-5-379-01750-7; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=57229>
9. Алиев, И. И. Электротехника и электрооборудование: справочник. Учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — Саратов: Вузовское образование, 2014. — 1199 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/9654.html>
10. Балашов О.П. Электроснабжение: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. 126с.
11. Балашов, О.П. Правила выполнения текстовой и графической документации систем электроснабжения: методические указания по

практическим и самостоятельным работам по дисциплине «Нормативные требования при проектировании систем электроснабжения» для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / О.П. Балашов, С.А. Гончаров, Г.В. Плеханов, А.Н. Татарникова, И.А. Мацанке; Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск: РИИ, 2021. - 75с. URL:

https://edu.rubinst.ru/resources/books/Balashov_O.P._i_dr._Pravila_vypolneniya_tekstovoy_i_graphich.dokumentatsii_2021.pdf (дата обращения 17.03. 2023)

12.СТО АлтГТУ 12 570-2013. Общие требования к текстовым, графическим и программным документам.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

П Р И Л О Ж Е Н И Е А

Справочный материал к расчету электрических нагрузок

Таблица А1 - Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_P для питающих сетей напряжением до 1000 В (сети к ШР, ШС, ПР и т.п.)

Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент использования K_u								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,3	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица А2 - Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_p на шинах НН цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

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

Таблица А3 – Расчет электрических нагрузок участка (форма 636-92)

Наименование электроприемников	Количество ЭП, n	Установленная мощность, $\kappa Bт$		Коэффициент использования κ_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_3	Расчетный коэффициент K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p, A
		одного ЭП, $P_n, \kappa Bт$	Общая $P_n, \kappa Bт$				$P_{cp} = \kappa_u \cdot P_n, \kappa Bт$	$Q_{cp} = P_{cp} \cdot tg\varphi, \kappaвар$	$\Sigma P_n^2 \cdot n$			$P_p = K_p \cdot P_{cp}, \kappa Bт$	$Q_p = Q_{cp}$ при $n_3 > 10$, $Q_p = 1,1 \cdot Q_{cp}$ при $n_3 \leq 10, \kappaвар$	$S_p, \kappa B \cdot A$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ШС1															
Электроэрозионный станок поз.1-8	8	25	200	0,3	0,7	1,02	60,00	61,21	5000						
Токарный станок поз.9-18	10	10	100	0,14	0,5	1,73	14,00	24,25	1000						
Горизонтально-фрезерный станок	3	15	45	0,14	0,5	1,73	6,30	10,91	675						
Итого по ШС1:	21	15-25	345	0,23	0,64	1,20	80,3	96,4	6675	17	1,17	94	96,4	134	205
ШС2															
Гидравлический пресс поз.21-25	5	52	260	0,24	0,65	1,17	62,40	72,95	13520						
Внутришлифовальный станок поз.26-30	5	7,2	36	0,12	0,5	1,73	4,32	7,48	259						
Плоскошлифовальный станок поз.31-36	6	15	90	0,14	0,5	1,73	12,60	21,82	1350						
Вентилятор поз.37	1	22	22	0,8	0,8	0,62	17,0	10,91	484						
Итого по ШС2:	17	7,2-52	408	0,24	0,65	1,17	96,3	113,2	15613	10	1,27	123	124,5	175	266,4
Итого по участку:	38	7,2-52	753	0,23	0,65	1,18	176,6	209,6	22288	25	1,07	189	223	292	444

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Коэффициенты использования, спроса и мощности потребителей электроэнергии

Приложение Б1 - Коэффициенты использования и мощности некоторых приемников и потребителей электроэнергии промышленных предприятий

Потребитель электроэнергии	Коэффициент	
	исполь- зования k_u	мощности $\cos\varphi$
1	2	3
Металлорежущие станки с нормальным режимом работы	0,14	0,6
То же при крупносерийном производстве	0,16	0,65
То же при тяжелом режиме работы	0,2-0,25	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносной электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, санитарно-техническая вентиляция, эксгаустеры	0,6-0,7	0,8-0,85
Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7-0,8	0,8-0,85
Краны, тельферы, кран-балки при ПВ=25%	0,06	0,5
То же при ПВ=40%	0,1	0,5
Транспортеры, конвейеры	0,5-0,6	0,7-0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25-0,3	0,4-0,5
Приводы молотов, ковочных машин, прессов, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,25-0,3	0,65
Элеваторы, шнеки, несблокированные конвейеры мощностью до 10 кВт	0,4-0,5	0,6-0,7
То же мощностью выше 10 кВт	0,55-0,75	0,7-0,8
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
То же многопостовые	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,25	0,7
То же стыковые и точечные	0,3-0,35	0,6
Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий	0,75-0,8	0,95
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85

Продолжение приложения Б1

1	2	3
Вентиляторы к дробилкам	0,4-0,5	0,75
Газодувки (аглоэкстаустеры) при синхронных двигателях	0,6	0,8-0,9
То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5-0,6	0,6-0,7
Смесительные барабаны	0,6-0,7	0,8
Чашевые охладители	0,7	0,85
Сушительные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,85
Сушильные шкафы	0,75-0,8	1,0
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Грейферные краны	0,2	0,6
Выпрямители для гальванических ванн	0,8	0,8
Установки ВЧ нагрева (ТВЧ)	0,65	0,7
Пресс с электрообогревателем	0,25	0,95
Станок для обработки пластмасс	0,2	0,65
Термопластавтомат	0,5	0,95
Сталеплавильные печи	0,7	0,85
Лабораторное оборудование	0,25	0,75
Прокатные станы	0,4	0,85
Сварочная машина 1ф. ПВ=20%	0,35	0,6
Сварочная машина 1ф. ПВ=50%	0,25	0,7
Сварочные трансформаторы. ПВ=65%	0,3	0,4
Муфельная печь 1ф	0,7	1,0
Соляная печь	0,7	0,95
Термобарокамера	0,7	0,8
Вибрационная машина	0,3	0,8
Литейная машина	0,3	0,8
Молот	0,4	0,7
Заточный, расточный станок	0,17	0,65
Ножницы роликовые	0,45	0,65
Индукционные установки	0,7	0,8

Приложение Б2 - Удельные мощности нагрузок освещения производственных зданий

Наименование цеха, корпуса	Плотность нагрузки, Вт/м ²	Источник света
1) Литейные и плавильные	10-12	LED
2) Механические и сборочные	8-10	LED
3) Сварочные, термические и металлопрокатные	10-12	LED
4) Инструментальные	12-14	LED
5) Деревообрабатывающие и модельные	12-14	LED
6) Блоки вспомогательных цехов	10-12	LED
7) Заводоуправление, инженерные корпуса, лаборатории	12-14	LED
8) Насосные, компрессорные, котельные	10-12	LED
9) Склады	5-8	LED
10) Наружное освещение	0,3-0,8	LED

Приложение Б3 - Коэффициенты спроса осветительных нагрузок

Наименование объекта	K_c
1) Мелкие производственные здания $F \leq 500 \text{ м}^2$	1,0
2) Производственные здания, состоящие из отдельных больших пролетов $F \geq 1000 \text{ м}^2$	0,95
3) Административные здания, библиотеки и предприятия общественного питания	0,9
4) Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений $F > 500 \text{ м}^2$, но $< 1000 \text{ м}^2$	0,85
5) Лабораторные и конторско-бытовые здания, детские и учебные учреждения	0,8
6) Складские здания, распределительные устройства и подстанции	0,6
7) Наружное и аварийное освещение	1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические данные силовых трансформаторов и компенсирующих устройств

Приложение В1 – Технические данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов 10(6)/0,4 кВ

Тип трансформатора	Мощность, кВ·А	Напряжение обмоток, кВ		U_{κ} , %	P_x , кВт	P_{κ} , кВт	I_x , %
		В	Н				
1	2	3	4	5	6	7	8
ТМ-63/10	63	6,3-10,5	0,4	4,5	0,21	1,28	1,8
ТМ-100/10	100	6,3-10,5	0,4	4,5	0,27	1,9	1,6
ТМ-160/10	160	6,3-10,5	0,4	4,5	0,41	2,6	1,4
ТМ-250/10	250	6,3-10,5	0,4	4,5	0,47	3,7	1,2
ТМ-400/10	400	6,3-10,5	0,4	4,5	0,72	5,5	1,0
ТМ-630/10	630	6,3-10,5	0,4	5,5	1,0	7,6	0,6
ТМ-1000/10	1000	6,3-10,5	0,4	5,5	1,4	10,8	0,6
ТМ-1600/10	1600	6,3-10,5	0,4	6,0	1,7	17,3	0,5
ТМ-2500/10	2500	6,3-10,5	0,4	6,5	2,5	28,0	0,4

Приложение В2 - Технические данные конденсаторных установок

Тип КУ	$U_{ном}$, кВ	$Q_{ном}$, квар	Число ступеней регулирования мощности
1	2	3	4
КРМ-0,4-12,6-1,8 У3	0,4	12,6	1,8-3,6-7,2
КРМ-0,4-19,8-1,8 У3	0,4	19,8	1,8-3,6-2x7,2
КРМ-0,4-27-1,8 У3	0,4	27	1,8-3,6-7,2-14,4
КРМ-0,4-32,4-3,6 У3	0,4	32,4	3,6-2x7,2-14,4
КРМ-0,4-34,2-1,8 У3	0,4	34,2	1,8-3,6-2x7,2-14,4
КРМ-0,4-39,6-3,6 У3	0,4	39,6	3,6-7,2-2x14,4
КРМ-0,4-46,8-3,6 У3	0,4	46,8	3,6-2x7,2-2x14,4
КРМ-0,4-54-3,6 У3	0,4	54	3,6-7,2-3x14,4
КРМ-0,4-64,8-7.2 У3	0,4	64,8	7,2-4x14,4
КРМ-0,4-75-7,5 У3	0,4	75	7,5-15-22,5-30
КРМ-0,4-105-7,5 У3	0,4	105	7,5-15-22,5-2x30

Продолжение приложения В2

1	2	3	4
KPM-0,4-125-7,5 У3	0,4	125	7,5-15-22,5-30-52,5
KPM-0,4-150-15 У3	0,4	150	15-30-45-60
KPM-0,4-180-15 У3	0,4	180	15-30-60-75
KPM-0,4-200-15 У3	0,4	200	15-30-60-90
KPM-0,4-225-15 У3	0,4	225	15-30-60-120
KPM-0,4-240-30 У3	0,4	240	2x30-3x60
KPM-0,4-300-30 У3	0,4	300	2x30-2x60-120
KPM-0,4-300-30 У3	0,4	300	2x30-4x60
KPM-0,4-360-30 У3	0,4	360	30-2x60-90-120
KPM-0,4-375-37,5 У3	0,4	375	37,5-37,5-4x75
KPM-0,4-420-30 У3	0,4	420	30-60-90-2x120
KPM-0,4-450-45 У3	0,4	450	45-45-4x90
KPM-0,4-525-52,5 У3	0,4	525	52,5-52,5-4x105
KPM-0,4-600-60 У3	0,4	600	60-60-4x120
KPM-0,4-675-67,5 У3	0,4	675	67,5-67,5-4x135
KPM-0,4-750-75 У3	0,4	750	75-75-4x150
KPM-0,4-825-82,5 У3	0,4	825	82,5-82,5-4x165
KPM-0,4-900-90 У3	0,4	900	90-90-4x180
KPM-0,4-975-97,5 У3	0,4	975	97,5-97,5-4x195
KPM-0,4-1050-105 У3	0,4	1050	105-105-4x210

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технические характеристики шинопроводов, распределительных шкафов и ящиков с рубильниками

Таблица Г1 - Технические характеристики магистральных шинопроводов ШМА-4

Показатель	ШМА4-1250	ШМА4-1600	ШМА4-2500	ШМА4-3200
Номинальный ток, <i>A</i>	1250	1600	2500	3200
Номинальное напряжение, <i>B</i>	660	660	660	660
Динамическая стойкость при КЗ, <i>кА</i>	70	70	70	70
Сопrotивление на фазу, <i>мОм/м</i> :				
активное	0,0338	0,0297	0,0169	0,15
индуктивное	0,0163	0,0143	0,0082	0,0072
Сопrotивление петли «фаза - нуль», <i>мОм/м</i> :				
активное	0,085	0,083	0,08	0,05
индуктивное	0,013	0,026	0,018	0,017
Линейная потеря напряжения, <i>B</i> , на длине 100 при номинальном токе и $\cos\varphi=0,8$	8,93	9,13	9,7	9,0
Типы автоматических выключателей, установленных в ответвительных секциях	A3736Ф, 400А, 380В;	A3736Ф, 400А, 380В; A3736Ф, 630А, 380 В	A3736Ф, 400А, 380В; A3736Ф, 630А, 380 В	A3736Ф, 400А, 380В; A3736Ф, 630А, 380 В
Степень защиты	IP44	IP44	IP44	IP44

Таблица Г2 – Шкафы распределительные для силовых установок переменного тока ПР8501 – 1000

Номер схемы шкафа при номинальном токе 630 А				Число и тип выключателей на отходящих линиях	
без выключателей на вводе с зажимами	с выключателем на вводе			ВА51-31	ВА51-35
	ВА51-39	ВА55-39	ВА56-39	с расцепителями на токи	
				16-100 А	100-250 А
149	090	115	140	6	-
150	091	116	141	8	-
151	092	117	142	10	-
152	093	118	143	12	-
153	094	119	144	-	4
154	095	120	145	2	2
155	096	121	146	4	2
156	097	122	147	6	2
157	098	123	148	8	2

Таблица Г3 - Технические характеристики комплектных распределительных шинопроводов ШРА4 для сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В

Характеристика	Тип шинопровода			
	ШРА4-250-44- IУ	ШРА4-400- 44-IУ	ШРА4-630- 44-IУ	ШРА4-100- 44-IУ
Номинальный ток, <i>A</i>	250	400	630	100
Электродинамическая стойкость (амплитудное значение), <i>кА</i> ,	15	25	35	10
Термическая стойкость, <i>кА</i>	7	10	14	7
Сопrotивление на фазу, <i>МОм/м</i> :				
активное	0,21	0,15	0,10	0,27
индуктивное	0,21	0,17	0,13	0,28
Сопrotивление петли «фаза-нуль», <i>МОм/м</i> :				
активное	0,42	0,3	0,2	0,53
индуктивное	0,42	0,24	0,26	0,56
Степень защиты	IP44	IP44	IP44	IP44
Типы аппаратуры, установленной в ответвительных коробках: предохранители автоматические выключатели (ток, <i>A</i>)				
	ПН2-100	ПН2-100	ПН2-100	На ток 25 А
	A3710 (160); A3120 (100); AE2050 (100) BA51-33 (100)	A3710 (160); A3720 (250); A3120 (100); AE2050 (100) BA51-33 (100)	A3710 (160); A3720 (250); A3120 (100); AE2050 (100) BA51-33 (100)	AE 2033 (25) BA51-25 (25)

Таблица Г4 – Шкафы распределительные для силовых установок переменного тока ПР11 с автоматическими выключателями серии АЕ2046, АЕ2066

Тип шкафа при исполнении		Номинальный ток шкафа, I_N , А	Тип выключателя на вводе	Количество линейных выключателей
навесном	напольном			
Шкафы с линейными выключателями АЕ2046				
ПР11-3047	-	100	-	2
ПР11-3048	-		АЕ2066	2
ПР11-3053	-	250	-	4
ПР11-3054	-		А3726 ФУЗ	4
ПР11-3059	-	250	-	6
ПР11-3060	-		А3726 ФУЗ	6
ПР11-3067	-	250	-	8
ПР11-3068	-		А3726 ФУЗ	8
ПР11-3077	ПР11-7077	250	-	10
ПР11-3078	ПР11-7078		А3726 ФУЗ	10
ПР11-3089	-	400	-	6
ПР11-3090	-		А3726ФУЗ или А3796НУЗ	6
ПР11-3090	-		А3726ФУЗ или А3796НУЗ	6
ПР11-3097	-	400	-	8
ПР11-3098	-		А3726ФУЗ или А3796НУЗ	8
ПР11-3107	-	400	-	10
ПР11-3108	-		А3726ФУЗ или А3796НУЗ	10
Шкафы с линейными выключателями АЕ2066				
ПР11-3117	-	250	-	4
ПР11-3118	-		А3726 ФУЗ	4
ПР11-3119	ПР11-7119	400	-	6
ПР11-3120	ПР11-7120		А3736ФУЗ или А3796НУЗ	6
ПР11-3121	ПР11-7121	630	-	8
ПР11-3122	ПР11-7122		А3736ФУЗ или А3796НУЗ	8
-	ПР11-7123	630	-	12
	ПР11-7124		А3736ФУЗ или А3796НУЗ	12

Таблица Г5 - Ящики однофидерные с рубильниками или пакетными выключателями для напряжения до 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока

Тип	Аппаратура	Номинальный ток, А		Исполнение
		ящика	плавких вставок	
ЯРВ-6113	Трехполюсный рубильник	100	-	Пылебрызго-защищенное IP54
ЯРВ-6114		200	-	
ЯРВ-6123	Трехполюсный рубильник и три предохранителя ПР-2	100	60, 80, 100	
ЯРВ-6124		200	100, 125, 160, 200	
ЯРВМ-6122	Трехполюсный рубильник и три предохранителя ПН-2	60	60	
ЯРВМ-6123		100	100	
ЯРВМ-6124		200	200	
ЯВЗ-31	Трехполюсный рубильник и три предохранителя ПР-2	100	60, 80, 100	Закрытое (защищенное с уплотнением)
ЯВЗ-32		200	100, 125, 160, 200	
ЯВЗ-33		300	200, 225, 260, 300	
ЯВПЗ-15	Трехполюсный пакетный выключатель и три предохранителя ПР-2	15	6, 10, 15	
ЯВПЗ-60		60	15, 20, 25, 35, 45, 60	
ЯБП-1	Трехполюсный блок «Предохранитель-выключатель»	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	Защищенное
ЯБПВУ-2	То же	200	80,100,120,150,200	
ЯБПВУ-4	То же	350	200, 250, 300, 350	
ЯРП-20	Трехполюсный рубильник и три предохранителя Е-27	20	20	
ЯПП-15	Трехполюсный пускатель ПНВ-30 и три предохранителя Е-27	12,5	15	Закрытое (защищенное с уплотнением)
ЯВШЗ-25	Трехполюсный рубильник и штепсельный разъем	25	-	
ЯВШЗ-60		60	-	
ЯВШЗ-100		100	-	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Технические характеристики аппаратов защиты

Таблица Д1 - Технические данные предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток патрона I_n, A	Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.пл.вс}, A$	Предельный ток отключения, $кА$
НПН-60М	60	20, 25, 35, 45, 60	-
ПН2-100	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	50
ПН2-250	250	80, 100, 120, 200, 250	40
ПН2-400	400	200, 250, 300, 350, 400	25
ПН2-600	600	300, 400, 500, 600	25
ПН2-1000	1000	500, 600, 750, 800, 1000	10

Таблица Д2 – Технические данные автоматических выключателей серии АЕ2000

Тип	Номинальный ток, I_n, A	Номинальный ток тепловых и комбинированных расцепителей, $I_{н.расц}, A$	Уставка срабатывания тока отсечки в кратности к $I_{н.расц}$	Пределы регулирования по току срабатывания теплового расцепителя	Предельная коммутационная способность, $кА$
выключатели с комбинированными расцепителями					
АЕ2026	16	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	12	0,9 – 1,15	0,7
		2; 2,5; 3,15; 4; 5, 6,3			1,0
		8; 10; 12,5; 16			2
АЕ2036	25	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4	12	0,9 – 1,15	0,8
		5, 6,3; 8;10; 12,5			1,5
		16; 20; 25			4,5
АЕ2046	63	10; 12,5	12	0,9 – 1,15	2
		16; 20; 25			2,5 - 3
		31,5; 40; 50;63			6
АЕ2056	100	16; 20; 25	12	0,9 – 1,15	3
		31,5; 40;			6
		50; 63; 80; 100			9
АЕ2066	160	16; 20; 25	12	0,9 – 1,15	3 - 6
		31,5; 40;50,63			
		80; 100; 125; 160			

Таблица ДЗ – Технические данные серии ВА51, ВА52, ВА74 и др.

Тип	Номинальный ток, I_n, A	Номинальный ток расцепителя с обратозависимой характеристикой, $I_{н.расц}, A$	Уставка срабатывания тока отсечки в кратности к $I_{н.расц}$	Уставка по времени срабатывания в зоне КЗ, с	Предельная коммутационная способность, кА
выключатели с комбинированными расцепителями					
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	-	-	3
		2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5	-	-	1,5
ВА51-25		6,3; 8,0; 10; 12,5	7; 10		2
		16; 20; 25			3,8
ВА51-31	100	6,3; 8,0;	3; 7; 10		2
		10; 12,5;			2,5
ВА51Г-31		16; 20; 25;			3,8
		31,5; 40; 50; 63;			6,0
		80; 100			7,0
ВА51-33 ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	10		12,5
ВА51-35	250	80;	12		10
		100; 125;			8
		160; 200; 250			6
ВА51-37	400	250; 320; 400	10		25
ВА51-39	630	400; 500; 630	10		35
выключатели с полупроводниковыми расцепителями					
ВА74-40	800	130; 190; 260; 375; 500; 625; 750; 800	2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0, 6,5; 7,0; 7,5; 8,0	0,18; 0,38; 0,63; 1,0	
ВА74-43	1600	1250; 1600			
ВА74-45	3000	2000; 2500; 3000			
ВА74-48	5500	4000; 5500			
ВА83-41	1000	250; 400; 630; 1000	2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0	-	
ВА51-39	630	400; 500; 630	4; 5,0; 6,0; 8,0; 10	-	
ВА52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	-	
ВА53-43	1600	1000; 1280; 1600	2,0; 3,0; 5,0; 7,0		
ВА55-43	1600	1000; 1280; 1600	2,0; 3,0; 5,0; 7,0	0,1; 0,2; 0,3	
ВА85-41	1000	250; 400; 630; 1000	2; 3,0; 5,0; 6,0; 7,0	0,1; 0,2; 0,3	

Таблица Д4 – Автоматические выключатели серии А3700

Исполнение по расцепителю	Тип	Номинальный ток, A		Номинальный ток полупроводникового расцепителя, A	Уставки по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне КЗ кратные $I_{н.расц}$	Уставки по току срабатывания, A		
		выключателя	теплого расцепителя			электромагнитного расцепителя	теплого расцепителя	
Токоограничивающие с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями	А3710Б	160	–	20, 25, 32, 40 40, 50, 63, 80 80, 100, 125, 160	2, 3, 5, 7, 10	1600	–	
	А3720Б	250	–	160, 200, 250	3, 5, 7, 10	2500	–	
Токоограничивающие с электромагнитными расцепителями	А3710Б	160	–	–	–	400, 630, 1000, 1600	–	
	А3720Б	250	–	–	–	1600, 2000, 2500	–	
Токоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями	А3710Б	160	16	–	–	–	630	18
			20				630	23
			25				630	29
			35				630, 1600	37
			40				630, 1600	46
			50				630, 1600	57
			63				630, 1600	72
			80				630, 1600	92
			100				630, 1600	115
	125	630, 1600	145					
160	630, 1600	185						
А3720Б	250	160	–	–	–	2500	185	
		200				2500	230	
		250				2500	290	
Селективное с полупроводниковым расцепителем	А3790С	600	250 400 630	160, 200, 250 250, 320, 400 400, 500, 630	2, 3, 5, 7, 10	–	3000	
Токоограничивающее с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями	А3790Б	600	250 400 630	160, 200, 250 250, 320, 400 400, 500, 630	2, 3, 5, 7	4000 4000 6300	3000	

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Технические характеристики проводников

Таблица Ж1 - Длительно допустимый ток $I_{доп}$ для проводов и кабелей на напряжение 1кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
	АПР - АПРТО – АПРВ - АПВ						АВРГ-АНРГ-АВВГ-АВРБГ-АНРБГ-АПРФ			АВВБ-АНРБ-АВРБ			ААГ-АСГ-ААБГ-АСБГ			ААБ-АСБ			
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах					в воздухе			в земле			в воздухе			в земле			открыто
Сечение, мм ²	$I_{доп}, А$	$I_{доп}, А$, при числе проводов, равном					$I_{доп}, А$, при числе жил (одножильных проводов), равном												
	-	2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
2,5	24	20	19	19	15	14	21	19	17	34	29	26	23	22	-	35	31	-	-
4	32	28	28	23	22	21	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38	-
6	39	36	32	30	26	24	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46	-
10	60	50	47	39	38	35	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65	-
16	75	60	60	55	48	45	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75
25	105	85	80	70	65	60	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105
35	130	100	95	85	75	70	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130
50	165	140	130	120	105	95	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	180	165	215/165
70	210	175	165	140	130	125	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210
95	255	215	200	175	-	-	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255
120	295	245	220	200	-	-	230	200	190	340	295	266	245	220	200	335	300	270	375/300
150	340	275	255	-	-	-	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355
185	390	-	-	-	-	-	310	270	243	440	385	347	-	290	260	-	380	345	500/410

Таблица Ж2 - Длительно допустимый ток $I_{дон}$ для проводов и кабелей на напряжение 1кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25°С и земли 15°С

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
Марка	ПР - ПРТО - ПРВ - ПВ						ВРГ-НРГ-ВВГ-ВРБГ- НРБГ-ВВБГ- ПРФ			ВВБ – НРБ – ВРБ			АГ- СГ- АБГ- СБГ			АБ - СБ			М
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах					в воздухе			в земле			в воздухе			в земле			открыто / в помещениях
Сечение, мм ²	$I_{дон}$, А	$I_{дон}$, А, при числе проводов, равном					$I_{дон}$, А, при числе жил (одножильных проводов), равном												
	-	2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
1,5	23	19	17	16	15	14	19	19	17	33	27	24	-	-	-	-	-	-	-
2,5	30	27	25	25	20	19	27	25	22	44	38	34	30	28	-	45	40	-	-
4	41	38	35	30	28	26	38	35	31	55	49	44	40	37	35	60	55	50	50/25
6	50	46	42	40	34	31	50	42	38	70	60	54	55	45	45	80	70	60	70/35
10	80	70	60	50	48	45	70	55	50	105	90	81	75	60	60	105	95	85	95/60
16	100	85	80	75	64	60	90	75	68	135	115	103	95	80	80	140	120	115	130/100
25	140	115	100	90	80	75	115	95	85	175	150	135	130	105	100	185	160	150	180/135
35	170	135	125	115	100	95	140	120	108	210	180	162	150	125	120	225	190	175	220/170
50	215	185	170	150	135	125	175	145	130	265	225	202	185	155	145	270	235	215	270/215
70	270	225	210	185	165	155	215	180	162	320	275	247	225	200	185	325	285	265	340/270
95	330	275	255	225	-	-	260	220	200	385	330	300	275	245	215	380	340	310	415/335
120	385	315	290	260	-	-	300	260	234	445	385	347	320	285	260	435	390	350	485/395
150	440	360	330	300	-	-	350	305	275	505	435	392	375	330	300	500	435	395	570/465

Таблица ЖЗ - Условный проход стальных и пластмассовых труб, мм, в зависимости от числа, маски и сечения проводников

Сечение, мм ²	Одножильные провода ПРТО, АПРТО, ПВ, АПВ, ПР, АПР, ПРВ, АПРВ при числе проводов, равном							Кабели АВВГ с сечением жил 25 мм ² и выше при числе жил, равном			Кабели АВВБ с жилами 25 мм ² и выше при числе жил, равном 4	Кабели АВВГ до 16 мм ² и ВВГ при числе жил, равном			Кабели АВВБ до 15 мм ² и ВВБ при числе жил, равном 4
	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4		2	3	4	
1,5	15	15	15	15+	20-	20	20								
2,5	15	15	15+	20-	20	20	20					25-	25+		
4	15	15	15+	20	20	20+	25-					25+	25+	25+	40+
6	15	15+	20	20+	20+	25	25					25+	25+	32-	40+
10	20	20+	25+	32-	32-	32+	32					32-	32+	32+	50-
16	25	25+	32-	32	32+	40+	40					32+	32+	40-	50+
25	32-	32	32+	40+	50-	50	50	40+	50+	70-	70+	32+	40+	40+	50+
35	32	32+	40+	50-	50	50+	70-	50-	70-	70-	80+	32+	40+	40+	70-
50	40-	40-	50	50+	70-	70	70			70+	80+			50+	70
70	50	50	70-	70	70+	80-	80			70+	100			50+	70+
95	70-	70-	70+							80+				70-	70+
120	70	70	80-							100-				70	80+
150	70	70+	80+											70+	80+
185	80-	80+	100-												

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Сопротивления низковольтных аппаратов и проводников

Таблица Е1 – Значения сопротивлений первичных обмоток катушечных трансформаторов тока напряжением ниже 1 кВ

Коэффициент трансформации	Значение сопротивления, <i>мОм</i> , для трансформаторов тока			
	1 класса точности		2 класса точности	
	X	R	X	R
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
600/5 и более	не учитывается			

Таблица Е2 - Значения сопротивлений проводов и кабелей

Сечение жилы, <i>мм²</i>	Активное сопротивление при 20°C жилы, <i>мОм/м</i>		Индуктивное сопротивление, <i>мОм/м</i>	
	алюминиевой	медной	кабеля с поясной бумажной изоляцией	трех проводов в трубе, кабеля с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией
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	0,81
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	0,078
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

Таблица Е3 – Значения сопротивлений понижающих трансформаторов с вторичным напряжением 0,4 кВ

Номинальная мощность, кВ·А	Схема соединения обмоток	u_k %	Значение сопротивлений, мОм							
			прямой последовательности			нулевой последовательности		току однофазного КЗ		
			R_{1T}	X_{1T}	Z_{1T}	R_{0T}	X_{0T}	$r^{(1)}_T$	$x^{(1)}_T$	$z^{(1)}_T$
25	У/У _н	4,5	154	244	287	1650	1930	1958	2418	3110
25	У/З _н	4,7	177	243	302	73	35,4	-	-	-
40	У/У _н	4,5	88	157	180	952	1269	1128	1583	1944
40	У/З _н	4,7	100	159	188	44	13,4	-	-	-
63	У/У _н	4,5	52	102	114	504	873	608	1077	1237
63	У/З _н	4,7	59	105	119	28	12	-	-	-
100	У/У _н	4,5	31,5	65	72	254	582	317	712	779
100	У/З _н	4,7	36,3	65,7	75	15,6	10,6	-	-	-
160	У/У _н	4,5	16,6	41,7	45	151	367	184	450	486
160	Д/У _н	4,5	16,6	41,7	45	16,6	41,7	49,8	125	135
250	У/У _н	4,5	9,4	27,2	28,7	96,5	235	115	289	311
250	Д/У _н	4,5	9,4	27,2	28,7	9,4	27,2	28,2	81,6	86,3
400	У/У _н	4,5	5,5	17,1	18	55,6	149	66,6	183	195
400	Д/У _н	4,5	5,9	17	18	5,9	17	17,7	51	54
630	У/У _н	5,5	3,1	13,6	14	30,2	95,8	36,4	123	128
630	Д/У _н	5,5	3,4	13,5	14	3,4	13,5	10,2	40,5	42
1000	У/У _н	5,5	1,7	8,6	8,8	19,6	60,6	2,3	77,8	81
1000	Д/У _н	5,5	1,9	8,6	8,8	1,9	8,6	5,7	25,8	26,4
1600	У/У _н	5,5	1	5,4	5,5	16,3	50	18,3	60,8	63,5
1600	Д/У _н	5,5	1,1	5,4	5,5	1,1	5,4	3,3	16,2	16,5
2500	Д/У _н	5,5	0,64	3,46	3,52	0,64	3,46	1,92	10,38	10,56

П р и м е ч а н и я: 1. Указанные в таблице значения сопротивлений масляных трансформаторов приведены к напряжению 0,4 кВ.

2. Для трансформаторов со вторичным напряжением 0,23 кВ данные таблицы следует уменьшить в 3 раза, а для трансформаторов со вторичным напряжением 0,69 кВ – увеличить в 3 раза.

Таблица Е4 -Значения сопротивлений автоматических выключателей

I_n, A	$R_a, мОм$	$X_a, мОм$	I_n, A	$R_a, мОм$	$X_a, мОм$
50	7	4,5	600	0,41	0,13
70	3,5	2	1000	0,25	0,1
100	2,15	1,2	1600	0,14	0,08
140	1,3	0,7	2500	0,13	0,07
200	1,1	0,5	4000	0,1	0,05
400	0,65	0,17			

Балашов Олег Петрович

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Учебно-методическое пособие к расчетно-графической работе
для студентов, обучающихся, по направлению
«Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

Подписано в печать 30.06.23. Формат 84×108/16.
Усл. печ. л. 4,4. Тираж 10 экз. Заказ 231914. Рег. № 15.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.