



Министерство образования и науки РФ
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

О.П. Балашов

Системы электроснабжения городов

Методические указания к выполнению расчетно-графической
и практических работ для студентов, обучающихся по направлению
«Электроэнергетика и электротехника»

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

Рубцовск 2017

УДК 621.31

Балашов О.П. Системы электроснабжения городов: Методические указания к выполнению расчетно-графической и практических работ для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, - 53 с. 2017.

В методических указаниях приводится содержание расчетно-графической и практических работ по дисциплине «Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий» и методика их выполнения. Предназначено для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника».

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры
электроэнергетики РИИ.
Протокол №6 от 29.05.2017

Рецензент: гл. инженер ЗАО «Контакт-108»

И.А. Оборовский

© Рубцовский индустриальный институт, 2017

Оглавление

1. Содержание расчетно-графической и практических работ	4
2. Варианты расчетно-графической работы	5
3. Методические указания	30
3.1. Расчет электрических нагрузок городских потребителей и выбор силовых трансформаторов городских подстанций	30
3.2. Выбор силовых трансформаторов цеховых подстанций. Компенсация реактивной мощности силовых трансформаторов цеховых подстанций.....	37
3.3. Выбор схемы электроснабжения с учетом расположения городских и цеховых трансформаторных подстанций. Обоснование выбора оптимальной схемы электроснабжения. Расчет её режима работы	40
3.4. Выбор кабельных линий высокого напряжения	42
3.5. Организация учета электрической энергии.....	44
3.6. Обоснование выбора режима нейтрали электроустановок до и свыше 1000 В.....	45
Список литературы.....	53

1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

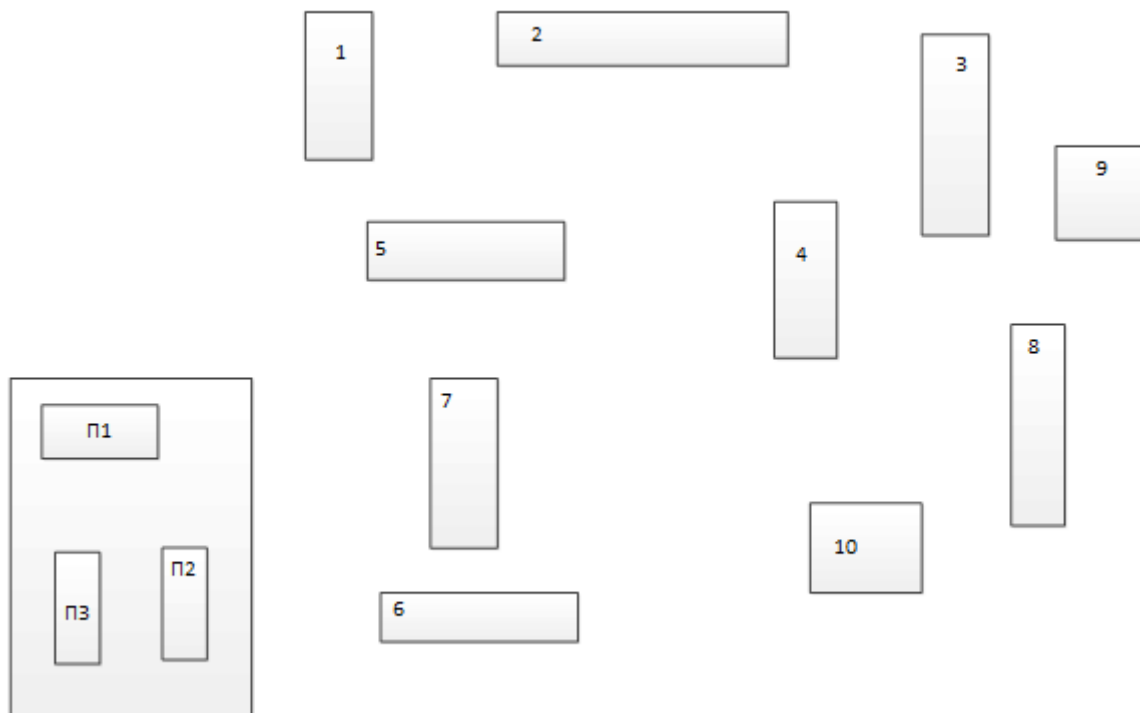
1. Расчет электрических нагрузок городских потребителей.
2. Выбор силовых трансформаторов городских подстанций.
3. Выбор силовых трансформаторов цеховых подстанций.
4. Компенсация реактивной мощности силовых трансформаторов цеховых подстанций.
5. Выбор схемы электроснабжения с учетом расположения городских и цеховых трансформаторных подстанций.
6. Обоснование выбора оптимальной схемы электроснабжения. Расчет её режима работы.
7. Выбор кабельных линий высокого напряжения.
8. Организация учета электрической энергии.
9. Обоснование выбора режима нейтрали электроустановок до и свыше 1000 В.

2. ВАРИАНТЫ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Вариант №1

Исходные данные

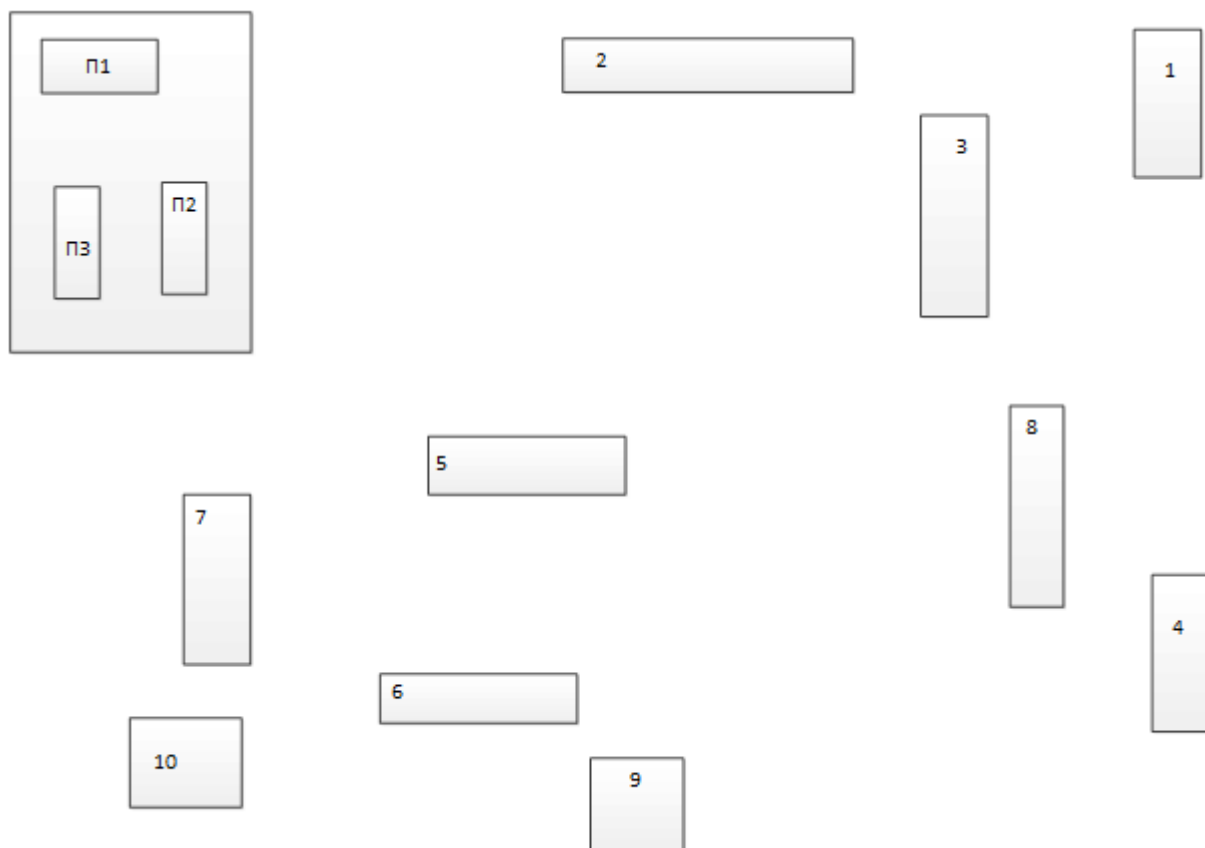
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 7,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 11 кВт
3	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,5кВт и 4 лифта мощностью по 7 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1530 кв.м
10	Детский сад на 180 мест
П1	Производственное здание $P_p=1820$ кВт, $Q_p = 760$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=980$ кВт, $Q_p = 560$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=320$ кВт, $Q_p = 120$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №2

Исходные данные

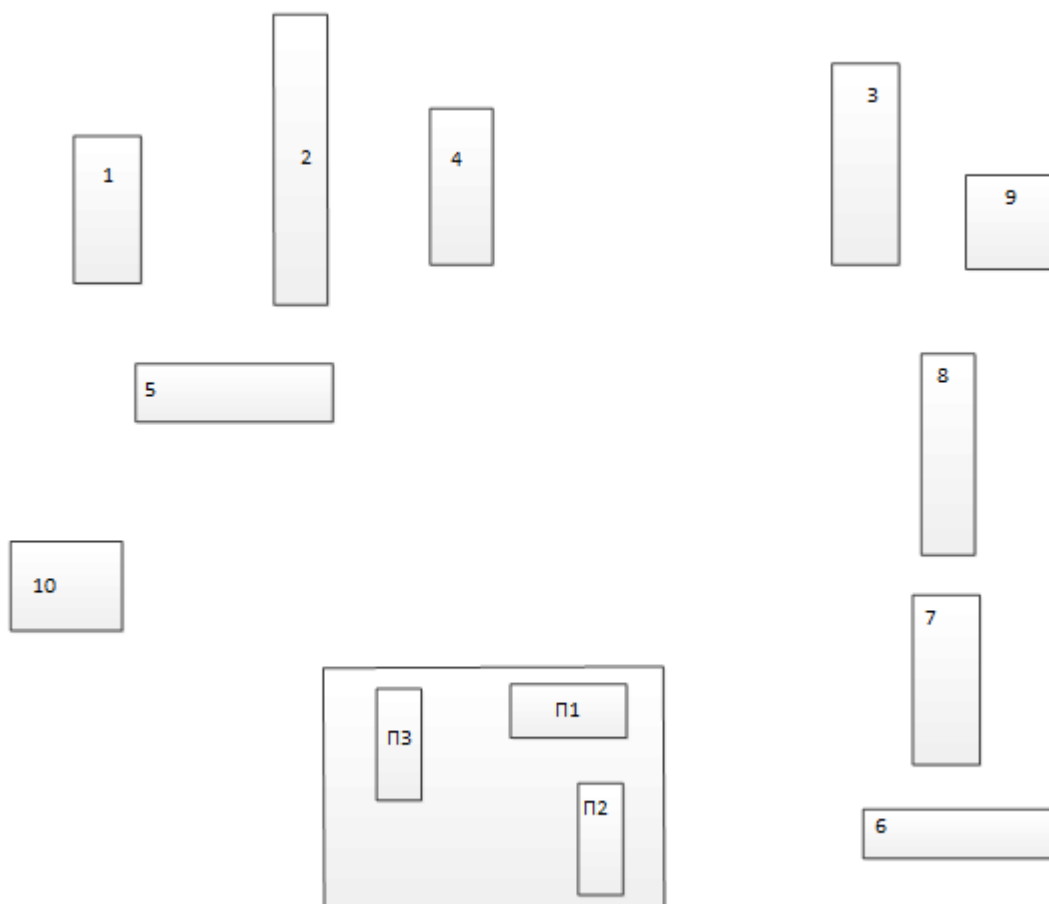
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	185-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 7 насосов мощностью по 7,5кВт и 7 лифтов мощностью по 11 кВт
3	120-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,8 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1420 кв.м
10	Школа на 250 мест
П1	Производственное здание $P_p=250$ кВт, $Q_p = 100$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1620$ кВт, $Q_p = 1160$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=880$ кВт, $Q_p = 320$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №3

Исходные данные

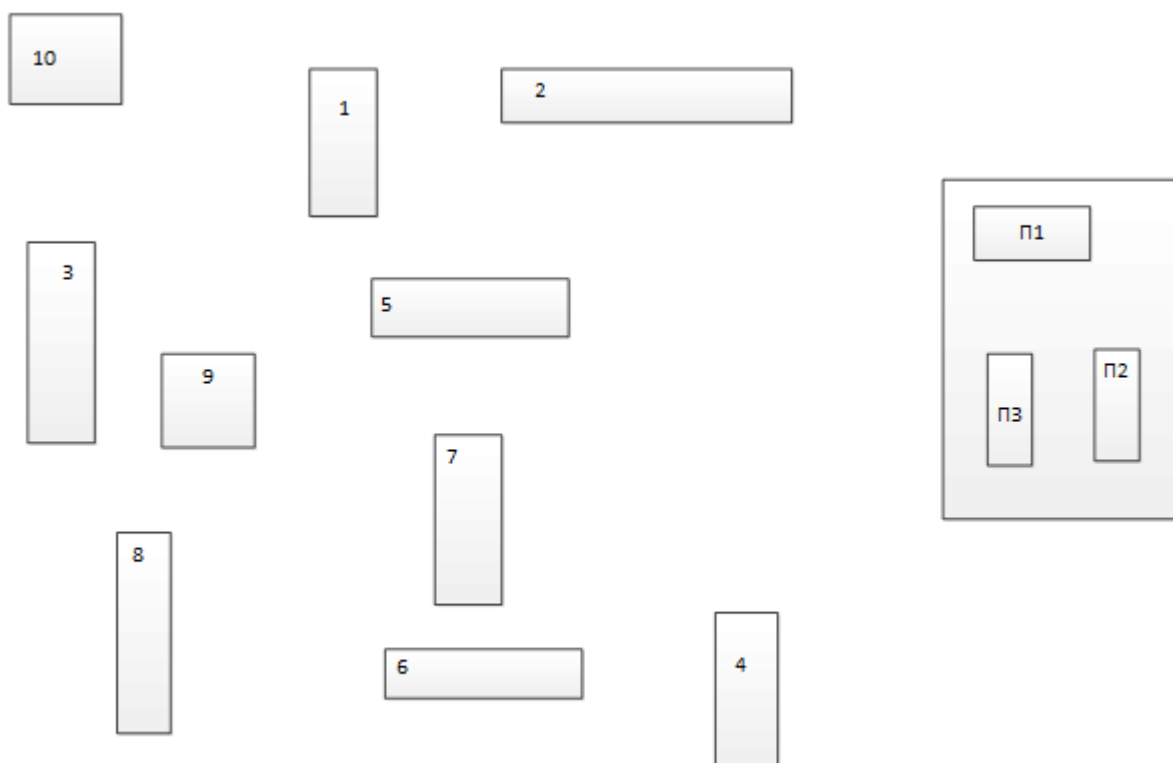
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 6,3кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	115-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,8 кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
9	Столовая на 320 посадочных мест
10	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1200 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=780$ кВт, $Q_p = 560$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=420$ кВт, $Q_p = 210$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=440$ кВт, $Q_p = 280$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №4

Исходные данные

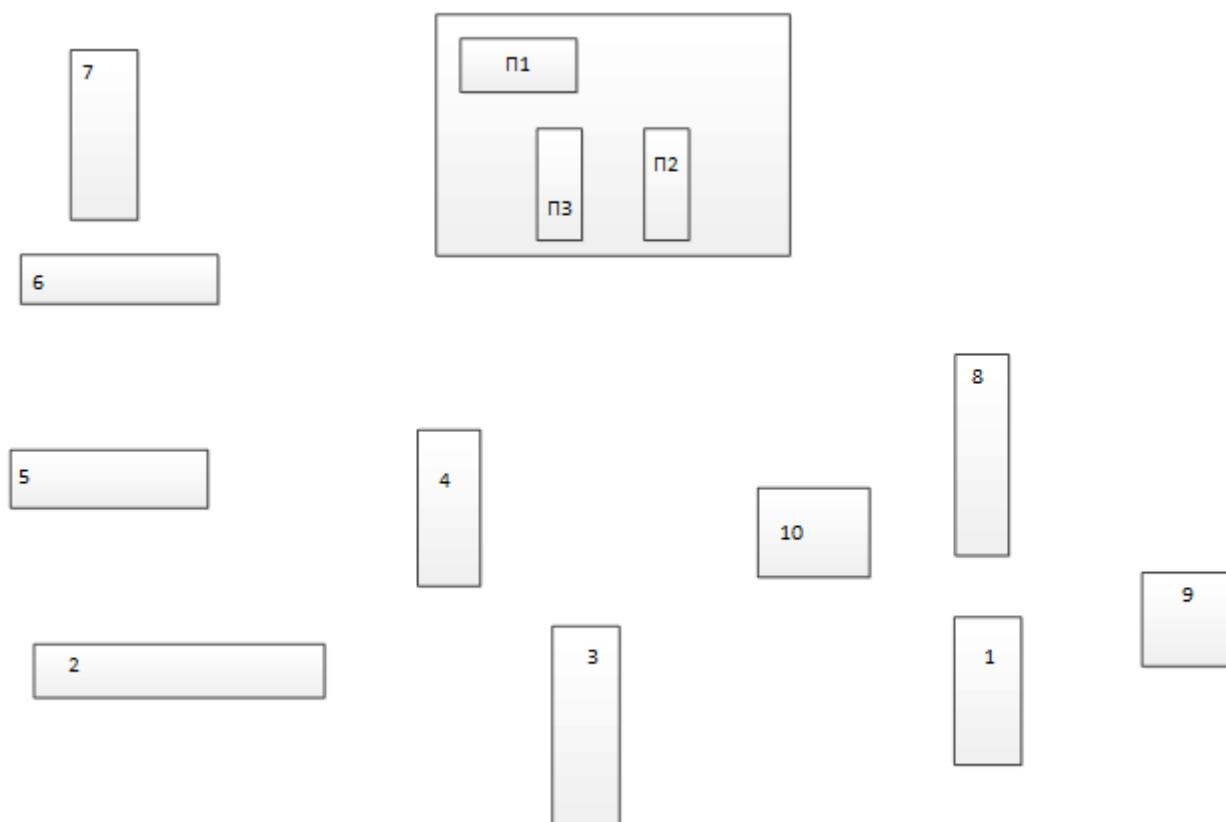
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	150-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 6,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 7 кВт и 5 лифтов мощностью по 5 кВт
9	Детский сад на 150 мест
10	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1200кв.м
П1	Производственное здание $P_p=1420$ кВт, $Q_p = 850$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=560$ кВт, $Q_p = 170$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=540$ кВт, $Q_p = 180$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №5

Исходные данные

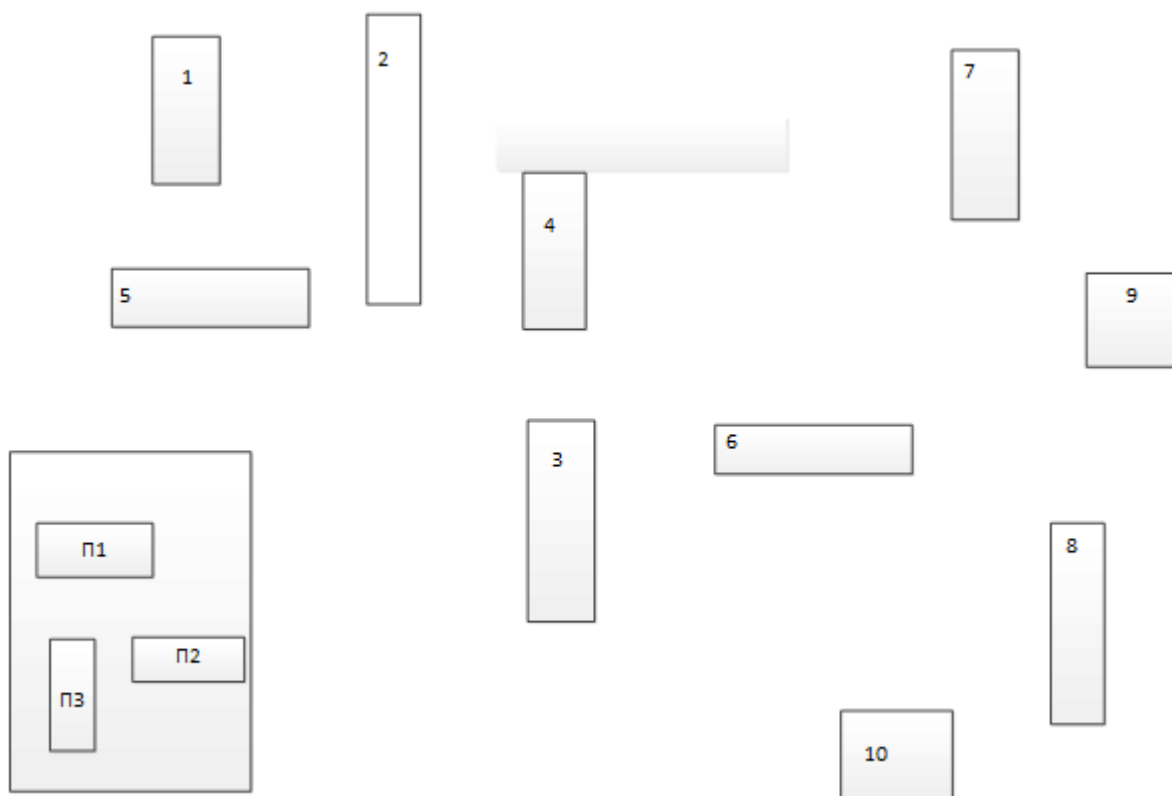
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 6,5кВт и 6 лифтов мощностью по 7 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1120 кв.м
10	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 890 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=270$ кВт, $Q_p = 70$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1820$ кВт, $Q_p = 1180$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=460$ кВт, $Q_p = 150$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №6

Исходные данные

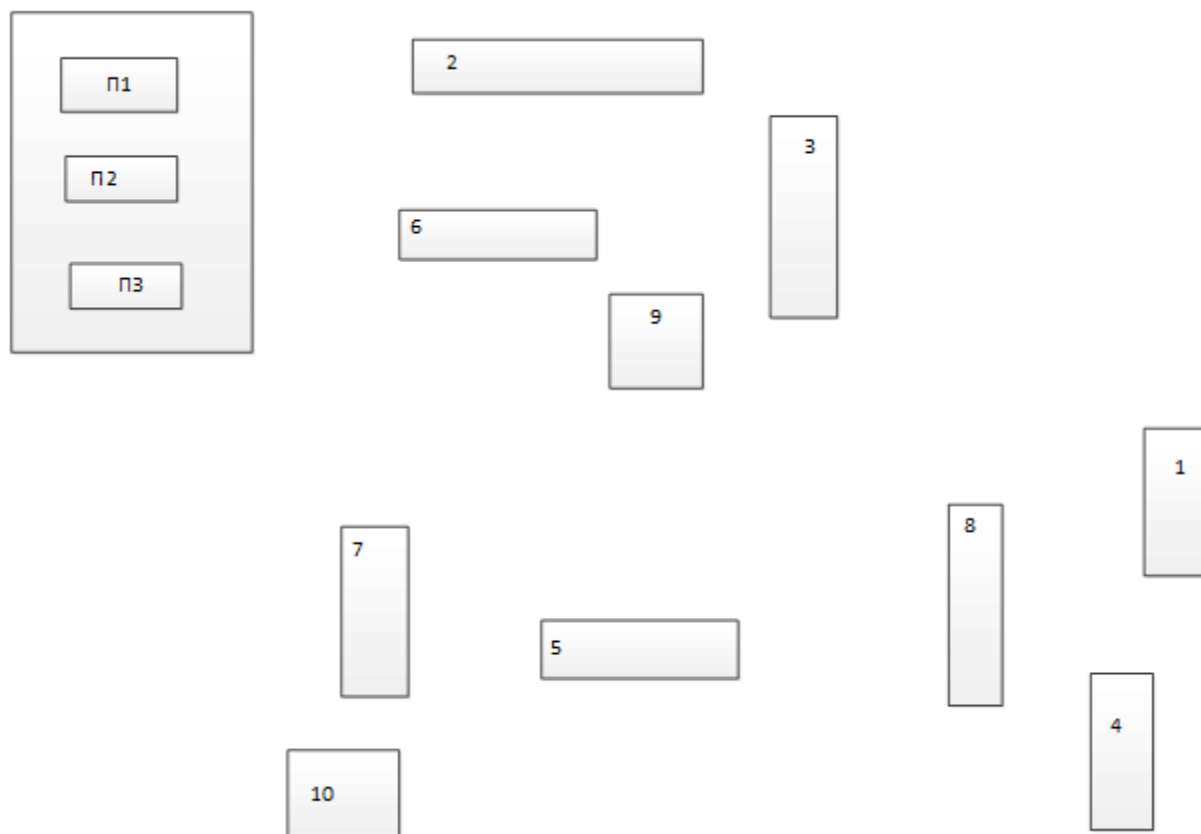
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	140-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 7 кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
3	85-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,5 кВт и 4 лифта мощностью по 5,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1520 кв.м
10	Школа на 300 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=680$ кВт, $Q_p = 220$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=300$ кВт, $Q_p = 110$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=150$ кВт, $Q_p = 40$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №7

Исходные данные

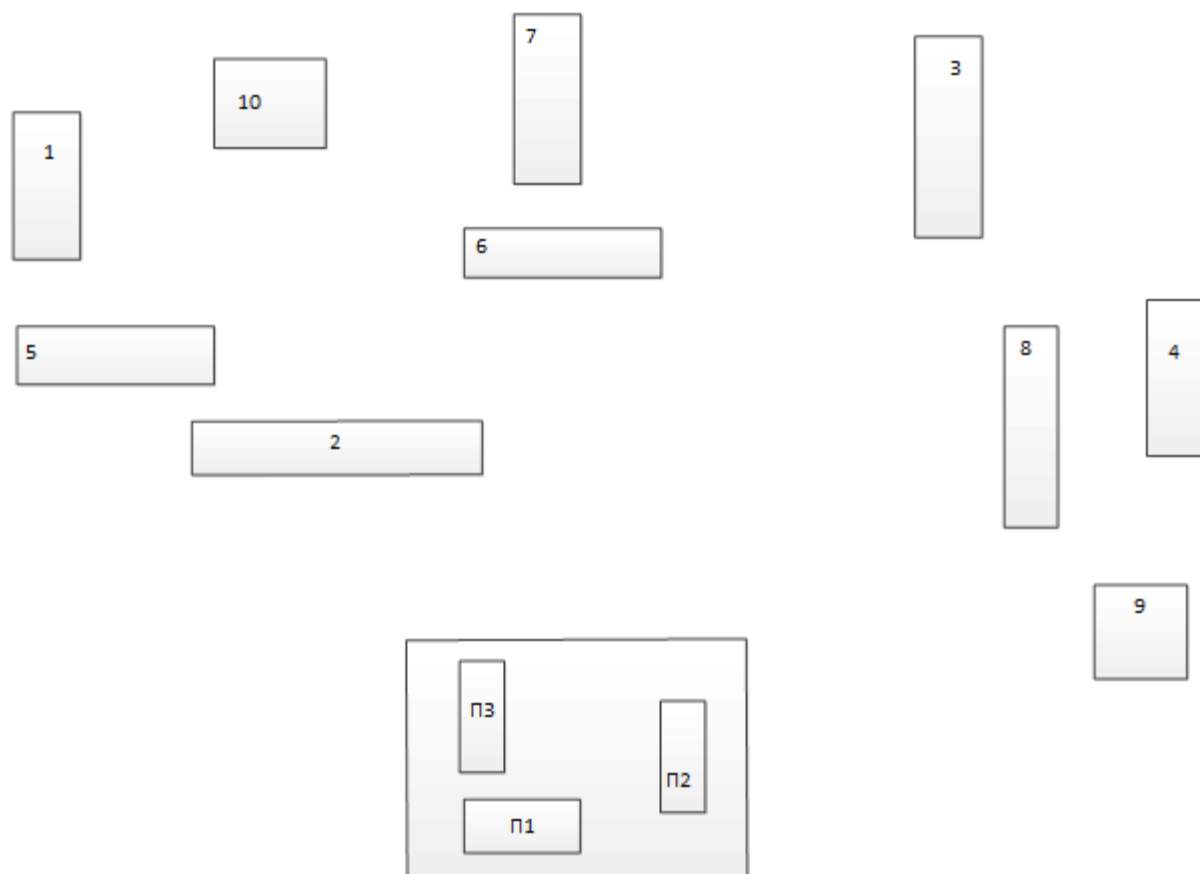
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	140-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,5 кВт и 5 лифтов мощностью по 4,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	80-квартирный жилой дом с электроплитами
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,2 кВт и 4 лифта мощностью по 5,5 кВт
9	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1250 кв.м
10	Столовая-кафе на 100 посадочных мест
П1	Производственное здание $P_p=720$ кВт, $Q_p = 400$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1250$ кВт, $Q_p = 1100$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=520$ кВт, $Q_p = 180$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №8

Исходные данные

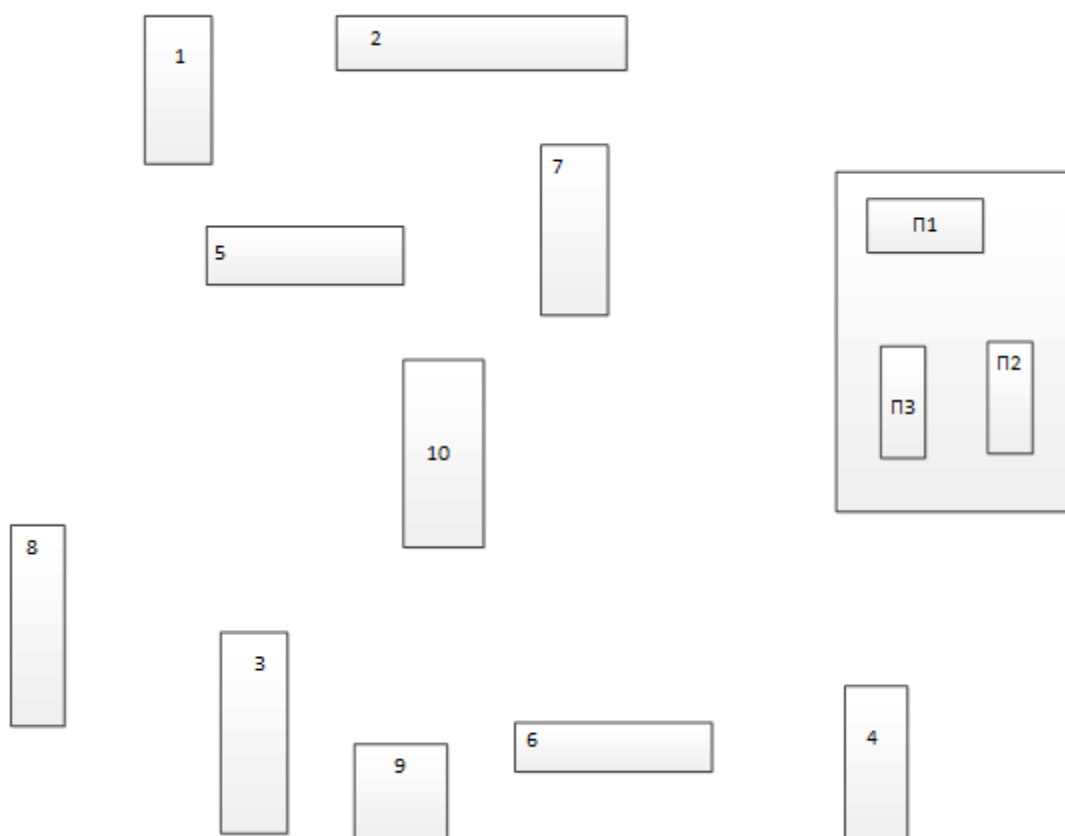
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,5кВт и 5 лифтов мощностью по 4,5кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1600 кв.м
10	Детский сад на 240 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=120$ кВт, $Q_p = 75$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1480$ кВт, $Q_p = 950$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=640$ кВт, $Q_p = 325$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №9

Исходные данные

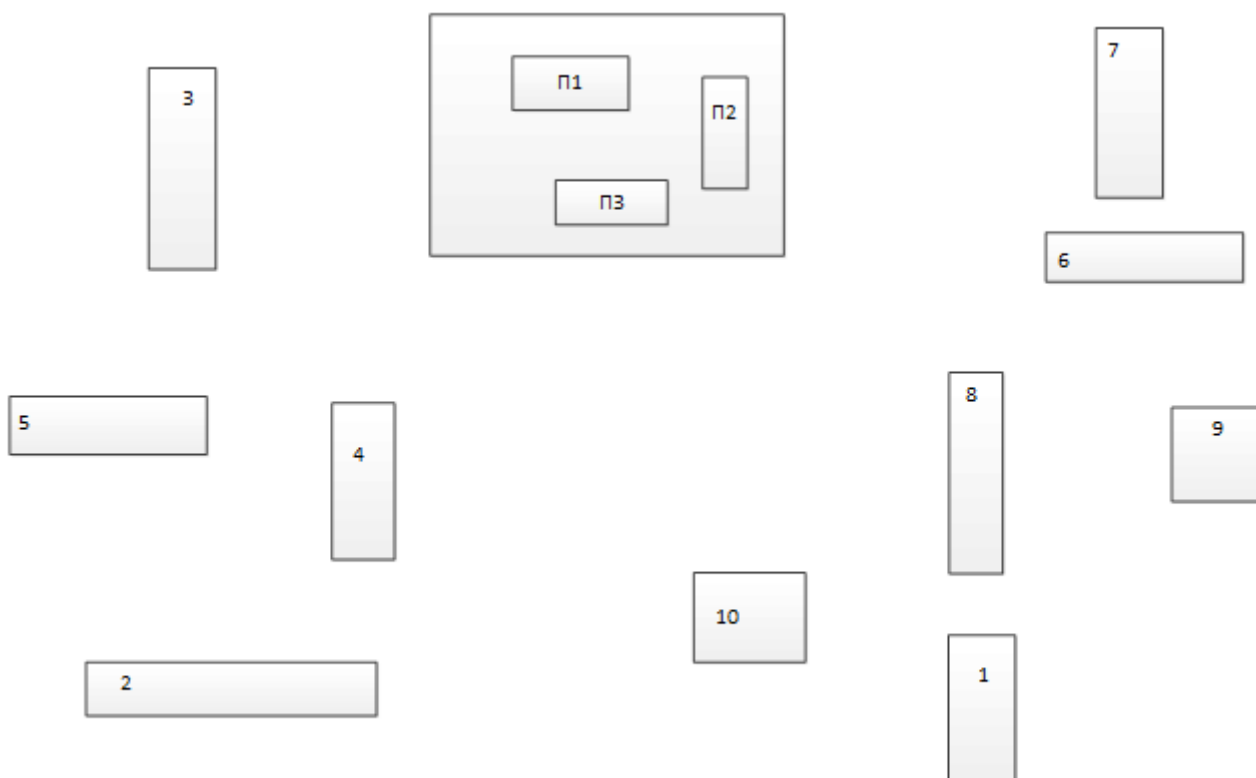
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 4,8 кВт и 6 лифтов мощностью по 5,7 кВт
3	85-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 6,5 кВт и 5 лифтов мощностью по 7,2 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1250 кв.м
10	100-квартирный жилой дом с электроплитами
П1	Производственное здание $P_p=780$ кВт, $Q_p = 250$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=85$ кВт, $Q_p = 40$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=1010$ кВт, $Q_p = 425$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №10

Исходные данные

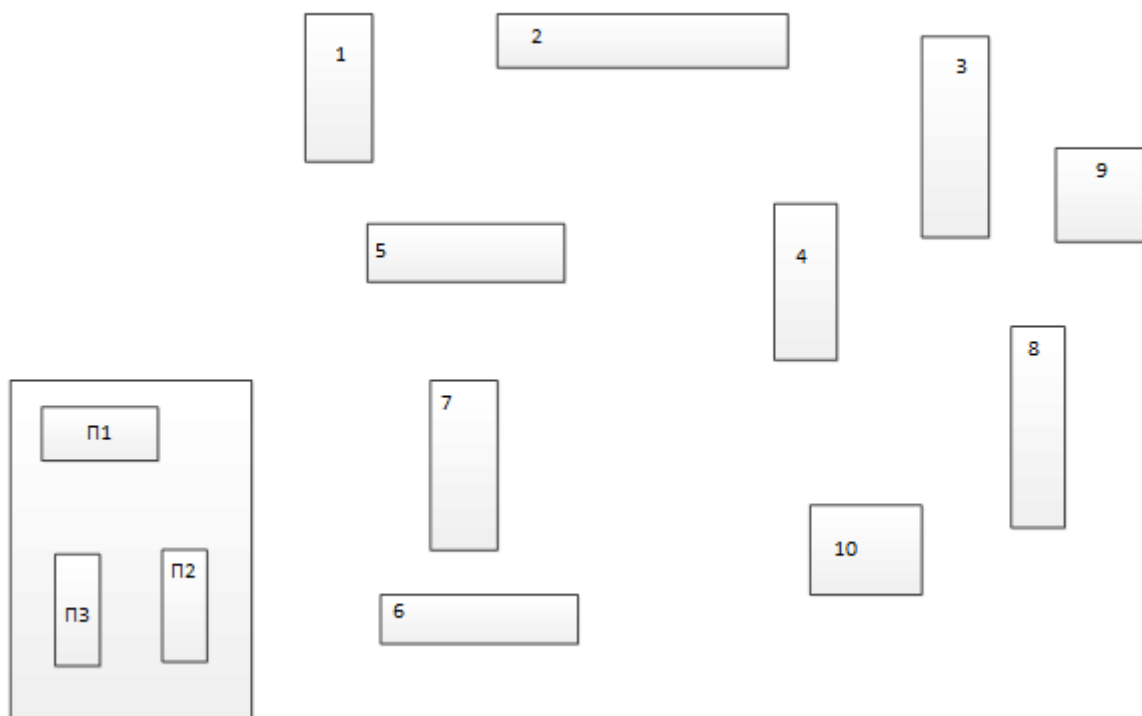
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 5кВт и блифтов мощностью по 5,8 кВт
3	115-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	115-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе.
8	95-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 4,5 кВт и 4 лифта мощностью по 5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1840 кв.м
10	Детский сад на 180 мест
П1	Производственное здание $P_p=145$ кВт, $Q_p = 180$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1780$ кВт, $Q_p = 1250$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=770$ кВт, $Q_p = 545$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №11

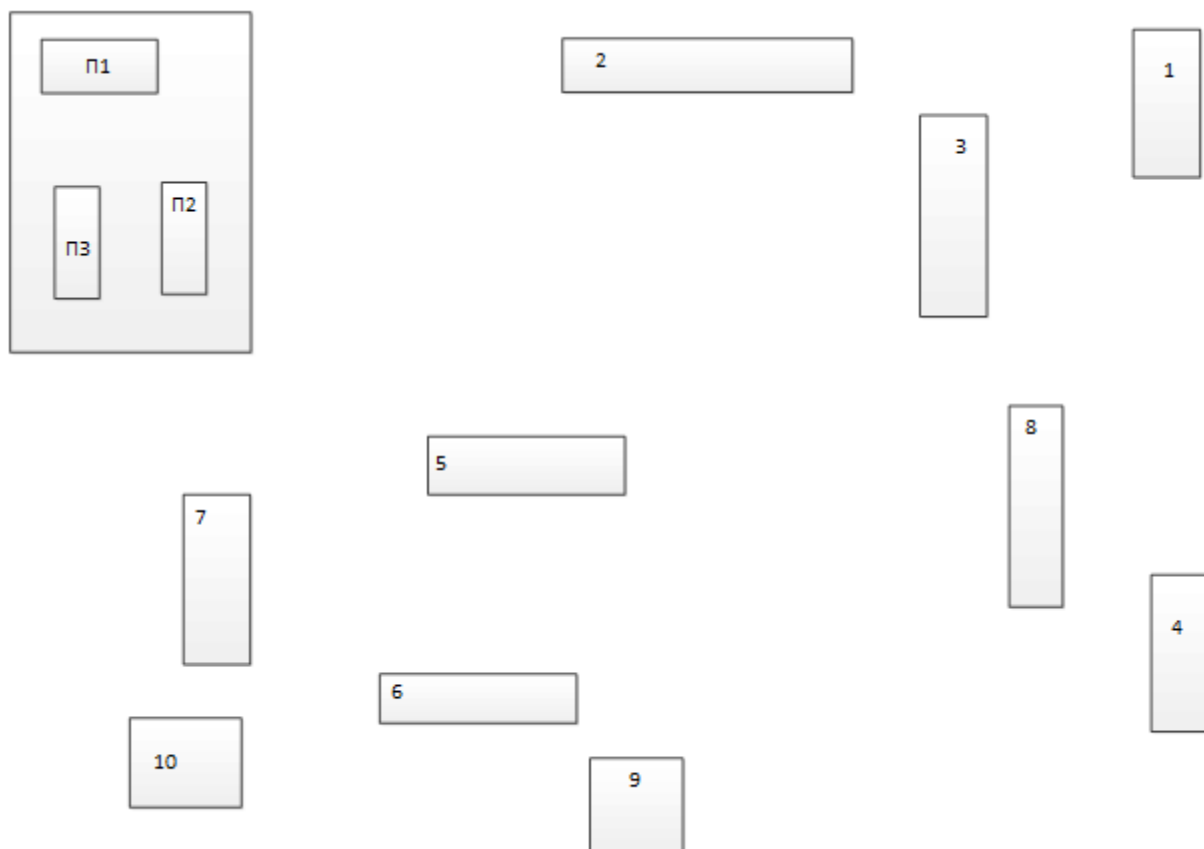
Исходные данные

Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 7,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 11 кВт
3	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	85-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,5 кВт и 4 лифта мощностью по 7 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1250 кв.м
10	Детский сад на 150 мест.
П1	Производственное здание $P_p=820$ кВт, $Q_p = 760$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=980$ кВт, $Q_p = 340$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=180$ кВт, $Q_p = 120$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №12
Исходные данные

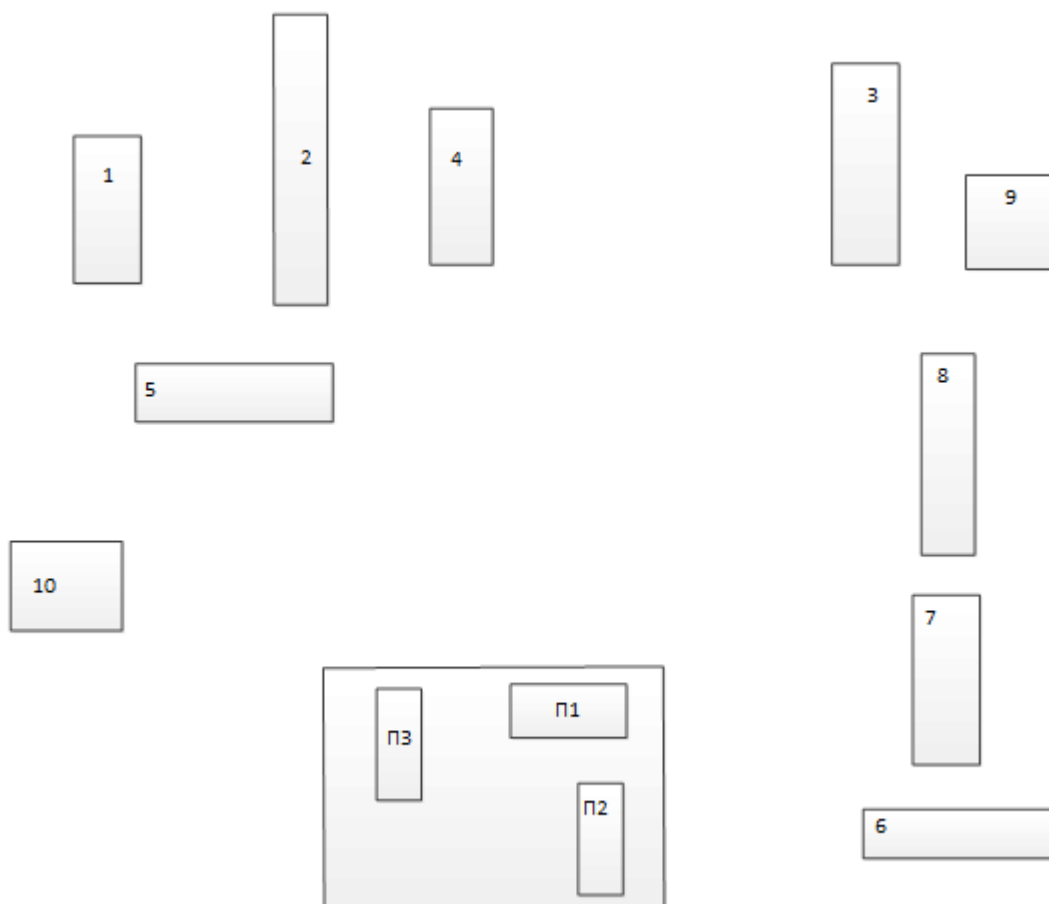
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	185-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 7 насосов мощностью по 7,5кВт и 7 лифтов мощность по 9кВт
3	120-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	85-квартирный жилой дом с электроплитами
7	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,8 кВт и 4 лифта мощность по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1720 кв.м
10	Школа на 320 мест
П1	Производственное здание $P_p=148$ кВт, $Q_p = 100$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1220$ кВт, $Q_p = 1060$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=880$ кВт, $Q_p = 320$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №13

Исходные данные

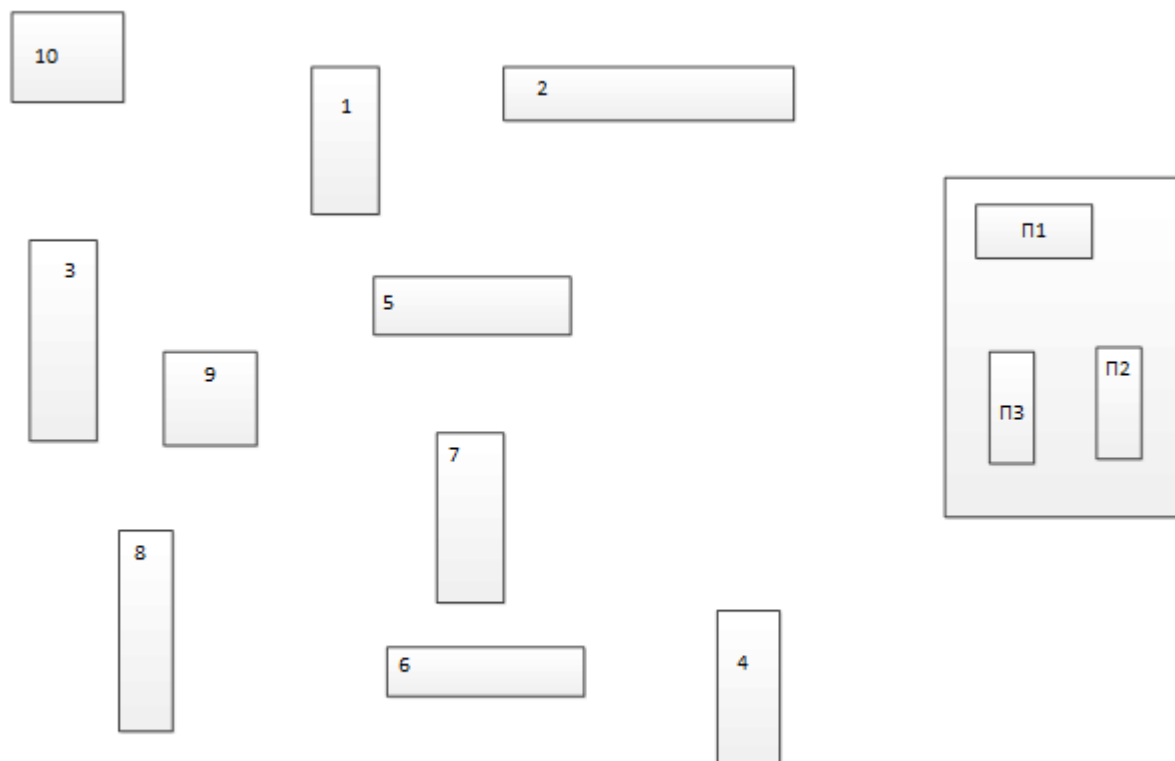
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 6,3 кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,8 кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
9	Кафе на 120 посадочных мест
10	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1200 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=740$ кВт, $Q_p = 460$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=220$ кВт, $Q_p = 80$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=560$ кВт, $Q_p = 140$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №14

Исходные данные

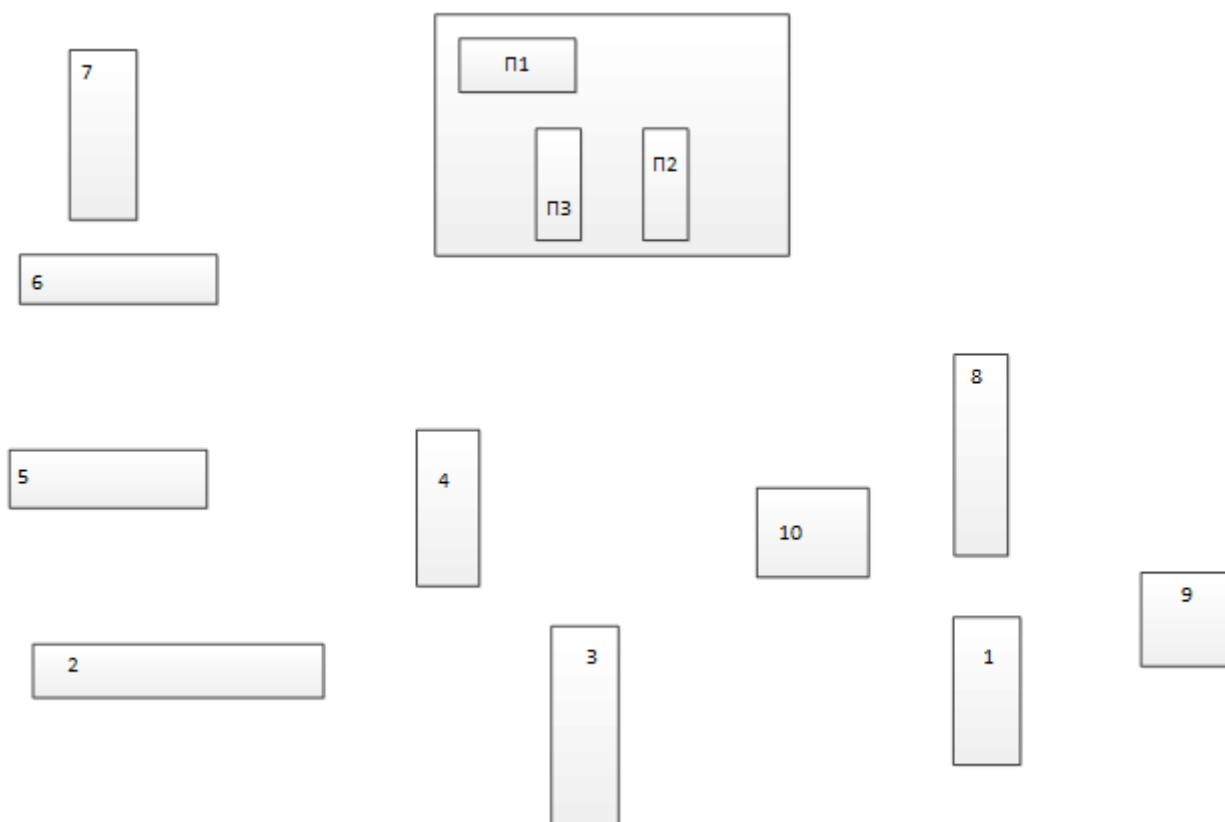
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 6,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	115-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	115-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 7 кВт и 6 лифтов мощность по 5 кВт
9	Детский сад на 190 мест
10	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1280 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=1120$ кВт, $Q_p = 750$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=560$ кВт, $Q_p = 270$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=340$ кВт, $Q_p = 380$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №15

Исходные данные

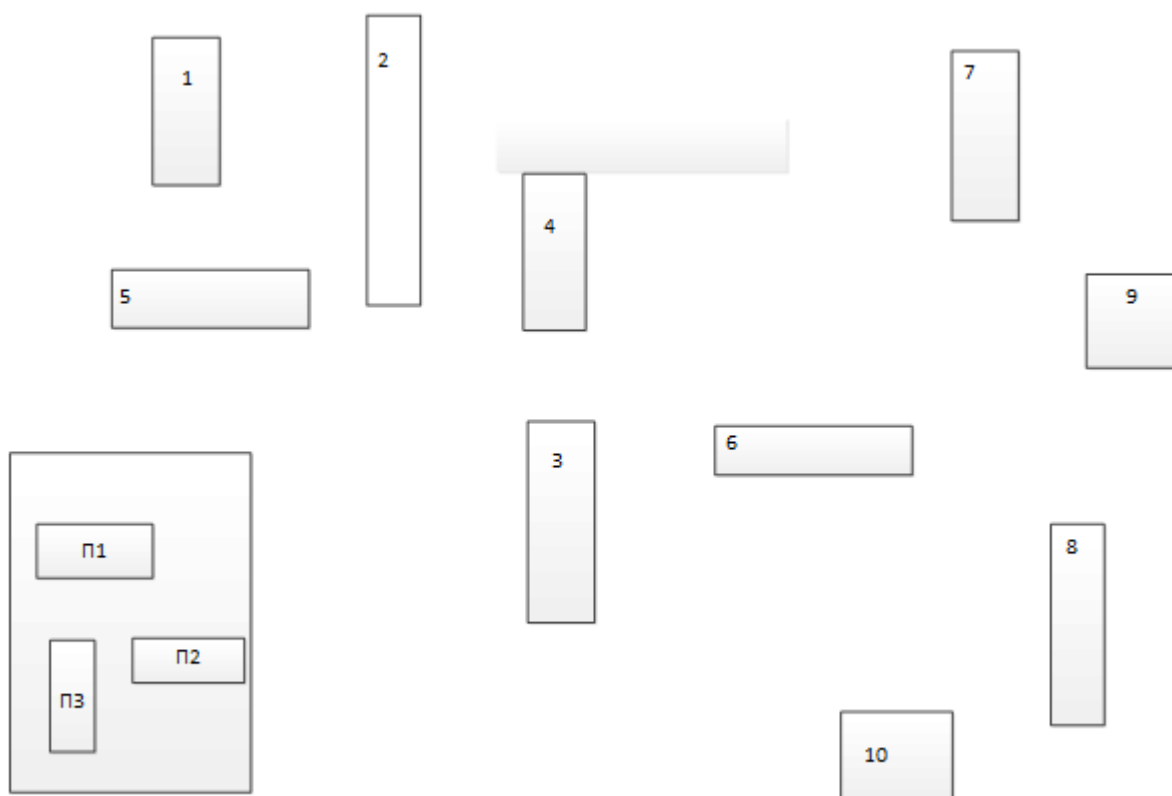
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 5,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 7 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	85-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 920 кв.м
10	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1340 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=170$ кВт, $Q_p = 56$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1600$ кВт, $Q_p = 880$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=590$ кВт, $Q_p = 330$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №16

Исходные данные

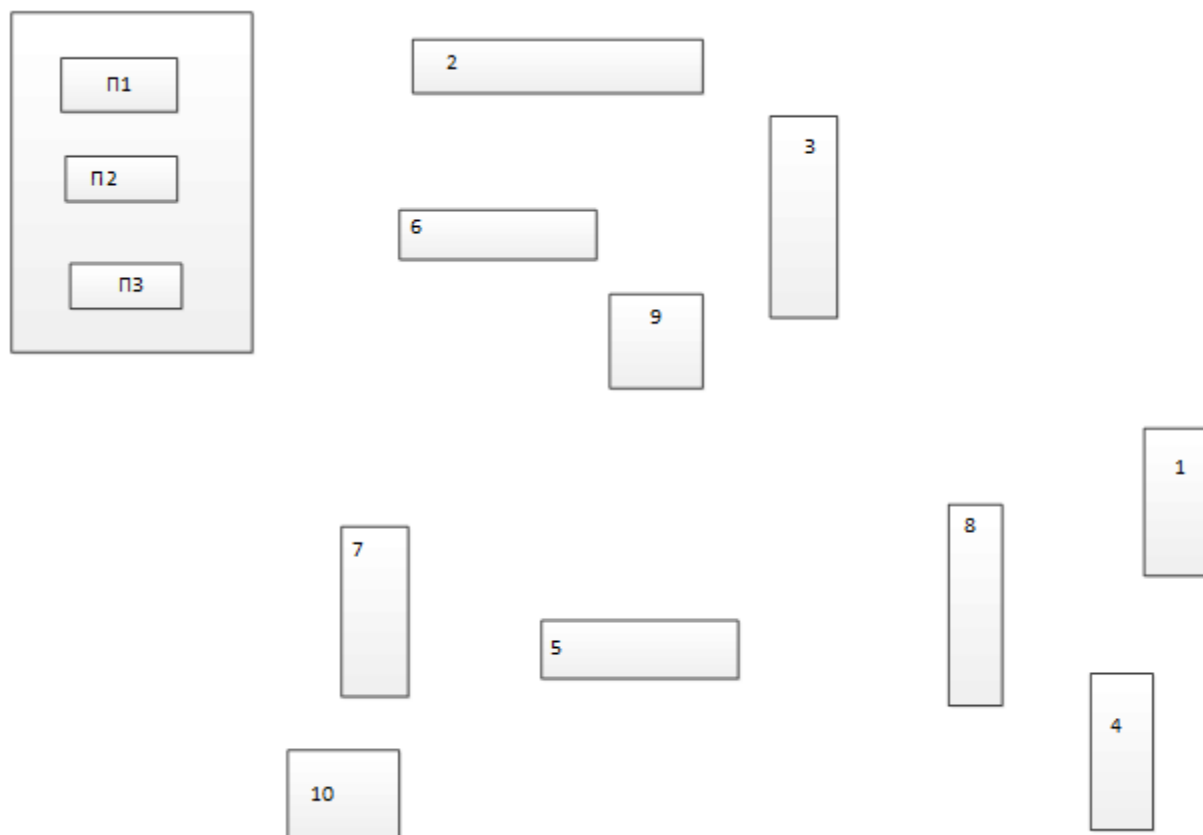
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	140-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 7 кВт и 5 лифтов мощностью по 5,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	85-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,5 кВт и 4 лифта мощностью по 5,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1180 кв.м
10	Школа на 240 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=1200$ кВт, $Q_p = 910$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=450$ кВт, $Q_p = 110$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=520$ кВт, $Q_p = 380$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №17

Исходные данные

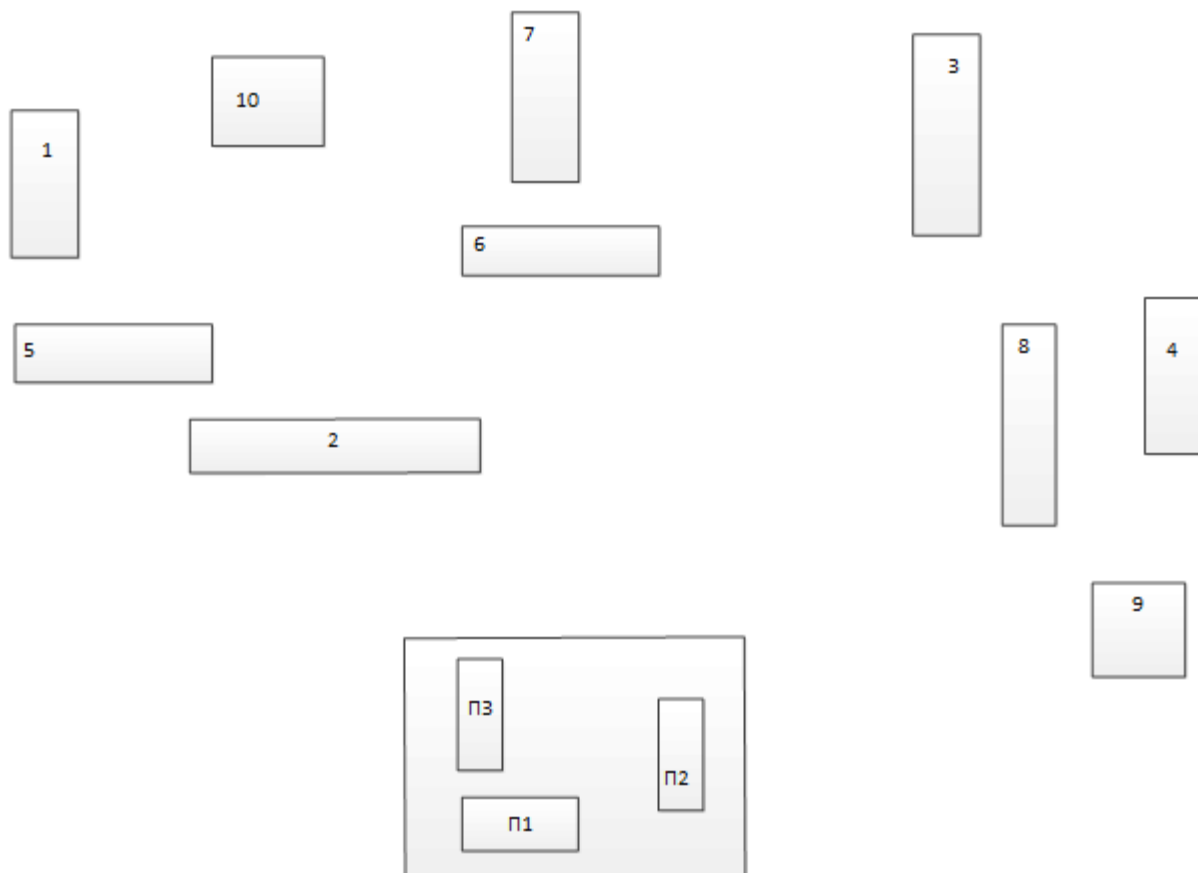
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 5,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 4,5 кВт
3	85-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	80-квартирный жилой дом с электроплитами
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,2 кВт и 4 лифта мощностью по 5,5 кВт
9	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1650 кв.м
10	Столовая-кафе на 160 посадочных мест
П1	Производственное здание $P_p=320$ кВт, $Q_p = 140$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1250$ кВт, $Q_p = 880$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=550$ кВт, $Q_p = 220$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №18

Исходные данные

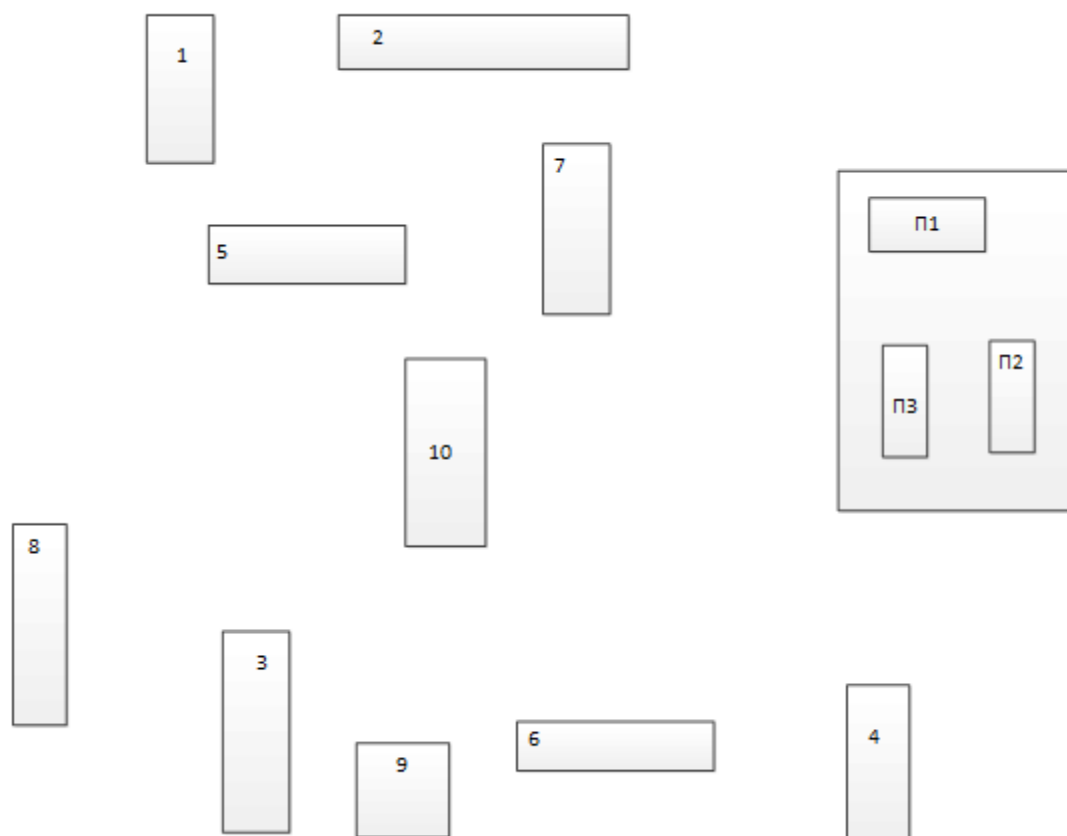
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,5 кВт и 5 лифтов мощностью по 4,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	115-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1430 кв.м
10	Детский сад на 140 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=125$ кВт, $Q_p = 95$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1430$ кВт, $Q_p = 720$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=640$ кВт, $Q_p = 480$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №19

Исходные данные

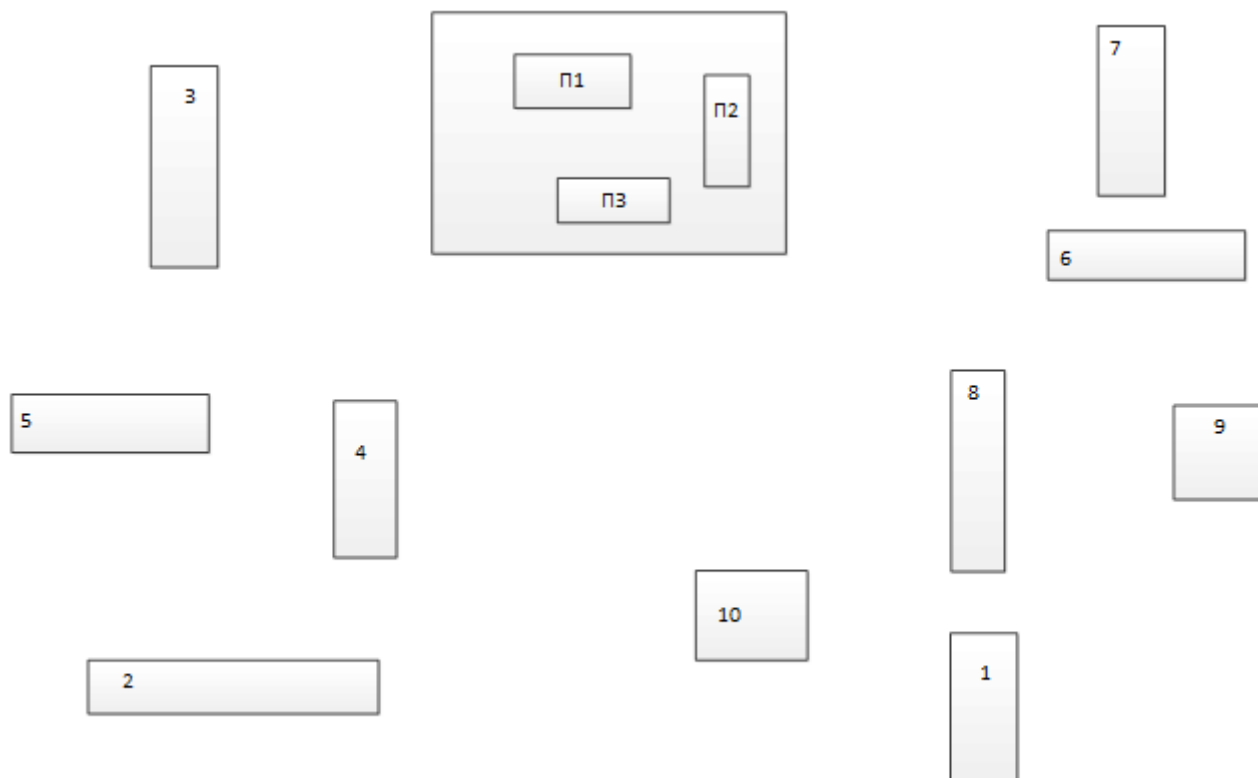
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 7 кВт и 6 лифтов мощностью по 11 кВт
3	80-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 7 кВт и 5 лифтов мощностью по 9 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1350 кв.м
10	100 квартирный жилой дом с электроплитами.
П1	Производственное здание $P_p=1780$ кВт, $Q_p = 1250$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=185$ кВт, $Q_p = 40$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=2010$ кВт, $Q_p = 1425$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №20

Исходные данные

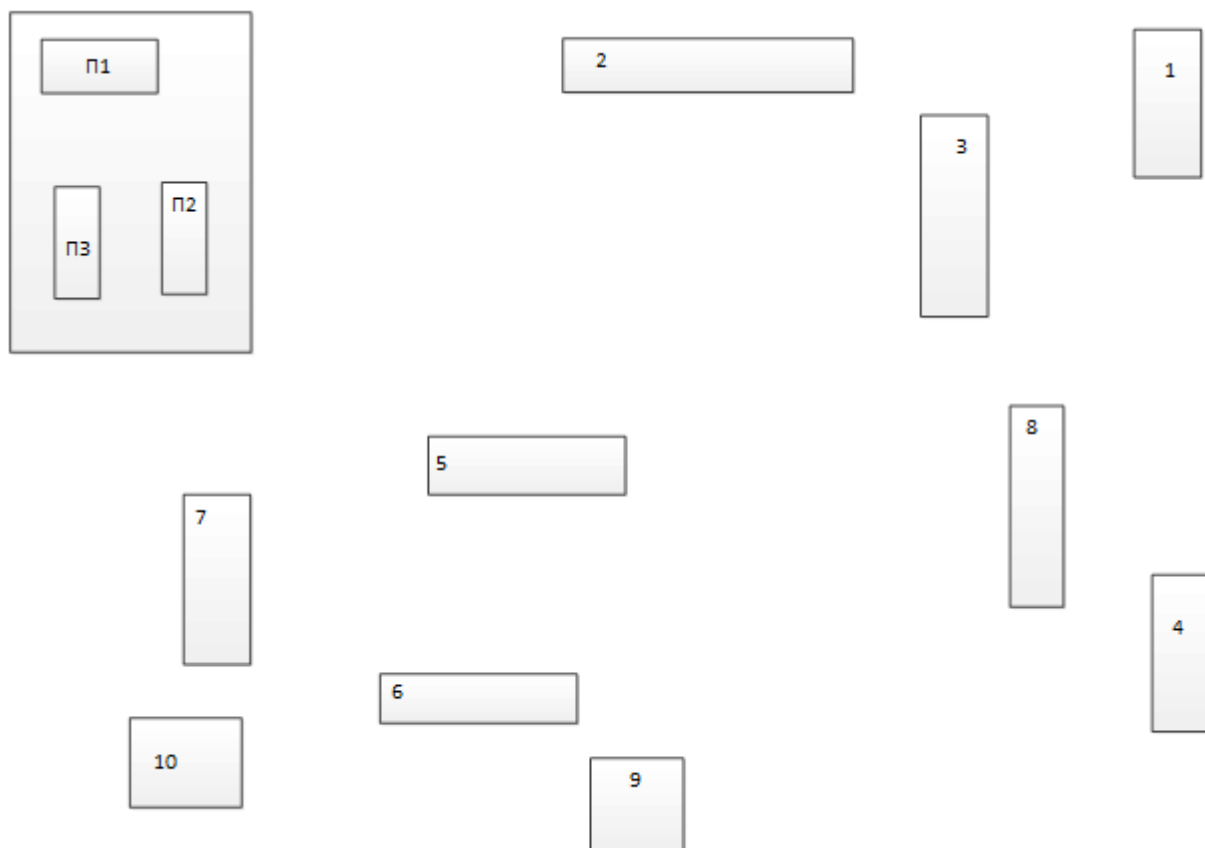
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 5 кВт и 6 лифтов мощностью по 5,8 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	125-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 5,5 кВт и 6 лифтов мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1340 кв.м
10	Детский сад на 280 мест
П1	Производственное здание $P_p=230$ кВт, $Q_p = 95$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=1780$ кВт, $Q_p = 1020$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=650$ кВт, $Q_p = 425$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №21

Исходные данные

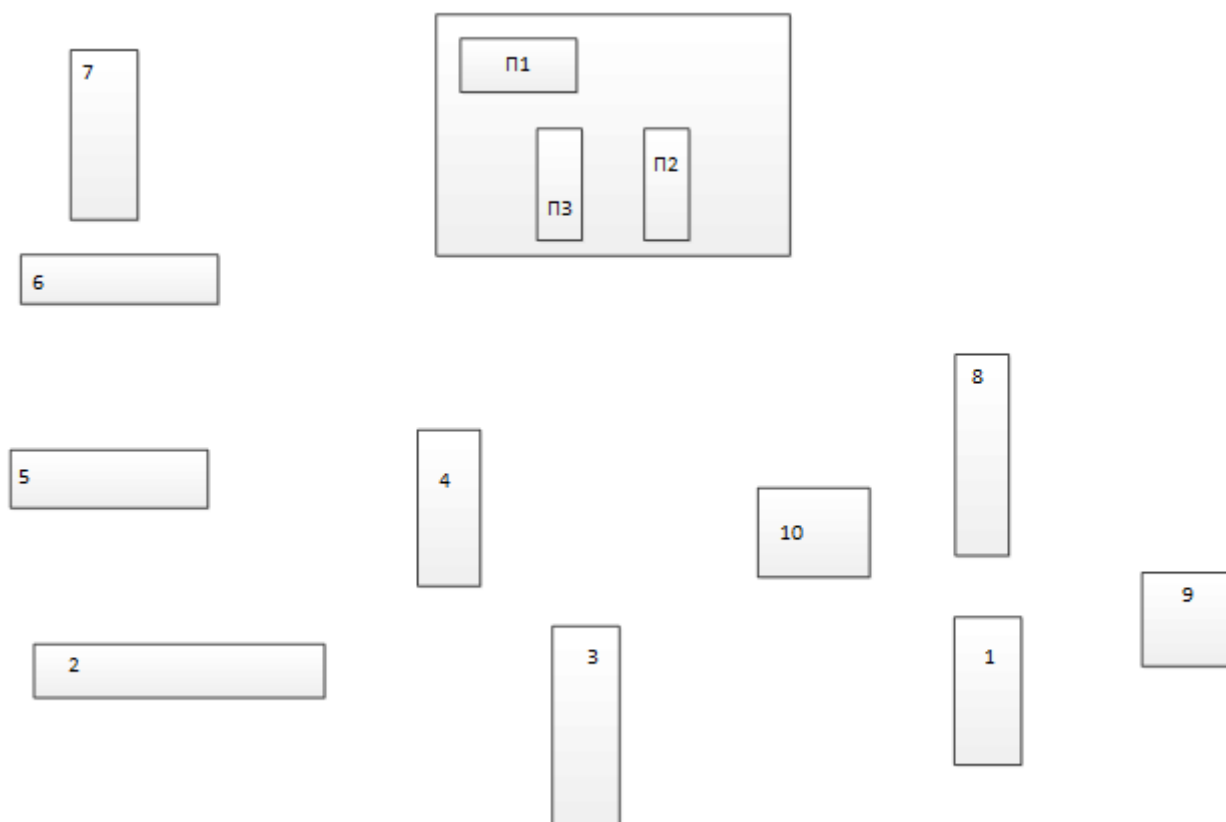
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	160-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 6,3 кВт и 6 лифтов мощностью по 9,5 кВт
3	120-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	100-квартирный жилой дом с электроплитами
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 6,3 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 2300 кв.м
10	Школа на 400 мест
П1	Производственное здание $P_p=320$ кВт, $Q_p = 80$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=1420$ кВт, $Q_p = 1160$ квар, категория надежности электроснабжения I-II
П3	Производственное здание $P_p=480$ кВт, $Q_p = 250$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №22

Исходные данные

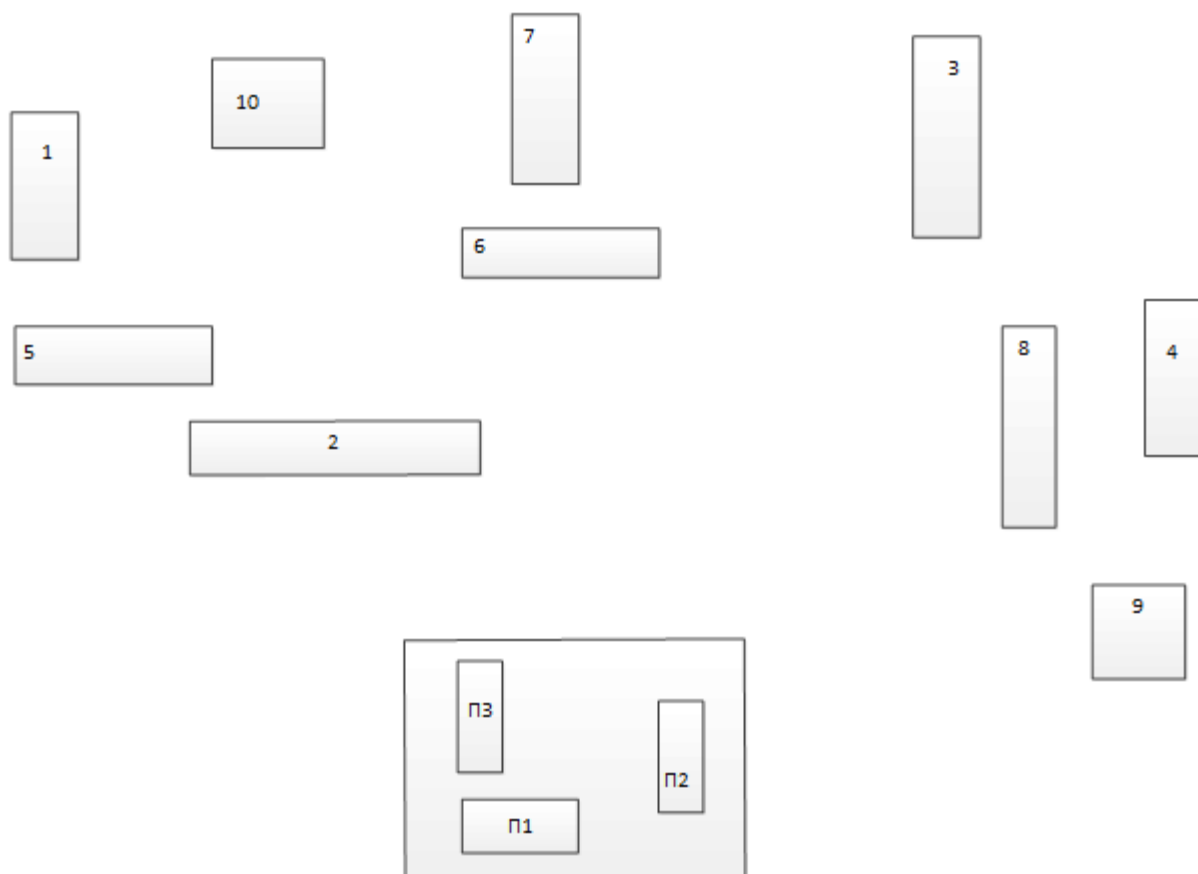
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с электроплитами
2	180-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 8 насосов мощностью по 6,5 кВт и 8 лифтов мощностью по 7 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	80-квартирный жилой дом с электроплитами
6	100-квартирный жилой дом с электроплитами
7	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	100-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 7,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 2200 кв.м
10	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1200 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=240$ кВт, $Q_p = 70$ квар, категория надежности электроснабжения III
П2	Производственное здание $P_p=520$ кВт, $Q_p = 480$ квар, категория надежности электроснабжения I-II
П3	Производственное здание $P_p=860$ кВт, $Q_p = 150$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



Вариант №23

Исходные данные

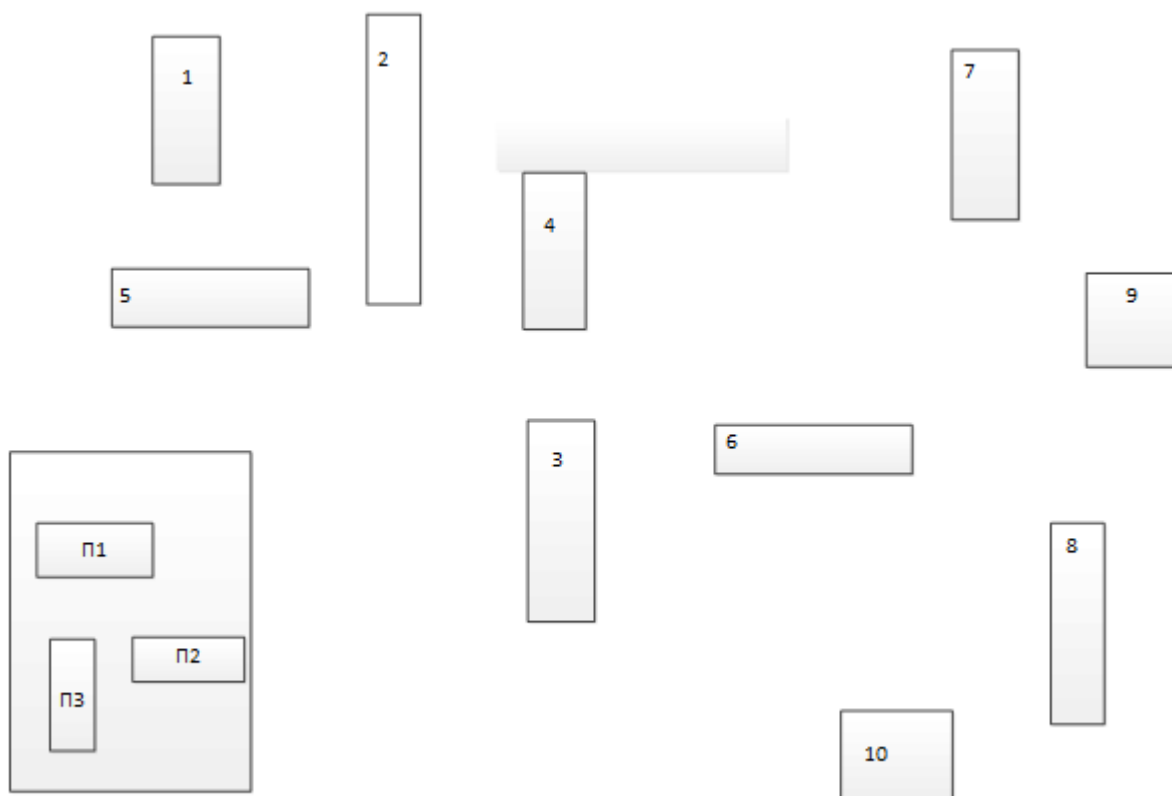
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	80-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 6,3 кВт и 5 лифтов мощностью по 7 кВт
3	100-квартирный жилой дом с электроплитами
4	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
5	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
6	80-квартирный жилой дом с электроплитами
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	180-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 7,2 кВт и 6 лифтов мощностью по 8,8 кВт
9	Магазин промышленных товаров площадью торгового зала 1400 кв.м
10	Детский сад на 450 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=250$ кВт, $Q_p = 300$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=1200$ кВт, $Q_p = 340$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=740$ кВт, $Q_p = 440$ квар, категория надежности электроснабжения I-II



Вариант №24

Исходные данные

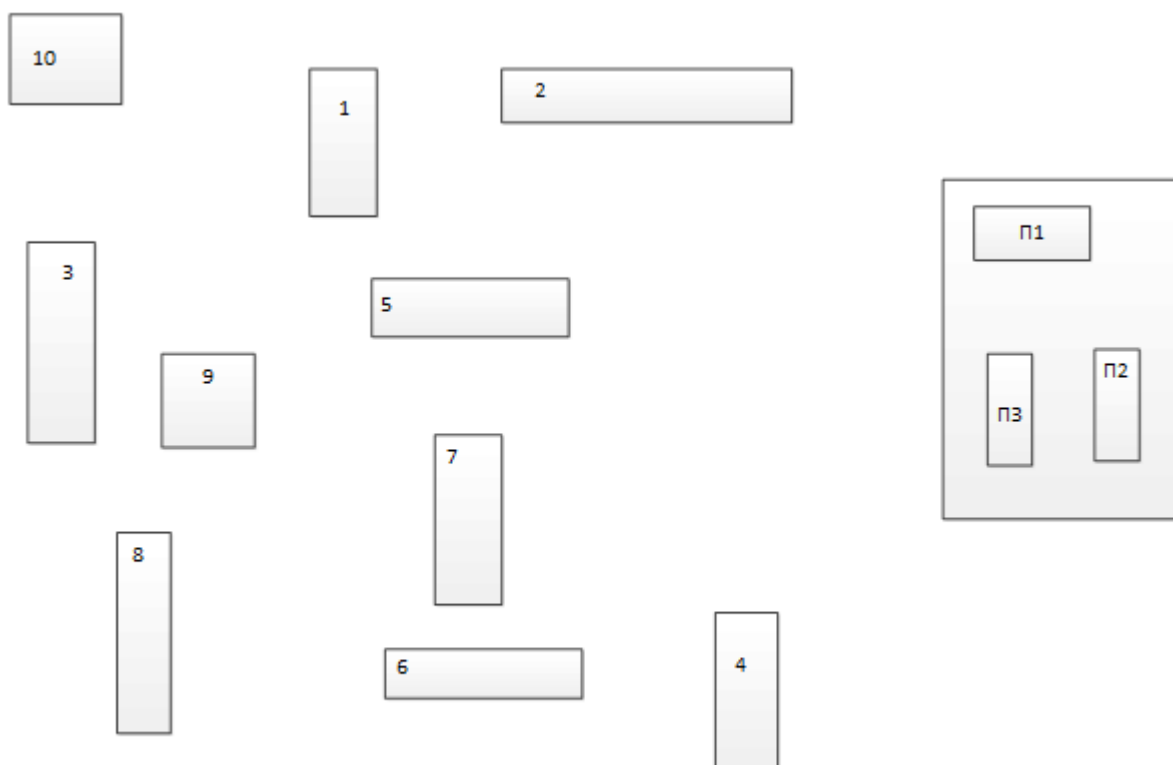
Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 7 кВт и 4 лифта мощностью по 6 кВт
3	85-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	85-квартирный жилой дом с электроплитами
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
7	100-квартирный жилой дом с электроплитами
8	140-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 4 насоса мощностью по 5,5 кВт и 4 лифта мощностью по 6,5 кВт
9	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1340 кв.м
10	Школа на 360 учащихся
П1	Производственное здание $P_p=860$ кВт, $Q_p = 520$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=420$ кВт, $Q_p = 220$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П3	Производственное здание $P_p=320$ кВт, $Q_p = 80$ квар, категория надежности электроснабжения III



Вариант №25

Исходные данные

Номер здания по плану	Наименование и характеристика здания
1	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
2	145-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 6 насосов мощностью по 6,2 кВт и 6 лифтов мощностью по 5,5 кВт
3	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
4	100-квартирный жилой дом с электроплитами
5	100-квартирный жилой дом с электроплитами
6	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
7	100-квартирный жилой дом с плитами на газе
8	120-квартирный жилой дом с электроплитами. В доме имеются 5 насосов мощностью по 5,5 кВт и 5 лифтов мощностью по 6 кВт
9	Детский сад на 240 мест
10	Продовольственный магазин площадью торгового зала 1420 кв.м
П1	Производственное здание $P_p=920$ кВт, $Q_p = 420$ квар, категория надежности электроснабжения II-III
П2	Производственное здание $P_p=240$ кВт, $Q_p = 70$ квар, категория надежности электроснабжения III
П3	Производственное здание $P_p=610$ кВт, $Q_p = 150$ квар, категория надежности электроснабжения II-III



3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГОРОДСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Расчет электрических нагрузок производится от низших к высшим ступеням электроснабжения и включает два этапа:

- определение нагрузки на вводе к каждому потребителю;
- расчет на этой основе нагрузок отдельных элементов сети.

Расчетной является ожидаемая максимальная нагрузка за 30 мин.

Нормативными документами по определению нагрузок и расчету сетей являются:

СП 31-110-2003. «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий», введен с 1.01.2004 г.

РД 34.20.185-94. "Инструкция по проектированию городских электрических сетей", введена с 1.01.95 г. С изменениями и дополнениями 1999 г.

Для промышленной группы потребителей нормативными документами являются:

РТМ 36.18.32-4-92. «Указания по расчету электрических нагрузок».

НТП ЭПП-94. «Проектирование электроснабжения промышленных предприятий», «Нормы технологического проектирования».

Расчет нагрузок жилых и общественных зданий

Расчетная нагрузка квартир, приведенная к вводу дома, определяется по формуле:

$$P_{кв} = P_{кв.уд} \cdot n \text{ (кВт)},$$

где $P_{кв.уд}$ - удельная расчетная нагрузка электроприемников квартир, по таблице 1 (кВт/кварт);

n - количество квартир.

В настоящих методических указаниях приведены выдержки из таблиц нормативных документов, указанных выше (таблица 1).

Таблица 1

Удельная расчетная нагрузка квартир жилых домов

Потребитель	Количество квартир							
	1-3	15	40	60	100	200	400	1000
Квартиры с плитами на газе	4,5	1,8	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,67
То же с электроплитами	10	3,9	2,6	2,1	1,5	1,36	1,27	1,19
Домики на садовых участках	4	1,2	0,76	0,69	0,61	0,58	0,54	0,46

Таблица составлена для квартир площадью от 35 до 90м², на каждый м² сверхуказанных необходимо увеличивать нагрузку на 1% при плитах на газе и на 0,5% при электроплитах. Для определения максимальных нагрузок утреннего или вечернего максимумов коэффициент участия в максимуме $K_{ум}$

принимают 0,5 – для жилых зданий с плитами на газе и твердом топливе и 0,7 – для жилых зданий с электроплитами.

В домах, где кроме жилых квартир могут быть установлены силовые электроприемники (лифты, насосы, вентиляторы санитарно-технических устройств), расчетная мощность силовых ЭП, приведенная к вводу дома, определяется по формуле

$$P_c = P_{p.l} + P_{p.cm.y.}$$

Мощность лифтовых установок P_{pl} определяется по формуле

$$P_{p.l} = K'_c \sum_1^n P_{n(y)},$$

где K'_c - коэффициент спроса (таблица 2).

n - количество лифтовых установок,

$P_{n(y)}$ - установленная мощность эл.двигателя лифта, кВт.

Таблица 2

Коэффициенты спроса лифтовых установок

n	2-3	4-5	6	10	20
K'_c	0,8	0,7	0,65	0,5	0,4

Расчетная мощность ЭП санитарно-технических устройств определяется по формуле

$$P_{p.cm.y} = K''_c \sum_1^n P_{n.cm.y}.$$

Таблица 3

Коэффициенты спроса санитарно-технических устройств

n	2	3	5	8	10	15	20
K''_c	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65

Расчетная нагрузка квартир жилого дома и силовых электроприемников

$$P_{p.ж.д} = P_{кв} + K_y \cdot P_c,$$

где K_y - коэффициент участия в максимуме силовых электроприемников, для дома принимается равным 0,9.

Для определения полной мощности расчетные коэффициенты мощности принимаются из таблицы 4.

Таблица 4

Расчетные коэффициенты мощности жилых домов

Потребитель	$\cos\varphi$	$tq\varphi$
Квартиры с электроплитами	0,98	0,2
Квартиры с плитами на газе или твердом топливе	0,96	0,29
Насосы: вентиляторы и др.	0,8	0,75
Лифты	0,65	1,17

Ориентировочно, на стадии предварительных расчетов, нагрузку жилых домов квартала (микрорайона), приведенную к шинам 0,4 кВ ТП, можно определить по формуле

$$P_{р.мкр} = P_{р.ж.д.уд} \cdot S \cdot 10^{-3},$$

где $P_{р.ж.д.уд}$ - удельная расчетная нагрузка жилых домов, Вт/м²;

S - общая площадь жилых домов.

Нагрузка наружного освещения определяется по СНиП и Инструкции по проектированию наружного освещения.

Для общественных зданий ориентировочно расчетную нагрузку можно определить по удельной нагрузке и коэффициенту мощности, таблица 5.

Таблица 5

Нагрузки производственных предприятий и общественных зданий

Общественные здания	ед.измерения	уд.нагрузка	cosφ	tqφ
Предприятия общепита до 400 посадочн. мест	кВт/место	1,04	0,98	0,2
Продовольственные магазины	кВт/м ² торг. зала	0,25	0,82	0,7
Промтоварные магазины	кВт/м ² торг. зала	0,16	0,9	0,48
Школы с электрифицированными столовыми	кВт/учащ.	0,25	0,95	0,38
Детские сады/ясли	кВт/место	0,46	0,97	0,25
Парикмахерские	кВт/раб.место	1,5	0,97	0,25

Электрическая нагрузка зданий со смешанной нагрузкой (жилой, производственной и общественной) определяется по формуле

$$P_{р.зд.} = P_{р.ж.зд.} + K_y \cdot P_{р.пр.},$$

где $P_{р.ж.зд.}$ и $P_{р.пр.}$ - расчетные нагрузки жилой и производственной части здания соответственно;

K_y - коэффициент участия в максимуме (равен 0,9).

Расчетная нагрузка питающих линий до 1 кВ и нагрузка на шинах 0,4 кВ подстанции находится по формуле

$$P_{р.л.} (P_{р.ТП}) = P_{р.зд.макс} + \sum_1^n K_y \cdot P_{р.зд.},$$

где $P_{р.зд.макс}$ - расчетная нагрузка здания с максимальной нагрузкой;

K_y – коэффициенты участия в максимуме других зданий относительно здания с максимальной нагрузкой (таблица 6).

Расчетная электрическая нагрузка микрорайона (квартала), $P_{p.мр}$, кВт, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, может быть укрупненно определена по удельным нагрузкам по формуле

$$P_{p.мр} = (P_{p.ж.зд.уд} + P_{общ.зд.уд}) \cdot S \cdot 10^{-3},$$

где $P_{p.ж.зд.уд}$ и $P_{общ.зд.уд}$ – удельные нагрузки жилых общественных зданий микрорайона, Вт/м²;

S – общая площадь домов микрорайона, м².

Расчетные нагрузки сетей 10(6) кВ определяются путем умножения суммы расчетных нагрузок трансформаторов отдельных ТП на коэффициент участия в максимуме. Коэффициент мощности в период максимума нагрузок принимают для ЛЭП 10 кВ $\cos\varphi=0,92$ ($\tan\varphi=0,43$).

K_y принимают в зависимости от характеристики нагрузки и количества трансформаторов.

$$P_{pЛЭП} = K_y \sum_1^n P_{p.т.п.}$$

Для центров питания 10(6) кВ при питании от городских сетей и сетей промышленных предприятий расчетная нагрузка определяется с учетом несовпадения максимумов нагрузки потребителей городских сетей и сетей промышленных предприятий путем умножения суммы их расчетных нагрузок на коэффициент совмещения максимумов.

$$P_{p.ЦП} = K_{с.м.} \sum P_p,$$

$K_{с.м.}$ принимается в зависимости от соотношения промышленной и городской нагрузки ($K_{с.м.}=0,9$).

Расчетную мощность трансформаторов городских подстанций $S_{p.т}$ с учетом количества трансформаторов N и коэффициента загрузки K_3 можно определить по формуле:

$$S_{p.т} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_3},$$

где N – число трансформаторов, выбирается в зависимости от категории надежности электроснабжения потребителей ($N=1$ для потребителей только III категории, $N=2$ при наличии потребителей I и II категории);

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов (принимается не более 0,8).

Мощности городских трансформаторов принимают по следующей шкале: 160; 250; 400; 630; 1000; 1600 кВ·А.

Таблица 6

Коэффициенты участия в максимуме нагрузок

Наименование зданий (помещений) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома		Предприятия общественного питания, столовые, рестораны, кафе		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования
	с электрическими плитами	с плитами на твердом или газообразном топливе	Одно-сменные	Полутора-двухсменные			
1	2	3	4	5	6	7	8
Жилые дома с электрическими плитами		0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6
с плитами на твердом или газообразном топливе	0,9		0,6	0,7	0,5	0,3	0,4
Предприятия общественного питания, столовые, рестораны, кафе	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища, библиотеки, средние учебные учреждения	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8
Предприятия торговли (односменные и полутора-двухсменные)	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6		7		8	
Наименование зданий (помещений) с наибольшей расчетной нагрузкой	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские ясли-сады	Поликлиники	Ателье и комбинаты быстрого обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры	
	Одно-сменные	Полутора-двухсменные								
Жилые дома с электрическими плитами	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9	
с плитами на твердом или газообразном топливе	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9	
Предприятия общественного питания, столовые, рестораны, кафе	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	
Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища, библиотеки, средние учебные учреждения	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	
Предприятия торговли (односменные и полутора-двухсменные)	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5	
Гостиницы	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9	
Поликлиники	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	
Ателье и комбинаты быстрого обслуживания	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	
Кинотеатры	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5		

Ориентировочно выбранные мощности трансформаторов городских подстанций с напряжением 10(6)/0,4 кВ проверяются на перегрузочную способность согласно ГОСТ 14209-97. В этом стандарте для них в зависимости от систем охлаждения учитываются: коэффициенты загрузки в часы минимальных и максимальных нагрузок; коэффициент перегрузки в часы максимальных нагрузок, а также допустимая длительность перегрузки на основании суточного графика нагрузки потребителей электрической энергии.

Преобразование исходного суточного графика нагрузки трансформатора в эквивалентный и проверка выполняется в определенной последовательности:

1) на исходном графике нагрузки трансформатора (рисунок 1) проводится линия, соответствующая предварительно определенной номинальной мощности трансформатора $S_{НОМ.Т}$, соответствующая относительной номинальной нагрузке $K = 1$;

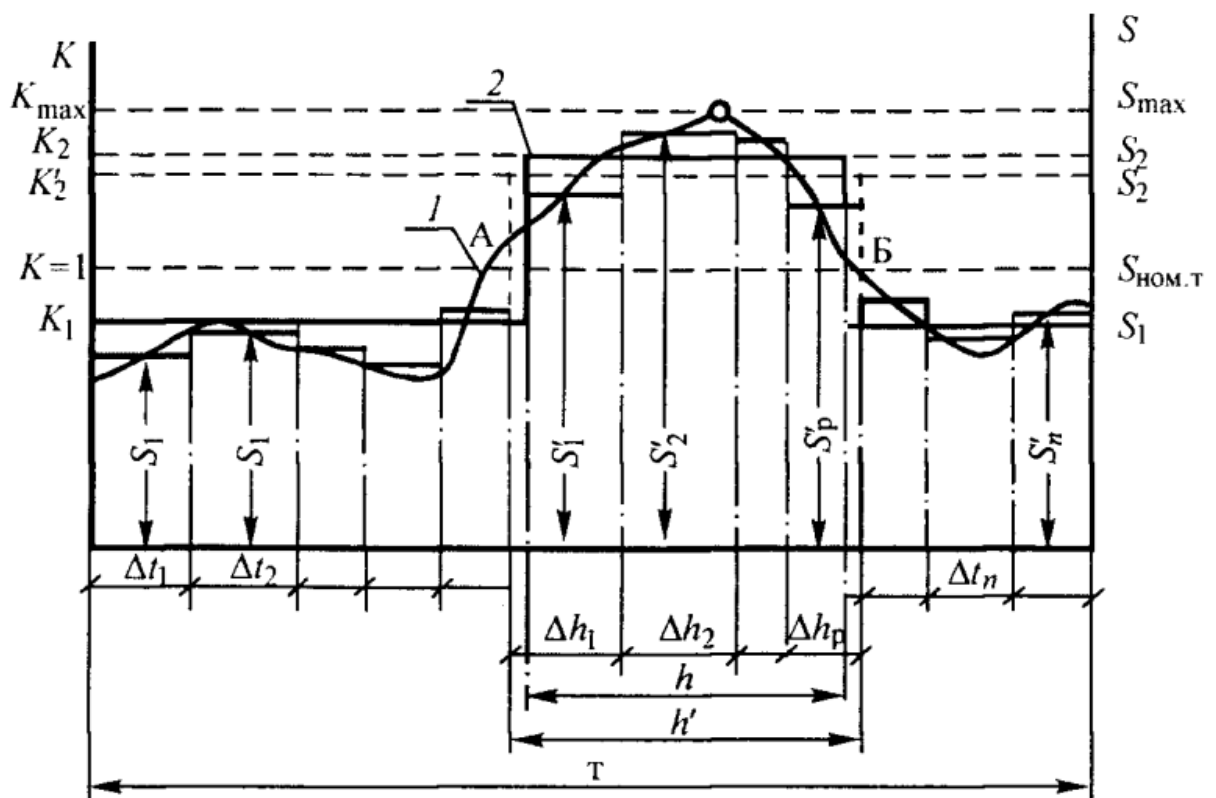


Рисунок 1 - Преобразование исходного графика нагрузки трансформатора в эквивалентный: 1 - исходный график нагрузки, 2 - эквивалентный прямоугольный график нагрузки

2) в точках А и Б пересечения номинальной линии с исходным графиком нагрузки на нем выделяется участок перегрузки продолжительностью h' ;

3) для части исходного графика с меньшей нагрузкой с учетом значений мощностей S_i и их продолжительностей Δt_i рассчитывается коэффициент начальной нагрузки K_1 по формуле:

$$K_1 = \frac{1}{S_{НОМТ}} \sqrt{\frac{S_1^2 \cdot \Delta t_1 + S_2^2 \cdot \Delta t_2 + \dots + S_T^2 \cdot \Delta t_T}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_T}},$$

4) для участка перегрузки h' исходного графика (рисунок 1) рассчитывается предварительное значение коэффициента перегрузки K_2' :

$$K_2' = \frac{1}{S_{НОМТ}} \sqrt{\frac{(S_1')^2 \cdot \Delta h_1 + (S_2')^2 \cdot \Delta h_2 + \dots + (S_p')^2 \cdot \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}},$$

5) сравнивается значение K_2' с K_{\max} исходного графика нагрузки: если $K_2' \geq 0,9K_{\max}$, следует принять $K_2 = K_2'$, если $K_2' < 0,9K_{\max}$, следует принять $K_2 = 0,9K_{\max}$, а продолжительность h перегрузки эквивалентного графика нагрузки рассчитать по формуле:

$$h = \frac{(K_2')^2 \cdot h'}{(0,9K_{\max})^2}.$$

Если исходный суточный график нагрузки трансформатора содержит два близких по значению максимума различной продолжительности, значения h и K_2 определяются по максимуму большей продолжительности, а значение K_1 - как среднеквадратичное значение остальной нагрузки. Если исходный суточный график нагрузки трансформатора содержит несколько последовательных близких максимумов, значения K_2 и h определяются из охвата всех максимумов, а значение K_1 - как среднеквадратичное значение оставшейся нагрузки.

6) по таблицам допустимых систематических перегрузок, приведенным в ГОСТ 14209-97, определяется допустимое значение коэффициента перегрузки $K_{2\text{ доп}}$. Он зависит от коэффициента начальной нагрузки K_1 , средней температуры охлаждающей среды за время действия графика $\Theta_{\text{охл}}$, длительности перегрузки h , а также от системы охлаждения трансформатора;

7) выполняется проверка - рассчитанное значение коэффициента перегрузки K_2 не должно превышать табличное значение $K_{2\text{ доп}}$.

3.2. ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦЕХОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

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

Число трансформаторов на подстанциях обычно принимают 1 или 2, трехтрансформаторные подстанции принимают как исключение, в случае питания значительных сосредоточенных нагрузок при $S_{y\partial} > 1,0 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2$ и $S_m \geq 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. На подстанции рекомендуется устанавливать трансформаторы одинаковой мощности.

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 низшем 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 указаны 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: 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500 $\text{кВ}\cdot\text{А}$.

Расчетную мощность $S_{p,r}$, или количество трансформаторов N с учетом коэффициента загрузки K_z , можно определить по формулам:

$$S_{p,r} \geq \frac{S_p}{N \cdot K_z}, \quad \text{или} \quad N \geq \frac{S_p}{S_{нтр} \cdot K_z}.$$

Полученные значения округляют до ближайшей стандартной величины.

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

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

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 или практических работах можно принимать $K_{1,2} = 0,8$ для двухтрансформаторных подстанций, питающих потребители I и II категории надежности.

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

Коэффициент загрузки K_z 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 $K_3 = 0,7-0,85$, 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. Поэтому выбор количества и мощности трансформаторов осуществляется в два этапа.

При решении вопроса электроснабжения объектов с небольшими нагрузками (до $260 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, склады, гаражи и т. п.), чтобы не проектировать подстанции с трансформаторами малой мощности, допускается присоединять эти нагрузки к подстанции близлежащего цеха. Оценить целесообразность присоединения указанных нагрузок к подстанции с учетом расстояния L между подстанцией и вводным распределительным шкафом цеха присоединенной нагрузкой S_p можно по приближенной эмпирической формуле:

$$S_p \cdot L \leq 15000 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{м}.$$

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

Необходимость в компенсации реактивной мощности возникает тогда, когда величина потребления реактивной мощности предприятием превосходит значение экономически обоснованной величины реактивной мощности $Q_э$. Величина $Q_э$ задается через нормативное значение коэффициента реактивной мощности $tg\varphi_{эн}$ с учетом уровня питающего напряжения предприятия. В расчетно-графической работе значение реактивной мощности можно принять 0,35, так как установку компенсирующих устройств рекомендуется проводить на низком напряжении.

Экономически обоснованная величина реактивной мощности составит:

$$Q_э = P_{py} \cdot tg\varphi_{эн},$$

где P_{py} – расчетная активная нагрузка подстанций;

$tg\varphi_{эн}$ – нормативное значение коэффициента реактивной мощности предприятия, задаваемое энергосистемой (0,35).

Необходимая мощность компенсирующих устройств определяется как

$$Q_{ку} = Q_{py} - Q_э.$$

Найденная величина мощности компенсирующих устройств распределяется в сетях до 1000 В.

Компенсирующие устройства на низком напряжении между подстанциями распределяют пропорционально расчетным реактивным нагрузкам подстанций (цехов).

$$Q_{ку\ ni} = \frac{Q_{ку} \cdot Q_{pi}}{\sum Q_{pi}},$$

где $Q_{ку\ ni}$ - необходимая мощность низковольтных конденсаторных установок i -го цеха (подстанции);

Q_{pi} - расчетная реактивная мощность i -го цеха (подстанции);

$\sum Q_{pi}$ - суммарная расчетная реактивная мощность потребителей на низком напряжении, где будет проведена компенсация.

Полученные расчетные мощности $Q_{ку\ ni}$ распределяют между трансформаторами цеха и округляют до ближайших стандартных значений комплектных конденсаторных установок. В целях удобства регулирования компенсируемой мощности целесообразно конденсаторную установку принимать регулируемой.

После расчета и выбора всех компенсирующих устройств проверяют баланс реактивной мощности на границе раздела:

$$Q_{ку} \leq Q_{ку\ факт},$$

где $\sum Q_{ку\ факт}$ - суммарная фактическая мощность компенсирующих устройств.

После распределения компенсирующих устройств между подстанциями необходимо определить фактические коэффициенты загрузки трансформаторов подстанций. Если они значительно отличаются от рекомендуемых, необходимо произвести корректировку числа или мощности трансформаторов в каждом цехе.

3.3. ВЫБОР СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ И ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. РАСЧЕТ ЕЁ РЕЖИМА РАБОТЫ

Выбор оптимальной схемы электроснабжающих сетей должен производиться на основе технико-экономических расчетов с учетом размеров города, микрорайона, перспективы их развития, существующих сетей, источников питания и других условий.

Распределительные сети 10(6) кВ рекомендуется использовать для совместного питания городских коммунально-бытовых и небольших промышленных потребителей.

Построение схемы электрической сети по условиям обеспечения необходимой надежности электроснабжения потребителей, как правило, выполняется применительно к основной массе электроприемников рассматриваемого района города. При наличии отдельных электроприемников более высокой категории или особой группы первой категории схема дополняется необходимыми мерами по созданию требуемой надежности электроснабжения этих приемников.

В городских распределительных сетях применяются преимущественно три типа схем сетей и их комбинации.

Радиально-магистральная распределительная сеть 0,4-10(6) кВ без резервирования линий и трансформаторов (рисунок 2).

Сеть характеризуется наименьшими капиталовложениями из-за отсутствия резервирования элементов сети и выбора параметров всех элементов сети по условиям нормального режима работы.

Схема применяется для электроснабжения потребителей III категории в поселках городского типа при выполнении сетей до и выше 1 кВ воздушными линиями.

При повреждениях любой линии прекращается электроснабжение соответствующей группы потребителей.

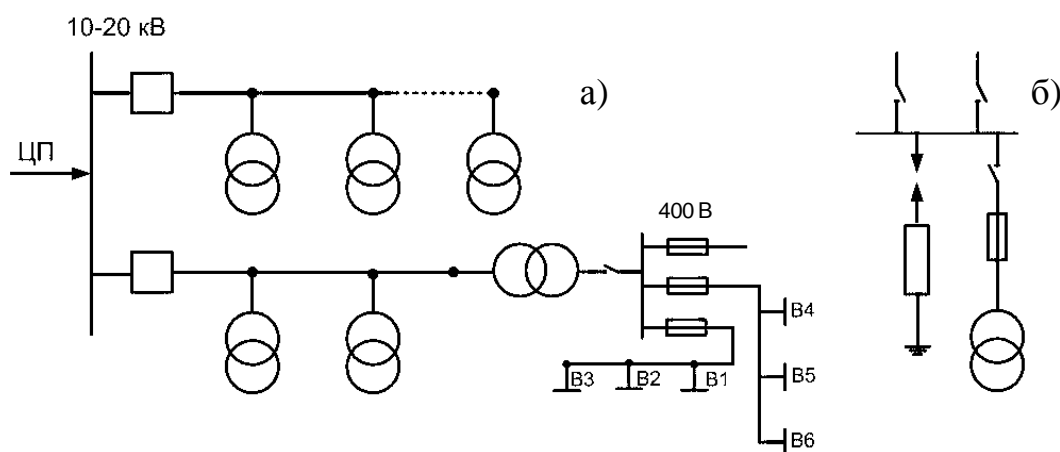


Рисунок 2 - Радиально-магистральная распределительная сеть 0,4-10 кВ: а) структурная схема; б) схема ТП 10/04; В1-В6- вводы в дома

Петлевая неавтоматизированная распределительная сеть 0,4-10(6) кВ представлена на рисунке 3.

По условиям надежности электроснабжения петлевые линии 10(6) кВ следует присоединять к территориально разным центрам питания или разным секциям двухтрансформаторных подстанций. Линии 0,4 кВ также следует выполнять петлевыми с присоединением к разным подстанциям или разным трансформаторам одной подстанции. Если в районе, обслуживаемом петлевыми сетями 0,4 кВ или 10(6) кВ, имеются отдельные электроприемники или потребители I категории надежности электроснабжения, то в таких случаях применяется выборочное резервирование с установкой АВР у потребителя.

Петлевые линии могут выполняться как воздушными, так и кабельными. В нормальном режиме петлевые линии 10 кВ размыкаются на одной из ТП. Приведенная схема является основной для электроснабжения потребителей II-III категории жилых районов города с застройкой зданиями до 9-12 этажей.

Двухлучевая распределительная сеть 10(6) кВ (рисунок 4) с двухсторонним питанием при условии подключения взаиморезервирующих линий 10(6) кВ к разным независимым источникам является основной для электроснабжения электроприемников первой категории. При этом на шинах

0,4 кВ двухтрансформаторных ТП или непосредственно у потребителя должно быть предусмотрено АВР. Линии 10(6) кВ и 0,4 кВ обычно выполняются кабельными.

Помимо вышеприведенных схем применяются различные сочетания этих схем, а также сложнзамкнутые сети напряжением до 1000 В.

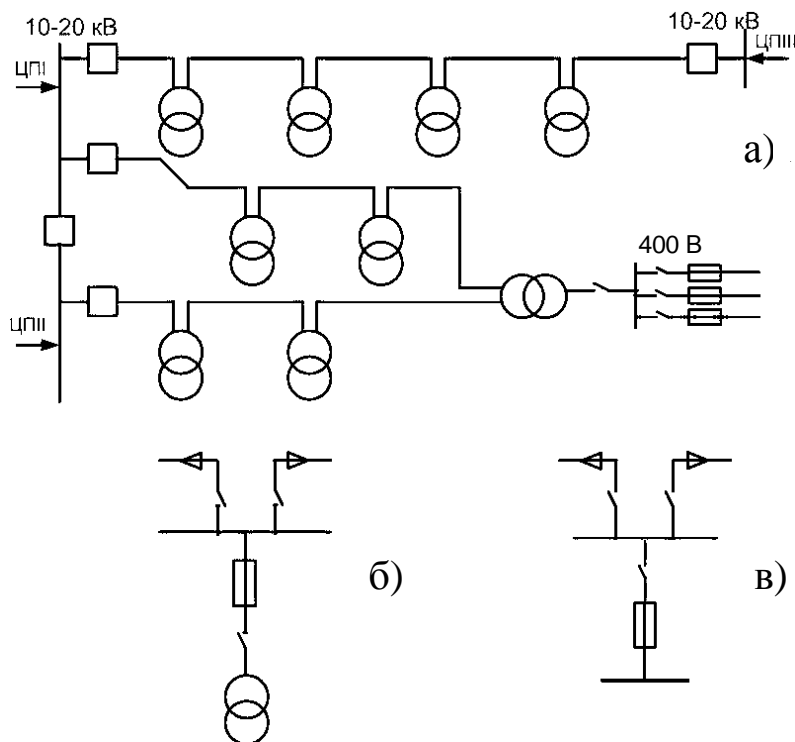


Рисунок 3 - Петлевая неавтоматизированная распределительная сеть 0,4-10(6) кВ: а) структурная схема; б) схема подстанции; в) ввод в здание

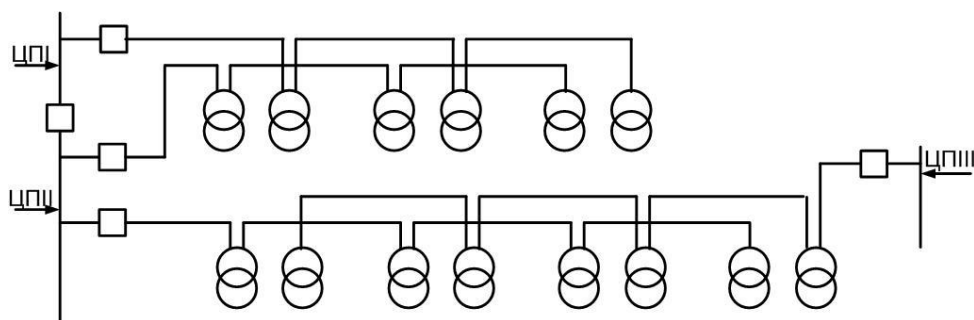


Рисунок 4 - Двухлучевая распределительная сеть 10-20 кВ с резервированием линий и трансформаторов

3.4. ВЫБОР КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Сечения проводов и жил кабелей выбираются по следующим условиям:

- 1) по экономической плотности тока;

- 2) по нагреву длительным расчетным током и током послеаварийного режима;
 - 3) по нагреву от кратковременного выделения тепла током КЗ;
- Выбор сечения по экономической плотности тока осуществляется:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где I_p - расчетный длительный ток в линии;

$j_{\text{эк}}$ - экономическая плотность тока.

Выбор сечения по нагреву током производится из условия:

$$I_{p \max} \leq I_{\text{доп}},$$

где $I_{p \max}$ - максимальный расчетный ток в линии в послеаварийном режиме.

Он зависит от схемы присоединения трансформаторов к источнику питания.

При выборе сечения кабельной линии к допустимым токовым нагрузкам, приводимым в таблицах ПУЭ, необходимо вводить поправочные коэффициенты на реальные условия прокладки кабеля.

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий количество параллельно проложенных кабелей в траншее;

K_2 - температурный коэффициент, учитывающий тепловое сопротивление грунта (можно принять $K_2=1.$);

K_3 - коэффициент, учитывающий перегрузку кабельной линии.

В послеаварийном режиме для кабелей напряжением 6-10 кВ с бумажной изоляцией допускается перегрузка на 30% в течение 6 часов в сутки, не более чем в течение 5 суток, для кабелей с пластмассовой изоляцией перегрузка допускается не более 20%.

Тогда условие выбора будет иметь вид:

$$I_{p \max} \leq I'_{\text{доп}}.$$

По термической стойкости определяют минимальное сечение проводников по формуле:

$$F_{\min} \geq \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{c},$$

где I_{∞} - установившийся ток короткого замыкания в амперах, при $t_n \leq 2$ с можно принять $I_{\infty} = I_{\text{но}}$;

t_n - приведенное время действия тока короткого замыкания, оно складывается из времени действия релейной защиты и времени отключения выключателя;

$$t_n = t_{\text{рз}} + t_{\text{о.в}},$$

t_n в работе принять 0,5-0,7 с для линий к трансформаторам и двигателям и высоковольтным установкам, $t_n=1,0-1,2$ с для линий к РП и $t_n=1,5-2,0$ с для питающих линий к ГПП (ПГВ);

c – коэффициент теплового импульса, для кабелей до 10 кВ с медными жилами $c=140$, с алюминиевыми $c=90$ $A \cdot c^{0,5}/мм^2$.

Из всех сечений, выбранных по каждому из условий, принимается большее сечение, удовлетворяющее всем условиям.

3.5. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Система учета и измерений определяется схемой электроснабжения, количеством и мощностью трансформаторов, характером присоединенных потребителей.

Учет электроэнергии подразделяется на расчетный и технический.

Расчетным учетом электроэнергии называется учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее. Счетчики, устанавливаемые для расчетного учета, называются расчетными счетчиками. Расчетные счетчики активной и реактивной энергии должны устанавливаться:

а) для каждой отходящей ЛЭП, принадлежащей потребителям;

б) на подстанции, принадлежащей потребителю, на вводе ЛЭП в подстанцию.

Допускается установка счетчиков на стороне низшего напряжения трансформаторов в случаях, когда трансформаторы тока на стороне ВН не обеспечивают требуемой точности учета.

Технический учет необходим для осуществления хозрасчета внутри предприятия, разработки и составления удельных норм расхода электроэнергии, контроля за расходом электроэнергии подразделениями предприятия. Поэтому технический учет осуществляется по всем отходящим линиям высокого напряжения.

Классы точности счетчиков и измерительных трансформаторов согласно требованиям ПУЭ должны быть не ниже указанных в таблице 7.

Для счетчиков реактивной энергии класс точности может выбираться на одну ступень ниже.

Предприятия, рассчитывающиеся с энергосистемой по ценовым категориям, учитывающим расход электроэнергии за каждый час, должны устанавливать информационно-измерительную систему (АСКУЭ) и многотарифные электронные счетчики типов СТ65605, СЭТ-4ТМ, ПСЧ-3А или аналогичные.

Измерение тока должно производиться в цепях всех напряжений, где оно необходимо для систематического контроля технологического процесса или работы оборудования. На ГПП или РП это, как правило, на вводах и отходящих линиях. В цепях переменного тока амперметр устанавливают в одной фазе, за исключением дуговых электропечей, где измерения тока должны осуществляться в каждой фазе.

Классы точности приборов учета

Точка учета	Счетчик		Измерительный трансформатор	
	расчетный	технический	расчетный	технический
Трансформаторы ГПП 10-63 МВ·А	1,0	2,0	0,5	1,0
Прочие объекты	2,0	2,0	0,5	1,0

Измерение напряжения должно производиться в цепях всех напряжений. Допускается установка одного вольтметра на секции с переключением на несколько точек измерения (измерение фазного и линейного напряжений).

На подстанциях допускается измерять напряжение только на стороне низшего напряжения, если установка трансформаторов напряжения на стороне высшего напряжения не требуется для других целей.

Измерение активной и реактивной мощности должно производиться на границе раздела электрической сети (балансовой принадлежности) между энергоснабжающей компанией и потребителем.

3.6. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ДО И СВЫШЕ 1000 В

В соответствии с ПУЭ и ГОСТ Р 50571.2-94 в ЭУ до 1000 В режим нейтрали и открытых проводящих частей обозначается двумя буквами: первая непосредственно указывает на режим заземления нейтрали источника питания, вторая – состояние открытых проводящих частей электроустановок. В обозначениях принято использование начальных букв французских слов:

T (terre – земля) – заземлено;

N (neutre – нейтраль) – присоединено к нейтрали источника;

I (isole) – изолировано.

Согласно вышеприведенным нормативным документам предусматриваются три режима заземления нейтрали и открытых проводящих частей:

TT – нейтраль источника и ОПЧ электрооборудования глухо заземлены (заземление может быть как совмещенное, так и раздельное), рисунок 5;

IT – нейтраль источника изолирована или имеет связь с землей через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, ОПЧ электрооборудования глухо заземлены (рисунок 6);

TN – нейтраль источника глухо заземлена, ОПЧ электрооборудования присоединены к нейтральному проводу.

В свою очередь режим **TN** имеет три разновидности сетей:

TN–С – нулевые рабочий (**N**) и защитный (**PE**) проводники объединены (**С** – от английского слова combined – объединенный) на всем протяжении

(рисунок 7). Объединенный нулевой проводник называется **PEN** по первым буквам английских слов protective earth, neutral – защитная земля, нейтраль.

TN-S – нулевой рабочий проводник **N** и нулевой защитный проводник **PE** разделены (**S** – от английского слова separated – отдельный), рисунок 8.

TN-C-S – нулевые рабочий и защитный проводники объединены на головных участках сети в проводник **PEN**, а далее разделены на проводники **N** и **PE** (рисунок 9).

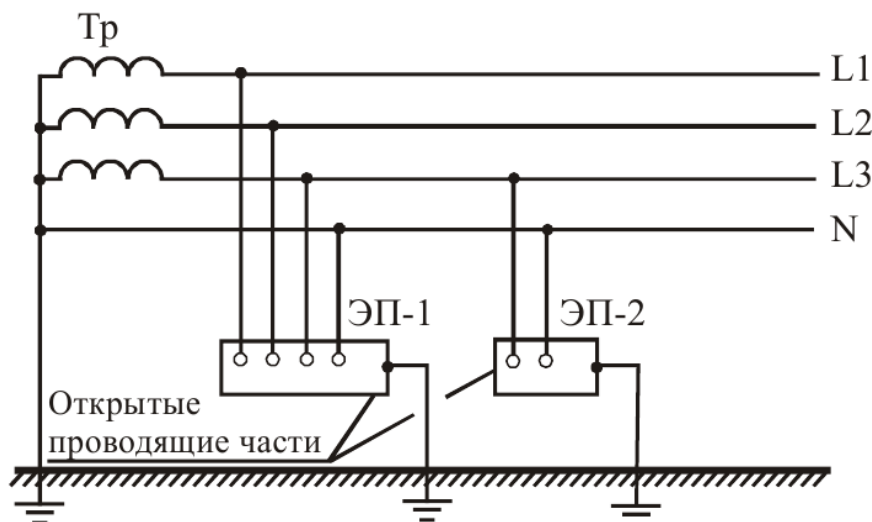


Рисунок 5 – Схема электрической сети с системой **TT**

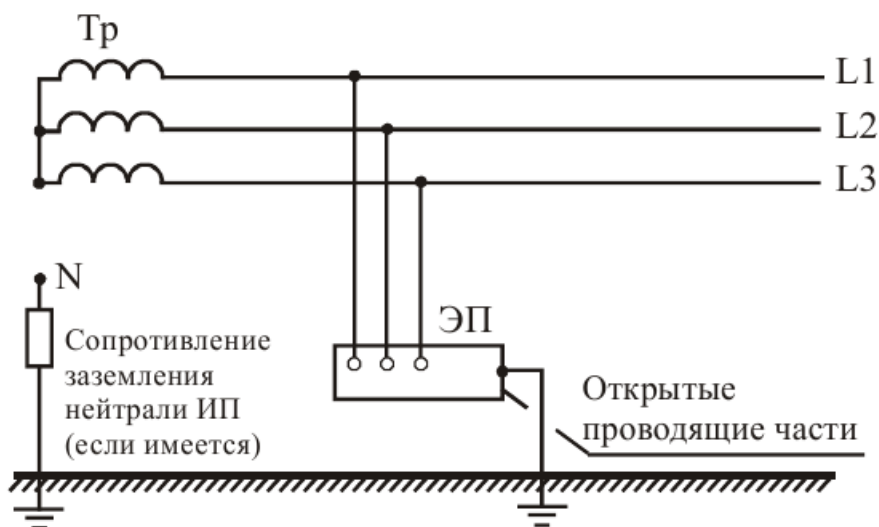


Рисунок 6 – Схема электрической сети с системой **IT**

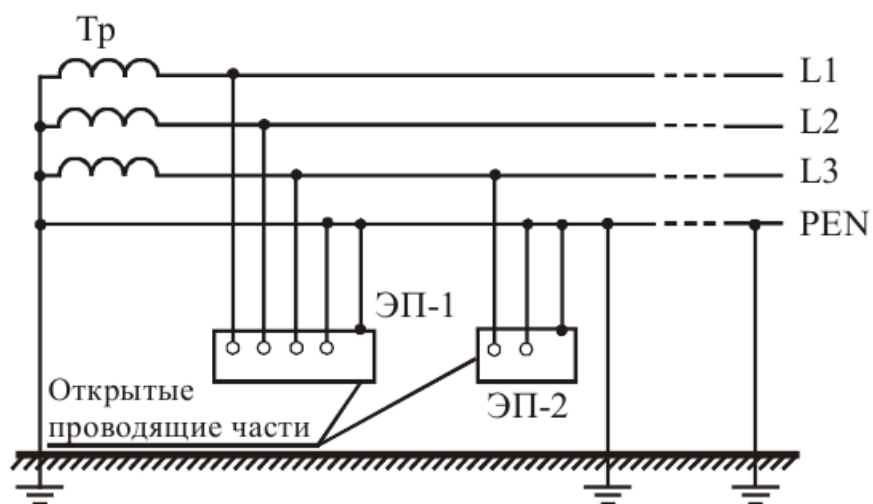


Рисунок 7 – Схема электрической сети с системой **TN-C**

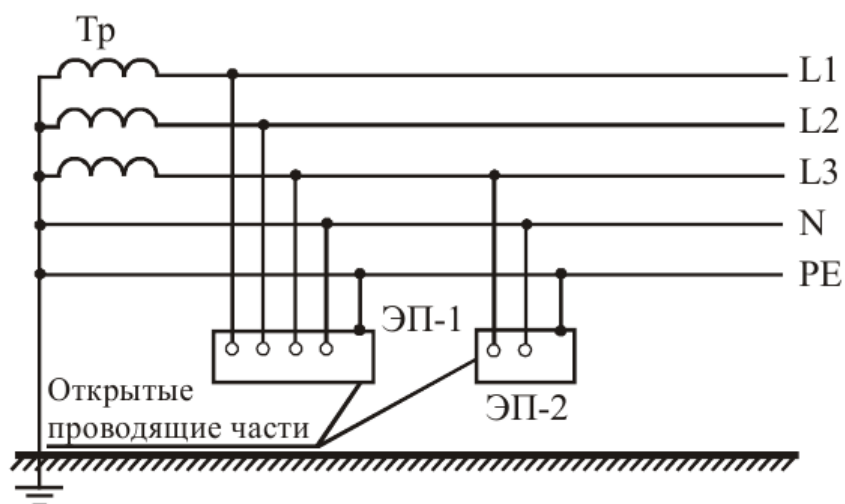


Рисунок 8 – Схема электрической сети с системой **TN-S**

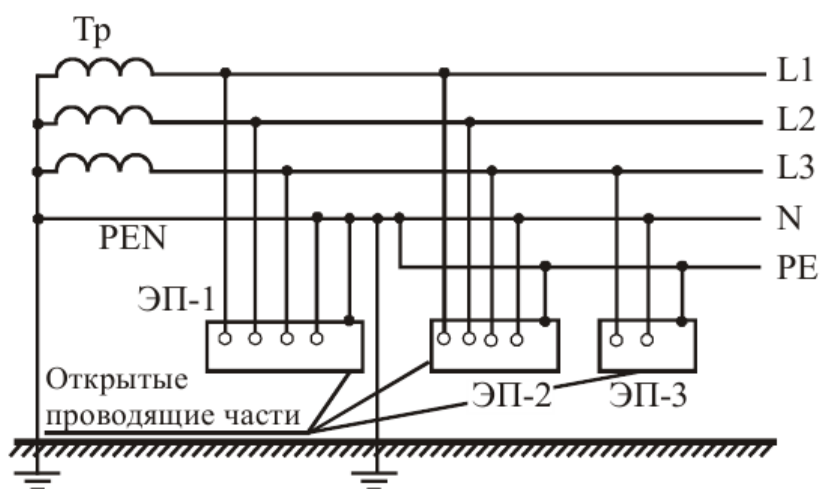


Рисунок 9 – Схема электрической сети с системой **TN-C-S**

Сеть TT. Для такой сети характерно то, что помимо нейтрали источника питания, открытые проводящие части ЭУ подключены к заземлению.

Электробезопасность такой сети обеспечивается применением УЗО, так как сам режим сети не позволяет защитить человека при косвенном прикосновении. Например, при возникновении замыкания фазы на корпус и равенстве сопротивления проводников сети и сопротивления заземляющего устройства напряжение прикосновения будет равно половине фазного, что является опасным и требует немедленного отключения электроустановки. А при токах однофазного короткого замыкания, которые имеют небольшое значение, не позволяет быстро сработать аппаратам защиты автоматическим выключателям или предохранителям. Отсюда следует обязательное применение УЗО. К тому же использование УЗО повышает пожаробезопасность таких сетей.

Бесперебойность электроснабжения в сетях ТТ при аварийных режимах (коротких замыканиях) не обеспечивается, так как требуется отключение ЭУ по условиям безопасности.

Поэтому сети ТТ рекомендуют применять для временных (передвижные, мобильные), расширяемых и изменяемых электроустановок.

Сеть IT. Нейтральная точка источника питания такой сети изолирована от земли или заземлена через значительное сопротивление (сотни Ом – несколько кОм). Защитный проводник ОПЧ ЭУ отделен от нейтрали источника питания.

Электробезопасность при однофазном замыкании на корпус в этой системе более высокая по сравнению с другими типами сетей, так как величина однофазного тока замыкания составляет единицы ампер. Следовательно, напряжение прикосновения крайне невелико и отсутствует необходимость немедленного отключения возникшего повреждения. Электробезопасность и пожаробезопасность может быть улучшена за счет применения УЗО.

Кроме того рассматриваемая система сети обладает более высокой надежностью электроснабжения потребителей. Однофазное замыкание не требует немедленного отключения.

Но для сети IT характерно возникновение перенапряжений неповрежденных фаз при однофазном замыкании на корпус ЭУ или на землю. Минимальное значение кратности перенапряжения составляет 1,73, к тому же высока возможность возникновения дуговых перенапряжений более высокой кратности из-за наличия сердечников в конструкции ЭУ или неметаллического замыкания на землю. Существенным недостатком такой сети является невозможность получить два уровня напряжений, что не позволяет включать в сеть однофазные и двухфазные потребители напрямую.

Сети IT нашли применение для питания ЭУ, требующих высокую степень надежности электроснабжения или повышенную электробезопасность (шахтное, карьерное электроснабжение).

Сеть TN-C. До последнего времени была и остается наиболее широко используемой системой сети. Но продолжительная их эксплуатация показала существенный недостаток, который заключается в невозможности обеспечить

высокую электробезопасность при косвенном прикосновении или обрыве проводника (фазного или нулевого).

Электробезопасность в сети **TN-C** при косвенном прикосновении обеспечивается отключением однофазных замыканий на корпус с помощью предохранителей или автоматических выключателей. Но при разветвленных сетях ток однофазного короткого замыкания имеет небольшое значение от десятков до сотен ампер. Вследствие этого время отключения существенно возрастает, а вероятность электропоражения человека, прикоснувшегося к металлическому корпусу аварийной установки, увеличивается. Кроме этого, в сети при однофазном коротком замыкании на корпус электроприемника (ЭП) возникает вынос потенциала по нулевому проводу на ОПЧ неповрежденного оборудования, в том числе отключенного и выведенного в ремонт, что также увеличивает вероятность поражения людей. Особую опасность в сети **TN-C** представляет обрыв (отгорание) нулевого провода. В этом случае все присоединенные за точкой обрыва металлические зануленные корпуса ЭП окажутся под фазным напряжением.

Использование УЗО в сетях невозможно, так как это связано с их неработоспособностью или большим количеством ложных срабатываний.

Пожаробезопасность сетей **TN-C** находится на низком уровне, так как при однофазных коротких замыканиях могут возникнуть значительные токи (килоамперы), которые приводят к возгоранию.

Бесперебойность электроснабжения в сети **TN-C** при различных коротких замыканиях не обеспечивается из-за значительных токов, и требуется отключение присоединения.

Сети вызывают электромагнитные возмущения в системе электроснабжения. Это связано с тем, что падение напряжения в нулевом проводнике и протекания тока по металлоконструкциям зданий и сооружений создает электромагнитные помехи. Они усиливаются при грозовых разрядах и однофазных КЗ со значительным током, протекающим в нулевом проводе. Поэтому на стадии проектирования и настройки защит в сети **TN-C** следует выполнять расчеты токов короткого замыкания (в том числе и однофазного короткого замыкания), что требует знание сопротивления всех элементов сети.

Сети **TN-C** нашли применение для подключения силовых электроприемников производственных зданий и сооружений.

Сеть TN-S. Сети с таким режимом заземления нейтрали и ОПЧ электроустановок называются пятипроводными. В них нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены.

Использование сети **TN-S** обеспечивает более высокий уровень электробезопасности по сравнению с системой **TN-C** при косвенном прикосновении за счет разделения нулевых проводников, а также из-за возможности использования УЗО. Хотя при пробое изоляции в сети **TN-S** также возникает вынос опасного потенциала на корпуса других электроприемников, связанных проводником PE. Но возможность использования УЗО в этом случае обеспечивает безопасность. А вот обрыв

нулевого рабочего проводника в сети **TN-S** не влечет за собой появления фазного напряжения на корпусах всех связанных данной линией питания ЭП за точкой разрыва. Пожаробезопасность сети **TN-S** при применении УЗО в сравнении с сетями **TN-C** существенно выше.

Надежность электроснабжения и возникновение перенапряжений в сети **TN-S** аналогично сети **TN-C**. Электромагнитная обстановка в сетях **TN-S** в нормальном режиме лучше, чем в сетях **TN-C**, так как **N** проводник изолирован и отсутствует ответвление токов в сторонние проводящие части зданий и сооружений.

Следует заметить, что наличие в сетях **TN-S** УЗО существенно снижает объем повреждений при возникновении однофазных коротких замыканий по сравнению с сетями **TN-C**, так как повреждение ликвидируется в начальной стадии.

В отношении проектирования, настройки защит и обслуживания сети **TN-S** по отношению к сетям **TN-C** являются более дорогими из-за необходимости прокладки пятого проводника.

Сети **TN-S** находят применение во вновь строящихся и реконструируемых зданиях административно-бытового назначения, а также осветительных установках производственных и близких к ним зданий и сооружений.

*Сеть **TN-C-S**.* Это комбинация двух сетей, **TN-C** и **TN-S**. Получила свое развитие в результате невозможности реконструкции части питающих сетей электроснабжения, относящихся к энергоснабжающей компании, но необходимости использования системы **TN-S** у потребителя. Для неё справедливы все преимущества и недостатки вышерассмотренных сетей **TN-C** и **TN-S**. Повышение электро- и пожаробезопасности возможно только в части сети, соответствующей системе **TN-S**. Нашли применение для реконструируемых зданий различного назначения.

В сетях с незаземленными нейтральными (6-35 кВ) токи при однофазном замыкании на землю протекают через распределенные емкости фаз, которые для упрощения анализа процесса условно заменяют емкостями, сосредоточенными в середине линий. Междофазные емкости при этом не рассматриваются, так как при однофазных повреждениях их влияние на токи в земле не сказывается (рисунок 10).

При нарушении изоляции одной фазы в какой-либо точке сети может возникнуть металлическое однофазное замыкание на землю (рисунок 10). Напряжение этой фазы относительно земли становится тогда равным нулю, напряжение остальных фаз относительно земли - междофазному напряжению, а зарядные токи этих двух фаз увеличиваются в $\sqrt{3}$ раза. Емкостные токи неповрежденных фаз также увеличиваются в соответствии с увеличением напряжения в $\sqrt{3}$ раза.

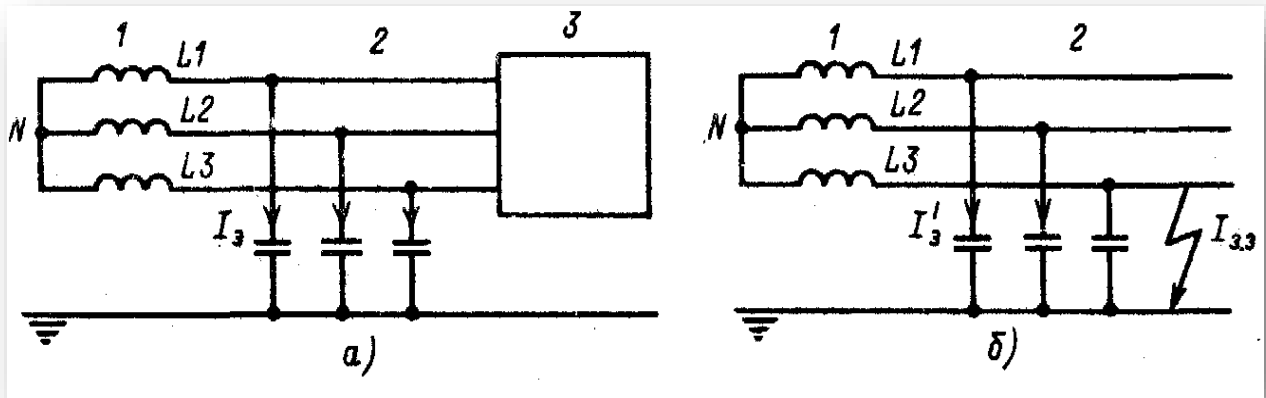


Рисунок 10 - Схема замещения сети с изолированной нейтралью:

а) нормальный режим работы; б) режим однофазного замыкания на землю в фазе L3; 1 – эквивалентный источник питания сети; 2 – эквивалентная линия; 3 – эквивалентный приемник, подключенный к сети

Отношение $k_{33} = U'_{НП} / U_{НП}$,

где $U'_{НП}$ и $U_{НП}$ – напряжения относительно земли неповрежденной фазы соответственно во время замыкания другой фазы (или других фаз) на землю и до замыкания, называют *коэффициентом замыкания на землю*. В данном случае $k_{33} = \sqrt{3}$.

Сумма зарядных токов фаз и тока замыкания на землю I_{33} должна равняться нулю. Учитывая сдвиг фазы между зарядными токами двух фаз, можно заключить, что

$$I_{33} = \sqrt{3} \cdot I'_3 = 3 \cdot I_3,$$

где I_3 – зарядный ток одной фазы в нормальном режиме работы;

I'_3 – то же при замыкании на землю в другой фазе.

В случае замыкания на землю через переходное сопротивление напряжение поврежденной фазы относительно земли будет больше нуля, но меньше фазного, а неповрежденных фаз – больше фазного, но меньше линейного. Меньше будет и ток замыкания на землю.

При однофазных замыканиях на землю в сетях с изолированной нейтралью треугольник линейных напряжений не искажается, поэтому потребители, включенные на междуфазные напряжения, продолжают работать нормально.

Ток замыкания на землю I_{33} по сравнению с нагрузочным током сети или ее отдельных линий относительно мал и может вызывать заметную перегрузку только при очень малых сечениях проводников поврежденной линии. Замыкание на землю практически не влияет на систему междуфазных напряжений и режимы работы приемников. Поэтому замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью считается не аварийным, а лишь аномальным режимом, при возникновении которого сеть и поврежденная линия могут оставаться включенными и в течение некоторого времени продолжать работу: питание потребителей не прерывается. Так как из всех видов нарушения

изоляция однофазные замыкания на землю составляют обычно 75%, то это обстоятельство существенно для обеспечения надежности питания потребителей.

Другим преимуществом рассматриваемого вида сетей является отсутствие устройств заземления нейтрали, что снижает стоимость сети.

В сетях с изолированной нейтралью необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства:

1) повышение напряжения двух фаз относительно земли во время замыкания на землю третьей приводит к тому, что изоляцию всех фаз относительно земли необходимо рассчитывать не на фазное, а на междуфазное напряжение. Только при напряжениях до 35 кВ это не вызывает существенного удорожания сети;

2) возможность образования в месте замыкания на землю перемежающейся электрической дуги обуславливает возникновение коммутационных перенапряжений с амплитудой $(4 - 6)U_{НОМ}$. Эти перенапряжения могут нарушить работу некоторых приемников и привести к пробое изоляции в других местах и других фазах сети;

3) тепловое действие дуги в месте замыкания на землю на изоляцию других фаз сети может привести к переходу замыкания на землю в двух- или трехфазное КЗ (и кабельных линиях и в других случаях близкого расположения фазных проводников друг к другу);

4) возникновение в сети и источниках питания при замыкании на землю системы токов обратной последовательности может привести к индуктированию в роторах синхронных генераторов токов двойной частоты и к существенному дополнительному нагреву роторов.

Из-за приведенных выше нежелательных явлений токи замыкания на землю не должны превышать некоторых максимально допустимых значений, находящихся обычно в пределах 10 - 30 А. Время, за которое требуется отыскать и отключить возникающее в сети замыкание на землю, определяется Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) и в большинстве случаев не должно превышать 2 ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения [Текст]: Учебник. Ростов н/Д: Феникс, 2011. 384с.
2. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий: [Текст]: Учебное пособие / Э.А. Киреева. М.: КНОРУС, 2011. – 368с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений/ Б.И. Кудрин. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 672с.
4. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учебное пособие / Г.Н. Ополева - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006.-480 с.
5. Правила устройства электроустановок: [Текст]: Все действующие разделы, 2007.-853с., ил.
6. Нормативные основы устройства и эксплуатации электроустановок: [Текст]: – Нормативно-технический сборник. – Барнаул, 2002. – 976с. (25 экз.).
7. Балашов О.П. Электроснабжение: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. 126с.
8. Бурдочкин Ю.С. Системы электроснабжения: Учебное пособие для студентов специальности 140211 всех форм обучения/Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2007. – 92 с.
9. Балашов О.П. Повышение эффективности электрической защиты в электроустановках зданий: Методические рекомендации по проектированию систем электробезопасности на объектах социальной инфраструктуры села / Рубцовский индустриальный институт.– Рубцовск, 2006. 41 с.
10. Балашов О.П. Системы электроснабжения: Методическое пособие к практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. 53 с.
11. Балашов О.П. Электроснабжение: Учебное пособие к курсовой работе для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. – 117 с.

Олег Петрович Балашов

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Методические указания к выполнению расчетно-графической и практических работ для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника»

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 13.09.17. Формат 60x84 /16.

Усл. печ. л. 3,31. Тираж 120 экз. Заказ 171630. Рег. №13.

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