

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 Реконструкция системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г.
Орска

Обучающийся

А. А. Кузнецов
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. С. В. Шаповалов

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

Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска. Такая реконструкция схемы объекта проводится в связи с планируемым подключением новой нагрузки потребителей, которые должны быть введены в эксплуатацию в текущем году. Установлено, что проведённые изменения в схеме электрических соединений подстанции позволили существенно повысить параметры надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения микрорайона.

«С другой стороны, учитывая безопасность, проведена модернизация электрических сетей микрорайона напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 с заменой устаревшего и небезопасного проводов марки АС на безопасные изолированные проводники марки СИП. Кроме того, проведена замена электрических аппаратов системы электроснабжения микрорайона» [6] всех уровней и классов напряжения. На основе краткой характеристики объекта проектирования, проведён расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения. Выбраны и рассчитаны трансформаторы понизительных подстанций микрорайона. Осуществлён расчет токов короткого замыкания.

Проведены выбор и расчет электрических аппаратов и проводников. Выбраны устройства защиты и автоматики, а также системы коммерческого учета электрической энергии. Рассчитано заземление подстанции микрорайона.

«Таким образом, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации электрических сетей» [6] и оборудования, улучшены показатели бесперебойности передачи электроэнергии.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	6
1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	6
1.2 Обоснование проведения реконструкции системы электроснабжения микрорайона	12
2 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения.....	16
3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов.....	22
4 Расчет токов короткого замыкания	27
5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников	36
5.1 Выбор и расчёт электрических проводников.....	36
5.2 Выбор и расчёт электрических аппаратов.....	42
6 Выбор релейной защиты и системы коммерческого учёта электроэнергии	48
6.1 Выбор устройств и расчёт релейной защиты	48
6.2 Выбор системы коммерческого учёта электроэнергии.....	52
7 Расчёт контура заземления ТП-10/0,4 кВ микрорайона.....	55
Заключение	58
Список используемой литературы	61

Введение

Реконструкция жилых микрорайонов в городах Российской Федерации представляет собой одну из приоритетных задач в рамках современной градостроительной политики.

В последние десятилетия в стране наблюдается активный рост урбанизированных территорий, что сопровождается устареванием и моральным износом существующего жилого фонда. На фоне этих процессов возрастает необходимость в комплексной модернизации и улучшении городской инфраструктуры.

Актуальность данной проблемы обусловлена несколькими факторами. Во-первых, значительная часть жилых микрорайонов была построена в середине XX века и не соответствует современным стандартам качества и комфорта. Низкая энергоэффективность, отсутствие современной инженерной инфраструктуры и общественных пространств – все эти факторы негативно сказывается на уровне жизни населения [20].

Во-вторых, демографические изменения и миграционные процессы в крупных городах требуют пересмотра и адаптации городской среды к новым социальным и экономическим реалиям.

Программы реконструкции, основанные на принципах устойчивого развития, могут стать катализатором социально-экономического роста и способствовать формированию новых городских пространств, отвечающих требованиям XXI века.

Основной целью работы является реконструкция схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска.

Такая реконструкция схемы объекта проводится в связи с планируемым подключением новой нагрузки потребителей, которые должны быть введены в эксплуатацию в текущем году.

Предполагается, что проведённые изменения в схеме электрических

соединений подстанции позволят существенно повысить параметры надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения микрорайона.

«С другой стороны, учитывая безопасность, в работе требуется провести модернизацию электрических сетей микрорайона напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 с заменой устаревшего и небезопасного проводов марки АС на безопасные изолированные проводники марки СИП. Кроме того, планируется также провести замену электрических аппаратов системы электроснабжения микрорайона» [6].

«Объектом исследования в работе являются система электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска, а предметом исследования – схема электрических соединений указанного микрорайона, оборудование и электрические сети» [6].

«Для достижения основной цели работы, планируется решение следующих основных задач» [12]:

- проводится краткая характеристика объекта проектирования, включающая текущее состояние схемы электрических соединений, оборудования и электрических сетей системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска;
- на основе краткой характеристики объекта проектирования, проводится расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения микрорайона;
- выбираются основные технические решения в СЭС микрорайона.

«Таким образом, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации электрических сетей» [12] и оборудования, планируется улучшить показатели бесперебойности подачи электроэнергии, повысить селективность и быстродействие системы защиты, а также точность системы коммерческого учёта электроэнергии, что обеспечит более эффективное функционирование СЭС микрорайона.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы

Микрорайон «Старый город» в городе Орске представляет собой исторически значимую часть городской территории, характеризующуюся преимущественно старой малоэтажной застройкой [6].

Все здания в этом микрорайоне относятся к числу одно-, двух- и трехэтажных построек, что отражает архитектурные особенности периода их возведения и специфические градостроительные нормы того времени.

Исторически микрорайон «Старый город» сформировался как одна из первых частей Орска, и его застройка отражает традиционные строительные практики, характерные для середины XX века. Согласно источникам, таким как материалы сайта [6], микрорайон «Старый город» отличается наличием значительного количества зданий, сохранивших аутентичные черты архитектурного облика прошлого века. Данные строения, возведенные в основном из кирпича и дерева, представляют собой важный культурный пласт, свидетельствующий о специфике жилого строительства в Орске в прошлом.

Основной особенностью архитектуры микрорайона является его многообразие и разнообразие планировок, что позволяет сохранить исторический колорит и уникальность этой части города.

Важным аспектом в изучении микрорайона «Старый город» является анализ его потенциала в контексте современной реконструкции и сохранения историко-культурного наследия.

Несмотря на старение зданий и необходимость в обновлении инженерной инфраструктуры, данная часть города обладает значительным потенциалом для развития, особенно в контексте программ реставрации и сохранения культурного наследия.

Таким образом, преобразование микрорайона «Старый город» может стать ключевым элементом в стратегическом развитии Орска, способствуя повышению привлекательности города как для жителей, так и для туристов.

Далее в работе проводится анализ исходных данных по рассматриваемому микрорайону. Микрорайон «Старый город» в Орске занимает значительную площадь, которая составляет около 5 квадратных километров. Данный район, будучи одной из старейших частей города, имеет небольшую численность населения, приближающуюся к 20 тысячам человек. Эта плотность населения отражает особенности исторической застройки, ориентированной на малоэтажные здания с ограниченным количеством жильцов.

Климатические условия в микрорайоне «Старый город» соответствуют общей климатической характеристике города Орска, который находится в зоне континентального климата. «Среднегодовая температура в этой местности составляет около +4 °С, с резко выраженными сезонными колебаниями. Зимний период характеризуется холодными температурами, достигающими средних значений -15 °С, а в летний период температура может подниматься до +30 °С» [6] и выше. Влажность воздуха в этом районе колеблется в зависимости от времени года, но в целом остается на среднем уровне, что типично для степной зоны.

Приведённые климатические условия необходимо учесть при выборе рационального оборудования и сетей.

Таким образом, микрорайон «Старый город» представляет собой важную часть городской структуры Орска, сочетая в себе историческую застройку с особенностями континентального климата, влияющего на условия проживания и хозяйственную деятельность населения.

Установлено также, что улично-дорожная сеть микрорайона «Старый город» в Орске включает десять улиц, которые обеспечивают транспортное сообщение внутри района. Приведённые данные используются далее в работе для расчёта наружного освещения микрорайона.

«Электроснабжение микрорайона осуществляется через трансформаторные подстанции с напряжением 10/0,4 кВ. Эти подстанции получают питание от двух фидеров 10 кВ: один подключен к подстанции 110/10 кВ «Ново-Белогорская», а другой – к подстанции 110/10 кВ «ОЗТП».

Для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ используются провода марки А-50, установленные [6] еще в 1950-1960-е годы. На текущий момент их состояние значительно ухудшилось, что приводит к частым авариям на линиях 10 кВ в микрорайоне, усложняя обеспечение надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения.

Установлено, что в питающей и распределительной сетях напряжением 0,38/0,22 кВ микрорайона существует аналогичная проблема. Все данные сети выполнены устаревшими проводниками марок А-35, А-50, А-70 и А-95, которые полностью отработали свой технический ресурс. Данный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей.

«На территории микрорайона размещены различные объекты жилой и коммунальной инфраструктуры, включая одно- и двухквартирные жилые дома с газовыми плитами, несколько супермаркетов, дом культуры, почту, музей, травмпункт и аптеку, детские сады, кинотеатр» [6] с кафетерием, производственную базу, модульную котельную, станцию обслуживания техники, женскую консультацию и домики для отдыха. Среди потребителей микрорайона преобладают приёмники 2 и 3 категорий по надёжности электроснабжения.

Все существующие потребители получают электроэнергию от восьми однострансформаторных понизительных подстанций 10/0,4 кВ, введенных в эксплуатацию в середине прошлого века. При этом на сторонах 10 кВ и 0,38/0,22 кВ ТП-10/0,4 кВ резервирование полностью отсутствует.

Кроме того, на данных подстанциях в распределительных устройствах напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ также находится устаревшее и изношенное

оборудование, приводящее к значительному снижению надёжности и коммутационно-защитных характеристик системы электроснабжения микрорайона.

«Определено, что к 2025 году запланировано строительство новой школы, спортивного зала, водонапорной башни и котельной.

Установлено, что все новые объекты отнесены ко второй категории надёжности электроснабжения.

Кроме того, предполагается возведение новых жилых зданий» [6] (частная застройка), которые также будут обеспечиваться электроэнергией.

Для подключения этих новых потребителей потребуется проектирование и строительство двух новых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, что учтено в планах на будущее развитие микрорайона.

Данные объекты относятся к 3 категории надёжности потребителей.

План расположения микрорайона «Старый город» на карте г. Орска Оренбургской области приведён на рисунке 1.



Рисунок 1 – План расположения микрорайона «Старый город» на карте г. Орска Оренбургской области

Исходные технические данные существующих и перспективных потребителей микрорайона «Старый город» г. Орска Оренбургской области приведены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные существующих и перспективных потребителей микрорайона «Старый город» г. Орска Оренбургской области

Тип потребителя	Единица измерения	<i>n</i> , шт.,	<i>S</i> , кв.м., мест	<i>P</i> _{уд}	<i>tgφ</i>	Категория надёжности
Существующая нагрузка микрорайона						
ТП1						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	16	-	4,5	0,29	3
Двухквартирные дома (газ)	кВт/кв	4	-	4,5	0,29	3
Всего по ТП1	-	20	-	-	-	3
ТП2						
Дом культуры	кВт/м ²	1	180	0,25	0,75	2
Почта	кВт/м ²	1	60	0,16	0,48	2
Музей	кВт/м ²	1	120	0,16	0,48	2
Всего по ТП2	-	3	-	-	-	2
ТП3						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	8	-	4,5	0,29	3
Супермаркет	кВт/м ²	1	100	0,25	0,75	2
Травмпункт и аптека	кВт/м ²	1	40	0,36	0,43	2
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	2	-	4,5	0,29	3
Кинотеатр с кафетерием	кВт/мест	1	100	0,86	0,43	2
Производственная база	кВт/шт	1	200	0,4	0,29	2
Детский сад	кВт/мест	1	35	0,36	0,43	2
Всего по ТП3	-	15	-	-	-	2,3
ТП4						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв.	5	-	4,5	0,29	3
Поликлиника	кВт/место	1	150	0,86	0,43	2
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	8	-	4,5	0,29	3
Двухквартирные дома (газ)	кВт/кв	3	-	4,5	0,29	3
Всего по ТП4	-	17	-	-	-	2,3
ТП5						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	5	-	4,5	0,29	3
Всего по ТП5	-	5	-	-	-	3
ТП6						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	5	-	4,5	0,29	3
Супермаркет	кВт/м ²	1	66,6	0,25	0,75	2
Водонапорная башня	кВт/насос	1	-	25	1	3
Всего по ТП6	-	7	-	-	-	2,3
ТП7						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	3	-	4,5	0,29	3
Водонапорная башня	кВт/насос	1	-	25	1	2
Детский сад	кВт/место	1	60	0,36	0,43	2
Модульная котельная	кВт/котел	1	-	200	0,45	2
Производственная база	кВт/шт.	1	110	0,4	0,29	2

Продолжение таблицы 1

Тип потребителя	Единица измерения	n, шт.,	S, кв.м., мест	$P_{уд}$	$tg\varphi$	Категория надёжности
Всего по ТП7	-	7	-	-	-	2,3
ТП8						
Станция обслуживания техники	кВт/шт.	2	-	10	0,29	3
Котельная	кВт/котел	2	-	250	-	2
Женская консультация	кВт/место	1	150	0,86	0,43	2
Домик отдыха	кВт/шт.	2	-	1,1	0,29	3
Всего по ТП8	-	7	-	-	-	2,3
Всего существующей нагрузки	-	81	-	-	-	2,3
Перспективная нагрузка						
ТП9						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв.	10	-	4,5	0,29	3
Водонапорная башня	кВт/насос	1	-	25	1	2
Котельная	кВт/котел	2	-	110	0,45	2
Двухквартирные дома (газ)	кВт/кв	3	-	4,5	0,29	3
Школа	кВт/чел	1	240	0,17	0,43	2
Спортзал	кВт/чел	1	300	0,17	0,43	3
Всего по ТП9	-	18	-	-	-	2,3
ТП10						
Одноквартирные дома (газ)	кВт/кв	10	-	4,5	0,29	3
Двухквартирные дома (газ)	кВт/кв	3	-	4,5	0,29	3
Всего по ТП10	-	13	-	-	-	3
Всего перспективной нагрузки	-	31	-	-	-	2,3
Всего по микрорайону	-	112	-	-	-	2,3

Таким образом установлено, что к существующей нагрузке микрорайона «Старый город» г. Орска относится 81 объект, включающий потребители 2 и 3 категорий надёжности.

Определено, что к перспективной нагрузке микрорайона относятся одноквартирные и двухквартирные дома (газ), а также водонапорная башня, котельная, школа и спортзал.

Показано, что в составе перспективной нагрузки присутствуют потребители 2 и 3 категорий надёжности. Предлагается данную новую нагрузку потребителей микрорайона запитать от двух новых однотрансформаторных подстанций, обеспечив в схеме на стороне 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования (решается в работе далее).

1.2 Обоснование проведения реконструкции системы электроснабжения микрорайона

«В результате проведения анализа исходных данных по микрорайону было установлено, что» [6] к существующей нагрузке микрорайона «Старый город» г. Орска относится 81 объект, включающий потребителей 2 и 3 категорий надёжности.

«Исходя из задач на выполнение работы, при проведении краткой характеристики объекта исследования, было установлено, что в работе необходимо подключить к существующей системе электроснабжения микрорайона дополнительную» [6] (перспективную) нагрузку.

Определено, что к перспективной нагрузке микрорайона относятся многоквартирные и двухквартирные дома (газ), а также водонапорная башня, котельная, школа и спортзал. Установлено, что в составе перспективной нагрузки присутствуют потребители 2 и 3 категорий надёжности.

Кроме того, показано, что в системе электроснабжения микрорайона отсутствует необходимый и достаточный уровень резервирования, потому что линии сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ, питающие потребители, относящиеся ко 2 категории надёжности, не имеют дополнительного аварийного источника питания. Также установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ используются провода марки А-50, установленные еще в 1950-1960-е годы. На текущий момент их состояние значительно ухудшилось, что приводит к частым авариям на линиях 10 кВ в микрорайоне, усложняя обеспечение надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения. Установлено также, что в питающей и распределительной сетях напряжением 0,38/0,22 кВ микрорайона существует аналогичная проблема. Все данные сети выполнены устаревшими проводниками марок А-35, А-50, А-70 и А-95, которые полностью отработали свой технический ресурс. Указанный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность

электроснабжения потребителей. Кроме того, показано, что на ТП-10/0,4 кВ установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к системам электроснабжения жилых объектов, предлагается следующий комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска:

- так как новая (перспективная нагрузка) объекта состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует необходимых условий резервирования, её предлагается запитать от двух новых однострансформаторных подстанций ТП9 и ТП10, обеспечив в схеме на стороне 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования путём установки между данными ТП-10/0,4 кВ резервной перемычки с секционным автоматическим выключателем (в нормальном режиме будет отключён);
- с учётом того, что в существующей схеме электроснабжения микрорайона также преобладают потребители 2 категории надёжности, предлагается резервную перемычку применить на стороне 0,4 кВ всех питающих ТП1-ТП8;
- с учётом того, что проводники сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки А, находящихся в неудовлетворительном состоянии, а также не обеспечивающих необходимые условия электробезопасности и поэтому запрещённых для прокладки в населённых пунктах, предлагается заменить на современные изолированные проводники марки СИП. Применение кабельных линий для данной цели не рекомендуется, так как при их

прокладке в траншеях можно повредить ценные постройки исторического микрорайона города;

- предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ и в РУ-0,4 кВ питающих ТП-10/0,4 КВ микрорайона.

Таким образом, разработанный комплекс мероприятий предлагается принять за основу и проверить расчётным путём в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа исходных данных по микрорайону было установлено следующее:

- показано, что вся существующая нагрузка микрорайона получает питание от восьми однострансформаторных ТП-10/0,4 кВ без применения необходимого резервирования;
- установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ и к потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ, используются устаревшие и изношенные провода марки А марок А-35, А-50, А-70 и А-95, которые полностью отработали свой технический ресурс. Указанный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей;
- показано, что на всех ТП-10/0,4 кВ установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к системам электроснабжения жилых объектов, предложен комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска:

- так как новая (перспективная нагрузка) состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует

резервирования, её предложено запитать от двух новых однострансформаторных подстанций ТП9 и ТП10, обеспечив в схеме на стороне 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования путём установки между данными ТП-10/0,4 кВ резервной перемычки с секционным автоматом (в нормальном режиме будет отключён);

- так как в существующей схеме электроснабжения микрорайона также преобладают потребители 2 категории надёжности, предлагается резервную перемычку применить на стороне 0,4 кВ всех питающих ТП1-ТП8;
- с учётом того, что проводники сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки А, находящихся в неудовлетворительном состоянии, а также не обеспечивающих необходимые условия электробезопасности и поэтому запрещённых для прокладки в населённых пунктах, предлагается заменить на современные изолированные проводники марки СИП. Применение кабельных линий для данной цели не рекомендуется, так как при их прокладке в траншеях можно повредить ценные постройки исторического микрорайона города;
- предлагается провести проверку и последующую модернизацию оборудования питающих ТП-10/0,4 кВ микрорайона.

Разработанный комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска предлагается принять за основу и проверить расчётным путём далее.

2 Расчет электрических нагрузок жилищного массива и системы наружного освещения

«Расчетная активная электрическая нагрузка квартир $P_{\text{кв}}$, приведенная к вводу жилого здания микрорайона» [7]:

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

где $P_{\text{кв. уд.}}$ – «удельная нагрузка квартир, кВт/кв;

n – количество квартир, шт.» [7].

«Расчетная реактивная электрическая нагрузка квартир $P_{\text{кв}}$, приведенная к вводу жилого здания» [7]:

$$Q_{\text{кв.}} = P_{\text{кв.}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар}, \quad (2)$$

где « $\text{tg}\varphi$ – расчетный коэффициент реактивной мощности» [7].

«Электрическая активная нагрузка общественных зданий» [7]:

$$P_{\text{зар}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{зар.}}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где « $P_{\text{зар.}}$ – электрическая нагрузка одного потребителя, кВт/гар» [7].

«Электрическая активная нагрузка супермаркетов» [7]:

$$P_{\text{маг}} = P_{\text{уд.}} \cdot S, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где « $P_{\text{уд.}}$ – удельная электрическая нагрузка предприятия торговли, кВт/м²;

S – площадь торгового помещения, м²» [7].

«Расчётная полная нагрузка» [7]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}, \text{ кВА.} \quad (5)$$

«Расчётный ток нагрузки» [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А,} \quad (6)$$

где « $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, кВ» [7].

«На примере многоквартирных жилых домов» [7]:

$$P_{кв} = 4,5 \cdot 16 = 72 \text{ кВт,}$$

$$Q_{кв} = 72 \cdot 0,29 = 20,88 \text{ квар.}$$

$$S_{p.} = \sqrt{72^2 + 20,88^2} = 74,97 \text{ кВА.}$$

$$I_{p.} = \frac{74,97}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,21 \text{ А.}$$

Полученные результаты расчёта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок микрорайона «Старый город» г. Орска

Тип потребителя, наименование питающей ТП-10/0,4 кВ	P_p , кВт	$tg\varphi$	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
ТП1					
Одноквартирные дома (газ)	72	0,29	20,88	74,97	108,21
Двухквартирные дома (газ)	18	0,29	5,22	18,74	27,05
ТП2					
Дом культуры	45	0,75	33,75	56,25	81,19
Почта	9,6	0,48	4,61	10,65	15,37
Дом культуры	19,2	0,48	9,22	21,30	30,74
ТП3					
Одноквартирные дома (газ)	36	0,29	10,44	37,48	54,10
Супермаркет	25	0,75	18,75	31,25	45,11
Травмпункт и аптека	14,4	0,43	6,19	15,67	22,63

Продолжение таблицы 2

Тип потребителя, наименование питающей ТП-10/0,4 кВ	$P_p, \text{кВт}$	$\text{tg}\varphi$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$
Одноквартирные дома (газ)	9	0,29	2,61	9,37	13,53
Кинотеатр с кафетерием	86	0,43	36,98	93,61	135,12
Производственная база	160	0,29	46,40	166,59	240,46
Детский сад	12,6	0,43	5,42	13,72	19,80
ТП4					
Одноквартирные дома (газ)	22,5	0,29	6,53	23,43	33,81
Поликлиника	129	0,43	55,47	140,42	202,69
Одноквартирные дома (газ)	36	0,29	10,44	37,48	54,10
Двухквартирные дома (газ)	13,5	0,29	3,92	14,06	20,29
ТП5					
Одноквартирные дома (газ)	22,5	0,29	6,53	23,43	33,81
ТП6					
Одноквартирные дома (газ)	22,5	0,29	6,53	23,43	33,81
Супермаркет	16,65	0,75	12,49	20,81	30,04
Водонапорная башня	25	1	25,00	35,36	51,03
ТП7					
Одноквартирные дома (газ)	13,5	0,29	3,92	14,06	20,29
Водонапорная башня	25	1	25,00	35,36	51,03
Детский сад	21,6	0,43	9,29	23,51	33,94
Модульная котельная	200	0,45	90	219,32	316,57
Производственная база	44	0,29	12,76	45,81	66,13
ТП8					
Станция обслуживания техники	20	0,29	5,80	20,82	30,06
Котельная	440	0,45	198,00	482,50	696,45
Женская консультация	250	0,45	112,5	274,15	395,71
Дом отдыха	2,2	0,29	0,64	2,29	3,31
ТП9					
Одноквартирные дома (газ)	45	0,29	13,05	46,85	67,63
Водонапорная башня	25	1	25,00	35,36	51,03
Котельная	220	0,45	99,00	241,25	348,22
Двухквартирные дома (газ)	13,5	0,29	3,92	14,06	20,29
Школа	40,8	0,43	17,54	44,41	64,11
Спортзал	51	0,43	21,93	55,52	80,13
ТП10					
Одноквартирные дома (газ)	45	0,29	13,05	46,85	67,63
Двухквартирные дома (газ)	13,5	0,29	3,92	14,06	20,29

«Далее проводится расчёт уличного освещения микрорайона «Старый город» г. Орска.

В качестве источников наружного освещения микрорайона выбираются светодиодные светильники.

Нагрузка наружного освещения микрорайона «Старый город» г. Орска» [17]:

$$P_{\Sigma osv} = L_i \cdot P_{уд}, кВт, \quad (7)$$

где « L – длина освещаемых дорог и проездов, км» [17].

В работе для наружного освещения микрорайона «Старый город» г. Орска приняты современные светодиодные светильники марки LCL.24PM/36P» [17].

Установлено, что выбранные светодиодные светильники марки LCL.24PM/36P представляют собой современное решение в области осветительных технологий, ориентированное на высокую энергоэффективность и долговечность. Данный тип светильников отличается значительными эксплуатационными преимуществами, включая высокую светоотдачу и равномерное распределение света, что обеспечивает качественное освещение как в жилых, так и в коммерческих и промышленных помещениях.

Технические характеристики светильников LCL.24PM/36P позволяют использовать их в различных условиях благодаря высокой степени защиты от воздействия окружающей среды. Конструкция устройства предусматривает использование материалов, устойчивых к коррозии и механическим повреждениям, что делает их надежными в эксплуатации при неблагоприятных внешних условиях.

Долгий срок службы светодиодов, применяемых в данных светильниках, обеспечивает снижение затрат на техническое обслуживание и замену оборудования, что делает их экономически выгодными для применения в масштабных проектах по модернизации осветительных систем, включая наружное освещение реконструируемой системы электроснабжения микрорайона.

Энергоэффективность светильников LCL.24PM/36P достигается за счет использования современных светодиодных технологий, которые позволяют существенно снизить потребление энергии по сравнению с традиционными источниками света. Усовершенствованная система охлаждения предотвращает перегрев светодиодов, продлевая их срок службы и улучшая общую производительность осветительного устройства.

Такие характеристики делают светильники LCL.24PM/36P оптимальным выбором для реализации проектов по улучшению освещения, где ключевыми факторами являются надежность, энергоэффективность и качество светового потока.

Конструктивное выполнение данного типа светильника наружного освещения, а также схема управления наружным освещением и схема подключения щита наружного освещения представлены в графической части настоящей работы.

«Таким образом, наружное освещение микрорайона выполняется светильниками марки LCL.24PM/36P двухрядно в шахматном порядке, расстояние между фонарями составляет $l = 45$ м.

Расчёт наружного освещения проводится по условиям (2), (5) и (6) на примере улицы Берёзовой микрорайона «Старый город» г. Орска» [17]:

$$\begin{aligned}P_{осв} &= 0,2 \cdot 7,5 = 1,5 \text{ кВт}, \\Q_{осв} &= 1,5 \cdot 0,62 = 0,93 \text{ квар}, \\S_{р.} &= \sqrt{1,5^2 + 0,93^2} = 1,76 \text{ кВА}, \\I_{р.} &= \frac{1,76}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,72 \text{ А}.\end{aligned}$$

«Нагрузки уличного освещения для каждой улицы микрорайона «Старый город» г. Орска рассчитаны аналогично» [17] и результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Нагрузки наружного освещения улиц микрорайона «Старый город» г. Орска

Название улицы	Длина освещаемой части, км	Удельная мощность, кВт/км	$P_{осв.}$, кВт	$Q_{осв.}$, квар	$S_{осв.}$, кВА	$I_{осв.}$, А
Березовая	0,200	7,5	1,50	0,93	1,76	2,72
Заречная	0,100	7,5	0,75	0,47	0,89	1,36
Лесная	0,100	7,5	0,75	0,47	0,89	1,36
Луговая	0,150	7,5	1,13	0,70	1,33	2,04
Молодежная	0,125	7,5	0,94	0,58	1,10	1,70
Прудовая	0,160	7,5	1,20	0,74	1,41	2,17
Родниковая	0,260	7,5	1,95	1,21	2,29	3,53
Тракторная	0,450	7,5	3,38	2,09	3,97	6,11
Труда	0,220	7,5	1,65	1,02	1,94	2,95
Школьная	0,200	7,5	1,50	0,93	1,76	2,72

«Таким образом, в результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных активных, реактивных и полных нагрузок следующих объектов микрорайона «Старый город» г. Орска: жилых домов, коммунальных и общественных объектов, прочих объектов, а также наружного освещения» [6].

Выводы по разделу.

Расчитаны нагрузки микрорайона «Старый город» г. Орска:

- объектов жилого и нежилого фонда;
- наружного освещения.

Для применения в системе наружного освещения микрорайона, обосновано применение светильников марки LCL.24PM/36P.

3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

«Проводится выбор числа, мощности трансформаторов и количества подстанций 10/0,4 кВ для применения в системе электроснабжения микрорайона.

Ранее в работе было определено, что к существующей нагрузке микрорайона «Старый город» г. Орска относится 81 объект, включающий потребителей 2 и 3 категорий надёжности» [10] (одно- и двухквартирные жилые дома с газовыми плитами, несколько супермаркетов, дом культуры, почта, музей, травмпункт и аптека, детские сады, кинотеатр с кафетерием, производственную база, модульная котельная, станция обслуживания техники, женская консультация и домики для отдыха). Показано, что вся существующая нагрузка микрорайона получает питание от восьми однотрансформаторных ТП-10/0,4 кВ без применения необходимого резервирования.

Также обосновано, что необходимо подключить к существующей системе электроснабжения микрорайона дополнительную (перспективную) нагрузку (одноквартирные и двухквартирные дома (газ), а также водонапорная башня, котельная, школа и спортзал). Установлено, что в составе перспективной нагрузки присутствуют потребители 2 и 3 категорий надёжности. Так как новая (перспективная нагрузка) состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует резервирования, её предложено запитать от двух новых однотрансформаторных подстанций ТП9 и ТП10, обеспечив в схеме на стороне 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования путём установки между данными ТП-10/0,4 кВ резервной перемычки с секционным автоматом (в нормальном режиме будет отключён).

С учётом того, что в существующей схеме электроснабжения микрорайона также преобладают потребители 2 категории надёжности, предлагается резервную перемычку применить на стороне 0,4 кВ всех

питающих ТП-10/0,4 кВ микрорайона. Поэтому необходимо ввести резервные кабельные перемычки между ТП1-ТП-10.

В таком случае, все однострансформаторные подстанции в микрорайоне необходимо просчитать с учётом резервирования на низкой стороне перемычками от соседних ТП-10/0,4 кВ.

При этом предполагается спаренный принцип резервирования, когда одна ТП первой секции сборных шин резервирует другую ТП, питающуюся от второй секции сборных шин. Для этого необходимо провести расчёт нагрузок всех ТП микрорайона (включая новые ТП9 и ТП10) [13].

Суммарная активная нагрузка, приходящаяся на каждую ТП-10/0,4 кВ [3]:

$$P_{p.ТП} = P_{p.макс} + \sum_{i=1}^n k_y \cdot P_{p.i}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

где « k_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки, о.е.» [3].

«Аналогично расчётная реактивная нагрузка ТП-10/0,4 кВ» [3]:

$$Q_{p.ТП} = Q_{p.макс} + \sum_{i=1}^n k_y \cdot Q_{p.i}, \text{ квар.} \quad (9)$$

«Полная мощность нагрузки ТП-10/0,4 кВ» [3]:

$$S_{p.ТП} = \sqrt{P_{p.ТП}^2 + Q_{p.ТП}^2}, \text{ кВА.} \quad (10)$$

«Проводится расчёт суммарных электрических нагрузок для каждой ТП-10/0,4 кВ микрорайона.

Нагрузки, приходящиеся на ТП4 микрорайона [3]:

$$P_{p.ТП} = 129 + 0,9 \cdot (22,5 + 36 + 13,5) = 193,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ТП} = 55,47 + 0,9 \cdot (6,53 + 10,44 + 3,92) = 74,26 \text{ квар},$$

$$S_{p.ТП} = \sqrt{193,8^2 + 74,26^2} = 207,54 \text{ кВА}.$$

«Аналогичные расчёты проведены для остальных ТП-10/0,4 В микрорайона «Старый город» г. Орска. Результаты расчета сведены» [6] в таблицу 7.

«Выбор мощности трансформаторов проводится по его активной нагрузке в нормальном режиме» [3]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{P_{p.ТП}}{K_3 \cdot N}, \text{кВА}, \quad (11)$$

где « K_3 – номинальный коэффициент загрузки трансформатора;
 N – количество трансформаторов» [3].

Расчет мощности трансформатора для ТП 4 микрорайона:

$$S_{ном.т} \geq \frac{193,8}{0,9 \cdot 1} = 215,3 \text{ кВА}.$$

«Предварительно принимается к установке на ТП4 микрорайона один силовой трансформатор марки ТМ-250/10» [18]. Данный трансформатор не совпадает с ранее установленным трансформатором на данной подстанции (ранее на данной подстанции был установлен один трансформатор марки ТМ-160/10).

«Проверка загрузки трансформатора в нормальном режиме» [3]:

$$K_{3.н} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,9. \quad (12)$$

«Условия данной проверки для ТП4 микрорайона выполняются» [3]:

$$K_{з.н} = \frac{207,54}{250} = 0,83 \leq 0,9.$$

«Результаты выбора и проверки в нормальном режиме мощности силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска» [6] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – «Результаты выбора и проверки в нормальном режиме мощности силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона» [6] «Старый город» г. Орска

№ ТП	$S_{ном.т.сущ},$ кВА	$P_{р.ТП.},$ кВт	$Q_{р.ТП.},$ квар	$S_{р.ТП.},$ кВА	$S_{ном.т.},$ кВА	$K_{з.н}$	Совпадение с ранее установленным трансформатором
ТП 1	100	81,00	23,49	84,34	100	0,84	да
ТП 2	100	70,92	46,19	84,64	100	0,85	да
ТП 3	250	324,70	118,75	345,73	400	0,83	нет
ТП 4	160	193,80	74,26	207,54	250	0,86	нет
ТП 5	40	22,50	6,53	23,43	40	0,59	да
ТП 6	100	60,24	42,11	73,50	100	0,73	да
ТП 7	400	293,69	135,87	323,59	400	0,81	да
ТП 8	400	386,08	168,22	421,14	630	0,67	нет
ТП 9	-	377,77	172,30	415,21	630	0,66	новая ТП
ТП 10	-	57,15	16,57	59,50	100	0,60	новая ТП

Таким образом, установлено, что на ТП1, ТП2, ТП5, ТП6 и ТП7, мощности ранее установленных трансформаторов остались без изменения. На ТП3, ТП4 и ТП8 мощность трансформаторов увеличилась. На ТП9 и ТП10 были выбраны новые трансформаторы (новые подстанции). Однако, в виду того, что на стороне 0,38/0,322 кВ предложено ввести резервирование, силовые трансформаторы всех подстанций необходимо также проверить на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме работы по условию [12]:

$$K_{з.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,8. \quad (13)$$

Условия этой проверки, на примере ТП4 микрорайона, выполняются (при резервировании переключкой 0,38/0,22 кВ от ТП1):

$$K_{з.ав} = \frac{207,54 + 84,34}{250} = 1,17 \leq 1,8.$$

Следовательно, окончательно подтверждается выбранный трансформатор марки ТМ-250/10 для установки на ТП4. Результаты парной проверки всех остальных силовых трансформаторов на допустимую перегрузку при резервировании на стороне 0,4 кВ в послеаварийном режиме, для установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты парной проверки всех остальных силовых трансформаторов на допустимую перегрузку при резервировании на стороне 0,4 кВ в послеаварийном режиме, для установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска

ТП	Марка	$K_{з.а}$	Выполнение условий проверки
ТП 8, ТП9	ТМ-630/10, ТМ-630/10	1,32	да
ТП 3, ТП 7	ТМ-400/10, ТМ-400/10	1,67	да
ТП 6, ТП10	ТМ-100/10, ТМ-100/10	1,33	да
ТП 2, ТП5	ТМ-100/10, ТМ-40/10	1,08	да
ТП 4, ТП1	ТМ-250/10, ТМ-100/10	1,17	да

Принятые трансформаторы ТП-10/0,4 В микрорайона «Старый город» г. Орска показаны на графическом листе 3.

Выводы по разделу.

В результате выбора и проверки трансформаторов подстанций микрорайона с учётом резервирования переключками от соседних ТП-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ установлено, что на ТП1, ТП2, ТП5, ТП6 и ТП7, мощности ранее установленных трансформаторов остались без изменения. На ТП3, ТП4 и ТП8 мощность трансформаторов увеличилась. На ТП9 и ТП10 были выбраны новые трансформаторы (новые подстанции).

4 Расчет токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона является критически важным процессом, обеспечивающим надёжное и безопасное функционирование электрической сети.

Правильное проведение этого расчёта гарантирует соответствие системы всем современным стандартам и требованиям, значительно снижая риск аварийных ситуаций и обеспечивая долговечность и надёжность эксплуатации сети.

При расчёте токов КЗ выбирается наиболее тяжёлый режим трёхфазного короткого замыкания» [11].

«В работе, исходя из поставленных задач, предполагается расчёт токов КЗ провести в сети 10 кВ (точки К1-К6) и в сети 0,38/0,22 кВ (точки К7-К11).

Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в СЭС микрорайона и схема замещения сети представлены, соответственно, на рисунках» [11] 2 и 3.

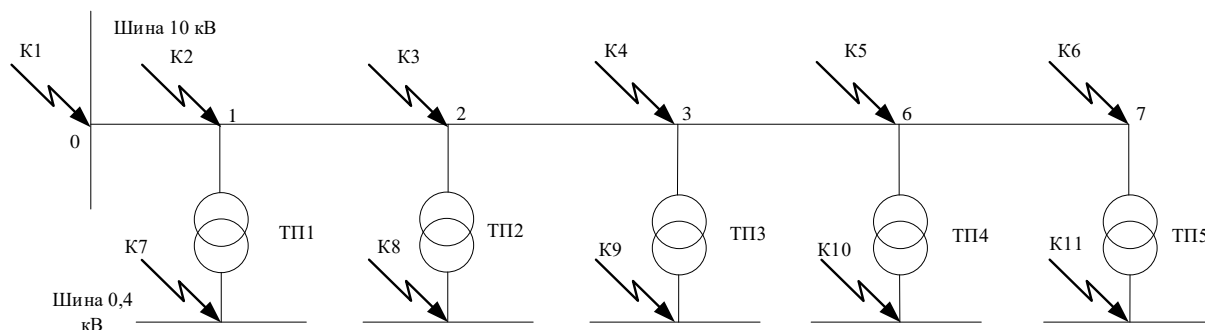


Рисунок 2 – «Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в СЭС микрорайона «Старый город» г. Орска» [11]

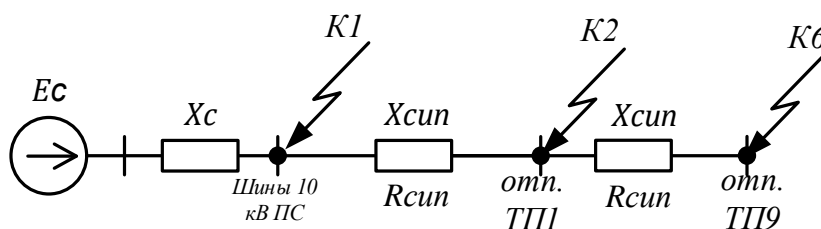


Рисунок 3 – «Схема замещения сети для расчёта токов КЗ в сети 10 кВ в СЭС микрорайона «Старый город» г. Орска» [11]

«Ток короткого замыкания на шинах РУ 10 кВ питающей ПС принимается равным $I_{кз} = 12,5$ кА (по данным энергосистемы).

Сопротивление энергосистемы» [11]:

$$x_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}, \text{ Ом}, \quad (14)$$

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,485 \text{ Ом}$$

Предполагается после модернизации на всех линиях 10 кВ и 0,4 кВ применить изолированные проводники марки СИП.

«Удельные сопротивления СИП 3 1×50» [11], предварительно принятого для питающей линии 10 кВ системы электроснабжения микрорайона:

$$x_{omn.TII-TII} = 0,312 \text{ Ом/км},$$

$$r_{omn.TII-TII} = 0,923 \text{ Ом/км}.$$

«Активные и индуктивные сопротивления линий» [11]:

$$X_{ПС-omnTII} = L_{ПС-omn} \cdot X_{omn.TII-TII}, \text{ Ом}, \quad (15)$$

$$X_{ПС-omnTII} = 1,4 \cdot 0,312 = 0,437 \text{ Ом},$$

$$X_{omnTII-omn.TII} = L_{omnTII-omnTII} \cdot X_{omn.TII-TII}, \text{ Ом}, \quad (16)$$

$$X_{omnTII-omn.TII} = 0,9 \cdot 0,312 = 0,281 \text{ Ом},$$

$$R_{ПС-omnTII} = L_{ПС-omnTII} \cdot R_{omn.TII-TII}, \text{ Ом}, \quad (17)$$

$$R_{ПС-omnTII} = 1,3 \cdot 1 = 1,3 \text{ Ом},$$

$$R_{omnTII-omn.TII} = L_{omnTII-omnTII} \cdot R_{omn.TII-TII}, \text{ Ом}, \quad (18)$$

$$R_{omnTII-omn.TII} = 1 \cdot 0,831 = 0,831 \text{ Ом}.$$

«Полное индуктивное и активное сопротивления до точек КЗ» [11]:

$$X_{\Sigma III} = X_c + X_{ПС-omn.III}, \text{ Ом}, \quad (19)$$

$$X_{\Sigma III} = 0,485 + 0,437 = 0,922 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma III} = R_{ПС-omn.III} = 1,3 \text{ Ом},$$

$$X_{\Sigma III} = X_{\Sigma III} + X_{II\Sigma III}, \text{ Ом}, \quad (20)$$

$$X_{\Sigma III} = 0,922 + 0,281 = 1,203 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma III} = R_{\Sigma III} + R_{II\Sigma III}, \text{ Ом}, \quad (21)$$

$$R_{\Sigma III} = 1,3 + 0,831 = 2,131 \text{ Ом}.$$

«Периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени» [11]:

$$I_{ПО.К1}^{(3)} = \frac{U_{СРHH}}{\sqrt{3} \cdot X_c}, \text{ кА}, \quad (22)$$

$$I_{ПО.К1}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,485} = 12,5 \text{ кА},$$

$$I_{ПО.К2}^{(3)} = \frac{U_{СРHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma III77}^2 + X_{\Sigma III77}^2}}, \text{ кА}, \quad (23)$$

$$I_{ПО.К2}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,6} = 3,79 \text{ кА},$$

$$I_{ПО.К3}^{(3)} = \frac{U_{СРHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma III50}^2 + X_{\Sigma III50}^2}}, \text{ кА}, \quad (24)$$

$$I_{ПО.К3}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,45} = 2,47 \text{ кА}.$$

«Постоянная затухания» [11]:

$$T_{aК1} = 0,03 \text{ с},$$

$$T_{aK2} = \frac{X_{\Sigma III 77}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma III 77}}, \text{ c,} \quad (25)$$

$$T_{aK2} = \frac{0,922}{314 \cdot 1,3} = 0,0022 \text{ c,}$$

$$T_{aK6} = \frac{X_{\Sigma III 50}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma III 50}}, \text{ c,} \quad (26)$$

$$T_{aK6} = \frac{1,203}{314 \cdot 2,131} = 0,0017 \text{ c.}$$

«Коэффициент затухания» [11]:

$$\lambda_{K1} = e^{\frac{-0,01}{T_{aK1}}}, \quad (27)$$

$$\lambda_{K1} = e^{\frac{-0,01}{0,03}} = 0,716,$$

$$\lambda_{K2} = e^{\frac{-0,01}{T_{aK2}}}, \quad (28)$$

$$\lambda_{K2} = e^{\frac{-0,01}{0,0022}} = 0,0106,$$

$$\lambda_{K6} = e^{\frac{-0,01}{T_{aK6}}}, \quad (29)$$

$$\lambda_{K6} = e^{\frac{-0,01}{0,0017}} = 0,003.$$

«Ударный ток короткого замыкания, кА» [11]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K1}), \text{ кА,} \quad (30)$$

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 1,716 = 30,33 \text{ кА,}$$

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К2}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K2}), \text{ кА,} \quad (31)$$

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot 3,79 \cdot 1,0106 = 5,416 \text{ кА,}$$

$$i_{y\partial K6} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К6}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K6}), \text{кА}, \quad (32)$$

$$i_{y\partial K6} = \sqrt{2} \cdot 2,47 \cdot 1,003 = 3,5 \text{кА}.$$

«Ток двухфазного короткого замыкания» [11]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\kappa}^{(3)}, \text{А}. \quad (33)$$

«Для расчётных точек» [11]:

$$I_{\kappa1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12,5 = 10,82 \text{кА},$$

$$I_{\kappa2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,79 = 3,282 \text{кА},$$

$$I_{\kappa6}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,47 = 2,14 \text{кА}.$$

Результаты расчета токов КЗ на стороне 10 кВ сети микрорайона «Старый город» г. Орска представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета токов КЗ на стороне 10 кВ сети микрорайона «Старый город» г. Орска

Расчётная точка	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$I_{\kappa}^{(2)}$, кА	T_a	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$, кА
К1	12,5	10,82	0,0300	1,716	30,33
К2	3,79	3,282	0,0022	1,0106	5,416
К3	3,38	2,93	0,0021	1,0087	4,82
К4	3,18	2,75	0,0020	1,0074	4,53
К5	2,73	2,36	0,0022	1,0113	3,90
К6	2,47	2,14	0,0017	1,003	3,5

«Схема замещения участка сети для расчёта токов КЗ в расчётных точках схемы 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения микрорайона» [11] показана на рисунке 4.

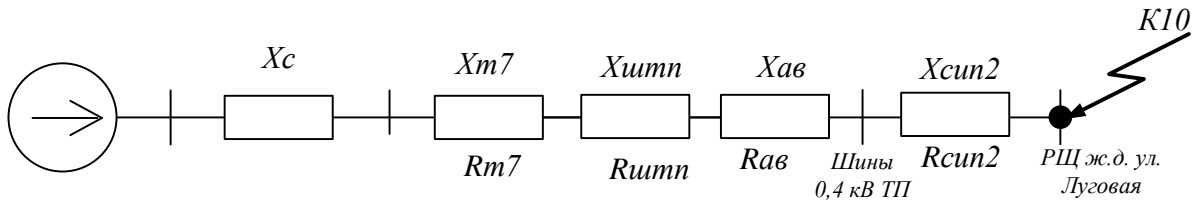


Рисунок 4 – «Схема замещения участка сети для расчёта токов КЗ в расчётных точках схемы 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения микрорайона «Старый город»» [11]

«Сопротивление системы, приведенное к стороне 0,4 кВ» [11]:

$$X_c = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_{ср.вн}^2}, \text{ Ом}, \quad (34)$$

где « $I_{кз}$ – ток КЗ на шинах 10 кВ, кА» [11].

$$X_c = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 2,73 \cdot 10500} = 3,223 \text{ Ом}.$$

«Активное сопротивление силового трансформатора на стороне низкого напряжения (далее – НН)» [11]:

$$R_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{ном.т}^2}, \text{ Ом}, \quad (35)$$

где $U_{ном}$ - «номинальное напряжение обмотки НН силового трансформатора кВТ» [11];

$\Delta P_{кз}$ - «потери короткого замыкания силового трансформатора, кВТ» [11];

$S_{ном.т}$ - «номинальная мощность силового трансформатора, ТП-10/0,4 кВ СЭС микрорайона, МВА» [11].

«Для условий схемы замещения» [11]:

$$R_T = \frac{0,4^2 \cdot 5,5}{630^2} = 2,22 \text{ Ом},$$

«Полное сопротивление силового трансформатора на стороне НН» [11]:

$$Z_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot U_k}{S_{ном.т}}, \text{ Ом}, \quad (36)$$

где U_k - «напряжение короткого замыкания силового трансформатора (справочные данные), %» [11].

«Для условий схемы замещения» [11]:

$$Z_T = \frac{0,4^2 \cdot 0,055}{630} = 14 \text{ Ом},$$

«Реактивное сопротивление силового трансформатора на стороне НН» [11]:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \text{ Ом}, \quad (37)$$

«Для условий схемы замещения» [11]:

$$X_T = \sqrt{14^2 - 2,22^2} = 13,82 \text{ Ом}.$$

«Суммарные сопротивления до расчетной точки КЗ» [11]:

$$X_{1сумм} = X_C + X_T + X_{ШТП} + X_{ав}, \text{ мОм}, \quad (38)$$

$$X_{1сумм} = 3,223 + 13,82 + 0,06 + 0,13 = 17,233 \text{ мОм},$$

$$R_{1\text{сумм}} = R_T + R_{\text{ТПП}} + R_{\text{ав}}, \text{ мОм}, \quad (39)$$

$$R_{1\text{сумм}} = 2,22 + 0,1 + 15 + 0,41 = 17,73 \text{ мОм}.$$

«Ток трехфазного КЗ в начальный момент времени» [11]:

$$I_{\text{ПО.ТП}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\text{сумм}}^2 + X_{1\text{сумм}}^2}}, \text{ кА}, \quad (40)$$

$$I_{\text{ПО.ТП}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 24,72} = 9,34 \text{ кА},$$

$$T_{\text{аТП}} = \frac{X_{\Sigma\text{ТП}30\text{n}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma\text{ТП}30\text{n}}}, \text{ с}, \quad (41)$$

$$T_{\text{аТП}} = \frac{17,233}{314 \cdot 17,73} = 0,003 \text{ с},$$

$$\lambda_{\text{ТП}} = e^{\frac{-0,01}{T_{\text{а}}}}, \quad (42)$$

$$\lambda_{\text{ТП}} = e^{\frac{-0,01}{0,003}} = 0,036.$$

«Ударный ток» [11]:

$$i_{\text{удК1}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{\text{К1}}), \text{ кА}, \quad (43)$$

$$i_{\text{удК1}} = \sqrt{2} \cdot 1,036 \cdot 9,34 = 13,68 \text{ кА}.$$

«Расчётные сопротивления схемы до наиболее удаленного потребителя ТП9» [11]:

$$X_{\text{сун2}} = 0,24 \cdot 0,0802 = 19,2 \text{ мОм}, \quad (44)$$

$$R_{\text{сун2}} = 0,24 \cdot 1,111 = 266,6 \text{ мОм}.$$

«Ток однофазного КЗ в начальный момент времени до наиболее удаленного потребителя ТП9» [11]:

$$I_{\text{ПО.ТП-РЩ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{R_{1\text{сумм}}^2 + X_{1\text{сумм}}^2}}, \text{ кА,}$$

$$I_{\text{ПО.ТП-РЩ}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{302,06^2 + 53,66^2}} = 2,25 \text{ кА.}$$

Результаты расчетов токов короткого замыкания сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Точка КЗ	$I_k^{(3)}$, кА	T_a	$k_{уд}$	$i_{уд}$, кА
К7	8,05	0,0029609	1,0341	11,77
К8	5,93	0,0038083	1,0724	8,99
К9	2,81	0,0045759	1,1124	4,41
К10	9,37	0,0030743	1,0387	13,76
К11	1,21	0,004943	1,1322	1,93

«Определены максимальные значения расчётных симметричных токов КЗ в трёхфазном режиме в сети 10 кВ и 0,4 кВ. С учётом рекомендуемых ударных коэффициентов, рассчитаны их ударные токи» [11].

Выводы по разделу.

Рассчитаны токи трёхфазного КЗ и ударные токи.

Также определён ток однофазного КЗ в начальный момент времени у наиболее удаленного потребителя ТП9.

5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

5.1 Выбор и расчёт электрических проводников

Ранее в работе было установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ и к потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ, использовались устаревшие и изношенные провода марки А марок А-35, А-50, А-70 и А-95, которые полностью отработали свой технический ресурс. Указанный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей.

С учётом данного факта, предлагается заменить на современные изолированные проводники марки СИП. Применение кабельных линий для данной цели не рекомендуется, так как при их прокладке в траншеях можно повредить ценные постройки исторического микрорайона города.

Таким образом, для канализации электроэнергии в электрической сети микрорайона, в результате модернизации, принимаются:

- для питающей линии 10 кВ – «изолированные самонесущие проводники марки СИП-3» [16];
- «для питающих и распределительных линий 0,38/0,22 кВ – изолированные самонесущие проводники марки СИП-2» [15].

Проводится расчёт сети 0,4 кВ с выбором сечения рациональных проводников.

«Расчет эквивалентной мощности магистрали 0,4 кВ» [4]:

$$S_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{\text{уч}i}^2 \cdot l_{\text{уч}i})}{\sum_{i=1}^n l_{\text{уч}i}}}, \text{кВА.} \quad (45)$$

где $S_{учи}, l_{учи}$ - «соответственно, полная мощность и длина рассматриваемого участка, кВА, км» [4].

«Расчёт эквивалентного тока магистрали 0,4 кВ» [4]:

$$I_{экв} = \frac{S_{экв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А.} \quad (46)$$

«Условие проверки выбранного сечения проводника» [4]:

$$I_{д.д.т} = I_{экв}, \text{А.} \quad (47)$$

«Результаты выбора сечения питающих и распределительных линий 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город»» [4] представлены в таблице 8.

Таблица 8 – «Результаты выбора сечения питающих и распределительных линий 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город»» [4]

ТП-10/0,4 кВ	Длина линии, км	Полная нагрузка линии, кВА	I_p , А	$I_{дт}$, А	Марка и сечение проводника
ТП 1	0,34	93,71	135,26	195	СИП 2А 3×50+1×54,6
ТП 2	0,05	56,25	81,19	240	СИП 2А 3×35+1×54,6
	0,08	31,95	46,11	240	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 3	0,225	67,62	97,61	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
	0,260	149,2	215,36	240	СИП 2А 3×70+1×70
ТП 4	0,245	163,69	236,28	240	СИП 2А 3×70+1×70
	0,390	51,54	74,39	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 5	0,09	23,43	33,81	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 6	0,335	77,8	112,29	195	СИП 2А 3×50+1×54,6
ТП7	0,08	45,81	66,13	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
	0,198	150	225,8	240	СИП 2А 3×70+1×70
ТП8	0,025	175,23	253,0	300	СИП 2А 3×95+1×70
	0,345	163,38	235,83	300	СИП 2А 3×95+1×70
ТП9	0,170	43,8	63,22	160	СИП 2А 3×70+1×70
	0,150	175,22	232,9	240	СИП 2А 3×70+1×70
	0,225	42,17	60,87	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП10	0,255	22,11	40,58	160	СИП 2А 3×35+1×54,6
	0,240	32,8	47,34	160	СИП 2А 3×35+1×54,6

«Далее в работе необходимо провести расчёт потерь напряжения на выбранных участках электрической сети» [10] 0,38/0,22 кВ с принятыми сечениями проводников СИП.

Известно, что расчет потерь напряжения в линиях электропередач является важной задачей, связанной с обеспечением надежного и эффективного функционирования электрических сетей. Данный аспект особенно актуален в контексте роста потребления электроэнергии и необходимости повышения энергоэффективности электрических систем.

Потери напряжения в линиях электропередач могут существенно влиять на качество электроснабжения конечных потребителей, снижая уровень напряжения и вызывая отклонения от нормативных значений, что может привести к снижению производительности оборудования и увеличению эксплуатационных расходов.

Точный расчет потерь напряжения позволяет выявить проблемные участки в электрических сетях, требующие модернизации или «усиления, а также оптимизировать схемы распределения электрической энергии. В условиях роста нагрузки на электрические сети, обусловленного увеличением числа подключенных потребителей и расширением использования возобновляемых источников энергии» [10], вопросы минимизации потерь напряжения становятся все более актуальными.

Кроме того, потери напряжения в линиях электропередач оказывают прямое влияние на экономические показатели работы энергетических компаний, так как потери энергии на трансформацию и передачу влияют на общий баланс электроэнергии и увеличивают операционные расходы.

В этой связи расчет и контроль потерь напряжения являются ключевыми компонентами стратегий повышения эффективности работы электрических сетей и снижения затрат на производство и распределение электроэнергии.

«Потери напряжения в линиях определяется по формуле» [2]:

$$\Delta U\% = \frac{I \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{ном}^2} \cdot 100, \% \quad (48)$$

где I – рабочий максимальный ток линии, А;

L – длина линии, км;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ;

r_0 и x_0 – удельные сопротивления линии, Ом/км» [2].

«Результаты расчёта потерь напряжения» [2] на выбранных участках электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска, с принятыми сечениями проводников СИП приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта потерь напряжения на выбранных участках электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска, с принятыми сечениями проводников СИП

ТП	$\Delta U, \%$	Предварительное сечение проводника	Окончательное сечение проводника
ТП 1	4,05	СИП 2А 3×50+1×54,6	СИП 2А 3×50+1×54,6
ТП 2	1,44	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
	1,31	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 3	7,64	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
	10,72	СИП 2А 3×70+1×70	СИП 2А 3×70+1×70
ТП 4	11,08	СИП 2А 3×70+1×70	СИП 2А 3×70+1×70
	9,32	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 5	1,08	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП 6	9,06	СИП 2А 3×50+1×54,6	СИП 2А 3×50+1×54,6
ТП7	1,88	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
	8,56	СИП 2А 3×70+1×70	СИП 2А 3×70+1×70
ТП8	0,93	СИП 2А 3×95+1×70	СИП 2А 3×95+1×70
	8,99	СИП 2А 3×95+1×70	СИП 2А 3×95+1×70
ТП9	2,06	СИП 2А 3×70+1×70	СИП 2А 3×70+1×70
	6,69	СИП 2А 3×70+1×70	СИП 2А 3×70+1×70
	4,87	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
ТП10	3,68	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6
	4,04	СИП 2А 3×35+1×54,6	СИП 2А 3×35+1×54,6

В результате проведения расчёта, на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска приняты новые изолированные проводники марки СИП 2А различных сечений.

Далее проводится выбор проводников питающей линии 10 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска.

«Нагрузка ТП-10/0,4 кВ, приведенная к напряжению 10 кВ, определяется с учётом потерь в трансформаторах» [12]:

$$S_{ТП(10кВ)} = \sqrt{(P_{р.ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{р.ТП} + \Delta Q_T)^2}, \text{кВА.} \quad (49)$$

На примере ТП1 СЭС микрорайона «Старый город» г. Орска:

$$S_{ТП(10кВ)} = \sqrt{(81 + 1,88)^2 + (23,49 + 5,2)^2} = 87,71 \text{ кВА.}$$

«Результаты расчёта приведённой электрической нагрузки на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска» [6] приведены в таблице 10.

Таблица 10 – «Результаты расчёта приведённой электрической нагрузки на стороне 10 кВ ТП-10/0,4 кВ» [6] микрорайона «Старый город» г. Орска

№ ТП	$P_{\Sigma(10кВ)}$, кВт	$Q_{\Sigma(10кВ)}$, квар	$S_{\Sigma(10кВ)}$, кВА	S_{mp} , кВА	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар
ТП 1	82,88	28,69	87,71	100	1,88	5,20
ТП 2	72,81	51,42	89,13	100	1,89	5,22
ТП 3	330,26	140,60	358,94	400	5,56	21,85
ТП 4	197,40	87,77	216,03	250	3,60	13,50
ТП 5	22,99	8,34	24,46	40	0,49	1,82
ТП 6	61,78	46,54	77,35	100	1,54	4,43
ТП 7	298,74	156,05	337,04	400	5,05	20,18
ТП 8	391,75	196,30	438,18	630	5,67	28,08
ТП 9	383,34	199,95	432,35	630	5,57	27,65
ТП 10	58,33	20,17	61,72	100	1,18	3,59

«Приводится расчета сечения СИП-3 на примере головного участка питающей сети 10 кВ первого ввода от ПС-110/10 кВ «Ново-Белогорская»» [12]:

$$P_{р.Ф7} = P_{mn5} + P_{mn9} + P_{mn6} + P_{mn4} + P_{mn7} = 964,25 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.\Phi 7} = Q_{mn5} + Q_{mn9} + Q_{mn6} + Q_{mn4} + Q_{mn7} = 498,68 \text{ квар},$$

$$I_{н.р} = \frac{\sqrt{964,25^2 + 498,68^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 62,77 \text{ А.}$$

Принимается для данной питающей линии 10 кВ микрорайона провод марки СИП 3 (1×50) [16]. Проверка выбранного проводника по условиям допустимого нагрева выполняется:

$$62,77 \text{ А} \leq 1,35 \cdot 245 = 330,75 \text{ А.}$$

«Результаты выбора и проверки сечения питающих линий 10 кВ системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска» [6] представлены в таблице 11.

Таблица 11 – «Результаты выбора и проверки сечения питающих линий 10 кВ» [6] микрорайона «Старый город» г. Орска

Участок	L _{уч.} , км	S _{Σ(10кВ)} , кВА	I _{н.р.} , А	I _{дл.доп.} , А	Результат выбора сечения и марки проводника
Линия 10 кВ от ПС-110/10 кВ (ввод 1)	22,4	1087,23	62,77	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 1-ТП 5	0,130	337,04	19,46	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 1-ТП 9	0,02	216,03	12,47	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 1-ТП 6	0,02	77,35	4,47	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 1-ТП 4	0,130	432,35	24,96	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 1-ТП 7	0,02	216,03	12,47	245	СИП 3 (1×50)
Линия 10 кВ от ПС-110/10 кВ (ввод 1)	23,81	1035,68	59,80	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 2-ТП 10	0,120	438,18	25,30	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 2-ТП 3	0,02	61,72	3,56	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 2-ТП 1	0,06	87,71	5,06	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 2-ТП 2	0,02	89,13	5,15	245	СИП 3 (1×50)
Ввод 2-ТП 8	0,110	358,94	20,72	245	СИП 3 (1×50)

«Таким образом установлено, что на всех участках питающей сети 10 кВ микрорайона» [6] «Старый город» г. Орска целесообразно применение проводников марки СИП 3 (1×50).

5.2 Выбор и расчёт электрических аппаратов

Ранее в работе было определено, что на всех ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

В связи с этим, в работе предлагается провести проверку и последующую «модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ и в РУ-0,4 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ» [4] микрорайона.

«Исходя из принятой ранее схемы питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона, в работе требуется выбрать и провести проверку следующих типов электрических аппаратов:

- для установки в двух ячейках РУ-10 кВ на питающих ТП-110/10 кВ «Ново-Белогорская» и «ОЗТП»: выключатели высокого напряжения, трансформаторы тока и ограничители перенапряжения;
 - для установки на всех ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и плавкие предохранители;
 - для установки на линиях 10 кВ» [14]: разъединители РЛНД-1-10/400.
- «Результаты выбора выключателей 10 кВ» [4] показаны в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора выключателей 10 кВ

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели марки ВВУ–СЭЦ–10–20/1600 УЗ (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 62,77 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 12,5 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 30,33 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 30,33^2 \cdot 3 = 2760 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2\text{с}$

«Результаты выбора трансформаторов тока» [4] представлены в форме таблицы 13.

Таблица 13 – «Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ» [4]

Тип ТТ	Кол-во ТТ, шт.	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТОЛ–СЭЩ–10	2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

«Результаты выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ» [4] представлены в форме таблицы 14.

Таблица 14 – «Результаты выбора ограничителей перенапряжения 10 кВ» [4]

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 62,77 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 30,33 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 30,33^2 \cdot 3 = 2760 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 48000 \text{ кА}^2\text{с}$

«Результаты выбора разъединителей для установки на линиях сети 10 кВ микрорайона» [4] представлены в форме таблицы 15.

Таблица 15 – «Результаты выбора разъединителей для установки на линиях электрической сети 10 кВ микрорайона» [4]

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Разъединители марки РЛНД-1-10/400	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 62,77 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 30,33 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 30,33^2 \cdot 3 = 2760 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

«Далее выбираются аппараты для установки на ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки и плавкие предохранители.

Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ СЭС микрорайона для установки на ТП-10/0,4 кВ» [4] представлены в таблице 16.

Таблица 16 – «Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ СЭС микрорайона для установки на ТП-10/0,4 кВ» [4]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 62,77 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 30,33 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 30,33^2 \cdot 3 = 2760 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

«Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП9)» [4] представлены в таблице 17.

Таблица 17 – «Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ СЭС микрорайона для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП9)» [4]

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Предохранители марки ПКТ-101-10-40-20 У1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$1,1 - 1,5 I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5 I_{ном.т} = 1,5 \times 23,1 = 34,7 \text{ А.}$	$I_{ном.вст} = 40 \text{ А.}$
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 40 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 40 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 30,33^2 \cdot 3 = 2760 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

«В работе следует выбрать следующие аппараты:

– автоматы ввода всех ТП-10/0,4 кВ СЭС микрорайона – данные автоматические выключатели обеспечивают защиту

трансформаторных подстанций, защищая её от перегрузок и коротких замыканий, а также обеспечивая возможность коммутации (при необходимости);

- вводные предохранители распределительной сети потребителей 0,4 кВ (для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ объектов микрорайона). Они обеспечивают надёжную работу системы в аварийных и послеаварийных режимах» [4].

«Известно, что выбор автоматических выключателей должен учитывать все рекомендуемые технические параметры. Данный фактор позволяет обеспечить долговечность и эффективную работу оборудования» [9].

«Выбор автоматов» [19]:

$$I_{ном. расц} > I_p, A, \quad (50)$$

где « I_p – рабочий ток» [19].

«Для автомата ввода новой ТП9» [19]:

$$I_{расц.} = \frac{461,34}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 665,91 A.$$

«Принимается автомат ВА53-41 с $I_{ном.расц.} = 1000 A$. Проверяется номинальный ток полупроводникового расцепителя» [1]:

$$I_{н.р.} = 1000 A \geq I_{раб.макс} = 665,91 A.$$

«Определяется ток уставки срабатывания теплового расцепителя выключателя» [1]:

$$I_{c.n.p} = 1,25 \cdot I_{н.р} = 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А.} \quad (51)$$

«Проверяется чувствительность максимальной токовой защиты (уставки теплового расцепителя)» [1]:

$$K_v = \frac{I_{K2}^{(2)}}{I_{c.n.p}} \geq 2, \quad (52)$$

$$K_v = \frac{8114}{1250} = 6,5.$$

«Автоматические выключатели проверяются по динамической стойкости» [1]:

$$i_{дин.} > i_{уд.}, \text{ А,} \quad (53)$$

$$25 \text{ кА} > 13,76 \text{ кА.}$$

«Результаты выбора автоматов ввода для остальных ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения микрорайона» [19] приведены в таблице 18.

Таблица 18 – «Результаты выбора автоматов ввода ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения микрорайона» [19] «Старый город» г. Орска

№ ТП	$S_{ТП}$, кВА.	I_p , А	$I_{ном. расц}$, А	Марка выключателя
ТП 1	93,71	135,26	250	ВА51-35
ТП 2	94,04	135,74	250	ВА51-35
ТП 3	384,15	554,49	630	ВА51-39
ТП 4	230,60	332,85	400	ВА51-39
ТП 5	26,03	37,57	40	ВА57-35
ТП 6	81,66	117,87	250	ВА51-35
ТП 7	359,55	518,98	630	ВА51-39
ТП 8	467,93	675,42	1000	ВА53-41
ТП 9	461,34	665,91	1000	ВА53-41
ТП 10	66,12	95,44	100	ВА57-35

Далее выбираются вводные предохранители «распределительной сети потребителей 0,4 кВ (для защиты и коммутации ВРУ-0,4 кВ объектов микрорайона). Их» [19] выбор проводится по тем же условиям, что и ранее выбранных предохранителей для установки в сети 10 кВ.

«Результаты выбора вводных предохранителей» [19] представлены в таблице 19.

Таблица 19 – «Результаты выбора вводных предохранителей распределительной сети потребителей 0,4 кВ» [4]

Питающая ТП-10/0,4 кВ	Номер фидера	Ток линии	Тип предохранителя	$I_{номПР}$, А	I_B , А
ТП 1	1	135,26	ПН2-250	250	150
ТП 2	1	81,19	ПН2-100	100	100
	2	46,11	ПН2-100	100	60
ТП 3	1	97,61	ПН2-100	100	100
	2	215,36	ПН2-250	250	250
ТП 4	1	236,28	ПН2-250	250	250
	2	74,39	ПН2-100	100	80
ТП 5	1	33,81	ПН2-100	100	40
ТП 6	1	112,29	ПН2-250	250	150
ТП7	1	66,13	ПН2-100	100	80
	2	225,8	ПН2-250	250	250
ТП8	1	243,0	ПН2-250	250	250
	2	235,83	ПН2-250	250	250
ТП9	1	63,22	ПН2-100	100	80
	2	232,9	ПН2-250	250	250
	3	60,87	ПН2-100	100	80
ТП10	1	40,58	ПН2-100	100	60
	2	47,34	ПН2-100	100	60

Выбранные аппараты показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

В результате проведения расчёта определено, что на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска приняты новые изолированные проводники марки СИП 2А различных сечений. Также установлено, что на всех участках питающей сети 10 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска целесообразно применение проводников марки СИП 3 (1×50). Выбраны и проверены электрические аппараты сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ для применения на объекте исследования.

6 Выбор релейной защиты и системы коммерческого учёта электроэнергии

6.1 Выбор устройств и расчёт релейной защиты

«Выбор релейной защиты в системе электроснабжения микрорайона является ключевым аспектом проектирования, направленным на обеспечение надёжности и безопасности работы электрической сети.

В работе для решения поставленной задачи предлагается выбрать микропроцессорные блоки РЗА марки SEPAM 1000» [5], представленные на рисунке 5.



Рисунок 5 – Блок РЗА марки SEPAM 1000

В системе электроснабжения микрорайона «Старый город» города Орска применение микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики марки SEPAM 1000 представляет собой технически обоснованное решение.

SEPAМ 1000 характеризуется высокой точностью и быстродействием, что обеспечивает своевременное обнаружение и отключение аварийных режимов, таких как короткие замыкания, перегрузки и асимметрии токов.

Интеграция данных блоков в систему электроснабжения способствует снижению рисков повреждения оборудования и уменьшению времени простоя потребителей, что особенно важно для микрорайонов с развитой инфраструктурой, каковым является микрорайон «Старый город».

Микропроцессорные блоки SEPAМ 1000 «поддерживают широкий спектр функций защиты, включая дистанционную защиту, дифференциальную защиту и защиту от замыканий на землю» [5].

Возможность настройки и адаптации параметров защиты под конкретные условия эксплуатации позволяет оптимизировать работу энергосистемы и обеспечить селективность отключений.

Дополнительным преимуществом является возможность интеграции SEPAМ 1000 в системы автоматизированного управления и диспетчеризации.

Поддержка протоколов обмена данными и возможность удалённого мониторинга позволяют оперативно реагировать на изменения в сети, проводить анализ событий и оптимизировать режимы работы.

С точки зрения экономической эффективности, внедрение микропроцессорных блоков SEPAМ 1000 позволяет снизить эксплуатационные затраты за счёт уменьшения числа аварий и повышения долговечности оборудования.

Автоматизация процессов диагностики и обслуживания сокращает трудозатраты и повышает и качество электроснабжения.

Учитывая историческую ценность и особенности инфраструктуры микрорайона, важно минимизировать вмешательство в существующие объекты и обеспечить эстетическую сохранность окружающей среды.

Компактность и модульность микропроцессорных блоков SEPAМ 1000 позволяют осуществлять модернизацию с минимальными физическими

изменениями, что является значимым фактором при работе в исторических районах.

Технологическое развитие энергосистем требует внедрения современных решений, обеспечивающих гибкость и адаптивность к будущим изменениям. SEPAM 1000 предоставляет возможность расширения функциональности и обновления программного обеспечения без существенных затрат и перерывов в работе.

С учётом всех перечисленных факторов, применение микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики марки SEPAM 1000 в системе электроснабжения микрорайона «Старый город» города Орска является обоснованным и перспективным решением.

Интеграция данных устройств способствует повышению надёжности, безопасности и эффективности энергосистемы, что отвечает интересам как энергоснабжающей организации, так и потребителей электроэнергии в данном микрорайоне.

Далее проводится расчёт уставок и проверка основных защит.

«Токовая отсечка отстраивается от максимального тока КЗ» [12]:

$$I_{TO} = K_H \cdot I_{K3\max}^{(3)}, A, \quad (54)$$

где « K_H – коэффициент надёжности» [3].

«Ток срабатывания защиты» [12]:

$$I_{TO} = 1,2 \cdot 12,5 = 15 \text{ кА}.$$

«Для МТЗ» [12]:

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot K_{зан.}}{K_{возв}} \cdot I_{раб.}, A, \quad (55)$$

где « K_H – коэффициент надёжности защиты,

$K_{зан}$ – коэффициент запаса,

$K_{возв}$ – коэффициент возврата,

$I_{раб}$ – максимальный рабочий ток» [12].

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,9} \cdot 62,77 = 209,23 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности защиты» [12]:

$$K_q = \frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{сз}}, \quad (56)$$

$$K_q = \frac{2140}{209,23} = 10,2.$$

«Для сетей с изолированной нейтралью вместо расчёта однофазного тока КЗ принято рассчитывать ток замыкания на землю (ЗНЗ).

Производится расчёт тока ЗНЗ по следующей формуле» [12]:

$$I_{ЗНЗ} = \frac{U_{ном} \cdot l_{\Sigma}}{10}, \text{ A}, \quad (57)$$

где « $U_{ном}$ - номинальное напряжение сети;

l_{Σ} - суммарная длина СИП 10 кВ» [12].

$$I_{ЗНЗ} = \frac{10 \cdot 2,84}{10} = 2,84 \text{ A.}$$

«Ток ЗНЗ равен 2,84 А.

Следовательно, данное значение принимается в качестве уставки защиты от однофазных коротких замыканий на землю» [12].

6.2 Выбор системы коммерческого учёта электроэнергии

«Для применения в системе электроснабжения микрорайона предлагается использовать АСКУЭ на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки «МЕРКУРИЙ 230 ART» [2], показанный на рисунке 6.



Рисунок 6 – Программируемый электронный счётчик «МЕРКУРИЙ 230 ART»

Применение данной технологии обусловлено несколькими ключевыми факторами, которые значительно повышают эффективность и надёжность энергосистемы, а также способствуют оптимизации процессов учёта и управления энергопотреблением.

Во-первых, внедрение АСКУЭ на базе счётчиков «МЕРКУРИЙ 230 ART» позволяет существенно повысить точность и оперативность сбора данных об энергопотреблении.

Высокоточные измерительные характеристики счётчиков обеспечивают минимальные погрешности в учёте электроэнергии, что

особенно важно в условиях сложной структуры потребления, характерной для исторических районов с разнообразным набором потребителей, включая жилые дома, коммерческие объекты и учреждения культуры.

Во-вторых, программируемые возможности счётчиков «МЕРКУРИЙ 230 ART» позволяют гибко настраивать тарифные планы и системы дифференцированного учёта. Возможность автоматического перехода между тарифами в зависимости от времени суток и других факторов позволяет оптимизировать нагрузку на энергосистему и снижать пиковые нагрузки, что повышает общую устойчивость и надёжность электроснабжения микрорайона.

Третьим значимым аспектом является интеграция АСКУЭ в общую систему управления энергосистемой. Использование современных коммуникационных протоколов и возможностей удалённого доступа обеспечивает оперативный контроль и управление параметрами энергоснабжения, а также своевременное обнаружение и устранение аварийных ситуаций.

Кроме того, применение счётчиков «МЕРКУРИЙ 230 ART» способствует повышению прозрачности и эффективности коммерческого учёта электроэнергии. Автоматизация процессов сбора и передачи данных минимизирует человеческий фактор и сокращает вероятность ошибок и злоупотреблений.

Важным преимуществом является также возможность интеграции АСКУЭ с другими информационными системами города, что открывает перспективы для развития «умной» городской инфраструктуры.

Технические характеристики счётчиков «МЕРКУРИЙ 230 ART» обеспечивают высокую надёжность и долговечность эксплуатации. Устойчивость к внешним воздействиям, широкий диапазон рабочих температур и защита от несанкционированного доступа делают их оптимальным выбором для использования в условиях российского климата и специфики эксплуатации в исторических районах города Орска.

С учётом всех перечисленных факторов, внедрение АСКУЭ на основе счётчиков «МЕРКУРИЙ 230 ART» в системе электроснабжения микрорайона «Старый город» города Орска является технически и экономически обоснованным решением.

Таким образом, применение современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки «МЕРКУРИЙ 230 ART» в составе АСКУЭ отвечает стратегическим целям повышения энергоэффективности, надёжности и устойчивого развития энергосистемы микрорайона «Старый город» города Орска.

Выводы по разделу.

Выбраны микропроцессорные блоки РЗиА SEPAM 1000 и рассчитаны уставки основных РЗ:

- двухступенчатая токовая защита: токовая отсечка $I_{ТО} = 15 \text{ кА}$, без времени срабатывания (мгновенного действия), максимальная токовая защита $I_{МТЗ} = 209,23 \text{ А}$ (время срабатывания – 1 с):
- тока срабатывания для защиты от однофазных КЗ на землю:
 $I_{ЗНЗ} = 2,84 \text{ А}$.

Обосновано применение АСКУЭ со счётчиками «МЕРКУРИЙ 230 ART».

7 Расчёт контура заземления ТП-10/0,4 кВ микрорайона

«Известно, что заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4» [6] кВ в микрорайоне «Старый город» города Орска играет ключевую роль в системе электроснабжения, выполняя функции обеспечения безопасности и «надежности эксплуатации оборудования, а также защиты обслуживающего персонала» [6].

Проектирование системы заземления основывается на анализе параметров почвы, уровня коррозионной активности окружающей среды, электрических характеристик оборудования, а также на соблюдении требований нормативных документов и стандартов.

Важно, чтобы система заземления была сконструирована таким образом, чтобы сопротивление заземляющего устройства оставалось минимальным.

Такой подход позволяет эффективно отводить токи короткого замыкания в землю и предотвращать возникновение опасных напряжений на оборудовании.

Безопасность как оборудования, так и персонала обусловлена необходимостью наличия эффективного заземления. В случае короткого замыкания или пробоя изоляции система заземления должна обеспечивать надежный отвод тока в землю, минимизируя риск электротравм и повреждения оборудования. Дополнительно заземление снижает вероятность возникновения пожаров, вызванных электрическими разрядами, и поддерживает стабильное функционирование систем релейной защиты и автоматики.

Надежная работа питающих подстанций напрямую связана с качественным заземлением, которое обеспечивает устойчивую работу электрического оборудования в аварийных режимах. В условиях жилого микрорайона, надежность заземления приобретает особую значимость,

гарантируя общую безопасность и эффективность функционирования энергосистемы.

Таким образом, заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ в микрорайоне «Старый город» города Орска представляет собой неотъемлемую часть системы электроснабжения, выполняя задачи по защите оборудования и персонала и обеспечивая устойчивую и безопасную работу всей энергетической инфраструктуры.

«Удельное сопротивление грунта» [10]:

$$\rho_p = k_c \cdot k_l \cdot \rho_{изм}, \quad (58)$$

где « k_c, k_l – соответственно, коэффициент сезонности и коэффициент влажности грунта;

$\rho_{изм}$ – удельное сопротивление грунта, Ом·м» [10].

«Сопротивление одного круглого стержня, погруженного вертикально в землю, определяется по формуле» [10]:

$$R_{\sigma} = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot \left(\ln \frac{2L}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (59)$$

где « L – длина электрода, м;

d – диаметр электрода, м;

t – заглубление заземлителя (расстояние от поверхности земли до середины заземлителя), м» [10].

«Расчетное сопротивление растеканию горизонтального электрода» [10]:

$$R_{\rho} = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot \ln \frac{L_{\rho}^2}{0,5 \cdot b \cdot t}, \quad (60)$$

где « L_2 – длина всего электрода, м;

b_2 – ширина электрода, м;

t_2 – глубина залегания электрода, м» [10].

«Сопротивление группового заземлителя» [10]:

$$R_{зр} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_2}{R_{\text{в}} \cdot \eta_2 + n \cdot R_2 \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (61)$$

где « n – количество вертикальных электродов;

$\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикального электрода;

η_2 – коэффициент использования горизонтального электрода» [10].

«Проводится расчёт контура заземления ТП микрорайона» [10]:

$$\rho_p = 1,6 \cdot 1 \cdot 150 = 240 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$R_{\text{в}} = \frac{240}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,032} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 3}{4 \cdot 1,8 - 3} \right) = 31,44 \text{ Ом},$$

$$\rho_p = 1,6 \cdot 1 \cdot 50 = 80 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$R_2 = \frac{80}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \ln \frac{50^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 3,05 \text{ Ом},$$

$$R_{зр} = \frac{31,44 \cdot 3,05}{31,44 \cdot 0,69 + 3,05 \cdot 8 \cdot 0,79} = 2,34 \text{ Ом}.$$

«Расчетное сопротивление спроектированного контура соответствует требованиям» [8].

Выводы по разделу.

Установлено, что рациональный контур заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ в микрорайоне «Старый город» города Орска должен состоять из восьми вертикальных электродов.

Заключение

В работе разработан проект реконструкции системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска.

В результате проведения анализа исходных данных по микрорайону было установлено следующее:

- показано, что вся существующая нагрузка микрорайона получает питание от восьми однострансформаторных ТП-10/0,4 кВ без применения необходимого резервирования;
- установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ и к потребителям на напряжении 0,38/0,22 кВ, используются устаревшие и изношенные провода марки А марок А-35, А-50, А-70 и А-95, которые полностью отработали свой технический ресурс. Указанный аспект также приводит к многочисленным авариям, влияя на надёжность и безопасность электроснабжения потребителей;
- показано, что на всех ТП-10/0,4 кВ установлено устаревшее и ненадёжное оборудование, благодаря чему значительно уменьшилась коммутационно-защитная характеристика системы электроснабжения микрорайона.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к системам электроснабжения жилых объектов, предложен комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения микрорайона «Старый город» г. Орска:

- так как новая (перспективная нагрузка) состоит из потребителей преимущественно 2 категории надёжности и требует резервирования, её предложено запитать от двух новых однострансформаторных подстанций ТП9 и ТП10, обеспечив в схеме на стороне 0,38/0,22 кВ необходимые и достаточные условия резервирования путём установки между данными ТП-10/0,4 кВ

- резервной перемычки с секционным автоматом (в нормальном режиме будет отключён);
- так как в существующей схеме электроснабжения микрорайона также преобладают потребители 2 категории надёжности, предлагается резервную перемычку применить на стороне 0,4 кВ всех питающих ТП1-ТП8;
 - с учётом того, что проводники сетей 10 кВ и 0,38/0,22 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки А, находящихся в неудовлетворительном состоянии, а также не обеспечивающих необходимые условия электробезопасности и поэтому запрещённых для прокладки в населённых пунктах, предлагается заменить на современные изолированные проводники марки СИП. Применение кабельных линий для данной цели не рекомендуется, так как при их прокладке в траншеях можно повредить ценные постройки исторического микрорайона города;
 - предлагается провести проверку и последующую модернизацию оборудования питающих ТП-10/0,4 кВ микрорайона.

Для применения в системе наружного освещения микрорайона, обосновано применение светильников марки LCL.24PM/36P.

В результате выбора и проверки трансформаторов подстанций микрорайона с учётом резервирования перемычками от соседних ТП-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ установлено, что на ТП1, ТП2, ТП5, ТП6 и ТП7, мощности ранее установленных трансформаторов остались без изменения.

На ТП3, ТП4 и ТП8 мощность трансформаторов увеличилась.

На ТП9 и ТП10 были выбраны новые трансформаторы (новые подстанции).

Рассчитаны токи трёхфазного КЗ и ударные токи.

Также определён ток однофазного КЗ в начальный момент времени у наиболее удаленного потребителя ТП9.

В результате проведения расчёта определено, что на всех линиях участка электрической сети 0,38/0,22 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска приняты новые изолированные проводники марки СИП 2А различных сечений.

Также установлено, что на всех участках питающей сети 10 кВ микрорайона «Старый город» г. Орска целесообразно применение проводников марки СИП 3 (1×50).

Выбраны и проверены электрические аппараты сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ для применения на объекте исследования.

Выбраны микропроцессорные блоки РЗиА SEPAM 1000 и рассчитаны уставки основных РЗ:

- двухступенчатая токовая защита: токовая отсечка $I_{ТО} = 15 \text{ кА}$, без времени срабатывания (мгновенного действия), максимальная токовая защита $I_{МТЗ} = 209,23 \text{ А}$ (время срабатывания – 1 с):
- тока срабатывания для защиты от однофазных КЗ на землю:
 $I_{ЗНЗ} = 2,84 \text{ А}$.

Установлено, что рациональный контур заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ в микрорайоне «Старый город» города Орска должен состоять из восьми вертикальных электродов.

Такой контур заземление обеспечит полную безопасность персонала и оборудования.

Таким образом, основываясь на полученных результатах, подтверждено, что предложенный проект реконструкции микрорайона характеризуется высокими показателями надёжности, экономичности, бесперебойности питания потребителей, безопасности, а также селективности и чувствительности защиты.

Список используемой литературы

1. Выключатели автоматические ВА [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 24.08.2024).
2. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
4. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
5. Микропроцессорное устройство релейной защиты SEPAM 1000 [Электронный ресурс]: URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiCw5vq9JCIAXVNRvEDHZMeIGkQFnoECBkQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.schneider-spb.ru%2Fsepa-1000.html&usg=AOvVaw0wc3PkJbhYQoP_M5RdaLYZ&opi=89978449 (дата обращения: 24.08.2024).
6. Микрорайон «Старый город» г. Орска [Электронный ресурс]: URL: <http://history.opck.org/obekty/rajony-i-raznye-chasti-goroda/1534-staryj-gorod.html> (дата обращения: 24.08.2024).
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

11. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 24.08.2024).

12. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

13. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

14. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

15. СИП-2. [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-2/> (дата обращения: 24.08.2024).

16. СИП-3. [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-3/> (дата обращения: 24.08.2024).

17. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 24.08.2024).

18. Трансформаторы ТМ. [Электронный ресурс]: URL: <https://transform74.ru/tr/transformatory-tm/> (дата обращения: 24.08.2024).

19. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.