

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)

Энергосбережение и энергоаудит
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности системы электроснабжения района города

Обучающийся

А.С. Филатов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Егорова

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа направлена на разработку технических мероприятий по повышению энергетической эффективности микрорайона города.

Для разработки технических мероприятий на первом этапе проведен анализ системы электроснабжения микрорайона и определены направления по повышению энергетической эффективности. Так как в непосредственной близости от микрорайона введена в эксплуатацию новая подстанция 110/10 кВ «Краснознаменская», то предложено выполнить перевод системы электроснабжения микрорайона с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ. Данное мероприятие потребовало проведения расчетов электрических нагрузок микрорайона. Так как микрорайон строился в восьмидесятых годах 20 века, необходимо скорректировать расчетную мощность микрорайона, а также выполнить выбор новых трансформаторов на ТП. Принято, что ТП должны быть установлены в тех же точках что и до реконструкции, но мощности и марки трансформаторов ТП должны быть пересмотрены. В результате выбраны трансформаторы марки ТМГ 10/0,4 кВ с мощностями от 630 кВА до 1250 кВ производства ООО «Тольяттинский трансформатор». Выполнен расчет системы освещения и предложены к установке новые светодиодные светильники марки L-street 120 Turbine, производства компании Ledel. Эффективность данных светильников составляет 133,22 Лм/Вт, что существенно превышает эффективность светильников, установленных в настоящее время в микрорайоне.

Пояснительная записка представлена на 63 страницах, содержит 10 таблиц и 7 рисунков. Список используемой литературы представлен 26-ю наименованиями, в том числе 5 на английском языке.

Abstract

The graduation work is aimed at developing technical measures to improve the energy efficiency of the district of the city.

To develop technical measures at the first stage, an analysis of the power supply system of the district was carried out and directions for improving energy efficiency were identified. Since a new 110/10 kV Krasnoznamenskaya substation was put into operation in the immediate vicinity of the district, it was proposed to transfer the district's power supply system from a voltage of 6 kV to a voltage of 10 kV. This event required the calculation of the electrical loads of the district. Since the district was built in the eighties of the 20th century, it is necessary to adjust the calculated capacity of the district, as well as select new transformers at the transformer substation. It is accepted that transformer substations should be installed at the same points as before the reconstruction, but the capacities and brands of transformer substations should be reviewed. As a result, transformers of the TMG brand 10/0.4 kV with capacities from 630 kVA to 1250 kVA manufactured by Togliatti Transformer LLC were selected. The lighting system was calculated and new LED lamps of the L-street 120 Turbine brand, manufactured by Ledel, were proposed for installation. The efficiency of these lamps is 133.22 Lm/W, which significantly exceeds the efficiency of lamps currently installed in the district.

The explanatory note is presented on 63 pages, contains 10 tables and 7 figures. The list of used literature is represented by 26 titles, including 5 in English.

Содержание

Введение.....	5
1 Краткая характеристика объекта реконструкции	7
2 Расчет электрических нагрузок микрорайона до реконструкции.....	11
2.1 Расчет электрических нагрузок жилых домов микрорайона	11
2.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий и учреждений микрорайона	17
2.3 Расчет нагрузок освещения.....	20
3 Определение направлений повышения энергетической эффективности микрорайона	26
4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов подстанций микрорайона	29
4.1 Выбор напряжения системы электроснабжения микрорайона.....	29
4.2 Выбор силовых трансформаторов для трансформаторных подстанций микрорайона	29
5 Выбор светильников для уличного освещения и светотехнический расчет сети уличного освещения	38
6 Схема электроснабжения микрорайона	43
7 Проверка кабельных линий по потере напряжения	49
Заключение	58
Список используемой литературы	62

Введение

Наметившиеся в последние несколько лет тенденции по развитию строительной отрасли позволили увеличить количество вводимых жилых зданий и объектов инфраструктуры. При этом большое внимание уделяется вопросам обеспечения в новых жилых комплексах высокой энергетической эффективности [1], [3]. Однако стоит отметить, что не во всех регионах России темпы строительства одинаково высоки. В большинстве провинциальных регионов преимущественно преобладают районы советской застройки разных этапов, а также застройка переходного периода - конец 90-х начала 2000-х годов. Эти микрорайоны и строения не могут зачастую относиться к объектам с высокой энергетической эффективностью, поэтому, для обеспечения показателей высокой энергетической эффективности зданий и сооружений определенных в федеральных программах необходимо разработать мероприятия, обеспечивающие максимальное повышение показателей энергетической эффективности.

В настоящее время жилые комплексы стали крупными потребителями электрической энергии, по мощности сравнимыми с промышленными узлами [5], [9]. Это связано в первую очередь с тем, что в современные жилые комплексы включают в себя не только жилые, но и общественные здания. Во всех этих зданиях в условиях современности применяется большое количество бытовой, офисной, кухонной техники, торгового оборудования, для работы которых требуется электроэнергия. Для электроснабжения новых жилых микрорайонов и комплексов строятся новые районные подстанции в городской черте, при этом эти подстанции могут быть использованы для перевода существующих систем электроснабжения микрорайонов на новые.

Исходя из этого, при проектировании систем электроснабжения жилых комплексов необходимо уделять особое внимание таким аспектам, как: надежность электроснабжения жилых комплексов, применение наиболее современного электрооборудования, грамотное построение схем электроснабжения жилых комплексов [22].

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы предлагается в качестве объекта использовать жилой микрорайон города. Целью ВКР является повышение энергетической эффективности жилого микрорайона города. Достижение поставленной цели планируется за счёт решения следующих задач:

- Провести анализ объекта выпускной квалификационной на предмет определения направления повышения энергетической эффективности;
- Разработать технические мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности объекта ВКР;
- Выполнить анализ показателей энергетической эффективности объекта с учётом разработанных технических мероприятий.

В рамках выполнения ВКР планируется разработать только технические мероприятия касающиеся системы электроснабжения объекта. Мероприятия, относящиеся к другим системам энергообеспечения [11] рассматривать в рамках ВКР, не планируется

1 Краткая характеристика объекта реконструкции

Объектом реконструкции, с целью повышения энергетической эффективности, выступает двенадцатый микрорайон, расположенный в Советском районе крупного города с населением 1 млн. человек. Город расположен в регионе Средняя-Волга (Приволжский ФО). Объект ВКР включает в себя жилые дома, гаражи (подземные и полуподземные), магазины, детские сады и школы, а также общественные здания общего назначения. В таблице 1 представлены данные по нагрузкам всех зданий, относящихся к микрорайону.

Таблица 1 - Нагрузки микрорайона 12

Наименование сооружения	Кол-во квартир, помещений, мест	Категория надежности электроснабжения	Число лифтовых установок жилых домов	Мощность лифтовых установок, кВт	Кол-во ЭД санитарно-технического назначения
1	2	3	4	5	6
1 очередь микрорайона					
Жилой дом № 1	116	II/I	4	3	12
Жилой дом № 2	152	II/I	5	3	16
Жилой дом № 3	188	II/I	6	3	19
Жилой дом № 4	224	II/I	7	3	23
Жилой дом № 5	110	II/I	2	3; 5	11
Полуподземный гараж № 50	130	III	-	-	-
2 очередь микрорайона					
Жилой дом № 6	110	II/I	2	3; 5	11
Жилой дом № 7	100	II/I	2	3; 5	10
Жилой дом № 8	90	II/I	2	3; 5	9
Жилой дом № 9	100	II/I	2	3; 5	10
Жилой дом № 10	110	II/I	2	3; 5	11
Жилой дом № 11	120	II/I	2	3; 5	12
Магазин продовольственный № 40	210	II/I	-	-	-
Промтоварный магазин № 41	280	II/I	-	-	-
Полуподземный гараж № 51	220	III	-	-	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Полуподземный гараж № 52	280	III	-	-	-
3 очередь микрорайона					
Жилой дом № 12	110	II/I	2	3; 5	11
Жилой дом № 13	100	II/I	2	3; 5	10
Жилой дом № 14	110	II/I	2	3; 5	11
Жилой дом № 15	120	II/I	2	3; 5	12
Школа № 30	900	II/I	-	-	-
Детский сад № 35	150	II/I	-	-	-
Кафе	18	II/I	-	-	-
4 очередь микрорайона					
Жилой дом № 16	116	II/I	4	3	12
Жилой дом № 17	152	II/I	5	3	16
Жилой дом № 18	188	II/I	6	3	19
Жилой дом № 19	224	II/I	7	3	23
Жилой дом № 20	160	II/I	2	3; 5	16
Школа № 31	800	II/I	-	-	-
Детский сад № 36	140	II/I	-	-	-
Магазин продовольственный № 42	245	II/I	-	-	-
Подземный гараж № 53	70	III	-	-	-
Столовая № 100	50	II/I	-	-	-
Примечание: активная мощность ЭД санитарно-технического назначения равна 1 кВт					

Система наружного освещения, т.е. система освещения внутриквартальных и внутридворовых проездов, включает в себя 102 светильника с лампами типа ДНаТ-250. Мощность каждого светильника составляет 250 Вт. Питание подстанций микрорайона выполнено от районной подстанции «Советская» 110/6 кВ расположенная с северо-восточной стороны микрорайона 12. Питание микрорайона выполнено по кабельным линиям 6 кВ. Питание осуществляется от разных силовых трансформаторов, установленных на подстанции «Советская». Микрорайон 12 расположен в границах ул. Ленина (северо-западная граница), ул. Революционная (юго-западная граница), ул. Советская (северо-восточная граница), ул. Карла Маркса (юго-восточная граница). Генеральный план микрорайона 12 представлен на рисунке 1.

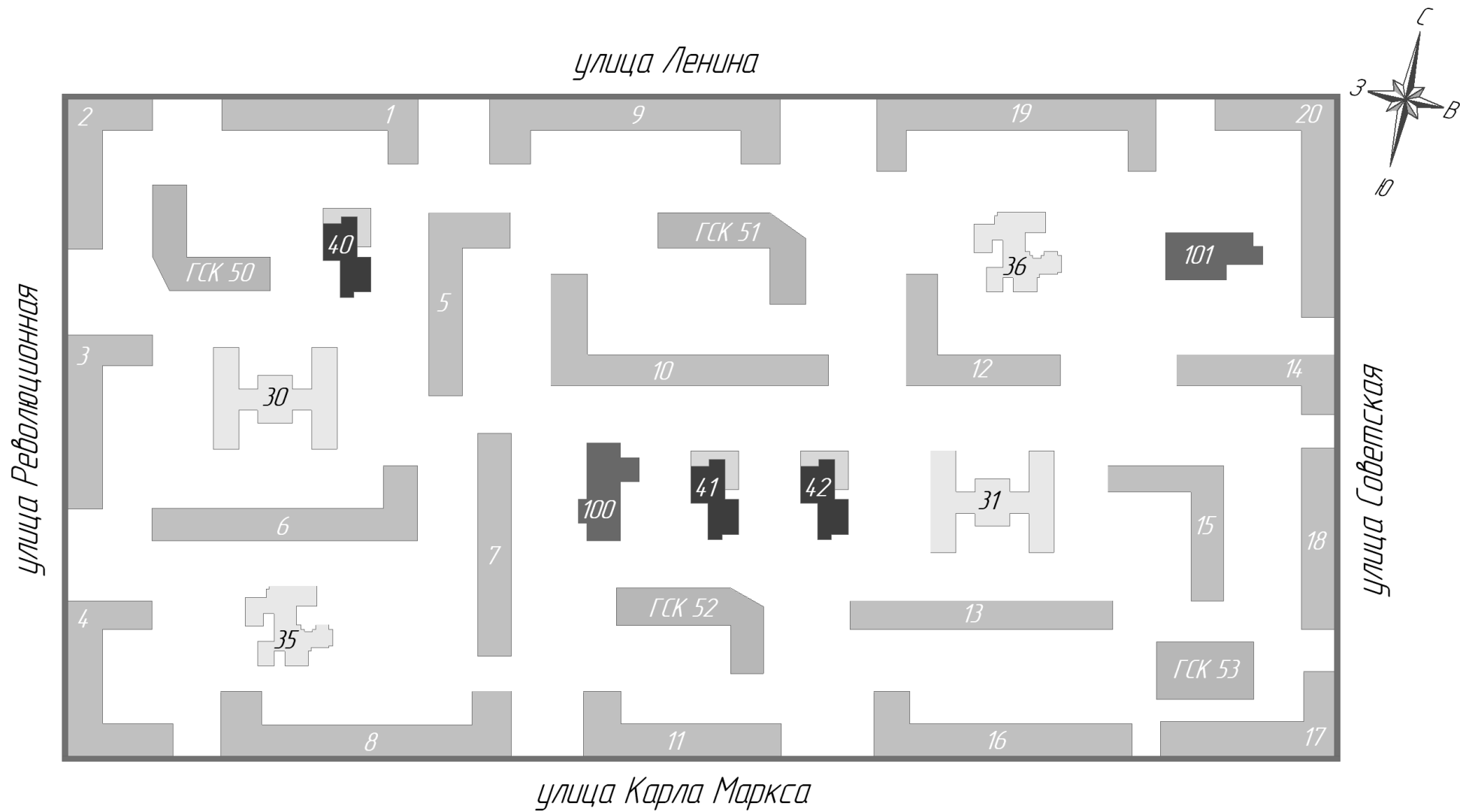


Рисунок 1 - План микрорайона 12

Выводы по разделу. Определен план объекта ВКР – микрорайона 12 крупного города в Приволжском ФО. Определен перечень объектов входящих в микрорайон. Определены границы микрорайона: ул. Ленина (северо-западная граница), ул. Революционная (юго-западная граница), ул. Советская (северо-восточная граница), ул. Карла Маркса (юго-восточная граница).

Установлено, что питание всех трансформаторных подстанций (ТП) микрорайона 12 осуществляется от шин 10 кВ подстанции «Советская» 110/6 кВ. Питание ТП микрорайона осуществляется с разных шин напряжением 6 кВ.

Определено, что в настоящее время в микрорайоне, в системе уличного освещения используется светильники с лампами типа ДНаТ-250. Мощность каждого светильника 250 Вт. Светильники типа ДНаТ – это светильники дуговыми натриевыми трубчатými лампами. Данные светильники имеют характерный желтый свет и применяется часто в системах именно уличного освещения. Лампы ДНаТ-250 имеют номинальный световой поток на уровне 26000 Лм, однако со временем световой поток данных ламп снижется и через год эксплуатации может снизиться до 15200 Лм, что существенно сказывается на эффективности системы уличного освещения учитывая, что мощность светильника остается прежней.

2 Расчет электрических нагрузок микрорайона до реконструкции

В этом разделе проводится расчет электрических нагрузок микрорайона 12, который необходим для выбора направлений повышения энергетической эффективности, а также последующем определении эффективности предложенных энергосберегающих мероприятий [17], [16].

Расчет электрических нагрузок – это первый этап проектирования микрорайона [15]. Это связано с тем, что для выбора силовых трансформаторов, сечений кабелей, сечений шин вводно-распределительных устройств 0,4 кВ жилых домов, заведений, учреждений и выбора коммутационных аппаратов необходимо знать расчетные токи.

Расчет электрических нагрузок микрорайона до реконструкции включает определение нагрузок отдельных потребителей (жилых домов, общественных зданий, коммунально-бытовых предприятий и т. д. в составе микрорайона) и элементов системы электроснабжения (распределительных линий, трансформаторных подстанций, распределительных пунктов, центров питания и т. д.) этого микрорайона.

При проектировании необходимо воспользоваться СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [19], РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей [14].

2.1 Расчет электрических нагрузок жилых домов микрорайона

Расчет проводим по методикам представленным в [14] и [19].

Определим расчетную электрическую нагрузку жилого дома №4 по выражению (1):

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

где $P_{\text{кв.уд}}$ – удельная электрическая нагрузка квартир жилого дома, кВт/кв;
 $n_{\text{кв.}}$ – число квартир в доме, шт.

Определяем по (1) расчетную электрическую нагрузку жилого дома №4 используя данные таблицы 1:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n_{\text{кв.}} = 1,36 \cdot 224 \text{ (кВт)} \quad (2)$$

Мощность лифтовых установок согласно исходных данных таблицы 1 определяется, используя выражение:

$$P_{\text{л}} = k_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{л.}i} \quad (3)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент спроса лифтовых установок жилого дома;

n – число лифтовых установок согласно данным таблицы 1, шт;

$P_{\text{л.}i}$ – установленная мощность i -й лифтовой установки согласно таблице 1, кВт.

Используя выражение (3), а также данные таблицы 1 определим мощность лифтовых установок жилого дома №4:

$$P_{\text{л}} = k_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{л.}i} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{n=7} 3 = 0,5 \cdot 21 = 10,5 \text{ (кВт)} \quad (4)$$

Мощность электродвигателей санитарно-технических устройств согласно исходных данных таблицы 1 определяется, используя выражение:

$$P_{\text{ст.у}} = k_c \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ст.у.}i} \quad (5)$$

где k_c – коэффициент спроса санитарно-технических устройств жилого многоквартирного дома;

n – число лифтовых установок согласно данным таблицы 1, шт.;

$P_{\text{ст.у.}i}$ – мощность i -й санитарно-технической установки, кВт.

Определяем мощность электродвигателей санитарно-технических устройств жилого дома №4 по выражению (5) используя данные таблицы 1:

$$P_{\text{ст.у}} = k_c \cdot \sum_{i=1}^{n=23} P_{\text{ст.у.}i} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{n=23} 1 = 0,5 \cdot 23 = 11,5 \text{ (кВт)} \quad (6)$$

Суммарная мощность силовых электроприемников жилого дома определяется по данным полученным по (3) и (5) используя выражение:

$$P_c = P_{\text{л}} + P_{\text{ст.у}} \quad (7)$$

Определяем суммарную мощность силовых электроприемников жилого дома №4 по (7) используя значения полученные в (4) и (6):

$$P_c = P_{\text{л}} + P_{\text{ст.у}} = 10,5 + 11,5 = 22,0 \text{ (кВт)} \quad (8)$$

Теперь мы можем определить суммарную мощность квартир и силовых электроприемников жилого дома используя данные, полученные с использованием выражений (1) и (7):

$$P_{\text{р.ж.д.}} = P_{\text{кв}} + k_y \cdot P_c \quad (9)$$

где k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников жилого дома.

Определяем суммарную мощность квартир и силовых электроприемников жилого дома №4 по (9) используя значения полученные в(2) и (8):

$$P_{р.ж.д.} = P_{кв} + k_y \cdot P_c = 304,6 + 0,9 \cdot 22,0 = 324,4 \text{ (кВт)} \quad (10)$$

Определим полную мощность необходимую для электроснабжения жилого дома №4 по выражению:

$$S_{р.ж.д.} = \frac{P_{р.ж.д.}}{\cos \varphi} \quad (11)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности для жилого дома, для жилых домов принимаем $\cos \varphi = 0,98$.

Определяем полную мощность необходимую для электроснабжения жилого дома №4 по (6):

$$S_{р.ж.д.} = \frac{P_{р.ж.д.}}{\cos \varphi} = \frac{324,4}{0,98} = 331,0 \text{ (кВА)} \quad (12)$$

Определим расчетное значение тока на вводе в ВРУ жилого дома по выражению:

$$I_{р.ж.д.} = \frac{S_{р.ж.д.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (13)$$

где U_H – номинальное напряжение на вводе ВРУ жилого дома, кВ.

Определим расчетное значение тока на вводе в ВРУ жилого дома №4 по (13) с учетом значения полученного в(12):

$$I_{\text{р.ж.д.}} = \frac{S_{\text{р.ж.д.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{331,0}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 477,7 \text{ (А)} \quad (14)$$

Расчет нагрузки жилого дома №4 завершен. Теперь проведем аналогичный расчет жилого дома №13.

Определяем расчетную электрическую нагрузку жилого дома №13 по выражению (1):

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n_{\text{кв.}} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ (кВт)} \quad (15)$$

Определяем мощность лифтовых установок жилого дома №13 по (3):

$$P_{\text{л}} = k_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{л.}i} = 0,5 \cdot \left(\sum_{i=1}^{n=1} 3 + \sum_{i=1}^{n=1} 5 \right) = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ (кВт)} \quad (16)$$

Определяем мощность электродвигателей санитарно-технических устройств жилого дома №13 по (5):

$$P_{\text{ст.у}} = k_{\text{с}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ст.у.}i} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{n=10} 1 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ (кВт)} \quad (17)$$

Определяем суммарную мощность силовых электроприемников жилого дома №13 по (7) используя значения полученные в (16) и (17):

$$P_{\text{с}} = P_{\text{л}} + P_{\text{ст.у}} = 4 + 5 = 9 \text{ (кВт)} \quad (18)$$

Определяем суммарную мощность квартир и силовых электроприемников жилого дома №13 по (9) используя значения полученные в (15) и (18):

$$P_{р.ж.д.} = P_{кв} + k_y \cdot P_c = 150 + 0,9 \cdot 9 = 158,1 \text{ (кВт)} \quad (19)$$

Определяем полную мощность необходимую для электроснабжения жилого дома №13 по выражению (11) используя значение полученное в (19):

$$S_{р.ж.д.} = \frac{P_{р.ж.д.}}{\cos \varphi} = \frac{158,1}{0,98} = 161,3 \text{ (кВА)} \quad (20)$$

Определяем значение силы тока на ВРУ жилого дома №13 по выражению (13) используя значение полученное в (20):

$$I_{р.ж.д.} = \frac{S_{р.ж.д.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{162,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 232,8 \text{ (А)} \quad (21)$$

Расчет нагрузок остальных жилых домов ведутся по аналогии согласно методике представленной выражениями (1), (3), (5), (7), (9), (11), (13) и (15). Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты расчета нагрузок жилых домов микрорайона 12

Наименование	$n_{кв.}$, шт.	$P_{кв.уд.}$, кВт	$P_{р.ж.д.}$, кВт	$\cos \varphi$	$S_{р.ж.д.}$, кВА	$I_{р.ж.д.}$, А
1	2	3	4	5	6	7
1 очередь микрорайона						
Жилой дом № 1	116	1,5	187,5	0,98	191,3	276,1
Жилой дом № 2	152	1,5	245,3	0,98	250,3	361,3
Жилой дом № 3	188	1,36	274,7	0,98	280,3	404,6
Жилой дом № 4	224	1,36	324,4	0,98	331,0	478,3
Жилой дом № 5	110	1,5	174,4	0,98	178,0	257,0
2 очередь микрорайона						
Жилой дом № 6	110	1,5	174,4	0,98	178,0	257,0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Жилой дом № 7	100	1,5	159,4	0,98	162,7	234,8
Жилой дом № 8	90	1,5	143,5	0,98	146,4	211,3
Жилой дом № 9	100	1,5	144,0	0,98	146,9	212,1
Жилой дом № 10	110	1,5	144,4	0,98	147,4	212,8
Жилой дом № 11	120	1,5	145,0	0,98	148,0	213,5
3 очередь микрорайона						
Жилой дом № 12	110	1,5	174,4	0,98	178,0	257,0
Жилой дом № 13	100	1,5	158,1	0,98	161,3	232,8
Жилой дом № 14	110	1,5	174,5	0,98	178,1	257,0
Жилой дом № 15	120	1,5	190,0	0,98	194,0	279,0
4 очередь микрорайона						
Жилой дом № 16	116	1,5	187,5	0,98	191,3	276,1
Жилой дом № 17	152	1,5	243,4	0,98	248,3	358,5
Жилой дом № 18	188	1,36	275,6	0,98	281,2	406,0
Жилой дом № 19	224	1,36	328,3	0,98	335,0	483,5
Жилой дом № 20	160	1,5	255,4	0,98	260,6	376,2
Суммарная активная расчетная мощность, кВт			4104,2	-	-	-
Суммарная полная расчетная мощность, кВА					4188,1	-

2.2 Расчет электрических нагрузок общественных зданий и учреждений микрорайона

Расчет электрических нагрузок общественных зданий и учреждений проводится по методике аналогичной методике расчета жилых зданий представленной выражениями (1), (11) и (13), однако для общественных зданий и учреждений микрорайона не выполняется расчет мощности санитарно-технических устройств и лифтовых установок.

Представим расчет нагрузок для общественных зданий на примере здания школы №30.

Определим электрическую нагрузку школы №30 по выражению:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уд}} \cdot n = 0,25 \cdot 900 = 225,0 \text{ (кВт)} \quad (22)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельная мощность для здания, значения определяются исходными данными таблицы 1, кВт;

n – расчетное число мест в здании, согласно данным таблицы 1, шт.

Определим расчетную полную мощность для здания школы №30 по выражению:

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\cos \varphi} = \frac{225,0}{0,95} = 236,8 \text{ (кВА)} \quad (23)$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная активная мощность общественного здания, полученная в выражении (22), кВт;

$\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности, для общественных зданий принимается равным $\cos \varphi = 0,95$.

Теперь определяем расчетное значение силы тока на ВРУ здания школы №30 по выражению:

$$I_p = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{236,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 341,9 \text{ (А)} \quad (24)$$

где $S_{\text{расч}}$ – расчетное значение полной мощности здания, полученное по выражению (23), кВА;

U_n – номинальное напряжение сети, питающей здание, для общественных зданий принято равным 0,4 кВ.

Теперь выполним расчет для здания столовой №100, по методике представленной выражениями (22) - (24).

Определяем электрическую нагрузку столовой №100 по (22):

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{уд}} \cdot n = 1,04 \cdot 50 = 52,0 \text{ (кВт)} \quad (25)$$

Определяем расчетную полную мощность нагрузки столовой №100 по выражению (23):

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\cos \varphi} = \frac{52,0}{0,85} = 61,17 \text{ (кВА)} \quad (26)$$

Определяем расчетное значение силы тока на ВРУ здания столовой №100 по (24):

$$I_p = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{54,7}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 79,0 \text{ (А)} \quad (27)$$

Расчет электрических нагрузок остальных общественных зданий микрорайона номер 12 определяется по аналогично по выражениям (22) - (24). Результаты расчета показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты расчета электрических нагрузок общественных зданий микрорайона

Наименование	n, шт.	P _{уд} , кВт	P _{расч} , кВт	cos φ	S _{расч} , кВА	I _p , А
1	2	3	4	5	6	7
1 очередь микрорайона						
Полуподземный гараж № 50	130	0,5	65	0,98	66,32653061	95,73410076
2 очередь микрорайона						
Магазин продовольственный № 40	210	0,25	52,5	0,85	61,76470588	89,14967392
Промтоварный магазин № 41	280	0,16	44,8	0,85	52,70588235	76,07438841
Полуподземный гараж № 51	220	0,5	110	0,98	112,244898	162,0115551
Полуподземный гараж № 52	280	0,5	140	0,98	142,8571429	206,1965247
3 очередь микрорайона						
Школа № 30	900	0,25	225	0,95	236,8421053	341,8521331
Детский сад № 35	150	0,46	69	0,98	70,40816327	101,62543
Кафе №101	18	1,04	18,72	0,85	22,02352941	31,78822659
4 очередь микрорайона						
Школа № 31	800	0,25	200	0,95	210,5263158	303,8685627
Детский сад № 36	140	0,46	64,4	0,98	65,71428571	94,85040137
Магазин продовольственный № 42	245	0,25	61,25	0,85	72,05882353	104,0079529
Магазин продовольственный № 41	245	0,25	61,25	0,85	72,05882353	104,0079529

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Подземный гараж № 53	70	0,5	35	0,98	35,71428571	51,54913118
Столовая № 100	50	1,04	52	0,85	61,17647059	88,30062941
Суммарная активная расчетная мощность, кВт			1137,67	-	-	-
Суммарная полная расчетная мощность, кВА					1210,363139	-

2.3 Расчет нагрузок освещения

Необходимо определить расчетную нагрузку сети уличного освещения микрорайона в настоящее время, т.е. до внедрения мероприятий по повышению энергетической эффективности. Расчет выполняем на основании исходных данных представленных в разделе 1 ВКР. Генеральный план микрорайона с расположением на нем внутриквартальных и внутри-дворовых проездов представлено на рисунке.

В микрорайоне присутствуют внутриквартальные проезды с шириной проезжей части 6 м, с общей длиной 1649,5 м. Также внутри-дворовые проезды с шириной 4,5 м с общей протяженностью 5176 м. Использование системы уличного освещения для всех внутриквартальных и внутри-дворовых проездов позволяет снизить необходимость применения дополнительных систем уличного освещения вокруг подъездов. Также системами освещения снабжены спортивные и игровые площадки микрорайона. Частично спортивные площадки расположены на территории школ, поэтому не учитываются в расчете системы освещения микрорайона. Также в данном расчете не учитывается освещение парковочных мест на придомовой территории, так как система уличного освещения обеспечивает нормируемые показатели освещенности для этих мест. Для системы освещения внутриквартальных проездов шириной 6 м принимаем нормируемую освещенность на уровне 15 Лк, а для внутри-дворовых проездов 10 Лк.

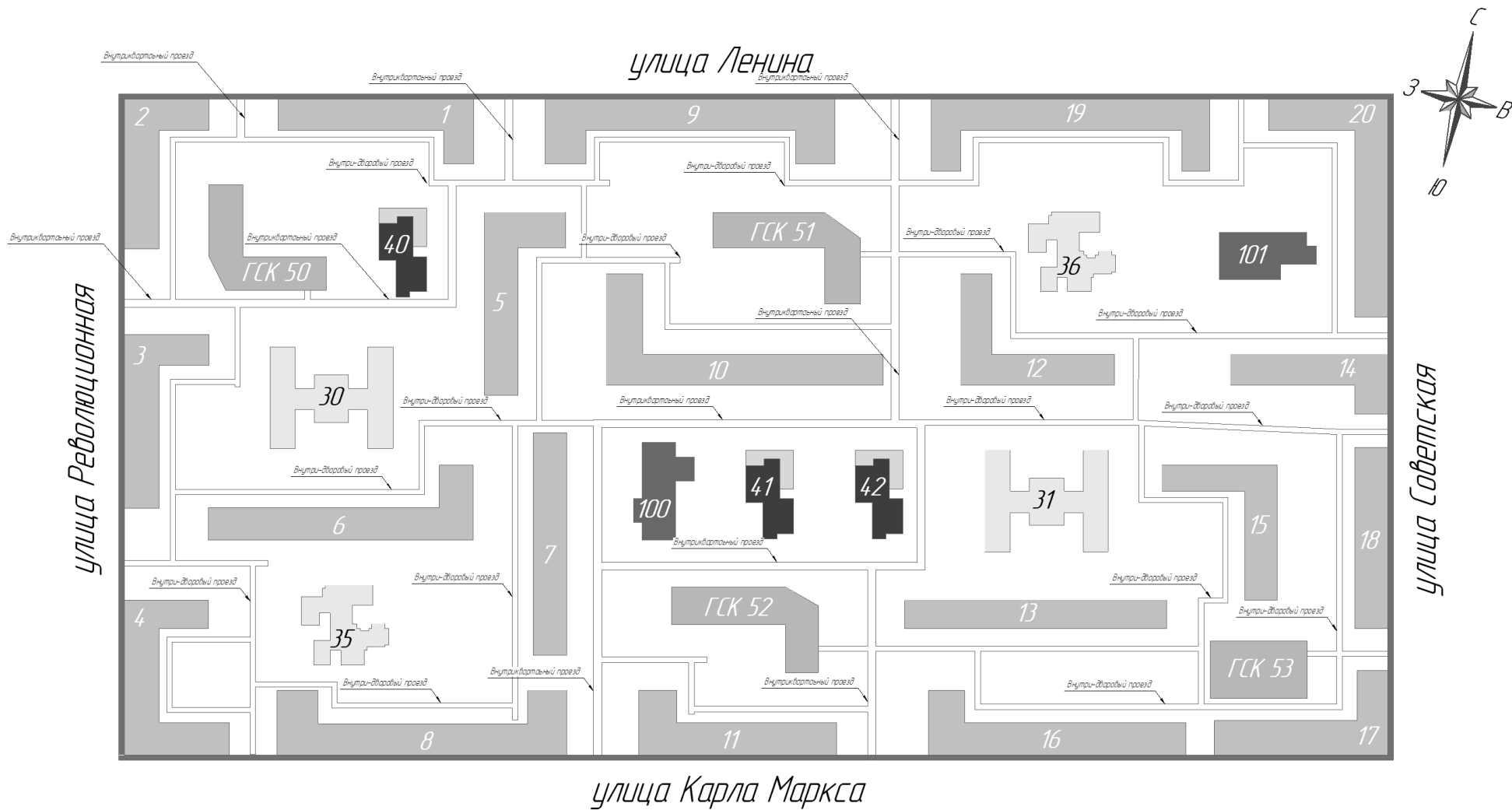


Рисунок 2 - Генеральный план микрорайона с обозначением внутриквартальных и внутри-дворовых проездов

Для начала следует определить установленную мощность сети уличного освещения микрорайона по выражению:

$$P_{\text{yo.уст}} = P_{\text{л}} \cdot n_{\text{с}} = 250 \cdot 102 = 25500 \text{ (Вт)} = 25,5 \text{ (кВт)} \quad (28)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность лампы одного светильника, согласно данным представленным в 1 разделе ВКР $P_{\text{л}} = 250 \text{ Вт}$;

$n_{\text{с}}$ – число светильников, согласно данным представленным в 1 разделе ВКР $n_{\text{с}} = 102 \text{ шт.}$

Расчетная активная мощность сети уличного освещения микрорайона 12 определяется выражением:

$$P_{\text{расч.ю}} = P_{\text{yo.уст}} \cdot K_{\text{с}} = 25,5 \cdot 1,1 = 28,05 \text{ (кВт)} \quad (29)$$

где $P_{\text{yo.уст}}$ – установленная мощности системы уличного освещения микрорайона 12, значение получено по выражению (28), кВт;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса системы уличного освещения.

Теперь следует определить реактивную мощность сети уличного освещения. Это необходимо выполнить так как в системе уличного освещения используются светильники с лампами ДНаТ, а коэффициент активной мощности данных ламп $\cos \varphi = 0,85$. Данный коэффициент активной мощности сравнительно ниже коэффициентов мощности использованных для определения расчетных нагрузок жилых и общественных зданий микрорайона 12, 0,98 и 0,95 соответственно. Определим коэффициент реактивной мощности для светильников с лампами типа ДНаТ:

$$\text{tg} \varphi = \text{tg}(\arccos \varphi) = \text{tg}(\arccos 0,85) = \text{tg}(0,5548 \text{ rad}) = 0,61 \quad (30)$$

Реактивную мощность системы уличного освещения определим по выражению:

$$Q_{\text{расч.уо}} = P_{\text{уо.уст}} \cdot K_c \cdot \text{tg} \varphi \quad (31)$$

где $P_{\text{уо.уст}}$ - установленная мощность сети уличного освещения микрорайона, определенная в выражении (28);

K_c – коэффициент спроса системы уличного освещения;

$\text{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности для системы уличного освещения с лампами типа ДНаТ определен в выражении (30) и равен $\text{tg} \varphi = 0,61$.

Используя (31) определяем реактивную мощность сети уличного освещения для микрорайона 12:

$$Q_{\text{расч.уо}} = P_{\text{уо.уст}} \cdot K_c \cdot \text{tg} \varphi = 25,5 \cdot 1,1 \cdot 0,61 = 17,11 \text{ (квар)} \quad (32)$$

Далее нужно определить полную мощность сети уличного освещения по выражению:

$$S_{\text{расч.уо}} = \sqrt{P_{\text{расч.уо}}^2 + Q_{\text{расч.уо}}^2} \quad (33)$$

где $P_{\text{расч.уо}}$ – расчетная активная мощность системы уличного освещения, значение получено в выражении (29), кВт;

$Q_{\text{расч.уо}}$ – расчетная реактивная мощность системы уличного освещения, значение получено в выражении (32), квар.

Используя (33) определяем полную мощность сети уличного освещения для микрорайона 12:

$$S_{\text{расч.уо}} = \sqrt{P_{\text{расч.уо}}^2 + Q_{\text{расч.уо}}^2} = \quad (34)$$

$$= \sqrt{25,5^2 + 17,11^2} = 30,7 \text{ (кВА)}$$

Расчетный ток для сети уличного освещения определяется выражением:

$$I_{\text{расч.уо}} = \frac{S_{\text{расч.уо}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.уо}}} \quad (35)$$

где $U_{\text{н.уо}}$ – номинальное напряжение сети уличного освещения, принимаем равным 0,22 кВ.

Используя (35) получим:

$$I_{\text{расч.уо}} = \frac{S_{\text{расч.уо}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.уо}}} = \frac{30,7}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 80,6 \text{ (А)} \quad (36)$$

Выводы по разделу. Выполнен расчет нагрузок микрорайона для жилых и общественных зданий на стороне 0,4 кВ. Данные значения расчетной мощности не изменяются при повышении энергетической эффективности микрорайона, так как данный вопрос относится к собственникам жилых и общественных зданий и должен выполняться как отдельный проект повышения энергетической эффективности [22].

Определена расчетная мощность системы уличного освещения микрорайона 12, которая выполнена светильниками с лампами типа ДНаТ-250. Данное значение будет пересмотрено в далее в ВКР, так как планируется осуществить замену светильников с лампами типа ДНаТ-250 на светильники с более высокой энергетической эффективностью.

Определены основания для проектирования систем освещения микрорайона 12. Определено, что в микрорайоне имеются внутриквартальные проезды с шириной проезжей части 6 м, с общей

протяженностью 1649,5 м и внутри-дворовые проезды с общей протяженностью 5176 м и шириной проезжей части 4,5 м.

3 Определение направлений повышения энергетической эффективности микрорайона

Как было установлено в разделе 1 ВКР питание микрорайона 12 осуществляется от подстанции 110/6 кВ «Советская». Однако, в непосредственной близости от микрорайона 12 построена новая районная подстанция «Краснознаменская» 110/10 кВ. В момент строительства микрорайона 12, а это период времени с 1980 г по 1988 г. подстанция «Советская» была единственно возможным источником питания нагрузок микрорайона.

Таким образом, предлагается выполнить перевод системы электроснабжения микрорайона с напряжения 6 кВ, на напряжение 10 кВ. Это потребует замены кабельных линий, прокладка новых кабельных линий от подстанции «Краснознаменская» 110/10 кВ, а также замена трансформаторов на трансформаторных подстанциях микрорайона 12 [23].

Кроме того, в разделе 1 ВКР определено, что в системе уличного освещения микрорайона используются светильники с лампами типа ДНаТ. Установлено, что данные светильники имеют низкую энергетическую эффективность, так как со временем эксплуатации снижется световой поток, а потребляемая светильником мощность не изменятся. Энергетическая эффективность светильников с лампами типа ДНаТ-250 определяется по выражению [20]:

$$K_{\text{эфф.ДНаТ}} = \frac{\Phi_{\text{ДНаТ}}}{P_{\text{ДНаТ}}} \quad (37)$$

где $\Phi_{\text{ДНаТ}}$ – световой поток светильника, Лм;

$P_{\text{ДНаТ}}$ – мощность светильника, Вт.

В разделе 1 ВКР определено, что световой поток светильника с лампой ДНаТ-250 в начальное время использования составляет $\Phi_{\text{ДНаТ.нач}} = 26000$ Лм, тогда энергетическая эффективность светильника по (37):

$$K_{\text{эфф.ДНаТ.нач}} = \frac{\Phi_{\text{ДНаТ.нач}}}{P_{\text{ДНаТ}}} = \frac{26000}{250} = 104 \left(\frac{\text{Лм}}{\text{Вт}} \right) \quad (38)$$

Однако, для данных светильников также определено, что через год эксплуатации световой поток светильника с лампами типа ДНаТ-250 снижается до $\Phi_{\text{ДНаТ.1}} = 15200$ Лм, тогда энергетическая эффективность светильника с лампами типа ДНаТ через год эксплуатации определим по выражению (37):

$$K_{\text{эфф.ДНаТ.1}} = \frac{\Phi_{\text{ДНаТ.1}}}{P_{\text{ДНаТ}}} = \frac{15200}{250} = 60,8 \left(\frac{\text{Лм}}{\text{Вт}} \right) \quad (39)$$

Таким образом снижение энергетической эффективности светильников с лампами типа ДНаТ с момента ввода в эксплуатацию до момента эксплуатации 1 год составляет:

$$\Delta K_{\text{эфф.ДНаТ}} = \left(1 - \frac{K_{\text{эфф.ДНаТ.1}}}{K_{\text{эфф.ДНаТ.нач}}} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{60,8}{104} \right) \cdot 100 = 41,5 (\%) \quad (40)$$

Таким образом снижение светового потока для светильников с лампами типа ДНаТ-250 за год эксплуатации составляет 41,5 %. Данные значения будем использовать для выбора оптимальных источников света для системы уличного освещения микрорайона.

Кроме того, в разделе 2 ВКР установлено, что данные светильники имеют низкий коэффициент активной мощности $\cos \varphi = 0,85$, что делает высоким значение реактивной мощности для всей системы уличного

освещения $Q_{\text{расч.уо}} = 626$ (квар). Исходя из этого предлагается рассмотреть вариант использования светодиодных светильников в системе уличного освещения микрорайона 12 [21].

Выводы по разделу. Для повышения энергетической эффективности микрорайона 12 предложено выполнить два технических мероприятия. Первым является перевод системы электроснабжения микрорайона с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ с заменой трансформаторов ТП и кабельных линий, а вторым мероприятием является замена светильников с лампами типа ДНаТ-250 на более эффективные светильники уличного освещения. Определено, что эффективность светильников с лампами типа ДНаТ-250 в начальный момент эксплуатации составляет $K_{\text{эфф.ДНаТ.нач.}} = 104$ (Лм/Вт), а спустя год эксплуатации снижается на 41,5 % до значения $K_{\text{эфф.ДНаТ.1}} = 60,8$ (Лм/Вт).

4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов подстанций микрорайона

4.1 Выбор напряжения системы электроснабжения микрорайона

При выборе напряжения систем электроснабжения необходимо руководствоваться следующими критериями:

- значение электрической нагрузки, которую питает система электроснабжения;
- удаленность потребителей от центров питания;
- территориальное расположение потребителей;
- тип потребителей;
- наличие существующих систем электроснабжения.

Как было определено ранее в ВКР, одним из мероприятий по повышению энергетической эффективности является перевод системы электроснабжения микрорайона 12 с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ [23]. Поэтому при выборе трансформаторов для установки на ТП будут использоваться трансформаторы с классом напряжения обмоток 10/0,4 кВ [26]. Питание системы электроснабжения микрорайона 12 планируется выполнить от районной подстанции «Краснознаменская» 110/10 кВ.

4.2 Выбор силовых трансформаторов для трансформаторных подстанций микрорайона

Силовые трансформаторы являются основными источниками питания электроприемников напряжением 380 и 220 В.

При выборе типа, числа и мощности силовых трансформаторов необходимо учитывать следующие факторы:

- категория надежности электроснабжения электроприемников;
- мощность нагрузки потребителей;
- территориальное расположение потребителей;

– шкала стандартных значений полных мощностей силовых трансформаторов.

Теперь необходимо определить плотность загрузки микрорайона по выражению:

$$\sigma = \frac{S_{\text{сум}}}{F_{\text{мкр}}} \quad (41)$$

где $S_{\text{сум}}$ – суммарная полная мощность нагрузки микрорайона, кВА;

$F_{\text{мкр}}$ – площадь микрорайона, км².

Суммарная мощность микрорайона определяется по данным таблиц 2 и 3:

$$S_{\text{сум}} = S_{\Sigma\text{расч}} + S_{\Sigma\text{р.ж.д.}} = 1210,36 + 4188,1 = 5398,46 \text{ (кВА)} \quad (42)$$

Определяем плотность загрузки в микрорайоне по (41) используя значение полученное в (42):

$$\sigma = \frac{S_{\text{сум}}}{F_{\text{мкр}}} = \frac{5398,46}{500000} = 0,01 \left(\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2} \right) \quad (43)$$

Можем заметить, что по значению полученному в (43) для установки на ТП микрорайона допустимо применить распределительные трансформаторы мощностью менее 1000 кВА.

Теперь необходимо выполнить определение числа трансформаторных подстанций (ТП) и распределить потребителей между ними. Выполним распределение потребителей в таблице 4.

Таблица 4 - Распределение потребителей по ТП микрорайона 12

Наименование ТП	Потребители, питающиеся от ТП	Полная мощность потребителей, кВА
1	2	3
ТП-68	Жилой дом №1	191,3
	Жилой дом №2	250,3
	Жилой дом №3	280,3
	Жилой дом №5	178
	Жилой дом №6	178
	Полуподземный гараж №50	66,3
	Школа №30	236,84
	Продовольственный магазин №40	61,76
Итого по ТП $S_{расчТП.68}$, кВА		1442,8
ТП-69	Жилой дом №4	331
	Жилой дом №7	162,7
	Жилой дом №8	146,4
	Жилой дом №11	148
	Полуподземный гараж №52	142,857
	Столовая №100	61,176
	Детский сад №35	70,4
Итого по ТП $S_{расчТП.69}$, кВА		1062,533
ТП-70	Жилой дом №9	146,9
	Жилой дом №10	147,4
	Жилой дом №12	178
	Жилой дом №19	335
	Полуподземный гараж №51	112,24
	Детский сад №36	65,7
Итого по ТП $S_{расчТП.70}$, кВА		985,24
ТП-71	Жилой дом №13	161,3
	Жилой дом №15	194
	Жилой дом №16	191,3
	Подземный гараж №53	35,7
	Школа №31	210,5
	Промтоварный магазин №42	72
	Продовольственный магазин №41	72
Итого по ТП $S_{расчТП.71}$, кВА		936,8
ТП-72	Жилой дом №14	178,1
	Жилой дом №17	248,3
	Жилой дом №20	260,6
	Кафе №101	22
Итого по ТП $S_{расчТП.72}$, кВА		709

На рисунке 3 показано расположение ТП на территории микрорайона. Итого для микрорайона предлагается использовать 5 трансформаторных подстанций.

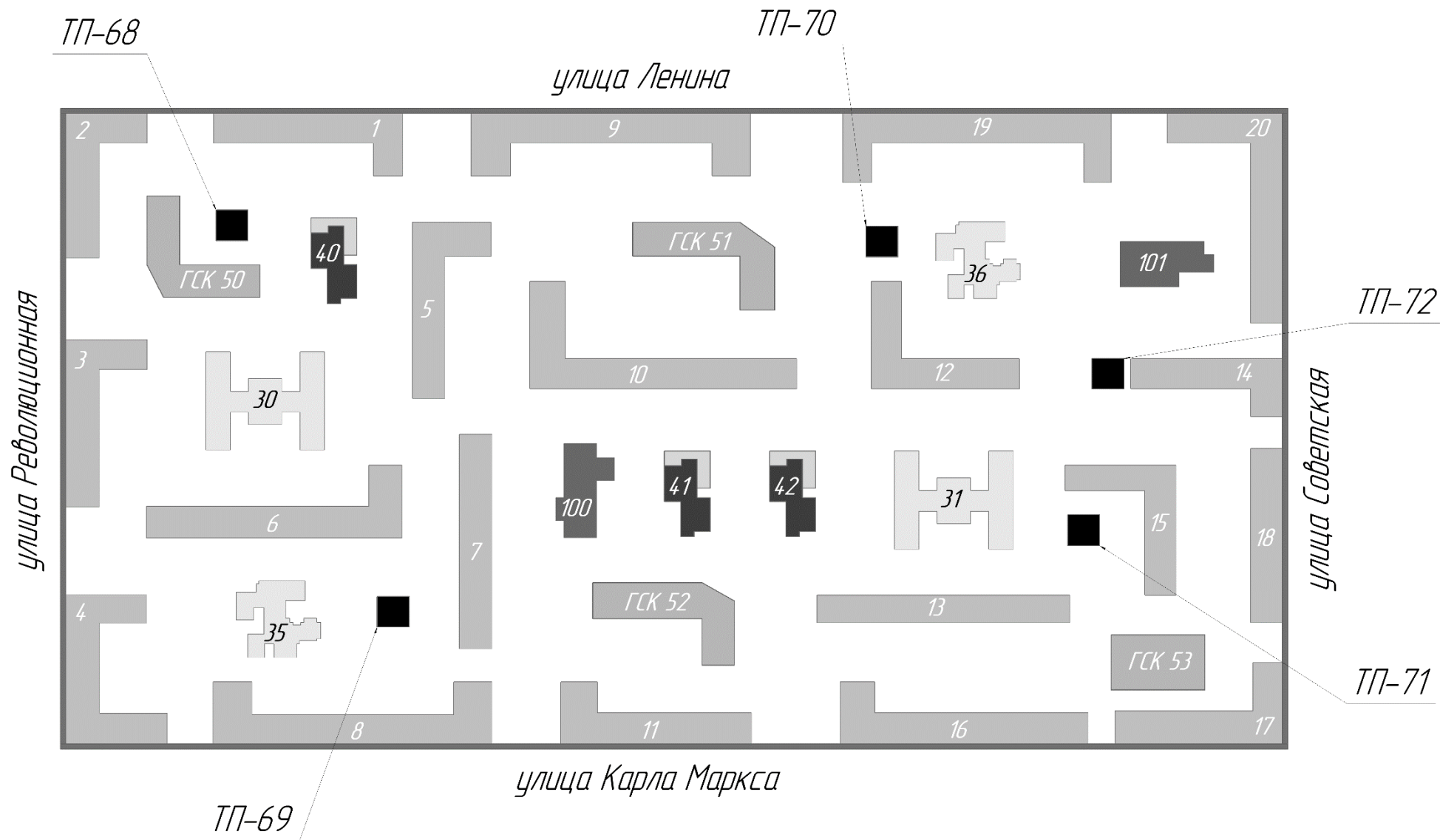


Рисунок 3 - Расположение ТП микрорайона 12

Теперь необходимо определить мощности силовых трансформаторов ТП. Для всех ТП микрорайона будем использовать только двухтрансформаторные подстанции. Определим расчетную мощность требуемых к установке трансформаторов на ТП по выражению [18]:

$$S_{т.расч} = \frac{S_{расчТП}}{n \cdot k_3} \quad (44)$$

где $S_{расчТП}$ – мощность потребителей подключенных к шинам ТП, по данным таблицы 4, кВА;

n – число трансформаторов ТП, принято для всех ТП $n = 2$ шт.;

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов ТП, для ТП с двумя трансформаторами $k_3 = 0,7$.

После определения расчетной мощности трансформаторов ($S_{т.расч}$) для ТП, номинальная мощность трансформаторов ($S_{т.ном}$) выбирается по каталогам производителей по условию [4]:

$$S_{т.ном} \geq S_{т.расч} \quad (45)$$

Определяем по (44) мощность силовых трансформаторов ТП №71:

$$S_{т.расч.71} = \frac{S_{расчТП.71}}{n \cdot k_3} = \frac{936,8}{2 \cdot 0,7} = 669,14 \text{ (кВА)} \quad (46)$$

По каталогу и условию (45) для установки на ТП-71 микрорайона выбираем 2 распределительных трансформатора мощностью 1000 кВА каждый производства ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Данный расчет повторим для ТП №69.

Определяем расчетную мощность распределительных трансформаторов ТП №69 по (44):

$$S_{т.расч.69} = \frac{S_{расчТП.69}}{n \cdot k_3} = \frac{1062,53}{2 \cdot 0,7} = 758,95 \text{ (кВА)} \quad (47)$$

По каталогу и условию (45) для установки на ТП-69 микрорайона выбираем 2 распределительных трансформатора мощностью 1000 кВА каждый производства ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Выбор трансформаторов остальных ТП микрорайона 12 проводится аналогично. Результаты выбора показаны в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты выбора силовых трансформаторов ТП микрорайона

№ ТП	Расчетная нагрузка потребителей, подключенных к ТП микрорайона, кВА	Мощность силовых трансформаторов ТП микрорайона, кВА	Марка выбранных трансформаторов	Расчетное значение коэффициента загрузки
68	1030,571429	1250	ТМГ 1250/10/0,4	0,412228572
69	758,9521429	1000	ТМГ 1000/10/0,4	0,379476071
70	703,7428571	1000	ТМГ 1000/10/0,4	0,351871429
71	669,1428571	1000	ТМГ 1000/10/0,4	0,334571429
72	506,4285714	630	ТМГ 630/10/0,4	0,401927438

Теперь следует определить потери в силовых трансформаторах до и после реконструкции системы электроснабжения микрорайона. Для этого составим таблицу 6 с паспортными данными трансформаторов ТП. Так как количество ТП и место их размещения совпадают до и после реконструкции, то необходимо сравнить только изменение потерь в трансформаторах системы электроснабжения микрорайона 12 [4], [6]. Паспортные данные трансформаторов до и после реконструкции с повышением энергетической эффективности сведем в таблицу 6.

Таблица 6 - Паспортные данные трансформаторов ТП микрорайона 12 до и после реконструкции

$U_{вн}, \text{кВ}$	$U_{нн}, \text{кВ}$	$S_{т.ном}, \text{кВА}$	$\Delta P_{xx}, \text{кВт}$	$\Delta P_{кз}, \text{кВт}$	$i_0, \%$	$U_{кз}, \%$
1	2	3	4	5	6	7
ТП-68 ТМ 1600/6/0,4 (до реконструкции)						
6	0,4	1600	2,1	16,5	1,0	6,0

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
ТП-68 ТМГ 1250/10/0,4 (после реконструкции)						
10	0,4	1250	1,36	12	0,3	6,0
ТП-69 ТМ 1000/6/0,4 (до реконструкции)						
6	0,4	1000	1,555	10,8	1,2	5,5
ТП-69 ТМГ 1000/10/0,4 (после реконструкции)						
10	0,4	1000	1,055	9,81	0,7	6,5
ТП-70 ТМ 1000/6/0,4 (до реконструкции)						
6	0,4	1000	1,555	10,8	1,2	5,5
ТП-70 ТМ 1000/6/0,4 (после реконструкции)						
10	0,4	1000	1,055	9,81	0,7	6,5
ТП-71 ТМ 1000/6/0,4 (до реконструкции)						
6	0,4	1000	1,555	10,8	1,2	5,5
ТП-71 ТМГ 1000/10/0,4 (после реконструкции)						
10	0,4	1000	1,055	9,81	0,7	6,5
ТП-72 ТМ 630/6/0,4 (до реконструкции)						
6	0,4	630	1,050	7,6	1,6	5,5
ТП-72 ТМГ 630/10/0,4 (после реконструкции)						
10	0,4	630	0,76	7,5	0,3	5,5

Для определения потерь в трансформаторах ТП микрорайона 12 воспользуемся выражениями [7]:

$$\Delta P_T = n(\Delta P_{\text{ХХ}} + K_3^2 \Delta P_{\text{КЗ}}) \quad (48)$$

$$\Delta Q_T = n(i_0 + K_3^2 \cdot U_{\text{КЗ}}) \frac{S_{\text{Т.НОМ}}}{100} \quad (49)$$

где n - число трансформаторов на ТП;

$\Delta P_{\text{ХХ}}$ - потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{\text{КЗ}}$ - потери короткого замыкания, кВт;

i_0 - ток холостого хода, %;

$U_{\text{КЗ}}$ - напряжение короткого замыкания, %

Используя (48) и (49) определим потери в трансформаторах на примере ТП №71 до реконструкции:

$$\Delta P_T = n(\Delta P_{\text{ХХ}} + K_3^2 \Delta P_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (1,555 + 0,33^2 \cdot 10,8) = 5,45 \text{ (кВт)} \quad (50)$$

$$\Delta Q_T = n(i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \frac{S_{T.НОМ}}{100} =$$

$$= 2 \cdot (1,2 + 0,33^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{1000}{100} = 54,5 \text{ (квар)}$$
(51)

Теперь определим потери в трансформаторах ТП №71 после реконструкции по выражениям (48) и (49):

$$\Delta P_T = n(\Delta P_{xx} + K_3^2 \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (1,055 + 0,33^2 \cdot 9,81) = 4,24 \text{ (кВт)}$$
(52)

$$\Delta Q_T = n(i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \frac{S_{T.НОМ}}{100} =$$

$$= 2 \cdot (0,7 + 0,33^2 \cdot 6,5) \cdot \frac{1000}{100} = 28,157 \text{ (квар)}$$
(53)

Расчет потерь для остальных трансформаторов ТП микрорайона 12 ведется аналогично, результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Также в необходимо определить относительное отклонение потерь в трансформаторах до и после реконструкции [8]:

$$\Delta P_{T\%} = \left(1 - \frac{\Delta P_{T.2}}{\Delta P_{T.1}}\right) 100$$
(54)

$$\Delta Q_{T\%} = \left(1 - \frac{\Delta Q_{T.2}}{\Delta Q_{T.1}}\right) 100$$
(55)

Таблица 7 - Потери мощности в силовых трансформаторах до и после реконструкции микрорайона 12

№ ТП	Потери в трансформаторах до реконструкции		Потери в трансформаторах после реконструкции		Отклонение потерь в трансформаторах до и после реконструкции	
	$\Delta P_{T.1}$	$\Delta Q_{T.1}$	$\Delta P_{T.2}$	$\Delta Q_{T.2}$	$\Delta Q_{T\%}$	$\Delta P_{T\%}$
68	7,622711	51,91395	6,798377	32,98986	36,45280315	10,81418409
69	6,220445	39,84023	4,935321	32,72027	17,87128237	20,65967949
70	5,784372	37,61949	4,539221	30,09576	19,99955342	21,52612246
71	5,527862	36,31318	4,306224	28,55195	21,37303866	22,09964721
72	4,555494	31,35511	3,943185	14,97511	52,24028874	13,44111089

Выводы по разделу. Для выполнения намеченного мероприятия по повышению энергетической эффективности микрорайона 12 выполнено распределение нагрузок между ТП микрорайона. После реконструкции сохраняется число и место расположения всех ТП. Однако, для снижения потерь в трансформаторах ТП выбраны энергосберегающие трансформаторы производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» с мощностями от 630 кВА до 1250 кВА. До реконструкции использовался ряд трансформаторов с мощностями от 630 кВА до 1600 кВА марки ТМ (трансформатор масляный). Для выбранных трансформаторов ТП определены коэффициенты загрузки после реконструкции, значение расчетных коэффициентов не превышает 0,41. Таким образом все трансформаторы ТП микрорайона 12 работают ближе к режиму оптимальной загрузки, т.е. к режиму максимального КПД. Данное мероприятие позволит сократить потери в трансформаторах ТП, а также повысить надежность системы электроснабжения микрорайона 12, так как в аварийных ситуациях позволит полностью перевести нагрузку с одного трансформатора ТП на второй без сокращения его срока службы. Определено, что для каждой ТП после замены трансформаторов существенно снизились потери в целом по активной мощности от 10 % до 22 % в зависимости от ТП, а по реактивной от 17 % до 52 %.

5 Выбор светильников для уличного освещения и светотехнический расчет сети уличного освещения

В разделе 2 ВКР определено, что то эффективность светильников, установленных в микрорайоне 12 в настоящее время, с лампами типа ДНаТ-250 в начальный момент эксплуатации составляет $K_{\text{эфф.ДНаТ.нач.}} = 104$ (Лм/Вт), а спустя год эксплуатации снижается на 41,5 % до значения $K_{\text{эфф.ДНаТ.1}} = 60,8$ (Лм/Вт). Поэтому для системы уличного освещения микрорайона 12 необходимо выбрать новые светильники, с более высокими показателями энергетической эффективности [12]. К рассмотрению примем светодиодный светильник для уличного освещения типа Sirius-80 производства ООО «Волжский светотехнический завод».

Устанавливая светодиодные светильники для уличного освещения, эффективным мероприятием будет снижение высоты установки световых точек [22]. Для светильников с лампами типа ДНаТ применяются, обычно, опоры освещения с кронштейнами высотой около 11,5 м. Для светодиодных светильников применение опор освещения такой высоты не эффективно, поэтому предлагается выполнить замену существующих опор на опоры меньшей высоты. К установке предлагаются опоры освещения марки ОГК-9 с высотой 9 м.

Для светодиодных светильников, как и для любых других светильников характерно снижение светового потока от времени эксплуатации. Однако, для большинства современных светодиодных светильников снижение светового потока не превышает 80% через 50000 часов эксплуатации [21].

Для минимизации затрат на снижение светового потока светодиодных светильников предлагается использовать систему CLO (Constant Light Output - постоянный световой поток (ПСП)). Система ПСП, позволяет экономить электрическую энергию начиная с первого момента использования светильника, при этом со временем мощность, потребляемая светильником,

возрастает до номинального значения, а световой поток не изменяется в течении всего срока службы светодиодного светильника [22]. График работы системы ПСП представлен на рисунке 4.

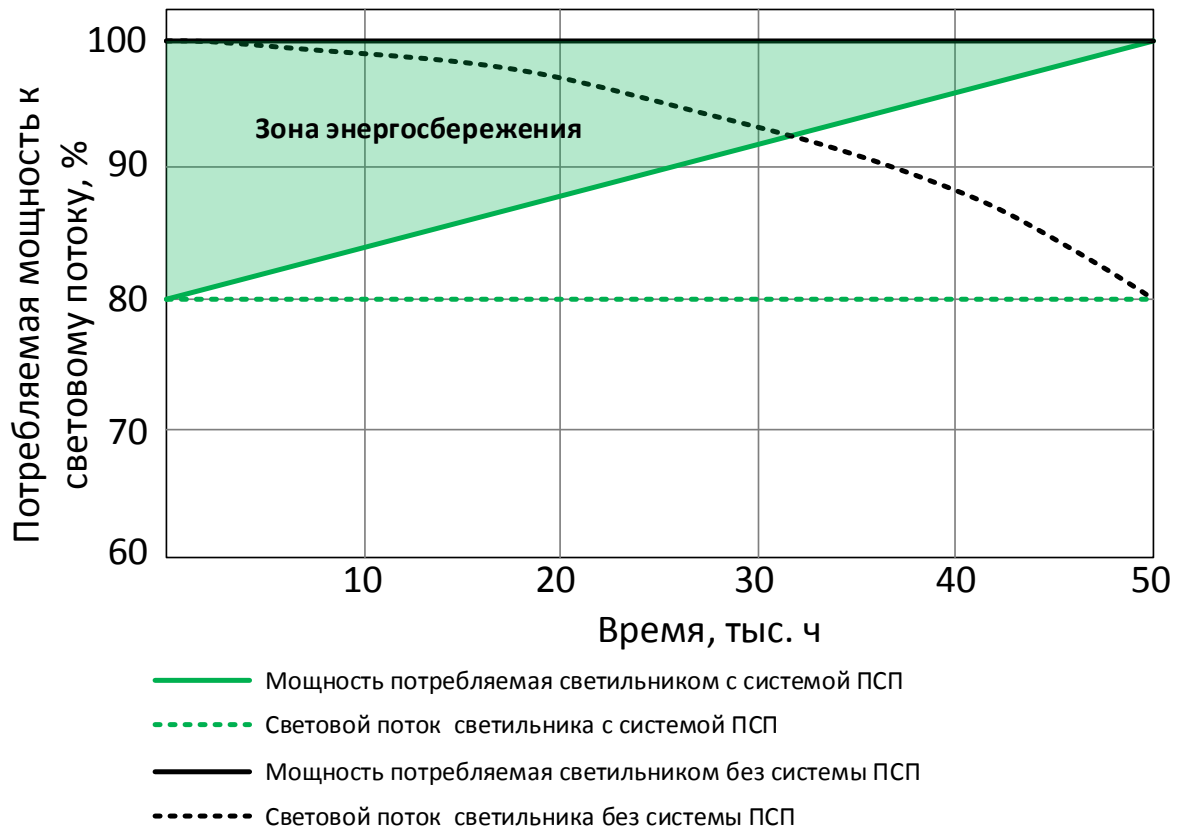


Рисунок 4 - Оценка потенциала энергосбережения системы уличного освещения

Определим световой поток светильника, который может заменить установленные светильники уличного освещения в микрорайоне 12 в полном объеме.

Световой поток определяется по выражению [10]:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta} \quad (56)$$

где E – нормируемая освещенность, лк;

k – коэффициент запаса, зависит от загрязненности воздуха;

S – площадь освещения, м²;

n – число светильников, шт.;

η – коэффициент использования светового потока.

По выражению (56) определим требуемый световой поток для освещения внутри-дворовых проездов:

$$\Phi_{\text{в.д.}} = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta} = \frac{10 \cdot 1,25 \cdot 4,5 \cdot 5179 \cdot 1,2}{42 \cdot 0,75} = 11097,86 \text{ (лм)} \quad (57)$$

По выражению (56) определим требуемый световой поток для освещения внутриквартальных проездов:

$$\Phi_{\text{в.к.}} = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 1,25 \cdot 6 \cdot 1646,5 \cdot 1,2}{27 \cdot 0,75} = 10976,66 \text{ (лм)} \quad (58)$$

Полученные значения светового потока для внутри-дворовых проездов и внутриквартальных проездов позволяют перейти к выбору светильников для уличного освещения. Для установки в микрорайоне примем светодиодные светильники марки L-street 120 Turbine, производства компании Ledel. Световой поток данных светильников 14521 Лм. Кривая силы света (КСС) светильника типа Ш (широкая). Мощность светильника 109 Вт, коэффициент активной мощности светильника 0,98.

Коэффициент эффективности выбранных светильников:

$$K_{\text{эфф.LED}} = \frac{\Phi_2}{P_{LED}} = \frac{14521}{109} = 133,22 \left(\frac{\text{Лм}}{\text{Вт}} \right) \quad (59)$$

Эффективность выбранных светильников гораздо выше эффективности светильников с лампами типа ДНаТ, которые используются в микрорайоне в настоящее время.

Выполним расчет мощности системы освещения после реконструкции.

Для начала следует определить установленную мощность сети уличного освещения микрорайона по выражению (28):

$$P_{\text{уо.уст}} = P_{\text{л}} \cdot n_{\text{с}} = 109 \cdot 3736 = 407224 \text{ (Вт)} = 407,224 \text{ (кВт)} \quad (60)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одного светодиодного светильника, $P_{\text{л}} = 109 \text{ Вт}$;

$n_{\text{с}}$ – число светильников, согласно данным представленным в 1 разделе ВКР $n_{\text{с}} = 3736 \text{ шт.}$

Расчетная активная мощность сети уличного освещения микрорайона 12 определяется выражением:

$$P_{\text{расч.уо}} = P_{\text{уо.уст}} \cdot K_{\text{с}} = 407,224 \cdot 1,1 = 447,946 \text{ (кВт)} \quad (61)$$

где $P_{\text{уо.уст}}$ – установленная мощности системы уличного освещения микрорайона 12, значение получено по выражению (60), кВт;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса системы уличного освещения.

Теперь следует определить реактивную мощность сети уличного освещения. Это необходимо выполнить для сравнения с системой уличного освещения до реконструкции. Коэффициент активной мощности светильников $\cos \varphi = 0,98$. Определим коэффициент реактивной мощности для светодиодных светильников [25]:

$$\text{tg} \varphi = \text{tg}(\arccos \varphi) = \text{tg}(\arccos 0,98) = \text{tg}(0,2 \text{ rad}) = 0,2 \quad (62)$$

Реактивную мощность системы уличного освещения со светодиодными светильниками определим по выражению (31):

$$Q_{\text{расч.уо}} = P_{\text{уо.уст}} \cdot K_{\text{с}} \cdot \text{tg} \varphi = 447,946 \cdot 1,1 \cdot 0,2 = 98,5 \text{ (квар)} \quad (63)$$

Далее нужно определить полную мощность сети уличного освещения со светодиодными светильниками по выражению (33):

$$\begin{aligned} S_{\text{расч.уо}} &= \sqrt{P_{\text{расч.уо}}^2 + Q_{\text{расч.уо}}^2} = \\ &= \sqrt{447,946^2 + 98,5^2} = 458,65 \text{ (кВА)} \end{aligned} \quad (64)$$

Расчетный ток для сети уличного освещения определяется выражением (35):

$$I_{\text{расч.уо}} = \frac{S_{\text{расч.уо}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.уо}}} = \frac{458,65}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 1203,66 \text{ (А)} \quad (65)$$

Выводы по разделу. Выполнен расчет требуемого светового потока для светильников уличного освещения устанавливаемых на внутриквартальных и внутри дворовых проездах. Для внутриквартальных проездов принята освещенность 15 Лк, а для внутри дворовых 10 Лк. Число светильников для внутриквартальных проездов 27 шт., а для внутри дворовых 42 шт. Результаты расчета требуемого светового потока для светильников внутриквартальных проездов 109776,66 (лм), а для внутри дворовых проездов 11097,86 (лм). По результатам расчетов приняты к установке светильники марки L-street 120 Turbine, производства компании Ledel. Световой поток данных светильников 14521 Лм. Кривая силы света (КСС) светильника типа Ш (широкая). Мощность светильника 109 Вт, коэффициент активной мощности светильника 0,98. Для выбранных светильников коэффициент эффективности составляет $K_{\text{эфф.LED}} = 133,22 \text{ (Лм/Вт)}$.

6 Схема электроснабжения микрорайона

На выбор схемы электроснабжения микрорайона влияет главным образом такие критерии как территориальное расположение ТП питающих потребителей.

В настоящее время существуют три вида схем электроснабжения: радиальная, магистральная, смешанная. Если обратить внимание на расположение ТП на плане микрорайона, то наиболее выгодно принять магистральную схему электроснабжения, т.к. ТП микрорайона расположены обособленными группами. Магистральная схема электроснабжения способна обеспечить дешевизну реализации этой схемы электроснабжения [3]. На рисунке 5 показан план сетей электроснабжения микрорайона 12 с подключением всех ТП микрорайона к подстанции 110/10 кВ «Краснознаменская».

Электроснабжение городов и их единиц (районов, микрорайонов, кварталов) имеет свои особенности. Эти особенности связаны с высокой плотностью застройки, повышенными требованиями безопасности и охраны окружающей среды [15]. В связи с этим внутриквартальные и районные электрические сети напряжением 6 и 10 кВ выполняются кабелями, прокладываемыми в грунте [10].

Выполним расчет и выбор кабельных линий для электроснабжения микрорайона 12. Для достижения этой цели необходимо использовать Правила устройства электроустановок [13].

Расчетный ток в кабельной линии (КЛ) определяется по выражению:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (66)$$

где $S_{\text{расч}}$ – расчетная полная мощность потребителей, подключенных к

ТП микрорайона, кВА;

n – число кабеле, шт.

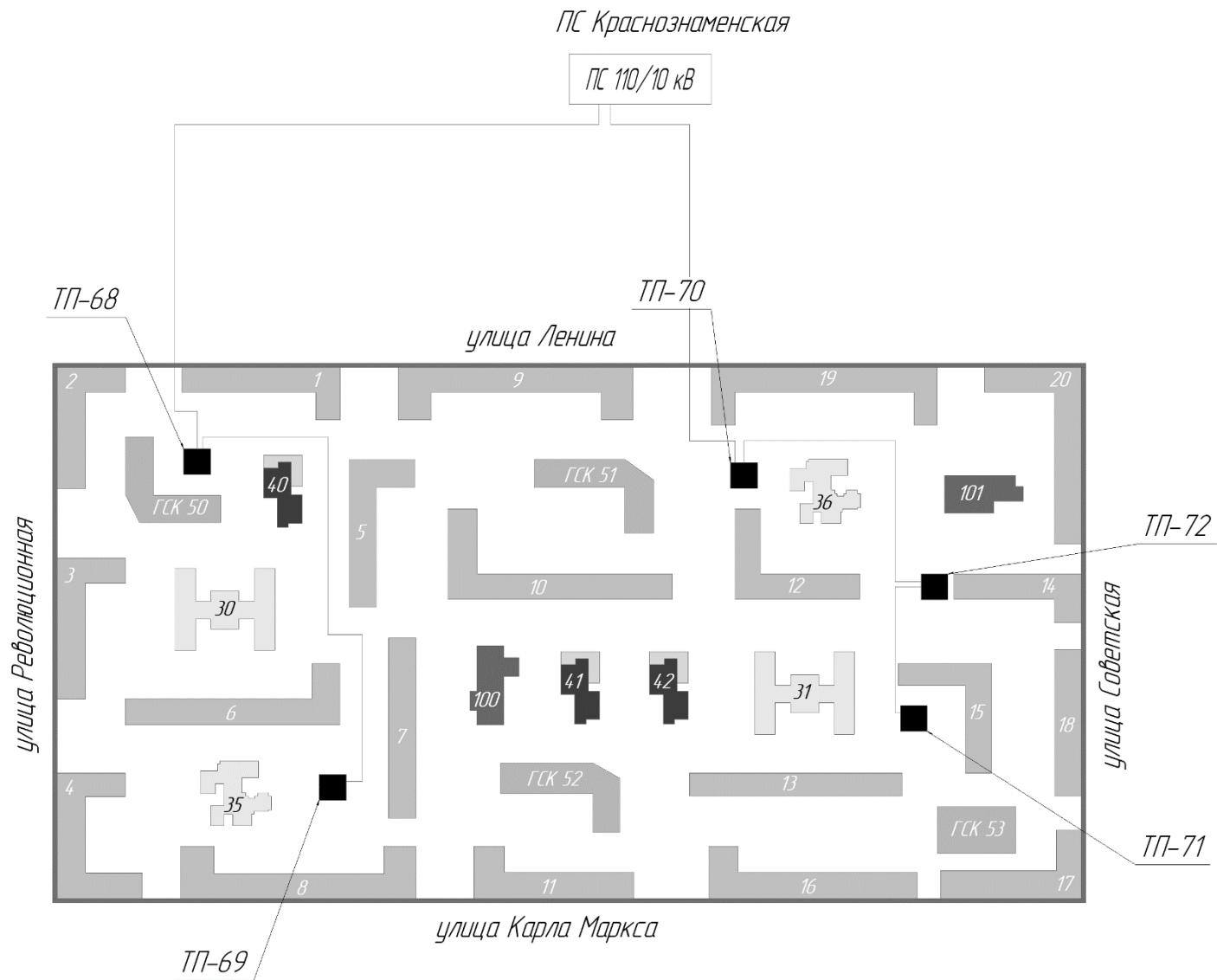


Рисунок 5 - План сетей микрорайона 12

Определяем расчетный ток в кабельной линии (КЛ) питающей ТП №69 по (66):

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1062,533}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 29,212 \text{ (A)} \quad (67)$$

Теперь определим ток в КЛ в послеаварийном режиме при выходе из строя одного кабеля по выражению:

$$I_{\text{AP}} = \frac{S_{\text{расч}}}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (68)$$

где $S_{\text{расч}}$ – расчетная полная мощность потребителей, подключенных к ТП микрорайона, кВА;
 n – число кабеле, шт.

Определяем ток в КЛ в послеаварийном режиме при выходе из строя одного кабеля для ТП-69 по (68):

$$I_{\text{AP}} = \frac{S_{\text{расч}}}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{1062,533}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 58,42 \text{ (A)} \quad (69)$$

Расчетное значение допустимого тока в КЛ определяется по выражению:

$$I_{\text{р.доп}} = \frac{I_{\text{AP}}}{k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{сн}} \cdot k} \quad (70)$$

где $k_{\text{пер}}$ – коэффициент перегрузки;

$k_{\text{сн}}$ – коэффициент снижения;

k – поправочный коэффициент.

Определяем расчетное значение допустимого тока в КЛ для ТП-69 по (70):

$$I_{p.доп} = \frac{I_{AP}}{k_{пер} \cdot k_{сн} \cdot k} = \frac{58,42}{1,13 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 60,42 \text{ (A)} \quad (71)$$

Выбираем алюминиевый кабель марки АВБШв-3×50мс с сечением жил 50 мм² с допустимым током 105 А производства АО «Самарская кабельная компания».

Теперь повторим данный расчет для КЛ питающую ТП №71.

Определяем расчетный ток в кабельной линии (КЛ) питающей ТП №71 по (66):

$$I_{расч} = \frac{S_{расч}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{936,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 25,75 \text{ (A)} \quad (72)$$

Определяем ток в КЛ в послеаварийном режиме при выходе из строя одного кабеля для ТП-71 по (68):

$$I_{AP} = \frac{S_{расч}}{(n - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{936,8}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 51,51 \text{ (A)} \quad (73)$$

Определяем расчетное значение допустимого тока в КЛ для ТП-71 по (70):

$$I_{p.доп} = \frac{I_{AP}}{k_{пер} \cdot k_{сн} \cdot k} = \frac{51,51}{1,13 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 53,27 \text{ (A)} \quad (74)$$

Выбор остальных кабелей КЛ выполняется аналогично. Результаты расчета сведены в таблицу 8.

Таблица 8 - Ведомость кабелей для системы электроснабжения микрорайона 12

Наименование КЛ	$I_{расч}, A$	I_{AP}, A	$I_{р.доп}, A$	$S_{каб}, мм^2$	Марка кабеля	Длина КЛ, м
Краснознаменская-ТП №68	39,6	79,3	266,8	70	АВБШВ-3×70мс	800
ТП №68-ТП №69	29,212	58,42	60,42	50	АВБШВ-3×50мс	650
Краснознаменская-ТП №70	37,9	75,9	311,5	95	АВБШВ-3×95мс	445
ТП №70-ТП №72	27,2	54,4	180,7	35	АВБШВ-3×35мс	380
ТП №72-ТП №71	25,75	51,51	53,27	35	АВБШВ-3×35мс	240

Блок схема системы электроснабжения микрорайона 12 после реконструкции с повышением энергетической эффективности представлена на рисунке 6.

Выводы по разделу. Определено расположение трансформаторных подстанций микрорайона 12 после реконструкции с повышением энергетической эффективности. Место расположения ТП сохраняется, по питанию всех ТП необходимо осуществить от подстанции 110/10 кВ «Краснознаменская».

Для выбора кабелей системы электроснабжения микрорайона 12, определено значение расчетного тока для каждой ТП микрорайона. Также выполнен расчет тока в кабельной линии в аварийном режиме. Для аварийного режима принять, что питание ТП осуществляется только по одной кабельной линии, т.е. вторая КЛ повреждена или отключена.

Также определен допустимый ток, по которому выбраны кабельные линии. Для прокладки кабелей в земле, по территории микрорайона выбраны трехжильные кабели марки АВБШВ различных сечений.

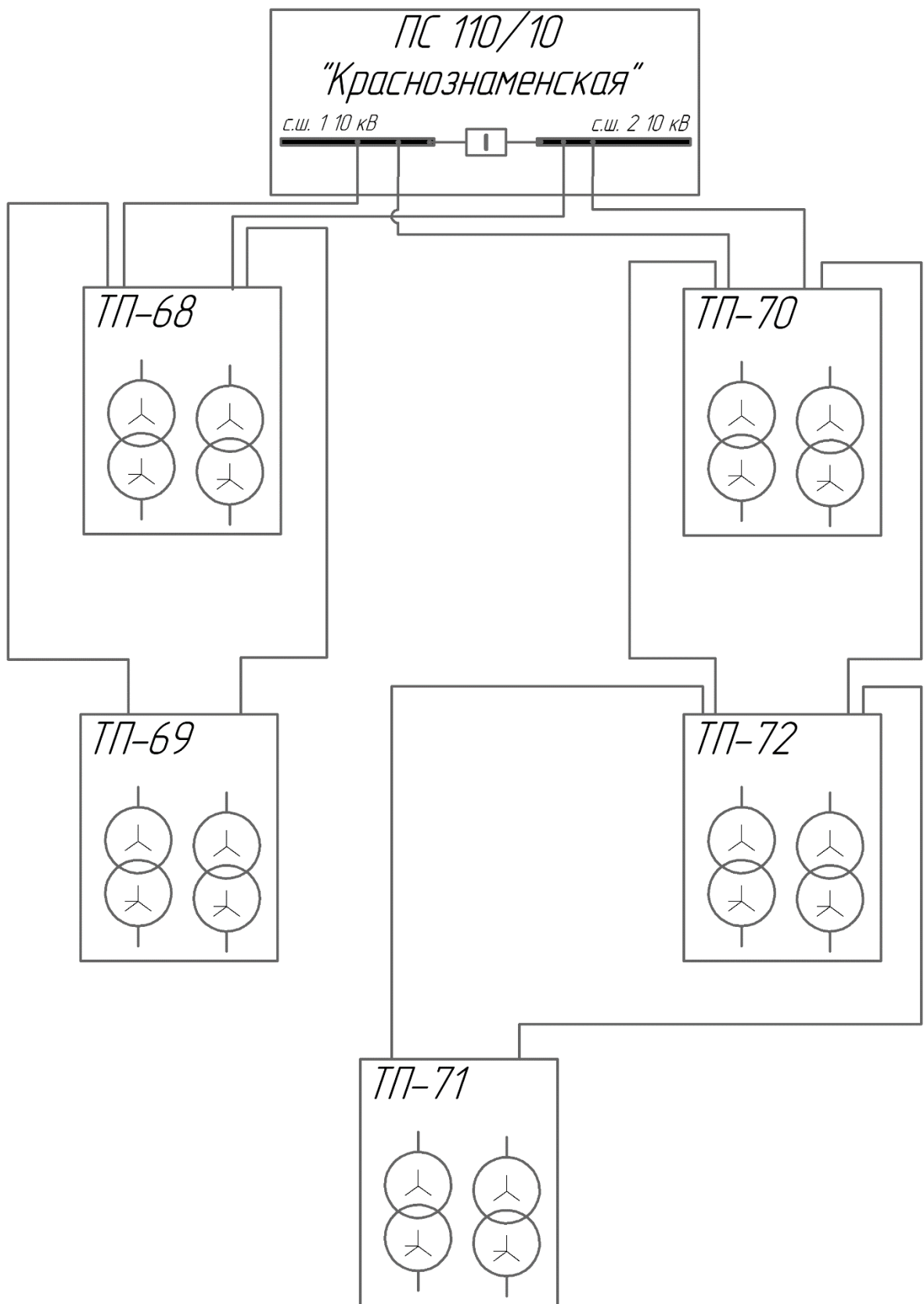


Рисунок 6 - Блок схема электроснабжения микрорайона 12

7 Проверка кабельных линий по потере напряжения

Проверка КЛ микрорайона по потере напряжения необходима исходя из требований ГОСТ 32144-2013 [2], который определяет, что отклонения напряжения в системах электроснабжения должны лежать в пределах $\pm 5\%$. В связи с этим необходимо выполнить проверку КЛ микрорайона по потере напряжения. Проверку будем выполнять до кабельных линий до реконструкции и после реконструкции с повышением энергетической эффективности [12], [24]. Блок схема электроснабжения микрорайона после реконструкции представлена на рисунке 6. Для определения потерь напряжения в КЛ до реконструкции, представим блок схему электроснабжения микрорайона 12 до реконструкции, рисунок 7.

Вначале определим параметры отклонений напряжения до реконструкции.

Отклонение напряжения определяется по выражению:

$$\Delta U_{\text{н}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{расч}} \cdot \frac{l}{1000} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin\varphi) \quad (75)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный ток к КЛ, А;

l – длина кабельной линии, км;

$r_{\text{уд}}$ – удельное активное сопротивление КЛ Ом/км;

$x_{\text{уд}}$ – удельное реактивное сопротивление КЛ Ом/км.

Определим отклонение напряжения в нормальном режиме работы для КЛ «Советская-ТП №68», используемая до реконструкции, по выражению (75), напряжение линии 6 кВ:

$$\Delta U_{\text{д.р}} = \sqrt{3} \cdot 129,1 \cdot \frac{1200}{1000} \cdot (0,447 \cdot 0,97 + 0,08 \cdot 0,24) = 121,49 \text{ (В)} \quad (76)$$

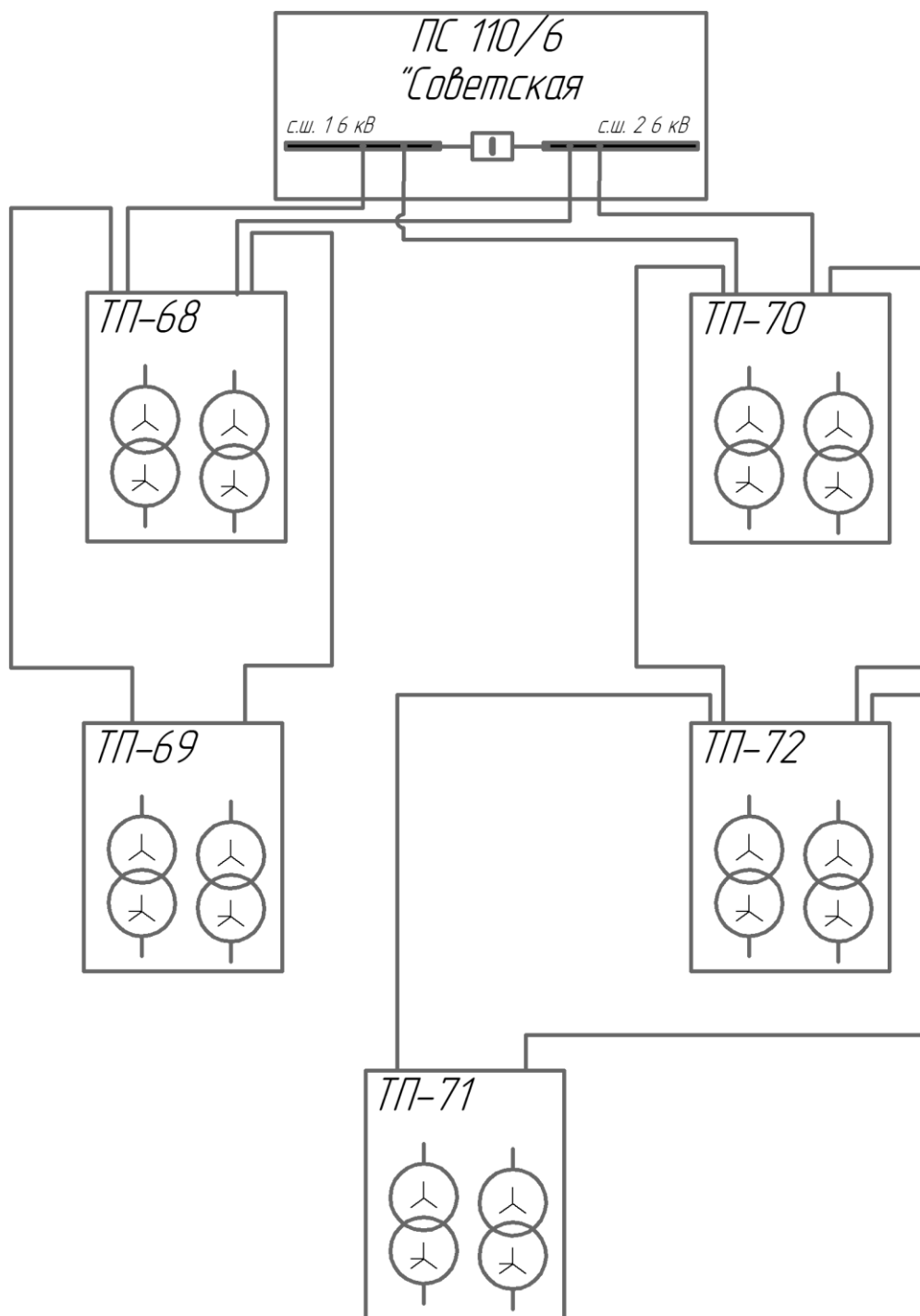


Рисунок 7 - Блок схема электроснабжения микрорайона 12 до реконструкции

Определяем отклонение напряжения в нормальном режиме работы для КЛ «Краснознаменская-ТП №68», после реконструкции, по (75), напряжение линии 10 кВ:

$$\Delta U_{п.р} = \sqrt{3} \cdot 39,6 \cdot \frac{800}{1000} \cdot (0,447 \cdot 0,97 + 0,08 \cdot 0,24) = 24,85 \text{ (В)} \quad (77)$$

Процентное отклонение напряжения в КЛ определяется выражением:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} \quad (78)$$

где ΔU – отклонение напряжения в КЛ, В;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети, В.

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в нормальном режиме на КЛ «Советская-ТП №68», до реконструкции, в процентах по (78), напряжение линии 6 кВ:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} = \frac{121,49 \cdot 100}{6300} = 1,93 \% \quad (79)$$

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в нормальном режиме на КЛ «Краснознаменская-ТП №68», после реконструкции, в процентах по (78), напряжение линии 10 кВ:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} = \frac{24,85 \cdot 100}{10500} = 0,24 \% \quad (80)$$

Видим, что отклонения напряжения в нормальном режиме для КЛ «Краснознаменская-ТП №68» и «Советская-ТП-68» лежат в допустимых пределах, однако после реконструкции потери напряжения в КЛ существенно снизились.

Определим значение напряжения в конце КЛ в нормальном режиме работы «Краснознаменская-ТП №68», напряжение линии 10 кВ, по выражению:

$$U_{\text{КЛ.Кр-ТП68}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{п.р}} = 10500 - 24,85 = 10\,475,15 \text{ (В)} \quad (81)$$

Определяем значение напряжения в конце КЛ в нормальном режиме работы «Советская-ТП №68», напряжение линии 6 кВ:

$$U_{\text{КЛ.Сов.-ТП68}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{п.р}} = 6300 - 121,49 = 6178,51 \text{ (В)} \quad (82)$$

Определяем отклонение напряжения в аварийном режиме работы для КЛ по выражению:

$$\Delta U_{\text{н.а}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{АР}} \cdot \frac{l}{1000} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin\varphi) \quad (83)$$

где $I_{\text{АР}}$ – расчетный ток аварийного режима для КЛ, определенный по выражению (68), А;

l – длина кабельной линии, км;

$r_{\text{уд}}$ – удельное активное сопротивление КЛ Ом/км;

$x_{\text{уд}}$ – удельное реактивное сопротивление КЛ Ом/км.

Теперь определяем отклонение напряжения в аварийном режиме работы для КЛ «Краснознаменская-ТП №68» по выражению (83), напряжение линии 10 кВ:

$$\Delta U_{\text{н.а}} = \sqrt{3} \cdot 79,3 \cdot \frac{800}{1000} \cdot (0,447 \cdot 0,97 + 0,08 \cdot 0,24) = 97,4 \text{ (В)} \quad (84)$$

Определяем, сколько составляет отклонение напряжения в аварийном режиме на КЛ «Краснознаменская-ТП №68» в процентах по (78), напряжение линии 10 кВ:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} = \frac{97,4 \cdot 100}{10500} = 0,93 \% \quad (85)$$

Видим, что отклонение напряжения в аварийном режиме работы для КЛ «Краснознаменская-ТП №68» лежит в допустимых пределах.

Определяем значение напряжения в конце КЛ в аварийном режиме работы «Краснознаменская-ТП №68», напряжение линии 10 кВ:

$$U_{\text{КЛ}} = U_{\text{н}} - \Delta U = 10500 - 97,4 = 10402,6 \text{ (В)} \quad (86)$$

Повторим данный расчет для КЛ «Краснознаменская-ТП №70» и «Советская- ТП №70».

Определяем отклонение напряжения в нормальном режиме работы для КЛ «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, по выражению (75):

$$\Delta U_{\text{н}} = \sqrt{3} \cdot 280,2 \cdot \frac{530}{1000} \cdot (0,329 \cdot 0,97 + 0,078 \cdot 0,24) = 172,4 \text{ В} \quad (87)$$

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в нормальном режиме на КЛ «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, в процентах по (78):

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} = \frac{174,2 \cdot 100}{6300} = 2,7 \% \quad (88)$$

Видим, что отклонение напряжения в нормальном режиме работы для КЛ «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, находится в допустимых пределах.

Определяем значение напряжения в конце КЛ в нормальном режиме работы «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, по выражению:

$$U_{\text{КЛ}} = U_{\text{н}} - \Delta U = 6300 - 172,4 = 6125,8 \text{ (В)} \quad (89)$$

Определяем отклонение напряжения в аварийном режиме работы для КЛ «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, по (83):

$$\Delta U_{н.а} = \sqrt{3} \cdot 301,1 \cdot \frac{530}{1000} \cdot (0,329 \cdot 0,97 + 0,078 \cdot 0,24) = 183,4 \text{ (В)} \quad (90)$$

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в аварийном режиме на КЛ «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ, в процентах по (78):

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{н}} = \frac{183,4 \cdot 100}{6300} = 2,9 \% \quad (91)$$

Видим, что отклонение напряжения в аварийном режиме работы для КЛ «Советская-ТП №70» находится в допустимых пределах.

Определяем значение напряжения в конце КЛ в аварийном режиме работы «Советская-ТП №70», напряжение линии 6 кВ:

$$U_{кЛ} = U_{н} - \Delta U = 6300 - 183,4 = 6116,6 \text{ (В)} \quad (92)$$

Теперь проведем расчет при напряжении 10 кВ, т.е. после реконструкции и с питанием всех ТП от подстанции «Краснознаменская» 110/10 кВ.

Определяем отклонение напряжения в нормальном режиме работы для КЛ «Краснознаменская-ТП №70», напряжение линии 10 кВ, по выражению (75):

$$\Delta U_{н} = \sqrt{3} \cdot 37,9 \cdot \frac{445}{1000} \cdot (0,329 \cdot 0,97 + 0,078 \cdot 0,24) = 9,86 \text{ (В)} \quad (93)$$

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в нормальном режиме на КЛ «Краснознаменская-ТП №70», напряжение линии 10 кВ, в процентах по (78):

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_{\text{н}}} = \frac{9,86 \cdot 100}{10500} = 0,09 \% \quad (94)$$

Определяем значение напряжения в конце КЛ в нормальном режиме работы «Краснознаменская-ТП №70», напряжение линии 10 кВ:

$$U_{\text{КЛ}} = 10500 - 9,86 = 10490,14 \text{ (В)} \quad (95)$$

Отклонение напряжения в КЛ «Краснознаменская-ТП №70», напряжение линии 10 кВ, в аварийном режиме по выражению (83):

$$\Delta U_{\text{н.а}} = \sqrt{3} \cdot 75,9 \cdot \frac{445}{1000} \cdot (0,329 \cdot 0,97 + 0,078 \cdot 0,24) = 19,76 \text{ (А)} \quad (96)$$

Определяем значение напряжения в конце КЛ в аварийном режиме работы «Краснознаменская-ТП №70»:

$$U_{\text{КЛ}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{н.а}} = 10500 - 19,76 = 10480,24 \text{ (В)} \quad (97)$$

Определяем сколько составляет отклонение напряжения в авиайном режиме на КЛ «Краснознаменская-ТП №70» в процентах:

$$\Delta U_{\%} = \frac{19,76 \cdot 100}{10500} = 0,19 \% \quad (98)$$

Расчеты отклонений напряжений в нормальном и аварийном режимах для других КЛ микрорайона выполняются по аналогии. Результаты расчета приведены в таблицах 9 и 10.

Выводы по разделу. Выполнен расчет потерь напряжения в сети после реконструкции. Для сравнения показателей реконструируемой сети с показателями до реконструкции выполнен расчет значений потери напряжения для нормального и аварийного режимов до и после реконструкции.

Получено, что перевод сети с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ и подключение ТП микрорайона к новой подстанции «Краснознаменская» позволило существенно снизить не только расчетные токи кабельных линиях, но и существенно снизить потери напряжения в системе электроснабжения микрорайона как в нормальном, так и в аварийном режимах. Для нормального режима, после реконструкции потери напряжения в КЛ находятся в пределах от 0,1% до 1,2%, а для аварийного режима 0,19% до 1,4%. Такие показатели обеспечивают отличный режим передачи мощности и обеспечивает не только высокую эффективность, но и высокие показатели качества электрической энергии в системе электроснабжения микрорайона

12.

Таблица 9 -Результаты расчетов отклонений напряжений в нормальном и аварийном режимах для КЛ микрорайона до реконструкции

КЛ	ΔU_n в нормальном режиме, В	ΔU_n в аварийном режиме, В	$\Delta U_{\%}$ в нормальном режиме, В	$\Delta U_{\%}$ в аварийном режиме, В	$U_{к.л}$ в нормальном режиме, В	$U_{к.л}$, в аварийном режиме, В
Советская-ТП №68	121,49	160,4	1,93	2,5	6221,4	6178,51
ТП №68-ТП №69	22,7	45,2	0,4	0,7	6220,6	6138,3
Советская-ТП №70	172,4	183,4	2,7	2,9	6125,8	6116,6
ТП №70-ТП №72	33,2	44,8	0,5	0,7	6220,5	6138,3
ТП №72-ТП №71	10,8	21,6	0,2	0,4	6220,0	6138,1

Таблица 10 - Результаты расчетов отклонений напряжений в нормальном и аварийном режимах для КЛ микрорайона после реконструкции

КЛ	ΔU_n в нормальном режиме, В	ΔU_n в аварийном режиме, В	$\Delta U_{\%}$ в нормальном режиме, В	$\Delta U_{\%}$ в аварийном режиме, В	$U_{к.л}$ в нормальном режиме, В	$U_{к.л}$, в аварийном режиме, В
Краснознаменская-ТП №68	24,85	94,78	0,24	0,93	10475,15	10402,6
ТП №68-ТП №69	22,7	45,2	0,2	0,4	10479,0	10458,0
Краснознаменская-ТП №70	9,86	19,78	0,09	0,19	10490,14	10480,24
ТП №70-ТП №72	33,2	44,8	1,2	1,4	10374,0	10316,6
ТП №72-ТП №71	10,8	21,6	0,1	0,31	10395	10467,5

Заключение

В бакалаврской работе выполнена разработка проекта повышения микрорайона 12. Для выполнения проекта по повышению энергетической эффективности микрорайона, на первом этапе проектирования определен план объекта ВКР – микрорайона 12 крупного города в Приволжском ФО. Определен перечень объектов входящих в микрорайон. Определены границы микрорайона: ул. Ленина (северо-западная граница), ул. Революционная (юго-западная граница), ул. Советская (северо-восточная граница), ул. Карла Маркса (юго-восточная граница).

Установлено, что питание всех трансформаторных подстанций (ТП) микрорайона 12 осуществляется от шин 10 кВ подстанции «Советская» 110/6 кВ. Питание ТП микрорайона осуществляется с разных шин напряжением 6 кВ.

Определено, что в настоящее время в микрорайоне, в системе уличного освещения используется светильники с лампами типа ДНаТ-250. Мощность каждого светильника 250 Вт. Светильники типа ДНаТ – это светильники дуговыми натриевыми трубчатыми лампами. Данные светильники имеют характерный желтый свет и применяется часто в системах именно уличного освещения. Лампы ДНаТ-250 имеют номинальный световой поток на уровне 26000 Лм, однако со временем световой поток данных ламп снижется и через год эксплуатации может снизиться до 15200 Лм, что существенно сказывается на эффективности системы уличного освещения учитывая, что мощность светильника остается прежней.

Выполнен расчет нагрузок микрорайона для жилых и общественных зданий на стороне 0,4 кВ. Данные значения расчетной мощности не изменяются при повышении энергетической эффективности микрорайона, так как данный вопрос относится к собственникам жилых и общественных зданий и должен выполняться как отдельный проект повышения энергетической эффективности.

Определена расчетная мощность системы уличного освещения микрорайона 12, которая выполнена светильниками с лампами типа ДНаТ-250. Данное значение будет пересмотрено в дальнейшем в ВКР, так как планируется осуществить замену светильников с лампами типа ДНаТ-250 на светильники с более высокой энергетической эффективностью.

Определены основания для проектирования систем освещения микрорайона 12. Определено, что в микрорайоне имеются внутриквартальные проезды с шириной проезжей части 6 м, с общей протяженностью 1649,5 м и внутри-дворовые проезды с общей протяженностью 5176 м и шириной проезжей части 4,5 м.

Для повышения энергетической эффективности микрорайона 12 предложено выполнить два технических мероприятия. Первым является перевод системы электроснабжения микрорайона с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ с заменой трансформаторов ТП и кабельных линий, а вторым мероприятием является замена светильников с лампами типа ДНаТ-250 на более эффективные светильники уличного освещения. Определено, что эффективность светильников с лампами типа ДНаТ-250 в начальный момент эксплуатации составляет $K_{эфф,ДНаТ.нач.} = 104$ (Лм/Вт), а спустя год эксплуатации снижается на 41,5 % до значения $K_{эфф,ДНаТ.1} = 60,8$ (Лм/Вт).

Для выполнения намеченного мероприятия по повышению энергетической эффективности микрорайона 12 выполнено распределение нагрузок между ТП микрорайона. После реконструкции сохраняется число и место расположения всех ТП. Однако, для снижения потерь в трансформаторах ТП выбраны энергосберегающие трансформаторы производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» с мощностями от 630 кВА до 1250 кВА. До реконструкции использовался ряд трансформаторов с мощностями от 630 кВА до 1600 кВА марки ТМ (трансформатор масляный). Для выбранных трансформаторов ТП определены коэффициенты загрузки после реконструкции, значение расчетных коэффициентов не превышает 0,41. Таким образом все трансформаторы ТП микрорайона 12 работают

ближе к режиму оптимальной загрузки, т.е. к режиму максимального КПД. Данное мероприятие позволит сократить потери в трансформаторах ТП, а также повысить надежность системы электроснабжения микрорайона 12, так как в аварийных ситуациях позволит полностью перевести нагрузку с одного трансформатора ТП на второй без сокращения его срока службы. Определено, что для каждой ТП после замены трансформаторов существенно снизились потери в целом по активной мощности от 10 % до 22 % в зависимости от ТП, а по реактивной от 17 % до 52 %.

Выполнен расчет требуемого светового потока для светильников уличного освещения устанавливаемых на внутриквартальных и внутри дворовых проездах. Для внутриквартальных проездов принята освещенность 15 Лк, а для внутри дворовых 10 Лк. Число светильников для внутриквартальных проездов 27 шт., а для внутри дворовых 42 шт. Результаты расчета требуемого светового потока для светильников внутриквартальных проездов 109776,66 (лм), а для внутри дворовых проездов 11097,86 (лм). По результатам расчетов приняты к установке светильники марки L-street 120 Turbine, производства компании Ledel. Световой поток данных светильников 14521 Лм. Кривая силы света (КСС) светильника типа Ш (широкая). Мощность светильника 109 Вт, коэффициент активной мощности светильника 0,98. Для выбранных светильников коэффициент эффективности составляет $K_{эфф.LED} = 133,22$ (Лм/Вт).

Определено расположение трансформаторных подстанций микрорайона 12 после реконструкции с повышением энергетической эффективности. Место расположения ТП сохраняется, по питанию всех ТП необходимо осуществить от подстанции 110/10 кВ «Краснознаменская».

Для выбора кабелей системы электроснабжения микрорайона 12, определено значение расчетного тока для каждой ТП микрорайона. Также выполнен расчет тока в кабельной линии в аварийном режиме. Для аварийного режима принять, что питание ТП осуществляется только по одной кабельной линии, т.е. вторая КЛ повреждена или отключена.

Также определен допустимый ток, по которому выбраны кабельные линии. Для прокладки кабелей в земле, по территории микрорайона выбраны трехжильные кабели марки АВБШв различных сечений.

Выполнен расчет потерь напряжения в сети после реконструкции. Для сравнения показателей реконструируемой сети с показателями до реконструкции выполнен расчет значений потери напряжения для нормального и аварийного режимов до и после реконструкции.

Получено, что перевод сети с напряжения 6 кВ на напряжение 10 кВ и подключение ТП микрорайона к новой подстанции «Краснознаменская» позволило существенно снизить не только расчетные токи кабельных линий, но и существенно снизить потери напряжения в системе электроснабжения микрорайона как в нормальном, так и в аварийном режимах. Для нормального режима, после реконструкции потери напряжения в КЛ находятся в пределах от 0,1% до 1,2%, а для аварийного режима 0,19% до 1,4%. Такие показатели обеспечивают отличный режим передачи мощности и обеспечивают не только высокую эффективность, но и высокие показатели качества электрической энергии в системе электроснабжения микрорайона 12.

В результате выполнения ВКР выполнен проект повышения энергетической эффективности микрорайона 12.

Список используемой литературы

1. Баранов А.В., Зарандия Ж.А. Энергосбережение и энергоэффективность: учебное пособие. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2017. 96 с.
2. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартиздат, 2014. 16 с.
3. Дашков В.М., Кубарьков Ю.П., Макаров Я.В. Способы экономии электрической энергии в системах электроснабжения объектов: учебно-методическое пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 54 с.
4. Зимин Л.С., Леоненко А.С. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. 64 с.
5. Климова Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 180 с.
6. Клочкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.Н. Электроснабжение цеха: учебно-методическое пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. 144 с.
7. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию. М : Ай Пи Ар Медиа, 2021. 44 с.
8. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
9. Лупшов В.П., Мятаж Т.В., Сидоркин Ю.М. Энергосбережение и энергоэффективность в энергетике: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. 107 с.

10. Лыков Ю. Ф. Расчеты систем электроснабжения: сборник задач и упражнений. Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. 54 с.
11. Мунц В.А., Мунц Ю.Г. Энергосбережение при производстве тепловой энергии и анализ его экономической эффективности: учебное пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. 232 с.
12. Никитин К.В. Ресурсо- и энергосбережение в литейном производстве: учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет. 2020. 60 с.
13. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Новосибирск: Норматика, 2016. 464 с.
14. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. М.: Стандартиздат, 1995. 30 с.
15. Родыгина С. В. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. От теории к практике: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2018. 100 с.
16. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: Стандартиздат, 1992. 6 с.
17. Синюкова Т.В. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие. Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2020. 49 с.
18. Синюкова Т.В., Синюков А.В., Лесникова В.В. Электроснабжение и электрооборудование электрических установок: учебное пособие. Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. 80 с.
19. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Новосибирск: Норматика, 2016. 74 с.
20. Стрельников, Н. А. Энергосбережение: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. 72 с.

21. Шеина С.Г., Миненко Е.Н., Федяева П.В. Методы внедрения лучшего европейского опыта энергосбережения в Российской Федерации: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2020. 181 с.
22. Bertoldi P. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting. Springer Cham. 2022. 498 P.
23. Blesl M., Kessler A. Energy Efficiency in Industry. Springer Berlin: Heidelberg. 2021. 481 P.
24. Panos K., Margarete K. The Power Supply Industry. Springer Cham. 2018. 374 P.
25. Tabatabaei N.M., Aghbolaghi A.J., Bizon N., Blaabjerg F. Reactive Power Control in AC Power Systems. Fundamentals and Current Issues. Springer International Publishing AG. 2017. 634 P.
26. Vukosavic S.N. Electrical Machines. New York: Springer NY. 2013. 650 P.