



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ



Системный оператор  
Единой энергетической системы

# Разработка методики определения минимального расчётного режима работы энергорайона по условиям обеспечения чувствительности токовых защит нулевой последовательности

<sup>1</sup> А.И. Новиков, <sup>2</sup> С.С. Жидов, <sup>1</sup>И.М. Кац

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

<sup>2</sup> Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири.

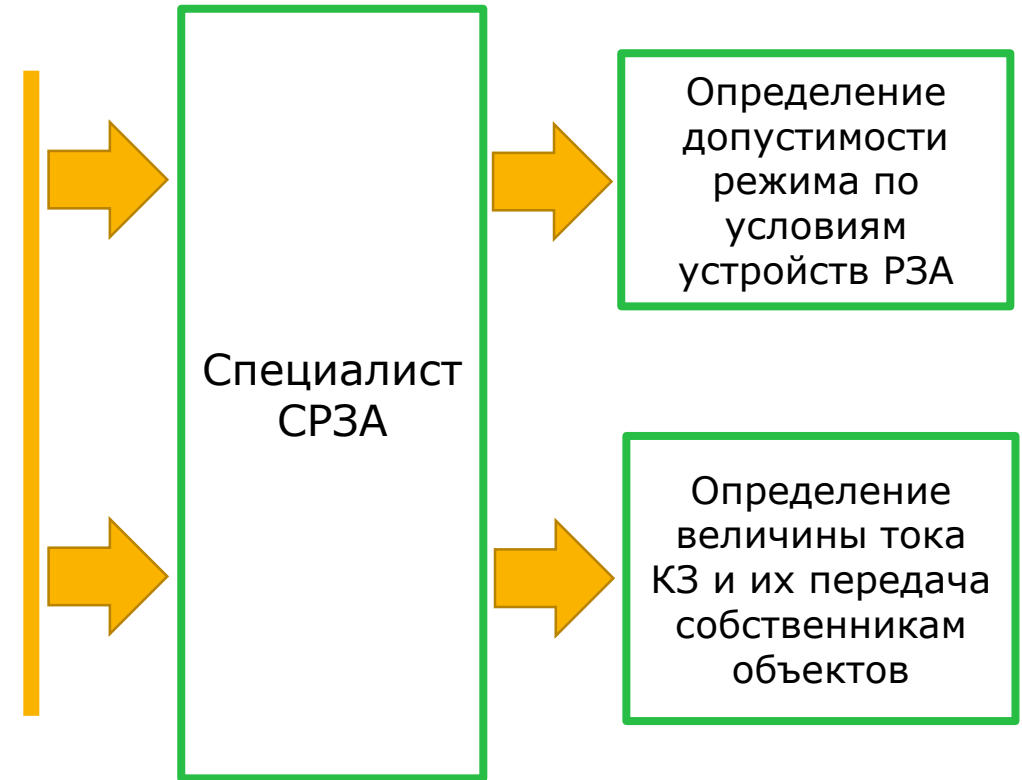
**Томск 2025**



# АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Таблица 1. Минимально допустимый состав ЛЭП и основного электрооборудования электростанций и подстанций операционной зоны Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири (РДУ) по условиям функционирования устройств РЗА

Наименование объекта	Минимальные расчетные схемы
ПС 1150 кВ Итатская	Отключены:
	ВЛ 500 кВ Берёзовская ГРЭС – Итатская № 1 И
	ВЛ 500 кВ Берёзовская ГРЭС – Итатская № 2 И
	ВЛ 500 кВ Берёзовская ГРЭС – Итатская № 3 И
	ВЛ 500 кВ Итатская – Абаканская № 1 ИЛИ ВЛ 500 кВ Итатская – Абаканская № 2 И
	ВЛ 500 кВ Итатская – Ново-Анжерская ИЛИ ВЛ 500 кВ Итатская – Томская ИЛИ
	ВЛ 500 кВ Назаровская ГРЭС – Итатская И 5АТ ИЛИ 6АТ





# ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТРОЙСТВ РЗА В ФИЛИАЛЕ АО «СО ЕЭС» ОДУ СИБИРИ



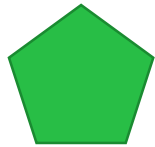
## **Учет реальных ремонтных схем**

При проверке учитываются схемы с минимальным значением тока КЗ



## **Отключение до 50% присоединений**

Выбираются присоединения с наибольшей подпиткой места КЗ



## **МСГО**

Влияние электростанций учитывается минимальным составом оборудования

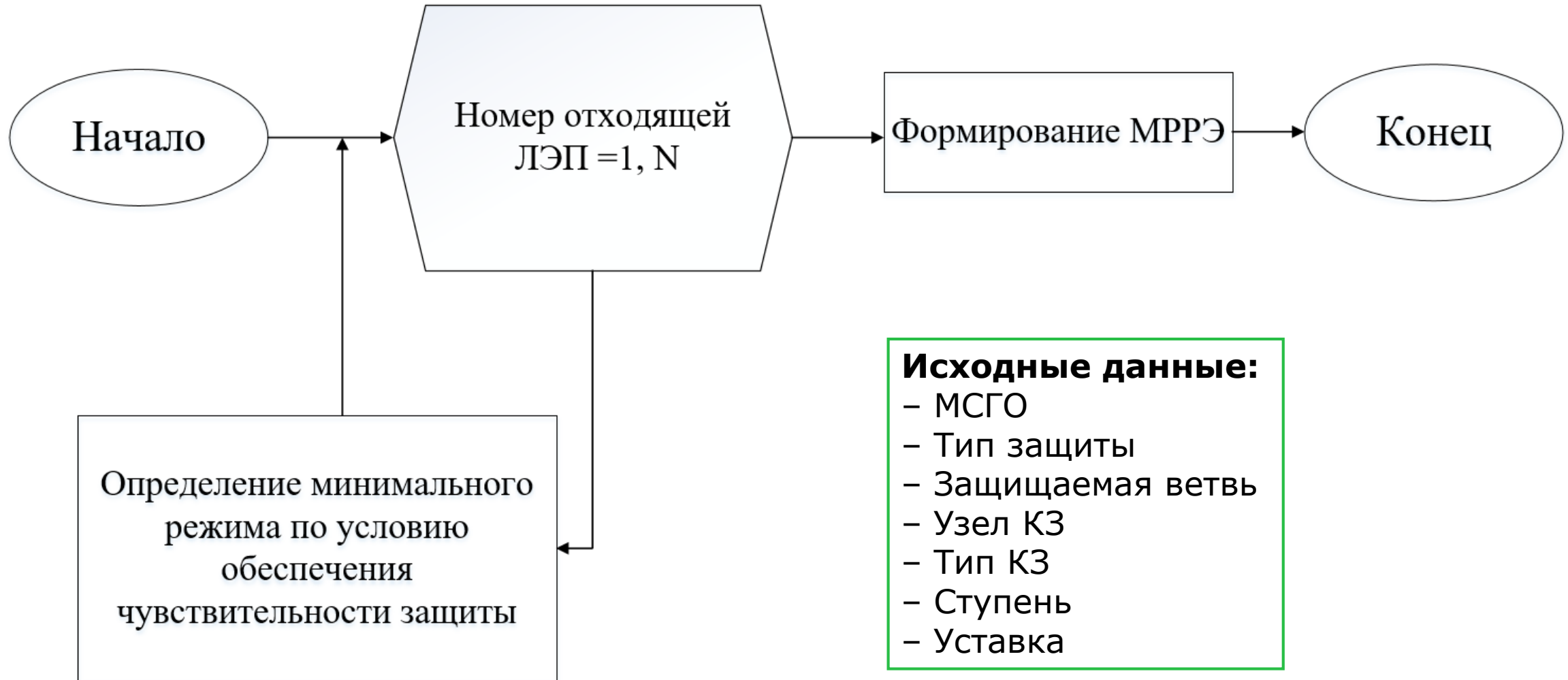


## **Отключение дополнительных сетевых элементов**

Допускается рассмотрение схем с отключением дополнительных элементов сети

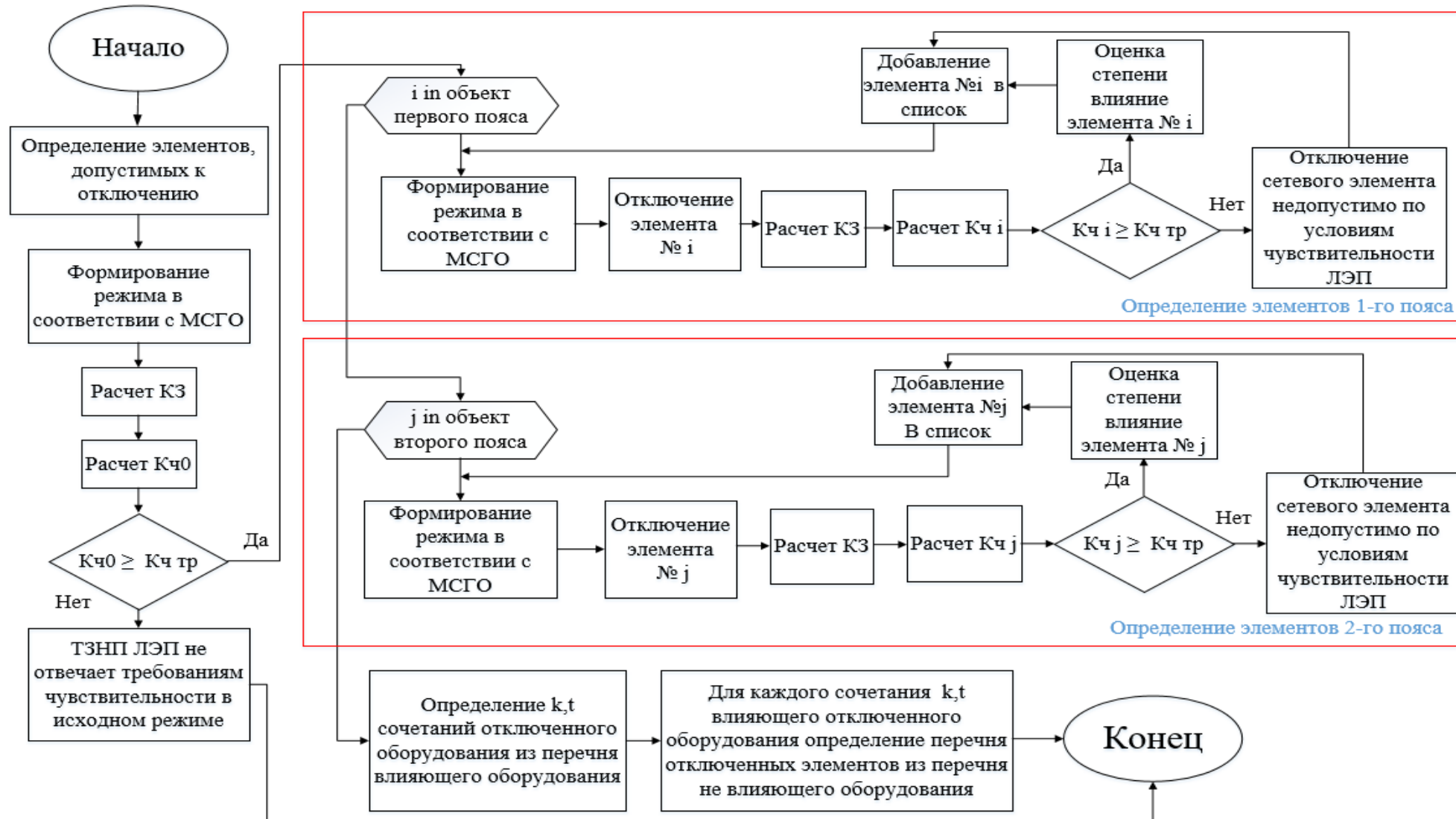


# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА





# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПО УСЛОВИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТЫ



**Принятые обозначения:**  
 $i, j$  – номера отключаемых элементов (ЛЭП или трансформаторов);  
 $k, t$  – сочетания отключенных элементов;  
 $Kч тр$  – значение коэффициента чувствительности удовлетворяющее РЗА;  
 $Kч0$  – коэффициент чувствительности в нормальном режиме.

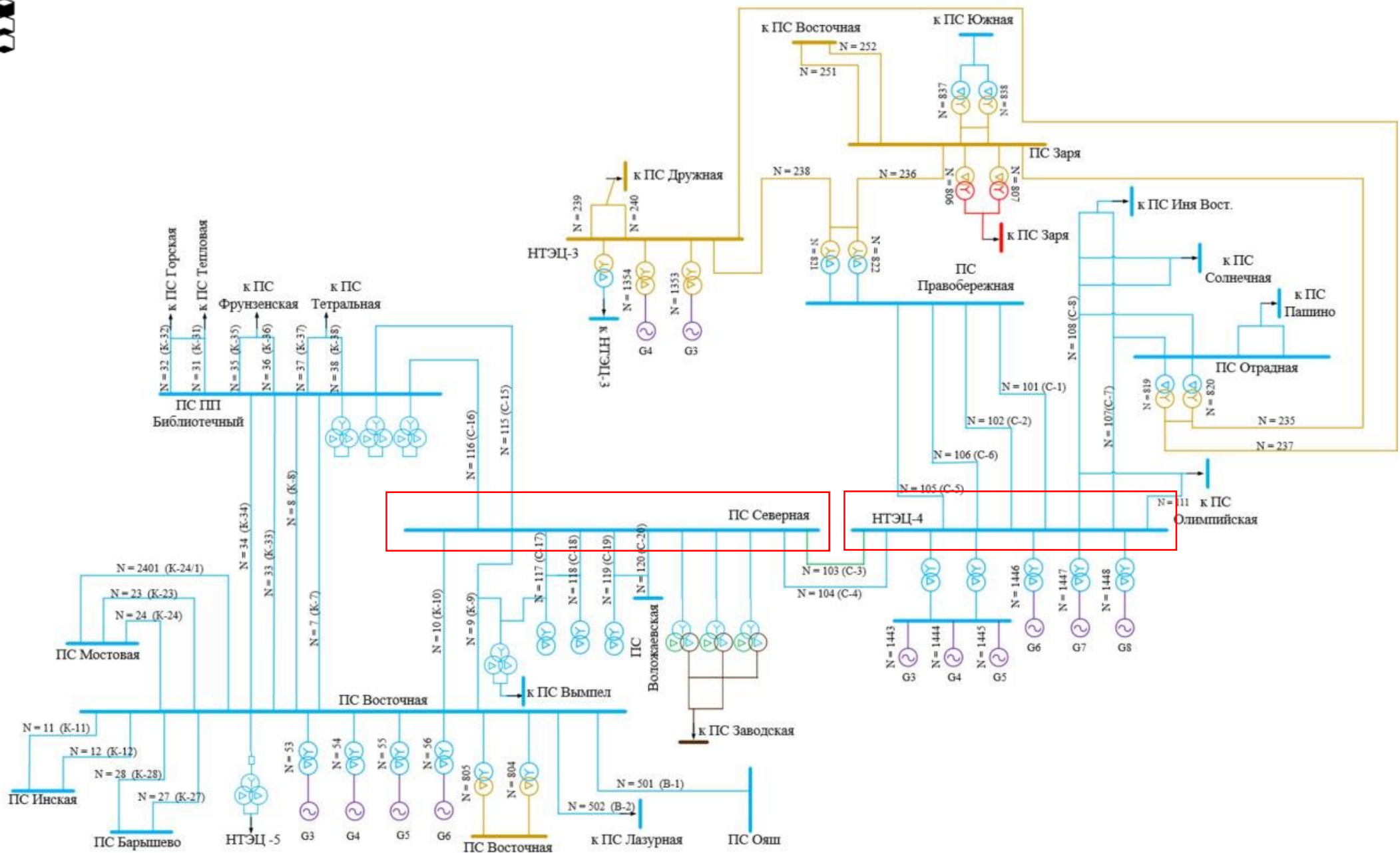


Рисунок 1. Участок ЭЭС Новосибирской области (НТЭЦ-4)



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА НТЭЦ-4

Таблица 2. Предварительная таблица

ЛЭП	Минимальные расчетные схемы	ЗІю, А (А0)	Кч
<b>ВЛ 110 кВ НТЭЦ-4 - ПРАВОБЕРЕЖНАЯ</b>	1АТ ПС 220 кВ Отрадная И 2АТ ПС 220 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ СЕВЕРНАЯ-НТЭЦ-4 И ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-НТЭЦ-4 (цепь 1, цепь 2, цепь 3) И ВЛ 220 кВ НТЭЦ-3-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ- ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ОТРАДНАЯ-НТЭЦ-3 И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ОТРАДНАЯ И ВЛ 110 кВ БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ И 1Т И 2Т ПС 220 кВ Северная И ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО И ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ И ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)	11405	1,190
<b>ВЛ 110 кВ НТЭЦ-4 – ОТРАДНАЯ</b>	1АТ ПС 220 кВ Отрадная (819) И 2АТ ПС 220 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ СЕВЕРНАЯ-НТЭЦ-4 И ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-НТЭЦ-4 (цепь 1, цепь 2, цепь 3) И ВЛ 220 кВ НТЭЦ-3-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ- ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ОТРАДНАЯ-НТЭЦ-3 И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ОТРАДНАЯ И ВЛ 110 кВ БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ И 1Т И 2Т ПС 220 кВ Северная И ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО И ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ И ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)	11522	1,709



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА НТЭЦ-4

Таблица 3. Минимальный режим работы энергорайона НТЭЦ-4

Наименование объекта	Минимальные расчетные схемы
НТЭЦ-4	<p>Отключены:</p> <p>1АТ ПС 220 кВ Отрадная И 2АТ ПС 220 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ СЕВЕРНАЯ-НТЭЦ-4 И</p> <p>Три из ВЛ:</p> <p>ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-НТЭЦ-4 (цепь 1, цепь 2, цепь 3, цепь 4) И</p> <p>ВЛ 220 кВ НТЭЦ-3 –ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ- ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И</p> <p>ВЛ 220 кВ ОТРАДНАЯ-НТЭЦ-3 И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ОТРАДНАЯ И</p> <p>ВЛ 110 кВ ПП БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ И 1Т И 2Т ПС 220 кВ Северная И</p> <p>Три из ВЛ:</p> <p>ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО</p> <p>ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ</p> <p>ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ</p> <p>ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2)</p> <p>ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)</p>



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА НТЭЦ-4

Таблица 4. Минимальный режим работы энергорайона НТЭЦ-4

Наименование объекта	Минимальные расчетные схемы
<b>НТЭЦ-4</b>	ИЛИ Одна из ВЛ: ВЛ 110 кВ НТЭЦ-4 – СЕВЕРНАЯ (цепь 1, цепь 2) И 2АТ ПС 110 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО(цепь 1 или 2) И ВЛ 110 кВ БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) И ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) И ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) И ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2) И ВЛ 110 кВ АКАДЕМИЧЕСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) И 1Т или 2Т ПС 110 кВ Северная И ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)

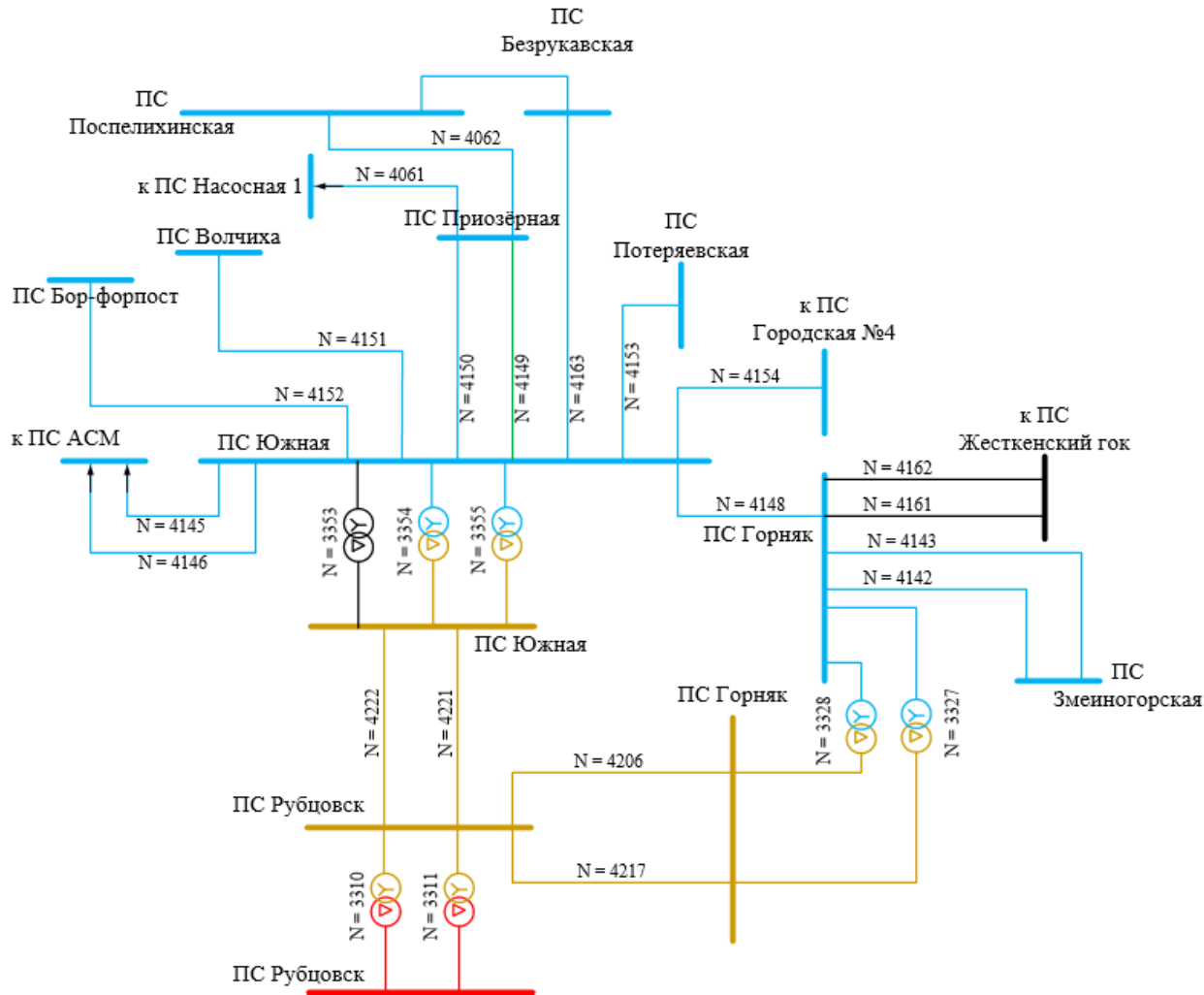


Рисунок 2. Участок ЭЭС Новосибирской области (ПС 220 кВ Южная)

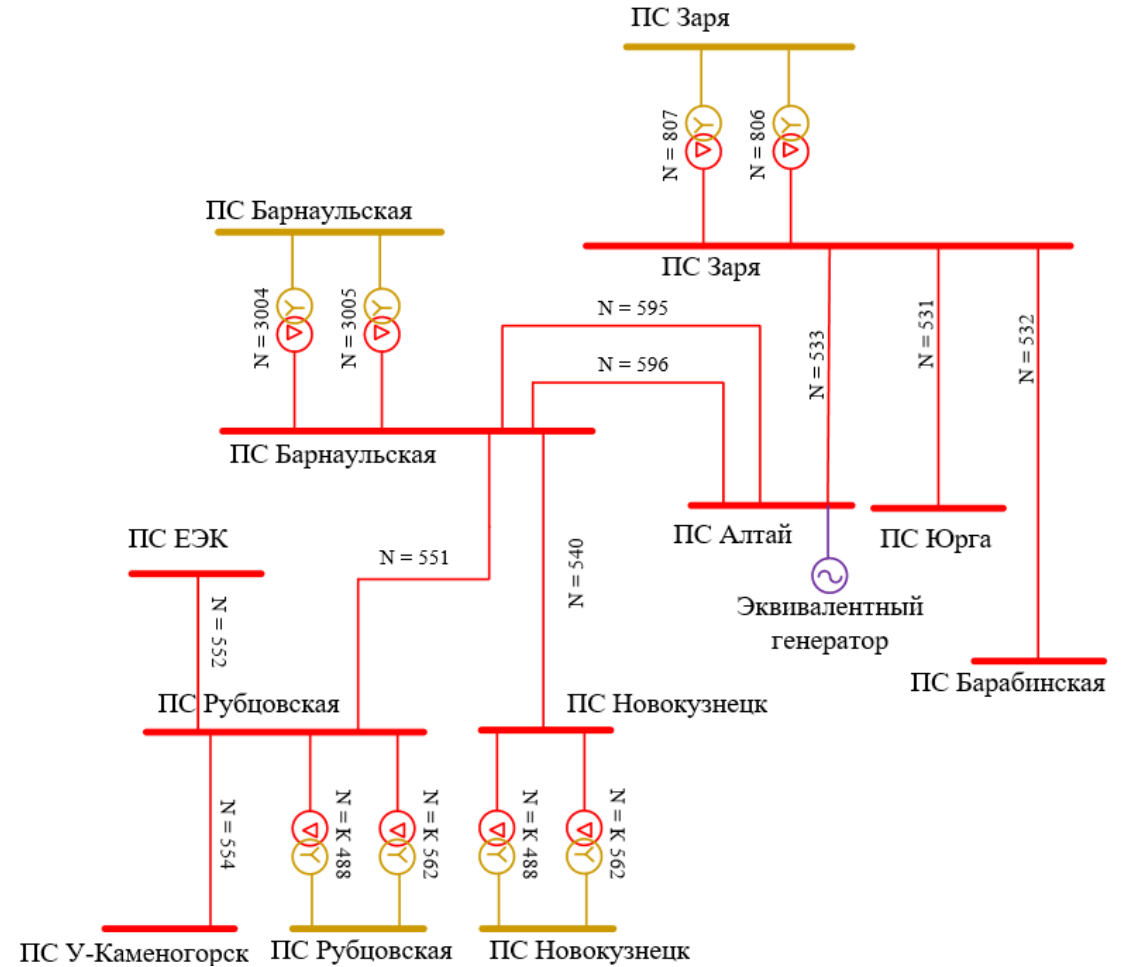


Рисунок 3. Участок ЭЭС Алтайского края (ПС 1150 кВ Алтай)



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА ПС 220 КВ ЮЖНАЯ

Таблица 5. Предварительная таблица

ЛЭП	Минимальные расчетные схемы	З <sub>Ю</sub> , А (А0)	Кч
<b>ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ПРИОЗЕРНАЯ</b>	ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ГОРНЯК И ЗАТ ПС 220 кВ Южная И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ВОЛЧИХА И (ЮБ-152) ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-БОР-ФОРПОСТ И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ПОТЕРЯЕВСКАЯ И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-АСМ И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ЮЖНАЯ И 1АТ ПС 500 кВ Рубцовская И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ГОРНЯК И 1АТ ПС 500 кВ Горняк И И ВЛ 110 кВ ГОРНЯК-ЗМЕИНОГОРСКАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ (ЗТ или 4Т) ПС 220 кВ Горняк	6828	1,476
<b>ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ - ГОРНЯК</b>	ЗАТ ПС 220 кВ Южная И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ВОЛЧИХА И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-БОР-ФОРПОСТ И (ЮГ-153) ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ПОТЕРЯЕВСКАЯ И ВЛ 110 кВ ГОРНЯК-ЗМЕИНОГОРСКАЯ (цепь 1 или 2) И 1АТ ПС 500 кВ Рубцовская И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ГОРНЯК И 1АТ ПС 500 кВ Горняк И (ЗТ или 4Т) ПС 220 кВ Горняк	7145	3,125



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА ПС 220 КВ ЮЖНАЯ

Таблица 6. Минимальный режим работы энергорайона ПС 220 кВ Южная

Наименование объекта	Минимальные расчетные схемы
<b>ПС 220 кВ Южная</b>	<p>Отключены: ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ГОРНЯК И ЗАТ ПС 220 кВ Южная И Четыре ВЛ: ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ВОЛЧИХА ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-БОР-ФОРПОСТ ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ПОТЕРЯЕВСКАЯ ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-АСМ И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ЮЖНАЯ (цепь 1 или 2) И 1АТ ПС 500 кВ Рубцовская И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ГОРНЯК И 1АТ ПС 500 кВ Горняк И ВЛ 110 кВ ГОРНЯК-ЗМЕИНОГОРСКАЯ (цепь 1 или 2) И 3Т или 4Т ПС 220 кВ Горняк</p> <p>ИЛИ ЗАТ ПС 220 кВ Южная И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ВОЛЧИХА И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-БОР-ФОРПОСТ И ВЛ 110 кВ ЮЖНАЯ-ПОТЕРЯЕВСКАЯ И ВЛ 110 кВ ГОРНЯК-ЗМЕИНОГОРСКАЯ (цепь 1 или 2) И 1АТ ПС 500 кВ Рубцовская И ВЛ 220 кВ РУБЦОВСКАЯ-ГОРНЯК И 1АТ ПС 500 кВ Горняк И 3Т или 4Т ПС 220 кВ Горняк</p>



# РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНА ПС 1150 КВ АЛТАЙ

Таблица 7. Предварительная таблица

ЛЭП	Минимальные расчетные схемы	ЗІо, А (А0)	Кч
<b>ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ- АЛТАЙ (цепь 1, цепь 2)</b>	ВЛ 500 кВ ЗАРЯ-АЛТАЙ И ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-НОВОКУЗНЕЦК И ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-РУБЦОВСКАЯ И ВЛ 500 кВ ЗАРЯ-ЮРГА И ВЛ 500 кВ БАРАБИНСКАЯ-ЗАРЯ И ВЛ 500 кВ КУЗБАС – НОВОКУЗНЕЦКАЯ ИЛИ (АТ1 или АТ2) ПС 500 кВ Рубцовская	4453	2,196
<b>ВЛ 500 кВ ЗАРЯ- АЛТАЙ</b>	ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-АЛТАЙ И 1Т ПС 500 кВ Заря ВЛ 500 кВ ЗАРЯ-ЮРГА И ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-НОВОКУЗНЕЦКАЯ И ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-РУБЦОВСКАЯ И АТ1 ПС 500 кВ Рубцовская И (АТ1 или АТ2) ПС 500 кВ Новокузнецкая	8519	1,613



Таблица 8. Минимальный режим работы энергорайона  
ПС 1150 кВ Алтай

Наименование объекта	Минимальные расчетные схемы
<b>ПС 1150 кВ Алтай</b>	ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-АЛТАЙ (цепь 1 или цепь 2) И
	ВЛ 500 кВ ЗАРЯ-ЮРГА И
	ВЛ 500 кВ БАРАБИНСКАЯ-ЗАРЯ И
	Одна из ВЛ: ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-РУБЦОВСКАЯ ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-НОВОКУЗНЕЦКАЯ И
	(АТ1 или АТ2) ПС 500 кВ Рубцовская И
	(АТ1 или АТ2) ПС 500 кВ Новокузнецкая ИЛИ
	ВЛ 500 кВ ЗАРЯ-АЛТАЙ И
	ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-НОВОКУЗНЕЦКАЯ И
	ВЛ 500 кВ БАРНАУЛЬСКАЯ-РУБЦОВСКАЯ И
	(АТ1 или АТ2) ПС 500 кВ Рубцовская И
ВЛ 500 кВ КУЗБАС – НОВОКУЗНЕЦКАЯ	

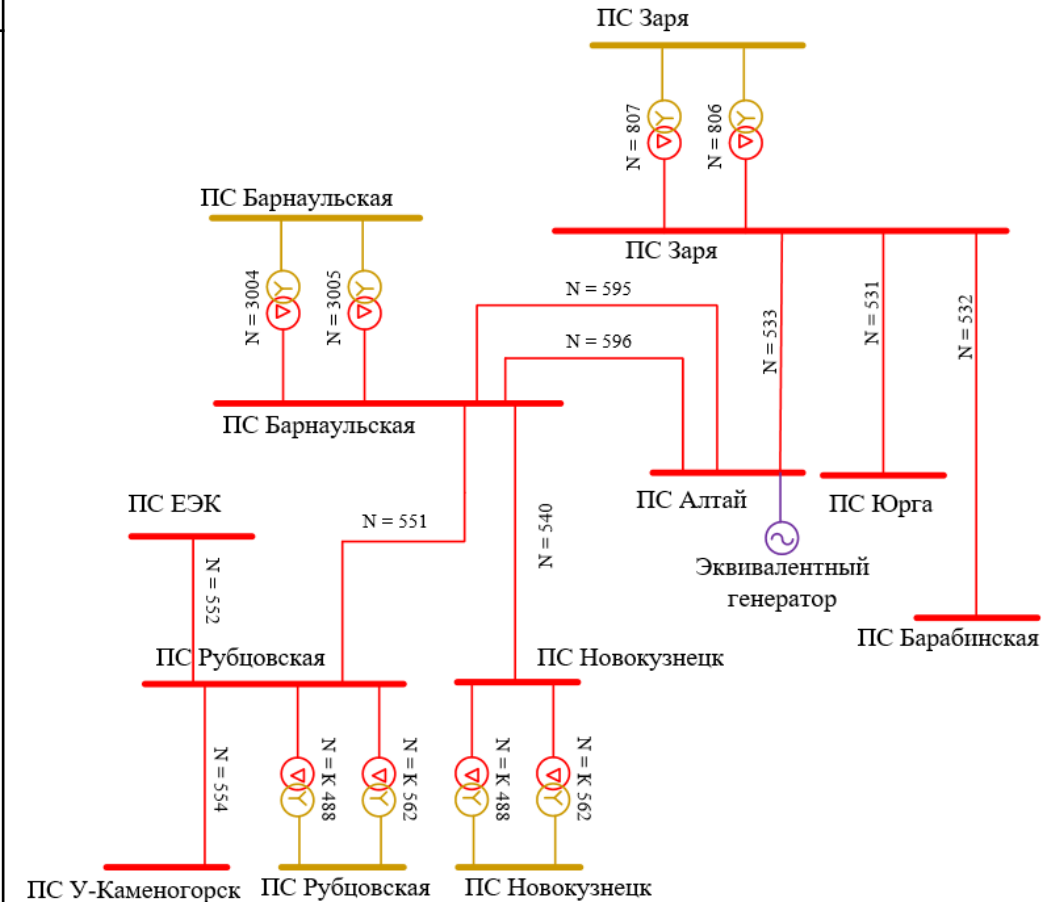


Рисунок 4. Участок ЭЭС Новосибирской области (ПС 1150 кВ Алтай)



# АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ТОКА КЗ ДЛЯ ВЫДАЧИ ИНФОРМАЦИИ СОБСТВЕННИКАМ ОБОРУДОВАНИЯ



## Исходные данные:

- МСГО
- Тип защиты
- Защищаемая ветвь
- Узел КЗ
- Тип КЗ
- Ступень
- Уставка



## ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ КЗ ДЛЯ НТЭЦ-4

Таблица 9. Предварительная таблица для определения минимального значения величины ЗІО

Минимальные режим работы энергорайона	Полный ток ЗІо, А (А0)
1АТ ПС 220 кВ Отрадная И 2АТ ПС 220 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ СЕВЕРНАЯ-НТЭЦ-4 И ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-НТЭЦ-4 (цепь 1, цепь 2, цепь 3) И ВЛ 220 кВ НТЭЦ-3-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ОТРАДНАЯ-НТЭЦ-3 И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ОТРАДНАЯ И ВЛ 110 кВ ПП БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ И 1Т И 2Т ПС 220 кВ Северная И ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО И ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ И ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)	11447
1АТ ПС 220 кВ Отрадная И 2АТ ПС 220 кВ Правобережная И ВЛ 110 кВ СЕВЕРНАЯ-НТЭЦ-4 И ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-НТЭЦ-4 (цепь 1, цепь 2, цепь 3) И ВЛ 220 кВ НТЭЦ-3-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ И ВЛ 220 кВ ОТРАДНАЯ-НТЭЦ-3 И ВЛ 220 кВ ЗАРЯ-ОТРАДНАЯ И ВЛ 110 кВ БИБЛИОТЕЧНЫЙ-СЕВЕРНАЯ И 1Т И 2Т ПС 220 кВ Северная И ВЛ 110 кВ ОТРАДНАЯ-ПАШИНО И ВЛ 110 кВ ВОСТОЧНАЯ-СЕВЕРНАЯ И ВЛ 110 кВ ВОЛОЧАЕВСКАЯ-СЕВЕРНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ МЯСОКОМБИНАТ-ПРАВОБЕРЕЖНАЯ (цепь 1 или 2) ИЛИ ВЛ 110 кВ ПРАВОБЕРЕЖНАЯ-ЧЕЛЮСКИНСКАЯ (цепь 1 или 2)	11522

Таблица 10. Итоговая таблица

Объект	Однофазное КЗ (А0)			
	I1 (модуль/фаза)		ЗІО (модуль/фаза)	
НТЭЦ-4	3816	100	11447	100



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Определены ключевые факторы, влияющие на величину полного тока нулевой последовательности.
- Выполнен анализ существующей методики определения минимального режима работы энергорайона.
- Формализована и доработана существующая методика определения минимального режима работы энергорайона.
- Разработана методика определения величин минимальных токов КЗ



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ



Системный оператор  
Единой энергетической системы

# Разработка методики определения минимального расчётного режима работы энергорайона по условиям обеспечения чувствительности токовых защит нулевой последовательности

<sup>1</sup> А.И. Новиков, <sup>2</sup> С.С. Жидов, <sup>1</sup>И.М. Кац

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

<sup>2</sup> Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири.

**Томск 2025**