

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет Энергетический
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

_____/_____
« ____ » _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

_____/ И.М. Кирпичникова /
« ____ » _____ 2018 г.

**ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО РАЙОНА
ЗЛАТОУСТ - АША**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА (ДИССЕРТАЦИЯ)
ЮУрГУ – 13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР**

Руководитель, к.т.н, профессор

_____/ М.Е. Гольдштейн/
« ____ » _____ 2018 г.

Автор

студент группы П-281

_____/ А.Д. Саватеев /
« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролер, к.т.н, доцент

_____/ К.Е. Горшков /
« ____ » _____ 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Институт Политехнический
Факультет Энергетический
Кафедра Электрические станции, сети и системы электроснабжения
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____/И.М. Кирпичникова/
_____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную научную работу (диссертацию) студента

Саватеева Алексея Дмитриевича

(Ф. И.О. полностью)

Группа П-281

1. Тема выпускной квалификационной работы

«Применение малогабаритных устройств продольной компенсации для управления режимами электрической сети электросетевого района Златоуст – Аша»

утверждена приказом по университету от _____ 20 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы _____

3. Исходные данные к работе

Схема электрических соединений сети 500-220-110 кВ района Златоуст – Аша: характеристики воздушных линий – марка, количество цепей и длина (км); число и мощность трансформаторов (МВА)

Существующие и перспективные нагрузки в узлах сети 500-220-110 кВ района Златоуст – Аша

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Обоснование актуальности темы ВКР

Расчет параметров схемы замещения линии электропередач

Анализ режимов существующей электрической сети

Анализ режимов сети при перспективных нагрузках

Исследование возможностей управления режимами электрической сети с применением средств силовой электроники

Оценка и сравнение технических решений для управления режимами электрической сети

Определение параметров выбранного оборудования и анализ режимов его работы

Подведение итогов и формирование выводов

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

Схема электрических соединений узла сети 500-110 кВ района Златоуст – Аша (чертеж, один лист А1)

Режимы существующей сети (чертеж, один лист А1)

Режимы перспективной сети (чертеж, один лист А1)

Исследование режимов работы УПК-ПН (плакат, один лист А1)

Оптимизация параметров УПК-ПН для снижения потерь активной мощности в сети (плакат, один лист А1)

Всего 5 листов

6. Дата выдачи задания 23.10.2017 г.

Руководитель _____

(подпись)

Задание принял к исполнению _____

(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Обоснование актуальности темы ВКР	Сентябрь 2017 г. – январь 2018 г.	
Подготовка схемы замещения линии электропередач, расчет основных параметров	Февраль 2018г.	
Анализ режимов существующей электрической сети	Март 2018г.	
Анализ режимов сети при перспективных нагрузках	Апрель 2018г.	
Исследование возможностей управления режимами электрической сети с применением средств силовой электроники	Апрель 2018г.	
Оценка и сравнение технических решений для управления режимами электрической сети	Май 2018г.	
Определение параметров выбранного оборудования и анализ режимов его работы	Май 2018г.	
Оформление ВКР. Подготовка графического материала.	Июнь 2018г.	

Заведующий кафедрой _____ /И.М. Кирпичникова/

Руководитель работы _____ / М.Е. Гольдштейн /

Студент _____ / А.Д. Саватеев /

АННОТАЦИЯ

Саватеев А. Д. Применение малогабаритных устройств продольной компенсации для управления режимами электрической сети электросетевого района Златоуст - Аша.– Челябинск: ЮУрГУ, П- 281, 2018, 83 с., 22 ил., 53 таблиц. Библиографический список – 13 наименования., 2 прил., 3 листа чертежей ф. А1., 2 плаката ф. А1

В ВКР исследована перспектива применения малогабаритных устройств продольной компенсации на базе преобразователей напряжения (УПК-ПН) в Западном энергоузле горнозаводского сетевого района распределительных сетей Челябинской энергосистемы с перспективными нагрузками в узле Бакал. Произведен анализ режимов сети с помощью программного комплекса RastrWin. Определена необходимость реконструкции или модернизации существующей сети при подключении перспективных нагрузок.

Рассмотрены различные варианты реконструкций и выбран вариант с установкой устройств продольной компенсации в наиболее загруженных по току линиях электропередач 110 кВ.

Определены предъявляемые к устанавливаемым УПК-ПН требования, рассчитаны получившиеся после модернизации режимы электрической сети, и проведена оптимизация параметров УПК-ПН режима сетевого района по потерям активной мощности в нормальном режиме.

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Выполнил</i>		Саватеев А.Д.			Применение малогабаритных устройств продольной компенсации для управления режимами электрической сети электросетевого района Златоуст – Аша	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Гольдштейн М.Е.					5	83
<i>Реценз.</i>						ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		
<i>Н. Контр.</i>		Горшков К.Е.						
<i>Утверд.</i>		Кирпичникова И.М.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ .	10
1.1.СХЕМА И НАГРУЗКИ СЕТЕВОГО РАЙОНА	10
1.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	12
1.3 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ	14
1.4 РЕЖИМ МАКСИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК	16
1.5 АНАЛИЗ ПОТЕРЬ В ИСХОДНОМ МАКСИМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ.....	19
1.6 РЕЖИМ МИНИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК.....	20
1.7 ПОСЛЕАВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ.....	24
1.8 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	33
2 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СЕТИ ПРИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАГРУЗКАХ....	34
2.1 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАГРУЗКИ СЕТИ.....	34
2.2 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ	35
2.3 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	50
3 ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ИЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТИ	51
3.1 ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	52
3.2 МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ (УПК) В РЕЖИМЕ ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	54
3.3 ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ В СЕТИ 110-500 КВ ЭНЕРГОУЗЛА.....	60
3.4 АНАЛИЗ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРОВЕДЁННОЙ МОДЕРНИЗАЦИЕЙ .	61
3.5 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	64
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПК И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ.....	66
3.1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УПК	66
3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПК.....	68
3.3 ПОСТРОЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ДИАГРАММ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В SIMULINK MATLAB	71
3.4 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ	73

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	75
ПРИЛОЖЕНИЯ	77
ПРИЛОЖЕНИЕ А СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СЕТИ 500-110 КВ РАЙОНА ЗЛАТОУСТ – АША	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОПТИМИЗАЦИЯ ВВОДИМЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ УПК ПО ПОТЕРЯМ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ.....	78
ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ.....	79

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР					

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении нескольких десятилетий потребление электрической энергии в России не характеризовалось устойчивым ростом и зависело от нестабильной экономической ситуации в стране. Периодический рост потребления чередовался с падением спроса на электроэнергию. В последние годы правительство нашей страны проводит программу импортозамещения, и мы можем наблюдать строительство новых объектов промышленности, увеличение объемов производства товаров, которые ранее закупали за границей и, как следствие, это ведет к увеличению нагрузочных мощностей.

При всем этом, электрические сети должны проектироваться и эксплуатироваться таким образом, чтобы была обеспечена их работоспособность во всех режимах: нормальных, ремонтных и послеаварийных. Это означает, что параметры ветвей (токи, мощности) не должны превышать допустимых значений, а параметры узлов (напряжения) должны лежать в допустимых пределах, обеспечивающих нормальную работу изоляции.

Недостаточная пропускная способность межсистемных и системообразующих линий электропередачи, слабая управляемость сети, недостаточный объем устройств регулирования напряжения, неоптимальное распределение потоков мощности по параллельным линиям различного класса напряжений, как следствие недоиспользование сетей и рост потерь в сетях – это целый ряд современных проблем эксплуатации электрических сетей при росте нагрузочных мощностей. Потребность решать эти проблемы приводит к необходимости реконструкций и модернизаций систем передачи электроэнергии.

В последние годы для управления режимами электрических сетей широко применяются различные устройства на основе полупроводниковых преобразователей напряжения. Одним из возможных направлений являются разрабатываемые НТЦ ФСК ЕЭС малогабаритные УПК-ПН.

В ВКР рассматривается Западный энергоузел горнозаводского сетевого района распределительных сетей Челябинской энергосистемы с перспективными

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

нагрузками в узле Бакал, получающем питание от двух независимых источников, таким образом, что существующая электрическая сеть 110 кВ не допускает возможности работы в послеаварийных режимах.

В соответствии с заданием на ВКР предложено исследовать возможность управления потоками мощности электрической сети 110 кВ для разгрузки по току наиболее опасных сечений в послеаварийных режимах и снижения потерь активной мощности в нормальных режимах.

Для решения этой задачи следует предварительно исследовать нормальные и послеаварийные режимы сети, провести оценку соответствия предъявляемым им требованиям, выявить наиболее опасные сечения. Затем рассмотреть возможность перераспределения потоков мощности в целях оптимизации режимов электрической сети, определить варианты решения задачи. В результате выбрать наиболее технически обоснованный вариант и произвести расчет и конфигурацию основного оборудования.

					<i>13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

1 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

1.1.Схема и нагрузки сетевого района

Из схемы электрических соединений сети 500-110 кВ района Златоуст – Аша энергосистемы Челябинской области выделен энергоузел, который включает в себя 20 узлов и 38 ветвей. Схема узла представлена в ПРИЛОЖЕНИИ 1. На ней указаны: характеристики воздушных линий – марка, количество цепей и длина (км); число и мощность трансформаторов (МВА). В качестве балансирующего узла для исследуемого района приняты шины 500 кВ подстанции Приваловская. Исходные нагрузки потребителей подстанций и генерации электростанций, межсетевых и межсистемных перетоков энергоузла приведены в таблице 1.

В таблице 1 указаны значения нагрузок в узлах в максимальном режиме, приведенные к стороне высшего напряжения. Генерация представлена только в узле «Павловская», величиной $10 + j10$ МВА.

Таблица 1 – Значения нагрузок в узлах сети

№	Диспетчерское наименование	P, МВт	Q, Мвар
1	Кропачево 500	-86,5	-50,7
2	Кропачево 110	26	16
3	Приваловская 110	10	5
4	Боровая	-3,2	-9
5	Сим	25	15
6	Красная Горка	9	5
7	МММЗ	4,2	1,3
8	Миньяр	5	2,7
9	Юрюзань	13	8
10	Завьялиха-Лесная	15	8
11	Бакал	14	7
12	Западная	11	6
13	Сулея	20	10
14	Брусит	24	12
15	Сатка	-9,8	8,1
16	Огнеупорная	17	7
17	Ерал+Первогорская	12	6
18	Месягутово	10	5
19	Павловская	-10	-10

В таблице 2 приведен перечень линий электропередач (ЛЭП) рассматриваемой сети, с указанием их параметров, а в таблице 3 перечень трансформаторов подстанций «Приваловская» и «Кропачево».

Таблица 2 – Перечень ЛЭП

№	Наименование линии	Кол-во цепей	Марка провода	Длина линии, км
1	Кропачево-110 - Юрюзань	3	АС-240/32	34,3
2	Кропачево-110 - Юрюзань	1	АС-240/32	38,4
3	Сулея-Т - Брусит	1	АС-150/24	7,25
			АС-120/19	5
4	Сатка - Огнеупор	2	АС-185/29	7,4
5	Сатка - Западная	1	АС-150/24	3,1
			М-95	0,4
6	Сатка - Брусит	1	АС-120/19	2,3
			АС-150/24	2,55
7	Бакал - Завьял+Лесная	1	АС-150/24	30,93
8	Бакал - Западная	1	АС-150/24	3,1
			М-95	0,4
9	Юрюзань - Завьял+Лесная	2	АС-150/24	3,6
			М-95	24,1
10	Кр.Горка - Симская	1	АС-120/19	11,75
11	Кр.Горка - Павловская ГЭС	1	АС-120/19	8,17
12	МММЗ - Симская	1	АС-120/19	8,4
13	Приваловская - Огнеупор	2	АС-150/24	0,9
			М-95	0,2
14	Приваловская - Сулея-Т	2	АС-150/24	9,6
15	Приваловская - Боровая	2	АС-150/24	22,2
16	Сатка – Бакал	1	АС-150/24	18,7
			М-95	4,4
17	Бакал – Юрюзань	1	АС-150/24	3,6
			М-95	24,1
18	Месягутово – Приваловская	1	АС-240/32	43,2
19	Месягутово - Симская	2	АС-120/19	75,9
20	Приваловская-500 - Кропачево-500	3	АСО-400	12,45
			АСО-500	73,36
21	Симская - Ерал+Первогорская	2	АС-185/29	19,4
22	Ерал+Первогорская – Кропачево-110	2	АС-185/29	2,2
23	Симская – Миньяр	1	АС-120/19	14,85

Таблица 3 – Перечень трансформаторов

№	Наименование	Кол-во	Марка
1	Приваловская	2	АТДЦТН-250000 / 500 / 110
2	Кропачево	2	АТДЦТН-250000 / 500 / 110

1.2 Расчет параметров схемы замещения линии электропередач

Найдем параметры П-образной схемы замещения линии электропередач, представленной на рисунке 1.

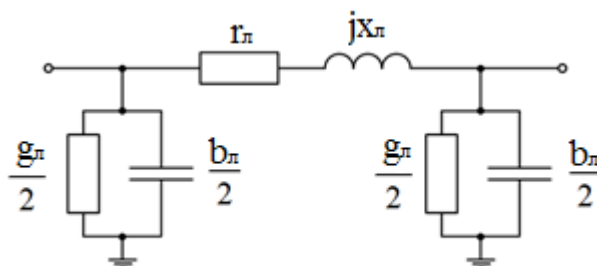


Рисунок 1 – Схема замещения ЛЭП

В схеме замещения приняты следующие обозначения параметров:

$r_{л}$ – активное сопротивление, учитывающее активную мощность, которая расходуется на нагрев провода;

$x_{л}$ – индуктивное сопротивление, учитывающее реактивную мощность, которая расходуется на создание внешнего магнитного поля вокруг проводника и магнитного поля, замыкающегося в проводе;

$g_{л}$ – активная проводимость, учитывающая потери активной мощности на корону. Так как в рассматриваемой сети с номинальным напряжением 110 (кВ) все провода имеют сечение $F \geq 70$ (мм²), то потерями на корону можно пренебречь, и исключить активную проводимость из схемы замещения;

$b_{л}$ – емкостная проводимость, учитывает наличие конденсаторов между проводами и между проводом и землей.

Рассмотрим процесс нахождения параметров схемы замещения для одного участка линии «Кропачево-110 - Юрюзань». Линия выполнена проводом АС-240/32, ее протяженность 34,3 км.

Активное сопротивление:

$$r = r_0 l, \quad (1)$$

где r_0 – погонное активное сопротивление (для АС-240/32 $r_0 = 0,118$ Ом/км [1]);

l – протяженность линии (км).

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

$$r = r_0 l = 0,118 \cdot 34,3 = 4,047 (\text{Ом});$$

Индуктивное сопротивление:

$$x = x_0 l, \quad (2)$$

где x_0 – погонное индуктивное сопротивление (для АС-240/32 $x_0=0,405$ (Ом/км) [1]);

$$x = x_0 l = 0,405 \cdot 34,3 = 13,892 (\text{Ом});$$

Емкостная проводимость:

$$b = b_0 l, \quad (3)$$

где b_0 – погонная емкостная проводимость (для АС-240/32 $b_0=2,808$ мкСм/км [1]);

$$b = b_0 l = 2,808 \cdot 10^{-6} \cdot 34,3 = 9,631 \cdot 10^{-5} \text{ См.}$$

Значения параметров схемы замещения для остальных линий рассчитываются аналогично. Результаты расчетов для каждой линии приведены в таблице 4, результаты расчета трансформаторов – в таблице 5.

Таблица 4 – Параметры ЛЭП

№	Наименование линии	Расчетные параметры		
		г, Ом	х, Ом	б, мкСм
1	Кропачево-110 – Юрюзань (1)	4,047	13,892	96,314
2	Кропачево-110 – Юрюзань (2)	4,531	15,552	107,827
3	Сулея-Т - Брусит	2,699	5,180	32,916
4	Сатка - Огнеупор	1,177	3,056	20,328
5	Сатка - Западная	0,712	1,462	9,474
6	Сатка - Брусит	0,561	0,982	6,113
7	Бакал - Завьял+Лесная	6,310	12,991	83,728
8	Бакал - Западная	3,299	6,668	44,395
9	Юрюзань - Завьял+Лесная	5,554	11,176	74,984
10	Кр.Горка - Симская	7,023	14,057	90,098
11	Кр.Горка - Павловская ГЭС	3,558	6,226	38,754
12	МММЗ - Симская	2,050	3,587	22,327
13	Приваловская - Огнеупорная	0,224	0,458	2,978
14	Приваловская - Сулея-Т	1,958	4,032	25,987

Продолжение таблицы 4

15	Приваловская - Боровая	4,529	9,324	60,095
16	Сатка – Бакал	6,135	12,506	82,022
17	Бакал – Юрюзань	5,554	11,176	74,984
18	Месягутово – Приваловская	5,098	17,496	121,306
19	Месягутово - Симская	18,52	32,409	201,742
20	Приваловская-500 – Кропачево-500	1,748	26,111	312,504
21	Симская - Ерал+Первогорская	3,085	8,012	53,292
22	Ерал+Первогорская – Кропачево-110	0,350	0,909	6,043
23	Сим – Миньяр	3,620	6,340	39,534

Таблица 5 – Параметры ветвей схемы замещения для автотрансформаторов

№	Тип трансформатора	S_{AT} ,	R_{AT} ,	X_{AT} ,	B_{AT} ,	k_{AT} ,
		MVA	Ом	Ом	мкСм	о.е.
ПС Приваловская						
АТ 1						
1	АТДЦТН-250000/500/110	250	2,73	130	5,1	0,242
АТ 2						
2	АТДЦТН-250000/500/110	250	2,73	130	5,1	0,242
ПС Кропачево						
АТ 1						
3	АТДЦТН-250000/500/110	250	2,73	130	5,1	0,242
АТ 1						
4	АТДЦТН-250000/500/110	250	2,73	130	5,1	0,242

В исходных данных для программы параметры трансформатора задаются также как параметры линии, только с коэффициентом трансформации. Коэффициент трансформации был выбран исходя из номинальных напряжений обмоток автотрансформаторов.

1.3 Расчет основных установившихся режимов работы сети

Состояние электрической сети в любой момент времени называется режимом сети и характеризуется следующими параметрами: активной и реактивной мощностями в элементах сети; частотой; напряжением у потребителя и в узловых

точках сети; величиной токов, протекающих по участкам сети; углами расхождения векторов ЭДС и напряжений; потерями мощности и падениями напряжений в элементах сети.

Задача расчета режима заключается в нахождении его параметров с целью определения условий, в которых работает оборудование сети и ее потребители. По результатам расчета оценивается экономичность работы сети, предлагаются эффективные способы снижения потерь энергии, устанавливаются уровни напряжения на подстанциях и мероприятия по поддержанию их в допустимых пределах.

Расчет данного режима (и всех последующих) был произведен в программе Rastr, которую используют ряд отечественных и зарубежных сетевых компаний. Комплекс программ Rastr предназначен для расчета и анализа установившихся режимов электрических систем. Rastr позволяет производить расчет нормального режима, заключающегося в расчете потокораспределения мощностей по ветвям схемы замещения, уровням напряжения в расчетных узлах и потерь мощности по ветвям и шунтам, утяжеление и оптимизацию режима по реактивной мощности, уровням напряжений и коэффициентам трансформации АТ с РПН на ПС, объединяющих сети разных ступеней напряжений.

В комплексе Rastr предусмотрено графическое представление всей схемы сети или отдельных ее фрагментов вместе с практически любыми рассчитываемыми и исходными параметрами. Также в комплексе включена оптимизация режима по реактивной мощности.

Для проведения расчетов режимов сети в массив входных данных программы в качестве исходных данных вводится следующая информация:

- нагрузки и генерации мощностей в узлах;
- сопротивления линий и трансформаторов;
- коэффициенты трансформации трансформаторов;
- номинальные напряжения в узлах.

Для определения состояния электрической сети ограничимся рассмотрением следующих характерных режимов:

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

максимальных нагрузок в зимние сутки, когда возникают потоки мощности связанные с наибольшим потреблением электроэнергии;

минимальных нагрузок в летние сутки;

наиболее тяжелых послеаварийных.

Расчеты представленных выше режимов произведены в программном комплексе «RastrWin3», предназначенном для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем.

1.4 Режим максимальных нагрузок

Данный режим рассчитывается для проверки технической допустимости работы элементов сети. Карта режима, рассчитанная в программном комплексе «RastrWin» приведена на рисунке 2.

Нагрузки потребителей в данном режиме приведены в таблице 1. Напряжение в балансирующем узле принимаем равным 500 кВ. Уровни напряжений в режиме максимальных нагрузок приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Уровни напряжений в сети в максимальном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	120,87	9,0%
2	Кропачево 500	500	502,17	0,4%
3	Кропачево 110	110	120,09	8,4%
4	Приваловская 110	110	119,80	8,2%
5	Боровая	110	120,24	8,5%
6	Сим	110	119,27	7,8%
7	Красная Горка	110	120,04	8,4%
8	МММЗ	110	119,16	7,7%
9	Миньяр	110	118,99	7,6%
10	Юрюзань	110	119,41	7,9%
11	Завьялиха-Лесная	110	118,80	7,4%
12	Бакал	110	118,90	7,5%
13	Западная	110	119,10	7,6%
14	Сулея	110	119,34	7,8%
15	Брусит	110	119,15	7,7%
16	Сатка	110	119,28	7,8%
17	Огнеупорная	110	119,70	8,1%

Продолжение таблицы 6

18	Ерал+Первогорская	110	119,98	8,3%
19	Месягутово	110	119,23	7,7%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Согласно ГОСТ 32144-2013 отклонения напряжения не должны превышать 10% от номинального или согласованного значения. Таким образом, напряжения в данном режиме соответствуют предъявляемым требованиям.

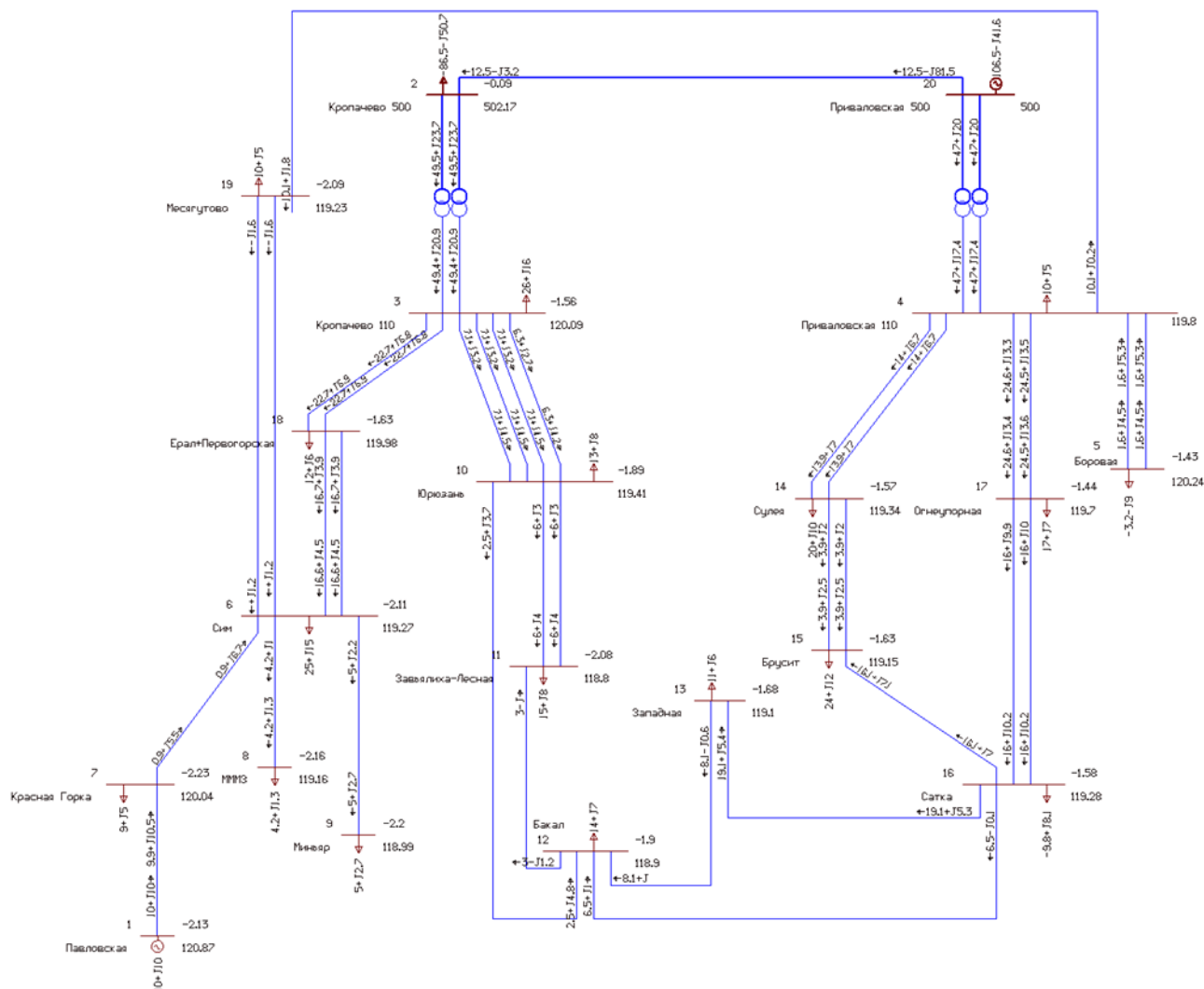


Рисунок 2 – Карта режима максимальных нагрузок сети

В таблице 7 приведена токовая загрузка линий системы в режиме максимальных нагрузок. Линии, находящиеся в эксплуатации, проверяются только по условию нагрева. Данные для многоцепных линий приведены для одной цепи. Допустимый ток для линий, состоящих из нескольких марок проводов, приведен для участка линии с минимальным сечением.

Таблица 7 – Токовая загрузка ЛЭП в максимальном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	16	450	3,5
2	Бакал - Западная	39	450	8,7
3	Бакал - Юрюзань	26	450	5,8
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	114	510	22,4
5	Ерал+Первогорская - Сим	82	510	16,3
6	Красная Горка - Павловская	69	390	17,8
7	Красная Горка - Сим	27	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	37	610	6,6
9	Месягутово - Приваловская 110	50	610	8,1
10	Месягутово - Сим	8	390	2,0
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	27	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	135	450	30,0
14	Приваловская 110 - Сулея	75	450	16,8
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	95	825	11,5
16	Сатка - Бакал	32	450	7,1
17	Сатка - Брусит	85	390	21,9
18	Сатка - Западная	96	450	21,4
19	Сатка - Огнеупорная	92	510	18,0
20	Сим - Миньяр	26	390	7,1
21	Сулея - Брусит	21	390	5,8
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	32	450	7,8

Из таблицы 7 видно, что в максимальном режиме перегруженных линий нет и все линии имеют большой запас по току.

Таблица 8 – Загрузка автотрансформаторов в режиме существующей сети с существующими нагрузками

№	Тип трансформатора	I, А	I _{доп} , А	Загрузка, %
ПС Приваловская				
АТ 1				
1	АТДЦТН-250000/500/110	59	288	20,5
АТ 2				
2	АТДЦТН-250000/500/110	59	288	20,5
ПС Кропачево				
АТ 1				
3	АТДЦТН-250000/500/110	63	288	21,9
АТ 2				
4	АТДЦТН-250000/500/110	63	288	21,9

При заданных допустимых токах программа рассчитывает загрузку автотрансформаторов в процентах.

Анализируя по таблице 8 загрузку автотрансформаторов в этом режиме видим, что перегруженных автотрансформаторов нет.

1.5 Анализ потерь в исходном максимальном режиме

Потери в линии также рассчитаны в программном комплексе «RastrWin». Они включают в себя нагрузочные потери в ЛЭП и трансформаторах, суммарные постоянные потери, потери на корону в ЛЭП, потери холостого хода в трансформаторах.

Таблица 9 – потери в линиях в исходном максимальном режиме

№	Наименование линии	Потери	
		ΔP, МВт	ΔQ, Мвар
1	Кропачево 110 - Юрюзань	0,08	0,24
2	Сулея - Брусит	0,00	0,02
3	Сатка - Огнеупорная	0,06	0,16
4	Сатка - Западная	0,02	0,04
5	Сатка - Брусит	0,01	0,02
6	Бакал - Завьялиха-Лесная	0,00	0,01
7	Бакал - Западная	0,02	0,03
8	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	0,04	0,08
9	Красная Горка - Сим	0,02	0,04
10	Красная Горка - Павловская	0,05	0,09
11	МММЗ - Сим	0,00	0,00
12	Приваловская 110 - Огнеупорная	0,02	0,05
13	Приваловская 110 - Сулея	0,06	0,14
14	Приваловская 110 - Боровая	0,02	0,04
15	Сатка - Бакал	0,02	0,04
16	Бакал - Юрюзань	0,01	0,02
17	Месягутово - Приваловская 110	0,04	0,13
18	Месягутово - Сим	0,00	0,00
19	Приваловская 500 - Кропачево 500	0,01	0,20
20	Ерал+Первогорская - Сим	0,12	0,32
21	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	0,02	0,08
22	Сим - Миньяр	0,01	0,01
Итого:		3,95	0,63

Таблица 10 – потери в автотрансформаторах в исходном максимальном режиме

№	Трансформатор	Потери	
		ΔP , МВт	ΔQ , Мвар
ПС Приваловская			
1	АТ 1	0,03	1,33
2	АТ 2	0,03	1,33
ПС Кропачево			
3	АТ 1	0,03	1,52
4	АТ 2	0,03	1,52
Итого:		0,12	5,70

Таким образом, в сумме потери в рассматриваемой сети составляют $0,75 + j7,46$ МВА.

Анализируя данные таблиц 6 - 8 видно, что ветви расчетной схемы замещения, представляющие реальные ЛЭП, не перегружены по длительно допустимому току на нагрев. Уровни напряжений в расчетных узлах схемы замещения, представляющие реальные шины 110-500 кВ электростанций и подстанций также находятся в допустимых пределах. Наиболее загруженной оказалась ВЛ 110 кВ «Приваловская - Огнеупорная», ее загрузка составила 30 %. Максимальное отклонение напряжения узлах нагрузки сети 110 кВ 8,5% на системе шин 110 кВ ПС «Боровая».

1.6 Режим минимальных нагрузок

Данный режим рассчитывается для проверки уровней напряжений в сети и соответствия их стандарту. В летний период происходит снижение нагрузок потребителей и, следовательно, увеличение уровней напряжения в узлах сети. Это может привести к перекрытию изоляции, а значит и к авариям в сети. В качестве нагрузок, соответствующих минимальному режиму, приняты $S_{н.мин} = 0,7 S_{н.макс}$. Напряжение в балансирующем узле принимаем равным 490 кВ. Карта режима минимальных нагрузок представлена на рисунке 3.

В таблице 11 приведены значения нагрузок в минимальном режиме.

Таблица 11 – Значения нагрузок в узлах сети в исходном минимальном режиме

№	Диспетчерское наименование	P, МВт	Q, Мвар
1	Кропачево 500 кВ	-60,55	-35,49
2	Кропачево 110 кВ	18,20	11,20
3	Приваловская 110 кВ	7,00	3,50
4	Боровая	-2,24	-6,30
5	Сим	17,50	10,50
6	Красная Горка	6,30	3,50
7	МММЗ	2,94	0,91
8	Миньяр	3,50	1,89
9	Юрюзань	9,10	5,60
10	Завьял-Лесная	10,50	5,60
11	Бакал	9,80	4,90
12	Западная	7,70	4,20
13	Сулея	14,00	7,00
14	Брусит	16,80	8,40
15	Сатка	-6,86	5,67
16	Огнеупорная	11,90	4,90
17	Ерал+Первогорская	8,40	4,20
18	Месягутово	7,00	3,50

В таблице 12 приведены уровни напряжений в сети в режиме минимальных нагрузок.

Таблица 12 – Уровни напряжений в сети в минимальном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	119,88	8,2%
2	Кропачево 500	500	492,40	-1,5%
3	Кропачево 110	110	118,33	7,0%
4	Приваловская 110	110	117,91	6,7%
5	Боровая	110	118,23	7,0%
6	Сим	110	117,94	6,7%
7	Красная Горка	110	119,05	7,6%
8	МММЗ	110	117,87	6,7%
9	Миньяр	110	117,75	6,6%
10	Юрюзань	110	117,85	6,7%
11	Завьялиха-Лесная	110	117,41	6,3%
12	Бакал	110	117,40	6,3%
13	Западная	110	117,47	6,4%
14	Сулея	110	117,59	6,5%
15	Брусит	110	117,48	6,4%
16	Сатка	110	117,57	6,4%

Продолжение таблицы 12

17	Огнеупорная	110	117,84	6,7%
18	Ерал+Первогорская	110	118,27	7,0%
19	Месягутово	110	117,78	6,6%
20	Приваловская 500	490	490,00	

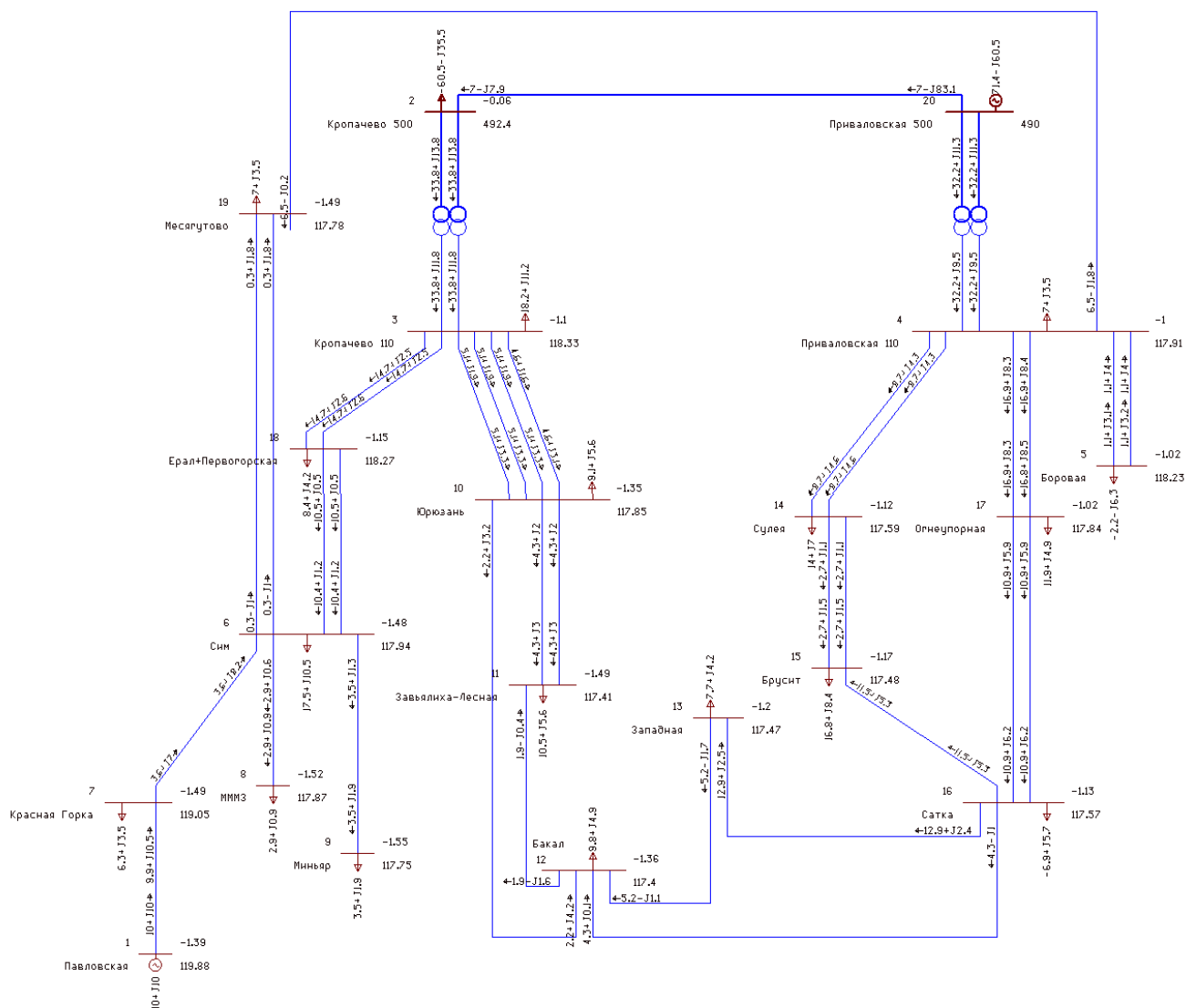


Рисунок 3 – Карта режима минимальных нагрузок сети

Токовая нагрузка сети в режиме минимальных нагрузок приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Токовая нагрузка ЛЭП в минимальном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{Доп} , А	к _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	12	450	2,7
2	Бакал - Западная	26	450	6,0

Продолжение таблицы 13

3	Бакал - Юрюзань	23	450	5,2
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	73	510	14,3
5	Ерал+Первогорская - Сим	51	510	10,1
6	Красная Горка - Павловская	70	390	18,0
7	Красная Горка - Сим	38	390	11,2
8	Кропачево 110 - Юрюзань	27	610	4,9
9	Месягутово - Приваловская 110	32	610	5,4
10	Месягутово - Сим	9	390	2,3
11	МММЗ - Сим	15	390	3,9
12	Приваловская 110 - Боровая	20	450	4,5
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	92	450	20,5
14	Приваловская 110 - Сулея	52	450	11,7
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	98	825	11,9
16	Сатка - Бакал	22	450	4,8
17	Сатка - Брусит	62	390	16,0
18	Сатка - Западная	65	450	14,4
19	Сатка - Огнеупорная	62	510	12,1
20	Сим - Миньяр	18	390	5,0
21	Сулея - Брусит	14	390	3,9
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	23	450	5,8

Таблица 14 – Загрузка автотрансформаторов существующей сети в режиме минимальных нагрузок

№	Тип трансформатора	I, А	I _{доп} , А	Загрузка, %
ПС Приваловская				
АТ 1				
1	АТДЦТН-250000/500/110	40	288	14,0
АТ 2				
2	АТДЦТН-250000/500/110	40	288	14,0
ПС Кропачево				
АТ 1				
3	АТДЦТН-250000/500/110	43	288	14,9
АТ 2				
4	АТДЦТН-250000/500/110	43	288	14,9

Анализируя по таблице 14 загрузку автотрансформаторов в этом режиме видим, что перегруженных автотрансформаторов нет.

Токовая загрузка в режиме минимальных нагрузок находится в допустимых пределах. Учитывая и то, что отклонение напряжения в узлах рассматриваемой

					<i>Лист</i>
					23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР

сети не превышает 10%, можно сделать вывод, что данный режим работы удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электрическим сетям высокого напряжения.

1.7 Послеаварийные режимы

В данном случае, как и для режима максимальных нагрузок, расчет проводится для проверки оборудования на нагрев. По нормам проектирования рассматривается одновременно в сети лишь одна авария.

Первый послеаварийный режим

В первом случае в качестве послеаварийного режима рассмотрим режим, в котором отключена линия «Сатка – Западная». В таблице 15 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 4.

Таблица 15 – Уровни напряжений в сети в I послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	120,73	8,9%
2	Кропачево 500	500	501,97	0,4%
3	Кропачево 110	110	119,93	8,3%
4	Приваловская 110	110	119,88	8,2%
5	Боровая	110	120,33	8,6%
6	Сим	110	119,13	7,7%
7	Красная Горка	110	119,91	8,3%
8	МММЗ	110	119,03	7,6%
9	Миньяр	110	118,85	7,4%
10	Юрюзань	110	119,09	7,6%
11	Завьялиха-Лесная	110	118,36	7,1%
12	Бакал	110	118,17	6,9%
13	Западная	110	117,54	6,4%
14	Сулея	110	119,45	7,9%
15	Брусит	110	119,29	7,8%
16	Сатка	110	119,44	7,9%
17	Огнеупорная	110	119,80	8,2%
18	Ерал+Первогорская	110	119,82	8,2%
19	Месягутово	110	119,23	7,7%
20	Приваловская 500	500	500,00	

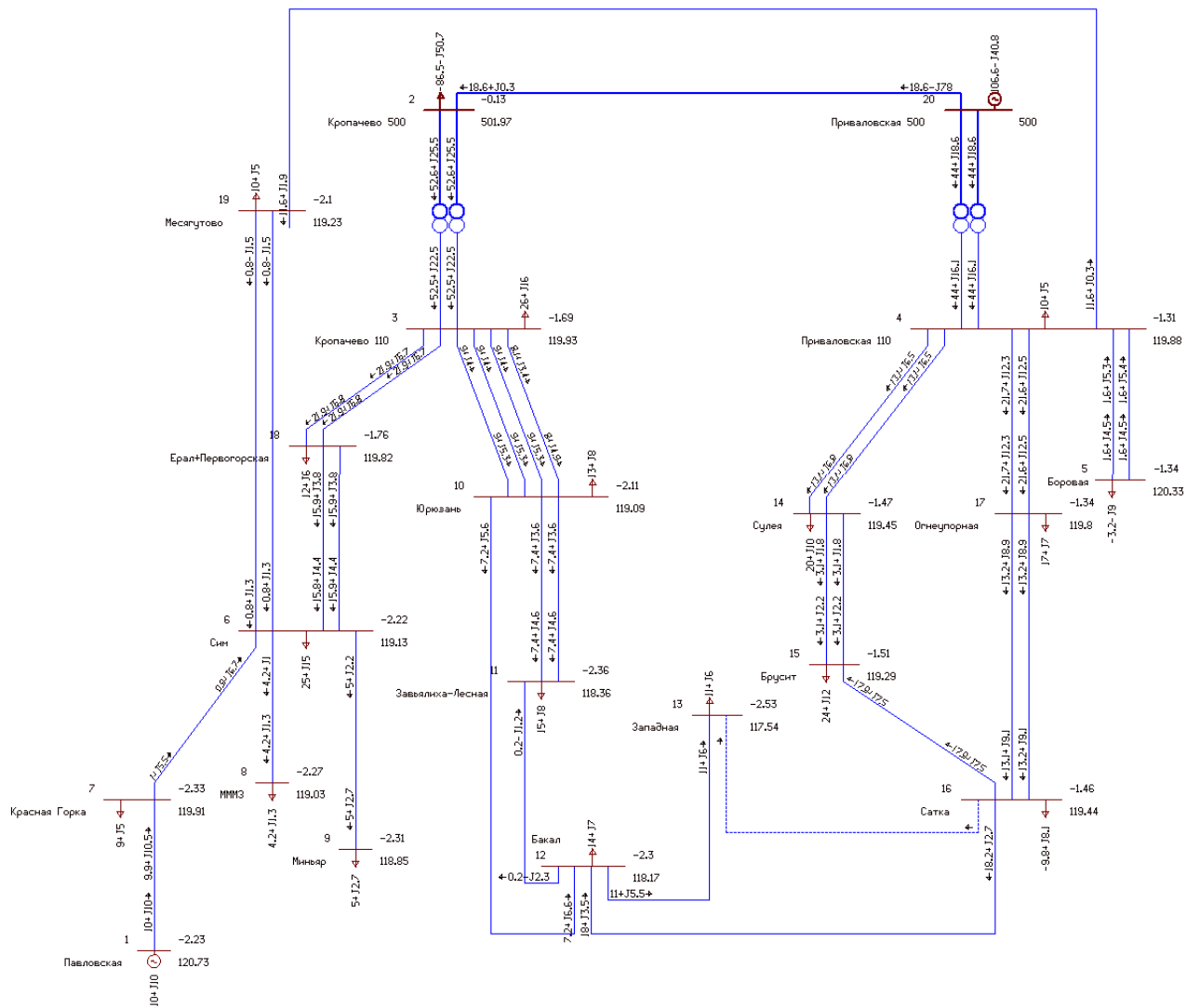


Рисунок 4 – Карта I послеаварийного режима сети с существующими нагрузками

Токовая нагрузка сети в I послеаварийном режиме приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Токовая нагрузка в I послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	K _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	6	450	2,5
2	Бакал - Западная	62	450	13,7
3	Бакал - Юрюзань	44	450	10,6
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	110	510	21,7
5	Ерал+Первогорская - Сим	80	510	15,6
6	Красная Горка - Павловская	68	390	17,8
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	51	610	8,3
9	Месягутово - Приваловская 110	56	610	9,3
10	Месягутово - Сим	7	390	2,2
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5

Продолжение таблицы 16

12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	120	450	26,7
14	Приваловская 110 - Сулея	71	450	15,8
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	21	825	11,2
16	Сатка - Бакал	90	450	20,0
17	Сатка - Брусит	94	390	24,1
18	Сатка - Западная	-	450	-
19	Сатка - Огнеупорная	77	510	15,2
20	Сим - Миньяр	28	390	7,1
21	Сулея - Брусит	18	390	4,7
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	42	450	9,4

Токи и напряжения в I послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах.

Второй послеаварийный режим

Во втором послеаварийном режиме линия «Сатка – Бакал» находится не в работе. Карта режима представлена на рисунке 5.

Таблица 17 – Уровни напряжений в сети в II послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	120,83	9,0%
2	Кропачево 500	500	502,12	0,4%
3	Кропачево 110	110	120,05	8,4%
4	Приваловская 110	110	119,79	8,2%
5	Боровая	110	120,23	8,5%
6	Сим	110	119,23	7,7%
7	Красная Горка	110	120,00	8,3%
8	МММЗ	110	119,12	7,7%
9	Миньяр	110	118,95	7,5%
10	Юрюзань	110	119,33	7,8%
11	Завьялиха-Лесная	110	118,69	7,3%
12	Бакал	110	118,71	7,3%
13	Западная	110	119,07	7,6%
14	Сулея	110	119,33	7,8%
15	Брусит	110	119,14	7,7%
16	Сатка	110	119,28	7,8%
17	Огнеупорная	110	119,69	8,1%
18	Ерал+Первогорская	110	119,93	8,3%

Продолжение таблицы 17

19	Месягутово	110	119,21	7,7%
20	Приваловская 500	500	500,00	

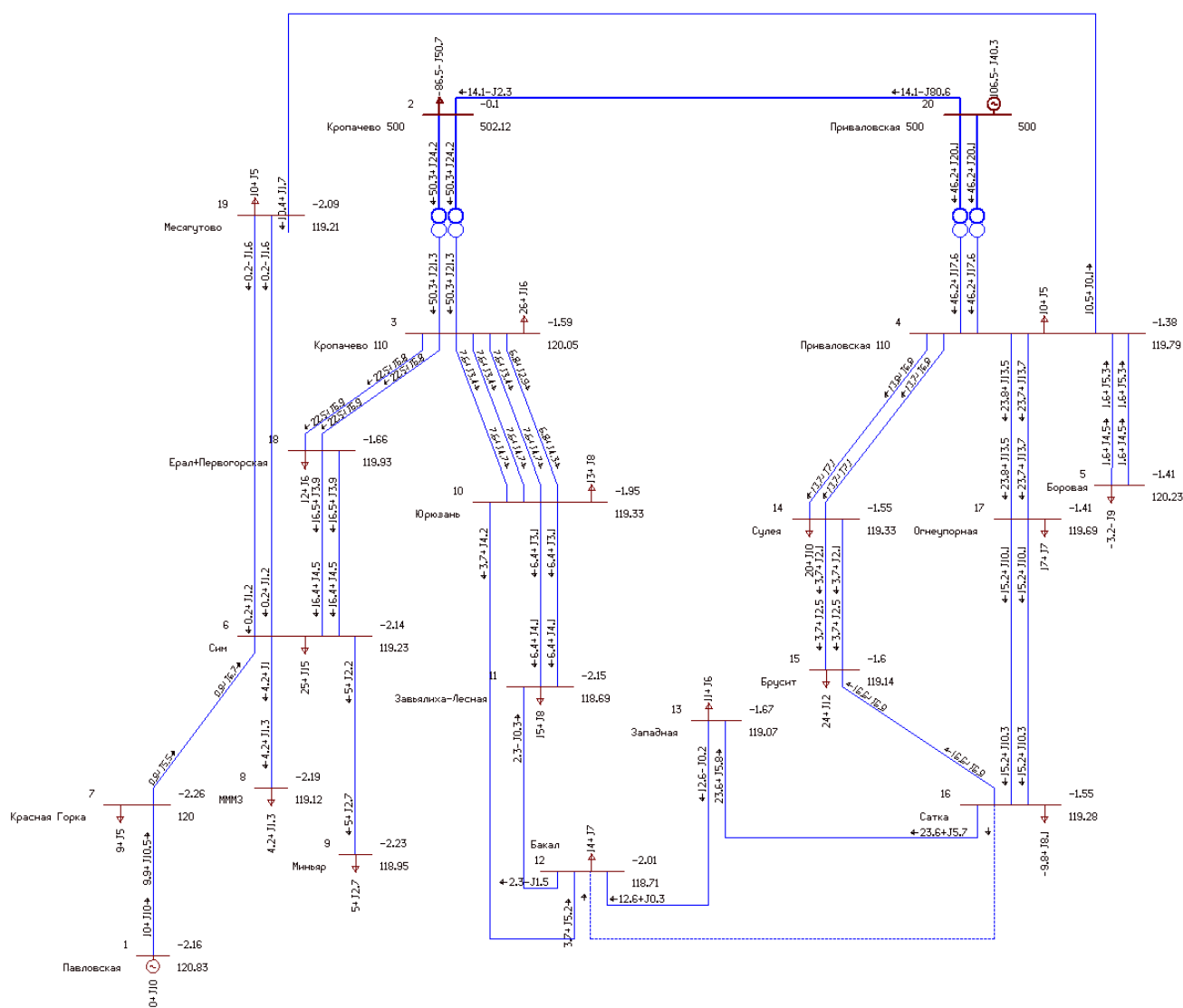


Рисунок 5 – Карта II послеаварийного режима сети с существующими нагрузками

Токовая нагрузка сети в II послеаварийном режиме приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Токовая нагрузка в II послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	к _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	11	450	2,9
2	Бакал - Западная	61	450	13,6
3	Бакал - Юрюзень	27	450	6,9
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	113	510	22,2

Продолжение таблицы 18

5	Ерал+Первогорская - Сим	82	510	16,2
6	Красная Горка - Павловская	68	390	17,8
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	43	610	7,1
9	Месягутово - Приваловская 110	51	610	8,4
10	Месягутово - Сим	6	390	2,1
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	132	450	29,3
14	Приваловская 110 - Сулея	75	450	16,6
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	16	825	11,4
16	Сатка - Бакал	-	450	-
17	Сатка - Брусит	87	390	22,3
18	Сатка - Западная	118	450	26,2
19	Сатка - Огнеупорная	88	510	17,5
20	Сим - Миньяр	28	390	7,1
21	Сулея - Брусит	22	390	5,6
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	37	450	8,2

Токи и напряжения в II послеаварийном режиме также в допустимых пределах.

Третий послеаварийный режим

В качестве третьего послеаварийного режима рассматривается режим с отключенной линией «Бакал – Западная». В таблице 19 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 6.

Таблица 19 – Уровни напряжений в сети в III послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	120,83	9,0%
2	Кропачево 500	500	502,12	0,4%
3	Кропачево 110	110	120,06	8,4%
4	Приваловская 110	110	119,80	8,2%
5	Боровая	110	120,24	8,5%
6	Сим	110	119,24	7,7%
7	Красная Горка	110	120,01	8,3%
8	МММЗ	110	119,13	7,7%
9	Миньяр	110	118,96	7,5%
10	Юрюзань	110	119,33	7,8%

Продолжение таблицы 19

11	Завьялиха-Лесная	110	118,69	7,3%
12	Бакал	110	118,70	7,3%
13	Западная	110	119,16	7,7%
14	Сулея	110	119,34	7,8%
15	Брусит	110	119,16	7,7%
16	Сатка	110	119,30	7,8%
17	Огнеупорная	110	119,70	8,1%
18	Ерал+Первогорская	110	119,94	8,3%
19	Месягутово	110	119,22	7,7%
20	Приваловская 500	500	500,00	

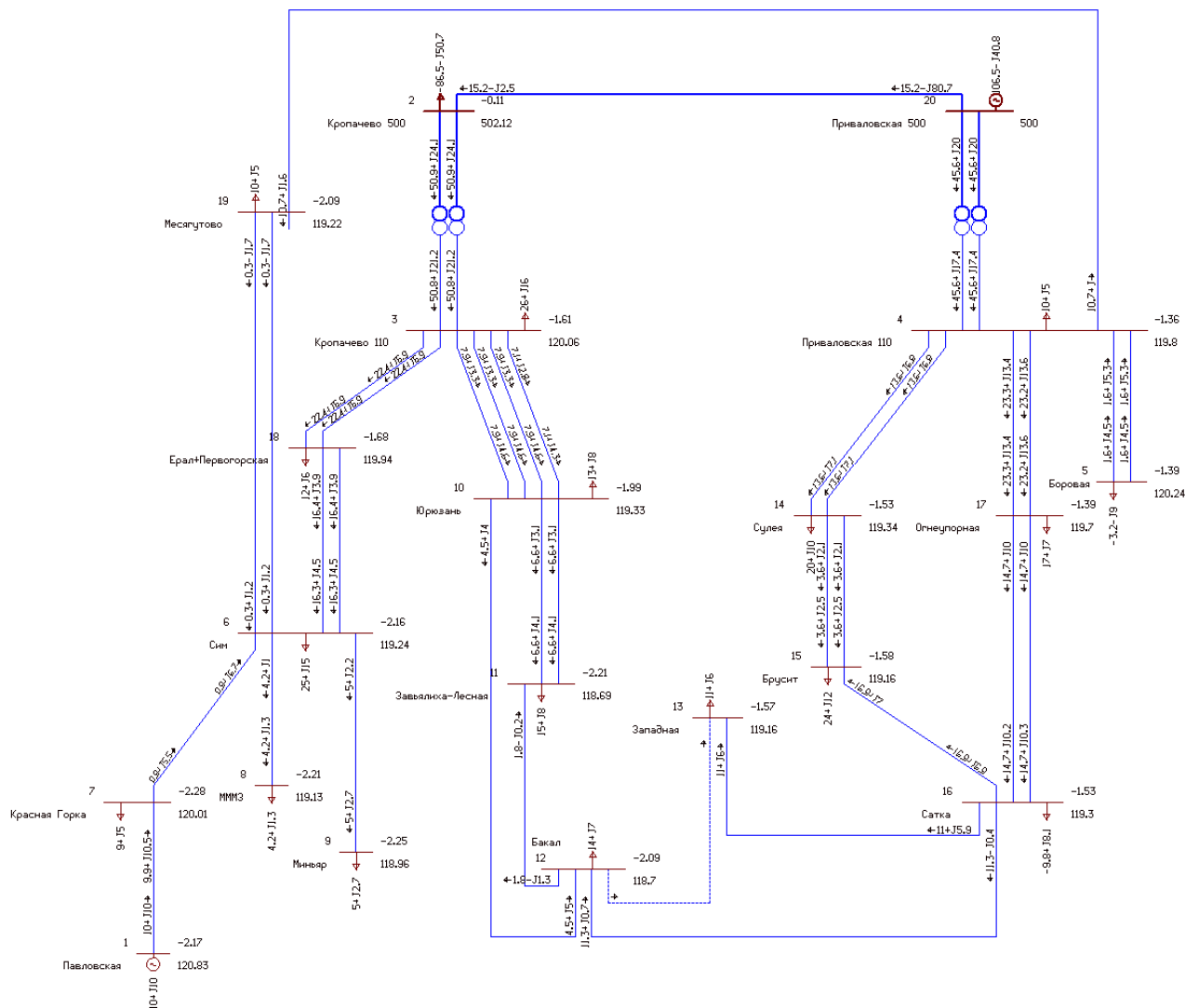


Рисунок 6 – Карта III послеаварийного режима сети с существующими нагрузками

Токовая загрузка сети в III послеаварийном режиме приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Токовая загрузка в III послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	9	450	2,4
2	Бакал - Западная	-	450	-
3	Бакал - Юрюзань	29	450	7,3
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	113	510	22,1
5	Ерал+Первогорская - Сим	82	510	16,1
6	Красная Горка - Павловская	68	390	17,8
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	44	610	7,3
9	Месягутово - Приваловская 110	52	610	8,6
10	Месягутово - Сим	6	390	2,1
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	130	450	28,8
14	Приваловская 110 - Сулея	74	450	16,4
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	18	825	11,5
16	Сатка - Бакал	55	450	12,2
17	Сатка - Брусит	88	390	22,7
18	Сатка - Западная	61	450	13,5
19	Сатка - Огнеупорная	86	510	17,0
20	Сим - Миньяр	28	390	7,1
21	Сулея - Брусит	21	390	5,4
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	38	450	8,4

Токовая загрузка линий и отклонение напряжения в узлах в данном послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах. Следовательно, можно сделать вывод, что данный режим допустим в период выполнения ремонтных работ.

Четвертый послеаварийный режим

В качестве четвертого послеаварийного режима рассматривается режим с отключенной одной из двух линий «Приваловская – Огнеупорная». В таблице 21 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 7.

Таблица 21 – Уровни напряжений в сети в IV послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	120,86	9,0%
2	Кропачево 500	500	502,16	0,4%
3	Кропачево 110	110	120,08	8,4%
4	Приваловская 110	110	119,80	8,2%
5	Боровая	110	120,24	8,5%
6	Сим	110	119,26	7,8%
7	Красная Горка	110	120,03	8,4%
8	МММЗ	110	119,15	7,7%
9	Миньяр	110	118,98	7,5%
10	Юрюзань	110	119,39	7,9%
11	Завьялиха-Лесная	110	118,77	7,4%
12	Бакал	110	118,85	7,4%
13	Западная	110	119,04	7,6%
14	Сулея	110	119,32	7,8%
15	Брусит	110	119,10	7,6%
16	Сатка	110	119,22	7,7%
17	Огнеупорная	110	119,62	8,0%
18	Ерал+Первогорская	110	119,96	8,3%
19	Месягутово	110	119,22	7,7%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Токовая загрузка сети в IV послеаварийном режиме приведена в таблице 23.

Таблица 22 – Токовая загрузка в IV послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	14	450	3,4
2	Бакал - Западная	38	450	8,5
3	Бакал - Юрюзань	23	450	6,0
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	114	510	22,3
5	Ерал+Первогорская - Сим	83	510	16,3
6	Красная Горка - Павловская	68	390	17,8
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	41	610	6,7
9	Месягутово - Приваловская 110	49	610	8,2
10	Месягутово - Сим	6	390	2,0
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	260	450	57,8
14	Приваловская 110 - Сулея	79	450	17,6
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	15	825	11,5

Продолжение таблицы 22

16	Сатка - Бакал	31	450	7,0
17	Сатка - Брусит	78	390	19,9
18	Сатка - Западная	95	450	21,1
19	Сатка - Огнеупорная	86	510	17,1
20	Сим - Миньяр	28	390	7,1
21	Сулея - Брусит	26	390	6,8
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	35	450	7,9

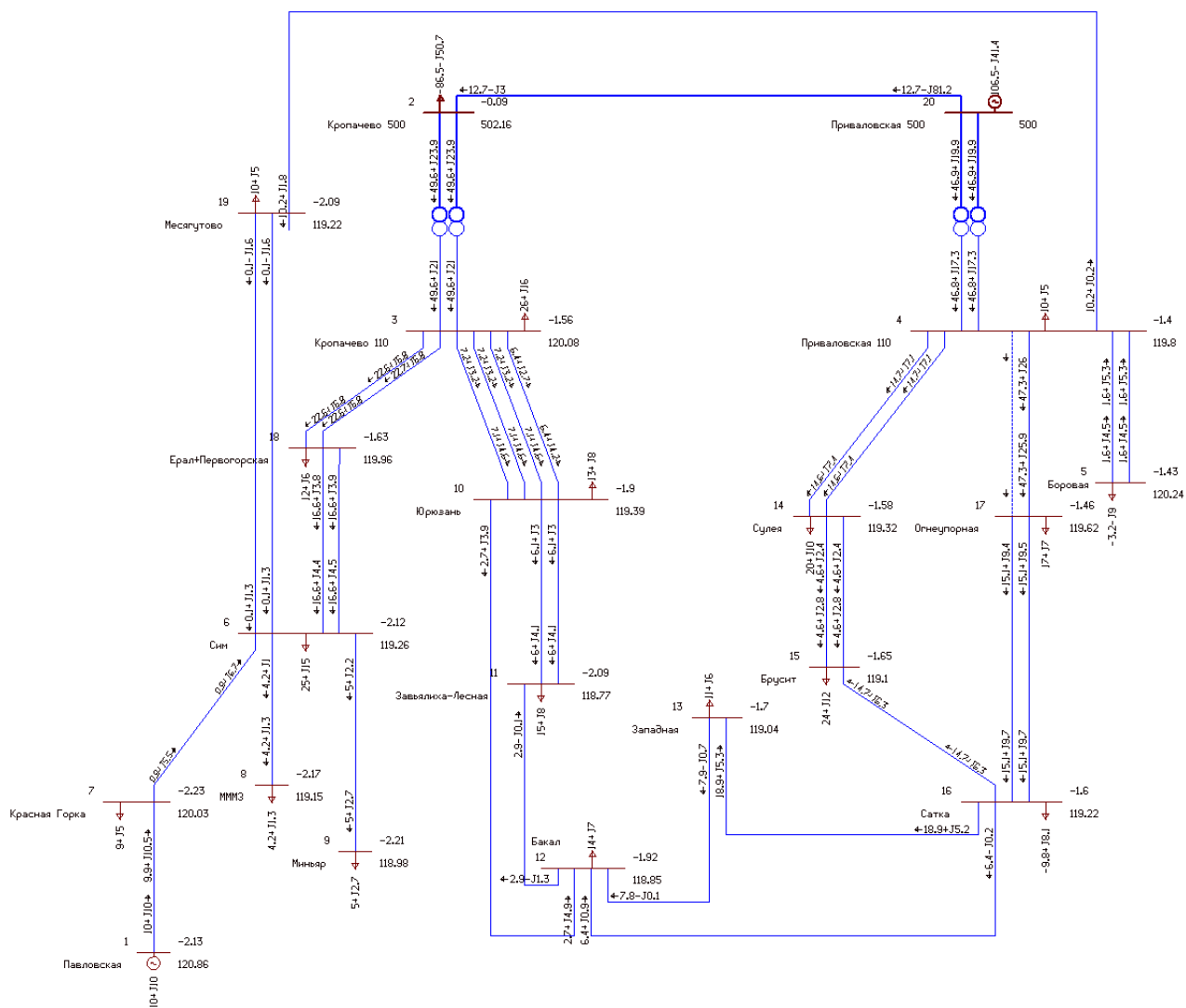


Рисунок 7 – Карта IV послеаварийного режима сети с существующими нагрузками

Узловые напряжения и токи в ветвях во всех четырех наиболее опасных послеаварийных режимах данной электрической сети находятся в пределах нормы. Можно сделать вывод о допустимости всех режимов исходной электрической сети.

1.8 Выводы по разделу

Рассчитаны параметры и режимы нормальных и наиболее опасных послеаварийных режимов существующей электрической сети.

Анализ загрузки ВЛ 110-500 кВ, АТ-220/110 кВ с существующими параметрами сети и нагрузками 110-500 кВ энергоузла показал, что относительная нагрузка ВЛ 110 кВ в нормальных и послеаварийных режимах составляет не более 30%, за исключением ВЛ 110 кВ «Приваловская – Огнеупорная» при работе только одной из двух цепей, тогда ее нагрузка 57,8%, что, в целом, является приемлемой величиной. АТ 500/110 загружены не более чем на 22%.

Уровни напряжений на ПС 220 и 500 кВ завышены, однако остаются в пределах нормированных допустимых значений $\pm 10\%$ в сети 110 кВ и $\pm 5\%$ в сети 500 кВ.

Проведенный анализ режимов сети выявил, что в реконструкции электрической сети с существующей нагрузкой нет необходимости.

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

2 АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СЕТИ ПРИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАГРУЗКАХ

В предыдущей главе проанализированы различные режимы исходной сети. В результате установлено, что режимные параметры во всех случаях соответствуют предъявляемым к ним требованиям и проведение каких - либо реконструкций не требуется.

В перспективе в г. Бакал принято решение о строительстве нового завода. Нагрузка в узле Бакал возрастет на $116 + j58$ МВА и в сумме составит $130 + j65$ МВА. Выполним анализ режимов сети при появлении этой нагрузки.

2.1 Перспективные нагрузки сети

В таблице 23 приведены прогнозируемые нагрузки потребителей рассматриваемой сети в максимальном режиме.

Таблица 23 – Нагрузки перспективной сети

№	Диспетчерское наименование	P, МВт	Q, Мвар
1	Кропачево 500	-86,5	-50,7
2	Кропачево 110	26	16
3	Приваловская 110	10	5
4	Боровая	-3,2	-9
5	Сим	25	15
6	Красная Горка	9	5
7	МММЗ	4,2	1,3
8	Миньяр	5	2,7
9	Юрюзань	13	8
10	Завьялиха-Лесная	15	8
11	Бакал	130	65
12	Западная	11	6
13	Сулея	20	10
14	Брусит	24	12
15	Сатка	-9,8	8,1
16	Огнеупорная	17	7
17	Ерал+Первогорская	12	6
18	Месягутово	10	5

2.2 Расчет основных установившихся режимов работы сети

Проведем исследование режимов электрической сети с перспективными нагрузками в узле «Бакал»: максимальных и минимальных нагрузок, и четырех ранее рассматриваемых наиболее опасных послеаварийных, и проверим их на соответствие предъявляемым требованиям. Нагрузки потребителей в данном режиме приведены в таблице 24.

Режим максимальных нагрузок

Напряжение в балансирующем узле принимаем равным 500 кВ. Уровни напряжений в режиме максимальных нагрузок приведены в таблице 23. Карта режима представлена на рисунке 8.

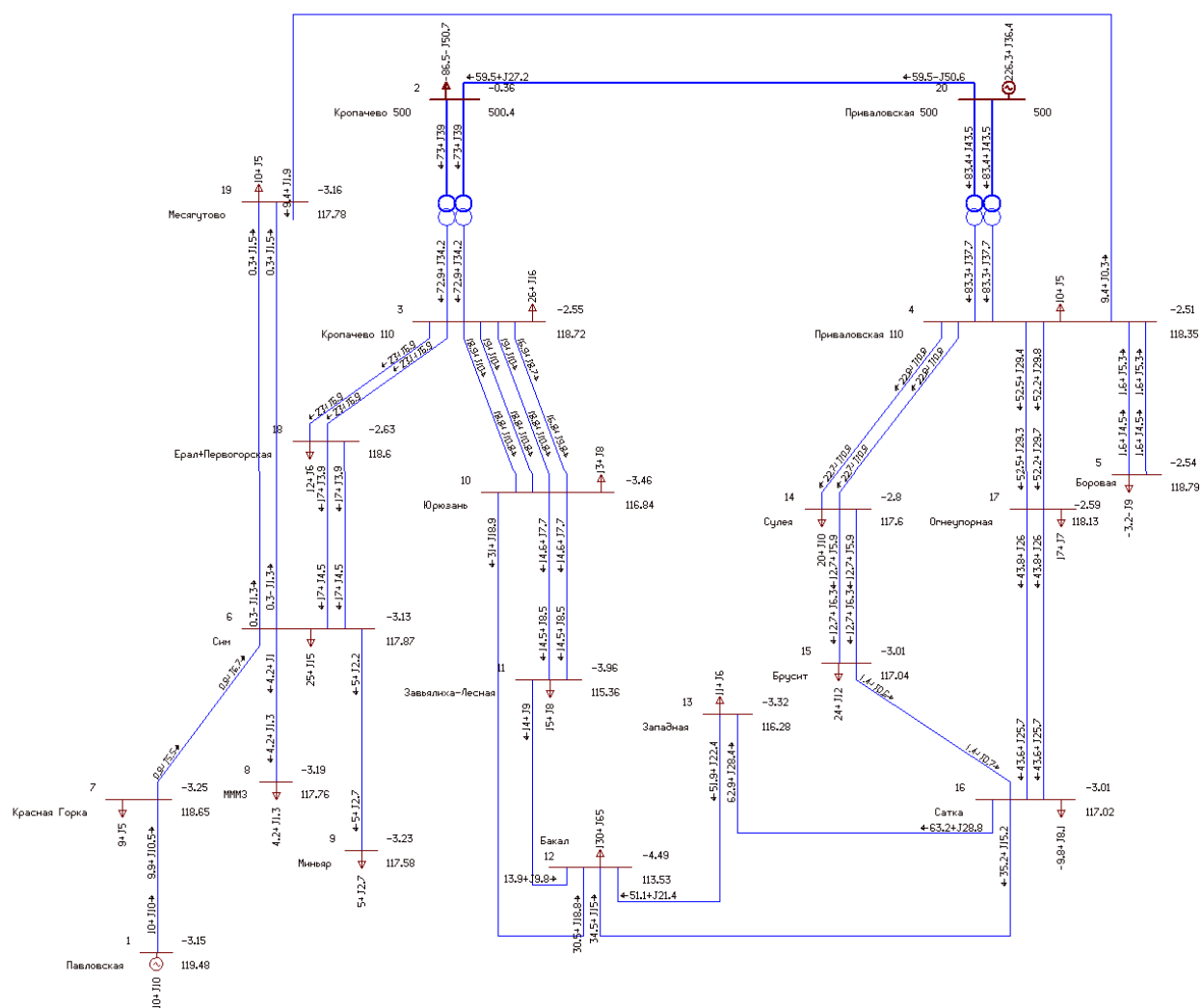


Рисунок 8 – Карта режима сети с перспективными нагрузками в узле Бакал

Таблица 24 – Уровни напряжений в сети в максимальном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	119,48	7,9%
2	Кропачево 500	500	500,40	0,1%
3	Кропачево 110	110	118,72	7,3%
4	Приваловская 110	110	118,35	7,1%
5	Боровая	110	118,79	7,4%
6	Сим	110	117,87	6,7%
7	Красная Горка	110	118,65	7,3%
8	МММЗ	110	117,76	6,6%
9	Миньяр	110	117,58	6,4%
10	Юрюзань	110	116,84	5,9%
11	Завьялиха-Лесная	110	115,36	4,6%
12	Бакал	110	113,53	3,1%
13	Западная	110	116,28	5,4%
14	Сулея	110	117,60	6,5%
15	Брусит	110	117,04	6,0%
16	Сатка	110	117,02	6,0%
17	Огнеупорная	110	118,13	6,9%
18	Ерал+Первогорская	110	118,60	7,3%
19	Месягутово	110	117,78	6,6%
20	Приваловская 500	500	500,00	

В таблице 25 приведена токовая нагрузка линий системы в режиме максимальных нагрузок. Допустимый ток для линий, состоящих из нескольких марок проводов, приведен для участка линии с минимальным сечением.

Таблица 25 – Токовая нагрузка ЛЭП в максимальном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	86	450	19,2
2	Бакал - Западная	282	450	62,7
3	Бакал - Юрюзань	182	450	40,5
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	117	510	23,0
5	Ерал+Первогорская - Сим	85	510	16,8
6	Красная Горка - Павловская	70	390	18,0
7	Красная Горка - Сим	27	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	104	610	17,6
9	Месягутово - Приваловская 110	47	610	7,7
10	Месягутово - Сим	8	390	2,0
11	МММЗ - Сим	22	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	27	450	6,0

Продолжение таблицы 25

13	Приваловская 110 - Огнеупорная	293	450	65,2
14	Приваловская 110 - Сулея	123	450	27,5
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	90	825	10,9
16	Сатка - Бакал	189	450	42,5
17	Сатка - Брусит	8	390	1,9
18	Сатка - Западная	343	450	76,2
19	Сатка - Огнеупорная	250	510	49,0
20	Сим - Миньяр	27	390	7,2
21	Сулея - Брусит	69	390	17,9
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	82	450	18,7

Из таблицы 25 видно, что все линии в максимальном режиме имеют большой запас по току, кроме двухцепной ЛЭП «Приваловская 110 – Огнеупорная» и одноцепной ЛЭП «Сатка – Западная».

Таблица 26 – Загрузка автотрансформаторов в режиме существующей сети с существующими нагрузками

№	Тип трансформатора	I, А	I _{доп} , А	Загрузка, %
ПС Приваловская				
АТ 1				
1	АТДЦТН-250000/500/110	109	288	37,7
АТ 2				
2	АТДЦТН-250000/500/110	109	288	37,7
ПС Кропачево				
АТ 1				
3	АТДЦТН-250000/500/110	95	288	33,2
АТ 2				
4	АТДЦТН-250000/500/110	95	288	33,2

Анализируя по таблице 26 загрузку автотрансформаторов в этом режиме видим, что перегруженных автотрансформаторов нет.

Режим минимальных нагрузок

В таблице 27 приведены значения нагрузок в минимальном режиме. Карта режима представлена на рисунке 9.

Таблица 27 – Значения нагрузок в узлах сети в перспективном режиме минимальных нагрузок

№	Диспетчерское наименование	P, МВт	Q, Мвар
1	Кропачево 500 кВ	-60,55	-35,49
2	Кропачево 110 кВ	18,20	11,20
3	Приваловская 110 кВ	7,00	3,50
4	Боровая	-2,24	-6,30
5	Сим	17,50	10,50
6	Красная Горка	6,30	3,50
7	МММЗ	2,94	0,91
8	Миньяр	3,50	1,89
9	Юрюзань	9,10	5,60
10	Завьял-Лесная	10,50	5,60
11	Бакал	91,00	45,50
12	Западная	7,70	4,20
13	Сулея	14,00	7,00
14	Брусит	16,80	8,40
15	Сатка	-6,86	5,67
16	Огнеупорная	11,90	4,90
17	Ерал+Первогорская	8,40	4,20
18	Месягутово	7,00	3,50

В таблице 28 приведены уровни напряжений в сети в режиме минимальных нагрузок.

Таблица 28 – Уровни напряжений в сети в минимальном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	118,97	7,5%
2	Кропачево 500	500	491,23	-1,8%
3	Кропачево 110	110	117,42	6,3%
4	Приваловская 110	110	116,94	5,9%
5	Боровая	110	117,26	6,2%
6	Сим	110	117,01	6,0%
7	Красная Горка	110	118,13	6,9%
8	МММЗ	110	116,94	5,9%
9	Миньяр	110	116,82	5,8%
10	Юрюзань	110	116,12	5,3%
11	Завьялиха-Лесная	110	115,07	4,4%
12	Бакал	110	113,71	3,3%
13	Западная	110	115,55	4,8%
14	Сулея	110	116,43	5,5%

Продолжение таблицы 28

15	Брусит	110	116,05	5,2%
16	Сатка	110	116,05	5,2%
17	Огнеупорная	110	116,79	5,8%
18	Ерал+Первогорская	110	117,35	6,3%
19	Месягутово	110	116,81	5,8%
20	Приваловская 500	490	490,00	

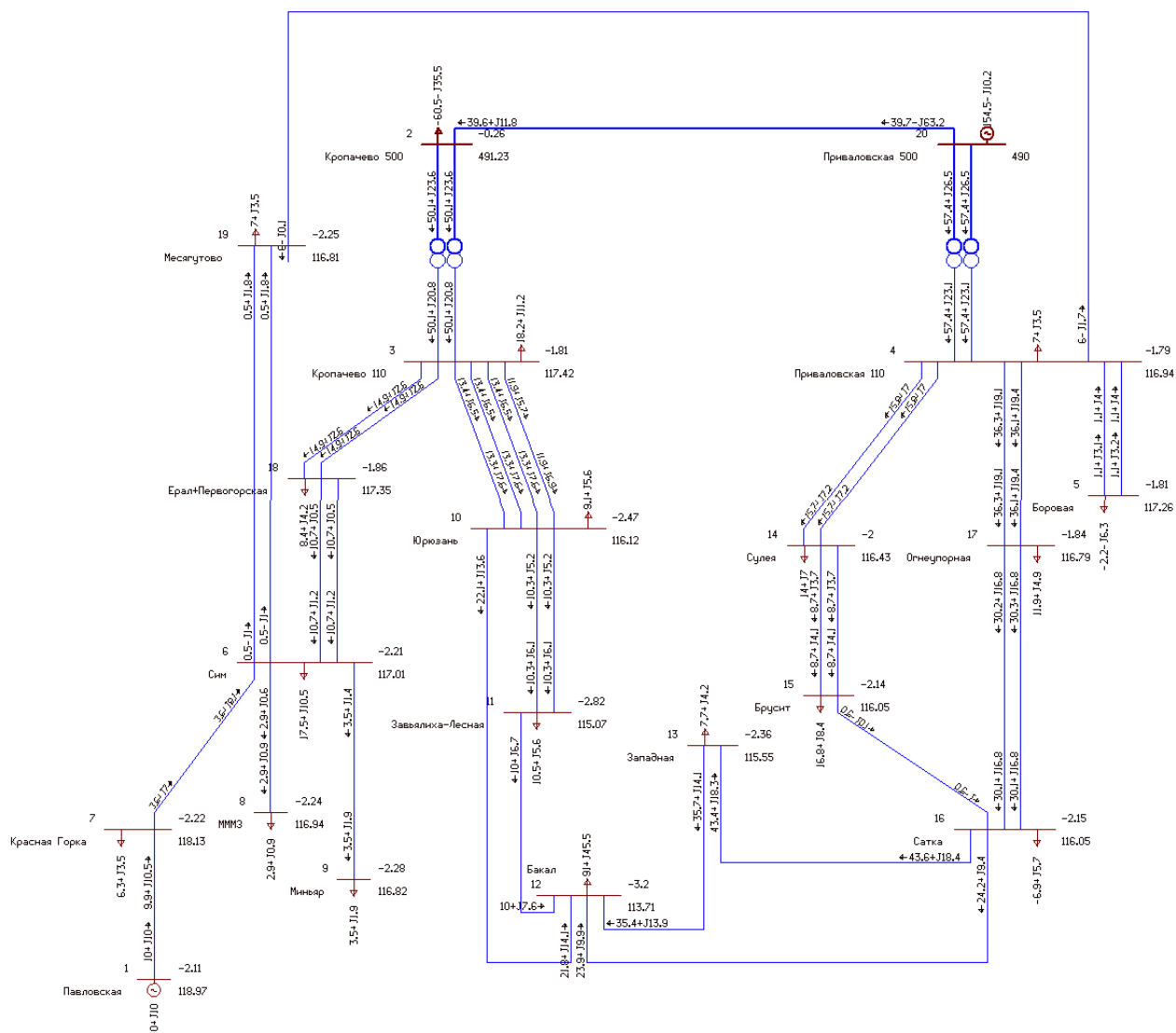


Рисунок 9 – Карта режима минимальных нагрузок

Токовая загрузка сети в режиме минимальных нагрузок приведена в таблице 29, а загрузка автотрансформаторов – в таблице 30.

Таблица 29 – Токовая нагрузка ЛЭП в минимальном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	64	450	14,1
2	Бакал - Западная	193	450	42,9
3	Бакал - Юрюзань	132	450	29,2
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	75	510	14,6
5	Ерал+Первогорская - Сим	53	510	10,4
6	Красная Горка - Павловская	71	390	18,1
7	Красная Горка - Сим	38	390	11,3
8	Кропачево 110 - Юрюзань	73	610	12,5
9	Месягутово - Приваловская 110	29	610	5,0
10	Месягутово - Сим	9	390	2,4
11	МММЗ - Сим	15	390	3,9
12	Приваловская 110 - Боровая	20	450	4,5
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	202	450	45,0
14	Приваловская 110 - Сулея	85	450	19,1
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	88	825	10,7
16	Сатка - Бакал	129	450	29,2
17	Сатка - Брусит	3	390	0,8
18	Сатка - Западная	235	450	52,3
19	Сатка - Огнеупорная	172	510	33,7
20	Сим - Миньяр	19	390	5,0
21	Сулея - Брусит	47	390	12,3
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	58	450	13,3

Таблица 30 – Загрузка автотрансформаторов в режиме существующей сети с существующими нагрузками

№	Тип трансформатора	I, А	I _{доп} , А	Загрузка, %
ПС Приваловская				
АТ 1				
1	АТДЦТН-250000/500/110	74	288	25,7
АТ 2				
2	АТДЦТН-250000/500/110	74	288	25,7
ПС Кропачево				
АТ 1				
3	АТДЦТН-250000/500/110	65	288	22,6
АТ 2				
4	АТДЦТН-250000/500/110	65	288	22,6

Все токи напряжения в режиме минимальных нагрузок находятся в допустимых пределах. Из этого можно сделать вывод, что данный режим работы удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электрическим сетям высокого напряжения.

Теперь, как и для исходной сети проверим четыре наиболее опасных послеаварийных режима.

Первый послеаварийный режим

Линия «Сатка – Западная» находилась не в работе. В таблице 31 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 10.

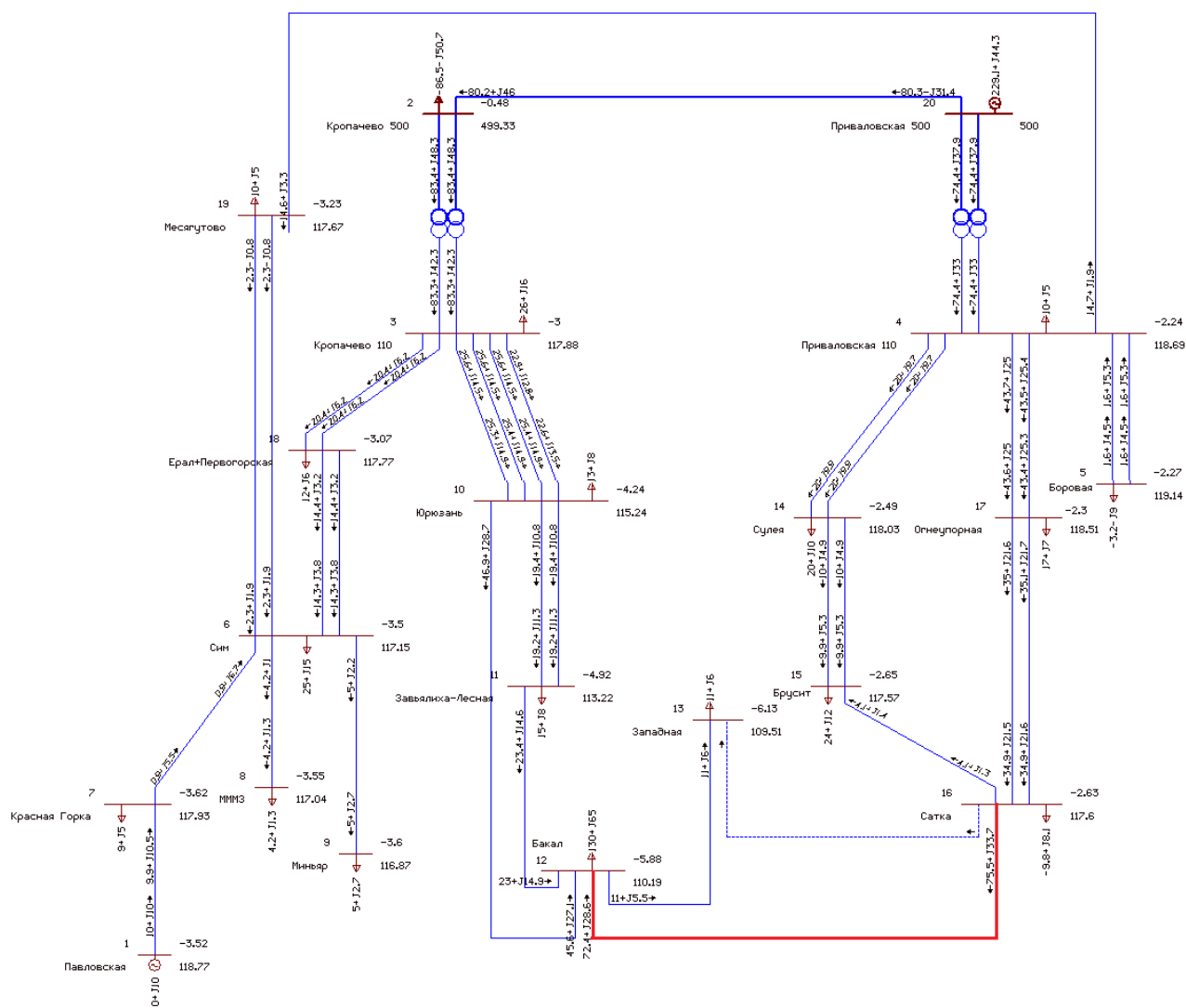


Рисунок 10 – Карта I послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал»

Таблица 31 – Уровни напряжений в сети в I послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	118,77	7,4%
2	Кропачево 500	500	499,33	-0,1%
3	Кропачево 110	110	117,88	6,7%
4	Приваловская 110	110	118,69	7,3%
5	Боровая	110	119,14	7,7%
6	Сим	110	117,15	6,1%
7	Красная Горка	110	117,93	6,7%
8	МММЗ	110	117,04	6,0%
9	Миньяр	110	116,87	5,9%
10	Юрюзань	110	115,24	4,5%
11	Завьялиха-Лесная	110	113,22	2,8%
12	Бакал	110	110,19	0,2%
13	Западная	110	109,51	-0,4%
14	Сулея	110	118,03	6,8%
15	Брусит	110	117,57	6,4%
16	Сатка	110	117,60	6,5%
17	Огнеупорная	110	118,51	7,2%
18	Ерал+Первогорская	110	117,77	6,6%
19	Месягутово	110	117,67	6,5%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Токовая загрузка сети в I послеаварийном режиме приведена в таблице 32.

Таблица 32 – Токовая загрузка в I послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	141	450	31,9
2	Бакал - Западная	66	450	14,7
3	Бакал - Юрюзань	275	450	61,8
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	104	510	20,5
5	Ерал+Первогорская - Сим	73	510	14,3
6	Красная Горка - Павловская	69	390	18,1
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	147	610	24,2
9	Месягутово - Приваловская 110	72	610	12,1
10	Месягутово - Сим	15	390	3,8
11	МММЗ - Сим	21	390	5,6
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	245	450	54,4
14	Приваловская 110 - Сулея	109	450	24,2
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	107	825	13,0

Продолжение таблицы 32

16	Сатка - Бакал	408	450	90,7
17	Сатка - Брусит	21	390	5,4
18	Сатка - Западная	-	450	-
19	Сатка - Огнеупорная	201	510	39,5
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	55	390	14,2
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	114	450	25,2

Токи и напряжения в I послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах. Наиболее сильно загруженной по току, на 90,7%, является линия 110 кВ «Сатка – Бакал», но, в целом, режим удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

Второй послеаварийный режим

Во втором послеаварийном режиме отключена линия «Сатка – Бакал». Карта режима представлена на рисунке 11.

Таблица 33 – Уровни напряжений в сети в II послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	119,18	7,7%
2	Кропачево 500	500	499,96	0,0%
3	Кропачево 110	110	118,37	7,1%
4	Приваловская 110	110	118,48	7,2%
5	Боровая	110	118,92	7,5%
6	Сим	110	117,57	6,4%
7	Красная Горка	110	118,35	7,1%
8	МММЗ	110	117,46	6,4%
9	Миньяр	110	117,28	6,2%
10	Юрюзань	110	116,17	5,3%
11	Завьялиха-Лесная	110	114,47	3,9%
12	Бакал	110	112,13	1,9%
13	Западная	110	116,21	5,3%
14	Сулея	110	117,76	6,6%
15	Брусит	110	117,24	6,2%
16	Сатка	110	117,24	6,2%
17	Огнеупорная	110	118,28	7,0%
18	Ерал+Первогорская	110	118,25	7,0%
19	Месягутово	110	117,72	6,6%
20	Приваловская 500	500	500,00	

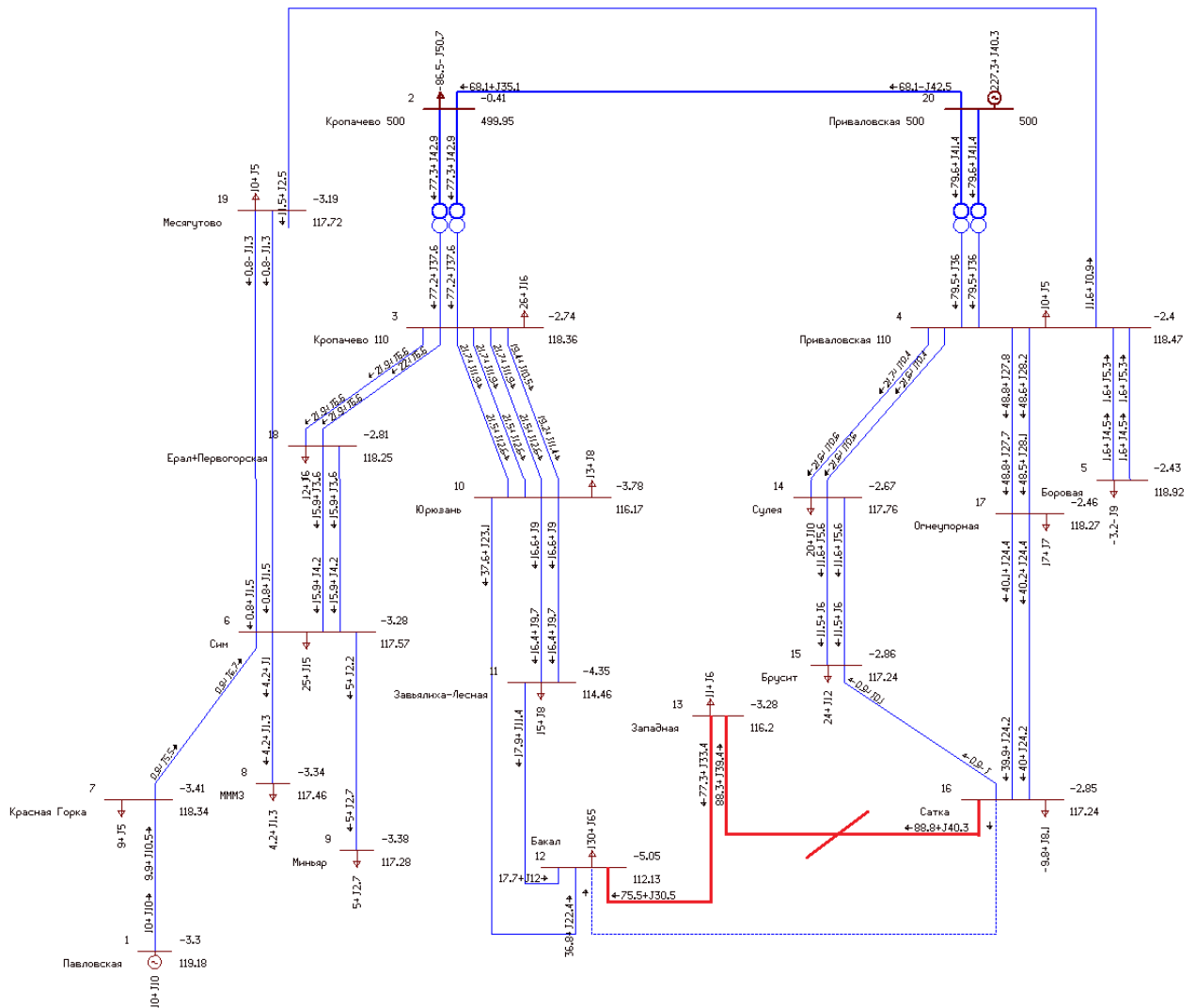


Рисунок 11 – Карта II послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал»

Токовая загрузка сети в II послеаварийном режиме приведена в таблице 34.

Таблица 34 – Токовая загрузка в II послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	K _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	107	450	24,5
2	Бакал - Западная	418	450	93,2
3	Бакал - Юрюзань	219	450	49,3
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	112	510	22,0
5	Ерал+Первогорская - Сим	81	510	15,8
6	Красная Горка - Павловская	69	390	18,1
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	124	610	20,3
9	Месягутово - Приваловская 110	57	610	9,5
10	Месягутово - Сим	8	390	2,1
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0

Продолжение таблицы 34

13	Приваловская 110 - Огнеупорная	274	450	60,8
14	Приваловская 110 - Сулея	118	450	26,2
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	88	825	11,2
16	Сатка - Бакал	-	450	-
17	Сатка - Брусит	5	390	1,2
18	Сатка - Западная	480	450	106,8
19	Сатка - Огнеупорная	229	510	45,1
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	64	390	16,4
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	96	450	21,4

Отклонение напряжения в узлах в данном послеаварийном режиме находится в допустимых пределах, однако токовая загрузка линии «Сатка – Западная» превышает максимально разрешенную. Из этого можно сделать вывод, что данный режим не допустим в период выполнения ремонтных работ.

Третий послеаварийный режим

В качестве третьего послеаварийного режима рассматривается режим с отключенной линией «Бакал – Западная». В таблице 35 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 12.

Таблица 35 - Уровни напряжений в III послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	118,92	7,5%
2	Кропачево 500	500	499,55	-0,1%
3	Кропачево 110	110	118,05	6,8%
4	Приваловская 110	110	118,63	7,3%
5	Боровая	110	119,08	7,6%
6	Сим	110	117,30	6,2%
7	Красная Горка	110	118,08	6,8%
8	МММЗ	110	117,19	6,1%
9	Миньяр	110	117,02	6,0%
10	Юрюзань	110	115,57	4,8%
11	Завьялиха-Лесная	110	113,65	3,2%
12	Бакал	110	110,86	0,8%
13	Западная	110	117,36	6,3%
14	Сулея	110	117,95	6,7%
15	Брусит	110	117,48	6,4%

Продолжение таблицы 35

16	Сатка	110	117,50	6,4%
17	Огнеупорная	110	118,45	7,1%
18	Ерал+Первогорская	110	117,94	6,7%
19	Месягутово	110	117,70	6,5%
20	Приваловская 500	500	500,00	

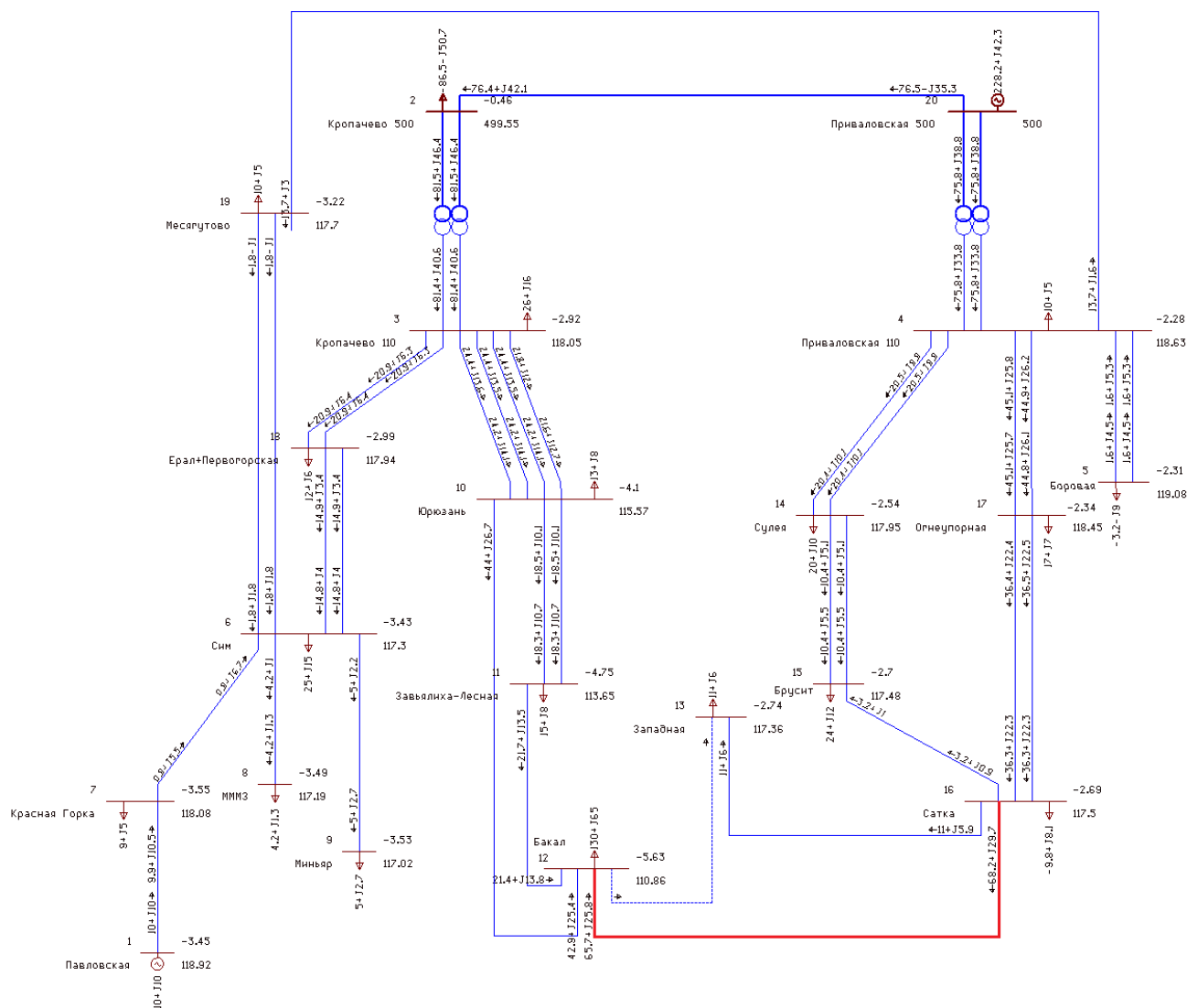


Рисунок 12 – Карта III послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал»

В таблице 36 приведена токовая нагрузка ЛЭП в третьем послеаварийном режиме.

Таблица 36 – Токовая загрузка ЛЭП в III послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	130	450	29,5
2	Бакал - Западная	-	450	-
3	Бакал - Юрюзань	257	450	57,7
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	107	510	20,9
5	Ерал+Первогорская - Сим	75	510	14,8
6	Красная Горка - Павловская	69	390	18,1
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	140	610	22,9
9	Месягутово - Приваловская 110	67	610	11,3
10	Месягутово - Сим	13	390	3,2
11	МММЗ - Сим	21	390	5,6
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	253	450	56,2
14	Приваловская 110 - Сулея	111	450	24,8
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	101	825	12,2
16	Сатка - Бакал	368	450	81,7
17	Сатка - Брусит	17	390	4,2
18	Сатка - Западная	62	450	13,7
19	Сатка - Огнеупорная	209	510	41,1
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	58	390	14,8
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	108	450	24,0

Отклонение напряжения в узлах в данном послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах, а самой загруженной по току линией является ВЛ 110 кВ «Сатка – Бакал» (81,7%). Следовательно, можно сделать вывод, что данный режим допустим в период выполнения ремонтных работ.

Четвертый послеаварийный режим

В качестве четвертого послеаварийного режима рассматривается режим при отключенной одной из двух линий «Приваловская 110 – Огнеупорная». В таблице 37 приведены уровни напряжений в таком режиме. Карта режима представлена на рисунке 13.

Таблица 37 - Уровни напряжений в IV послеаварийном режиме

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	119,46	7,9%
2	Кропачево 500	500	500,37	0,1%

Продолжение таблицы 37

3	Кропачево 110	110	118,69	7,3%
4	Приваловская 110	110	118,36	7,1%
5	Боровая	110	118,81	7,4%
6	Сим	110	117,85	6,7%
7	Красная Горка	110	118,62	7,3%
8	МММЗ	110	117,74	6,6%
9	Миньяр	110	117,56	6,4%
10	Юрюзань	110	116,79	5,8%
11	Завьялиха-Лесная	110	115,30	4,6%
12	Бакал	110	113,42	3,0%
13	Западная	110	116,15	5,3%
14	Сулея	110	117,56	6,4%
15	Брусит	110	116,92	5,9%
16	Сатка	110	116,88	5,9%
17	Огнеупорная	110	117,95	6,7%
18	Ерал+Первогорская	110	118,57	7,2%
19	Месягутово	110	117,77	6,6%
20	Приваловская 500	500	500,00	

В таблице 38 приведена токовая загрузка ЛЭП в четвертом послеаварийном режиме.

Таблица 38 – Токовая загрузка ЛЭП в четвертом послеаварийном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	K _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	85	450	19,6
2	Бакал - Западная	279	450	62,1
3	Бакал - Юрюзань	182	450	41,1
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	117	510	22,9
5	Ерал+Первогорская - Сим	86	510	16,8
6	Красная Горка - Павловская	68	390	18,0
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	108	610	17,8
9	Месягутово - Приваловская 110	47	610	7,8
10	Месягутово - Сим	6	390	1,9
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	567	450	125,9
14	Приваловская 110 - Сулея	132	450	29,4
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	76	825	10,9
16	Сатка - Бакал	190	450	42,2
17	Сатка - Брусит	24	390	6,2
18	Сатка - Западная	341	450	75,7

Продолжение таблицы 38

19	Сатка - Огнеупорная	239	510	47,0
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	78	390	20,1
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	85	450	18,9

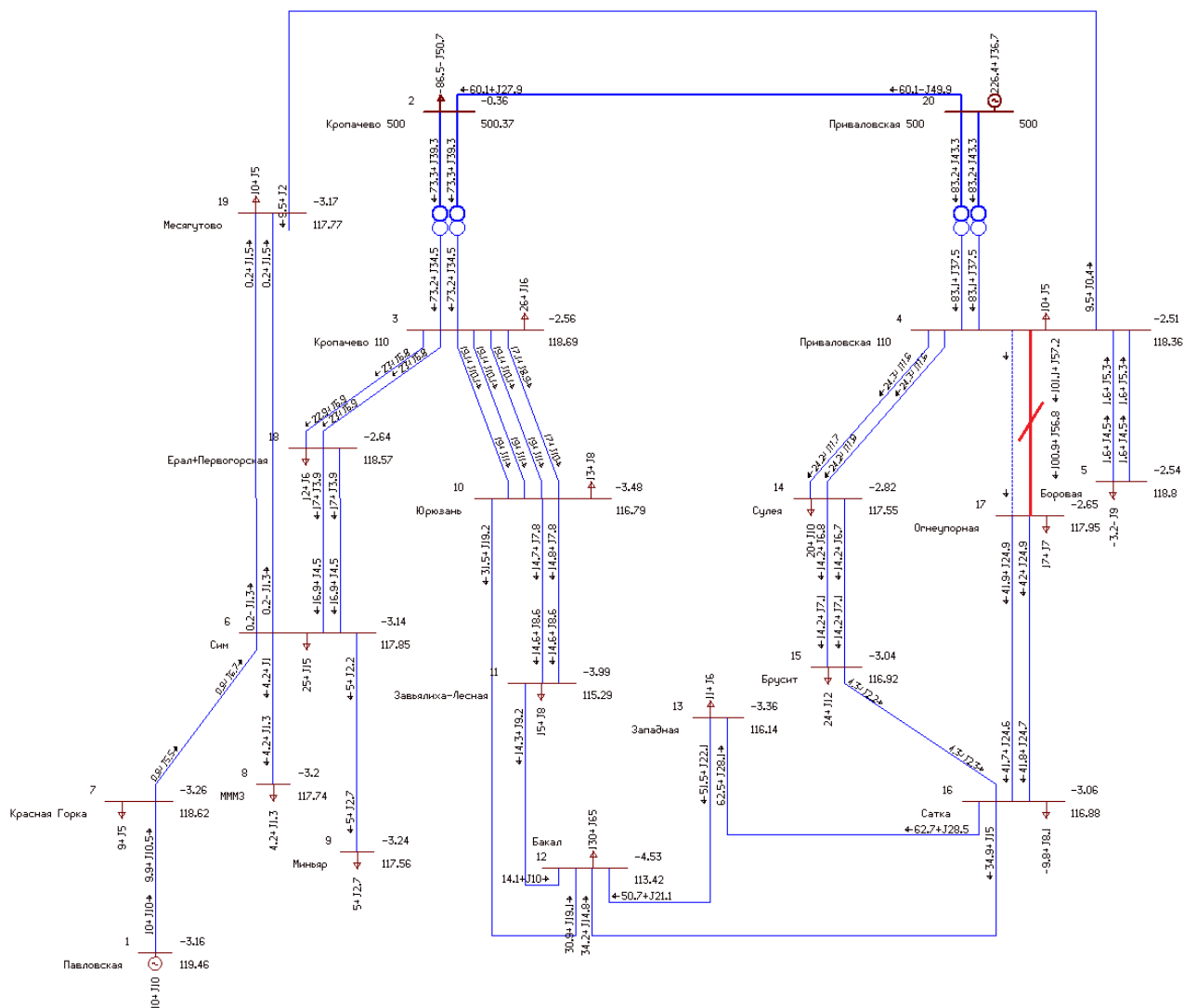


Рисунок 13 – Карта IV послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал»

Напряжения в узлах в четвертом послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах, однако линия «Приваловская – Огнеупорная» (вторая цепь) перегружена по току. Ее загрузка составляет 125,6%. Можно сделать вывод о недопустимости такого режима.

2.3 Выводы по разделу

Анализ загрузки ВЛ 110-500 кВ, АТ-220/110 кВ с существующими параметрами сети 110-500 кВ энергоузла с перспективными нагрузками в узле «Бакал» показал, что относительная нагрузка наиболее загруженных ВЛ 110 кВ возросла в среднем на 40%, АТ 500/110 на 10-15 по отношению к режиму существующей сети 110 - 500 кВ энергоузла..

Уровни напряжений на ПС 220 и 500 кВ снизились, однако остаются в пределах нормированных допустимых значений $\pm 10\%$ в сети 110 кВ и $\pm 5\%$ в сети 500 кВ.

Наиболее опасные послеаварийные режимы II (отключена линия «Сатка – Бакал») и IV (отключена одна из двух линий «Приваловская – Огнеупорная») не являются допустимыми, по причине перегрузки линий по току.

Проведенный анализ режимов сети с перспективной нагрузкой в узле «Бакал» выявил необходимость модернизации или реконструкции существующей электрической сети.

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР				

3 ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ИЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТИ

При оценке возможностей реконструкции или модернизации нужно учитывать то, что при модернизации схем электрических сетей должна обеспечиваться экономичность их развития и функционирования с учётом рационального сочетания сооружаемых элементов сети с действующими.

Схема электрической сети должна быть гибкой и обеспечивать сохранение принятых решений её развитию при возможных небольших отклонениях.

На всех этапах реконструкции сети следует предусматривать возможность её преобразования с минимальными затратами для достижения конечных схем и параметров линии ПС. При проектировании развития электрических сетей необходимо обеспечить снижение потерь электроэнергии до экономически обоснованного уровня.

Схема электрической сети должна допускать возможность эффективного применения современных устройств релейной защиты (РЗ), режимной и противоаварийной автоматики (ПА).

Схема и параметры электрической сети должны обеспечивать надёжность электроснабжения, при котором в случае отключения линии или трансформатора сохраняется питание потребителей без ограничения нагрузки с соблюдением нормативного качества электроэнергии.

Полученные исходные нормальные и послеаварийные режимы объединяет один общий признак - узел «Бакал», имеющий наибольшую нагрузку в сети, получает питание от двух ветвей: условно «Кропачево» – «Юрюзань» – «Бакал», которая в основном недогружена по току и условно «Приваловская» – «Огнеупорная» – «Сатка», принимающая на себя большую часть мощности для питания узла «Бакал». В целом, так происходит, потому что полное сопротивление «левой» условной ветви «Кропачево» – «Юрюзань» – «Бакал» составляет $7,6 + i101,7$ Ом, а «правой» условной ветви «Приваловская» – «Огнеупорная» – «Сатка» $2,6 + i67,65$, что в несколько раз больше «левой» ветви.

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Такая конфигурация параметров сети является причиной неравномерного распределения потоков мощности по двум условным ветвям.

По этой причине для реконструкции сети не подходят методы, основывающиеся на увеличении пропускной способности линий – опытным путем определено, что нагрузка перегруженных линий по току будет только возрастать. Необходимо подобрать решение, позволяющее в послеаварийных режимах перераспределить потоки мощности по двум условным ветвям, при этом сделать это так, чтобы в последующем можно было бы с помощью этих средств минимизировать потери в сети.

3.1 Оптимизация режима путем использования действующего оборудования

Для недопущения рассмотренных режимов с перегрузкой линий по току возможно перераспределить потоки мощности путем увеличения ступени РПН в автотрансформаторах ПС «Кропачево». Автотрансформаторы АДЦНТ-250000/500/110, установленные на ПС имеют пределы регулирования от -11,8% до +11% (± 8 ступеней). Эмпирическим путем, с помощью расчетов режима в программном комплексе «RastrWin 3» было определено, что в II послеаварийном режиме (отключена линия «Сатка - Бакал») допустимый режим можно получить при переводе отпайки РПН автотрансформатора ПС «Кропачево» на +2 ступень. Номинальное напряжение на шинах СН автотрансформаторов ПС «Кропачево» в этом случае составит 124,33 кВ, а коэффициент трансформации – 0,249.

В таблице 39 приведены уровни напряжений в таком режиме.

Таблица 39 - Уровни напряжений в II послеаварийном режиме при перераспределении потоков мощности с помощью РПН в автотрансформаторах.

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU , %
1	Павловская	110	121,55	9,5%
2	Кропачево 500	500	499,00	-0,2%
3	Кропачево 110	110	120,97	9,1%
4	Приваловская 110	110	119,05	7,6%
5	Боровая	110	119,49	7,9%
6	Сим	110	119,96	8,3%

Продолжение таблицы 39

7	Красная Горка	110	120,73	8,9%
8	МММЗ	110	119,86	8,2%
9	Миньяр	110	119,68	8,1%
10	Юрюзань	110	118,47	7,1%
11	Завьялиха-Лесная	110	116,58	5,6%
12	Бакал	110	113,77	3,3%
13	Западная	110	117,09	6,1%
14	Сулея	110	118,39	7,1%
15	Брусит	110	117,94	6,7%
16	Сатка	110	117,97	6,8%
17	Огнеупорная	110	118,87	7,5%
18	Ерал+Первогорская	110	120,84	9,0%
19	Месягутово	110	119,23	7,7%
20	Приваловская 500	500	500	

В таблице 40 приведена токовая загрузка линий в II послеаварийном режиме.

Таблица 40 – Токовая загрузка ЛЭП в II послеаварийном режиме при перераспределении потоков мощности с помощью РПН в автотрансформаторах.

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	125	450	27,8
2	Бакал - Западная	382	450	85,0
3	Бакал - Юрюзань	245	450	54,4
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	117	510	23,0
5	Ерал+Первогорская - Сим	85	510	16,9
6	Красная Горка - Павловская	69	390	17,7
7	Красная Горка - Сим	27	390	8,4
8	Кропачево 110 - Юрюзань	128	610	21,7
9	Месягутово - Приваловская 110	52	610	9,1
10	Месягутово - Сим	20	390	5,2
11	МММЗ - Сим	21	390	5,4
12	Приваловская 110 - Боровая	27	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	257	450	57,2
14	Приваловская 110 - Сулея	112	450	25,0
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	89	825	12,6
16	Сатка - Бакал	-	450	-
17	Сатка - Брусит	15	390	4,0
18	Сатка - Западная	442	450	98,3
19	Сатка - Огнеупорная	213	510	41,9
20	Сим - Миньяр	26	390	7,0
21	Сулея - Брусит	58	390	15,1
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	100	450	22,8

Токовая нагрузка линий и отклонение напряжения в узлах в данном послеаварийном режиме находятся в допустимых пределах, поэтому данный режим допустим в период выполнения ремонтных работ. Однако недостатком такого решения будет являться наличие уравнивающих потоков мощности, что увеличит потери в сети.

Аналогичным образом не представляется возможным перераспределить потоки мощности в IV послеаварийном режиме (отключенной одной из двух линий «Приваловская – Огнеупорная»), т.к уровни напряжений в узлах сети выходят за допустимые пределы.

Таким образом, переключение отпаяк РПН автотрансформаторов ПС 500/110 кВ не позволяет обеспечить допустимый режим в сети с перспективными нагрузками в узле «Бакал».

3.2 Модернизация электрической сети путем применения устройств продольной компенсации (УПК) в режиме добавочного сопротивления

Методы направленные на компенсацию реактивной мощности в данном случае требуют больших установленных мощностей. Экспериментальным путем получено, что для ликвидации недопустимых режимов необходима мощность компенсирующего устройства, установленного в узле «Бакал» порядка 40 МВар. Также, как было отмечено ранее, методы полагающиеся на увеличение пропускной способности линий электропередач при текущих условиях не позволяют добиться положительных результатов. Поэтому в данном проекте предлагается использовать устройства продольной компенсации (УПК), но в режиме не компенсации, а увеличения реактивного сопротивления перегруженных линий.

Такая технология получила активное развитие в США. Эти устройства могут быть использованы для решения широкого спектра задач, а именно для перераспределения потоков мощности между отдельными параллельно работающими линиями; симметрирования фаз; повышения пропускной

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

способности, устойчивости и надежности работы электрической сети; уменьшения потерь энергии.

К основным достоинствам УПК относится их небольшая мощность, не критичность к месту установки на линии и относительная простота монтажа на ВЛ, что определяет их мобильность, и позволяет рассматривать их не только в качестве стационарных устройств, но и допускает использование их для устранения локальных узких мест электроэнергетической системы в среднесрочной перспективе с последующим демонтажем и переносом на другие объекты.

Способность УПК влиять на перераспределение потоков мощности и режимов работы линий электропередачи за счет управления их состоянием в режиме реального времени позволяет рассматривать их в качестве эффективного инструмента для активно-адаптивных электрических сетей.

В общем случае устройство продольной компенсации состоит из трансформатора, источника питания, полупроводникового преобразователя, датчика тока, блока управления, и модуля беспроводной связи.

Такой подход применительно к рассматриваемой сети позволит точно перенаправлять потоки мощности, придерживаясь условия минимума потерь активной мощности в сети. Изменение вводимого реактивного сопротивления даст возможность управлять режимами электрической сети не только в послеаварийных режимах, для разгрузки перегруженных линий, но и для минимизации потерь активной мощности в нормальных режимах.

Рассмотрим установку повышающих реактивное сопротивление управляемых УПК для перераспределения потоков мощности. Для этого задействуются наиболее загруженные по току в различных режимах линии: «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная».

Экспериментальным способом были подобраны необходимые введенные сопротивления для того чтобы сделать все послеаварийные режимы допустимыми.

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

Рассмотрим II послеаварийный режим. Во втором послеаварийном режиме линия «Сатка – Бакал» находится не в работе. Для того чтобы режим считался допустимым необходимо с помощью УПК ввести в линию «Сатка – Западная» индуктивное сопротивление величиной 3,86 Ом. Уровни напряжений в таком режиме представлены в таблице 41. Карта режима представлена на рисунке 14.

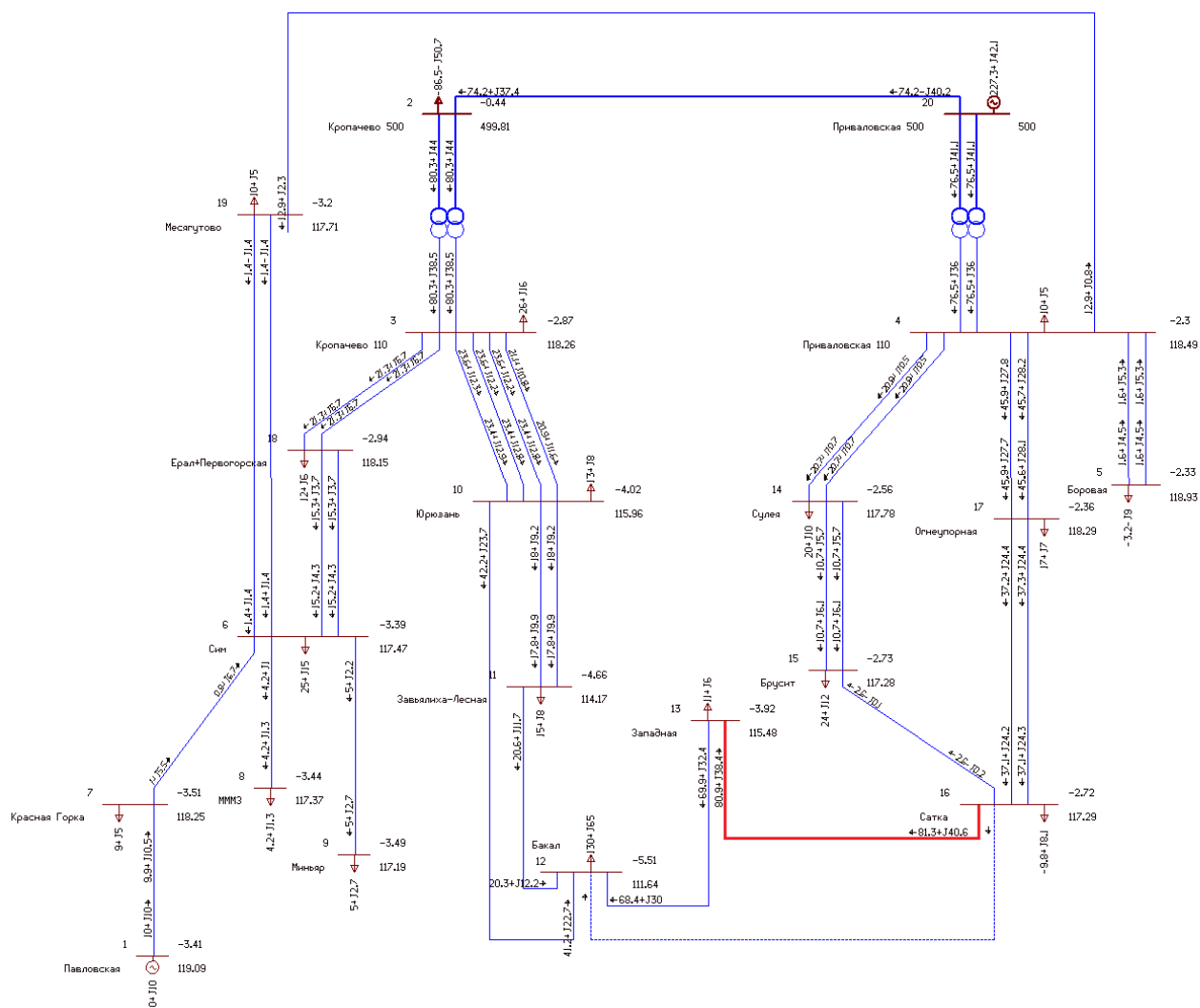


Рисунок 14 – Карта II послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал» и применением УПК

Таблица 41 – Уровни напряжений в сети в II послеаварийном режиме с работающим УПК

№	Диспетчерское наименование	$U_{ном}$, кВ	$U_{расч}$, кВ	ΔU , %
1	Павловская	110	119,09	7,6%
2	Кропачево 500	500	499,81	0,0%
3	Кропачево 110	110	118,26	7,0%
4	Приваловская 110	110	118,49	7,2%

Продолжение таблицы 41

5	Боровая	110	118,93	7,5%
6	Сим	110	117,47	6,4%
7	Красная Горка	110	118,25	7,0%
8	МММЗ	110	117,37	6,3%
9	Миньяр	110	117,19	6,1%
10	Юрюзань	110	115,96	5,1%
11	Завьялиха-Лесная	110	114,17	3,7%
12	Бакал	110	111,64	1,5%
13	Западная	110	115,48	4,7%
14	Сулея	110	117,78	6,6%
15	Брусит	110	117,28	6,2%
16	Сатка	110	117,29	6,2%
17	Огнеупорная	110	118,29	7,0%
18	Ерал+Первогорская	110	118,15	6,9%
19	Месягутово	110	117,71	6,5%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Токовая загрузка сети в II послеаварийном режиме приведена в таблице 42.

Таблица 42 – Токовая загрузка в II послеаварийном режиме с работающим УПК

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	k _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	120	450	27,3
2	Бакал - Западная	385	450	85,9
3	Бакал - Юрюзань	241	450	54,1
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	109	510	21,4
5	Ерал+Первогорская - Сим	78	510	15,2
6	Красная Горка - Павловская	69	390	18,1
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	133	610	21,8
9	Месягутово - Приваловская 110	63	610	10,5
10	Месягутово - Сим	10	390	2,5
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	262	450	58,1
14	Приваловская 110 - Сулея	114	450	25,4
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	96	825	11,8
16	Сатка - Бакал	-	450	-
17	Сатка - Брусит	13	390	3,3
18	Сатка - Западная	448	450	99,5
19	Сатка - Огнеупорная	218	510	42,8
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	60	390	15,5
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	103	450	22,9

Таким образом, данный режим становится допустимым в период выполнения ремонтных работ.

Для того, чтобы сеть удовлетворяла требованиям надежности электроснабжения необходима установка УПК и в обе цепи ВЛ 110 кВ «Приваловская - Огнеупорная». Тогда в четвертом послеаварийном режиме при условии, что одна из двух линий «Приваловская - Огнеупорная» находится не в работе режим будет допустимым, если с помощью УПК ввести в оставшуюся в работе линию «Приваловская - Огнеупорная» индуктивное сопротивление величиной 2,56 Ом. Уровни напряжений в таком режиме представлены в таблице 43. Карта режима представлена на рисунке 15.

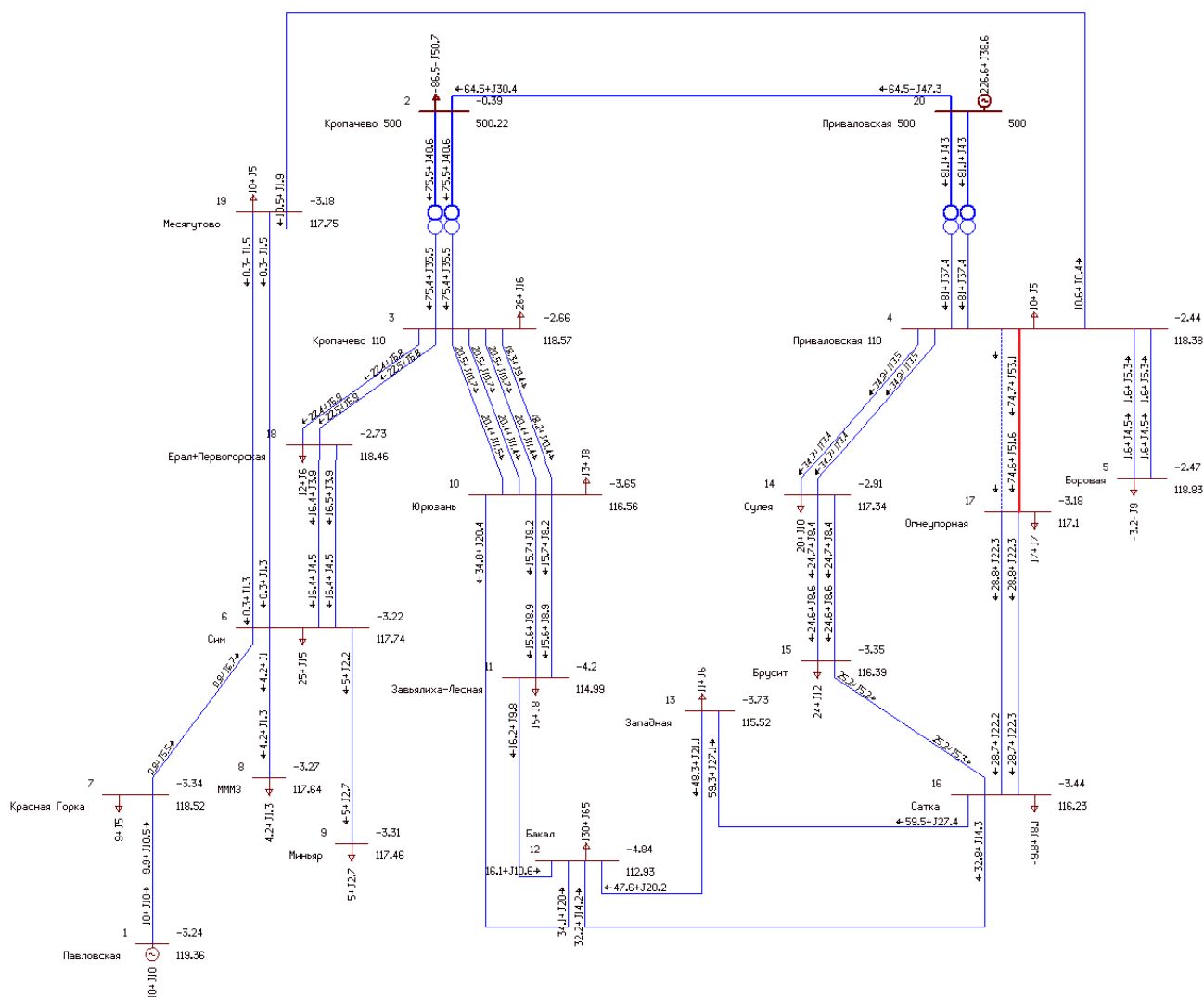


Рисунок 15 – Карта IV послеаварийного режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал» и применением УПК

										Лист
										58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР					

Таблица 43 – Уровни напряжений в сети в IV послеаварийном режиме с работающим УПК

№	Диспетчерское наименование	U _{ном} , кВ	U _{расч} , кВ	ΔU, %
1	Павловская	110	119,36	7,8%
2	Кропачево 500	500	500,22	0,0%
3	Кропачево 110	110	118,57	7,2%
4	Приваловская 110	110	118,38	7,1%
5	Боровая	110	118,83	7,4%
6	Сим	110	117,74	6,6%
7	Красная Горка	110	118,52	7,2%
8	МММЗ	110	117,64	6,5%
9	Миньяр	110	117,46	6,4%
10	Юрюзань	110	116,56	5,6%
11	Завьялиха-Лесная	110	114,99	4,3%
12	Бакал	110	112,93	2,6%
13	Западная	110	115,52	4,8%
14	Сулея	110	117,34	6,3%
15	Брусит	110	116,39	5,5%
16	Сатка	110	116,23	5,4%
17	Огнеупорная	110	117,10	6,1%
18	Ерал+Первогорская	110	118,46	7,1%
19	Месягутово	110	117,75	6,6%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Токовая загрузка сети в IV послеаварийном режиме приведена в таблице 44.

Таблица 44 – Токовая загрузка в IV послеаварийном режиме с работающим УПК

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	K _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	95	450	21,8
2	Бакал - Западная	263	450	58,8
3	Бакал - Юрюзань	200	450	44,9
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	114	510	22,5
5	Ерал+Первогорская - Сим	83	510	16,3
6	Красная Горка - Павловская	68	390	18,0
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	116	610	19,0
9	Месягутово - Приваловская 110	52	610	8,6
10	Месягутово - Сим	6	390	1,9
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	447	450	99,4
14	Приваловская 110 - Сулея	183	450	40,7

Продолжение таблицы 44

15	Приваловская 500 - Кропачево 500	82	825	11,2
16	Сатка - Бакал	180	450	40,0
17	Сатка - Брусит	128	390	32,7
18	Сатка - Западная	326	450	72,4
19	Сатка - Огнеупорная	180	510	35,4
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Сулея - Брусит	129	390	33,1
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	90	450	20,1

Таким образом, данный режим также будет являться допустимым в период выполнения ремонтных работ.

3.3 Оптимизация потоков мощности в сети 110-500 кВ энергоузла

Устройства продольной компенсации, которые предлагается установить в линиях «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная» для предотвращения недопустимых послеаварийных режимов также можно использовать в нормальном режиме для оптимизации распределения потоков мощности и минимизации потерь активной мощности.

В ПРИЛОЖЕНИИ Б представлена зависимость суммарных потерь активной мощности в электрической сети от вводимого сопротивления УПК. В первой строке и первом столбце располагается ряд сопротивлений ВЛ 110 кВ «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная», в остальных ячейках, отображены суммарные потери активной мощности в сети при определенных строкой и столбцом конфигурациях управляемых ВЛ.

Из проведенной оптимизации следует, что исходный режим с перспективной нагрузкой в узле «Бакал» с суммарными потерями активной мощности в сети равными 4,611 МВт являлся близким к оптимальному с суммарными потерями 4,600 МВт, а значит, в нормальном режиме требуется ввести в линии сравнительно небольшие сопротивления:

- + 0,2 Ом в ВЛ 110 кВ «Сатка – Западная». Таким образом, суммарное реактивное сопротивление линии составит 1,66 Ом.

- 0,5 Ом в каждую ВЛ 110 кВ «Приваловская – Огнеупорная». Тогда суммарное реактивное сопротивление каждой цепи составит -0,04 Ом.

3.4 Анализ режима электрической сети с проведённой модернизацией

Нагрузки потребителей в данном режиме приведены в таблице 22. Уровни напряжений в режиме сети, с проведенной модернизацией приведены в таблице 45. Карта режима представлена на рисунке 16.

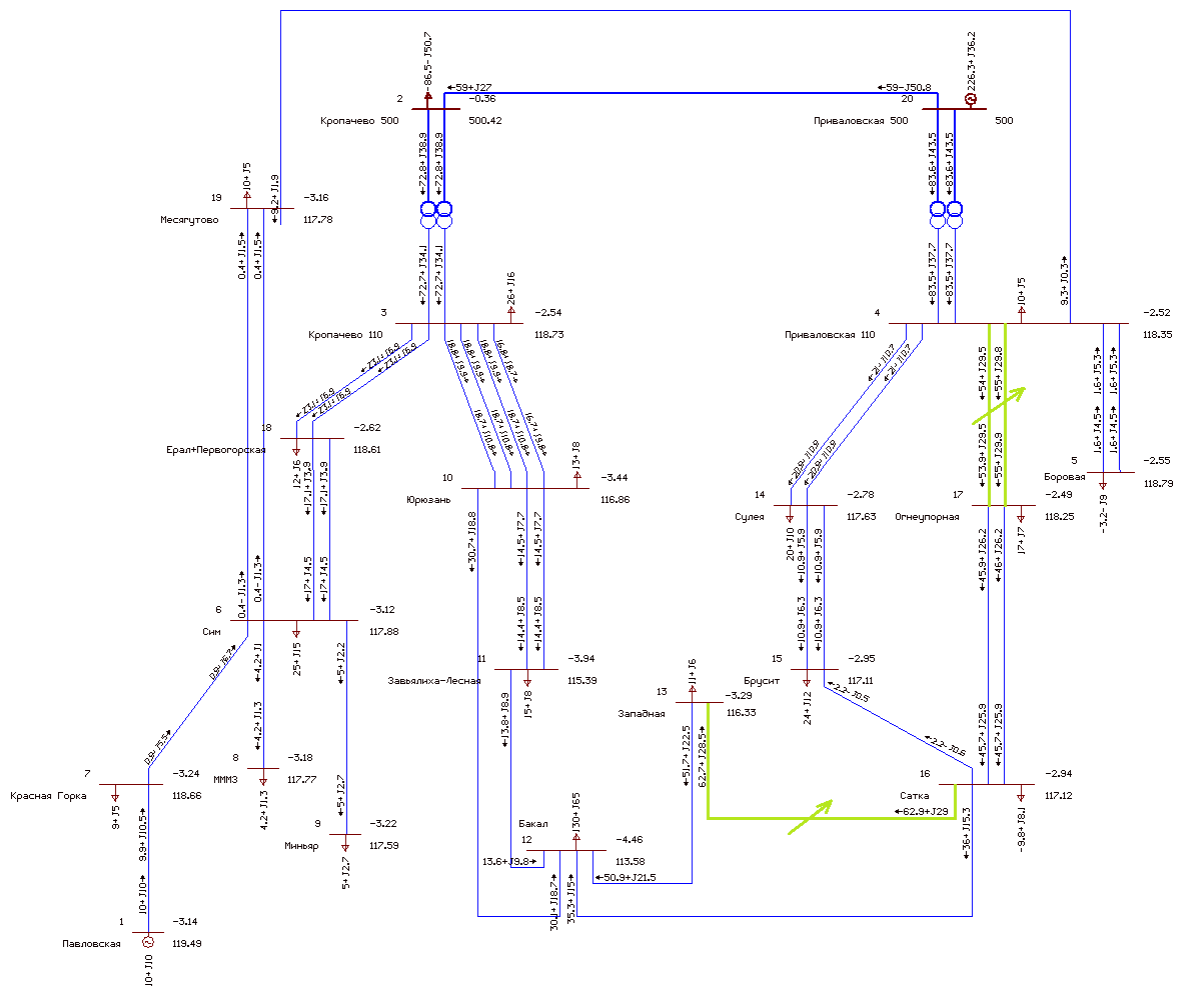


Рисунок 16 – Карта режима с перспективной нагрузкой в узле «Бакал» и применением УПК для снижения потерь активной мощности

Таблица 45 – Уровни напряжений в сети

№	Диспетчерское наименование	$U_{ном}$, кВ	$U_{расч}$, кВ	ΔU , %
1	Павловская	110	119,49	7,9%
2	Кропачево 500	500	500,42	0,1%

Продолжение таблицы 45

3	Кропачево 110	110	118,73	7,4%
4	Приваловская 110	110	118,35	7,1%
5	Боровая	110	118,79	7,4%
6	Сим	110	117,88	6,7%
7	Красная Горка	110	118,66	7,3%
8	МММЗ	110	117,77	6,6%
9	Миньяр	110	117,59	6,5%
10	Юрюзань	110	116,86	5,9%
11	Завьялиха-Лесная	110	115,39	4,7%
12	Бакал	110	113,58	3,2%
13	Западная	110	116,33	5,4%
14	Сулея	110	117,63	6,5%
15	Брусит	110	117,11	6,1%
16	Сатка	110	117,12	6,1%
17	Огнеупорная	110	118,25	7,0%
18	Ерал+Первогорская	110	118,61	7,3%
19	Месягутово	110	117,78	6,6%
20	Приваловская 500	500	500,00	

Токовая загрузка линий системы приведена в таблице 46. Линии, находящиеся в эксплуатации, проверяются только по условию нагрева. Данные для многоцепных линий приведены для одной цепи. Допустимый ток для линий, состоящих из нескольких марок проводов, приведен для участка линии с минимальным сечением.

Таблица 46 – Токовая загрузка ЛЭП в максимальном режиме

№	Наименование линии	I, А	I _{доп} , А	K _{за} , %
1	Бакал - Завьялиха-Лесная	82	450	19,0
2	Бакал - Западная	280	450	62,4
3	Бакал - Юрюзань	178	450	40,1
4	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	117	510	23,0
5	Ерал+Первогорская - Сим	86	510	16,9
6	Красная Горка - Павловская	68	390	18,0
7	Красная Горка - Сим	33	390	8,5
8	Кропачево 110 - Юрюзань	107	610	17,5
9	Месягутово - Приваловская 110	45	610	7,6
10	Месягутово - Сим	6	390	2,0
11	МММЗ - Сим	21	390	5,5
12	Приваловская 110 - Боровая	23	450	6,0
13	Приваловская 110 - Огнеупорная	300	450	66,7

Продолжение таблицы 46

14	Приваловская 110 - Суля	116	450	25,7
15	Приваловская 500 - Кропачево 500	75	825	10,9
16	Сатка - Бакал	195	450	43,3
17	Сатка - Брусит	11	390	2,9
18	Сатка - Западная	342	450	76,0
19	Сатка - Огнеупорная	258	510	50,8
20	Сим - Миньяр	28	390	7,2
21	Суля - Брусит	62	390	15,9
22	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	84	450	18,6

Таблица 47 – Загрузка автотрансформаторов в режиме существующей сети с существующими нагрузками

№	Тип трансформатора	I, А	I _{доп} , А	Загрузка, %
ПС Приваловская				
АТ 1				
1	АТДЦТН-250000/500/110	109	288	37,8
АТ 2				
2	АТДЦТН-250000/500/110	109	288	37,8
ПС Кропачево				
АТ 1				
3	АТДЦТН-250000/500/110	95	288	33,0
АТ 2				
4	АТДЦТН-250000/500/110	95	288	33,0

Потери в режиме с проведенной модернизацией приведены в таблице 48

Таблица 48 – потери в линиях в исходном максимальном режиме

№	Наименование линии	Потери	
		ΔP, МВт	ΔQ, Мвар
1	Кропачево 110 - Юрюзань	0,521	1,790
2	Суля - Брусит	0,060	0,120
3	Сатка - Огнеупорная	0,472	1,220
4	Сатка - Западная	0,249	0,580
5	Сатка - Брусит	0,000	0,000
6	Бакал - Завьялиха-Лесная	0,133	0,270
7	Бакал - Западная	0,778	1,570
8	Юрюзань - Завьялиха-Лесная	0,226	0,460
9	Красная Горка - Сим	0,019	0,040
10	Красная Горка - Павловская	0,051	0,090

Продолжение таблицы 48

11	МММЗ - Сим	0,003	0,000
12	Приваловская 110 - Огнеупорная	0,123	-0,020
13	Приваловская 110 - Сулея	0,156	0,320
14	Приваловская 110 - Боровая	0,018	0,040
15	Сатка - Бакал	0,693	1,410
16	Бакал - Юрюзань	0,534	1,070
17	Месягутово - Приваловская 110	0,032	0,110
18	Месягутово - Сим	0,000	0,000
19	Приваловская 500 - Кропачево 500	0,025	0,380
20	Ерал+Первогорская - Сим	0,136	0,360
21	Ерал+Первогорская - Кропачево 110	0,028	0,080
22	Сим - Миньяр	0,008	0,010
Итого:		4,262	9,900

Таблица 49 – потери в автотрансформаторах в исходном максимальном режиме

№	Трансформатор	Потери	
		ΔP, МВт	ΔQ, Мвар
ПС Приваловская			
1	АТ 1	0,096	4,560
2	АТ 2	0,096	4,560
ПС Кропачево			
3	АТ 1	0,073	3,480
4	АТ 2	0,073	3,480
Итого:		0,338	16,080

Таким образом, в сумме потери в рассматриваемой сети составляют $4,600 + j16,080$ МВА. Потери активной мощности в сети 110 кВ представляют собой 1,3% от поступающей активной мощности.

3.5 Выводы по разделу

В результате проведенной модернизации, а именно, установки УПК в линии «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная» получили режим, полностью удовлетворяющий требованиям по уровням напряжения в узлах и по нагреву. Наиболее загруженной из неуправляемых линий оказалась ВЛ 110 кВ «Сатка - Огнеупорная», ее загрузка составила 50,8 %. Максимальное отклонение напряжения узлах нагрузки сети 110 кВ 7,4% на системе шин 110 кВ ПС «Кропачево».

Напряжения на СШ-110 кВ потребительских ПС 110 кВ незначительно завышены, но не превышают $U_{доп} = 121$ кВ. Однако из-за технологически обоснованных продольных падений напряжений в силовых понизительных трансформаторах 110/6-10 кВ, отклонения напряжений на шинах потребителей 6 – 10 кВ составят меньшую величину, т.к. приведенные к ступени 110 кВ напряжения на СШ 6 – 10 кВ снизятся и их отклонения от номинальных значений будут тем более незначительными.

						Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПК И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ

Теперь подробнее рассмотрим работу УПК: определим схему подключения УПК, параметры ее составных элементов, а также временные диаграммы токов и напряжений УПК при введении различных дискретных сопротивлений в программном комплексе Simulink MATLAB.

3.1 Структурная схема УПК

Структурная схема УПК с мостовым преобразователем изображена на рисунке 17, где *S* – механический контактор, служащий для продолжительной работы в режиме байпас;

VS – управляемый полупроводниковый ключ, служащий для плавного перевода в режим байпас;

VT1, VT2, VT3, VT4, C – элементы мостового преобразователя;

ДТ – датчик тока линии;

ИП – источник питания собственных нужд УПК

Модуль связи служит для дистанционного управления УПК

На провод линии последовательно в линию устанавливается трансформатор. Энергия отбирается от линии и запасается в источнике питания. Преобразователь формирует на первичной обмотке трансформатора регулируемое напряжение, смещенное на заданный преобразователем напряжения угол, относительно тока в линии в сторону отставания или опережения. Наличие такого напряжения на участке ВЛ, на котором установлено УПК, эквивалентно включению реактивного элемента (индуктивного или емкостного характера) в рассечку линии. Сигнал с датчика тока линии используется системой управления для задания состояния преобразователя при работе в автономном режиме. Возможность установки коммуникационного модуля обеспечивает двунаправленный обмен данными по беспроводному каналу связи с удаленным диспетчерским пунктом. Используя беспроводной канал связи, можно дистанционно управлять режимом работы

					<i>Лист</i>
					66
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР

преобразователя, а также получать оперативную информацию о режиме работы отдельных блоков и устройства в целом, осуществлять диагностику и настройку режимов работы УПК.[3]

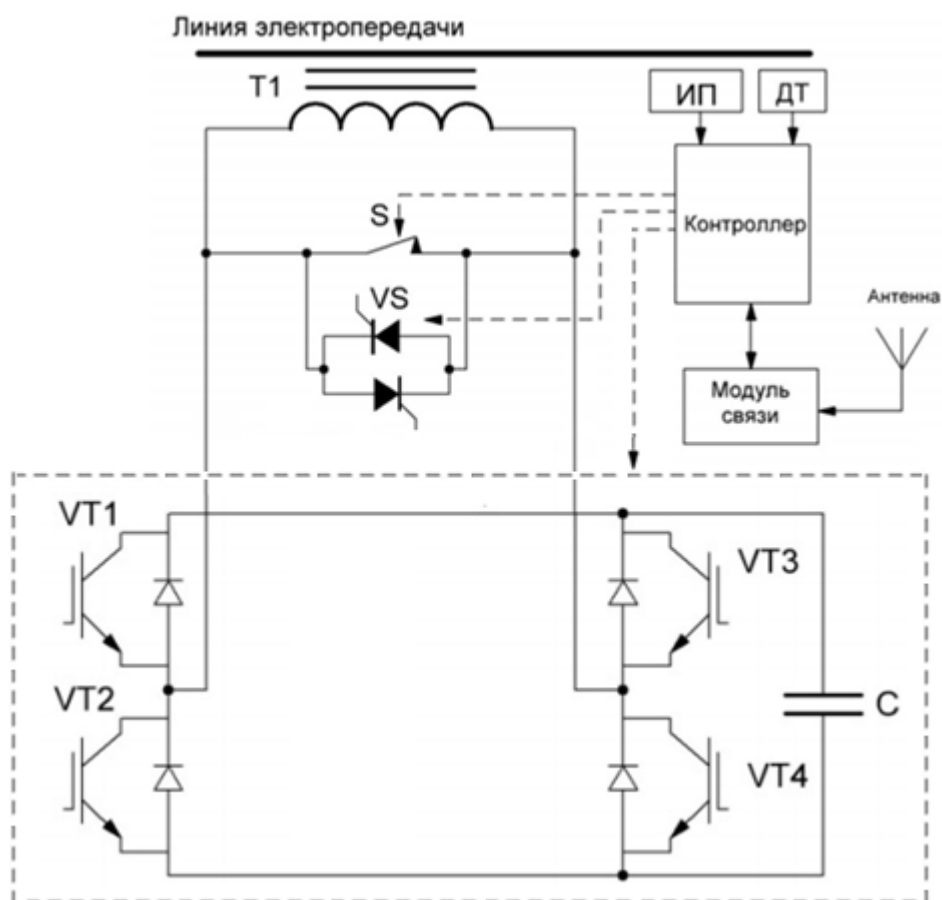


Рисунок 17 – Структурная схема УПК-ПН

Схема УПК с мостовым преобразователем позволит плавно регулировать режим работы устройства и подойдет для любого режима сети.

К достоинствам такого способа управления реактивным сопротивлением УПК можно отнести простоту его реализации, отсутствие высших гармоник в кривой напряжения на первичной обмотке трансформатора.

Данное устройство может работать в нескольких режимах:

- Режим байпаса. В этом режиме вторичная обмотка трансформатора УПК закорочена коммутатором S и УПК не будет оказывать прямого воздействия на параметры ВЛЭП;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР

Лист

67

- Режим холостого хода. В нем вторичная обмотка трансформатора УПК разомкнута, конденсаторы не подключены, коммутатор S разомкнут, а угол между напряжениями первичной и вторичной обмотки равен нулю. В линию вводится индуктивность намагничивающая L_m ;
- Режим введения индуктивного сопротивления в ВЛЭП. Коммутатор S разомкнут, преобразователем напряжения выдается напряжение, отстающее по фазе от напряжения в линии.
- Режим введения емкостного сопротивления в ВЛЭП. Коммутатор S разомкнут, преобразователем напряжения выдается напряжение, опережающее по фазе напряжение в линии.

3.2 Определение технических характеристик УПК

Для того чтобы найти необходимую мощность УПК находим напряжение УПК:

$$\underline{U}_{\text{УПК}} = \frac{Q_n \cdot x_{\text{УПК}}}{\underline{U}_{\text{уз}}}, (\text{кВ}) \quad (4)$$

где Q_n – реактивная мощность в начале линии (МВар);

$x_{\text{УПК}}$ – необходимое вводимое сопротивление УПК (Ом);

$\underline{U}_{\text{уз}}$ – напряжение в начале линии (кВ).

Тогда необходимая мощность УПК представлена в виде:

$$Q_{\text{УПК}} = \frac{\underline{U}_{\text{УПК}}^2}{x_{\text{УПК}}}, (\text{МВар}) \quad (5)$$

Напряжение вторичной цепи:

$$\underline{U}_{\text{УПК}} = \sqrt{3} \frac{I_1}{k} \cdot x_{\text{УПК}}, (\text{А}) \quad (6)$$

где k – коэффициент трансформации связующего трансформатора

Разберем процесс расчета необходимых параметров УПК линии «Сатка – Западная» режима с отключенной линией «Сатка – Бакал» (II послеаварийный).

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Напряжение в узле Сатка равно 117,29 кВ, а в узле Западная 115,48 кВ. Передаваемая по линии мощность: $81,3 + j40,6$ МВА. Вводимое реактивное сопротивление индуктивного характера равно 2,4 Ом.

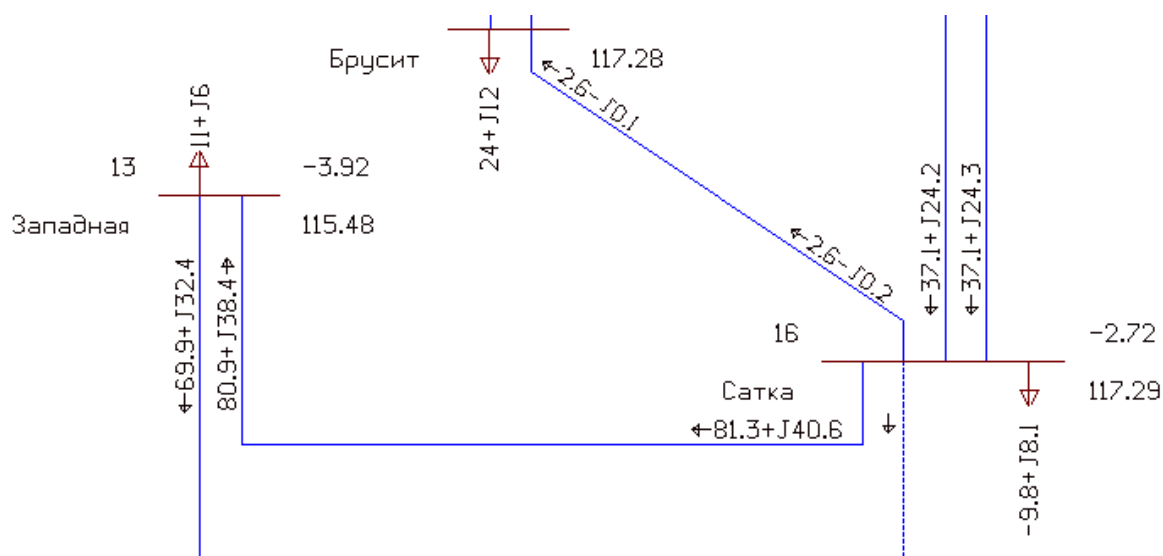


Рисунок 18 – Фрагмент карты режима из программного комплекса «RastrWin3»

Примем коэффициент связующего трансформатора равным 1.

Падение напряжения на УПК:

$$\underline{U}_{\Delta\text{УПК}} = \frac{Q_n \cdot x_{\text{УПК}}}{\underline{U}_{\text{Сатка}}} = \frac{40,6 \cdot 2,4}{117,29} = 0,831 \text{ (кВ)}$$

Мощность УПК:

$$Q_{\text{УПК}} = \frac{U_{\text{УПК}}^2}{x_{\text{УПК}}} = \frac{0,831^2}{2,4} = 0,288 \text{ (МВАр)}$$

Ток во вторичной цепи будет равен току в первичной, здесь 448 А.

Напряжение вторичной цепи:

$$\underline{U}_{\text{УПК}} = \sqrt{3} I_1 \cdot x_{\text{УПК}} = \sqrt{3} 448 \cdot 2,4 = 1,862 \text{ (кВ)}$$

Результаты расчетов параметров УПК для всех рассмотренных режимов сведены в таблицу 50.

Таблица 50 – Параметры УПК для рассмотренных ранее режимов электрической сети

№	Место установки (ВЛ 110 кВ)	$\underline{U}_{уз},$ кВ	$I_1, А$	$Q_n,$ МВар	$x_{УПК},$ Ом	$\underline{U}_{ДУПК},$ кВ	$Q_{УПК},$ МВар
Нормальный режим							
1	Сатка - Западная	117,12	342	29,0	0,2	0,05	0,012
2	Приваловская - Огнеупорная	118,35	300	29,8	-0,5	0,126	0,032
II послеаварийный режим (отключена «Сатка – Бакал»)							
3	Сатка - Западная	117,29	448	40,6	2,4	0,831	0,288
IV послеаварийный режим (отключена одна из линий «Прив – Огн»)							
4	Приваловская- Огнеупорная (оставшаяся в работе)	118,38	447	53,1	2,1	0,942	0,423

На основании полученных данных, с учетом коэффициента запаса, сформированы общие требования для устанавливаемых устройств продольной компенсации в обеих линиях:

Таблица 51 – Технические характеристики УПК

Параметр	Значение
Класс напряжения	110 кВ
Номинальная мощность	0,6 МВар
Диапазон изменения тока ВЛ	0 – 600 А
Номинальный ток	600 А
Значения вводимых реактивных сопротивлений	от -1 до +3 Ом

3.3 Построение временных диаграмм токов и напряжений в Simulink MATLAB

Схема замещения устройства продольной компенсации линии «Сатка – Западная» представлена на рисунке 19.

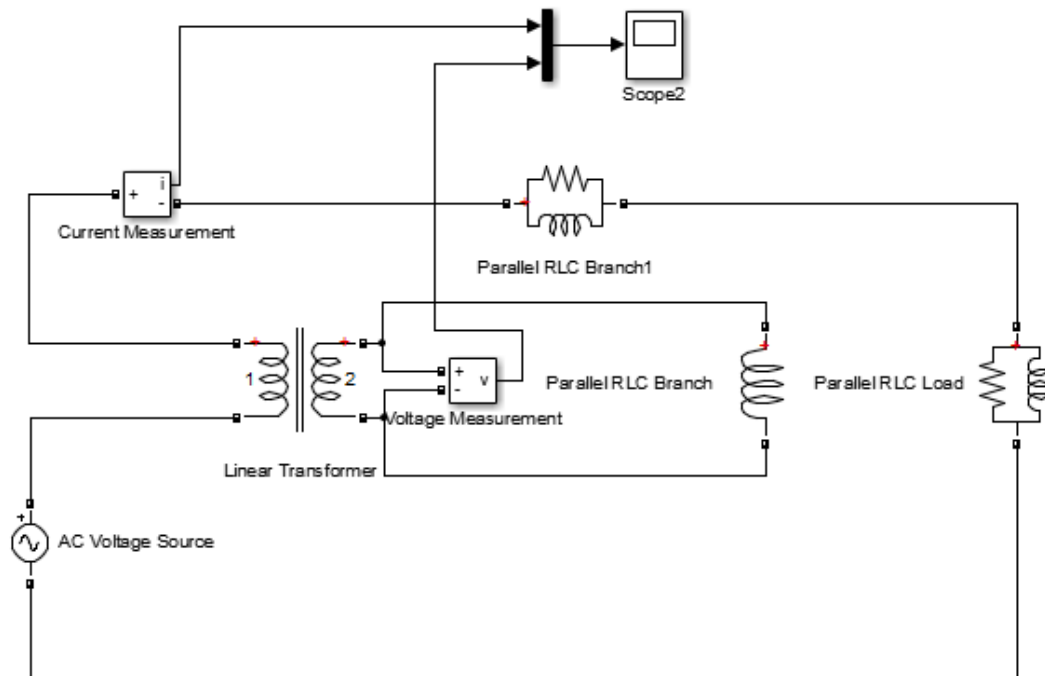


Рисунок 19 – Схема замещения УПК в Simulink MATLAB

Для нормального и II послеаварийного режима электрической сети были сняты временные диаграммы тока в линии и напряжения, наводимого УПК на сетевой провод.

I , (A) — ток в линии (ток на первичной обмотке трансформатора УПК);
 U , (В) — напряжение, наводимое МУПК на сетевой провод;

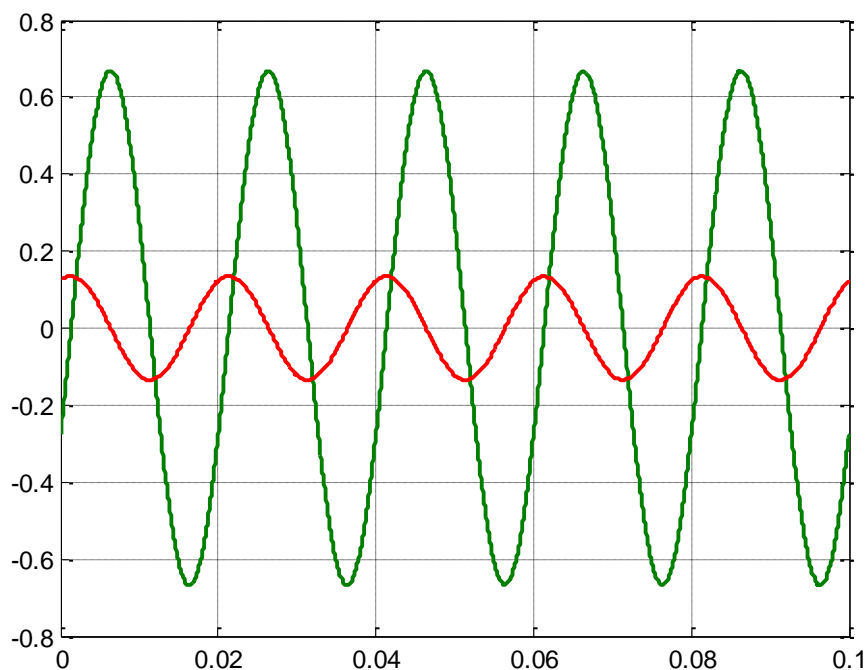


Рисунок 20 - Режим введения индуктивного сопротивления 0,2 Ом (нормальный режим $I_l = 342$ А)

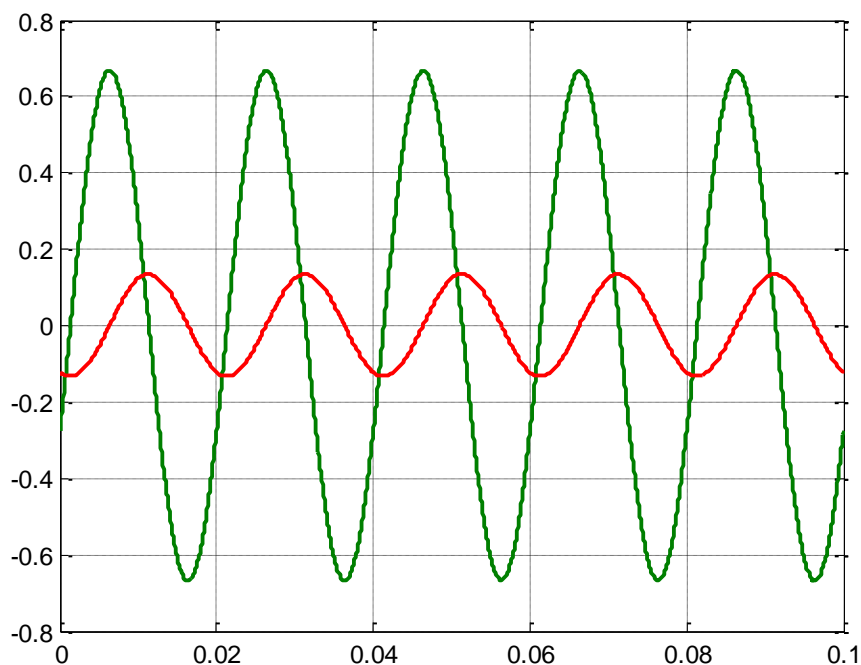


Рисунок 21 - Режим введения емкостного сопротивления 0,2 Ом (нормальный режим $I_l = 342$ А)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР

Лист

72

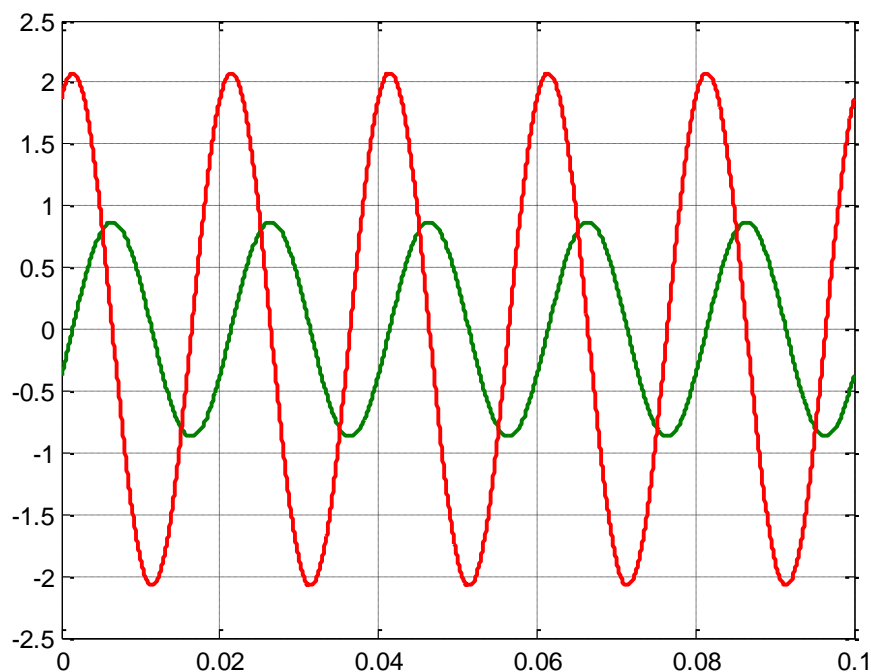


Рисунок 22 - Режим введения индуктивного сопротивления 2,4 Ом
(II послеаварийный режим $I_l = 448$ А)

3.4 Выводы по разделу

В результате проведенных исследований были рассчитаны необходимые параметры УПК для установки их на ВЛ 110 кВ «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная». Параметры были рассчитаны для каждого из рассмотренных ранее допустимых режимов и определены с запасом предъявляемые к устройству продольной компенсации технические характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью устройств силовой электроники произведена модернизация сетевого района 500 – 110 кВ Аша – Златоуст без реконструкции линий электропередач и достигнута необходимая надежность системы электроснабжения.

Экспериментальным путем определено, что добиться поставленной цели возможно при использовании методов управления реактивным сопротивлением линий электропередач.

В послеаварийных режимах проведено перераспределение потоков мощности с перегруженных по току линий электропередач на менее загруженные участки. В неблагоприятных послеаварийных режимах до допустимых величин была разгружена линии «Сатка – Западная» и «Приваловская – Огнеупорная», с нагрузками по току 107% и 126% соответственно.

Установлено, что в нормальных режимах электрической сети за счет уменьшения реактивной составляющей сопротивления ВЛ УПК можно использовать для уменьшения потерь в сети. Путем введения в ВЛ 110 кВ «Сатка – Западная» сопротивления 0,2 Ом индуктивного характера и 0,5 Ом емкостного характера в каждую из двух цепей ВЛ 110 кВ «Приваловская – Огнеупорная» был достигнут минимум потерь активной мощности в сети с текущим расположением устройств продольной компенсации. Величина суммарных потерь активной мощности составила 4,6 МВА, что соответствует 1,3% от поступающей активной мощности.

Исследования УПК-ПН, проведенные в заключительной главе, позволили определить технические характеристики и требования, предъявляемые к устройству продольной компенсации для использования его в электросетевом районе. Требуемая мощность УПК-ПН составила 600 МВар, диапазон вводимых реактивных сопротивлений от -1 до +3 Ом.

					13.04.02. 2018. 309-05-303. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

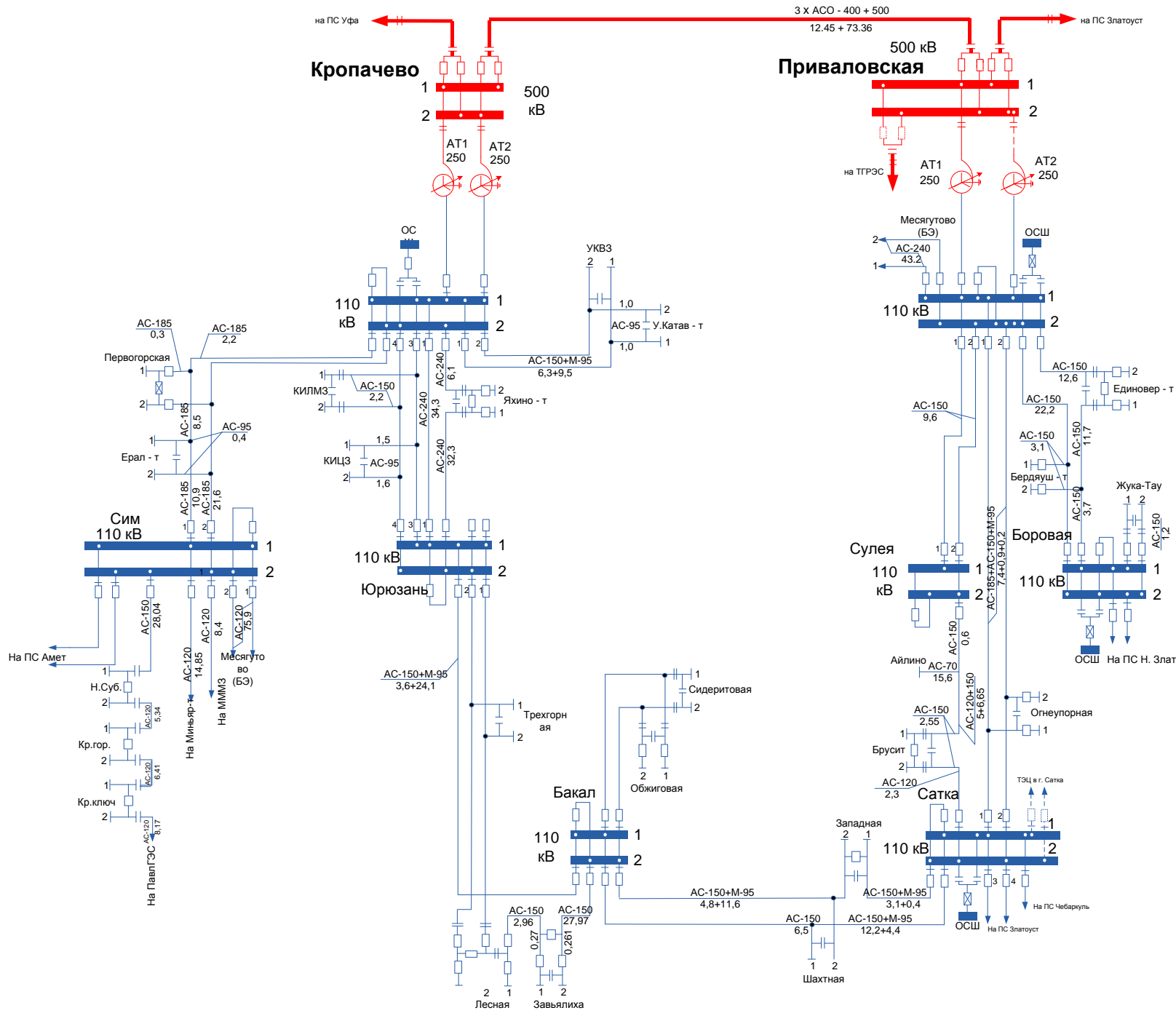
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л.Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с.
2. Гольдштейн, М.Е. Системы электроэнергетики с элементами силовой электроники. Элементы силовой электроники для управления режимами электроэнергетических систем. Часть 1. Преобразователи тока: учебное пособие / М.Е. Гольдштейн, А.В. Прокудин, под ред. М.Е. Гольдштейна. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 117 с.
3. Панфилов, Д.И. Малогабаритные устройства продольной компенсации для воздушных линий электропередачи / Д.И. Панфилов, Ю.Г. Шакарян, М.Г. Асташев, П.А. Рашитов, А.В. Антонов // «Электротехника». – 2017. - Вып. 7.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7, 2001 – 2004 г.г.
5. Кочкин, В.И. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий / В.И. Кочкин, О.П. Нечаев. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. – 248 с.
6. Рыжов, Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов / Ю.П. Рыжов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.
7. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
8. Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
9. Рожкова Л.Д., Электрооборудование станций и подстанций: третье издание, переработанное и дополненное./ Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – Москва: Изд-во ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1987. – 646 с.
10. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро, - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергатоимздат, 1985. – 349 с.

11. Микитченко А.Я. Выбор емкости силовых конденсаторов в двухзвенных преобразователях частоты с рекуперацией / А.Я. Микитченко, М.В. Могучёв, А.Н. Шевченко // «Электричество». – 2008. – Вып. 6. – С. 63–66.
12. Первичное оборудование, материалы и системы, допущенные к применению на объектах ОАО «ФСК ЕЭС» – http://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/Pril_1_062015_dopuschennoe_pervichnoe_oborudovanie.pdf
13. Стандарт предприятия: курсовые и дипломные проекты. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04 – 2008. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема электрических соединений сети 500-110 кВ района Златоуст – Аша



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оптимизация вводимых сопротивлений УПК по потерям активной мощности

В мегаваттах

		Реактивное сопротивление ВЛ «Сатка – Западная», Ом												
		0,66	0,86	1,06	1,16	1,26	1,36	1,46	1,56	1,66	1,76	1,86	1,96	2,06
Реактивное сопротивление ВЛ «Приваловская – Огнеупорная», Ом	-0,54				4,608	4,611	4,607	4,609	4,607	4,612	4,606	4,608	4,607	
	-0,34		4,612	4,609	4,606	4,610	4,607	4,610	4,605	4,605	4,601	4,605	4,606	
	-0,14	4,614	4,610	4,606	4,607	4,607	4,603	4,603	4,605	4,602	4,606	4,603	4,608	
	-0,04	4,617	4,610	4,609	4,606	4,606	4,602	4,603	4,603	4,600	4,602	4,603	4,603	4,606
	0,06	4,613	4,613	4,606	4,604	4,604	4,603	4,604	4,602	4,603	4,606	4,604	4,605	4,605
	0,16	4,617	4,612	4,606	4,604	4,605	4,606	4,605	4,604	4,607	4,605	4,605	4,602	4,604
	0,26	4,615	4,612	4,605	4,606	4,609	4,606	4,607	4,607	4,609	4,608	4,608	4,603	4,606
	0,36	4,619	4,612	4,610	4,611	4,607	4,607	4,607	4,609	4,608	4,610	4,607	4,610	4,610
	0,46	4,618	4,614	4,612	4,608	4,610	4,610	4,611	4,609	4,608	4,609	4,611	4,610	4,613
	0,56	4,618	4,613	4,611	4,615	4,609	4,612	4,612	4,612	4,614	4,612	4,610	4,613	4,611