

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка системы электроснабжения жилого микрорайона «Северный»
г. Видное

Обучающийся

А.Г. Самарин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа 49 страниц, 10 рисунков, 8 таблиц, 20 источников.

Актуальность темы работы состоит в необходимости обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей планируемого к постройке жилого микрорайона в г. Видное Московской области. Ввод в эксплуатацию зданий и других объектов на территории района, а также его функционирование в целом, невозможны без обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей. От правильности выполнения проекта системы электроснабжения и его соответствия нормативно-техническим документам зависит общая реализация электроснабжения микрорайона и его дальнейшее функционирование. Также на территории города планируется дальнейшая застройка новыми микрорайонами, результаты работы могут быть использованы в дальнейшем.

Объект исследования: микрорайон г. Видное.

Предмет исследования: система электроснабжения микрорайона.

Цель работы: обеспечение надежного, эффективного и качественного электроснабжения микрорайона.

Содержание работы включает вопросы: характеристика жилого микрорайона и потребителей электроэнергии; требования к системе электроснабжения микрорайона; разработка системы электроснабжения микрорайона.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	7
1.1 Характеристика жилого микрорайона и потребителей электроэнергии .	7
1.2 Требования к системе электроснабжения микрорайона	10
2 Разработка системы электроснабжения микрорайона	11
2.1 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения	11
2.2 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, выбор марок подстанций.....	15
2.3 Расчет высоковольтной питающей сети, выбор кабелей	20
2.4 Расчет низковольтной распределительной сети, выбор кабелей	23
2.5 Расчет токов короткого замыкания	26
2.6 Выбор устройств защиты и автоматики.....	31
2.7 Выбор системы коммерческого учета электрической энергии	38
2.8 Расчет заземления трансформаторных подстанций	41
Заключение	46
Список используемых источников.....	48

Введение

Жилые микрорайоны (МКР) – это социально-планировочные элементы городской среды, включающие жилую застройку, социальную инфраструктуру и территории для отдыха и занятий спортом. Проектирование и планирование МКР направлено на создание благоприятной среды для повседневной жизни населения. В прошлом микрорайоны проектировались и планировались с учётом потребностей населения в транспорте, шуме и санитарно-гигиенических условиях. Однако сегодня эти задачи требуют системного обновления территорий. При проектировании МКР важно учитывать их изолированность от транзитного движения автотранспорта, планировочные условия, такие как рельеф местности, зелёные насаждения и водные объекты, а также удобство пешеходных связей и проездов. Размер территории должен быть рассчитан с учётом параметров жилой застройки, этажности, плотности, организаций обслуживания и природной среды. Схема движения общественного транспорта должна обеспечивать равную доступность транспортного обслуживания для всех жителей микрорайона. Классический проект предполагает единую концепцию архитектурных решений для жилых домов и объектов инфраструктуры. Традиционный микрорайон включает несколько жилых групп из мало- и среднеэтажных домов с общим двором и учреждениями дошкольного воспитания и школой.

Эксплуатация зданий и других объектов на территории МКР, а также его функционирование в целом, невозможны без обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей. В состав электрических нагрузок входят:

- внутриквартирная бытовая техника и другие потребители;
- общедомовые электроприемники (электроприводы санитарно-технических устройств – канализации, вентиляции, водоснабжения

и т.д.; освещение лестничных клеток и квартирных площадок; лифты; домофоны и видеонаблюдение и т.д.);

- оборудование и другие электроприемники офисных и административных помещений;
- наружное освещение территории МКР;
- электротранспорт и его инфраструктура;
- дорожная инфраструктура и т.д.

Составление качественного проекта системы электроснабжения (СЭС) микрорайона выполняется на основе данных общей проектной документации, где указано расположение зданий и других объектов, места установки трансформаторных подстанций (ТП) и т.д. От правильности выполнения проекта СЭС и его соответствия нормативно-техническим документам (НТД) зависит общая реализация электроснабжения МКР и его дальнейшее функционирование. Поэтому разработка систем электроснабжения жилых микрорайонов должна выполняться грамотными профильными специалистами и коллективами с их непосредственным участием.

Электроснабжение МКР играет ключевую роль в обеспечении комфорта и безопасности проживания людей. Современные микрорайоны представляют собой сложные системы, состоящие из множества потребителей электроэнергии: жилых домов, общественных зданий, промышленных объектов и инфраструктуры. Одним из основных методов оптимизации электроснабжения является использование современных технологий и оборудования. Применение энергосберегающих ламп, датчиков движения и тепловых реле позволяет существенно снизить потребление электроэнергии и уменьшить нагрузку на электросеть. Важным аспектом является правильное распределение нагрузки между потребителями. Для этого необходимо учитывать особенности каждого объекта и его потребность в электроэнергии. Например, жилые дома могут быть разделены на группы с разной степенью приоритета электроснабжения. Важным элементом является

наличие резервных источников питания. В случае аварии на основной линии электроснабжения резервные источники позволят обеспечить непрерывное питание потребителей. Ещё одним методом оптимизации электроснабжения является использование альтернативных источников энергии.

Актуальность темы работы состоит в необходимости обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей планируемого к постройке жилого микрорайона в г. Видное Московской области. Ввод в эксплуатацию зданий и других объектов на территории района, а также его функционирование в целом, невозможны без обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей. От правильности выполнения проекта системы электроснабжения и его соответствия нормативно-техническим документам зависит общая реализация электроснабжения микрорайона и его дальнейшее функционирование. Также на территории города планируется дальнейшая застройка новыми микрорайонами, результаты работы могут быть использованы в дальнейшем.

Объект исследования: микрорайон г. Видное.

Предмет исследования: система электроснабжения микрорайона.

Цель работы: обеспечение надежного, эффективного и качественного электроснабжения микрорайона.

Задачи работы:

- систематизировать характеристики МКР и потребителей электроэнергии;
- определить ключевые требования к системе электроснабжения микрорайона;
- с учетом проектной документации по инфраструктуре, разработать систему электроснабжения микрорайона.

Реализация предложенного проекта СЭС обеспечит ввод в эксплуатацию и дальнейшее использование всех объектов на территории МКР, что обеспечит дальнейшее развитие и расширение городской среды согласно плану застройки.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Характеристика жилого микрорайона и потребителей электроэнергии

Жилой микрорайон представляет собой территорию, на которой расположены жилые дома, общественные здания, объекты социальной инфраструктуры и инженерные коммуникации. В данном МКР имеются различные категории потребителей электроэнергии, такие как население, предприятия торговли и сферы услуг, а также административные и общественные здания. Население является основным потребителем электроэнергии, в жилых домах используются различные бытовые электроприборы, такие как холодильники, стиральные машины, телевизоры, компьютеры и осветительные приборы, электрические плиты и водонагреватели. Предприятия торговли и сферы услуг также потребляют значительное количество электроэнергии. В магазинах и торговых центрах используются холодильные установки, кондиционеры, освещение и другое оборудование. В офисах и предприятиях сферы услуг применяются компьютеры, принтеры, копировальные аппараты и другие электронные устройства. Административные и общественные здания также потребляют электроэнергию – в школах, больницах, культурных и спортивных учреждениях используются различные электроприборы и оборудование, такое как компьютеры, мультимедийное оборудование, освещение и вентиляция.

В составе инфраструктуры имеется множество различных зданий:

- многоквартирные жилые дома (МЖД), обозначены № 1-17 на генеральном плане МКР;
- школа (№ 18 на генплане);
- продовольственный магазин (№ 19 на генплане);
- гипермаркет (№ 20 на генплане).

Генплан микрорайона показан на рисунке 1.

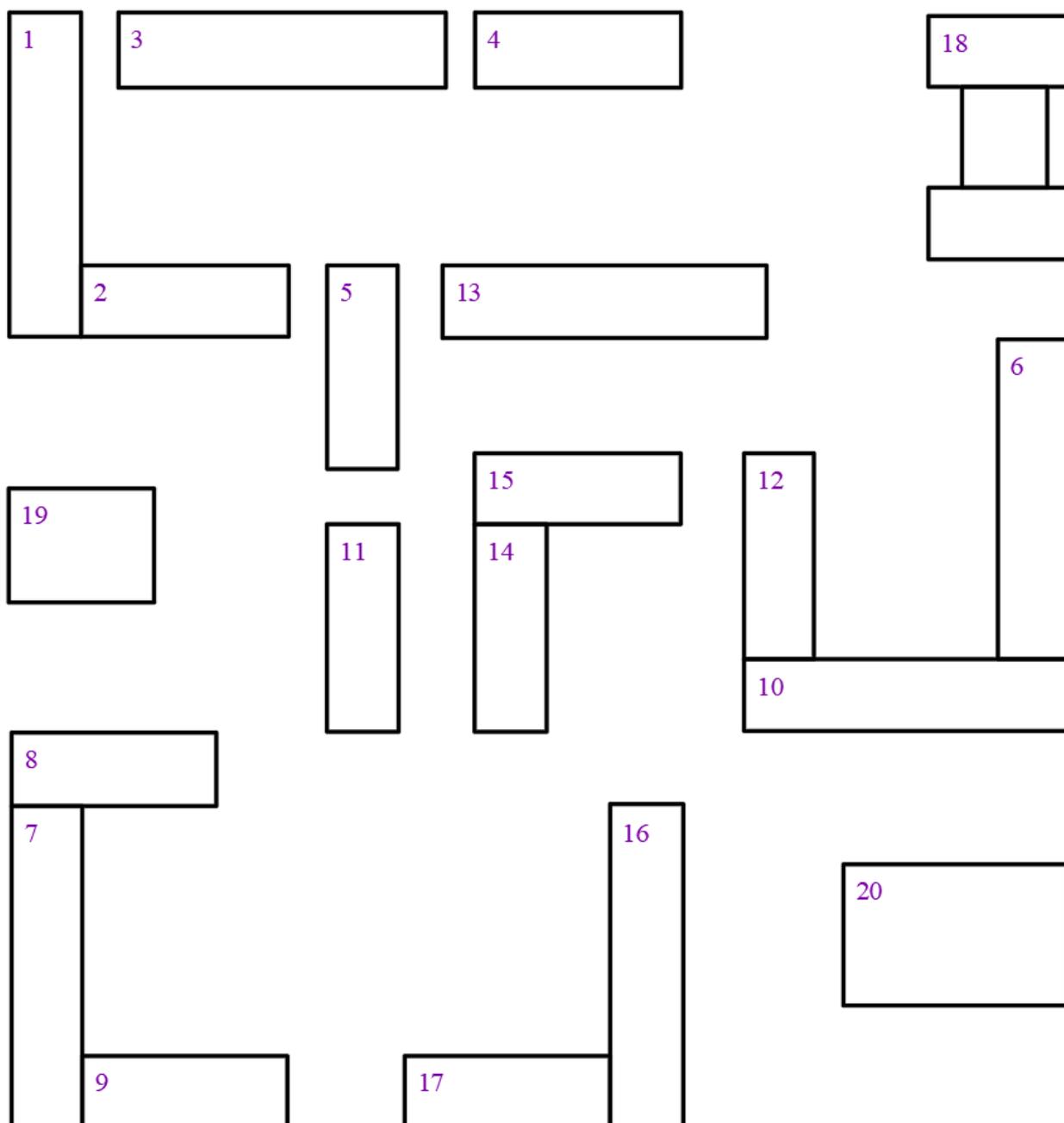


Рисунок 1 – Генеральный план микрорайона

«В жилых домах и других объектах обеспечена газификация, в местах приготовления пищи установлены газовые кухонные плиты, что сокращает потребление электрической энергии» [1].

Характеристики зданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики зданий

№ на генплане	Тип плит	Количество этажей	Количество подъездов	Количество квартир	Примечание
1	газ	9	3	110	-
2			2	158	-
3			3	110	-
4			2	158	-
5			2	158	-
6			3	110	-
7			3	110	-
8			2	158	-
9			2	158	-
10			3	110	-
11			2	158	-
12			2	158	-
13			3	110	-
14			2	158	-
15			2	158	-
16			3	110	-
17			2	158	-
18	-	2	-	-	Посещаемость 950 чел
19	-	1	-	-	780 м ²
20	-	3	-	-	2380 м ²

Большинство зданий относятся ко второй категории надежности электроснабжения. МЖД относятся к первой категории надежности, что обуславливается наличием лифтов. Продовольственный магазин относится ко второй категории. Гипермаркет и школа относятся к первой категории согласно требованиям к питанию систем пожарной сигнализации и пожаротушения.

Источник питания МКР, согласно проектной документации, – подстанция (ПС) энергосистемы 110/10/6 кВ, расположенная на расстоянии 1,21 км. Питание МКР будет выполнено по кабельной линии 10 кВ.

1.2 Требования к системе электроснабжения микрорайона

Согласно актуальным нормативно-техническим документам по обеспечению электроснабжения объектов городской инфраструктуры, СЭС микрорайона должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать надёжное и стабильное электроснабжение всех потребителей, включая жилые дома, общественные здания, предприятия и объекты инфраструктуры;
- иметь достаточную мощность для покрытия пиковых нагрузок и возможных аварийных ситуаций;
- быть безопасной и устойчивой к внешним воздействиям, таким как стихийные бедствия, аварии и техногенные катастрофы;
- учитывать перспективы развития микрорайона и возможность подключения новых потребителей;
- обеспечивать эффективное использование электроэнергии и снижение потерь;
- быть экономически выгодной для энергоснабжающей компании.

Для выполнения этих требований система электроснабжения микрорайона должна быть спроектирована и построена с учётом всех особенностей и потребностей микрорайона, а также с использованием современных технологий и материалов [3].

Выводы по разделу.

Систематизированы исходные данные для разработки системы электроснабжения жилого микрорайона. Согласно проектной документации составлен генеральный план с расположением всех зданий. Определены основные требования к СЭС.

2 Разработка системы электроснабжения микрорайона

2.1 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения

«Расчет силовых нагрузок зданий необходим для дальнейшего выбора числа и мощности трансформаторных подстанций, кабелей схемы электроснабжения, выбора электрических аппаратов на подстанциях, питающих район. Расчет ведется методом коэффициента спроса. Этот метод применяется для расчета электроснабжения крупных предприятий, жилых массивов с большим количеством электроприемников, когда влиянием отдельного электроприемника на общую нагрузку можно пренебречь. Электрические нагрузки МЖД рассчитываются по удельной мощности на одну квартиру. Нагрузки остальных зданий определяются по удельной мощности на единицу площади или вместимости» [20].

«Активная нагрузка квартир жилого дома:

$$P = P_{уд.кв} \cdot n, \quad (1)$$

где $P_{уд.кв}$ – удельная нагрузка, кВт/кв;

n – число квартир, шт.

Полная нагрузка складывается из нагрузки квартир и силовых приемников (лифтов, вентиляции, водяных насосов и др.):

$$P_C = k_{С.ДВ} \cdot \sum_{i=1}^n P_{ДВ.Н} \cdot N_{Э} \cdot N_{П}, \quad (2)$$

$$P_{Р.Л.} = k_{С.Л.} \cdot \sum_{i=1}^{nl} P_{n.i}, \quad (3)$$

$$P_P = (P + P_{РЛ} \cdot N_{П} + P_C) \cdot K_p, \quad (4)$$

где $P_{ДВ.Н}$ – расчетные мощности электродвигателей (ЭД), кВт/этаж;

n – число ЭД, шт.;

$k_{с.дв}$ – коэффициент спроса нагрузки;

$k_{с.л.}$ – коэффициент спроса лифтовых установок (при их наличии);

$P_{n.i}$ – мощность ЭД i -го лифта, кВт;

P_C – нагрузка силовых электроприемников дома, кВт;

$N_{\text{э}}$ – число этажей, шт.;

$N_{\text{л}}$ – число подъездов, шт.;

K_p – расчетный коэффициент запаса мощности.

Реактивная и полная нагрузка жилого дома:

$$Q_{ж.д} = P_{ж.д} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

$$S_{ж.д} = \sqrt{P_{ж.д}^2 + Q_{ж.д}^2}, \quad (6)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – нормативный тангенс угла» [9].

1) Расчет для МЖД № 1.

Для 110 квартир, $P_{\text{вд}} = 0,59$ кВт/кв [12].

$$P = 0,59 \cdot 110 = 64,9 \text{ кВт.}$$

Электропривод лифтов: $P_{р.л} = 4,5$ кВт.

Нагрузки МЖД:

$$P_{р.л.} = 0,8 \cdot 3 \cdot 4,5 = 10,8 \text{ кВт,}$$

$$P_C = 0,85 \cdot 1,5 \cdot 9 \cdot 3 = 34,43 \text{ кВт,}$$

$$P_p = (64,9 + 10,8 + 34,43) \cdot 1,04 = 111,93 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = 111,93 \cdot 0,292 = 32,65 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{111,93^2 + 32,65^2} = 116,60 \text{ кВА}.$$

2) Расчет по вместимости. Для школы: $P_{уд.} = 0,22$ кВт/место [12].

Нагрузки школы:

$$P = 0,22 \cdot 950 = 209 \text{ кВт},$$

$$P_{р.л.} = 0 \text{ кВт},$$

$$P_C = 0,75 \cdot 1,5 \cdot 2 \cdot 4 = 9 \text{ кВт},$$

$$P_{p.} = (209 + 0 + 9) \cdot 1,1 = 218,9 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 218,9 \cdot 0,329 = 71,95 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{218,9^2 + 71,95^2} = 230,42 \text{ кВА}.$$

3) Расчет по удельной мощности и площади. Для гипермаркета:

$P_{уд.} = 0,14$ кВт/м² [12]. Нагрузки гипермаркета:

$$P = 0,14 \cdot 2380 = 333,2 \text{ кВт},$$

$$P_{р.л.} = 0 \text{ кВт},$$

$$P_C = 0,65 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 9 = 26,33 \text{ кВт},$$

$$P_{p.} = (333,2 + 0 + 26,33) \cdot 1,15 = 363,47 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 363,47 \cdot 0,484 = 176,04 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{363,47^2 + 176,04^2} = 403,86 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов нагрузок

№ здания	Наименование	tgφ	P, кВт	P _л , кВт	P _с , кВт	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
1	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
2	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
3	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
4	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
5	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
6	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
7	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
8	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
9	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
10	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
11	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
12	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
13	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
14	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
15	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
16	МЖД	0,292	64,9	10,8	34,43	111,93	32,65	116,60
17	МЖД	0,292	88,48	7,2	22,95	119,84	34,95	124,83
18	Школа	0,329	209	0,0	9,00	218,90	71,95	230,42
19	Продовольственный магазин	0,698	156	0,0	7,20	164,28	114,67	200,34
20	Гипермаркет	0,484	333,2	0,0	26,33	363,47	176,04	403,86
Итого						2728,55	940,71	2899,10
Территория, освещение						8,93	7,87	11,90
Итого						2737,48	948,58	2911,00

«Расчет осветительной нагрузки территории выполняется по удельной мощности на единицу площади. Требуемая мощность освещения:

$$P_{po} = P_{y\partial.o} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где $P_{y\partial.o}$ – удельная нагрузка для светодиодного освещения территории, Вт/м²;
 F – площадь территории, м².

$$P_{po} = 0,1 \cdot 89024 \cdot 10^{-3} = 8,93 \text{ кВт}$$

В системе освещения используем светодиодные модули уличного освещения 3xSVT-96W.

Требуемое число светильников:

$$N = \frac{P_{po}}{P_{cv}}, \quad (8)$$

где P_{cv} – паспортная мощность светильника, кВт.

$$N = \frac{8,93}{0,288} \approx 31 \text{ шт.}$$

В системе освещения используем 31 светодиодных модуля уличного освещения 3xSVT-96W, установленных на опорах ОГКл-9 вдоль автомобильных дорог и ОГКл-6 в отдалении от дорог» [9]. План системы освещения приведен в графической части работы.

2.2 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, выбор марок подстанций

Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов являются ключевыми аспектами при проектировании электрических сетей, эти параметры определяют эффективность передачи электрической энергии,

долговечность оборудования и общую экономическую целесообразность проекта. Выбор числа и мощности трансформаторов зависит от типа электрической нагрузки, трансформаторы могут быть однофазными или трехфазными, а также различаться по напряжению. Мощность трансформатора определяется исходя из суммарной мощности всех потребителей в сети, это позволяет выбрать трансформатор с достаточной мощностью для обеспечения надежной и эффективной передачи энергии. Важно учитывать, что при проектировании трансформаторной подстанции необходимо учитывать как активную, так и реактивную мощность, которая может быть передана [13].

Расположение ТП 10/0,4 кВ и зоны охвата их электрических нагрузок, согласно проектной документации, показаны на рисунке 2.

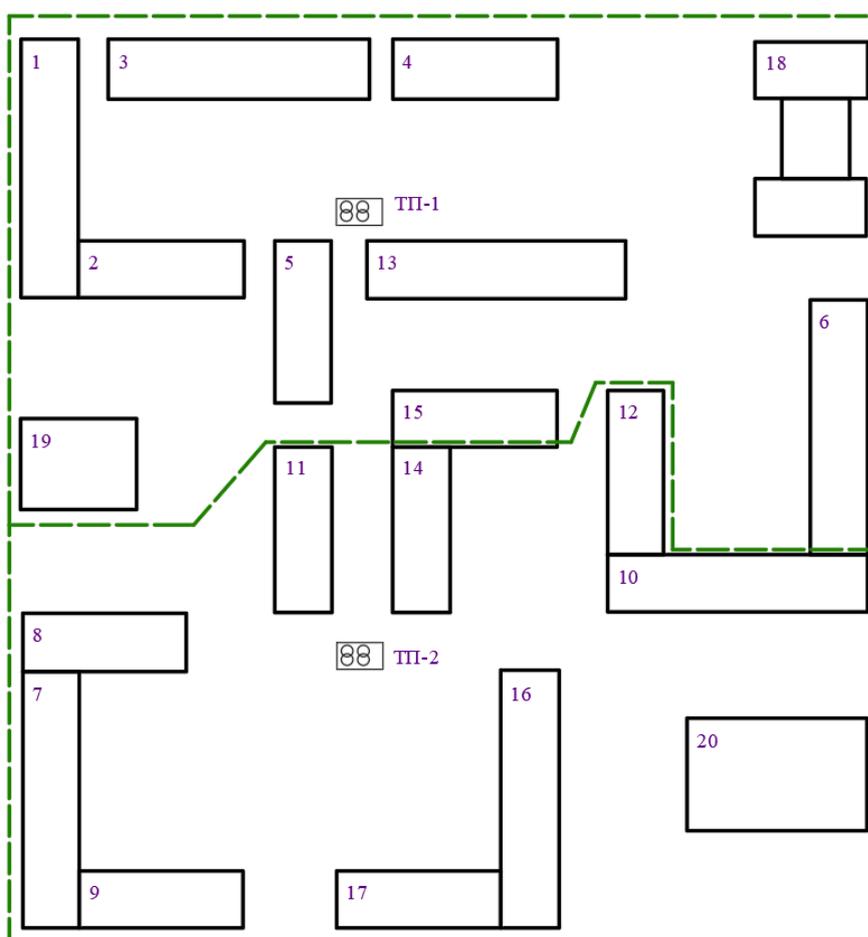


Рисунок 2 – Зоны охвата нагрузок ТП

Будут установлены комплектные подстанции 2КТПН-10/0,4, компоновка показана на рисунке 3.

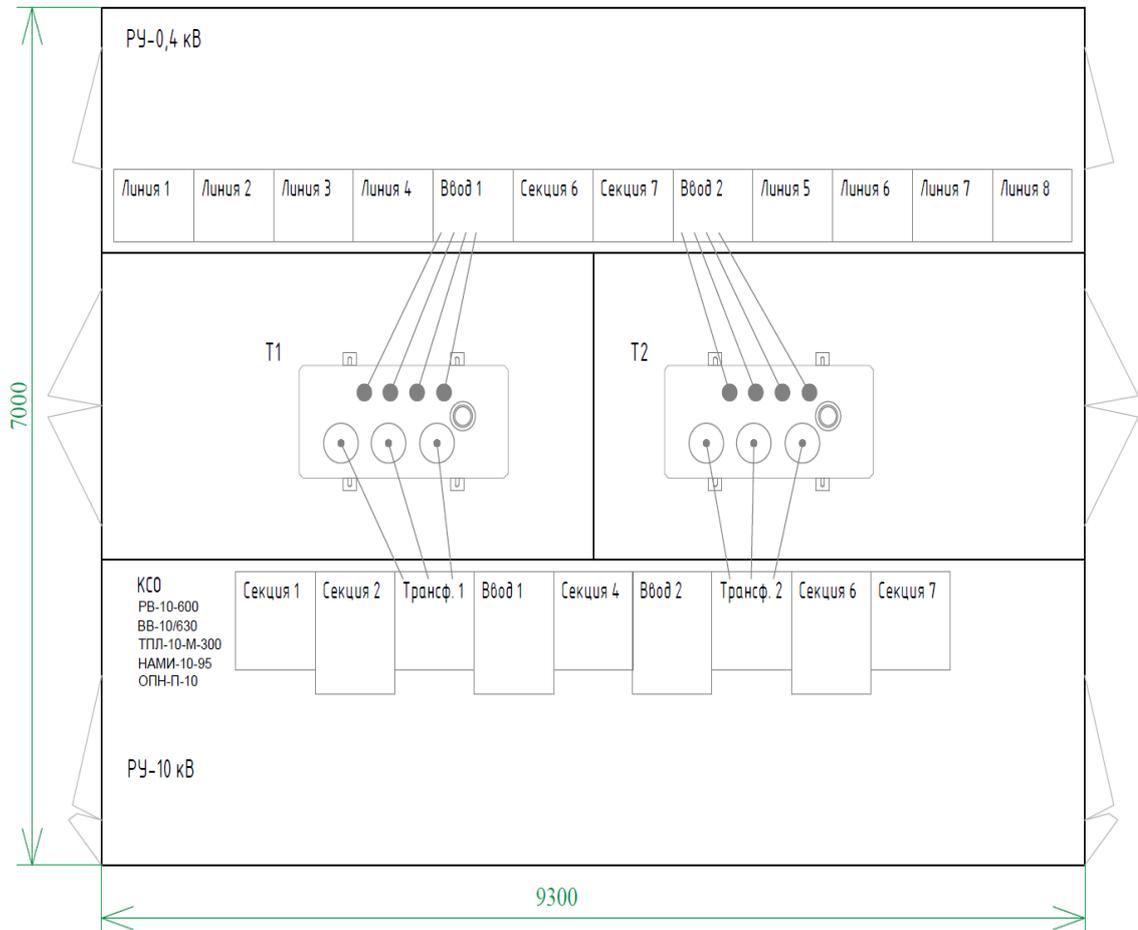


Рисунок 3 – Компоновка подстанции

«Оптимальная мощность силовых трансформаторов:

$$S_0 = \frac{S_p}{\beta \cdot N}, \quad (9)$$

где β – нормативный коэффициент загрузки;

N – количество трансформаторов, шт;

S_p – расчетная нагрузка, кВА.

Допустимая к передаче в сеть 0,4 кВ величина реактивной мощности (PM):

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{н.м.})^2 - P_p^2}, \quad (10)$$

где $S_{н.м.}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

P_p – расчетная активная нагрузка, кВт.

Требуемая для компенсации со стороны 0,4 кВ PM:

$$Q_{0,4} = Q_p - Q_1 \quad (11)$$

При полученном отрицательном значении $Q_{0,4}$, либо менее 50 квар, компенсация реактивной мощности (КРМ) не требуется. Далее, в случае выбора установок КРМ, рассчитывается остаточное значение PM согласно выражению» [6]:

$$Q_{HH} = Q_p - Q_{БК} \quad (12)$$

Для ТП-1 нагрузки, с учетом зоны охвата: 1319,2 кВт; 464,9 квар; 1398,71 кВА. Проведем расчеты по (9-11).

$$S_o = \frac{1398,71}{0,65 \cdot 2} = 1075,9 \text{ кВА.}$$

«Будет установлена КТПН с энергоэффективными трансформаторами ТМГ12-1250/10.

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,65 \cdot 1250)^2 - 1319,2^2} = 948,88 \text{ квар,}$$

$$Q_{0,4} = 464,9 - 948,88 = -483,99 \text{ квар} < 0.$$

КРМ не требуется.

Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме:

$$K_n = \frac{S_{p.комп.}}{S_{н.т.}}, \quad (13)$$

$$K_n = \frac{1398,71}{1250} = 1,12 \leq 1,4.$$

Послеаварийная перегрузка менее допустимой 40 %» [15].

Для всех ТП расчеты – в таблице 3.

Таблица 3 – Выбор трансформаторов

Подстанции	Sp.т, кВА	S.т, кВА	Qк, квар	Кп
ТП-1	1075,9	1250	-483,99	1,12
ТП-2	1152,7		-309,45	1,20

«Активные и реактивные потери мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_m = \Delta P_k / n \cdot [(P_p^2 + Q_p^2) / S_m] + n \cdot \Delta P_{xx}, \quad (14)$$

где ΔP_k – потери КЗ, кВт;

n – число трансформаторов, шт;

S_m – номинальная мощность, кВА;

ΔP_{xx} – потери ХХ, кВт.

$$\Delta Q_m = (U_k / n \cdot 100) \cdot [(P_p^2 + Q_p^2) / S_m] + (n \cdot I_{xx} \cdot S_m) / 100, \quad (15)$$

где U_k – напряжение КЗ, %;

I_{xx} – ток XX, %» [16].

Для ТП-1:

$$\Delta P_m = 13,5 / 2 \cdot [(1319,2^2 + 464,9^2) / 1,25^2] + 2 \cdot 1,35 = 4,81 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m = (6 / 2 \cdot 100) \cdot [(1319,2^2 + 464,9^2) / 1,25] + (2 \cdot 0,5 \cdot 1,25) / 100 = 59,45 \text{ квар}.$$

Расчеты сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Потери мощности в ТП и итоговые нагрузки района

Подстанции	ΔP , кВт	ΔQ , квар	$P_p + \Delta P$, кВт	$Q_p + \Delta Q$, квар	S'_p , кВА
ТП-1	4,81	59,45	1324,00	524,34	1424,05
ТП-2	5,13	66,39	1423,42	550,09	1526,01
Всего	9,94	125,85	2747,42	1074,43	2950,03

Питание ТП будет выполнено по высоковольтной сети 10 кВ кабельными линиями.

2.3 Расчет высоковольтной питающей сети, выбор кабелей

Источник питания МКР, согласно проектной документации, – ПС энергосистемы 110/10/6 кВ, расположенная на расстоянии 1,21 км. Питание МКР будет выполнено по кабельной линии 10 кВ.

Для высоковольтной питающей сети будут использованы современные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), которые представляют собой современную альтернативу традиционным кабелям с бумажной или резиновой изоляцией, они обладают рядом уникальных характеристик, которые делают их незаменимыми в различных отраслях промышленности и в повседневной жизни. Одним из ключевых преимуществ СПЭ-кабелей

является их высокая прочность и долговечность, изоляция из сшитого полиэтилена устойчива к механическим повреждениям, химическим воздействиям и температурным перепадам, это позволяет использовать такие кабели в экстремальных условиях, например, в сейсмоактивных зонах или в зонах с высокой коррозионной активностью. Ещё одним важным аспектом является высокая электрическая проводимость СПЭ-кабелей, они способны передавать большие токи без потерь, что делает их идеальными для передачи электроэнергии на большие расстояния. Это особенно важно в условиях масштабного строительства и модернизации энергосетей, таких как энергомагистраль и крупные промышленные объекты. Кроме того, СПЭ-кабели обладают рядом экологических преимуществ, что снижает риск их возгорания и способствует защите окружающей среды [4].

«Расчетный рабочий ток питающей линии:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n), \quad (16)$$

где n – число цепей, шт.

$$I_p = 2950,03 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2) = 85,2 \text{ А.}$$

Аварийный ток:

$$I_{ав} = 2950,03 / (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1) = 170,3 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил:

$$F_{эк} = I_p / j_{эк}, \quad (17)$$

где $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [5].

$$F_{\text{эк}} = 85,2 / 1,7 = 50,1 \text{ мм}^2.$$

С поправкой на аварийный ток выбирается кабель АПВБП-3×50, $I_{\text{доп}} = 180 \text{ А}$ [14].

$$I_{\text{ав}} = 170,3 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 180 \text{ А}.$$

«Потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (18)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

r_0 и x_0 – удельные сопротивления кабелей, Ом/км;

$\cos \varphi$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузки.

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 170,3 \cdot 1,21 \cdot 100}{10000} (0,62 \cdot 0,933 + 0,09 \cdot 0,36) = 0,7 \% \leq 5 \%$$

Потери не превышают допустимые 5%» [18].

Результаты расчетов – в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор и проверка кабелей высоковольтной сети

Участок	Sm, кВА	Имакс, А	Кабель	Идоп, А	ΔU, %
ПС энергосистемы - ТП №1	2950,03	170,3	АПВБП-3×50	180	0,7
ТП №1 - ТП №2	1526,0	88,1	АПВБП-3×25	115	0,4

Кабели подходят по всем условиям.

2.4 Расчет низковольтной распределительной сети, выбор кабелей

Выбор схемы распределительной сети является одним из ключевых этапов при проектировании и эксплуатации энергетической инфраструктуры, который требует тщательного анализа множества факторов, включая технические возможности, экономические аспекты, экологические последствия и социальные требования. Важно учитывать технические параметры электрических сетей, такие как максимальная пропускная способность, допустимые потери напряжения, требования к надежности и безопасности. Необходимо выбрать схему, которая соответствует этим параметрам и обеспечивает эффективное распределение энергии по всей сети. Схема распределительной сети должна учитывать экологические аспекты, такие как воздействие на окружающую среду, включая шумовое и тепловое загрязнение, необходимо выбрать такие решения, которые минимизируют негативное воздействие на природу.. Таким образом, выбор схемы распределительной сети – это сложный процесс, требующий комплексного подхода, включающего технические, экономические, экологические и социальные аспекты.

В данном случае, с учетом расположения ТП, а также высоким требованиям по надежности электроснабжения ввиду наличия потребителей первой категории, будет использоваться радиальная схема распределительной сети [10]. Питание каждого здания будет выполнено от ТП по отдельной линии, что обеспечит высокую надежность СЭС и индивидуальное отключение участков, надежную работу аппаратов защиты КЛ.

Расчет для КЛ до МЖД №1. Расчетный ток КЛ, по (14):

$$I_{\max} = 116,6 / (\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1) = 168,3 \text{ А.}$$

Принимается кабель АВБШв 4×70, $I_{\text{дон}} = 200 \text{ А}$ [16].

«Индуктивным сопротивлением для сети 0,4 кВ можно пренебречь»

[14]. Потери напряжения в КЛ, по (18):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 168,3 \cdot 0,0731 \cdot 100}{400} (0,443 \cdot 0,96 + 0 \cdot 0,315) = 0,76 \% < 5 \%$$

Выбор кабелей сведен в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей распределительной сети

Участок	Ip, А	Сечение АВБШв, мм ²	Iдоп, А	ΔU,%
ТП-1--1	168,3	70	200	0,76
ТП-1--2	180,2	70	200	0,36
ТП-1--3	168,3	70	200	0,29
ТП-1--4	180,2	70	200	0,32
ТП-1--5	180,2	70	200	0,10
ТП-1--6	168,3	70	200	0,81
ТП-1--13	168,3	70	200	0,04
ТП-1--15	180,2	70	200	0,60
ТП-1--18	332,6	185	345	0,81
ТП-1--19	289,2	150	305	0,94
ТП-2--7	168,3	70	200	0,79
ТП-2--8	180,2	70	200	0,53
ТП-2--9	180,2	70	200	0,95
ТП-2--10	168,3	70	200	0,76
ТП-2--11	180,2	70	200	0,17
ТП-2--12	180,2	70	200	0,98
ТП-2--14	180,2	70	200	0,18
ТП-2--16	168,3	70	200	0,53
ТП-2--17	180,2	70	200	0,62
ТП-2--20	582,9	2·150	610	0,85

План прокладки КЛ показан на рисунке 4.

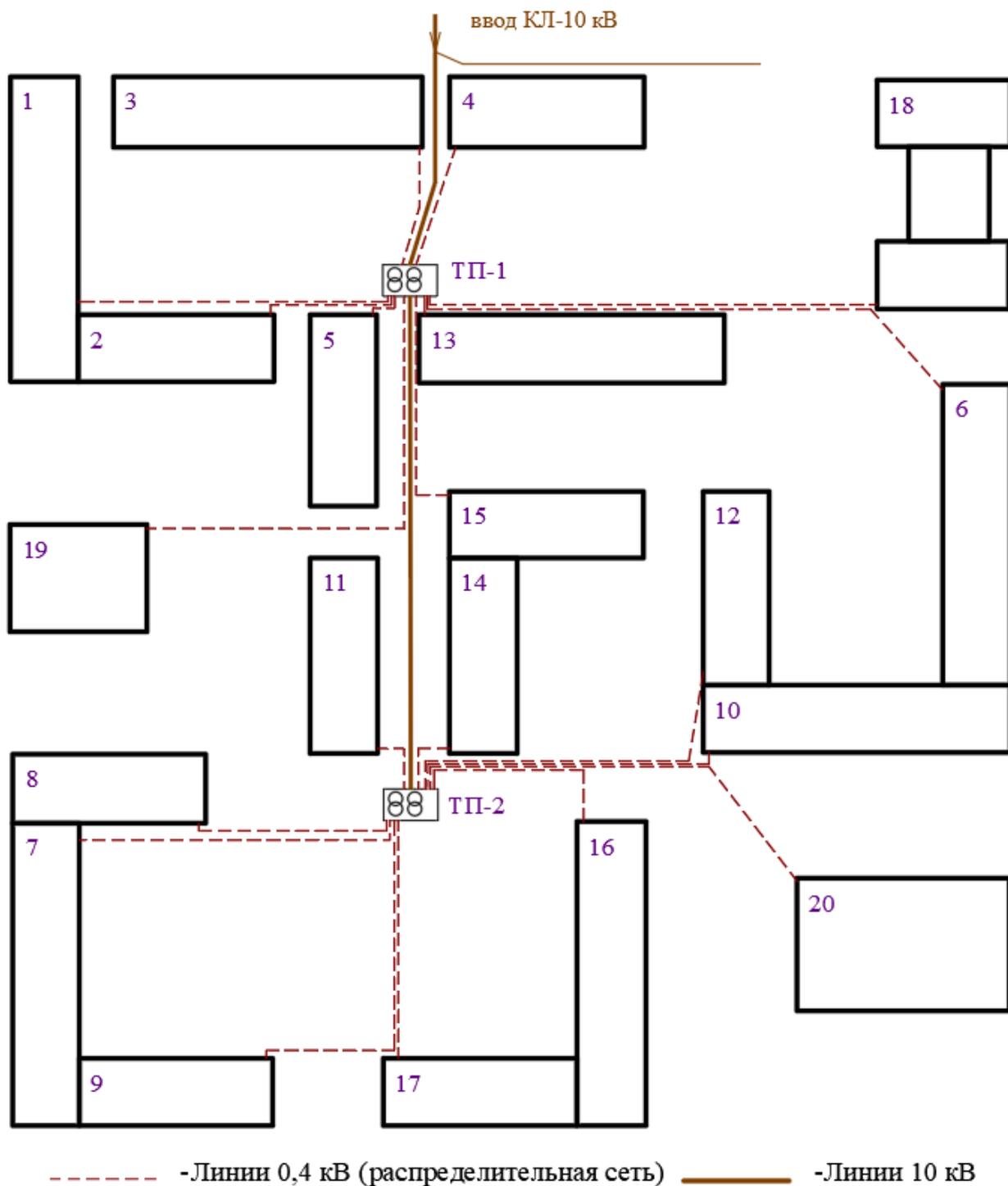


Рисунок 4 – План прокладки КЛ

Далее определяются токи короткого замыкания (КЗ).

2.5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ является важным этапом в проектировании электрических сетей, этот процесс позволяет определить максимальные токи, которые могут протекать через проводники при возникновении КЗ, что помогает избежать перегрузок и обеспечить безопасность эксплуатации. Ток КЗ зависит от площади сечения проводников, чем больше площадь сечения, тем меньше ток, который может протекать без перегрева и повреждения проводников. Разные типы проводников (например, медь и алюминий) имеют разные токопроводящие свойства, важно учитывать, что медные проводники могут выдерживать больший ток по сравнению с алюминиевыми. На основе этих факторов рассчитывается максимальный ток КЗ, который не приведет к повреждению проводников и не вызовет перегрузки в сети, этот расчет позволяет выбрать оптимальные параметры проводников и оборудования СЭС и обеспечить надежную работу электрической сети. Таким образом, расчет токов короткого замыкания является важным этапом в проектировании электрических сетей, который помогает минимизировать риски и обеспечить безопасность эксплуатации.

«Полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{\Sigma r^2 + \Sigma x^2}, \quad (18)$$

где Σr , Σx – активное и индуктивное сопротивление цепи, Ом.

Приведенное сопротивление участков:

$$x^o = x \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n} \right)^2, \quad (19)$$

где x – действительное сопротивление участка, Ом;

U_{δ} – базисное напряжение, кВ;

U_n – номинальное напряжение, кВ.

Для трансформатора:

$$x_m^o = \frac{U_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\text{нм}}}, \quad (20)$$

Приведенное сопротивление электрических линий:

$$x_n^o = x_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_{\delta}}{U_n} \right)^2, \quad (21)$$

где x_0 – удельное сопротивление, Ом/км;

l – длина линии, км.

Периодическая слагающая трехфазного тока КЗ» [11]:

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3Z}}, \quad (22)$$

«Ударный ток КЗ:

$$I_y = I_{\text{кз}}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (\kappa_y - 1)^2}, \quad (23)$$

где κ_y – ударный коэффициент;

T_a – постоянная затухания аperiodической слагающей тока.

$$\kappa_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \quad (24)$$

$$T_a = \sum R / 314 \cdot \sum X, \quad (25)$$

Расчет для участка ТП-1– здание №1.

«Сопротивления КЛ 0,4 кВ с учетом переходных сопротивлений контактов:

$$R_{КЛ0,4} = 32,4 + 15 = 47,4 \text{ мОм},$$

$$X_{КЛ0,4} = 8,1 + 5 = 13,1 \text{ мОм}.$$

С учетом сопротивлений трансформатора, КЛ 10 кВ и энергосистемы, эквивалентные сопротивления цепи:

$$R_{\Sigma} = 47,4 + 15,004 + 15 + 1,6 = 78,9994 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma} = 13,1 + 3,751 + 6 = 22,8499 \text{ мОм},$$

$$z = \sqrt{78,9994^2 + 22,8499^2} + 2,095 = 84,3326 \text{ мОм}.$$

Расчет токов КЗ, по (20–25):

$$I_{кз}^{(3)} = \frac{0,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 84,3326} = 2,739 \text{ кА};$$

$$T_a = 78,9994 / (314 \cdot 22,8499) = 0,0109;$$

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0109}} = 1,4;$$

$$I_y = 2,739 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,4 - 1)^2} = 3,153 \text{ кА};$$

$$I_{кз}^{(2)} = 2,739 \cdot \sqrt{3} / 2 = 2,372 \text{ кА};$$

$$I_{кз}^{(1)} = 0,55 \cdot 2,739 = 1,506 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов сведены в таблице 7» [11].

Таблица 7 – Результаты расчетов токов КЗ

Участок / точка КЗ	$I^{(3)}_{кз}$, кА	I_y , кА	$I^{(2)}_{кз}$, кА	$I^{(1)}_{кз}$, кА
К1	6,925	7,957	5,997	-
К2	4,327	4,937	3,747	2,380
К3	6,146	7,089	5,322	-
К4	5,614	5,954	4,862	3,088
ТП-1--1	2,739	3,153	2,372	1,506
ТП-1--2	3,514	4,010	3,043	1,933
ТП-1--3	3,586	4,089	3,106	1,972
ТП-1--4	3,599	4,103	3,116	1,979
ТП-1--5	4,181	4,737	3,621	2,300
ТП-1--6	2,085	2,418	1,805	1,147
ТП-1--13	4,365	4,935	3,780	2,401
ТП-1--15	3,050	3,499	2,641	1,677
ТП-1--18	3,553	4,053	3,077	1,954
ТП-1--19	3,075	3,527	2,663	1,691
ТП-2--7	2,690	3,098	2,329	1,479
ТП-2--8	3,174	3,636	2,749	1,746
ТП-2--9	2,566	2,960	2,222	1,411
ТП-2--10	2,730	3,143	2,364	1,501
ТП-2--11	3,976	4,514	3,443	2,187
ТП-2--12	2,527	2,916	2,188	1,390
ТП-2--14	3,944	4,480	3,415	2,169
ТП-2--16	3,111	3,567	2,694	1,711
ТП-2--17	3,023	3,469	2,618	1,663
ТП-2--20	3,728	4,244	3,228	2,050

Далее проводится выбор устройств защиты и автоматики СЭС.

2.6 Выбор устройств защиты и автоматики

Автоматический выключатель (АВ) – это электрическое устройство, предназначенное для защиты электрической сети от перегрузок и коротких замыканий, состоит из контактной группы, механизма расцепления и дугогасительной камеры.

АВ выполняет две основные функции:

- отключает электрическую цепь при перегрузке, когда ток превышает номинальный.
- отключает электрическую цепь при коротком замыкании, когда возникает соединение между фазами или фазой и землёй.

АВ классифицируются по различным параметрам, таким как номинальный ток, тип расцепителя (тепловой, электромагнитный или комбинированный), количество полюсов (однополюсный, двухполюсный, трёхполюсный) и другим. При выборе АВ необходимо учитывать следующие факторы:

- номинальный ток – максимальный ток, который автоматический выключатель способен проводить длительное время без перегрева;
- тип расцепителя – тепловой, электромагнитный или комбинированный. Тепловой расцепитель срабатывает при медленном увеличении тока, а электромагнитный – при быстром увеличении тока или коротком замыкании;
- количество полюсов – зависит от количества фаз электрической сети.

Правильный выбор автоматического выключателя обеспечивает надёжную защиту электрической сети и предотвращает возможные аварии и повреждения оборудования. «Для защиты линий распределительной сети 0,4 кВ требуется выбрать автоматические выключатели (АВ), условия выбора:

- по напряжению:

$$U_{ном} \geq U_c, \quad (28)$$

– по предельной коммутационной способности (ПКС):

$$ПКС > i_y, \quad (29)$$

– отстройка уставки теплового расцепителя:

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (30)$$

– проверка чувствительности» [17]:

$$K_q = \frac{I_{\kappa}^{(1)}}{I_{эм.р.}} > 1,1. \quad (31)$$

АВ для защиты КЛ к зданию №1 выбираем марки ВА-52-39/250.

Проверка по (28-31):

$$U_{ном} = 400 \geq 400 \text{ В},$$

$$1,1 \cdot 168,3 = 185,1 \text{ А},$$

$$I_{m.p.} = 200 > 185,1 \text{ А},$$

$$K_q = \frac{1506}{250 \cdot 5} = 1,2 > 1,1,$$

$$ПКС = 36 > 4,5 \text{ кА}.$$

Выбор и проверка АВ марки ВА-52-39 приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор и проверка автоматов

Участок	$1,1 \cdot I_p, A$	$I_{ном}, A$	$I_{т.р.}, A$	Кч
ТП-1--1	185,1	250	200	1,20
ТП-1--2	198,2	250	200	3,09
ТП-1--3	185,1	250	200	1,58
ТП-1--4	198,2	250	200	3,17
ТП-1--5	198,2	250	200	3,68
ТП-1--6	185,1	250	200	1,83
ТП-1--13	185,1	250	200	3,84
ТП-1--15	198,2	250	200	2,68
ТП-1--18	365,8	400	400	1,38
ТП-1--19	318,1	320	320	1,59
ТП-2--7	185,1	250	200	1,18
ТП-2--8	198,2	250	200	2,79
ТП-2--9	198,2	250	200	1,69
ТП-2--10	185,1	250	200	1,20
ТП-2--11	198,2	250	200	1,75
ТП-2--12	198,2	250	200	1,67
ТП-2--14	198,2	250	200	1,74
ТП-2--16	185,1	250	200	1,37
ТП-2--17	198,2	250	200	1,33
ТП-2--20	641,2	1000	800	1,64

Релейная защита и автоматика (РЗА) играют ключевую роль в обеспечении надежной и безопасной работы электрических сетей, эти системы предназначены для быстрого обнаружения и устранения неисправностей в электрических цепях, что позволяет предотвратить аварийные ситуации и минимизировать потери энергии. РЗА включают в себя различные устройства, такие как реле напряжения, реле тока и реле времени. Также стоит отметить, что РЗА активно развиваются с учетом

современных технологий и требований безопасности. Внедрение систем на базе микропроцессорных технологий позволяет значительно повысить точность и надежность защитных мер, а также снизить вероятность ошибок оператора, это особенно важно в условиях растущих нагрузок на электрические сети и увеличения количества подключенных устройств. Релейная защита и автоматика являются неотъемлемой частью современной электрической инфраструктуры, обеспечивая безопасность и надежность работы энергосистем, что в свою очередь способствует стабильному развитию экономики и повышению качества жизни людей.

«Микропроцессорные терминалы Сириус-2МЛ-02 обеспечат защиту питающей линии 10 кВ, внешний вид терминала показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Терминал Сириус-2МЛ-02

Определяются уставки защит.

Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (32)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки» [2].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,0852 = 0,426 \text{ кА.}$$

«МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{p.макс} , \quad (33)$$

где $I_{p.макс}$ – расчетный ток КЛ, А.

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 170,3 = 236,42 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T} , \quad (34)$$

где k_{cx} , n_T – коэффициенты схемы подключения и трансформации ТТ.

Коэффициент чувствительности защиты» [7]:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}} , \quad (35)$$

$$I_{CP} = 236,42 \cdot \frac{1}{200/5} = 5,91 \text{ А,}$$

$$k_u = \frac{5997}{236,42} = 25,4 \geq 1,5.$$

«Защита от замыканий на землю (ЗНЗ).

Ток срабатывания:

$$I_{C.3.} \geq k_{OTC} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (36)$$

где k_{OTC} – коэффициент отстройки;

k_B – коэффициент броска ёмкостного тока;

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (37)$$

где I_{CO} – ёмкостный ток кабеля, А/км;

L – длина линии, км» [7].

$$I_C = 0,8 \cdot 1,21 = 0,968 \text{ А},$$

$$I_{C.3.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,968 = 2,904 \text{ А}.$$

Автоматический ввод резерва питания (АВР) представляет собой систему, которая автоматически подключает резервный источник питания при отключении основного, этот метод является одним из ключевых инструментов для обеспечения надежного и бесперебойного энергоснабжения в критически важных объектах, таких как больницы, промышленные предприятия и центры обработки данных. АВР работает на основе мониторинга параметров сети, таких как напряжение, частота. Система анализирует текущие данные и сравнивает их с заданными параметрами, установленными для резервного источника питания, если обнаруживается отклонение, срабатывает автоматическое переключение. В результате, резервный источник питания подключается к сети в течение нескольких десятков миллисекунд, что минимизирует время простоя и минимизирует риски для безопасности. АВР также обеспечивает автоматическое восстановление основного питания при восстановлении нормальных параметров сети, это особенно важно для объектов, где даже кратковременное отключение может привести к серьезным негативным последствиям.

«АВР на шинах 0,4 кВ ТП выполняется на микропроцессорном терминале Сириус-АВР, внешний вид терминала показан на рисунке 7» [7].



Рисунок 7 – Терминал Сириус-АВР

«Уставка минимального напряжения:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (38)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В.

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

Уставка срабатывания реле контроля напряжения на другой секции шин:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (39)$$

$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

Уставка реле времени:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (40)$$

где t_1 – время отключения, с;

Δt – степень селективности, с» [7].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Автоматический ввод резерва питания является важным инструментом для обеспечения надежного и бесперебойного энергоснабжения МКР.

2.7 Выбор системы коммерческого учета электрической энергии

Автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) представляет собой комплекс технических и программных средств, которые позволяют эффективно управлять потреблением и распределением электроэнергии. Основная цель системы заключается в повышении энергоэффективности, снижении потерь электроэнергии и обеспечении прозрачности и точности учёта потребляемых ресурсов. Внедрение АСКУЭ в российских энергосетях началось в конце 1990-х годов, в рамках этой программы были разработаны и внедрены отечественные программные решения, которые позволили создать систему, способную эффективно взаимодействовать с различными элементами энергосистемы. АСКУЭ включает в себя такие компоненты, как счётчики электроэнергии, датчики и системы сбора данных, а также серверы для обработки и анализа полученных данных. АСКУЭ позволяет не только контролировать уровень потребления электроэнергии, но и анализировать его в реальном времени, система автоматически фиксирует и сохраняет данные о потреблении, что позволяет оперативно выявлять отклонения, которые могут быть вызваны как техническими неисправностями, так и внешними факторами, такими как перегрузки или несанкционированное подключение.

АСКУЭ будет реализована на основе оборудования от АО «Энергомера» [19]. «Учет электроэнергии и подключение потребителей ТП к системе АСТУЭ осуществляется счетчиками Энергомера СЕ 303, установленными на фидерах 10 и 0,4 кВ ТП и подключенными к устройствам сбора и передачи данных (УСПД) СЕ805М через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. УСПД и концентраторы установлены на каждой секции шин 10 кВ и 0,4 кВ.

Схема сбора и передачи данных с шин 10 кВ ТП на диспетчерский пункт приведена на рисунке 8.

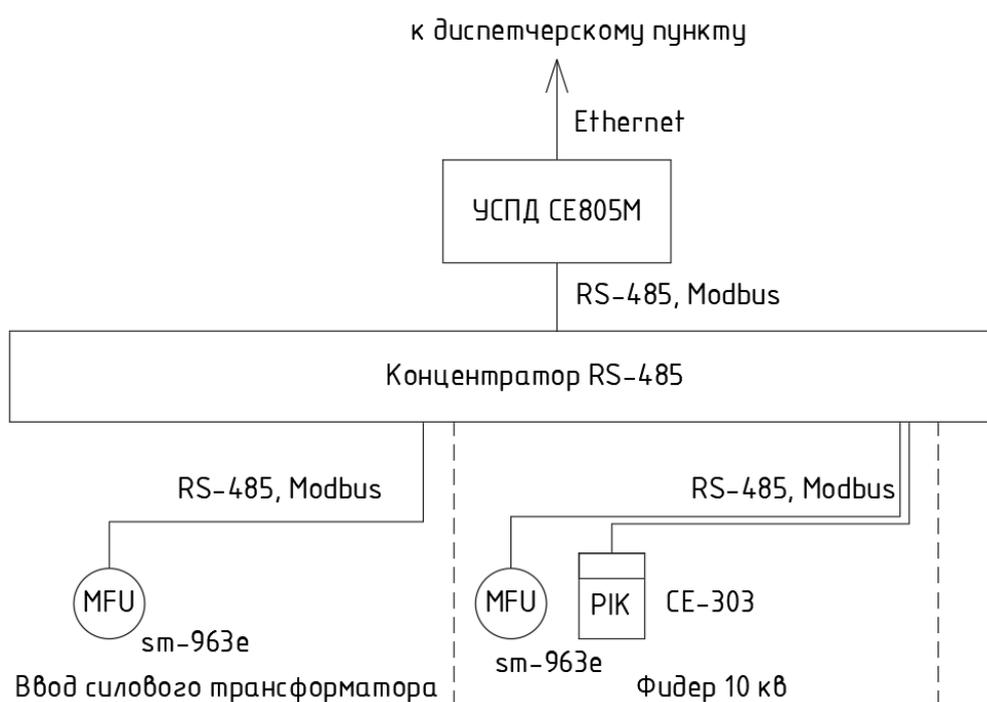


Рисунок 8 – Схема сбора и передачи данных с шин 10 кВ ТП

Вместо аналоговых стрелочных измерительных приборов принимаются к установке цифровые многофункциональные измерительные приборы (МИП) (MFU на рисунках) sm-963e, обеспечивающие передачу данных (напряжения, токи, мощности и т.д.) по интерфейсу RS-485 в общую цифровую сеть. Подключение приборов sm-963e осуществляется к УСПД через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. МИП является цифровым

программируемым устройством, предназначенным для измерения параметров трехфазных 3-х или 4-х проводных сетей с симметричной и несимметричной нагрузкой с одновременным отображением измеряемых величин и цифровой передачей данных. Прибор дает возможность управления, анализа и оптимизации работы энергетического оборудования, систем и промышленных цепей» [8]. «Концентратор разъемов RS-485 необходим для подключения необходимого количества счетчиков и МИП к УСПД. УСПД обеспечивает систематизацию данных и их передачу на диспетчерский пункт. На вводах силовых трансформаторов также будут установлены МИП sm-963e для наглядной цифровой индикации параметров питания трансформаторов на месте, передачи данных в цифровую сеть предприятия. Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП приведена на рисунке 9.

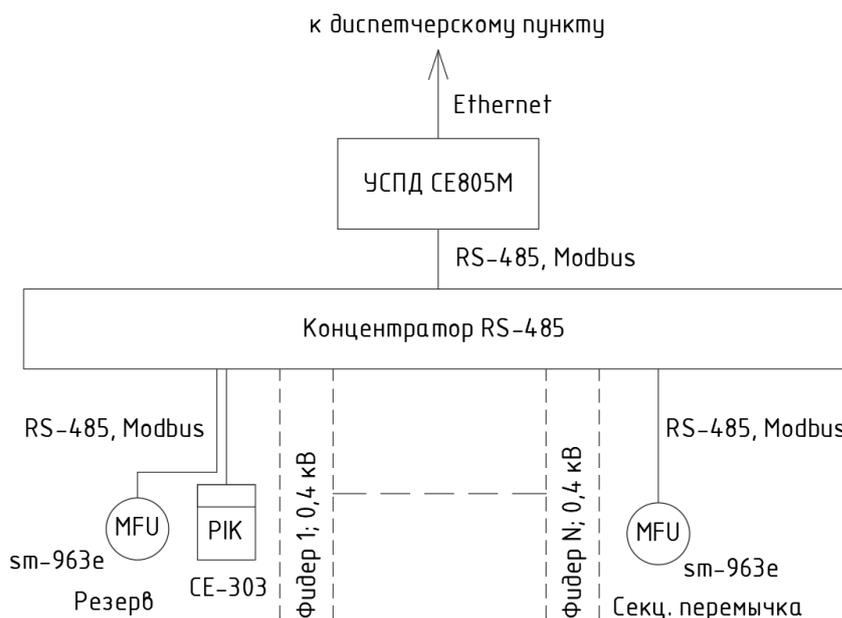


Рисунок 9 – Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП

На фидерах 0,4 кВ ТП также устанавливаются счетчики CE 303 и МИП sm-963e, контролирующие режимы электроснабжения питаемых электроприемников. По результатам анализа данных счетчиков и МИП,

установленных на шинах ВН и НН ТП, АСКУЭ будет контролировать баланс прихода и отдачи активной, реактивной и полной мощности и электроэнергии, выявляя непредусмотренные и излишние потери мощности и электроэнергии. Учет электроэнергии в жилых домах и других зданиях будет осуществляться счетчиками СЕ 303, установленными во вводных РП зданий и счетчиками СЕ 201, установленными в квартирах» [8].

Внедрение АСКУЭ значительно повышает эффективность управления энергоресурсами и позволяет принимать своевременные меры для предотвращения аварий и потерь. Ещё одним важным преимуществом является возможность интеграции с другими системами управления, такими как системы управления сетью и системы управления инфраструктурой МКР. Это позволяет создавать комплексные решения, которые обеспечивают не только точный учёт и контроль, но и оптимизацию работы энергосистемы в целом. Реализация АСКУЭ в российских энергосетях способствует не только повышению энергоэффективности, но и созданию более прозрачной и надёжной системы учёта электроэнергии, это приводит к улучшению качества обслуживания потребителей, снижению затрат на электроэнергию и повышению надёжности энергоснабжения. Предлагаемая к реализации российская система АСКУЭ от АО «Энергомера» уже доказала свою эффективность и получила широкое признание на международном уровне, что открывает новые перспективы для её дальнейшего развития и адаптации к современным требованиям энергорынка.

2.8 Расчет заземления трансформаторных подстанций

«Заземляющее устройство (ЗУ) подстанции предназначено для обеспечения безопасности персонала и оборудования при возникновении аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание или грозовой разряд. Удельное сопротивление грунта для вертикальных (ВЭ) и горизонтальных (ГЭ) электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (41)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

$$\rho_{p\phi} = 500 \cdot 1,1 = 550 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p\zeta} = 500 \cdot 1,4 = 700 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для ВЭ используется угловая сталь 50х50 мм, для ГЭ используется полосовая сталь 50х5 мм. Сопротивление растеканию одного ВЭ:

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{p\phi}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad (42)$$

где l – длина ВЭ, м;

d – приведенный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (43)$$

где b – ширина уголка, м» [15].

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м},$$

$$t = 3/2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{\text{овэ}} = \frac{550}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 62,195 \text{ Ом}.$$

«Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{овэ}} / R_n, \quad (44)$$

где R_n – наибольшее допустимое сопротивление ЗУ, Ом» [15].

$$n' = 62,195 / 4 \approx 16 \text{ шт.}$$

План заземления ТП показан на рисунке 10.

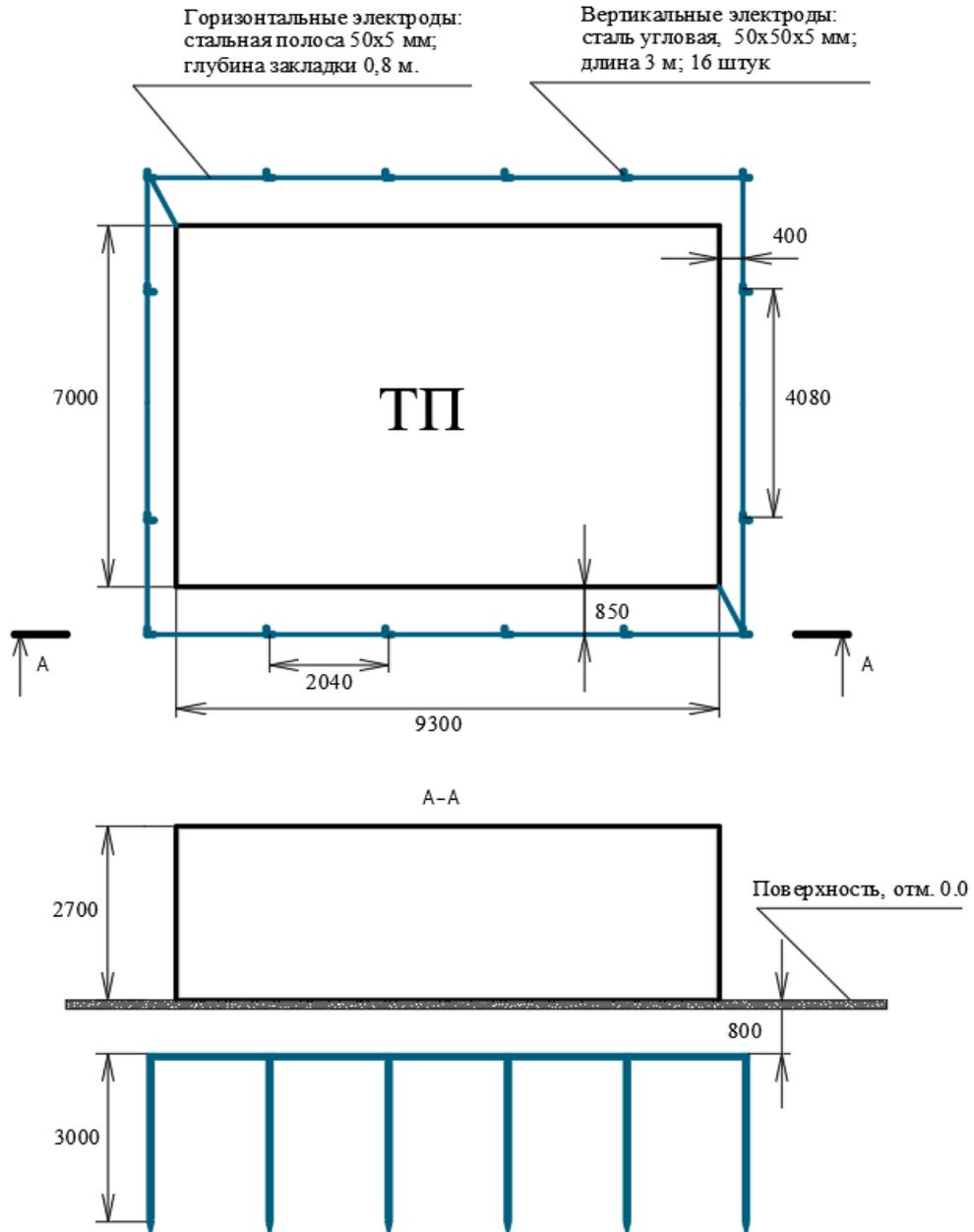


Рисунок 10 – План заземления ТП

«Длина ГЭ:

$$l_2 = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (45)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n', \quad (46)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м.

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,3 + 7) = 32,6 \text{ м},$$

$$a = 32,6 / 16 = 2,04 \text{ м},$$

$$l_2 = 1,05 \cdot 2,04 \cdot 16 = 34,27 \text{ м}.$$

Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{з3}} = \frac{\rho_{\text{п2}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (47)$$

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (48)$$

где b – ширина полосы, м.

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м},$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м},$$

$$R_{\text{з3}} = \frac{700}{2 \cdot 3,14 \cdot 34,27} \cdot \ln \left(\frac{34,27^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,624 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление ЗУ:

$$R_{\text{зп}} = \frac{R_{\text{об3}} \cdot R_{\text{з3}}}{R_{\text{об3}} \cdot \eta_6 \cdot n + R_{\text{з3}} \cdot \eta_2}, \quad (49)$$

где η_6, η_2 – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ» [15].

$$R_{\text{зп}} = \frac{62,195 \cdot 2,625}{62,195 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,624 \cdot 0,3} = 3,805 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление менее максимального допустимого, оборудование СЭС будет надежно защищено, электробезопасность также будет обеспечиваться.

Порядок монтажа заземляющего устройства подстанции.

Монтаж ЗУ – это важный этап в обеспечении безопасности и надежности электроснабжения, процесс требует строгого соблюдения всех технических норм и стандартов. Прежде чем приступить к работам, необходимо провести тщательное обследование объекта, чтобы определить место установки заземления и его характеристики. Важно, чтобы заземлитель был погружен в грунт на расчетную глубину и имел хорошую связь с землей. После выбора места установки ЗУ приступают к его монтажу, вбивание стержней осуществляется с использованием специального оборудования, такого как пневматический молот или гидравлический монтажный инструмент. Важно, чтобы каждый стержень был установлен с одинаковым расстоянием друг от друга и от других элементов подстанции. Следующий этап – соединение ЗУ с заземляющим проводником, для этого используются металлические шины или проводники из меди или алюминия. Соединения выполняются с помощью сварки или болтовых соединений, чтобы обеспечить надежность и долговечность контакта, важно, чтобы все соединения были надежными и защищенными от коррозии.

Выводы по разделу.

Определены расчетные электрические нагрузки по зданиям и МКР в целом, рассчитаны рабочие и аварийные режимы предлагаемой СЭС, выбрано ее оборудование от отечественных производителей. Внедрение АСКУЭ значительно повысит эффективность учета электроэнергии и позволит принимать своевременные меры для предотвращения аварий и потерь. Спроектировано заземляющее устройство подстанций.

Заключение

Выполнена разработка системы электроснабжения жилого микрорайона «Северный» г. Видное. В состав электрических нагрузок входят: внутриквартирная бытовая техника и другие потребители; общедомовые электроприемники (электроприводы санитарно-технических устройств – канализации, вентиляции, водоснабжения и т.д.; освещение лестничных клеток и квартирных площадок; лифты; домофоны и видеонаблюдение и т.д.); оборудование и другие электроприемники офисных и административных помещений; наружное освещение территории МКР; электротранспорт и его инфраструктура; дорожная инфраструктура и т.д. Эксплуатация зданий и других объектов на территории МКР, а также его функционирование в целом, невозможны без обеспечения надежного питания электрической энергией потребителей. Реализация предложенного проекта СЭС обеспечит ввод в эксплуатацию и дальнейшее использование всех объектов на территории МКР, что обеспечит дальнейшее развитие и расширение городской среды согласно плану застройки.

Решены задачи:

- систематизированы исходные данные для разработки системы электроснабжения МКР, согласно проектной документации составлен генеральный план с расположением всех зданий;
- определены основные требования к СЭС;
- проведен расчет электрических нагрузок МКР, без учета освещения нагрузки составили 2728,55 кВт; 940,71 квар; 2899,1 кВА;
- спроектирована система наружного освещения территории, будет использован 31 светильник 3xSVT-96W на опорах серии ОГКл;
- выполнен выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, выбор марок подстанций, будут установлены комплектные подстанции 2КТПН-10/0,4 с энергоэффективными силовыми трансформаторами марки ТМГ12;

- питание ТП будет выполнено по высоковольтной сети 10 кВ кабельными линиями с кабелями марки АПвБП, их высокая прочность и долговечность, изоляция из сшитого полиэтилена устойчива к механическим повреждениям, химическим воздействиям и температурным перепадам;
- проведен расчет низковольтной распределительной сети, выбраны кабели марки АВБШв, линии проверены по потерям напряжения; в данном случае, с учетом расположения ТП, а также высоким требованиям по надежности электроснабжения ввиду наличия потребителей первой категории, будет использоваться радиальная схема распределительной сети, питание каждого здания будет выполнено от ТП по отдельной линии, что обеспечит высокую надежность СЭС и индивидуальное отключение участков, надежную работу аппаратов защиты КЛ;
- проведен расчет токов короткого замыкания;
- выбраны устройства защиты и автоматики (микропроцессорные терминалы серии Сириус и автоматические выключатели марки ВА-52-39);
- АСКУЭ будет реализована на основе оборудования от АО «Энергомера», внедрение АСКУЭ значительно повысит эффективность учета электроэнергии, управления энергоресурсами и позволит принимать своевременные меры для предотвращения аварий и потерь;
- спроектировано заземляющее устройство подстанций.

Реализация предложенного проекта системы электроснабжения обеспечит ввод в эксплуатацию и дальнейшее использование всех объектов на территории микрорайона, что обеспечит дальнейшее развитие и расширение городской среды согласно плану застройки. Предложенные технические решения будут использованы при дальнейшем развитии городской инфраструктуры.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 415 с.
2. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
3. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
4. Головатый С. Е. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
5. Кобозев В.А. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 356 с.
6. Комков В. А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – 2-е изд. М. : ИНФРА-М, 2022. 204 с.
7. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
8. Любарский Ю. Я. Интеллектуальные электрические сети: компьютерная поддержка диспетчерских решений : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2022. 160 с.
9. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
10. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
11. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.

12. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elec.ru/viewer?url=/library/rd/rd_34_20_185-94.pdf (дата обращения 14.10.2024).

13. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.

15. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.

16. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

17. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.

18. Школа для электрика. [Сайт]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 14.10.2024).

19. Энергомера. [Сайт]. – <http://www.energomera.ru/> (дата обращения: 15.10.2024).

20. Я энергетик. [Сайт]. – <https://yaenergetik.ru/> (дата обращения: 15.10.2024).