

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 Электроснабжение микрорайона № 12 г. Самара

Обучающийся

Д.Е. Шкляев

(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

ВКР посвящена проектированию системы электроснабжения микрорайона №12, расположенного в Кировском районе города Самара, на территории которого застроены многоквартирные дома (МКД), административные и общественные здания, а именно:

- лечебно-оздоровительные учреждения, поликлиники;
- детские сады, образовательные учреждения;
- деловые, офисные центры;
- здания и территории для продажи товаров бытового назначения, обслуживающие строения;
- развлекательные здания;
- административные учреждения.

Микрорайон включает в себя три квартала, каждый из которых имеет аналогичную застройку. В соответствии с этим проведен расчет квартала микрорайона.

На начальном этапе проведен расчет нагрузок МКД, а также административных и общественных зданий с использованием удельных параметров. Расчет освещения проведен для всей территории, которая включает в себя наружное освещение.

Расчет электрических нагрузок позволил выбрать силовые трансформаторы для электроснабжения потребителей, а также разместить их в соответствии с центрами электрических нагрузок (ЦЭН) на территории микрорайона №12. Далее проведен расчет кабельных линий (КЛ) для электроснабжения потребителей микрорайона №12, расчет токов короткого замыкания (ТКЗ) позволил провести проверку электрооборудования КТП.

На заключительном этапе ВКР рассчитано заземление ПС микрорайона №12.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
2 Расчет электрических нагрузок	10
3 Расчет освещения	18
4 Выбор числа и мощности трансформаторов	19
5 Выбор схемы электроснабжения потребителей.....	25
6 Расчет токов короткого замыкания	42
7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций	48
8 Расчет заземления трансформаторных подстанций	51
Заключение	53
Список используемых источников.....	54

Введение

Рост качества жизни для граждан государства создает предпосылки для застройки и возведения новых зданий и сооружений, которые включают в себя жилые строения, административные и общественные здания.

Одним из ключевых показателей качества жизни является удельное потребление электроэнергии жителями микрорайона. Количество потребляемой электрической энергии отражает уровень комфортабельности жилья, совершенства инфраструктуры застраиваемых районов. Использование архитектурного освещения, иллюминационного оформления, рекламных щитов требует развития архитектурных и строительных стандартов, способствует использованию новых решений по возведению микрорайонов, что в свою очередь вызывает также применение актуальных требований для электроснабжения потребителей.

«Сегодня доставшееся в наследство от периода развития плановой экономики жилищно-коммунальное хозяйство находится в кризисном состоянии. Отрасль характеризуется дотационностью, неудовлетворительным финансовым положением, высокой затратностью, отсутствием экономических стимулов снижения издержек на производство коммунальных услуг, неразвитостью конкурентной среды и, как следствие, высокой степенью износа основным фондов, неэффективной работой предприятий, большими потерями коммунальных ресурсов. Вместе с тем в ЖКХ до сих пор существует проблема неплатежей, которую невозможно разрешить силами только предприятий ресурсоснабжения, так как неплатежеспособными являются предприятия и организации, которые не подлежат отключению. Кроме того, коммунальные услуги не оплачиваются частью населения» [21].

В связи с этим, действующий жилой фонд требует модернизации, вводятся и предлагаются субсидии молодым семьям, граждане предпочитают

новое жилье, которое является более комфортабельным, используются более мощные бытовые электроприемники.

В связи с этим, в последние годы во многих развитых странах наблюдается рост потребляемой электрической энергии. В соответствии с вышесказанным, устойчивый рост потребления электрической энергии предполагает также повышение требований к надежности и энергетической эффективности используемых сетей электроснабжения.

Целью ВКР является проектирование системы электроснабжения потребителей микрорайона №12, расположенного в Кировском районе города Самара.

Поставленная цель достигается путем решения ряда задач, а именно:

- расчетом электрических нагрузок потребителей микрорайона №12;
- проектированием освещения внутри кварталов;
- определением ЦЭН;
- выбором марки силовых трансформаторов и КЛ, расчетом электрических потерь;
- проведением технико-экономического сравнения выбранных схем электроснабжения потребителей микрорайона;
- расчетом ТКЗ в различных точках цепи;
- техническим анализом ТКЗ и паспортных данных КТП;
- принятием решения на основе анализа сравниваемых данных;
- расчетом заземления, принятием решения об установке молниеприемников, определением требований к монтажу молниезащиты.

В свою очередь, выполнение вышеперечисленных задач обеспечит безаварийное электроснабжение потребителей микрорайона №12, создаст необходимое жизнеобеспечение, позволит безопасно эксплуатировать питающие электросети.

1 Анализ исходных данных

Возведенные кварталы микрорайона №12 включают в себя МКД с 12-16 этажами. В квартирах МКД используются электрические плиты до 8 кВт.

В квартале микрорайона №12 возведены общественные и административные здания:

- лечебно-оздоровительные учреждения, поликлиники;
- детские сады, образовательные учреждения;
- деловые, офисные центры;
- здания и территории для продажи товаров бытового назначения, обслуживающие строения;
- развлекательные здания;
- административные учреждения.

Нагрузка вышеперечисленных зданий и учреждений определяется производительностью и пропускной способностью (проходимостью) здания (таблица 5).

Размещение зданий внутри каждого из кварталов микрорайона №12 является аналогичной (рисунок 1), поскольку при возведении микрорайона данное решение снижает затраты на застройку.

При проектировании сети электроснабжения нужно уделить внимание надежности.

«Качество проживания населения в значительной степени определяется надежностью работы инженерных систем зданий, сооружений и населенных пунктов в целом. Удельный вес основных фондов предприятий энерго-, тепло-, водоснабжения и водоотведения достаточно велик» [21].

«При выборе схемы присоединения электрической сети проектируемого микрорайона к энергосистеме следует обеспечить гибкость системы, т. е. её приспособляемость к разнообразным режимам распределения мощности, возникающим в процессе работы. Надо учитывать возможные резкие изменения режима работы электрической сети при

внезапных отключениях отдельных элементов системы вследствие аварийного повреждения оборудования, кабелей и т. д.» [23].

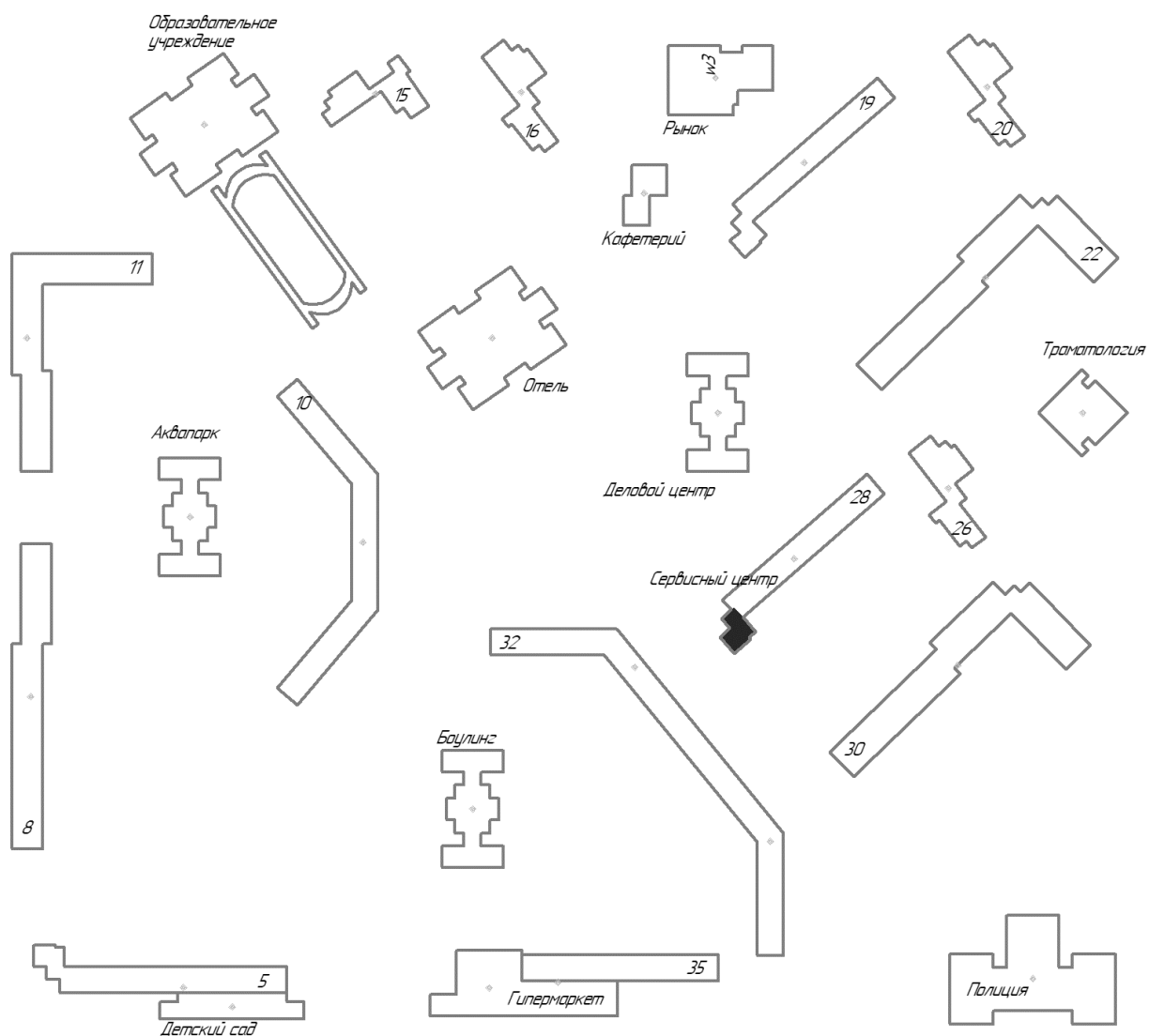


Рисунок 1 – План возведения квартала микрорайона №12

«Следует считаться с необходимостью отключения элементов системы для ремонтных работ, испытаний, осмотров и других эксплуатационных надобностей. Необходимо стремиться к тому, чтобы источники внешнего электроснабжения обеспечивали потребность в энергии во всё возрастающих размерах в течение длительного времени без каких-либо коренных изменений как отдельных элементов, так и системы в целом. Проектирование

схемы присоединения электрической сети микрорайона к энергосистеме должно выполняться в соответствии с очередностью развития на срок не менее 10 лет и возможностью последующего ее расширения» [23].

Также следует уделить внимание энергосбережению и учету электроэнергии.

«Системы электропотребления включают в себя трансформаторы, распределительные сети, электродвигатели, системы электрического уличного и местного освещения.

Неоправданные потери в трансформаторах наблюдаются как при недогрузках, когда потребляемая мощность значительно ниже номинальной мощности трансформатора, работающего в режиме, близком к холостому ходу (потери составляют 0,2-0,5% от номинальной мощности трансформатора), так и при перегрузках.

Большие сверхнормативные потери могут быть в длинных, перегруженных распределительных сетях.

В соответствии с действующими на стадии проектирования нормативными документами новые дома проектируются с автоматизированными системами учета электроэнергии, которые дают жителям возможность учитывать потребленную электроэнергию дифференцированно по времени суток. В эту систему входят двухтарифные счетчики и аппаратура, позволяющая программировать приборы учета и снимать их показания дистанционно. Если в доме нет автоматизированной системы учета, то реализовать двухтарифную систему оплаты можно за счет применения двухтарифного счетчика со встроенным тарификатором.

В связи с выходом новых Правил функционирования розничных рынков электрической энергии был введен новый стандарт точности приборов учета, используемых в бытовом секторе, – 2.0, что послужило толчком к повсеместной замене индукционных счетчиков на более точные – электронные» [21].

«К основным современным принципам приборного учета электроэнергии относятся: прямое измерение, система учета, электронные и информационные технологии, открытые цифровые интерфейсы и протоколы, функциональная полнота, тарифная полнота, синхронность измерений, защита информации, метрологическая достаточность, самотестируемость.

Для автоматизации учета электроэнергии у потребителей рекомендуется внедрять системы АСКУЭ, в состав которых входят: счетчики электроэнергии, оснащенные датчиками-преобразователями, преобразующими измеряемую энергию в пропорциональное количество выходных импульсов; аттестованные устройства сбора информации от счетчиков и передачи ее на верхние уровни управления (УСПД); каналы связи; средства обработки информации (как правило, персональные ЭВМ)» [21].

Выводы по разделу

При аналогичной застройке кварталов допускается дальнейший расчет одного из них для определения суммарной нагрузки микрорайона №12. Необходимо использовать автоматизированные системы учета электроэнергии.

2 Расчет электрических нагрузок

Расчет нагрузок микрорайона №12 проведем согласно инструкции по проектированию городских электрических сетей.

«Расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу МКД:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n_{\text{кв}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{кв}}$ – количество квартир;

$P_{\text{кв.уд}}$ – удельная мощность одной квартиры, кВт.

Расчетная мощность МКД:

$$P_{\text{р.ж.д}} = P_{\text{кв}} + k_y \cdot P_c, \quad (2)$$

где k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников;

P_c – нагрузка силовых электроприемников, кВт.

Расчетные нагрузки силового электрооборудования МКД по методу коэффициента спроса:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (3)$$

где K_c – коэффициент спроса;

P_n – номинальная мощность группы электроприемников, кВт.

Реактивная нагрузка потребителя микрорайона:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [2],[10].

«Полная нагрузка:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5)$$

Значения полных нагрузок жилых домов приведём в таблице 1» [21].

«Расчетная нагрузка силового электрооборудования каждого МКД представлена в таблицах 2 и 3» [23].

«Удельная нагрузка освещения общедомовых помещений закладываются в нагрузку на одну квартиру» [22].

Расчетную нагрузку по каждому МКД занесем в таблицу 4.

Используя удельные характеристики остальных зданий рассчитаем их электрические нагрузки (таблица 5). Отразим распределение мощности на диаграмме (рисунок 2).

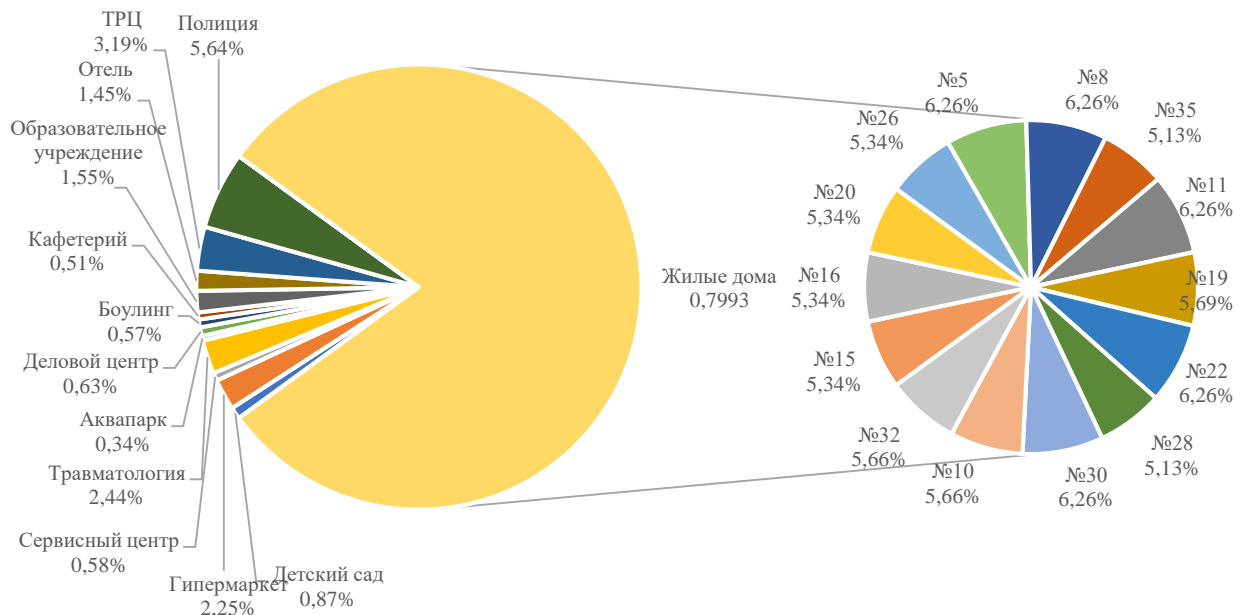


Рисунок 2 – Распределение полной мощности микрорайона

Таблица 1 – Электрическая нагрузка лифтов

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кв	n	$P_{\text{н}}$ кВт	$k_{\text{с}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{л}}$ кВт	$Q_{\text{л}}$ квар	$S_{\text{л}}$ кВА
	Подъезд	Этаж	Квартира									
15	6	16	384	0,70	6	8,1	0,75	0,75	0,88	36,45	32,08	48,56
16	6	16	384	0,70	6	8,1	0,75	0,75	0,88	36,45	32,08	48,56
20	6	16	384	0,70	6	8,1	0,75	0,75	0,88	36,45	32,08	48,56
26	6	16	384	0,70	6	8,1	0,75	0,75	0,88	36,45	32,08	48,56
5	9	12	432	0,69	18	4,9	0,64	0,75	0,88	56,448	49,67	75,19
8	9	12	432	0,69	18	4,9	0,64	0,75	0,88	56,448	49,67	75,19
35	7	12	336	0,72	14	4,9	0,71	0,75	0,88	48,706	42,86	64,88
11	9	12	432	0,69	18	4,9	0,64	0,75	0,88	56,448	49,67	75,19
19	8	12	384	0,70	16	4,9	0,68	0,75	0,88	53,312	46,91	71,01
22	9	12	432	0,69	18	4,9	0,64	0,75	0,88	56,448	49,67	75,19
28	7	12	336	0,72	14	4,9	0,71	0,75	0,88	48,706	42,86	64,88
30	9	12	432	0,69	18	4,9	0,64	0,75	0,88	56,448	49,67	75,19
10	8	13	416	0,70	8	6,2	0,68	0,75	0,88	33,728	29,68	44,93
32	8	13	416	0,70	8	6,2	0,68	0,75	0,88	33,728	29,68	44,93

Таблица 2 – Электрическая нагрузка оборудования

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кв	$P_{\text{н}}$ кВт	k_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{\text{со}}$ кВт	$Q_{\text{со}}$ квар	$S_{\text{со}}$ кВА
	Подъезд	Этаж	Квартира								
15	6	16	384	7,68	7,68	0,95	0,82	0,7	7,30	5,11	8,91
16	6	16	384	7,68	7,68	0,95	0,82	0,7	7,30	5,11	8,91
20	6	16	384	7,68	7,68	0,95	0,82	0,7	7,30	5,11	8,91
26	6	16	384	7,68	7,68	0,95	0,82	0,7	7,30	5,11	8,91
5	9	12	432	8,64	8,64	0,95	0,82	0,7	8,21	5,75	10,02
8	9	12	432	8,64	8,64	0,95	0,82	0,7	8,21	5,75	10,02
35	7	12	336	6,72	6,72	0,95	0,82	0,7	6,38	4,47	7,79
11	9	12	432	8,64	8,64	0,95	0,82	0,7	8,21	5,75	10,02
19	8	12	384	7,68	7,68	0,95	0,82	0,7	7,30	5,11	8,91
22	9	12	432	8,64	8,64	0,95	0,82	0,7	8,21	5,75	10,02
28	7	12	336	6,72	6,72	0,95	0,82	0,7	6,38	4,47	7,79
30	9	12	432	8,64	8,64	0,95	0,82	0,7	8,21	5,75	10,02
10	8	13	416	8,32	8,32	0,95	0,82	0,7	7,90	5,53	9,64
32	8	13	416	8,32	8,32	0,95	0,82	0,7	7,90	5,53	9,64

Таблица 3 – Электрическая нагрузка вентиляции

МКД	Конфигурация МКД			$P_{\text{кв.уд}}$ кВт/кв	$P_{\text{н}}$ кВт	k_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{\text{во}}$ кВт	$Q_{\text{во}}$ квар	$S_{\text{во}}$ кВА
	Подъезд	Этаж	Квартира								
15	6	16	384	0,70	5,76	0,95	0,82	0,7	5,472	3,83	6,68
16	6	16	384	0,70	5,76	0,95	0,82	0,7	5,472	3,83	6,68
20	6	16	384	0,70	5,76	0,95	0,82	0,7	5,472	3,83	6,68
26	6	16	384	0,70	5,76	0,95	0,82	0,7	5,472	3,83	6,68
5	9	12	432	0,69	6,48	0,95	0,82	0,7	6,156	4,31	7,51
8	9	12	432	0,69	6,48	0,95	0,82	0,7	6,156	4,31	7,51
35	7	12	336	0,72	5,04	0,95	0,82	0,7	4,788	3,35	5,84
11	9	12	432	0,69	6,48	0,95	0,82	0,7	6,156	4,31	7,51
19	8	12	384	0,70	5,76	0,95	0,82	0,7	5,472	3,83	6,68
22	9	12	432	0,69	6,48	0,95	0,82	0,7	6,156	4,31	7,51
28	7	12	336	0,72	5,04	0,95	0,82	0,7	4,788	3,35	5,84
30	9	12	432	0,69	6,48	0,95	0,82	0,7	6,156	4,31	7,51
10	8	13	416	0,70	6,24	0,95	0,82	0,7	5,928	4,15	7,24
32	8	13	416	0,70	6,24	0,95	0,82	0,7	5,928	4,15	7,24

Таблица 4 – Итоговая нагрузка

МКД	Конфигурация МКД			$P_{к.уд.}$ кВт/кв	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$S_{кв}$ кВА	$S_{л}$ кВА	$S_{со}$ кВА	$S_{во}$ кВА	S_{Σ} кВА
	Подъезд	Этаж	Квартира								
15	6	16	384	0,70	0,98	0,2	279,87	48,56	8,91	6,68	338,27
16	6	16	384	0,70	0,98	0,2	279,87	48,56	8,91	6,68	338,27
20	6	16	384	0,70	0,98	0,2	279,87	48,56	8,91	6,68	338,27
26	6	16	384	0,70	0,98	0,2	279,87	48,56	8,91	6,68	338,27
5	9	12	432	0,69	0,98	0,2	310,36	75,19	10,02	7,51	396,70
8	9	12	432	0,69	0,98	0,2	310,36	75,19	10,02	7,51	396,70
35	7	12	336	0,72	0,98	0,2	251,89	64,88	7,79	5,84	325,22
11	9	12	432	0,69	0,98	0,2	310,36	75,19	10,02	7,51	396,70
19	8	12	384	0,70	0,98	0,2	279,87	71,01	8,91	6,68	360,72
22	9	12	432	0,69	0,98	0,2	310,36	75,19	10,02	7,51	396,70
28	7	12	336	0,72	0,98	0,2	251,89	64,88	7,79	5,84	325,22
30	9	12	432	0,69	0,98	0,2	310,36	75,19	10,02	7,51	396,70
10	8	13	416	0,70	0,98	0,2	303,20	44,93	9,64	7,24	358,78
32	8	13	416	0,70	0,98	0,2	303,20	44,93	9,64	7,24	358,78
											5065,30

Таблица 5 – Электрическая нагрузка зданий микрорайона №12

Название	S	Ед.изм	$P_{уд}$ кВт/С	$cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p кВт	Q_p квар	k_y	$P_{p.м}$ кВт	$Q_{p.м}$ квар	$S_{p.м}$ кВА
Детский сад	150	чел.	0,45	0,87	0,57	67,5	38,48	0,71	47,925	27,32	32,33
Кафетерий	75	место	0,82	0,93	0,4	49,2	19,68	0,61	30,012	12,00	31,40
Образовательное учреждение (ОУ)	695	чел.	0,32	0,93	0,4	222,4	88,96	0,41	91,184	36,47	92,15
Отель	650		0,32	0,93	0,4	208	83,20	0,41	85,28	34,11	92,15
Рынок	2550	м ²	0,09	0,92	0,43	229,5	98,69	0,81	185,895	79,93	507,69
Гипермаркет	800		0,19	0,92	0,43	152	65,36	0,86	130,72	56,21	142,49
Сервисный центр (СЦ)	36	кВт	–	0,89	0,51	36	18,36	0,91	32,76	16,71	35,80
Травматология	420	чел.	0,45	0,87	0,57	189	107,73	0,71	134,19	76,49	194,99
Аквапарк	120		0,43	0,98	0,2	51,6	10,32	0,41	21,156	4,23	37,69
Деловой центр (ДЦ)	230		0,41	0,97	0,25	94,3	23,58	0,41	38,663	9,67	38,10
Боулинг	200		0,43	0,97	0,25	86	21,50	0,41	35,26	8,82	38,10
Полиция	350	кВт	–	0,89	0,51	350	178,50	0,91	318,5	162,44	357,53
											1268,73

«Расчетная нагрузка административных и общественных зданий микрорайона:

$$P_{р.зд} = P_{уд} \cdot S, \quad (6)$$

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка здания (величина, которая берется из таблицы удельных расчетных электрических нагрузок 2.2.1 РД 34.20.185-94в зависимости от назначения здания);

S – удельная нагрузка здания (исходные данные) » [2].

«Максимальные нагрузки зданий:

$$P_{р.м.зд} = P_{р.зд} \cdot k_y \quad (7)$$

где k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки (таблица коэффициентов 2.3.1 РД 34.20.185-94)» [2].

Выводы по разделу

В итоге получено, что электрическая полная нагрузка всех потребителей квартала микрорайона №12 без освещения – 6423,28 кВА.

3 Расчет освещения

«Освещенность территории для микрорайона должна быть не менее 10 лк» [1], [8].

«Удельная мощность уличного освещения по паспортам светильников 0,7 Вт/м²» [4].

«Электрическую нагрузку искусственного освещения территорий внутри микрорайона рассчитаем по методу удельной мощности освещения:

$$P_0 = F \cdot S \cdot K_{CO} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где F – площадь освещения, м²;

S – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м²;

K_{CO} – коэффициент спроса освещения (равен 0,9» [4].

Удельная мощность наружного освещения микрорайона №12 площадью 160 тыс. м² (таблица 2).

Выводы по разделу

Активная мощность освещения микрорайона №12 составляет 100,8 кВт. Полная мощность квартала микрорайона №12 равна 6434,83 кВА.

4 Выбор числа и мощности трансформаторов

«Электроснабжение потребителей производится от внешних сетей напряжением 110 кВ. Напряжение внутри кварталов принимаем 10 кВ.

Напряжение сети 380/220В при глухозаземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [9].

«Категории надежности электроснабжения зданий и сооружений микрорайона представлены в таблице 6» [2].

Таблица 6 – Категории надежности потребителей микрорайона

Здания	Категория надежности электроснабжения
Детский сад	I
Травматология	
Образовательное учреждение	
Жилые дома	II и III
Кафетерий	II
Отель	
Рынок	
Гипермаркет	
Аквапарк	
ДЦ	
Полиция	III
СЦ	
Боулинг	

«III категория надежности соответствует зданиям при количестве этажей 1-8, а от 9 этажей – II категория надежности. Принимаем двухтрансформаторные подстанции» [2].

«Удельная мощность по методу удельной плотности нагрузок:

$$\sigma = \frac{S}{F} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{S}{F} = \frac{6435}{0,185} = 34,78 \text{ кВА/м}^2$$

где S – полная расчетная мощность района, кВА;

F – площадь района, м²» [2]

«Поскольку плотность нагрузки выше 8, необходимо рассматривать трансформаторы выше 630 кВА. Наиболее оптимальная нагрузка распределительного пункта должна составлять 12 МВт» [2].

Нагрузки и расположение КТП отразим в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – ЦЭН с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Потребитель	$P_{р.м}$, кВт	$Q_{р.м}$, квар	$S_{р.м}$, кВА	x_i , м	y_i , м	k_3
КТП1	1202,13	382,31	1283,81	347,28	136,57	0,64
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	448	189	–
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	338	42	–
МКД-№10	338,76	97,60	358,78	242	172	–
ОУ	91,18	36,47	98,21	433	110	–
Отель	85,28	34,11	91,85	336	242	–
КТП2	1186,83	391,10	1271,93	439,67	364,81	0,64
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	448	256	–
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	416	385	–
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	451	469	–
Кафетерий	30,01	12,00	32,32	402	312	–
Рынок	185,90	79,93	202,35	455	345	–
КТП3	1194,31	416,06	1291,28	292,06	440,83	0,65
МКД-№22	368,89	119,35	396,70	363	468	–
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	266	451	–
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	234	381	–
СЦ	32,76	16,71	36,78	236	383	–
ДЦ	38,66	9,67	39,85	298	346	–
Травматология	134,19	76,49	154,46	301	513	–

Продолжение таблицы 7

Потребитель	$P_{p.m.}$, кВт	$Q_{p.m.}$, квар	$S_{p.m.}$, кВА	x_i , м	y_i , м	k_3
КТП4	1274,64	434,34	1374,00	82,91	142,80	0,7
МКД-№8	368,89	119,35	396,70	171	31	–
МКД-№5	368,89	119,35	396,70	38	101	–
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	40	272	–
Аквапарк	21,16	4,23	21,57	253	104	–
Боулинг	35,26	8,82	36,35	120	233	–
Детский сад	47,93	27,32	55,17	40	103	–
Гипермаркет	130,72	56,21	142,29	42	274	–
КТП5	1026,15	379,39	1113,01	126,17	425,02	0,64
МКД-№30	368,89	119,35	396,70	185	456	–
МКД-№32	338,76	97,60	358,78	145	326	–
Полиция	318,02	94,78	357,53	42	490	

Таблица 8 – Расчет ЦЭН с трансформаторами ТМГ1250 10/0,4

Потребитель	$P_{p.m.}$, кВт	$Q_{p.m.}$, квар	$S_{p.m.}$, кВА	x_i , м	y_i , м	k_3
КТП1	1405,95	469,09	1505,50	408,17	188,52	0,60
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	448	189	–
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	448	256	–
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	338	42	–
ДЦ	38,66	9,67	39,85	298	346	–
ОУ	91,18	36,47	98,21	433	110	–
Отель	85,28	34,11	91,85	336	242	–
Рынок	185,90	79,93	202,35	455	345	–
КТП2	1542,67	516,68	1660,59	366,11	444,93	0,66
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	451	469	–
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	266	451	–
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	416	385	–
МКД-№22	368,89	119,35	396,7	363	468	–
Травматология	134,19	76,49	154,46	301	513	–
Аквапарк	21,16	4,23	21,57	253	104	–
Кафетерий	30,01	12	32,32	402	312	–

Продолжение таблицы 8

Потребитель	$P_{p.m}$, кВт	$Q_{p.m}$, квар	$S_{p.m}$, кВА	x_i , м	y_i , м	k_3
КТПЗ	1592,24	527,71	1711,21	114,12	149,41	0,68
МКД-№8	368,89	119,35	396,7	171	31	–
МКД-№10	338,76	97,6	358,78	242	172	–
МКД-№5	368,89	119,35	396,7	38	101	–
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	40	272	–
Боулинг	35,26	8,82	36,35	120	233	–
Детский сад	47,93	27,32	55,17	40	103	–
Гипермаркет	130,72	56,21	142,29	42	274	–
КТП4	1360,70	495,16	1475,01	152,68	414,26	0,59
МКД-№30	368,89	119,35	396,7	185	456	–
МКД-№32	338,76	97,6	358,78	145	326	–
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	–	–	–
Полиция	318,5	162,44	357,53	234	381	–
СЦ	32,76	16,71	36,78	42	490	–

«Количество КТП определим по следующей формуле:

$$N = \frac{S}{k_3 S_{нт}} \quad (10)$$

где $S_{нт}$ – номинальная мощность трансформаторов, кВА;

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов» [2].

Вычисление ЦЭН проведем для:

– Пять КТП с двумя трансформаторами ТМГ1000 10/0,4;

– Четыре КТП с двумя трансформаторами ТМГ1250 10/0,4;

«ЦЭН района города:

$$x_{ц} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{ц} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (11)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [11].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (12)$$

где S – расчетная нагрузка i -го потребителя, кВА;

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [11].

Отразим схемы электроснабжения для трансформаторов ТМГ1000 и ТМГ1250 на рисунках 3 и 4.

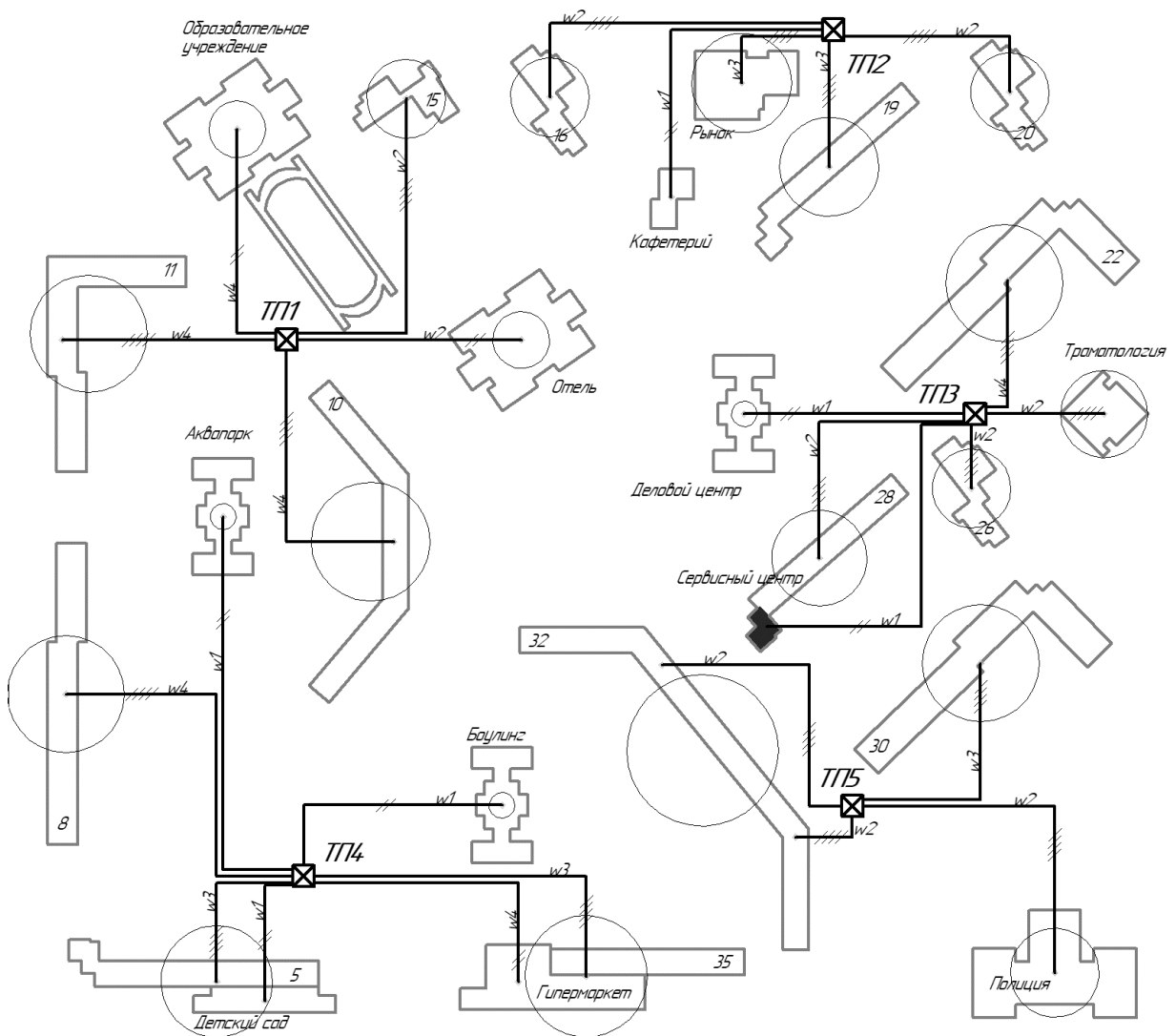


Рисунок 3 – План расположения КТП с ТМГ1000 10/0,4

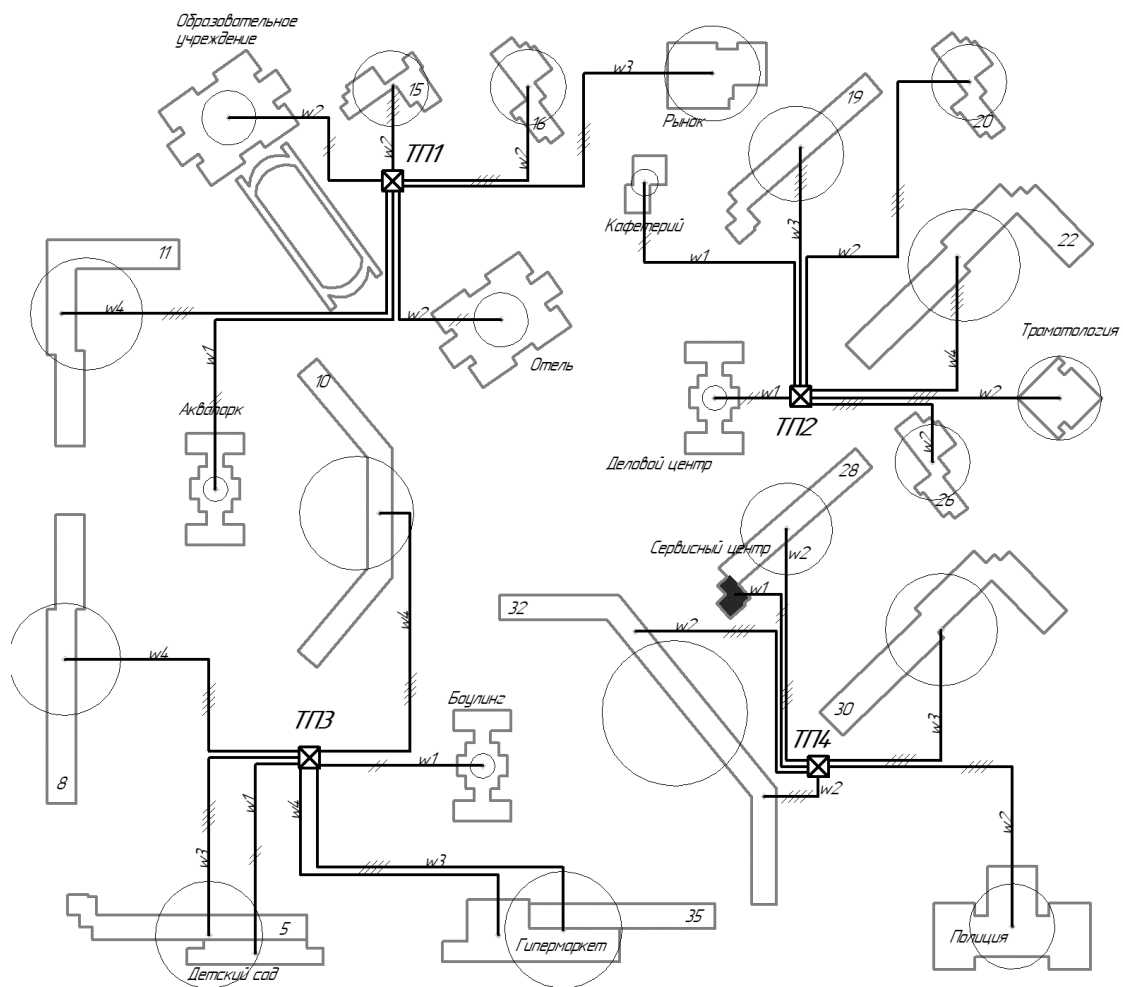


Рисунок 4 – План расположения КТП с ТМГ1250 10/0,4

Выводы по разделу

В результате получены схемы электроснабжения с расположением пяти КТП 2×ТМГ1000 и четырех 2×ТМГ1250.

5 Выбор схемы электроснабжения потребителей

«При электроснабжении районов требуется рассматривать радиальную и магистральную схемы электроснабжения» [21].

«Для потребителей II категории надежности электроснабжения применим параллельные магистральные линии с секционированием шин ВРУ 0,4 кВ зданий. Для потребителей I категории надежности электроснабжения необходима установка АВР на вводе к потребителю» [22].

«Потребители, расположенные вблизи КТП целесообразно запитать отдельными кабельными линиями, не включая в магистральные схемы распределительных сетей» [23].

«Расчетный ток:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (13)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [21].

Маркировка кабелей для питания потребителей до 1кВ –АПвБШп [3].

«Расчетное сечение кабельных линий:

$$F_p = \frac{I}{j_{\text{эк}}} \quad (14)$$

где I – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36.

Принимаем $j_{\text{эк}} = 1,6$ А/мм² поскольку $T_{\text{max}} > 5300$ ч» [9].

«Длительнодопустимый ток:

$$I_{д.р} = I_{д.с} \cdot k_{п} \cdot k_t \cdot k_{ж} \quad (15)$$

где $I_{д.с}$ – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле;

$k_{п}$ – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее. Для четырех кабелей принимаем $k_{п} = 0,9$ при рабочем режиме и $k_{п} = 0,8$ – при аварийном;

k_t – коэффициент поправки на температуру среды. Принимаем $k_t = 1,06$;

$k_{ж}$ – коэффициент поправки на количество жил. Принимаем $k_{ж} = 0,92$ » [9].

Токи отражены в таблицах 9 и 10.

«Для сетей 0,4кВ допустимые потери напряжений составляют не более 5%» [17].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_{ном}} L_{кл} \quad (16)$$

где r_0 , x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_{кл}$ – длина кабеля, км;

P , Q – активная и реактивная мощность проходящая через кабель» [11].

Потери напряжений в КЛ отражены в таблицах 11 и 12.

Таблица 9 – КЛ схемы с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{па}$, А	F_p , мм ²	F_y , мм ²	$I_{д.спр}$, А	$I_{д.р}$, А	$I_{д.па}$, А
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	175	136,53	153,59
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	175	136,53	153,59
МКД-№10	338,76	97,60	358,78	129,46	258,92	80,91	95	175	136,53	153,59
ОУ	91,18	36,47	98,21	35,44	70,88	22,15	25	115	89,72	100,93
Отель	85,28	34,11	91,85	33,14	66,28	20,71	25	115	89,72	100,93
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	175	136,53	153,59
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	130,16	260,32	81,35	95	175	136,53	153,59
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	175	136,53	153,59
Кафетерий	30,01	12,00	32,32	11,66	23,32	7,29	10	46	35,89	40,37
Рынок	185,90	79,93	202,35	73,02	146,04	45,64	50	295	215,76	244,53
МКД-№22	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	210	163,83	184,31
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	175	136,53	153,59
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	117,35	234,70	73,34	95	175	136,53	153,59
СЦ	32,76	16,71	36,78	13,27	26,54	8,29	10	70	54,61	61,44
ДЦ	38,66	9,67	39,85	14,38	28,76	8,99	10	70	54,61	61,44

Продолжение таблицы 9

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{па}$, А	F_p , мм ²	F_y , мм ²	$I_{д.спр}$, А	$I_{д.р}$, А	$I_{д.па}$, А
Травматология	134,19	76,49	154,46	55,74	111,48	34,84	50	175	136,53	153,59
МКД-№8	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	210	163,83	184,31
МКД-№5	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	210	163,83	184,31
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	117,35	234,70	73,34	95	175	136,53	153,59
Аквапарк	38,66	9,67	21,57	7,78	15,56	4,86	8	70	54,61	61,44
Боулинг	35,26	8,82	36,35	13,12	26,24	8,20	10	70	54,61	61,44
Детский сад	47,93	27,32	55,17	19,91	39,82	12,44	16	70	54,61	61,44
Гипермаркет	130,72	56,21	142,29	51,34	102,68	32,09	35	140	109,22	122,88
КТП5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
МКД-№30	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	210	163,83	184,31
МКД-№32 (1-4)	169,38	48,80	179,39	64,73	129,46	40,46	50	115	89,72	100,93
МКД-№32 (4-7)	169,38	48,80	179,39	64,73	129,46	40,46	50	115	89,72	100,93
Полиция	318,50	162,44	357,53	86,01	172,02	53,76	70	255	186,51	211,37

Таблица 10 – КЛ схемы с трансформаторами ТМГ1250 10/0,4

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{па}$, А	F_p , мм ²	F_y , мм ²	$I_{д.спр}$, А	$I_{д.р}$, А	$I_{д.па}$, А
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	255	198,94	223,81
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	255	198,94	223,81
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	255	198,94	223,81
ДЦ	38,66	9,67	39,85	14,38	28,76	8,99	10	60	46,81	52,66
ОУ	91,18	36,47	98,21	35,44	70,88	22,15	25	100	78,02	87,77
Отель	85,28	34,11	91,85	33,14	66,28	20,71	25	100	78,02	87,77
Рынок	185,90	79,93	202,35	73,02	146,04	45,64	50	170	124,34	140,92
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	255	198,94	223,81
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	122,06	244,12	76,29	95	255	198,94	223,81
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	130,16	260,32	81,35	95	255	198,94	223,81
МКД-№22	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	255	198,94	223,81
Травматология	134,19	76,49	154,46	55,74	111,48	34,84	35	125	97,52	109,71
Аквапарк	21,16	4,23	21,57	7,78	15,56	4,86	5	39	30,43	34,23
Кафетерий	30,01	12,00	32,32	11,66	23,32	7,29	8	51	39,79	44,76

Продолжение таблицы 10

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{па}$, А	F_p , мм ²	F_y , мм ²	$I_{д.спр}$, А	$I_{д.р}$, А	$I_{д.па}$, А
МКД-№8	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	255	198,94	223,81
МКД-№10	338,76	97,60	358,78	129,46	258,92	80,91	95	255	198,94	223,81
МКД-№5	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	255	198,94	223,81
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	117,35	234,70	73,34	95	255	198,94	223,81
Боулинг	35,26	8,82	36,35	13,12	26,24	8,20	10	60	46,81	52,66
Детский сад	47,93	27,32	55,17	19,91	39,82	12,44	16	80	62,41	70,21
Гипермаркет	56,21	142,29	142,29	51,34	102,68	32,09	35	125	97,52	109,71
МКД-№30	368,89	119,35	396,70	143,15	286,30	89,47	95	255	198,94	223,81
МКД-№32 (1-4)	169,38	48,80	179,39	64,73	129,46	40,46	50	170	132,63	149,21
МКД-№32 (4-7)	169,38	48,80	179,39	64,73	129,46	40,46	50	170	132,63	149,21
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	117,35	234,70	73,34	95	255	198,94	223,81
Полиция	318,50	162,44	357,53	86,01	172,02	53,76	70	210	153,59	174,07
СЦ	32,76	16,71	32,76	11,82	23,64	7,39	8	51	39,79	44,76

Таблица 11 – КЛ радиальной схемы с трансформаторами ТМГ1000 10/0,4

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	F_y , мм ²	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$L_{кл}$, км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,173	1,26%	2,52%
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,112	0,95%	1,90%
МКД-№10	338,76	97,60	358,78	95	0,34	0,085	0,153	1,18%	2,36%
ОУ	91,18	36,47	98,21	25	1,28	0,090	0,122	0,91%	1,82%
Отель	85,28	34,11	91,85	25	1,28	0,090	0,123	0,86%	1,72%
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,172	1,25%	2,50%
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	95	0,34	0,085	0,113	0,87%	1,74%
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,072	0,52%	1,04%
Кафетерий	30,01	12,00	32,32	10	3,20	0,092	0,163	0,99%	1,98%
Рынок	185,90	79,93	202,35	50	0,64	0,088	0,072	0,57%	1,14%
МКД-№22	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,043	0,36%	0,72%
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,082	0,60%	1,20%
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	95	0,34	0,085	0,0152	0,11%	0,22%
СЦ	32,76	16,71	36,78	10	3,20	0,092	0,182	1,21%	2,42%

Продолжение таблицы 11

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	F_y , мм ²	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$L_{кл}$, км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %
ДЦ	38,66	9,67	39,85	10	3,20	0,092	0,062	0,48%	0,96%
Травматология	134,19	76,49	154,46	50	0,64	0,088	0,112	0,65%	1,30%
МКД-№8	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,211	1,79%	3,58%
МКД-№5	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,092	0,78%	1,56%
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	95	0,34	0,085	0,182	1,26%	2,52%
Аквапарк	38,66	9,67	21,57	8	4,00	0,093	0,072	0,70%	1,40%
Боулинг	35,26	8,82	36,35	10	3,20	0,092	0,142	1,01%	2,02%
Детский сад	47,93	27,32	55,17	16	2,00	0,092	0,132	0,81%	1,62%
Гипермаркет	130,72	56,21	142,29	35	0,91	0,089	0,182	1,41%	2,82%
МКД-№30	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,132	1,12%	2,24%
МКД-№32 (1-4)	169,38	48,80	179,39	50	0,64	0,088	0,152	1,07%	2,14%
МКД-№32 (4-7)	318,50	162,44	357,53	70	0,46	0,087	0,019	0,13%	0,26%
Полиция	38,66	9,67	39,85	10	3,20	0,092	0,062	0,48%	0,96%

Таблица 12 – КЛ магистральной схемы с трансформаторами ТМГ1250 10/0,4

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	F_y , мм ²	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$L_{кл}$, км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %
МКД-№15	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,022	0,16%	0,32%
МКД-№16	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,232	1,68%	3,36%
МКД-№11	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,122	1,03%	2,06%
ДЦ	38,66	9,67	39,85	10	3,20	0,092	0,122	0,95%	1,90%
ОУ	91,18	36,47	98,21	25	1,28	0,090	0,122	0,91%	1,82%
Отель	85,28	34,11	91,85	25	1,28	0,090	0,242	1,70%	3,40%
Рынок	185,90	79,93	202,35	50	0,64	0,088	0,222	1,75%	3,50%
МКД-№20	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,106	0,77%	1,54%
МКД-№26	318,02	94,78	338,27	95	0,34	0,085	0,242	1,76%	3,52%
МКД-№19	334,88	109,61	360,72	95	0,34	0,085	0,132	1,02%	2,04%
МКД-№22	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,152	1,29%	2,58%
Травматология	134,19	76,49	154,46	35	0,91	0,089	0,132	1,06%	2,12%
Аквапарк	21,16	4,23	21,57	5	6,40	0,094	0,052	0,44%	0,88%
Кафетерий	30,01	12,00	32,32	8	4,00	0,093	0,182	1,38%	2,76%

Продолжение таблицы 12

Потребитель	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	F_y , мм ²	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$L_{кл}$, км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %
МКД-№8	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,173	1,47%	2,94%
МКД-№10	338,76	97,60	358,78	95	0,34	0,085	0,182	1,40%	2,80%
МКД-№5	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,093	0,79%	1,58%
МКД-№35	301,79	99,06	325,22	95	0,34	0,085	0,143	0,99%	1,98%
Боулинг	35,26	8,82	36,35	10	3,20	0,092	0,212	1,51%	3,02%
Детский сад	47,93	27,32	55,17	16	2,00	0,092	0,113	0,69%	1,38%
Гипермаркет	56,21	142,29	142,29	35	0,91	0,089	0,163	0,65%	1,30%
МКД-№30	368,89	119,35	396,70	95	0,34	0,085	0,132	1,12%	2,24%
МКД-№32 (1-4)	169,38	48,80	179,39	50	0,64	0,088	0,132	0,93%	1,86%
МКД-№32 (4-7)	169,38	48,80	179,39	50	0,64	0,088	0,153	1,08%	2,16%
МКД-№28	301,79	99,06	325,22	95	0,34	0,085	0,043	0,30%	0,60%
Полиция	318,50	162,44	357,53	70	0,46	0,087	0,122	0,82%	1,64%
СЦ	32,76	16,71	32,76	8	4,00	0,093	0,183	1,52%	3,04%

Перед выбором мощности рассматриваемых силовых трансформаторов определим менее затратный для эксплуатации.

Параметры рассматриваемых трансформаторов и их стоимость представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Параметры трансформаторов и их стоимость

Маркировка трансформатора	P_{xx} , кВт	$P_{кз}$, кВт	$U_{кз}$, %	I_{xx} , %	Стоимость, руб/шт
ТМГ1000/10/0,4	1,53	10,78	5,48	1,18	700 000
ТМГ1250/10/0,4	1,78	12,38	5,89	0,49	900 000

«Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_m = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (17)$$

где σ_{max} – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч. Принимается равным 5300 ч» [2].

«Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\delta W_{г.т} = \Delta P_{xx.т} \cdot T_t \cdot n_{тр} + \Delta P_{кз.т} \cdot \left(\frac{S_{p.гp\Sigma}}{S_{н.тр}}\right)^2 \cdot \varepsilon_m \cdot \frac{1}{n_{тр}} \quad (18)$$

где T_t – количество рабочих часов трансформатора, ч/год» [2].

«Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{г.т} = \rho_{a.тр} \cdot K_{тр} + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{max}} + \vartheta\right) \cdot \delta W_{г.т} \cdot 10^{-5} \quad (19)$$

где $\rho_{a.тр}$ – коэффициент амортизации;

γ – стоимость 1 кВт мощности по договору;

ϑ – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_{тр}$ – стоимость трансформатора, тыс. руб» [2].

«Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$Z_T = p_{н.тр} \cdot K_{тр} + I_{г.т} \quad (20)$$

где $p_{н.тр}$ – показатель экономической эффективности» [11].

Вычисления отражены в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнение трансформаторов ТМГ1000 и ТМГ1250

Параметр	ТМГ1000/10/0,4	ТМГ1250/10/0,4
ε_M	3870 ч/год	3870 ч/год
$\delta W_{г.т}$	36974 кВт·ч	42863 кВт·ч
$I_{г.т}$	36193,98 тыс. руб	41966,67 тыс. руб
$p_{н.тр} \cdot K_{тр}$	84 тыс. руб	108 тыс. руб
Z_T	36277,98 тыс. руб	42074,97 тыс. руб

Теперь рассчитаем финансовые вложения на возведение сетей для ТМГ1000 и ТМГ1250 (таблицы 15 и 16).

Таблица 15 – Вложения и потери КЛ схемы с ТМГ1000

Потребитель	L , км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %	$C_{пр}$, руб/м	$K_{пр}$, руб	$C_{кл}$, руб/м	$K_{кл}$, руб	$V_{зл}$, м ³	$K_{зл}$, руб
МКД-№15	0,173	1,26%	2,52%	410	70930	750	129750	138,4	42904
МКД-№11	0,112	0,95%	1,90%	410	45920	750	84000	89,6	27776
МКД-№10	0,153	1,18%	2,36%	410	62730	750	114750	122,4	37944
ОУ	0,122	0,91%	1,82%	360	43920	330	40260	97,6	30256
Отель	0,123	0,86%	1,72%	360	44280	330	40590	98,4	30504
МКД-№16	0,172	1,25%	2,50%	410	70520	750	129000	137,6	42656
МКД-№19	0,113	0,87%	1,74%	410	46330	750	84750	90,4	28024
МКД-№20	0,072	0,52%	1,04%	410	29520	750	54000	57,6	17856
Кафетерий	0,163	0,99%	1,98%	200	32600	240	39120	130,4	40424
Рынок	0,072	0,57%	1,14%	410	29520	480	34560	57,6	17856
МКД-№22	0,043	0,36%	0,72%	410	17630	750	32250	34,4	10664
МКД-№26	0,082	0,60%	1,20%	410	33620	750	61500	65,6	20336
МКД-№28	0,0152	0,11%	0,22%	410	6232	750	11400	12,16	3769,6
СЦ	0,182	1,21%	2,42%	200	36400	240	43680	145,6	45136
ДЦ	0,062	0,48%	0,96%	200	12400	240	14880	49,6	15376

Продолжение таблицы 15

Потребитель	L , км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %	$C_{пр}$, руб/м	$K_{пр}$, руб	$C_{кл}$, руб/м	$K_{кл}$, руб	$V_{зл}$, м ³	$K_{зл}$, руб
Травматология	0,112	0,65%	1,30%	410	45920	480	53760	89,6	27776
МКД-№8	0,211	1,79%	3,58%	410	86510	750	158250	168,8	52328
МКД-№5	0,092	0,78%	1,56%	410	37720	750	69000	73,6	22816
МКД-№35	0,182	1,26%	2,52%	410	74620	750	136500	145,6	45136
Аквапарк	0,072	0,70%	1,40%	200	14400	228	16416	57,6	17856
Боулинг	0,142	1,01%	2,02%	200	28400	240	34080	113,6	35216
Детский сад	0,132	0,81%	1,62%	200	26400	276	36432	105,6	32736
Гипермаркет	0,182	1,41%	2,82%	360	65520	390	70980	145,6	45136
МКД-№30	0,132	1,12%	2,24%	410	54120	750	99000	105,6	32736
МКД-№32 (1-4)	0,152	1,07%	2,14%	410	62320	480	72960	121,6	37696
МКД-№32 (4-7)	0,042	0,30%	0,60%	410	17220	480	20160	33,6	10416
Полиция	0,019	0,13%	0,26%	410	7790	600	11400	15,2	4712
					1103492	–	1693428	2503,36	776041,6

Таблица 16 – Вложения и потери КЛ схемы с ТМГ1250

Потребитель	L , км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %	$C_{пр}$, руб/м	$K_{пр}$, руб	$C_{кл}$, руб/м	$K_{кл}$, руб	$V_{эл}$, м ³	$K_{эл}$, руб
МКД-№15	0,022	0,16%	0,32%	410	9020	750	16500	17,6	5456
МКД-№16	0,232	1,68%	3,36%	410	95120	750	174000	185,6	57536
МКД-№11	0,122	1,03%	2,06%	410	50020	750	91500	97,6	30256
ДЦ	0,122	0,95%	1,90%	200	24400	240	29280	97,6	30256
ОУ	0,122	0,91%	1,82%	360	43920	330	40260	97,6	30256
Отель	0,242	1,70%	3,40%	360	87120	330	79860	193,6	60016
Рынок	0,222	1,75%	3,50%	410	91020	480	106560	177,6	55056
МКД-№20	0,106	0,77%	1,54%	410	43460	750	79500	84,8	26288
МКД-№26	0,242	1,76%	3,52%	410	99220	750	181500	193,6	60016
МКД-№19	0,132	1,02%	2,04%	410	54120	750	99000	105,6	32736
МКД-№22	0,152	1,29%	2,58%	410	62320	750	114000	121,6	37696
Травматология	0,132	1,06%	2,12%	360	47520	390	51480	105,6	32736
ДЦ	0,052	0,40%	0,80%	200	10400	240	12480	41,6	12896
Кафетерий	0,182	1,38%	2,76%	200	36400	228	41496	145,6	45136
МКД-№8	0,173	1,47%	2,94%	410	70930	750	129750	138,4	42904

Продолжение таблицы 16

Потребитель	L , км	ΔU_p , %	$\Delta U_{па}$, %	$C_{пр}$, руб/м	$K_{пр}$, руб	$C_{кл}$, руб/м	$K_{кл}$, руб	$V_{зл}$, м ³	$K_{зл}$, руб
МКД-№10	0,182	1,40%	2,80%	410	74620	750	136500	145,6	45136
МКД-№5	0,093	0,79%	1,58%	410	38130	750	69750	74,4	23064
МКД-№35	0,143	0,99%	1,98%	410	58630	750	107250	114,4	35464
Боулинг	0,212	1,51%	3,02%	200	42400	240	50880	169,6	52576
Детский сад	0,113	0,69%	1,38%	200	22600	276	31188	90,4	28024
Гипермаркет	0,163	0,65%	1,30%	360	58680	390	63570	130,4	40424
МКД-№30	0,132	1,12%	2,24%	410	54120	750	99000	105,6	32736
МКД-№32 (1-4)	0,132	0,93%	1,86%	410	54120	480	63360	105,6	32736
МКД-№32 (4-7)	0,153	1,08%	2,16%	410	62730	480	73440	122,4	37944
МКД-№28	0,043	0,30%	0,60%	410	17630	750	32250	34,4	10664
Полиция	0,122	0,82%	1,64%	410	50020	600	73200	97,6	30256
СЦ	0,183	1,52%	3,04%	200	36600	228	41724	146,4	45384
					1395270	–	2089278	3140,8	973648

Траншея КЛ выполняется глубиной 1 м и шириной 0,8 м.

«Погонный метр КЛ примем из каталога» [5].

«Общая стоимость капиталовложений для прокладки кабельных линий:

$$Z = K_{\text{пр}} + K_{\text{кл}} + K_{\text{з}} = (C_{\text{пр}} + C_{\text{кл}})L + V_{\text{зл}}C_{\text{зл}} \quad (21)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость прокладки кабеля, руб/м;

$C_{\text{кл}}$ – стоимость кабеля, руб/м;

$V_{\text{зл}}$ – объем земляных работ, м³;

$C_{\text{зл}}$ – стоимость земляных работ (включает разработку грунта 1000 руб/м³ и обратную засыпку 350 руб/м³), руб/м³» [5].

Выводы по разделу

Расчет показывают, что схема с трансформаторами ТМГ 1000/10/0,4 выгоднее для микрорайона №12.

Использование схемы с трансформаторами ТМГ1000 требует 3542 тыс. руб, а с ТМГ1250 – 4427 тыс. руб.

6 Расчет токов короткого замыкания

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с $S_c=500$ МВА, $U_6=10,5$ кВ, $S_6=1000$ МВА» [14].

Рассчитаем ТКЗ в относительных единицах (о.е.).

«Ток КЛ от системы до трансформатора ТМГ1000 10/0,4:

$$I_{c-тр} = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (22)$$
$$I_{c-тр} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ А}$$

Сечение по экономической плотности тока $J_{эк}=1,1$ А/мм²» [12]:

$$F_{c-тр} = \frac{I_{c-тр}}{J_{эк}} \quad (23)$$
$$F_{c-тр} = \frac{55}{1,1} = 50 \text{ мм}^2$$

«Принимаем 50 мм². По паспортным данным ААБл 3×50-10 длительный допустимый ток составляет 110 А. В случае отключения одного из трансформаторов КЛ выдержит аварийный ток» [16].

«Активное сопротивление кабеля $r_{уд1}=0,61$ Ом/км и индуктивное сопротивление кабеля $x_{уд1}=0,063$ Ом/км» [14]. «Длина кабельной линии от точки питания до КТП равна $l_{кл1}=950$ м» [13].

«Индуктивное и активное сопротивление кабеля:

$$x_{кл1} = x_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (24)$$

$$r_{кл1} = r_{уд1} \cdot l_{кл1} \quad (25)$$

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_0^2}{S_c} \quad (26)$$

$$x_c = \frac{10,5^2}{500} = 220,5 \text{ мОм}$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-1: $x_{К-1} = 579,5$ мОм; $r_{К-1} = 280,35$ мОм. Расчетная схема и схема замещения цепи с точками КЗ представлена на рисунке 5» [9].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (АВ) примем равными $r_{кв} = 1,1$ мОм, $x_{кв} = 0,5$ мОм. Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока (ТТ) первого класса точности $r_{ТА} = 0,2$ мОм, $x_{ТА} = 0,3$ мОм. Активное сопротивление контактов $r_k = 0,1$ мОм» [9].

«Пересчитанное сопротивление к ступени НН:

$$x_{стНН} = x_{стВН} \frac{U_{НН}^2}{U_{ВН}^2} \quad (27)$$

Реактивное сопротивление ТМГ 1000/10/0,4» [9]:

$$x_{тр} = \sqrt{u_{кз.тр}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{кз.тр}}{S_{н.тр}} \right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{н.тр}} \cdot 10^4 \quad (28)$$
$$x_{тр} = \sqrt{5,48^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,78}{1000} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,6 \text{ мОм}$$

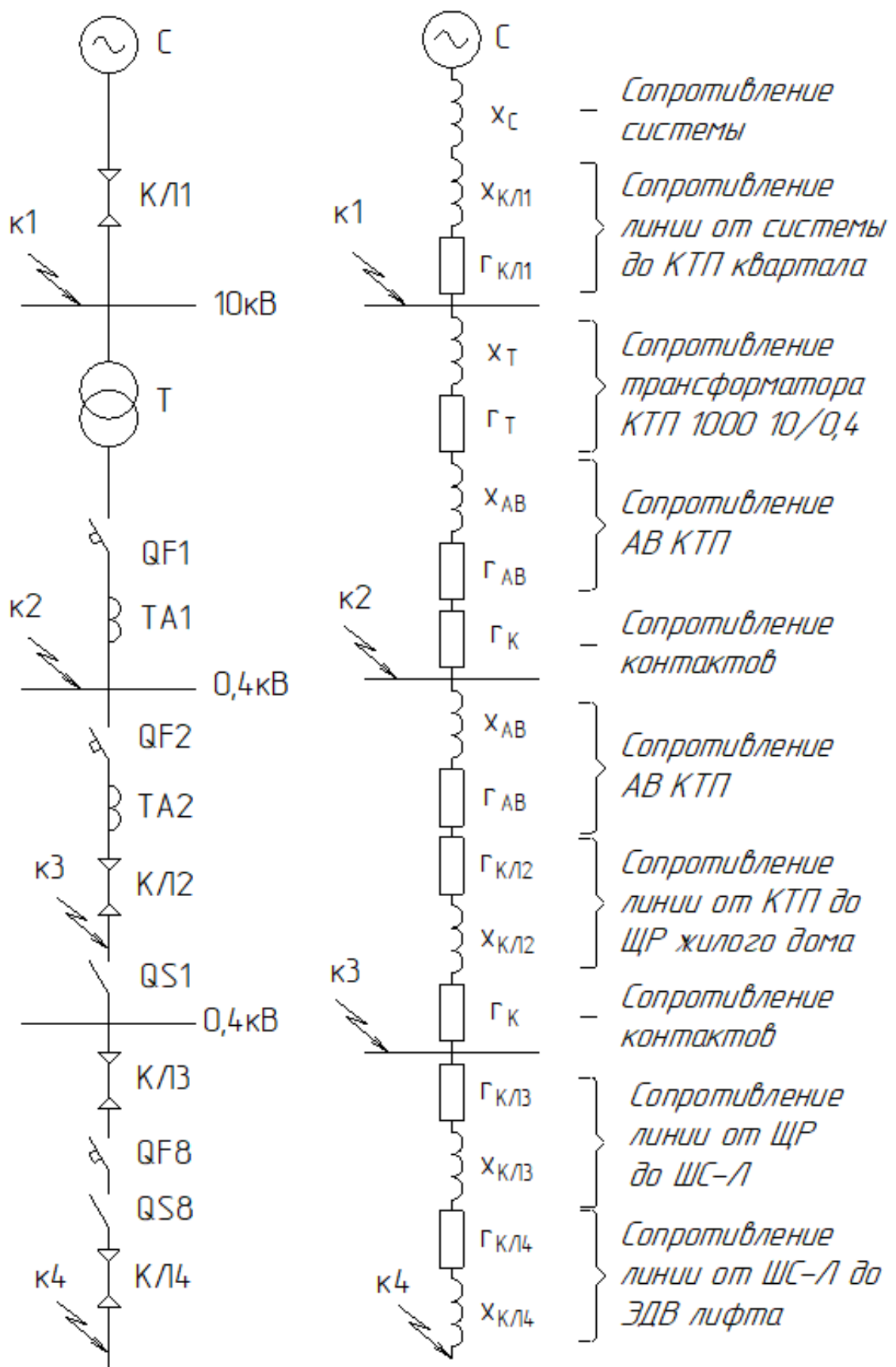


Рисунок 5 – Расчетная схема и схема замещения цепи микрорайона

«Активное сопротивление ТМГ1000/10/0,4:

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{тр}}^2} \cdot 10^6 \quad (29)$$
$$r_{\text{тр}} = \frac{10,78 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,72 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивления от системы до точки К-2:

$$r_{\text{К-2}} = r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{тр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{кв}} + r_{\text{тт}} \quad (30)$$

$$x_{\text{К-2}} = x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{тр}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{тт}} + x_{\text{с}} \quad (31)$$

Суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К-2: $x_{\text{К-2}} = 29,42 \text{ мОм}$, $r_{\text{К-2}} = 24,75 \text{ мОм}$ » [9].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [6]:

$$I_{n0.К-i} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{К-}i}^2 + x_{\text{К-}i}^2)}} \quad (32)$$
$$I_{n0.К-i} = \frac{0,4}{\sqrt{3 \cdot (29,42^2 + 24,75^2)}} = 6,01 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [6]:

$$\psi_i = \arctg\left(\frac{x_{\text{К-}i}}{r_{\text{К-}i}}\right) \quad (33)$$
$$\psi_i = \arctg\left(\frac{24,75}{29,42}\right) = 0,7$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$\zeta_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi_i}{\pi} \quad (34)$$

$$\zeta_i = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + 0,7}{\pi} = 7,23 \text{ мс}$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей ТКЗ» [6]:

$$T_{a.K-i} = \frac{x_{K-i}}{r_{K-i} \cdot \omega} \quad (35)$$

$$T_{a.K-i} = \frac{24,75}{29,42 \cdot 314} = 2,68 \text{ мс}$$

«Ударный коэффициент:

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin \psi_i \cdot e^{\frac{-\zeta_i}{T_{a.K-i}}} \quad (36)$$

$$K_{уд.K-i} = 1 + \sin(0,71) \cdot e^{\frac{-7,23}{2,68}} = 1,3$$

Ударный ток:

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot I_{n0.K-i} \cdot K_{уд.K-i} \quad (37)$$

$$i_{уд.K-i} = \sqrt{2} \cdot 6,01 \cdot 1,3 = 11,05 \text{ кА}$$

ТКЗ точек К-3 и К-4 проведем аналогично и внесем результаты в таблицу 17» [6].

Таблица 17 – Расчет трехфазных КЗ микрорайона

Точка	Элемент цепи	$r_{К-i}$	$x_{К-i}$	$I_{п0.К-i}$	ψ_i	ζ_i	$K_{уд.К}$	$i_{уд.К}$
		мОм		кА	рад	$10^{-3} с$	–	кА
К-1	Система	–	220,50	–				
	КЛ1	579,5	59,85	–				
	К-1	579,5	280,35	9,42	–	–	1,4	18,65
К-2	К1 приведенное к НН	0,84	0,41	–				
	ТМГ1000	1,72	8,60	–				
	КЛ2	26	15,4	–				
	Контакты	0,1	–	–				
	АВ	0,65	0,17	–				
	ТТ	0,11	0,17	–				
	К-2	29,42	24,75	6,01	0,7	7,23	1,3	11,05
К-3	КЛ3	14,3	8,47	–				
	Контакты	0,15	–	–				
	АВ	1,2	0,6	–				
	ТТ	0,33	0,68	–				
	К-3	45,40	34,50	4,05	0,65	7,07	1,2	6,87
К-4	КЛ4	6,5	3,85	–				
	Контакты	0,11	–	–				
	АВ	1,31	0,71	–				
	ТТ	0,74	1,19	–				
	К-4	54,06	40,25	3,43	0,64	7,04	1,2	5,82

Выводы по разделу

На стороне выше 1кВ самый высокий ударный ток составил 18,65 кА, а на стороне до 1кВ – 11,05 кА.

7 Выбор оборудования трансформаторных подстанций

«Оборудование КТП должно соответствовать критериям термической и электродинамической стойкости» [20].

«Ток термической стойкости точки на примере К-2» [15]:

$$B_{K.i} = I_{п0.K-i}^2 (T_{a.K-i} + t_{п.в}) \quad (38)$$
$$B_{K.i} = 6,01^2 \cdot (2,68 + 30) \cdot 10^{-3} = 1,18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (39)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [18].

«Максимальное значение аperiodической составляющей ТКЗ» [15]:

$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п0.K-i} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_{a.K-i}}} \quad (40)$$
$$i_{a.\gamma} = \sqrt{2} \cdot 6,01 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,68}} = 8,34 \text{ кА}$$

«Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{a.n} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (41)$$
$$i_{a.n} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,1 \text{ кА}$$

где I_{δ} – ток отключения выключателя, кА» [18].

Расчетные параметры отражены в таблице 18.

Таблица 18 – Проверка характеристик электрооборудования КТП

Расчетный цепи	Единица измерения	Параметр оборудования	Выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{max}=2,02$	кА	I_p	2,5	2,5	2,5
$I_{n0}=6,01$	кА	I_δ	10	–	–
$i_{ay}=8,34$	кА	$i_{a..н}$	10	–	–
$i_{уд.к}=13,1$	кА	$i_{пр.с}$	25	25	25
$B_{к.і}=1,18$	кА ² ·с	$B_{к.н}$	50	50	50

План КТП и состав оборудования показаны на рисунках 6 и 7 соответственно [7].

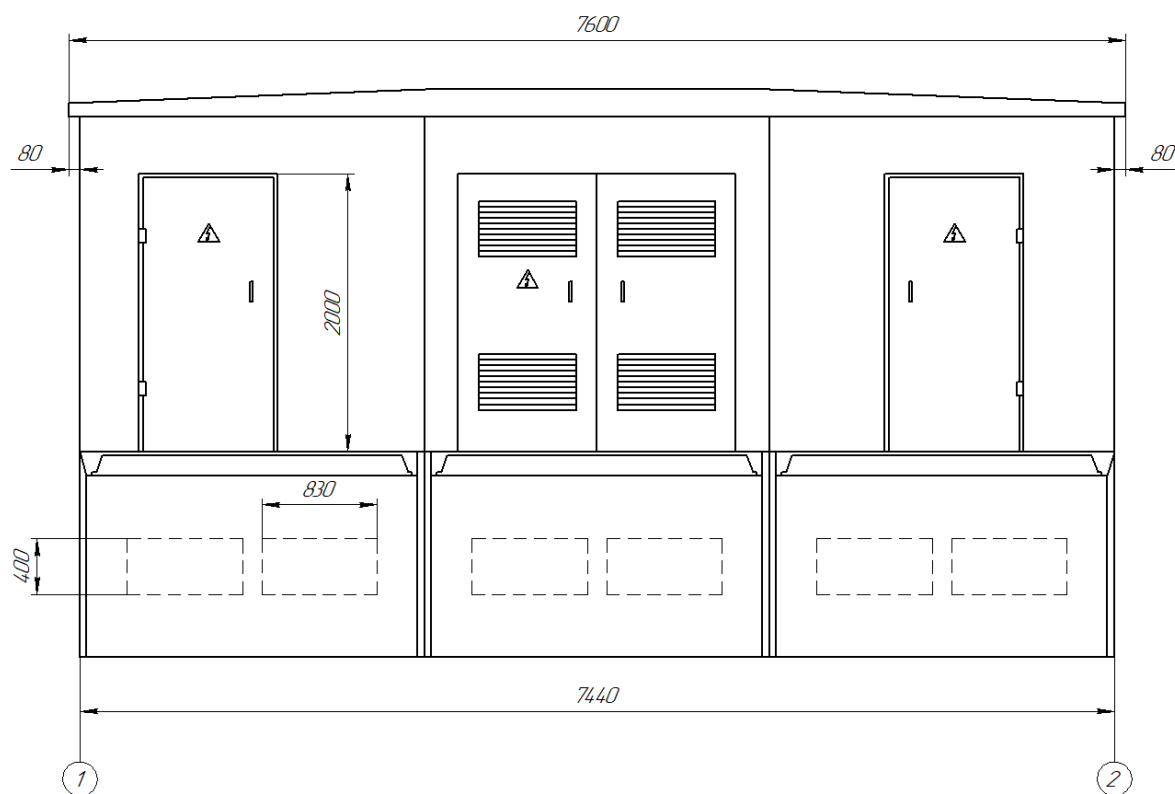


Рисунок 6 – План КТП

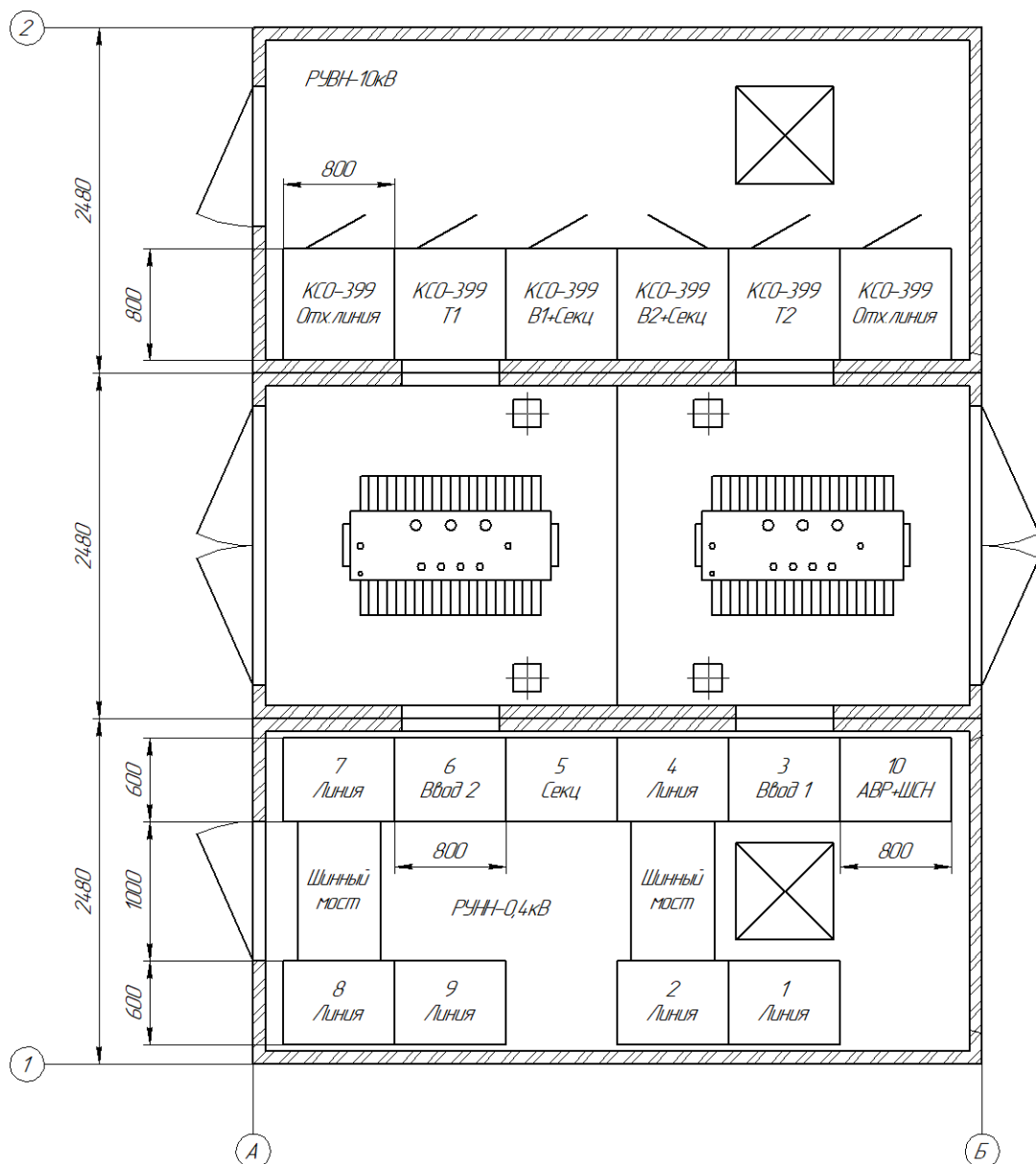


Рисунок 7 – Оборудование КТП

Выводы по разделу

Электрооборудование КТП с трансформаторами ТМГ1000/10/0,4 соответствует необходимым требованиям.

8 Расчет заземления трансформаторных подстанций

Тип системы заземления на вводе в здания микрорайона примем TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S [9].

«Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине (1.7.119-1.7.120) при помощи проводников системы уравнивания потенциалов» [9].

«Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left(\ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (42)$$

где $\rho_{э.г}$ – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{в.з}$ – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{в.з}$ – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{в.з}$ – заглубление, м» [9].

«Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (43)$$

где $b_{г.з}$ – ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{г.з}$ – заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{г.з}$ – длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [9].

«Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{иi} n_i}{R_i}} \quad (44)$$

где n_i – число комплектов;

$k_{иi}$ – коэффициент использования» [9].

«Сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{в.з} = \frac{98}{6,28 \cdot 2,9} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 2,9}{0,017} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{8+2,9}{8-2,9} \right) \right) = 33,49 \text{ Ом}$$

$$R_{г.з} = \frac{98}{6,28 \cdot 19,7} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 19,7^2}{0,06 \cdot 0,4} \right) = 8,23 \text{ Ом}$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\left(\frac{25 \cdot 0,68}{33,5} \right) + \left(\frac{1 \cdot 0,68}{8,22} \right)} = 1,7 \text{ Ом}$$

На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [9].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции» [9].

«Жилые здания относятся к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля зданий выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25×4, которая располагается на кровле» [9],[19].

Выводы по разделу

Требования ПУЭ выполняются, так как сопротивление заземляющего устройства менее 4 Ом. Молниезащита микрорайона №12 выполнена на основании требований нормативно-технической документации.

Заключение

В данной ВКР выполнен расчет системы электроснабжения потребителей микрорайона №12 расположенного в Кировском районе города Самара.

Изначально были представлены данные об МКД, зданиях и сооружениях, возведенных на территории каждого из кварталов района №12. Исходные данные включали в себя удельные нагрузки зданий, объемные параметры МКД, план размещения возведенных объектов, электроснабжение которых необходимо осуществить. В соответствии с этим, на основании действующих инструкций и нормативных документов был проведен расчет суммарных электрических нагрузок как для силовой части, так и для внутриквартальной осветительной сети. Компенсация реактивной мощности не предусмотрена.

Для сравнительного анализа были взяты схемы питания с пятью КТП на базе двух силовых трансформаторов ТМГ1000/10/0,4 и с четырьмя КТП с ТМГ1250/10/0,4.

Данные схемы электроснабжения сравнивались по суммарным капиталовложениям как для строительства, так и для эксплуатации. В результате выгоднее оказалась схема с силовыми трансформаторами ТМГ1000 10/0,4. Потери напряжения в последней оказались допустимыми.

По выбранной схеме был проведен расчет ТКЗ. В данном разделе были приняты четыре расчетные точки, одна из которых на стороне ВН (10 кВ). Наиболее высокие ТКЗ оказались для точки на стороне НН ближе к энергосистеме.

Электрооборудование КТП прошло требуемые проверки на термическую и электродинамическую стойкости.

На заключительном этапе определены требования к выполнению заземления и молниезащиты для электрооборудования КТП рассматриваемого микрорайона №12.

Список используемых источников

1. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил 52.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.03.2024).

2. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Руководящий документ 34.20.185-94 утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 15.03.2024).

3. Кабели силовые с пропитанной бумажной изоляцией. Технические условия [Электронный ресурс]: ГОСТ 18410-73 утв. и введен в действие Приказом Госстандарта от 08.02.1973. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004968> (дата обращения: 15.03.2024).

4. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс]: Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 15.03.2024).

5. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс]: Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кc.ru/price/cable-арvbbshp> (дата обращения: 15.03.2024).

6. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс]: ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 15.03.2024).

7. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс]: Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 15.03.2024).

8. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : ГОСТ 55706-2013 утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 15.03.2024).

9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

10. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] : Свод правил по проектированию и строительству 31-110-2003 утв. приказом №194 от 26.10.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения: 15.03.2024).

11. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 15.03.2024).

12. Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации наружного электрического освещения [Электронный ресурс] : ГОСТ 21.607-2014 введен в действие Приказом Росстандарта от 26.11.2014 N 1839-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115054> (дата обращения: 15.03.2024).

13. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 15.03.2024).

14. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 52719-2007 утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 15.03.2024).

15. Трансформаторы тока. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ 7746-2015 введен в действие Приказом Росстандарта от

23.06.2016 N 674-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136399> (дата обращения: 15.03.2024).

16. Устройства защитного отключения переносные бытового и аналогичного назначения, управляемые дифференциальным током, без встроенной защиты от сверхтоков (УЗО-ДП). Общие требования и методы испытаний [Электронный ресурс] : ГОСТ 31603-2012 утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии от 15.11.2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102087> (дата обращения: 15.03.2024).

17. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : ГОСТ 32144-2013 введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.03.2024).

18. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 1516.3-96 утв. Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 07.04.1998. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011565> (дата обращения: 15.03.2024).

19. Benthaus M. A Coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

20. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. *IEEE Access* Vol. 8. 2020. p.673-684.

21. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

22. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2018. p.259-264.

23. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. Energy Conversion and Economics. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.