

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 электрической сети Темкинского района Смоленской области

Обучающийся

А.В. Попов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Аннотация

В ходе работы выполнена реконструкция схемы электрических соединений, проведённая в комплексе с модернизацией электрических сетей и оборудования системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области. Такая реконструкция была необходима из-за увеличения нагрузки потребителей. В рамках модернизации также были учтены вопросы безопасности: произведена замена устаревших проводов марки АС на безопасные изолированные проводники марки СИП в электрических сетях напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ района. Проведена замена устаревшего оборудования всех уровней и классов напряжения в системе электроснабжения района. В связи с увеличением нагрузки потребителей, выбраны новые мощности трансформаторов на распределительных подстанциях 10/0,4 кВ.

Рассчитаны токи короткого замыкания, а также выполнен выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников. Проведена модернизация устройств защиты, автоматики и системы коммерческого учёта электроэнергии.

Особое внимание уделено разработке мероприятий по охране труда при работе в электрической сети района. Также были рассчитаны параметры заземления и молниезащиты районной подстанции 110/10 кВ.

В результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации сетей и оборудования, значительно улучшена надёжность подачи электроэнергии, что способствует повышению эффективности работы системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

Работа содержит 76 страниц. Для визуализации материала использовано 10 рисунков и 11 таблиц.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика объекта реконструкции	8
1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	8
1.2 Основные требования к районным электрическим сетям	15
1.3 Обоснование проведения реконструкции системы электроснабжения района	19
2 Реализация мероприятий по реконструкции системы электроснабжения района	23
2.1 Расчет электрических нагрузок района	23
2.2 Проверка силовых трансформаторов районной понизительной подстанции 110/10 кВ	29
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ района.....	33
2.4 Выбор электрических проводников	38
2.5 Расчет токов короткого замыкания	43
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов	51
2.7 Выбор и проверка устройств релейной защиты и системы контроля и учёта электроэнергии.....	57
3 Безопасность и экологичность проекта реконструкции района.....	63
3.1 Анализ и разработка мероприятий по безопасности и экологичности проекта реконструкции района.....	63
3.2 Расчёт контура заземления подстанции районной сети.....	66
Заключение	70
Список используемых источников.....	75

Введение

Реконструкция и модернизация электрических сетей районов в Российской Федерации представляет собой актуальную задачу в условиях растущего энергопотребления и износа значительной части энергетической инфраструктуры.

Известно, что большинство районных электрических сетей на постсоветском пространстве было построено несколько десятилетий назад и не соответствует современным требованиям надёжности, безопасности и энергоэффективности.

С течением времени увеличивается нагрузка на электрические районные сети, что требует комплексного обновления оборудования с целью предотвращения перегрузок и возможных аварий, повышения надёжности, безопасности и эффективности передачи электроэнергии и снижения уровня её потерь.

Реконструкция электрических районных сетей также предусматривает повышение типоминалов силовых трансформаторов питающей и распределительной сетей, а также применение новых схемных решений для улучшения экономических и технических показателей.

Перспективы модернизации электрических сетей связаны с внедрением новых технологий, включая цифровизацию и автоматизацию процессов управления.

Внедрение прогрессивных разработок позволит повысить оперативность и точность мониторинга работы систем, а также ускорить процесс устранения аварийных ситуаций.

Кроме того, установка современных релейных защит, интеллектуальных систем контроля и учёта электроэнергии, а также современных систем управления энергетическими потоками в районных электрических сетях, обеспечит более эффективное распределение энергии и улучшит её качество.

Поддержка со стороны государства играет ключевую роль в реализации этих проектов. Федеральные программы, направленные на развитие энергетической инфраструктуры, предусматривают финансирование реконструкции и модернизации сетей, особенно в удалённых и малонаселённых районах.

Такие мероприятия способствуют улучшению условий для промышленного и социального развития, а также повышению энергоэффективности и надёжности энергоснабжения на региональном уровне.

Таким образом, реконструкция и модернизация районных электрических сетей является важнейшим фактором долгосрочной устойчивости и экономического роста в России [20].

Основной целью работы является реконструкция схемы электрических соединений, проведённая в комплексе с модернизацией электрических сетей и оборудования системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

Установлено, что данная реконструкция необходима из-за увеличения нагрузки потребителей района.

В связи с увеличением нагрузки потребителей, предполагается провести реконструкцию схемы объекта путём изменения мощностей силовых трансформаторов (в сторону их увеличения) на распределительных подстанциях 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ) района. Также планируется провести проверку правильности схемы электрических соединений питающей и распределительной электрической сети района. Это – первая основная задача работы.

Вторая основная задача работы состоит в проведении модернизации оборудования. В рамках данной задачи планируется провести замену устаревших проводов марки АС на безопасные изолированные проводники марки СИП в электрических сетях напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ района, а также выполнить модернизацию устаревшего силового оборудования и

оборудования вторичных цепей (релейной защиты, автоматики и системы измерения) всех уровней и классов напряжения системы электроснабжения района.

Третья основная задача заключается в разработке рациональных мероприятий по безопасности и экологичности предложенного проекта.

Таким образом, для рационального решения трёх приведённых основных задач, в работе планируется провести следующие основные мероприятия:

- провести анализ исходных данных, рассмотреть основные климатические, топографические, экономические и технические данные на выполнение работы;
- на основе проведённого анализа исходных данных, выделить основные проблемы и недостатки, имеющие место в электрических сетях и оборудования системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области;
- составить алгоритм мероприятий, позволяющих устранить выявленные проблемы и недостатки, выявленные в электрических сетях и оборудования системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области;
- провести расчёт электрических нагрузок отдельных потребителей, а также максимальные нагрузки всех ТП-10/0,4 кВ и питающей районной трансформаторной подстанции 110/10 кВ (далее – РТП-110/10 кВ) объекта реконструкции;
- с учётом увеличения нагрузки потребителей района, проверить на её соответствие мощности силовых трансформаторов питающей РТП-110/10 кВ, а также распределительных ТП-10/0,4 кВ;
- рассчитать токи короткого замыкания на выводах 110 кВ и 10 кВ питающей РТП-110/10 кВ, а также в сети 0,4 кВ;
- с учётом необходимости модернизации, выбрать проводники питающей и распределительной сетей напряжением 110 кВ, 10 кВ и

0,4 кВ системы электроснабжения района;

- с учётом необходимости модернизации, провести выбор и соответствующие проверки силового оборудования питающей и распределительной сетей напряжением 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения района;
- провести модернизацию устройств релейной защиты, автоматики и системы коммерческого учёта электроэнергии;
- в рамках решения последней основной задачи, предлагается разработать и описать рациональные мероприятия по охране труда при работе в электрической сети района, а также рассчитать параметры заземления распределительных ТП-10/0,4 кВ.

Следовательно, в результате внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений, а также модернизации сетей и оборудования, ожидается улучшение надёжности передачи электроэнергии, а также показателей безопасности и экономичности, что способствует повышению эффективности работы системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

Все приведённые основные мероприятия подлежат обоснованию и проверке в рамках данной работы.

1 Исходная характеристика объекта реконструкции

1.1 Анализ исходных данных на выполнение работы

«Темкинский район Смоленской области представляет собой административно-территориальную единицу, расположенную в центральной части России.

Площадь данного района составляет около 1325 км². Численность населения района на 2024 год составляет 4146 человек» [17].

Административным центром Темкинского района является село Темкино.

Карта Темкинского района Смоленской области представлена на рисунке 1.

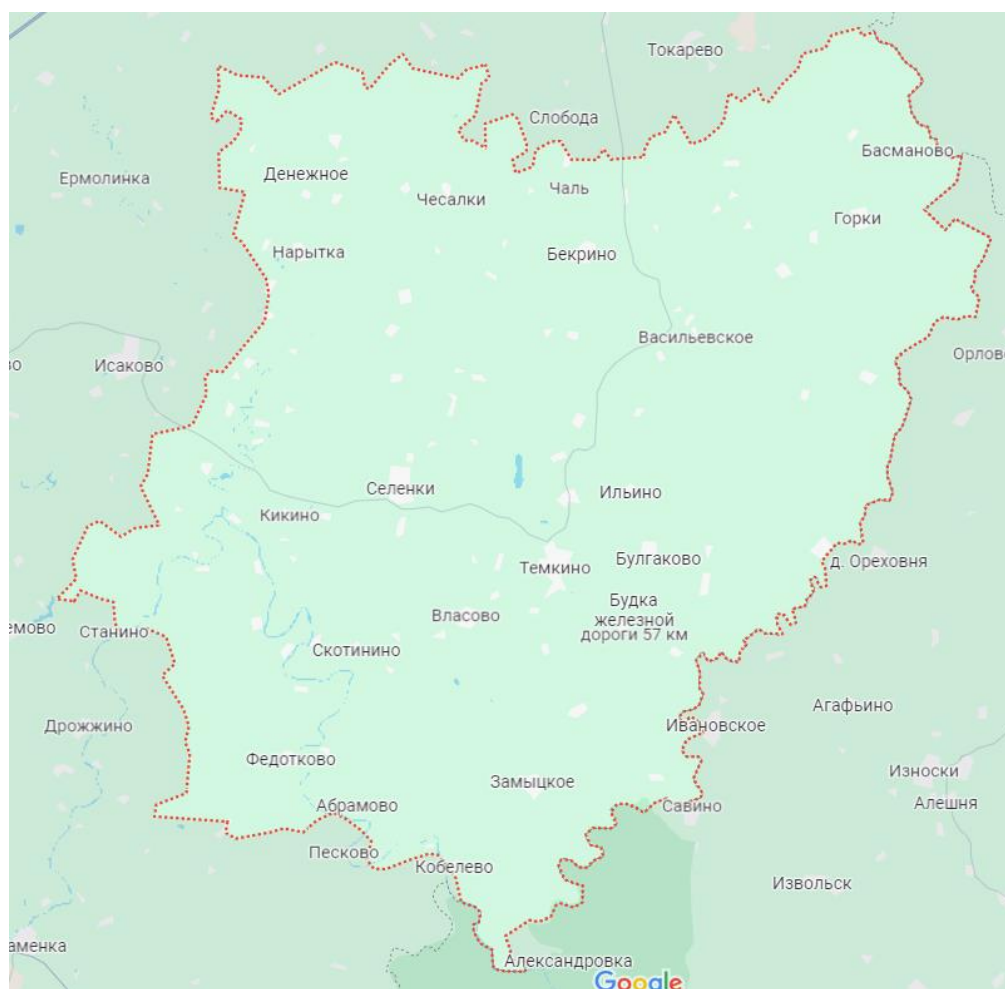


Рисунок 1 – Карта Темкинского района Смоленской области

Темкинский район обладает преимущественно сельскохозяйственной направленностью и характеризуется умеренно-континентальным климатом с выраженными сезонными колебаниями температуры и осадков.

Экономика района в значительной мере опирается на сельское хозяйство, лесозаготовку и переработку сельскохозяйственной продукции, что обуславливает потребность в устойчивом и надёжном энергоснабжении.

«Климатические условия Темкинского района Смоленской области характеризуются умеренно-континентальным климатом с выраженной сезонностью. Средняя годовая температура воздуха составляет около $+4,5^{\circ}\text{C}$, с холодной зимой и тёплым летом. В зимние месяцы средняя температура обычно варьируется от минус 8°C до минус 10°C , а в летние достигает 18°C – 20°C » [17].

Район подвержен значительным сезонным осадкам, особенно в летний период. Грозовая активность характерна для весенне-летнего сезона, с пиковыми значениями в июне и июле. Грозы могут сопровождаться сильными ветрами, что требует особого внимания при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

Ветровая активность в районе умеренная, средняя скорость ветра составляет около 4-6 м/с, с повышенной вероятностью усиления в осенне-зимний период.

Гололёдообразование наблюдается преимущественно в зимние месяцы, когда температура воздуха колеблется около 0°C , что приводит к образованию наледи на проводах и других инфраструктурных объектах. Данный фактор является важным при проектировании систем электроснабжения, так как требуется учитывать дополнительную нагрузку на воздушные линии.

Система электроснабжения района играет ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности как сельскохозяйственных предприятий, так и социально-бытовой инфраструктуры. В последние годы возрастает

необходимость модернизации энергетической инфраструктуры в связи с увеличением нагрузки на электрические сети и износом оборудования.

Реконструкция сетей и внедрение современных технологий электроснабжения способствует повышению энергоэффективности и снижению потерь при передаче электроэнергии.

Темкинский район также важен с точки зрения социально-экономического развития региона.

Улучшение инфраструктуры, включая модернизацию энергетической системы, способствует созданию условий для привлечения инвестиций, повышения уровня жизни населения и устойчивого развития местной экономики.

Электроснабжение потребителей Темкинского района Смоленской области осуществляется через трансформаторные подстанции напряжением 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ).

Все подстанции 10/0,4 кВ района получают питание от двух фидеров 10 кВ районной трансформаторной подстанции 110/10 кВ «Темкино» шестью линиями электропередачи напряжением 10 кВ. Присоединение всех ТП-10/0,4 кВ осуществляется к данным линиям 10 кВ отпайками.

Установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям 10/0,4 кВ в питающей сети на стороне 10 кВ используются провода марки АС, которые были установлены ещё в 1960-1970-х годах. На сегодняшний день их состояние значительно ухудшилось, что вызывает частые аварии на линиях 10 кВ в районе, затрудняя обеспечение надёжного, безопасного и бесперебойного электроснабжения.

Аналогичная проблема выявлена в распределительных сетях напряжением 10 кВ Темкинского района Смоленской области. Данные сети также выполнены устаревшими проводниками марки АС, которые полностью исчерпали свой технический ресурс. Данный факт приводит к множественным авариям, снижая надёжность и безопасность электроснабжения потребителей.

На РТП-110/10 кВ «Темкино» установлены два силовые трансформаторы марки ТМН-4000/110 паспортной мощностью 4000 кВА каждый. Таким образом, максимально возможная номинальная нагрузка района составляет 8000 кВА.

Питающая РТП-110/10 кВ района была построена и введена в эксплуатацию в 1978 году. В её состав, помимо двух силовых трансформаторов, входят основные элементы, такие как распределительное устройство 110 кВ (РУ-110 кВ), которое принимает электроэнергию от энергосистемы и распределяет её на трансформаторы. Для РУ-110 кВ используется схема «4Н» с неавтоматической перемычкой со стороны линий, что соответствует требованиям тупиковой подстанции, какой и является рассматриваемая РТП-110/10 кВ [2]. Транзит мощности на стороне 110 кВ не предусмотрен, а конструкция РУ-110 кВ выполнена в виде открытого распределительного устройства. В состав РУ-110 кВ входят такие элементы, как масляные баковые выключатели марки МКП-110-31,5/2000 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока, разъединители, ограничители перенапряжения и трансформаторы напряжения.

Распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ) питающей РТП-110/10 кВ служит для распределения электроэнергии на потребителей района с напряжением 10 кВ. В нём используется схема «Одинокная система сборных шин, секционированная выключателем» [2], которая является надёжной и экономичной, что делает её одной из самых распространённых на стороне 10 кВ. В РУ-10 кВ установлены масляные выключатели горшкового типа, трансформаторы тока и напряжения, а также ограничители перенапряжения.

Установлено, что большинство выключателей 110 кВ и 10 кВ масляного типа, установленных в 70-х годах 20 века, исчерпали свой технический ресурс и требуют замены на современные разработки. Оборудование РУ-110 кВ и РУ-10 кВ также устарело, за исключением ограничителей перенапряжения, которые были введены в эксплуатацию в 2012 году. Также система релейной защиты и автоматики на РТП-110/10 кВ

района также устарела, что привело к увеличению частоты отказов и аварий. Данный факт является недопустимым и подлежит устранению.

Система контроля и учёта электроэнергии, основанная на устаревших электромагнитных и индукционных счётчиках, также требует модернизации.

Следовательно, решение вопросов по замене оборудования, модернизации РЗА и обновлению системы учёта электроэнергии необходимо решить в рамках дальнейшей работы.

На территории Темкинского района Смоленской области размещены различные объекты жилой и коммунальной инфраструктуры, а также объекты сельскохозяйственного назначения (элеваторы, складские помещения для хранения зерна, погрузочно-разгрузочные пункты, ремонтные базы техники) и животноводства (фермы крупного рогатого скота, подворья, птицефермы). Среди потребителей Темкинского района Смоленской области преобладают приёмники 2 и 3 категорий по надёжности электроснабжения. Их питание осуществляется от сети подстанций 10/0,4 кВ, большинство из которых – однострансформаторные. Также есть двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ предназначены для питания потребителей преимущественно 2 категории надёжности. При этом оба силовых трансформатора, установленные на двухтрансформаторных подстанциях, получают питание от одной магистральной линии 10 кВ.

Кроме того, на данных подстанциях 10/0,4 кВ 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 района. Данный вопрос также требуется решить в работе.

Вся сеть, состоящая из 65 ТП-10/0,4 кВ района, получает питание шестью магистральными линиями 10 кВ от РТП-110/10 кВ.

Исходные технические данные максимальных существующих ($P_{сущ.}$, кВт) и перспективных ($P_{пер.}$, кВт) нагрузок потребителей ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области приведены в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные максимальных существующих и перспективных нагрузок потребителей ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	$P_{суц.}$, кВт	$P_{пер.}$, кВт)	Количество и мощность трансформаторов на ТП
ВЛ-1, 10 кВ				
1	Заненки	110	190	160
2	Темкино	240	240	2×160
3	Овсянкино	120	150	160
4	Шубкино	120	141	160
5	Федюково	95	118	100
6	Селенки	120	156	160
7	Колчужино	75	123	100
8	Засецкое	120	162	160
9	Мотовилово	75	90	100
10	Кикино	130	180	160
11	Острожки	48	62	63
12	Сахарово	90	100	100
13	Ларенки	80	110	100
Всего по ВЛ-1, 10 кВ		1423	1822	-
ВЛ-2, 10 кВ				
14	Власово	140	186	160
15	Гриднево	80	132	100
16	Васильево	80	121	100
17	Медведево	80	101	100
18	Семеновское	45	64	63
19	Лытьево	85	123	100
20	Скотинено	130	160	160
21	Куренки	130	142	160
22	Болошково	85	118	100
23	Ивашутино	201	201	250
24	Барановка	80	87	100
25	Прудки	85	101	100
26	Федотково	120	136	160
Всего по ВЛ-2, 10 кВ		1341	1672	-
ВЛ-3, 10 кВ				
27	Шашурки	90	128	100
28	Замыцкое	85	114	100
29	Вязищи	130	186	160
30	Кобелево	207	207	250
31	Лука	120	216	160
32	Козы	120	156	160
33	Борисенки	120	173	160
34	Абрамово	205	205	2×160
35	Песьково	135	184	160
Всего по ВЛ-3, 10 кВ		1212	1569	-

Продолжение таблицы 1

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	$P_{сущ.}$, кВт	$P_{пер.}$, кВт)	Количество и мощность трансформаторов на ТП
ВЛ 4, 10 кВ				
36	Булгаково	135	180	160
37	Алфёрово	140	205	160
38	Павловка	180	206	250
39	Шубнево	80	105	100
40	Ильино	85	123	100
41	Бурково	135	165	160
42	Коноплянка	135	141	160
43	Штановка	120	182	160
44	Савенки, Муравьёвка	224	224	2×160
45	Теплихово	140	181	160
Всего по ВЛ-4, 10 кВ		1374	1712	-
ВЛ, 5 10 кВ				
46	Кодюково	125	164	160
47	Петронки	201	201	250
48	Безмено	208	208	250
49	Силинки	140	201	160
50	Станино	135	205	160
51	Тишаково	123	187	160
52	Фатейково	206	206	250
53	Холмино	182	182	2×160
54	Скуторево	85	134	100
55	Горки	135	180	160
56	Холм	133	173	160
Всего по ВЛ-5, 10 кВ		1673	2041	-
ВЛ 6, 10 кВ				
57	Жаркое	207	207	250
58	Табаево	82	120	100
59	Неретино	51	75	63
60	Ключ	81	81	100
61	Чигасово	44	96	63
62	Пехлец	90	100	100
63	Фролово	87	111	100
64	Лужки	124	176	160
65	Демьяново	131	131	160
Всего по ВЛ-6, 10 кВ		897	1097	-
Всего по Темкинскому району		7920	9913	-

Таким образом, в результате проведения анализа исходных данных, было установлено, что фактическая нагрузка потребителей 65 ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области увеличилась с 7920 кВт до 9913 кВт (на 1993 кВт).

1.2 Основные требования к районным электрическим сетям

Основные требования к районным электрическим сетям направлены на обеспечение надёжности, безопасности и устойчивости их работы в условиях возрастающих нагрузок и модернизации электроэнергетической инфраструктуры.

Важнейшим аспектом является обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей, что требует высокой надёжности сетей и минимизации рисков аварийных ситуаций. Для этого районные электрические сети должны быть спроектированы с учётом резервирования и возможности оперативного восстановления после отказов [10].

Кроме того, районные электрические сети должны соответствовать высоким требованиям электробезопасности, что включает использование современного оборудования защиты и автоматизации, способного своевременно обнаруживать и устранять неисправности [8].

Важную роль играет соответствие оборудования и проводников текущим стандартам энергоэффективности, что способствует снижению потерь при передаче энергии и повышению общего КПД системы.

Электрические районные сети также должны обеспечивать устойчивую работу в различных климатических условиях, устойчивость к внешним воздействиям, таким как ветровые нагрузки, обледенение и грозовые явления.

Выполнение данного требования предусматривает наличие регулярного технического обслуживания и мониторинга состояния оборудования, а также применения современных технологий, таких как изолированные проводники на линиях, новейшее коммутационное оборудование и автоматизированные системы контроля и управления [9].

«Основное требование к районным электрическим сетям заключается в обеспечении надёжного и непрерывного электроснабжения потребителей, особенно в условиях современных возросших нагрузок и возрастающих

требований к качеству электроэнергии. Для достижения этой цели необходимо использование высококачественного оборудования, рациональное и надёжное резервирование источников питания и внедрение автоматических систем переключения на случай аварийных ситуаций. Эффективная работа системы должна гарантировать минимальные перерывы в подаче электроэнергии, которые соответствуют установленным нормативным требованиям» [3].

«Известно, что надёжность электрических сетей достигается за счёт тщательного выбора схемы электрической сети, которая должна предусматривать резервирование и возможность автоматического ввода резерва (АВР) в случае сбоя» [4]. Данный аспект позволяет снизить время простоя при аварийных ситуациях и быстро восстанавливать электроснабжение. Важную роль играют не только схемы, но и надёжность компонентов системы, таких как трансформаторы, кабели, защитные устройства и коммутационное оборудование. Применение современных и проверенных решений позволяет увеличить срок службы системы и снизить частоту аварий.

«Одним из наиболее эффективных способов повышения надёжности на стадии проектирования является правильный выбор схемы электрической сети.

Существуют различные варианты: радиальные, магистральные и смешанные схемы» [7]. Радиальные схемы, хотя и просты в эксплуатации, менее надёжны, так как любая неисправность на линии может привести к отключению потребителей.

Магистральные и смешанные схемы, напротив, позволяют обеспечить большую гибкость и возможность перераспределения нагрузки, что минимизирует риск отключений.

Пример радиальной схемы питания районной электрической сети от районной трансформаторной подстанции (главной понизительной подстанции) представлен на рисунке 2.

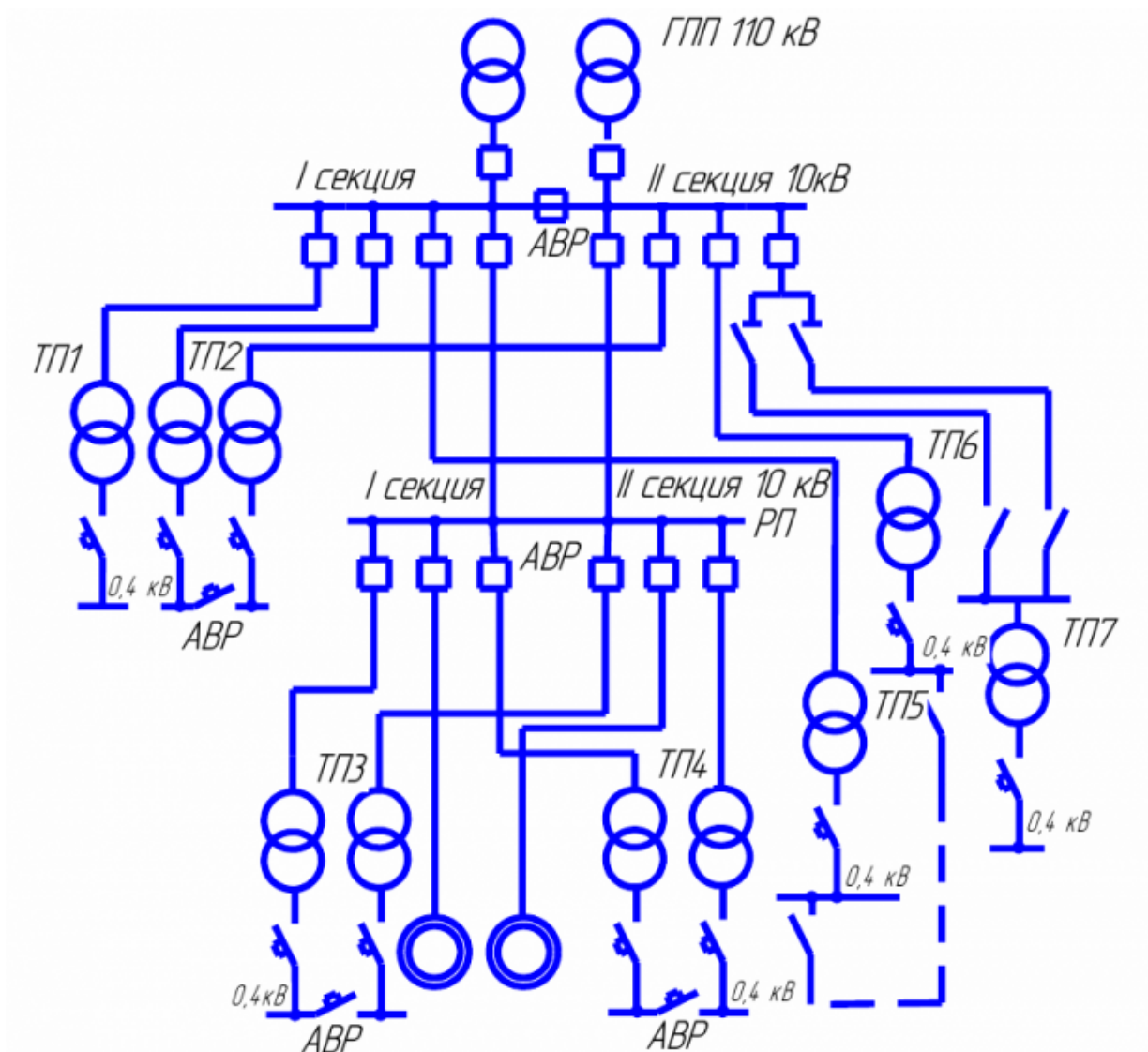


Рисунок 2 – Пример радиальной схемы питания районной электрической сети от районной трансформаторной подстанции (главной понизительной подстанции)

Магистральные схемы районных электрических сетей бывают без резервирования и с резервированием. Первые применяются для питания потребителей 3 категории надёжности, вторые – для питания потребителей 2 категории надёжности. Также применяются магистрали с односторонним и двухсторонним питанием.

Пример магистральных схем с односторонним питанием районной электрической сети представлен на рисунке 3.

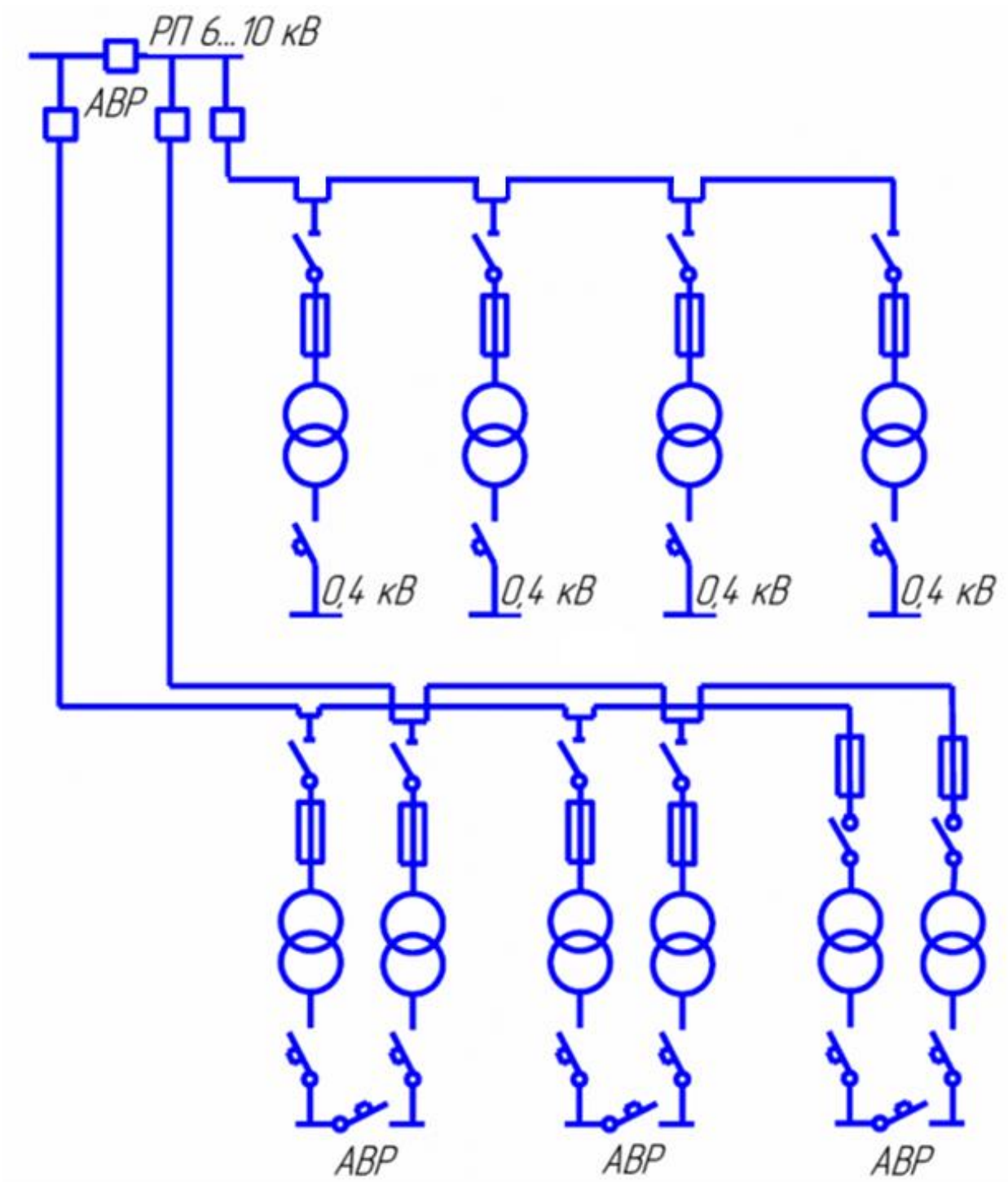


Рисунок 3 – Пример магистральных схем с односторонним питанием районной электрической сети

Пример магистральной схемы с двухсторонним питанием районной электрической сети представлен на рисунке 4.

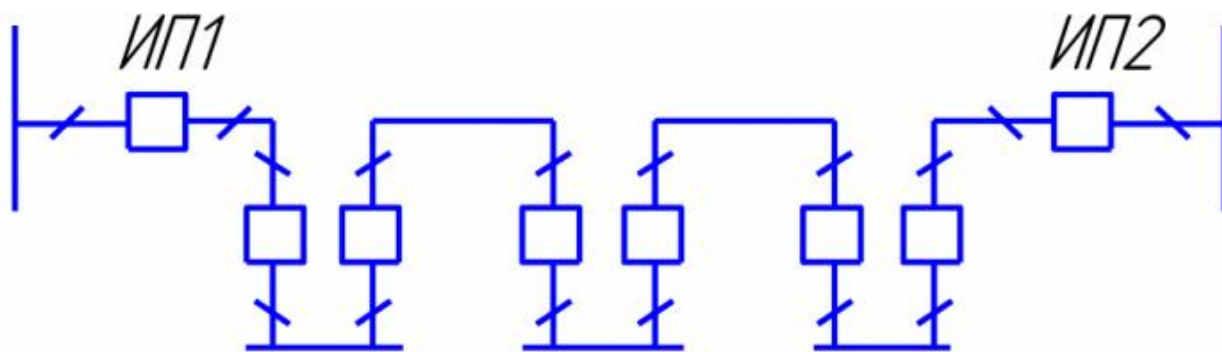


Рисунок 4 – Пример магистральной схемы с двухсторонним питанием районной электрической сети

Таким образом, обеспечение надёжности и непрерывности работы районных электрических сетей требует комплексного подхода на всех стадиях: от проектирования и выбора схемы до внедрения современных технологий и регулярного технического обслуживания.

1.3 Обоснование проведения реконструкции системы электроснабжения района

В результате проведения анализа исходных данных по объекту было установлено, что к существующей нагрузке Темкинского района Смоленской области относится 65 ТП-10/0,4 кВ, которые питают потребителей 2 и 3 категорий надёжности.

Установлено, что в последнее время нагрузка большинства ТП-10/0,4 кВ увеличилась, что приводит к увеличению аварийных перегрузок силовых трансформаторов на данных подстанциях. В связи с этим необходимо провести расчёты фактических электрических нагрузок ТП-10/0,4 кВ, в результате чего выбрать новые номинальные мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ. Также, в связи с увеличением нагрузки, планируется пересмотр сечения проводников в сторону их увеличения. Кроме того, необходимо проверить на допустимую загрузку силовые трансформаторы питающей РТП-110/10 кВ «Темкино». Установлено, что данные изменения обуславливают актуальность реконструкции сети района.

Также необходимо провести параллельную модернизацию оборудования и сетей. В результате проведения анализа состояния проводников было установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ в питающей сети 10 кВ используются провода марки АС, установленные еще в 1950-1960-е годы. На текущий момент их состояние значительно ухудшилось, что приводит к частым авариям на линиях 10 кВ в районе, усложняя обеспечение надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения.

Установлено также, что в и распределительной сети напряжением 10 кВ Темкинского района Смоленской области существует аналогичная проблема. Все данные сети выполнены устаревшими проводниками марок АС, 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 района.

Учитывая выявленные проблемы и проведённый аналитический обзор требований к районным электрическим сетям, предлагается комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

В связи с тем, что мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ не соответствуют увеличившейся нагрузке, в рамках реконструкции сети предлагается заменить их на трансформаторы большего типонаминала, которые будут выбраны в дальнейших расчётах.

Также планируется увеличение сечения проводников сети 10 кВ для обеспечения надёжного питания подстанций и проверка трансформаторов питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» на устойчивость к аварийной перегрузке.

С учётом того, что проводники питающей и распределительной сетей 10 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки АС, которые находятся в неудовлетворительном состоянии и не соответствуют современным нормам электробезопасности, предлагается их замена на современные изолированные проводники марки СИП-3 с частичной модернизацией линий электропередачи при сохранении существующих опор воздушных линий.

Также необходима проверка и модернизация устаревших коммутационно-защитных аппаратов в распределительных устройствах 10 кВ и 0,4 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ, а также в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на РТП-110/10 кВ «Темкино».

Предлагается модернизировать систему релейной защиты и автоматики, а также устройства контроля и учёта электроэнергии в электрической сети района.

Предложенный комплекс мероприятий рекомендуется принять в качестве основы для дальнейшей работы и подтвердить его эффективность расчётным путём.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных данных на выполнение работы.

Описаны климатические, топографические, экономические и технические характеристики объекта реконструкции.

Выявлены проблемы в районной электрической сети, которые планируется решить в работе.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к районным электрическим сетям, предлагается следующий комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области:

- определено, что оба силовых трансформатора четырех двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ получают питание от одной линии 6 кВ, что не соответствует условиям резервирования. В связи

- с этим, вторые трансформаторы данных подстанций предлагается перепитать от соседних линий 6 кВ, которые получают питание от другой секции сборных шин 10 кВ РТП-110/10 кВ;
- так как мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ не соответствуют увеличившейся фактической нагрузке, в рамках реконструкции районной электрической сети предлагается заменить их на большие типонаминалы, которые необходимо выбрать в работе далее. Также предлагается увеличить сечение проводников сети 10 кВ для питания данных подстанций и проверить на аварийную перезагрузку трансформаторы питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»;
 - с учётом того, что проводники питающей и распределительной сетей 10 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки АС, 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-3, проведя таким образом, частичную модернизацию линий электропередачи (с сохранением опор воздушных линий);
 - предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ района, а также в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ;
 - предлагается провести модернизацию системы релейной защиты и автоматики, а также устройств контроля и учёта электроэнергии в электрической сети района.

Предложенный комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области рекомендуется принять в качестве основы и подтвердить его эффективность расчётами в дальнейшей части работы.

2 Реализация мероприятий по реконструкции системы электроснабжения района

2.1 Расчет электрических нагрузок района

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области представляет собой ключевой этап реконструкции и модернизации системы, направленный на обеспечение надёжности и эффективности работы сети.

Процесс расчёта включает определение потребностей в электроэнергии для каждого объекта потребления, начиная от бытовых и социальных объектов до промышленных предприятий.

Основными параметрами, влияющими на результаты расчёта, являются установленная максимальная нагрузка, значение пиковых нагрузок, а также режимы потребления электроэнергии. Для точного расчёта электрической нагрузки используются нормативные данные, включая коэффициенты одновременности и спроса, что позволяет учесть не только активные, но и реактивные мощности. Важным фактором является расчёт максимальных нагрузок для распределительных сетей и подстанций, которые должны быть способны выдерживать максимальные перегрузки в послеаварийном режиме.

Как было указано ранее, для питания Темкинского района используются трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, для которых проводится выбор трансформаторов с учётом реальных (фактических) нагрузок.

При этом было установлено, что в связи с вводом в эксплуатацию многочисленных потребителей сельскохозяйственного и животноводческого назначения, фактические нагрузки ТП-10/0,4 кВ увеличились. Следовательно, с учётом данного факта, необходимо провести расчёт нагрузок и выбрать оптимальные мощности силовых трансформаторов на подстанциях 10/0,4 кВ, а также на питающей РТП-110/10 кВ.

При этом на двухтрансформаторных подстанциях района резервирование мощности трансформаторов и применение систем автоматического переключения на резервные источники позволяет повысить надёжность системы. Поэтому расчёт электрических нагрузок является важной и необходимой составляющей, позволяющий заложить базу для выбора надёжных, безопасных и экономически обоснованных решений в системе электроснабжения района.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области позволяет обеспечить устойчивую и безопасную работу сети, адаптируя её к текущим и перспективным потребностям района.

«Активная силовая нагрузка потребителей района, кВт» [14]:

$$P_{p.n} = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где « P_n – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [14].

«Реактивная силовая нагрузка потребителей района, квар» [14]:

$$Q_{p.n} = P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ квар}. \quad (2)$$

«Полная силовая нагрузка потребителей района, кВА» [14]:

$$S_{p.n} = \sqrt{P_{p.n}^2 + Q_{p.n}^2}. \quad (3)$$

При этом расчётный ток нормального режима нагрузки потребителей района, А:

$$I_{p.n} = \frac{S_{p.n}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (4)$$

где $S_{p.n}$ – «полная силовая нагрузка потребителей района, кВА» [16];

$U_{ном.}$ – «номинальное напряжение присоединения, кВ» [16].

В работе расчётный ток силовой нагрузки потребителей района определяется на стороне 10 кВ.

Уточнённое значение расчётного тока для выбора силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, а также проверки мощности трансформаторов питающей РТП-110/10 кВ, с выбором соответствующих решений по проводникам и электрическим аппаратам, будет определено в работе далее.

«Расчёт электрических силовых нагрузок для потребителей ТП-1 по условиям (1) – (4)» [14]:

$$P_{p.n} = 1 \cdot 190 = 190 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.n} = 0,75 \cdot 190 = 142,5 \text{ квар},$$

$$S_{p.n} = \sqrt{190^2 + 142,5^2} = 237,5 \text{ кВА},$$

$$I_{p.n} = \frac{237,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 13,7 \text{ кВА}.$$

Групповые нагрузки шести воздушных линий питающей сети 10 кВ, а также питающей РТП-110/10 кВ «Темкино», определяется с учётом значений коэффициента одновременности максимума нагрузок.

Соответственно, максимальные групповые расчётные нагрузки (соответственно, активная, реактивная и полная) питающих ВЛ-10 кВ и питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» (нагрузка всего района) [5]:

$$P_{\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n P_p, \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n Q_p, \quad (6)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (7)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок (принимается для питающих ВЛ-10 кВ - $K_o = 0,85$, для шин РТП-110/10 кВ «Темкино» - $K_o = 0,7$).

При этом значение расчётного тока групповых нагрузок питающих ВЛ-10 кВ и РТП-110/10 кВ (нагрузка всего района) вычисляется по известной формуле [5]:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (8)$$

где U_n – номинальное напряжение, на которой определяется расчётное значение тока, кВ.

Расчётное значение тока для всех групповых присоединений в работе при расчёте электрических нагрузок определяется на стороне 10 кВ.

Все расчёты электрических нагрузок района проведены по значениям перспективной нагрузки района, данные о которой приведены в работе в таблице 1.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Полученные результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	$P_{p.n.}$, кВт	$Q_{p.n.}$, квар	$S_{p.n.}$, кВА	$I_{p.n.}$, А (на стороне 10 кВ)
ВЛ-1, 10 кВ					
1	Заненки	190,0	142,5	237,5	13,7
2	Темкино	240,0	180,0	300,0	17,3
3	Овсянкино	150,0	112,5	187,5	10,3
4	Шубкино	141,0	105,8	176,3	9,7
5	Федюково	118,0	88,5	147,5	8,1
6	Селенки	156,0	117,0	195,0	10,7
7	Колчужино	123,0	92,3	153,8	8,5
8	Засецкое	162,0	121,5	202,5	11,1
9	Мотовилово	90,0	67,5	112,5	6,2
10	Кикино	180,0	135,0	225,0	12,4
11	Острожки	62,0	46,5	77,5	4,3
12	Сахарово	100,0	75,0	125,0	6,9
13	Ларенки	110,0	82,5	137,5	7,6
Всего по ВЛ-1, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		1548,7	1161,5	1935,9	111,9
ВЛ-2, 10 кВ					
14	Власово	186,0	139,5	232,5	12,8
15	Гриднево	132,0	99,0	165,0	9,1
16	Васильево	121,0	90,8	151,3	8,3
17	Медведево	101,0	75,8	126,3	6,9
18	Семеновское	64,0	48,0	80,0	4,4
19	Лытьево	123,0	92,3	153,8	8,5
20	Скотинено	160,0	120,0	200,0	11,0
21	Куренки	142,0	106,5	177,5	9,8
22	Болошково	118,0	88,5	147,5	8,1
23	Ивашутино	201,0	150,8	251,3	13,8
24	Барановка	87,0	65,3	108,8	6,0
25	Прудки	101,0	75,75	126,25	6,94
26	Федотково	136,0	102,00	170,00	9,35
Всего по ВЛ-2, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		1421,2	1065,9	1776,5	97,7
ВЛ-3, 10 кВ					
27	Шашурки	128,0	96,0	160,0	8,8
28	Замыцкое	114,0	85,5	142,5	7,8
29	Вязищи	186,0	139,5	232,5	12,8
30	Кобелево	207,0	155,3	258,8	14,2
31	Лука	216,0	162,0	270,0	14,8
32	Козы	156,0	117,0	195,0	10,7
33	Борисенки	173,0	129,8	216,3	11,9
34	Абрамово	205,0	153,8	256,3	14,1
35	Песьково	184,0	138,0	230,0	12,6
Всего по ВЛ-3, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		1333,7	1000,3	1667,1	91,7
ВЛ 4, 10 кВ					
36	Булгаково	180,0	135,0	225,0	12,4
37	Алфёрово	205,0	153,8	256,3	14,1

Продолжение таблицы 2

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	$P_{р.н.}$, кВт	$Q_{р.н.}$, квар	$S_{р.н.}$, кВА	$I_{р.н.}$, А (на стороне 10 кВ)
38	Павловка	206,0	154,5	257,5	14,2
39	Шубнево	105,0	78,8	131,3	7,2
40	Ильино	123,0	92,3	153,8	8,5
41	Бурково	165,0	123,8	206,3	11,3
42	Коноплянка	141,0	105,8	176,3	9,7
43	Штановка	182,0	136,5	227,5	12,5
44	Савенки, Муравьевка	224,0	168,0	280,0	15,4
45	Теплихово	181,0	135,8	226,3	12,4
Всего по ВЛ-4, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		1455,2	1091,4	1819,0	100,0
ВЛ, 5 10 кВ					
46	Кодюково	164,0	123,0	205,0	11,3
47	Петронки	201,0	150,8	251,3	13,8
48	Безмено	208,0	156,0	260,0	14,3
49	Силинки	201,0	150,8	251,3	13,8
50	Станино	205,0	153,8	256,3	14,1
51	Тишаково	187,0	140,3	233,8	12,9
52	Фатейково	206,0	154,5	257,5	14,2
53	Холмино	182,0	136,5	227,5	12,5
54	Скуторево	134,0	100,5	167,5	9,2
55	Горки	180,0	135,0	225,0	12,4
56	Холм	173,0	129,8	216,3	11,9
Всего по ВЛ-5, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		1734,9	1301,2	2168,6	119,2
ВЛ 6, 10 кВ					
57	Жаркое	207,0	155,3	258,8	14,2
58	Табаево	120,0	90,0	150,0	8,2
59	Неретино	75,0	56,3	93,8	5,2
60	Ключ	81,0	60,8	101,3	5,6
61	Чигасово	96,0	72,0	120,0	6,6
62	Пехлец	100,0	75,0	125,0	6,9
63	Фролово	111,0	83,3	138,8	7,6
64	Лужки	176,0	132,0	220,0	12,1
65	Демьяново	131,0	98,3	163,8	9,0
Всего по ВЛ-6, 10 кВ (с учётом $K_o = 0,85$)		932,5	699,4	1165,6	64,1
Всего по Темкинскому району (нагрузка РТП-110/10 кВ с учётом $K_o = 0,7$)		5898,3	4423,7	7372,9	426,2

Таким образом, в результате проведения расчёта, на данном этапе получены значения расчётных активных, реактивных и полных нагрузок ТП-10/0,4 кВ, питающих ВЛ-10 кВ и всей питающей РТП-110/10 кВ Темкинского района Смоленской области.

Полученные результаты применяются в работе далее при выборе сетей и оборудования системы электроснабжения района.

2.2 Проверка силовых трансформаторов районной понизительной подстанции 110/10 кВ

Проверка силовых трансформаторов на питающей РТП-110/10 кВ Темкинского района проводится для оценки их способности питать возросшие нагрузки, возникшими вследствие увеличения электропотребления в районной сети. Необходимость проведения такой проверки обусловлена результатами расчётов электрических нагрузок, которые показали рост нагрузок потребностей, что, в свою очередь, требует пересмотра технических возможностей трансформаторов РТП-110/10 кВ.

Первоначально на питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» были установлены два трансформатора марки ТМН-4000/110, предназначенные для понижения напряжения с 110 кВ до 10 кВ. Их проверка на соответствие новым эксплуатационным условиям остаётся важным шагом для обеспечения надёжности электроснабжения.

Проверка трансформаторов помогает подтвердить эффективность реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования. Трансформаторы играют ключевую роль в распределении и преобразовании электроэнергии, и их способность выдерживать расчётные нагрузки имеет критическое значение для надёжной работы системы.

Неверная оценка нагрузочной способности может привести к серьёзным последствиям, таким как преждевременные поломки, снижение надёжности сети и увеличение затрат на обслуживание. Комплексный подход к проверке трансформаторов позволяет выявить возможные несоответствия между расчётными и реальными условиями эксплуатации, что даёт возможность своевременно принять меры для предотвращения сбоев.

Таким образом, проверка трансформаторов на соответствие новой увеличившейся нагрузке обеспечивает надёжность и устойчивость системы электроснабжения всего района.

«Проверка рациональной мощности трансформаторов на питающей РТП-110/10 кВ проводится с учётом максимальных нагрузок подстанции и увеличенной нагрузки потребителей по следующему неравенству» [3]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.знп}}{N \cdot K_3}, \quad (9)$$

где « $S_{м.знп}$ – максимальное значение полной нагрузки РТП-110/10 кВ;

N – число трансформаторов на РТП-110/10 кВ, шт.;

K_3 – нормативный коэффициент загрузки трансформаторов РТП-110/10 кВ (с учётом состояния трансформаторов, принимается стандартное значение $K_3 = 0,7$)» [3].

Для условий питающей РТП-110/10 кВ, с учётом суммарной полной нагрузки, рассчитанной в работе ранее:

$$S_{ном.т} \geq \frac{7372,9}{2 \cdot 0,7} = 5244,9 \text{ кВА.}$$

Таким образом, для увеличившейся нагрузки района, на РТП-110/10 кВ нужно выбрать трансформатор ближайшей номинальной мощности, которая превышает расчётную мощность, равную 5244,9 кВА.

Этому условию не удовлетворяют два силовых трансформатора марки ТМН-4000/110, которые были установлены на РТП-110/10 кВ до проведения реконструкции, их проверка по номинальной мощности не выполняется:

$$4000 \text{ кВА} \leq 5244,9 \text{ кВА.}$$

Следовательно, данные трансформаторы РТП-110/10 кВ района должны быть заменены на трансформаторы большего типонаминала.

Исходя из этого, для установки на питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» принимаются два силовые трансформатора марки ТМН-6300/110 [7]. Для данных трансформаторов повторная проверка по номинальной мощности выполняется:

$$6300 \text{ кВА} \geq 5244,9 \text{ кВА}.$$

Оба силовых трансформатора марки ТМН-6300/110 проходят предварительную проверку, что связано с важностью обеспечения их надёжной и безопасной работы при возросших нагрузках. Выбор рациональной мощности трансформаторов критически важен с точки зрения безопасности, так как эксплуатация в условиях перегрузки может привести к перегреву, что создаёт риск серьёзных повреждений оборудования и выхода его из строя. Перегрев не только снижает надёжность энергоснабжения, но и представляет опасность для персонала, обслуживающего подстанцию. Перегрузка может стать причиной аварий, таких как пожары или повреждения электрической инфраструктуры.

«Проверка перегрузочной способности трансформаторов включает детальный анализ всех возможных сценариев нагрузки для обеспечения стабильной работы подстанции. В этом процессе ключевую роль играет оценка эффективности системы охлаждения трансформаторов. При повышенных нагрузках именно система охлаждения становится важнейшим фактором, предотвращающим перегрев и повреждение оборудования» [1].

Дополнительное внимание уделяется проверке системы охлаждения как в нормальных условиях эксплуатации, так и в послеаварийных режимах работы. Данный факт позволяет не только подтвердить соответствие трансформаторов расчётным нагрузкам, но и обеспечить долгосрочную безопасную эксплуатацию, минимизируя риски аварий. Таким образом, надёжная система охлаждения и грамотный расчёт перегрузочной

способности играют центральную роль в защите оборудования и персонала, а также в поддержании стабильного электроснабжения района.

Кроме того, в ходе проверки особое внимание уделяется работе системы охлаждения при аварийных режимах, чтобы гарантировать способность трансформаторов выдерживать экстренные ситуации. Такой комплексный подход минимизирует риски перегрева и других аварий, что обеспечивает безопасность работы подстанции и стабильное энергоснабжение. С учётом вышеизложенных факторов, а также системы охлаждения трансформаторов, осуществляется проверка перегрузочной способности их системы охлаждения в нормальном и послеаварийном режимах работы РТП-110/10 кВ района [1]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{м.РТП}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (10)$$

$$K_{з.н} = \frac{S_{м.РТП}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (11)$$

«Проверки силовых трансформаторов марки ТМН-6300/110 на допустимую перегрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы выполняются» [1]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 7372,9}{6300} = 0,59 \leq 0,7.$$

$$K_{з.н} = \frac{7372,9}{6300} = 1,17 \leq 1,4.$$

Таким образом, новые силовые трансформаторы марки ТМН-6300/110 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что подтверждает их пригодность для установки на реконструируемой РТП-110/10 кВ района вследствие увеличения нагрузок потребителей.

2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ района

Проводится выбор числа, мощности трансформаторов и количества подстанций 10/0,4 кВ для применения в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

Ранее в работе было установлено, что распределительная электрическая сеть района, состоящая из 65 ТП-10/0,4 кВ, получает питание шестью магистральными линиями 10 кВ от РТП-110/10 кВ.

В результате проведения анализа исходных данных, было установлено, что фактическая нагрузка потребителей 65 ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области увеличилась с 7920 кВт до 9913 кВт (на 1993 кВт).

В связи с тем, что мощности большинства силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ не соответствуют увеличившейся нагрузке, в рамках реконструкции сети предлагается заменить их на трансформаторы большего типонаминала, которые будут выбраны в дальнейших расчётах.

«Мощность силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ района определяется с учётом её загрузки активной мощностью» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (12)$$

где « $\sum P_{\text{р.}}$ – суммарная активная нагрузка потребителей, получающих питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт;

N – количество трансформаторов ТП-10/0,4 кВ района, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент активной загрузки трансформаторов» [18].

Проводится проверка правильности выбора силовых трансформаторов для установки на ТП-1 (10/0,4 кВ) района.

Первоначально на ТП-1 (10/0,4 кВ) района был установлен один силовой трансформатор мощностью 160 кВА марки ТМ-160/10 [18].

Однако «номинальная мощность трансформатора не превышает расчётную мощность нагрузки данной подстанции» [15]:

$$S_{\text{ном.т}} = 160 \text{ кВА} \leq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{190}{1 \cdot 0,9} = 211,1 \text{ кВА}.$$

Исходя из полученных результатов расчёта, для применения на ТП-1 (10/0,4 кВ) района, следует установить один силовой трансформатор номинальной мощности 250 кВА марки ТМ-250/10.

Для нового силового трансформатора условия проверки выполняются:

$$S_{\text{ном.т}} = 250 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{190}{1 \cdot 0,9} = 211,1 \text{ кВА}.$$

Далее проводится проверка на перегрузочную способность трансформатора ТМ-250/10.

Известно, что при работе трансформатор испытывает значительные электрические и тепловые нагрузки, что может привести к повреждению обмоток. Регулярное проведение таких проверок позволяет обеспечить надёжную и безопасную работу системы электроснабжения района, а также минимизировать риски аварий и продлить срок службы оборудования.

«Проверка загрузки трансформатора в нормальном режиме:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq K_{3.н}, \quad (13)$$

где $K_{3.н}$ – нормируемый (рекомендуемый) коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в нормальном режиме (для однострансформаторных ТП-10/0,4 кВ принимается $K_3 = 0,9-0,95$, для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ - $K_3 = 0,8-0,85$)» [1].

Условия проверки загрузки нового трансформатора марки ТМ-250/10 в нормальном режиме для одностранформарной ТП-1 района выполняются [1]:

$$K_3^H = \frac{237,5}{250} \approx 0,95 = K_{3.H} = 0,95.$$

«Проверка в максимальном режиме:

$$K_3^{H.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq K_{3.M}, \quad (14)$$

где $K_{3.M}$ – нормируемый (рекомендуемый) коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в максимальном (послеаварийном) режиме (для одностранформаторных ТП без резервирования проверка не проводится, для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ принимается $K_3 = 1,6$)» [1].

Проверка в максимальном (послеаварийном) режиме работы выполняется только для двухтрансформаторных подстанций.

Для ТП1 она не выполняется, так как данная подстанция содержит один силовой трансформатор.

Таким образом, на ТП-10/0,4 кВ принимается один силовой трансформатор марки ТМ-250/10, мощность которого не совпадает с ранее установленным силовым трансформатором на данной подстанции.

На других ТП-10/0,4 кВ выбор и проверки трансформаторов проведены аналогично.

Результаты выбора и проверки силовых трансформаторов распределительных ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области, обусловленные увеличением нагрузки потребителей, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора и проверки силовых трансформаторов распределительных ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области, обусловленные увеличением нагрузки потребителей

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	Количество и мощность трансформаторов на ТП до реконструкции	$P_{р.н.}$, кВт	$S_{р.н.}$, кВА	Количество и мощность трансформаторов на ТП после реконструкции
1	Заненки	160	190,0	237,5	250
2	Темкино	2×160	240,0	300,0	2×160
3	Овсянкино	160	150,0	187,5	250
4	Шубкино	160	141,0	176,3	250
5	Федюково	100	118,0	147,5	160
6	Селенки	160	156,0	195,0	250
7	Колчужино	100	123,0	153,8	160
8	Засецкое	160	162,0	202,5	250
9	Мотовилово	100	90,0	112,5	160
10	Кикино	160	180,0	225,0	250
11	Острожки	63	62,0	77,5	100
12	Сахарово	100	100,0	125,0	160
13	Ларенки	100	110,0	137,5	160
14	Власово	160	186,0	232,5	250
15	Гриднево	100	132,0	165,0	250
16	Васильево	100	121,0	151,3	160
17	Медведево	100	101,0	126,3	160
18	Семеновское	63	64,0	80,0	100
19	Лытьево	100	123,0	153,8	160
20	Скотинено	160	160,0	200,0	250
21	Куренки	160	142,0	177,5	250
22	Болошково	100	118,0	147,5	160
23	Ивашутино	250	201,0	251,3	400
24	Барановка	100	87,0	108,8	160
25	Прудки	100	101,0	126,25	160
26	Федотково	160	136,0	170,00	250
27	Шашурки	100	128,0	160,0	250
28	Замыцкое	100	114,0	142,5	160
29	Вязищи	160	186,0	232,5	250
30	Кобелево	250	207,0	258,8	400
31	Лука	160	216,0	270,0	400
32	Козы	160	156,0	195,0	250
33	Борисенки	160	173,0	216,3	250
34	Абрамово	2×160	205,0	256,3	2×160
35	Песьково	160	184,0	230,0	250
36	Булгаково	160	180,0	225,0	250
37	Алфёрово	160	205,0	256,3	400
38	Павловка	250	206,0	257,5	400
39	Шубнево	100	105,0	131,3	160
40	Ильино	100	123,0	153,8	160
41	Бурково	160	165,0	206,3	250

Продолжение таблицы 3

Номер ТП по схеме	Наименование населенного пункта района	Количество и мощность трансформаторов на ТП до реконструкции	$P_{р.н.}$, кВт	$S_{р.н.}$, кВА	Количество и мощность трансформаторов на ТП после реконструкции
42	Коноплянка	160	141,0	176,3	250
43	Штановка	160	182,0	227,5	250
44	Савенки, Муравьёвка	2×160	224,0	280,0	2×160
45	Теплихово	160	181,0	226,3	250
46	Кодюково	160	164,0	205,0	250
47	Петронки	250	201,0	251,3	400
48	Безмено	250	208,0	260,0	400
49	Силинки	160	201,0	251,3	400
50	Станино	160	205,0	256,3	400
51	Тишаково	160	187,0	233,8	250
52	Фатейково	250	206,0	257,5	400
53	Холмино	2×160	182,0	227,5	2×160
54	Скуторево	100	134,0	167,5	250
55	Горки	160	180,0	225,0	250
56	Холм	160	173,0	216,3	250
57	Жаркое	250	207,0	258,8	400
58	Табаево	100	120,0	150,0	160
59	Неретино	63	75,0	93,8	100
60	Ключ	100	81,0	101,3	160
61	Чигасово	63	96,0	120,0	160
62	Пехлец	100	100,0	125,0	160
63	Фролово	100	111,0	138,8	160
64	Лужки	160	176,0	220,0	250
65	Демьяново	160	131,0	163,8	250

Таким образом, полученные результаты выбора и проверки силовых трансформаторов распределительных ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области, обусловленные увеличением нагрузки потребителей района, подтверждают необходимость замены большинства силовых трансформаторов, установленных на данных подстанциях. Установлено, что из 65 распределительных трансформаторных подстанций района не требуется замена трансформаторов только на следующих недавно сооружённых и введённых в эксплуатацию двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ (ТМ-160/10): ТП №2, 34, 44 и 53, питающие, соответственно, населённые пункты Темкино, Абрамово, Савенки, Муравьёвка, а также Холмино.

2.4 Выбор электрических проводников

Ранее в работе было установлено, что для передачи электроэнергии к трансформаторным подстанциям на стороне 10 кВ в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области используются устаревшие провода марки АС. Данные проводники полностью выработали свой технический ресурс, что приводит к частым аварийным ситуациям и негативно сказалось на надёжности, экономичности и безопасности электроснабжения.

С учётом этого, предлагается провести замену старых проводов АС на современные изолированные проводники марки СИП. Такая замена позволит существенно повысить надёжность работы сети, снизить аварийность и улучшить электробезопасность для потребителей.

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

- для питающих линий 10 кВ (основные магистрали) – изолированные самонесущие проводники марки СИП-3 [15];
- для распределительных линий 10 кВ (отпайки к ТП-10/0,4 кВ от основных магистралей) – изолированные самонесущие проводники марки СИП-3 [15].

Кроме того, в работе проводится проверка сечения воздушной линии напряжением 110 кВ на питающей РТП-110/10 кВ «Темкино». Установлено, что провод марки АС-120/19, использующийся для питания данной подстанции, находится в нормальном техническом состоянии и не требует замены.

«По экономической плотности тока» [13]:

$$F_{э} = \frac{I_{р.}}{j_{э}}, \quad (15)$$

где $j_{э}$ – экономическая плотность тока, А/мм² (для неизолированных

проводников воздушной линии 110 кВ принимается значение $j_9=1,1$ А/мм², для воздушных линий 10 кВ марки СИП-3 принимается значение $j_9=1,6$ А/мм²» [13].

«Проверка сечения проводника в нормальном режиме» [13]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (16)$$

где « $I_{доп}$ – допустимое справочное значение тока проводника, А» [13].

«Проверка проводника в послеаварийном (максимальном) режиме работы» [13]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (17)$$

где « $I_{p.max}$ – максимальный ток, А» [13].

«Проводник должен быть проверен по механической прочности, а также условиям коронирующего разряда (только для ВЛ-110 кВ)» [13]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (18)$$

«Проводится выбор и проверка сечения провода питающей ВЛ-110 кВ РТП-110/10 кВ района. Ранее было установлено, что на данной ВЛ используемый на данной линии – марки АС-120/19» [5].

«Расчётный ток нормального режима для всех линий рассчитывается по известной формуле с учётом суммарной полной нагрузки и номинального напряжения» [13]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (19)$$

«Для питающей ВЛ-110 кВ района» [6]:

$$I_p = \frac{7372,9}{\sqrt{3} \cdot 110} = 38,7 \text{ A.}$$

«Значение аварийного тока линий» [13]:

$$I_{p.ав} = 1,4 \cdot I_p, \quad (20)$$

«Для питающей ВЛ-110 кВ района» [13]:

$$I_{p.ав} = 1,4 \cdot 38,7 = 54,2 \text{ A.}$$

«Сечение проводника для питающей ВЛ-110 кВ района» [13]:

$$F_{\text{э}} = \frac{38,7}{1,1} \approx 35,2 \text{ мм}^2.$$

«Для питающей ВЛ-110 кВ используется стандартное сечение провода марки АС-120/19 сечением 120 мм² и допустимым током 375 А. Условие проверки по нормальному режиму для ВЛ-110 кВ выполняется» [13]:

$$375 \text{ A} \geq 38,7 \text{ A.}$$

«Условия проверки по максимальному режиму послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ выполняются» [13]:

$$375 \text{ A} \geq 54,2 \text{ A.}$$

«Условия механической прочности для ВЛ-110 кВ соблюдены» [13]:

$$120 \text{ мм}^2 = 120 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, расчётным путём подтверждено сечение марки АС-120/19 для применения на питающей линии 110 кВ РТП-110/10 кВ.

Выбор остальных проводников питающей и распределительной сети 10 кВ Темкинского района Смоленской области выполняется аналогично с приведением результатов выбора в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки проводников питающей и распределительной сети 10 кВ Темкинского района Смоленской области

Линия	$S_{р.н.}$, кВА	$I_{р.н.}$, А	$I_{доп}$, А	Марка и сечение проводника
Питающая сеть 10 кВ (питающие магистрали 10 кВ)				
Л1-10 кВ	1935,9	111,9	245,0	СИП 3 1×50
Л2-10 кВ	1776,5	97,7	245,0	СИП 3 1×50
Л3-10 кВ	1667,1	91,7	245,0	СИП 3 1×50
Л4-10 кВ	1819,0	100,0	245,0	СИП 3 1×50
Л5-10 кВ	2168,6	119,2	245,0	СИП 3 1×50
Л6-10 кВ	1165,6	64,1	245,0	СИП 3 1×50
Распределительная сеть 10 кВ (отпайки от питающих магистралей 10 кВ)				
Л1-10 кВ-ТП1	237,5	13,7	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП2	300,0	17,3	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП3	187,5	10,3	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП4	176,3	9,7	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП5	147,5	8,1	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП6	195,0	10,7	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП7	153,8	8,5	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП8	202,5	11,1	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП9	112,5	6,2	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП10	225,0	12,4	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП11	77,5	4,3	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП12	125,0	6,9	130,0	СИП-3 1×16
Л1-10 кВ-ТП13	137,5	7,6	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП14	232,5	12,8	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП15	165,0	9,1	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП16	151,3	8,3	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП17	126,3	6,9	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП18	80,0	4,4	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП19	153,8	8,5	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП20	200,0	11,0	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП21	177,5	9,8	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП22	147,5	8,1	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП23	251,3	13,8	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП24	108,8	6,0	130,0	СИП-3 1×16

Продолжение таблицы 4

Линия	$S_{р.н.}$, кВА	$I_{р.н.}$, А	$I_{дон}$, А	Марка и сечение проводника
Л2-10 кВ-ТП25	126,25	6,94	130,0	СИП-3 1×16
Л2-10 кВ-ТП26	170,00	9,35	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП27	160,0	8,8	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП28	142,5	7,8	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП29	232,5	12,8	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП30	258,8	14,2	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП31	270,0	14,8	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП32	195,0	10,7	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП33	216,3	11,9	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП34	256,3	14,1	130,0	СИП-3 1×16
Л3-10 кВ-ТП35	230,0	12,6	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП36	225,0	12,4	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП37	256,3	14,1	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП38	257,5	14,2	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП39	131,3	7,2	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП40	153,8	8,5	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП41	206,3	11,3	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП42	176,3	9,7	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП43	227,5	12,5	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП44	280,0	15,4	130,0	СИП-3 1×16
Л4-10 кВ-ТП45	226,3	12,4	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП46	205,0	11,3	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП47	251,3	13,8	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП48	260,0	14,3	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП49	251,3	13,8	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП50	256,3	14,1	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП51	233,8	12,9	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП52	257,5	14,2	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП53	227,5	12,5	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП54	167,5	9,2	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП55	225,0	12,4	130,0	СИП-3 1×16
Л5-10 кВ-ТП56	216,3	11,9	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП57	258,8	14,2	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП58	150,0	8,2	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП59	93,8	5,2	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП60	101,3	5,6	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП61	120,0	6,6	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП62	125,0	6,9	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП63	138,8	7,6	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП64	220,0	12,1	130,0	СИП-3 1×16
Л6-10 кВ-ТП65	163,8	9,0	130,0	СИП-3 1×16

Таким образом, в работе подтверждена марка проводников АС-120/19, использующиеся для питающей воздушной линии 110 кВ РТП-110/10 кВ.

В результате проведения модернизации питающей и распределительной сетей напряжением 10 кВ, приняты следующие технические решения:

- для всех питающих линий 10 кВ (основные магистрали) выбраны изолированные самонесущие проводники марки СИП 3 1×50;
- для распределительных линий 10 кВ (отпайки к ТП-10/0,4 кВ от основных магистралей) – приняты изолированные самонесущие проводники марки СИП-3 1×16.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области представляет собой критически важный этап проектирования, направленный на повышение надёжности и безопасности работы сети.

«Определение величин токов короткого замыкания позволяет правильно подобрать оборудование и разработать технические решения, необходимые для предотвращения аварийных ситуаций и защиты системы от серьёзных повреждений» [11].

Особое внимание уделяется точности расчётов, поскольку от этого зависит корректный выбор защитных устройств, которые должны мгновенно срабатывать при возникновении аварии. Такие устройства должны изолировать повреждённые участки сети путём их отключения, не допуская распространения неисправностей на другие части системы. В современных условиях возросшие нагрузки на электрическую сеть требуют повышенного внимания к данным расчётам, поскольку с увеличением объёмов потребляемой электроэнергии возрастает вероятность коротких замыканий.

Кроме того, в условиях современных требований к надёжности электроснабжения расчёт токов короткого замыкания приобретает особую актуальность. Своевременное и точное проведение расчётов токов КЗ

снижает риск аварийных отключений и обеспечивает стабильное электроснабжение всех потребителей района. Особенно важным является выбор наиболее тяжёлого режима трёхфазного короткого замыкания, чтобы предусмотреть самые неблагоприятные сценарии и разработать меры по их предотвращению.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области играет ключевую роль в обеспечении безопасной и надёжной эксплуатации сети. Точные и обоснованные расчёты помогают соответствовать современным стандартам и снижают риск аварийных ситуаций, что существенно повышает надёжность системы в долгосрочной перспективе.

В работе, исходя из поставленных задач, предполагается расчёт токов КЗ провести в сети 110 кВ (точка К2), сети 10 кВ (точка К3) и в сети 0,38/0,22 кВ (точка К4).

Расчётная схема, построенная по однолинейной схеме СЭС объекта исследования и представленная на рисунке 5, визуализирует конфигурацию сети и способствует более точным расчётам, что имеет большое значение для успешной реконструкции и модернизации системы электроснабжения района.

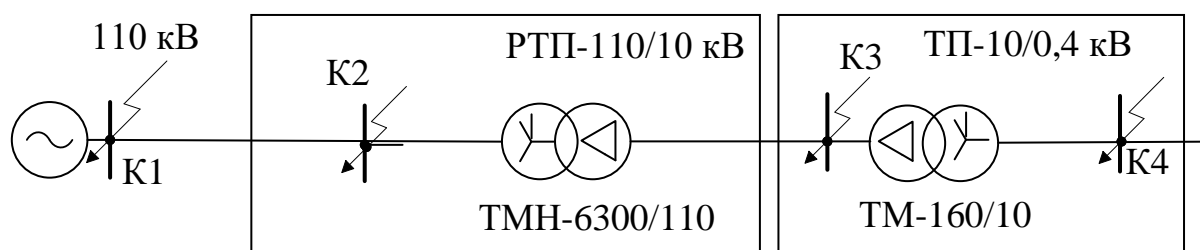


Рисунок 5 – Схема для расчётов токов КЗ в системе электроснабжения района

«Эквивалентная схема замещения для определения токов КЗ в системе электроснабжения района» [11] представлена в работе на рисунке 6.

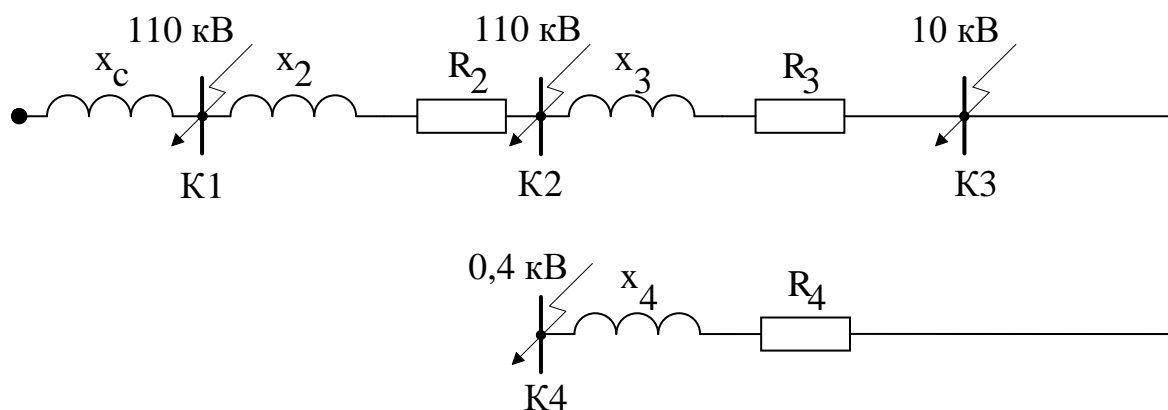


Рисунок 6 – Эквивалентная схема замещения для определения токов КЗ в системе электроснабжения района

«Расчёт токов трёхфазного короткого замыкания выполняется в именованных единицах, где базисными принимаются напряжения на выводах трансформаторов в максимальном режиме работы устройства РПН» [11].

В качестве базисных напряжений используются следующие значения: $U_{б.1} = 115 \text{ кВ}$, $U_{б.2} = 10,5 \text{ кВ}$ и $U_{б.3} = 0,4 \text{ кВ}$.

Ток короткого замыкания на шинах энергосистемы в точке К1 составляет 1,5 кА при максимальной нагрузке.

Для дальнейшего анализа требуется провести расчёты токов короткого замыкания в нескольких точках сети. На выводах силового трансформатора в сети 110 кВ (точка К2), а также на выводах трансформаторов в сетях напряжением 10 кВ (точка К3) и 0,4 кВ (точка К4) необходимо рассчитать величины токов максимального короткого замыкания. Данные расчёты проводятся при максимальном положении устройства РПН, что обеспечивает наиболее точную оценку работы силовых трансформаторов РТП-110/10 кВ в условиях повышенных нагрузок.

Определяются параметры схемы замещения.

«Сопротивление энергосистемы» [11]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к.макс}^{(3)}}. \quad (21)$$

$$X_c = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 44,3 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления питающей линии электропередачи напряжением 110 кВ» [11]:

$$R_2 = r_{y\delta} \cdot L, \quad (22)$$

$$X_2 = x_{y\delta} \cdot L, \quad (23)$$

где « $x_{y\delta}$ - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

L - суммарная длина ВЛ, км» [11].

Питающая ВЛ-110 кВ выполнена проводом марки АС-120/19 и имеет длину 20,2 км, поэтому величина её активного и индуктивного сопротивлений:

$$R_2 = 0,37 \cdot 20,2 = 7,47 \text{ Ом,}$$

$$X_2 = 0,385 \cdot 20,2 = 7,78 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление трансформатора РТП-110/10 кВ марки ТМН-6300/110» [11]:

$$R_{m.n} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot 10^{-3} \cdot U_{\delta}^2}{S_{ном.т.}^2}. \quad (24)$$

$$R_3 = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{6,3^2} = 11,2 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора РТП-110/10 кВ марки ТМН-6300/110» [11]:

$$X_{m.n} = \frac{U_{к.ср. \%} \cdot U_6^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}. \quad (25)$$

$$X_3 = \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 6,3^2} = 35,0 \text{ Ом.}$$

Аналогично для силового трансформатора ТП-1 (10/0,4 кВ) марки ТМ-250/10 района после реконструкции (при приведении к базисному напряжению 115 кВ):

$$R_4 = \frac{7,5 \cdot 115^2}{250^2} = 1,6 \text{ Ом.}$$

$$X_4 = \frac{6,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 250^2 \cdot 10^{-3}} = 13,8 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление до расчётной точки К2» [11]:

$$X_{\Sigma 2} = X_c + X_2, \text{ Ом,} \quad (26)$$

$$R_{\Sigma 2} = R_2, \text{ Ом,} \quad (27)$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2}, \quad (28)$$

$$X_{\Sigma 2} = 44,3 + 7,78 = 52,08 \text{ Ом,}$$

$$R_{\Sigma 2} = 7,47 \text{ Ом.}$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{7,47^2 + 52,08^2} = 52,61 \text{ Ом.}$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётных точках» [11]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{ А.} \quad (29)$$

«Ток трёхфазного КЗ точке К2» [11]:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 52,61} = 1,26 \text{ кА.}$$

«Ударный ток короткого замыкания» [11]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} \cdot I_K^{(3)}, \text{ кА,} \quad (30)$$

где « $\kappa_{уд}$ – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [11].

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,26 = 3,21 \text{ кА.}$$

«Суммарное активное сопротивление до точки К3» [11]:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma 3} &= R_{\Sigma 2} + R_3, \text{ Ом,} \\ R_{\Sigma 3} &= 7,47 + 11,2 = 18,67 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (31)$$

«Суммарное индуктивное сопротивление до точки К3» [11]:

$$\begin{aligned} X_{\Sigma 3} &= X_{\Sigma 2} + X_3, \text{ Ом,} \\ X_{\Sigma 3} &= 52,08 + 35,0 = 87,08 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (32)$$

«Суммарное полное сопротивление до точки К3» [11]:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma 3} &= \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}, \\ Z_{\Sigma 3} &= \sqrt{18,67^2 + 87,08^2} = 89,06 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (33)$$

«Ток трёхфазного КЗ точке К3 определяется с учётом того, что расчётная точка КЗ находится не на основной ступени (умножается на квадрат коэффициента трансформации до этой точки)» [11]:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 89,06} \cdot \left(\frac{115}{10,5}\right)^2 = 8,17 \text{ кА.}$$

«Ударный ток в точке К3» [11]:

$$i_{уд.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 8,17 = 16,18 \text{ кА.}$$

«Суммарное активное сопротивление до точки К4» [11]:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma 4} &= R_{\Sigma 3} + R_4, \text{ Ом,} \\ R_{\Sigma 4} &= 18,67 + 1,6 = 20,27 \text{ Ом.} \end{aligned} \tag{34}$$

«Суммарное индуктивное сопротивление до точки К4» [11]:

$$\begin{aligned} X_{\Sigma 4} &= X_{\Sigma 3} + X_4, \text{ Ом,} \\ X_{\Sigma 4} &= 87,08 + 13,8 = 100,88 \text{ Ом.} \end{aligned} \tag{35}$$

«Суммарное полное сопротивление до точки К4» [11]:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma 4} &= \sqrt{R_{\Sigma 4}^2 + X_{\Sigma 4}^2}, \\ Z_{\Sigma 4} &= \sqrt{20,27^2 + 100,88^2} = 102,9 \text{ Ом.} \end{aligned} \tag{36}$$

«Ток трёхфазного КЗ точке К4 определяется с учётом того, что расчётная точка КЗ находится не на основной ступени (умножается на

квадрат коэффициента трансформации всех ступеней до этой расчётной точки в сети 0,4 кВ)» [19]:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 102,9} \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = 1,68 \text{ кА.}$$

Ударный коэффициент в сети 0,4 кВ принимается равным единице, с учётом этого, значение ударного тока в точке К4 [14]:

$$i_{уд.к4} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,68 = 2,37 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов короткого замыкания и ударных токов в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Токи короткого замыкания и ударные токи в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области

Параметр и единица его измерения	Значение параметра в расчётной точке		
	К2 (110 кВ)	К3 (10 кВ)	К4 (0,4 кВ)
$I_{к}^{(3)}$, кА	1,26	8,17	1,68
$i_{уд}$, кА	3,21	16,18	2,37

Расчёт токов КЗ проведён в максимальном режиме работы с учётом максимума положения устройства РПН трансформатора РТП-110/10 кВ.

Расчётным путём определено, что значения трёхфазных токов КЗ в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области будут следующими:

- на выводах 110 кВ – 1,26 кА;
- на выводах 10 кВ – 8,17 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 1,68 кА.

Значения ударных токов трёхфазного короткого замыкания в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области равны:

- на выводах 110 кВ – 3,21 кА;
- на выводах 10 кВ – 16,18 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 2,37 кА.

Рассчитанные значения токов КЗ и ударных токов используются при проверке оборудования на термическую и электродинамическую устойчивость, а также для проверки высоковольтных выключателей на отключающую способность.

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ района, а также в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ.

«Известно, что правильный выбор электрических аппаратов является ключевым этапом при реконструкции и модернизации систем электроснабжения всех типов. Для этого необходимо учитывать такие параметры, как номинальное напряжение, ток, допустимая нагрузка и аварийная перегрузка, способность выдерживать токи коротких замыканий и ударные токи, а также соответствие климатическим условиям эксплуатации. Перечисленные параметры важны для обеспечения надёжности и безопасности всей электрической сети района.

Выбранные аппараты должны не только соответствовать техническим требованиям системы, но и быть совместимыми с характеристиками подключаемых нагрузок. Проверка их на соответствие нормативным требованиям и эксплуатационным условиям включает анализ устойчивости

аппаратов к перегрузкам, их способность безопасно отключать короткие замыкания и взаимодействие с другими элементами сети.

Особое внимание уделяется надёжности и долговечности аппаратов в условиях эксплуатации» [19].

Частые перегрузки и возможные аварийные режимы работы могут значительно сократить срок службы оборудования, поэтому важно, чтобы аппараты были рассчитаны на данные условия.

Современные системы защиты и автоматики помогают снизить риск поломок и минимизировать время простоя системы.

Таким образом, выбор и проверка электрических аппаратов для системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области являются важнейшими процессами, от которых зависят надёжность, безопасность и энергетическая эффективность всей системы.

Приведённые этапы обеспечивают соответствие системы всем требованиям и стандартам, что гарантирует её стабильную и безопасную эксплуатацию в долгосрочной перспективе.

Исходя из принятой ранее схемы питающей и распределительной сети системы электроснабжения района, в работе требуется выбрать и провести проверку следующих типов электрических аппаратов:

- для установки в ячейках РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»: 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 питающих линиях Л1-Л6 10 кВ: разъединители.

Выбор и проверка всех электрических аппаратов в работе проводится в виде табличной формы, сравнивая расчётные параметры сети и паспортные данные электрических аппаратов. Известно, что максимальный расчётный ток КЗ – трёхфазный, поэтому выбор проводится по его значению.

Используется каталог аппаратов, представленный в источнике [4].

Результаты выбора выключателей районной электрической сети Темкинского района Смоленской области для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей районной электрической сети Темкинского района Смоленской области для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели марки ВРС–110–31,5–81/2500 УЗ (вакуумные, наружной установки)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 46,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 1,26 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,21 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 81 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели марки ВВУ–СЭЦ–10–20/1600 УЗ (вакуумные, внутренней установки)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 8,17 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 16,18 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,17^2 \cdot 3 = 200,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 52^2 \cdot 3 = 8112 \text{ кА}^2\text{с}$

Далее выбираются измерительные трансформаторы тока для установки на РТП-110/10 кВ. Установлено, что выбирать отдельно трансформаторы тока для вакуумных выключателей марки ВРС–110–31,5–81/2500 УЗ, выбранных для установки в РУ-110 кВ, нет необходимости, так как трансформаторы тока встроены в данные выключатели.

Поэтому в работе выбираются только трансформаторы тока для применения в ячейках РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ. Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ для установки в РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» районной электрической сети Темкинского района Смоленской области представлены в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ для установки в РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» районной электрической сети Темкинского района Смоленской области

Тип ТТ	Кол-во ТТ на каждое присоединение, 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 для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» районной электрической сети Темкинского района Смоленской области представлены в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» районной электрической сети Темкинского района Смоленской области

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Ограничители перенапряжения марки ОПН-П 110/56/10/550 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 46,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 550 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,21 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 56 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 56^2 \cdot 3 = 9408 \text{ кА}^2\text{с}$
Ограничители перенапряжения марки ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 16,18 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,17^2 \cdot 3 = 200,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с}$

Результаты выбора разъединителей для установки на питающих линиях Л1-Л6 районной электрической сети 10 кВ Темкинского района Смоленской области представлены в форме таблицы 9.

Таблица 9 – Результаты выбора разъединителей для установки на питающих линиях Л1-Л6 районной электрической сети 10 кВ Темкинского района Смоленской области

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Разъединители марки РЛНД-1-10/630	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 16,18 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,17^2 \cdot 3 = 200,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

Далее выбираются аппараты для установки на ТП-10/0,4 кВ районной электрической сети 10 кВ Темкинского района Смоленской области: выключатели нагрузки и плавкие предохранители.

Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ районной электрической сети Темкинского района Смоленской области представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора выключателей нагрузки 10 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ районной электрической сети Темкинского района Смоленской области

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 16,18 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,17^2 \cdot 3 = 200,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2977 \text{ кА}^2\text{с}$

Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП1 районной электрической сети Темкинского района Смоленской области) представлены в таблице 11.

На ТП1 (10/0,4 кВ) электрической сети района установлен один силовой трансформатор марки ТМ-250/10.

Таблица 11 – Результаты выбора плавких предохранителей 10 кВ для установки на ТП-10/0,4 кВ (на примере ТП1 районной электрической сети Темкинского района Смоленской области)

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Предохранители марки ПКТ-101-10-32-20 У1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$.
	$1,1 - 1,5 I_{ном.т} \leq I_{ном.вст}$	$1,5 I_{ном.т} = 1,5 \times \times 14,4 = 21,7 \text{ А}$.	$I_{ном.вст} = 32 \text{ А}$.
	$I_{ном.п} \geq I_{ном.вст}$	$I_{ном.п} = 100 \text{ А}$	$I_{ном.вст} = 32 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8,17^2 \cdot 3 = = 200,2 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Исходя из принятой ранее схемы питающей и распределительной сети системы электроснабжения района, выбраны и проверены следующие типы и марки электрических аппаратов:

- для установки в ячейках РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»: выключатели высокого напряжения выключатели марки ВРС-110-31,5-81/2500 У3 (вакуумные, наружной установки, со встроенными трансформаторами тока) и выключатели марки ВВУ-СЭЩ-10-20/1600 У3 (вакуумные, внутренней установки), трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10, ограничители перенапряжения марки ОПН-П 110/56/10/550 УХЛ1 и ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1;
- для установки на всех ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10 (с различными типоминалами плавких вставок);
- для установки на питающих линиях Л1-Л6 10 кВ: разъединители марки РЛНД-1-10/630.

Все выбранные электрические аппараты проверены на соответствие параметрам установки в районной электрической сети Темкинского района Смоленской области.

2.7 Выбор и проверка устройств релейной защиты и системы контроля и учёта электроэнергии

С целью модернизации устройств релейной защиты и системы контроля и учёта электроэнергии районной электрической сети Темкинского района Смоленской области, проводится выбор новых модификаций данного оборудования.

В качестве новых устройств релейной защиты на питающей РТП-110/10 кВ предлагается принять микропроцессорное устройство серии «ТОР 300», которое является универсальным и подходит для защиты объектов электроэнергетики напряжением 6-750 кВ [6].

Данное устройство представлено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Микропроцессорное устройство серии «ТОР 300»

Микропроцессорное устройство серии «ТОР 300» обладает рядом значительных преимуществ, что делает его востребованным в системах релейной защиты и автоматики. Одним из ключевых достоинств является высокая точность и быстрота срабатывания, что обеспечивает надёжную защиту сети от коротких замыканий и перегрузок. Благодаря использованию современных микропроцессорных технологий, устройство способно обрабатывать большие объёмы данных и оперативно реагировать на изменения в электрической сети.

Дополнительным преимуществом является его гибкость в настройке и возможность интеграции в существующие системы управления и мониторинга. «ТОР 300» поддерживает широкий диапазон защитных функций и может быть адаптирован под различные условия эксплуатации.

Надёжность устройства достигается за счёт встроенной диагностики и самопроверки, что минимизирует риск отказов и позволяет своевременно выявлять неисправности.

Кроме того, микропроцессорное устройство обладает энергоэффективностью и высокой устойчивостью к внешним воздействиям, таким как электромагнитные помехи и температурные колебания. Эти качества делают «ТОР 300» оптимальным выбором для использования в энергосистемах различного масштаба, обеспечивая долгосрочную надёжность и безопасность электроснабжения [6]. Таким образом, выбор данного устройства для применения на РТП-110/10 кВ, обоснован.

В качестве системы контроля и учёта электроэнергии районной электрической сети Темкинского района Смоленской области, предлагается выбрать автоматизированную систему контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ) на основе электронных современных счётчиков марки Меркурий 236 ART-02 PQRS [16].

Данные счётчики представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Счётчик электроэнергии Меркурий 236 ART-02 PQRS

Выбранная АСКУЭ на основе счётчиков Меркурий 236 ART-02 PQRS обладает рядом преимуществ, которые обеспечивают её эффективность и надёжность в управлении потреблением электроэнергии. Одним из главных достоинств является высокая точность измерения электрической энергии в широком диапазоне нагрузок, что позволяет оптимизировать контроль за энергопотреблением и минимизировать ошибки в учёте.

Данные счётчики поддерживают многотарифный учёт, что даёт возможность гибко управлять режимами потребления энергии в зависимости от времени суток, что особенно важно для экономии средств в условиях изменяющихся тарифов. Интеграция АСКУЭ с этими счётчиками позволяет автоматизировать сбор данных, передавая информацию в режиме реального времени, что упрощает управление и анализ потребления на больших объектах. Меркурий 236 ART-02 PQRS также оснащён защитой от несанкционированного доступа и попыток вмешательства, что обеспечивает надёжность данных и предотвращает возможные хищения электроэнергии.

Возможность интеграции с системами управления и мониторинга делает данное решение универсальным для применения в промышленных и коммерческих объектах [16]. Следовательно, данный выбор обоснован.

Выводы по разделу.

С учётом необходимости модернизации, проведён выбор и соответствующие проверки силового оборудования питающей и распределительной сетей системы электроснабжения района.

Получены значения расчётных активных, реактивных и полных нагрузок ТП-10/0,4 кВ, питающих ВЛ-10 кВ и всей питающей РТП-110/10 кВ Темкинского района Смоленской области.

Установлено и подтверждено расчётным путём необходимость замены двух силовых трансформаторов марки ТМН-4000/110 на питающей РТП-110/10 кВ «Темкино», на силовые трансформаторы большего типоминимала марки ТМН-6300/110. Определено, что новые силовые трансформаторы марки ТМН-6300/110 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что подтверждает их пригодность для установки на реконструируемой РТП-110/10 кВ района вследствие увеличения нагрузок потребителей.

Полученные результаты выбора и проверки силовых трансформаторов распределительных ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области, обусловленные увеличением нагрузки потребителей района, подтверждают необходимость замены большинства силовых трансформаторов, установленных на данных подстанциях. Установлено, что из 65 распределительных трансформаторных подстанций района не требуется замена трансформаторов только на следующих недавно сооружённых и введённых в эксплуатацию двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ (ТМ-160/10): ТП №2, 34, 44 и 53, питающие, соответственно, населённые пункты Темкино, Абрамово, Савенки, Муравьёвка, а также Холмино.

Подтверждена марка проводников АС-120/19, использующиеся для питающей воздушной линии 110 кВ РТП-110/10 кВ.

В результате проведения модернизации питающей и распределительной сетей напряжением 10 кВ, приняты следующие технические решения:

- для всех питающих линий 10 кВ (основные магистрали) выбраны изолированные самонесущие проводники марки СИП 3 1×50;
- для распределительных линий 10 кВ (отпайки к ТП-10/0,4 кВ от основных магистралей) – приняты изолированные самонесущие проводники марки СИП-3 1×16.

Расчётным путём определено, что значения трёхфазных токов КЗ в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области будут следующими:

- на выводах 110 кВ – 1,26 кА;
- на выводах 10 кВ – 8,17 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 1,68 кА.

Значения ударных токов трёхфазного короткого замыкания в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области равны:

- на выводах 110 кВ – 3,21 кА;
- на выводах 10 кВ – 16,18 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 2,37 кА.

Исходя из принятой ранее схемы питающей и распределительной сети системы электроснабжения района, выбраны и проверены следующие типы и марки электрических аппаратов:

- для установки в ячейках РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»: выключатели высокого напряжения выключатели марки ВРС–110–31,5–81/2500 УЗ (вакуумные, наружной установки, со встроенными трансформаторами тока) и выключатели марки ВВУ–СЭЦ–10–20/1600 УЗ (вакуумные, внутренней установки), трансформаторы тока ТОЛ–СЭЦ–10, ограничители перенапряжения марки ОПН-П 110/56/10/550 УХЛ1 и ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1;

- для установки на всех ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10 (с различными типономиналами плавких вставок);
- для установки на питающих линиях Л1-Л6 10 кВ: разъединители марки РЛНД-1-10/630.

С целью модернизации устройств релейной защиты и системы контроля и учёта электроэнергии районной электрической сети Темкинского района Смоленской области, проведён выбор новых модификаций данного оборудования.

В качестве новых устройств релейной защиты на питающей РТП-110/10 кВ предлагается принять микропроцессорное устройство серии «ТОР 300», которое является универсальным и подходит для защиты объектов электроэнергетики напряжением 6-750 кВ. Установлено, что применение современных цифровых устройств релейной защиты и автоматики, таких как «ТОР 300», значительно повышает надёжность, безопасность и эффективность функционирования электрической сети района. Благодаря использованию передовых микропроцессорных технологий и цифрового анализа параметров сети, данные устройства позволяют не только своевременно реагировать на изменения в работе сети, но и проводить её глубокую диагностику, что способствует оптимизации работы всей системы.

Для применения в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области выбрана АСКУЭ на основе трёхфазных программируемых счётчиков Меркурий 236 ART-02 PQRS, которая обеспечивает точный учёт электроэнергии, гибкость в настройках, надёжность и лёгкость интеграции, что делает её эффективным инструментом для управления энергопотреблением и оптимизации затрат на объекте.

3 Безопасность и экологичность проекта реконструкции района

3.1 Анализ и разработка мероприятий по безопасности и экологичности проекта реконструкции района

Проводится анализ и разработка мероприятий по безопасности и экологичности проекта реконструкции электрической сети Темкинского района Смоленской области.

Анализ опасных и вредных факторов в электрической сети Темкинского района Смоленской области необходим для оценки рисков и обеспечения безопасности эксплуатации.

К числу основных опасных факторов можно отнести поражение электрическим током, возникающее при контакте с неисправным оборудованием, оголёнными проводами или в результате нарушения изоляции. Высокое напряжение в сети создаёт серьёзные угрозы для персонала, особенно при отсутствии надёжных средств защиты [8].

Вредные факторы включают электромагнитные поля, которые могут оказывать негативное воздействие на здоровье работников, особенно при длительном воздействии. Кроме того, перегрузки и короткие замыкания могут привести к перегреву проводников и оборудования, что создаёт риск пожара или выхода из строя важных элементов сети.

Износ оборудования и проводов в сети, таких как устаревшие провода марки АС, приводит к повышенной вероятности аварий, включая пробой изоляции и разрушение кабельных линий. Такая ситуация не только нарушает надёжность электроснабжения, но и увеличивают риск возгораний, повреждений оборудования и поражений током.

Основная классификация опасных и вредных факторов, имеющих место в электрической сети района, представлена на рисунке 9.

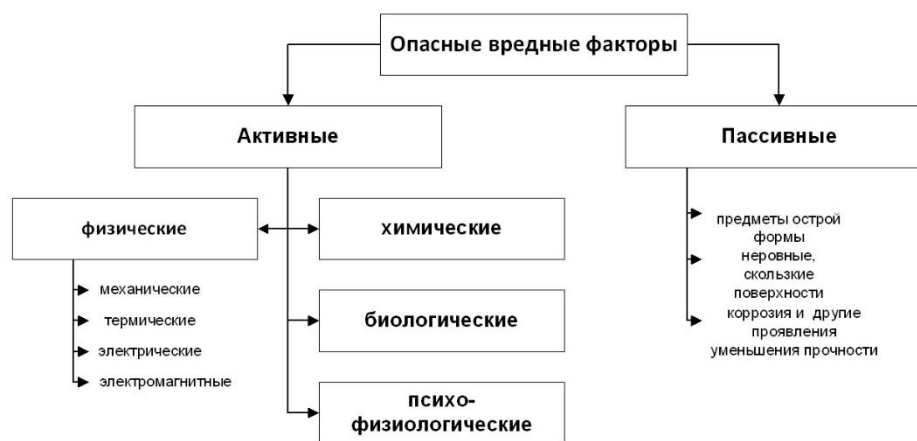


Рисунок 9 – Основная классификация опасных и вредных факторов в электрической сети района

Таким образом, регулярный анализ и контроль состояния электрической сети, включая проверку технического состояния оборудования и обеспечение надлежащего уровня изоляции, играют ключевую роль в снижении опасных и вредных факторов.

Основные мероприятия по электробезопасности, пожарной безопасности и экологической безопасности в электрической сети Темкинского района Смоленской области направлены на минимизацию рисков для здоровья людей, предотвращение аварий и обеспечение защиты окружающей среды.

Мероприятия по электробезопасности включают регулярный контроль состояния электрического оборудования и проводников, проверку изоляции и заземляющих устройств. Обязательным является использование средств индивидуальной защиты, таких как диэлектрические перчатки и обувь, а также наличие системы аварийного отключения электропитания для предотвращения несчастных случаев при работе с оборудованием под напряжением [8].

Пожарная безопасность в электрической сети требует регулярного технического обслуживания и замены устаревших кабелей и оборудования. Особое внимание уделяется системам защиты от перегрузок и коротких замыканий, которые могут стать причиной возгораний. Установка

автоматических систем пожаротушения в трансформаторных подстанциях и других критически важных объектах сети также является важным аспектом. Противопожарные инструкции и обучение персонала действиям в случае возникновения пожара также играют важную роль [8].

Экологическая безопасность предусматривает снижение негативного воздействия электросетей на окружающую среду. Выполнение данных мероприятий включает контроль за уровнем электромагнитных полей, использование экологически безопасных материалов при замене проводников и оборудования, а также предотвращение утечек и выбросов опасных веществ, таких как трансформаторные масла с маслонаполненных трансформаторов питающей РТП-110/10 кВ «Темкино» и распределительных ТП-10/0,4 кВ. Также важно обеспечить утилизацию старого оборудования в соответствии с экологическими стандартами для минимизации загрязнения окружающей среды.

«Инструктажи по электробезопасности, пожарной безопасности и экологической защите являются обязательной частью системы охраны труда и направлены на минимизацию рисков для работников и окружающей среды. Инструктажи по электробезопасности включают обучение персонала правилам работы с электрическим оборудованием, методам предотвращения поражения током и действиям в аварийных ситуациях» [8]. Пожарная безопасность охватывает меры по предотвращению возгораний в электроустановках, обучение работе с противопожарным оборудованием и эвакуации при пожаре. Экологическая защита включает обучение правилам обращения с опасными веществами, утилизации отходов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Такие инструктажи обеспечивают не только безопасность работников, но и стабильную эксплуатацию объектов. Таким образом, комплекс мероприятий по электробезопасности, пожарной безопасности и экологической защите способствует надёжной и безопасной эксплуатации электрической сети района, обеспечивая защиту людей, имущества и окружающей среды.

3.2 Расчёт контура заземления подстанции районной сети

Расчёт контура заземления для подстанции 10/0,4 кВ районной распределительной сети Темкинского района Смоленской области является важным этапом проектирования системы электроснабжения, направленным на обеспечение надёжной и безопасной эксплуатации оборудования.

«Основной задачей расчёта является определение необходимого сопротивления заземляющего устройства, которое должно соответствовать нормативным требованиям и гарантировать эффективное отведение токов короткого замыкания в землю» [12].

Для выполнения расчёта учитываются параметры грунта, его удельное сопротивление, глубина залегания заземляющих электродов, а также геометрия заземляющего контура.

Известно, что оптимальной формой заземления для распределительных подстанций обычно является замкнутый контур, который обеспечивает равномерное распределение тока по всей площади заземления и снижает риск перегрева или разрушения электродов.

При расчёте особое внимание уделяется выбору материалов для заземляющих электродов, поскольку они должны обладать достаточной проводимостью и устойчивостью к коррозии.

Также проводится оценка влияния сезонных изменений в грунте, таких как замерзание или осушение, на сопротивление заземляющего устройства.

Результаты расчёта позволяют обеспечить безопасность работы подстанции, предотвращая возникновение опасных потенциалов на оборудовании и минимизируя риск поражения электрическим током для обслуживающего персонала.

Схема подключения контура заземления ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети Темкинского района Смоленской области представлена на рисунке 10.

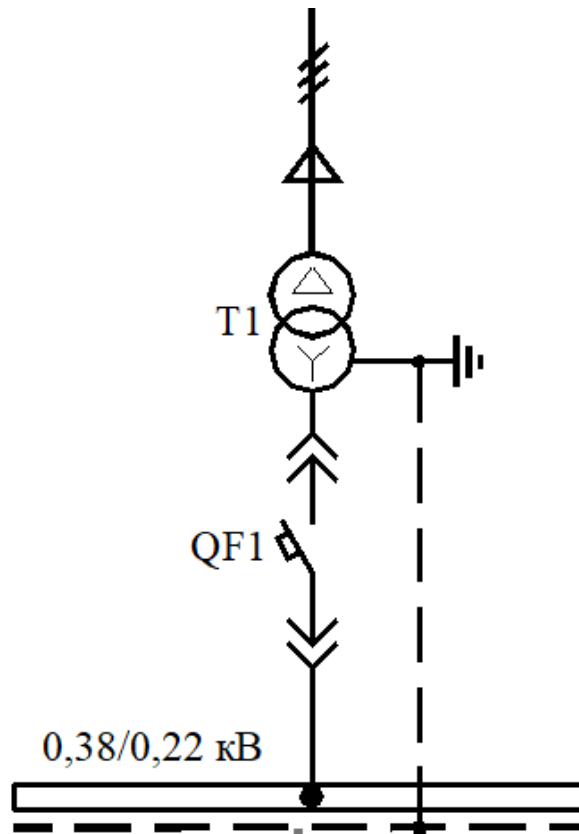


Рисунок 10 – Схема подключения контура заземления ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети Темкинского района Смоленской области

«Удельное сопротивление грунта» [10]:

$$\rho_p = k_c \cdot k_l \cdot \rho_{изм} \quad (37)$$

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

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

Для условий ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети (грунт в месте установки контура заземления – суглинок):

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

«Сопротивление вертикального заземлителя контура заземления» [10]:

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot \left(\ln \frac{2L}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right), \quad (38)$$

где « L – длина электрода, м;

d – диаметр электрода, м;

t – заглубление заземлителя, м» [10].

Для контура заземления ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети:

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

«Расчетное сопротивление растеканию горизонтального электрода» [10]:

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi L} \cdot \ln \frac{L^2}{0,5 \cdot b \cdot t}, \quad (39)$$

где « L_2 – длина всего электрода, м;

b_2 – ширина электрода, м;

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

Для контура заземления ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети:

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

«Сопротивление группового заземлителя» [10]:

$$R_{зр} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{г}} + n \cdot R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (40)$$

где « n – количество вертикальных электродов;

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

$\eta_{\text{г}}$ – коэффициент использования горизонтального электрода» [10].

Для контура заземления ТП-10/0,4 кВ районной сети:

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

Проверка допустимого сопротивления контура заземления:

$$R_{зр} \leq R_{\text{доп}}. \quad (41)$$

Групповое заземление контура меньше предельно допустимого значения 4 Ом, значит, расчёт проведён верно.

$$R_{зр} = 2,34 \text{ Ом} \leq R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом.}$$

Таким образом, контур заземления удовлетворяет условия безопасности.

Выводы по разделу.

Проведены анализ и последующая разработка мероприятий по безопасности и экологичности проекта реконструкции электрической сети Темкинского района Смоленской области. Расчётным путём установлено, что рациональный контур заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети должен состоять из восьми вертикальных электродов.

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта реконструкции схемы электрических соединений с модернизацией питающих сетей и оборудования системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области.

Проведён анализ исходных данных на выполнение работы.

Описаны климатические, топографические, экономические и технические характеристики объекта реконструкции.

Выявлены проблемы в районной электрической сети, которые планируется решить в работе.

Учитывая приведённые проблемы, на основе аналитического обзора требований, предъявляемых к районным электрическим сетям, предлагается следующий комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области:

- определено, что оба силовых трансформатора четырех двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ получают питание от одной линии 6 кВ, что не соответствует условиям резервирования. В связи с этим, вторые трансформаторы данных подстанций предлагается перепитать от соседних линий 6 кВ, которые получают питание от другой секции сборных шин 10 кВ РТП-110/10 кВ;
- так как мощности силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ не соответствуют увеличившейся фактической нагрузке, в рамках реконструкции районной электрической сети предлагается заменить их на большие типономиналы, которые необходимо выбрать в работе далее. Также предлагается увеличить сечение проводников сети 10 кВ для питания данных подстанций и проверить на аварийную перезагрузку трансформаторы питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»;
- с учётом того, что проводники питающей и распределительной сетей 10 кВ выполнены голыми алюминиевыми проводами марки АС,

- 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-3, проведя таким образом, частичную модернизацию линий электропередачи (с сохранением опор воздушных линий);
- предлагается провести проверку и последующую модернизацию устаревших коммутационно-защитных аппаратов, находящихся в РУ-10 кВ питающих ТП-10/0,4 кВ района, а также в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ;
 - предлагается провести модернизацию системы релейной защиты и автоматики, а также устройств контроля и учёта электроэнергии в электрической сети района.

Предложенный комплекс мероприятий по реконструкции и модернизации системы электроснабжения Темкинского района Смоленской области рекомендуется принять в качестве основы и подтвердить его эффективность расчётами в дальнейшей части работы.

С учётом необходимости модернизации, проведён выбор и соответствующие проверки силового оборудования питающей и распределительной сетей системы электроснабжения района.

Получены значения расчётных активных, реактивных и полных нагрузок ТП-10/0,4 кВ, питающих ВЛ-10 кВ и всей питающей РТП-110/10 кВ Темкинского района Смоленской области.

Установлено и подтверждено расчётным путём необходимость замены двух силовых трансформаторов марки ТМН-4000/110 на питающей РТП-110/10 кВ «Темкино», на силовые трансформаторы большего типоминимала марки ТМН-6300/110. Определено, что новые силовые трансформаторы марки ТМН-6300/110 полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к их системе охлаждения по нагрузочной способности, что

подтверждает их пригодность для установки на реконструируемой РТП-110/10 кВ района вследствие увеличения нагрузок потребителей.

Полученные результаты выбора и проверки силовых трансформаторов распределительных ТП-10/0,4 кВ Темкинского района Смоленской области, обусловленные увеличением нагрузки потребителей района, подтверждают необходимость замены большинства силовых трансформаторов, установленных на данных подстанциях. Установлено, что из 65 распределительных трансформаторных подстанций района не требуется замена трансформаторов только на следующих недавно сооружённых и введённых в эксплуатацию двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ (ТМ-160/10): ТП №2, 34, 44 и 53, питающие, соответственно, населённые пункты Темкино, Абрамово, Савенки, Муравьёвка, а также Холмино.

Подтверждена марка проводников АС-120/19, использующиеся для питающей воздушной линии 110 кВ РТП-110/10 кВ.

В результате проведения модернизации питающей и распределительной сетей напряжением 10 кВ, приняты следующие технические решения:

- для всех питающих линий 10 кВ (основные магистрали) выбраны изолированные самонесущие проводники марки СИП 3 1×50;
- для распределительных линий 10 кВ (отпайки к ТП-10/0,4 кВ от основных магистралей) – приняты изолированные самонесущие проводники марки СИП-3 1×16.

Расчётным путём определено, что значения трёхфазных токов КЗ в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области будут следующими:

- на выводах 110 кВ – 1,26 кА;
- на выводах 10 кВ – 8,17 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 1,68 кА.

Значения ударных токов трёхфазного короткого замыкания в основных расчётных точках схемы электрической сети Темкинского района Смоленской области равны:

- на выводах 110 кВ – 3,21 кА;
- на выводах 10 кВ – 16,18 кА;
- на выводах 0,4 кВ – 2,37 кА.

Исходя из принятой ранее схемы питающей и распределительной сети системы электроснабжения района, выбраны и проверены следующие типы и марки электрических аппаратов:

- для установки в ячейках РУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ «Темкино»: выключатели высокого напряжения выключатели марки ВРС–110–31,5–81/2500 УЗ (вакуумные, наружной установки, со встроенными трансформаторами тока) и выключатели марки ВВУ–СЭЦ–10–20/1600 УЗ (вакуумные, внутренней установки), трансформаторы тока ТОЛ–СЭЦ–10, ограничители перенапряжения марки ОПН-П 110/56/10/550 УХЛ1 и ОПН-П-10/12,7/10/400 УХЛ1;
- для установки на всех ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВВНР-10/630-20У2 и плавкие предохранители марки ПКТ-101-10 (с различными типоминалами плавких вставок);
- для установки на питающих линиях Л1-Л6 10 кВ: разъединители марки РЛНД-1-10/630.

С целью модернизации устройств релейной защиты и системы контроля и учёта электроэнергии районной электрической сети Темкинского района Смоленской области, проведён выбор новых модификаций данного оборудования.

В качестве новых устройств релейной защиты на питающей РТП-110/10 кВ предлагается принять микропроцессорное устройство серии «ТОР 300», которое является универсальным и подходит для защиты объектов электроэнергетики напряжением 6-750 кВ. Установлено, что применение

современных цифровых устройств релейной защиты и автоматики, таких как «ТОР 300», значительно повышает надёжность, безопасность и эффективность функционирования электрической сети района. Благодаря использованию передовых микропроцессорных технологий и цифрового анализа параметров сети, данные устройства позволяют не только своевременно реагировать на изменения в работе сети, но и проводить её глубокую диагностику, что способствует оптимизации работы всей системы.

Для применения в системе электроснабжения Темкинского района Смоленской области выбрана АСКУЭ на основе трёхфазных программируемых счётчиков Меркурий 236 ART-02 PQRS, которая обеспечивает точный учёт электроэнергии, гибкость в настройках, надёжность и лёгкость интеграции, что делает её эффективным инструментом для управления энергопотреблением и оптимизации затрат на объекте.

Проведены анализ и последующая разработка мероприятий по безопасности и экологичности проекта реконструкции электрической сети Темкинского района Смоленской области. Расчётным путём установлено, что рациональный контур заземление трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ районной распределительной сети должен состоять из восьми вертикальных электродов.

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

Список используемых источников

1. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 14.08.2024).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 14.08.2024).
3. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 234 с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Микропроцессорное устройство серии «ТОР 300» [Электронный ресурс]: URL: <https://relematika.ru/products/ustroystvo-rza-serii-tor-300/tor-300-terminal-releynoy-zashchity-i-avtomatiki-6-750-kv/> (дата обращения: 16.09.2024).
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: 16.09.2024).

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-3. [Электронный ресурс]: URL: <https://k-aps.ru/spravochnik/provoda-izolirovannyye/dlya-vozdushnyix-linij-peredach/sip-3/> (дата обращения: 16.09.2024).

16. Счетчик электроэнергии Меркурий 236 ART-02 PQRS [Электронный ресурс]: URL: <https://www.saures.ru/katalog/trekhfaznye-schetchiki/schetchik-elektroenergii-merkuriy-236-art-02-pqrs/> (дата обращения: 16.09.2024).

17. Темкинский район Смоленской области [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Темкинский_район (дата обращения: 16.09.2024).

18. Трансформаторы ТМ. [Электронный ресурс]: URL: <https://transform74.ru/tr/transformatory-tm/> (дата обращения: 16.09.2024).

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.