



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕТОКОВ ПО КРИТЕРИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Докладчик: Соловьев Макар Борисович

Руководитель: к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ Прохоров А.В.

Кемерово 2023



ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ

M

Количество рассматриваемых составов включенного генерирующего оборудования M

K

Количество рассматриваемых схем сети



V

Количество возможных мест возникновения возмущения

F

Количество рассматриваемых видов КЗ

Z

Загрузка включенного генерирующего оборудования

Проблема: Выполнение объема расчетов N занимает много времени (до нескольких дней), а количество расчетов в цикле информационно-управляющих систем приходится ограничивать



ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель:

Разработка автоматизированной методики ранжирования возмущений на основе показателей тяжести динамического перехода для определения допустимых перетоков по критерию обеспечения динамической устойчивости.

Задачи:

1. Определение перечня показателей тяжести динамического перехода, по которым будет проводиться ранжирование возмущений;
2. Разработка алгоритма ранжирования возмущений для задачи определения перетоков по критерию обеспечения динамической устойчивости;
3. Выполнение расчетных экспериментов для тестирования разработанного алгоритма на примере задачи оценки динамической устойчивости Богучанской ГЭС.

СОСТАВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

1

Время
ликвидации
короткого
замыкания
($t_{ликв.КЗ}$), с

2

Падение
напряжения
на шинах
электростанц
ии (ΔU), кВ

3

Сброс
активной
мощности
генераторов
(ΔP), МВт

4

Значение
предельного
перетока в
послеаварийн
ом режиме
($P_{ПАР.пред}$), МВт

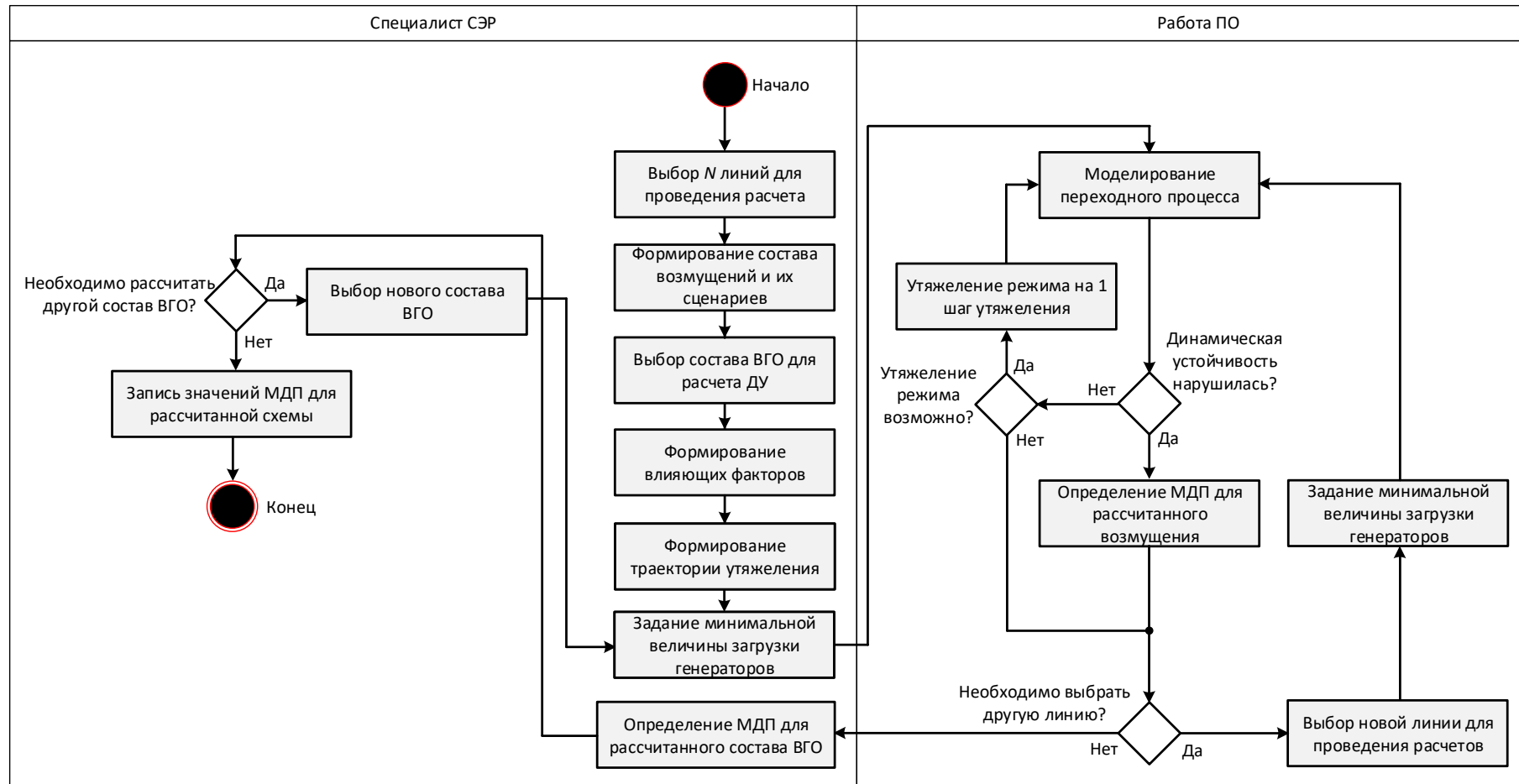
5

Начальное
значение угла
ротора
генератора
(δ_0), град

Необходимо выполнять ранжирование по удельной величине ПТ относительно его максимального значения для рассматриваемой схемы. Для этой цели переводим значения показателей в относительные единицы следующим образом:

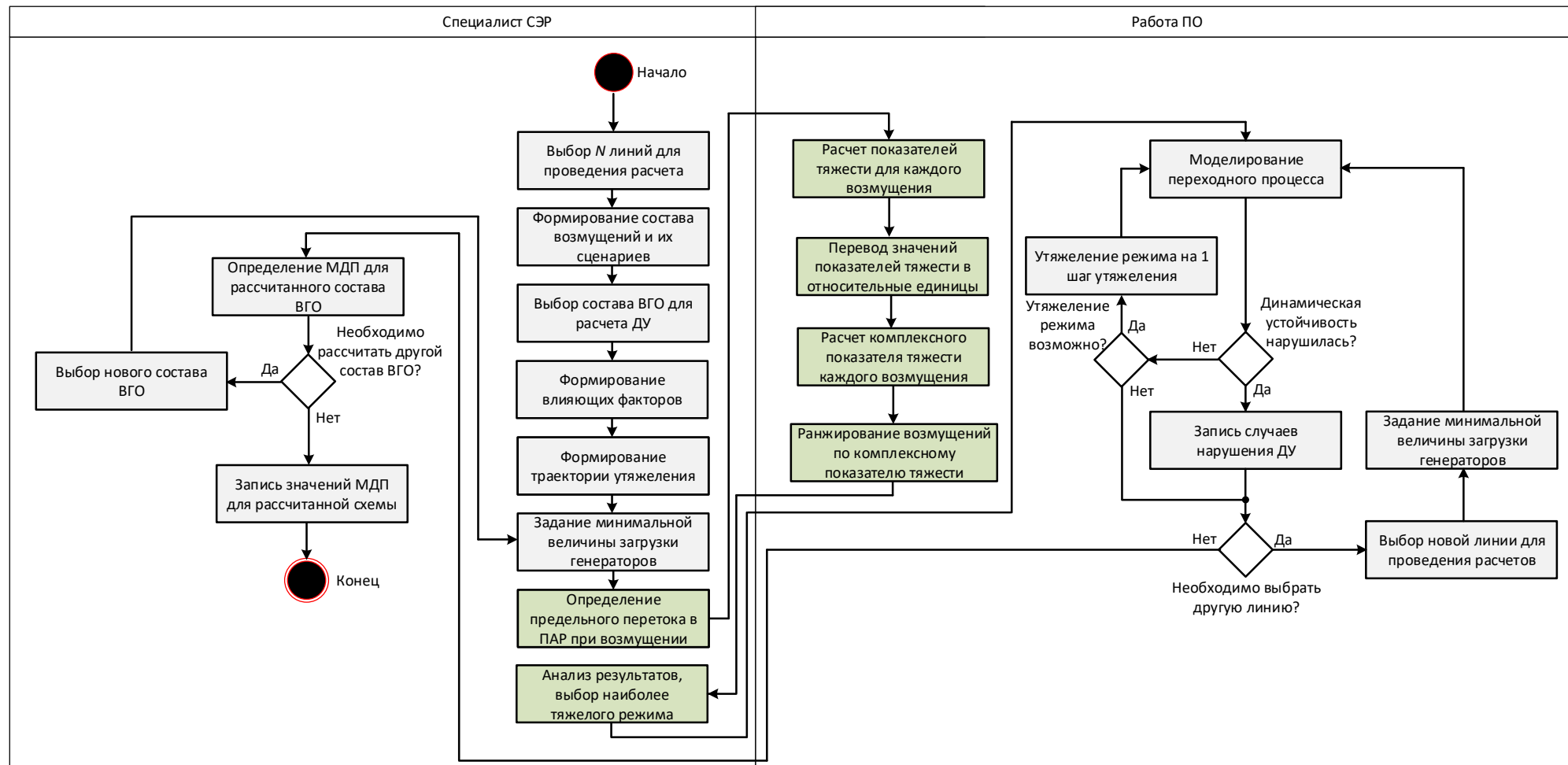
$$ПТ' = \frac{ПТ_i}{ПТ_{\max}}$$

ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ПРАКТИКЕ АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ



В базовом варианте выполнения расчетов, с которым будет сравниваться разрабатываемая методика, выполнена автоматизация расчетов по заранее подготовленным сценариям - разработано ПО «Rustab Robot» (аналог Eurobot).

АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ

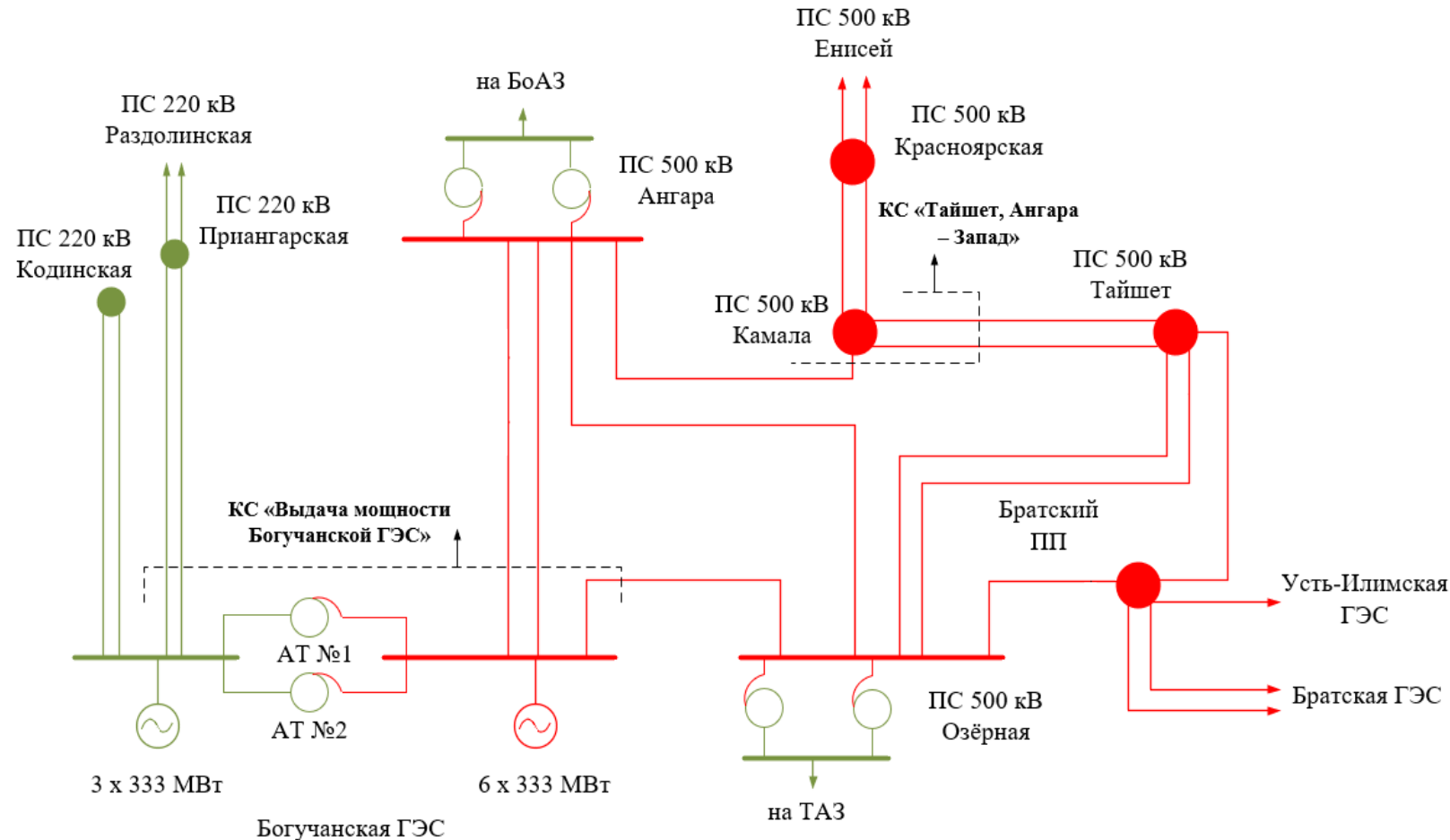


- этапы, которые добавляются при реализации методики ранжирования.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И СХЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ



Выбранное сечение

Выдача мощности Богучанской ГЭС

Состав сечения

1. КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1
2. КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2
3. КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная
4. ВЛ 220 кВ Богучанская ГЭС – Приангарская № 1
5. ВЛ 220 кВ Богучанская ГЭС – Приангарская № 2

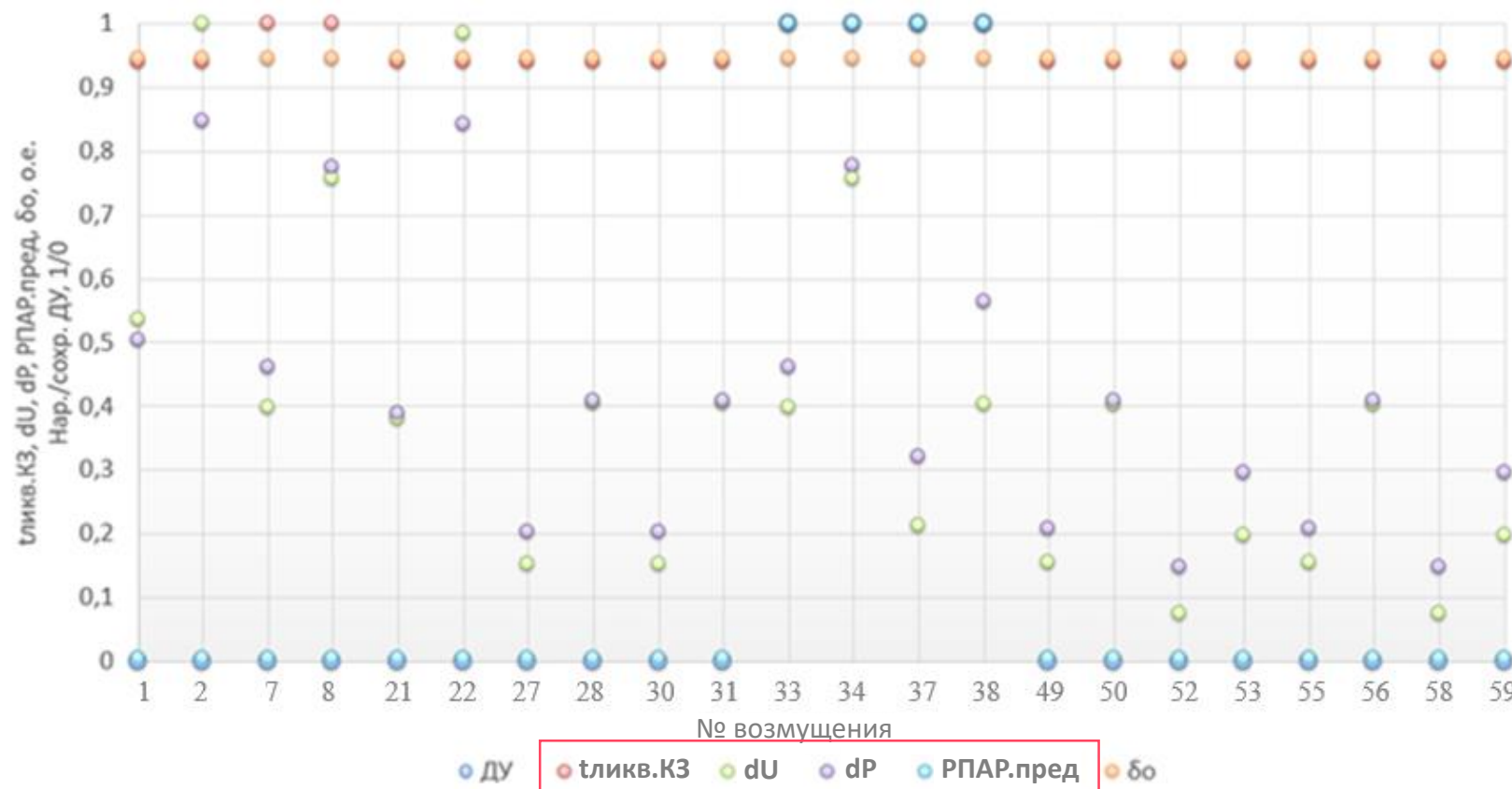
ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СЕРИИ РАСЧЕТОВ ДУ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

Схемы сети	Траектория утяжеления	Контролируемые факторы	Сценарии нормативных возмущений	Список регистрируемых величин
☐ 1. Ремонт ВЛ 500 кВ Ангара – Камала-1 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная (4 ГГ) ☐ 2. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 (6 ГГ) ☐ 3. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная (5 ГГ) ☐ 4. Ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 2 (9 ГГ)	☐ Богучанская ГЭС: Увеличение загрузки гидрогенераторов № 1 – 9 на 5 МВт ☐ Братская ГЭС: Снижение загрузки гидрогенераторов № 9 – 18 на 5 МВт	☐ Контроль напряжения на шинах Богучанской ГЭС ☐ [515; 525] кВ – для нормальной схемы ☐ [520; 525] кВ – для ремонтной схемы ☐ Контроль перетока в сечении «Тайшет – Ангара, Запад»	☐ Линии сечения «Выдача мощности Богучанской ГЭС» и его первого пояса ☐ Смоделировано 30 сценариев нормативных возмущений I, II групп для каждой схемы	☐ Углы роторов генераторов № 1 – 9 ☐ Активная мощность генераторов № 1 – 9 ☐ Напряжение на шинах Богучанской ГЭС

РАНЖИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЯЖЕСТИ



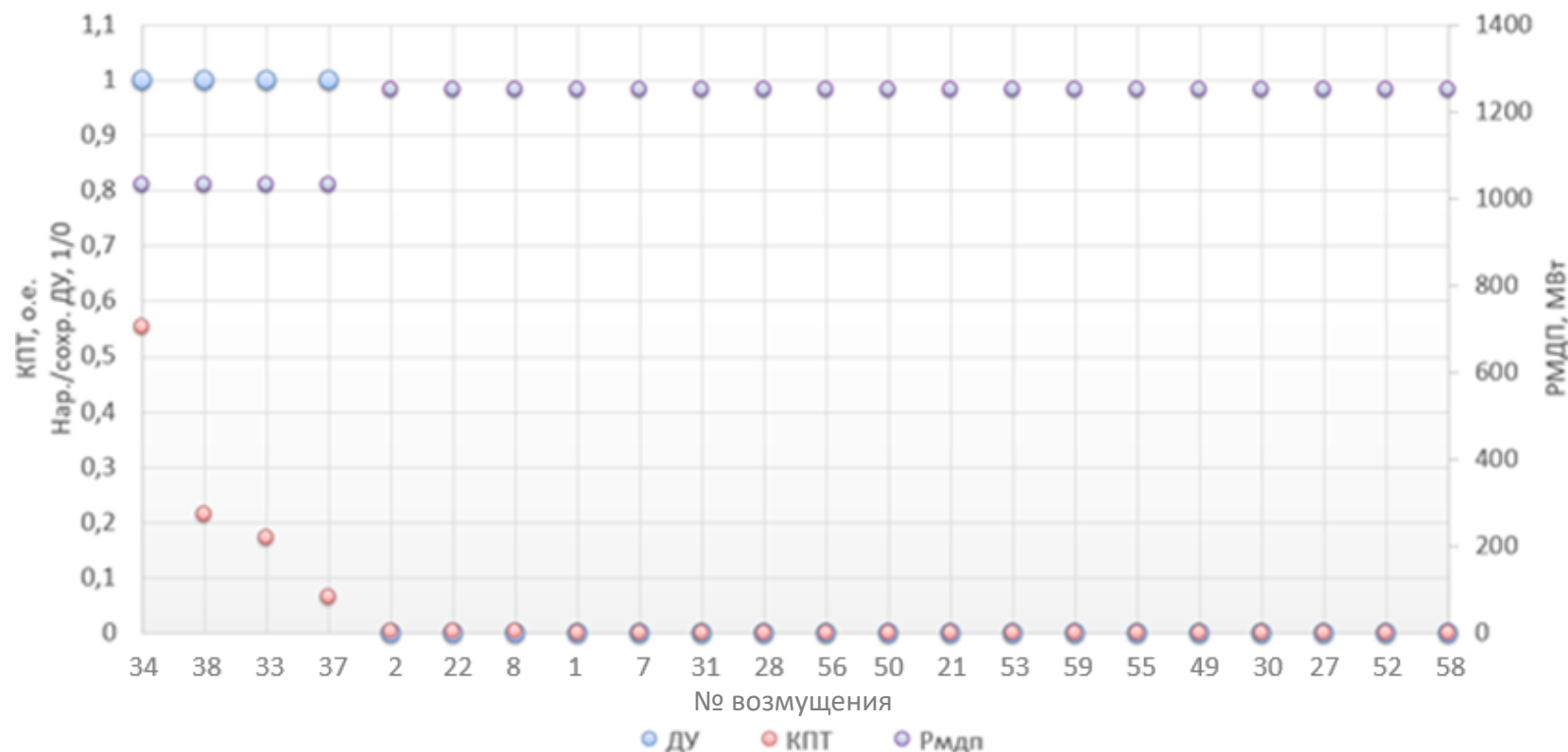
Рассматриваемые возмущения

Возмущения **I** ($K^{(1)}$) и **II** ($K^{(1,1)}$) для 500 кВ, $K^{(3)}$ для 220 кВ) групп на обоих концах следующих линий:

1. КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 и № 2
2. ВЛ 500 кВ Ангара – Озерная
3. ВЛ 220 кВ Богучанская ГЭС – Приангарская № 1 и № 2
4. ВЛ 220 кВ Приангарская – Раздолинская № 1 и № 2

Значения ПТ для возмущений схемы «Ремонт ВЛ 500 кВ Ангара – Камала-1 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная» при загрузке генераторов, равной 275 МВт

РАНЖИРОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПО КОМПЛЕКСНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ТЯЖЕСТИ



Вычисление

На данном этапе работы расчет комплексного ПТ выполняется упрощенно следующим образом:

$$Тяжесть = \prod_{i=1}^n ПТ_i$$

Согласно проведенному ранжированию, динамическая устойчивость нарушается при значениях КПТ, равных 0.01 и больше.

Ранжированные возмущения для схемы «Ремонт ВЛ 500 кВ Ангара – Камала-1 и КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная» при загрузке генераторов, равной 275 МВт

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МДП, ПРЕДЕЛЬНОГО ПО КРИТЕРИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

Алгоритм работы технолога ДЦ

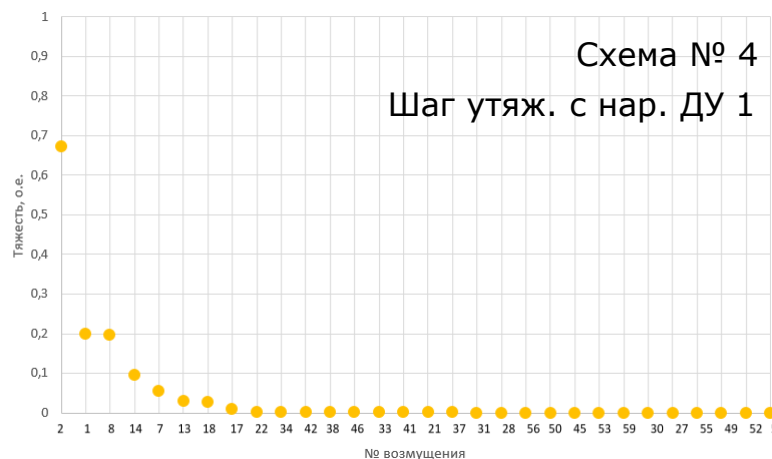
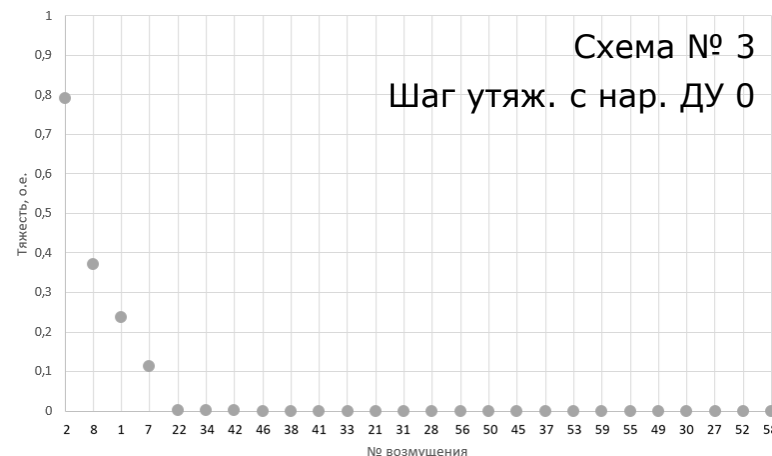
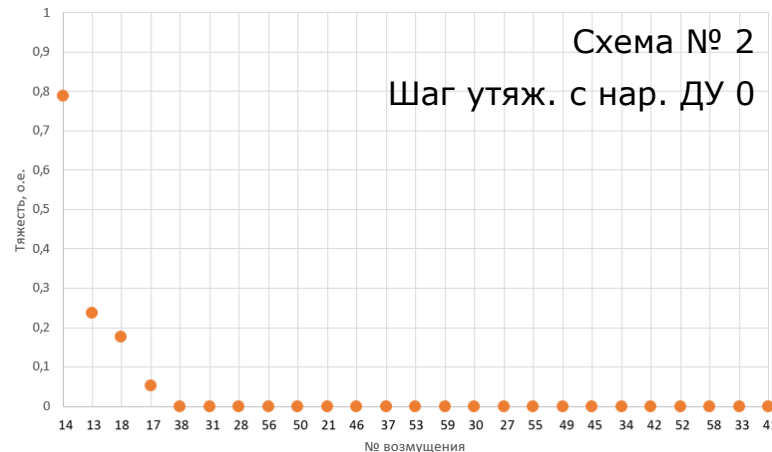
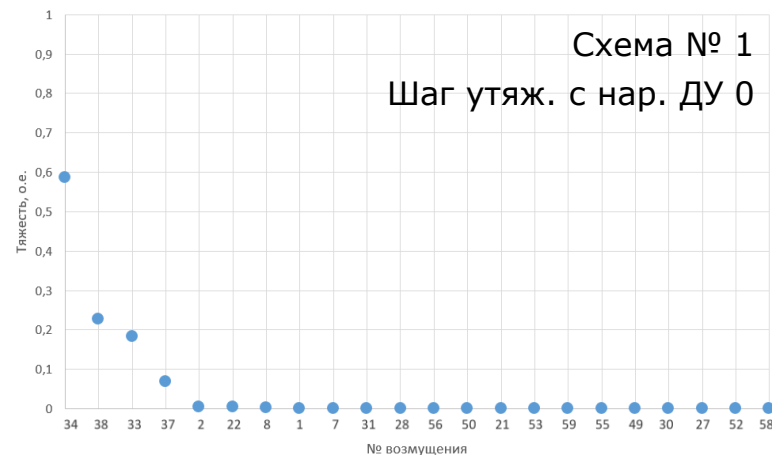
Схема сети	Возмущение с нарушением ДУ	Шаг утяж. с нар. ДУ	МДП, МВт	Кол-во ПП
1	$K^{(1)}$ на ВЛ 500 кВ Ангара – Озерная вблизи ПС 500 кВ Ангара	0	1031	97
2	$K^{(1)}$ на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная вблизи Богучанской ГЭС	0	1581	49
3	$K^{(1)}$ на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 вблизи Богучанской ГЭС	0	1305	49
4	$K^{(1)}$ на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 вблизи Богучанской ГЭС	1	2448	62

Результаты расчета

- Необходимо выполнить расчет **257 переходных процессов**
- Время расчета всех переходных процессов составило **17 часов и 8 минут**

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МДП, ПРЕДЕЛЬНОГО ПО КРИТЕРИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Алгоритм ранжирования возмущений по показателям тяжести



Результат ранжирования возмущений

Результаты расчета

- Необходимо выполнить расчет 5 переходных процессов (**меньше на 252**)
- Время расчета переходных процессов составило **20 минут**
- Время расчета показателей тяжести возмущений составило **52 минуты**
- Общее время расчета составило **1 час и 12 минут**
- Алгоритм позволяет сократить затраты времени на **15 часов и 56 минут**, чем метод технолога

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ✓ Определен перечень показателей тяжести динамического перехода для ранжирования возмущений
- ✓ Разработана методика ранжирования возмущений с помощью показателей тяжести при определении перетоков по критерию обеспечения динамической устойчивости
- ✓ Выполнена апробация алгоритма на примере Богучанской ГЭС, входящей в операционную зону Красноярского РДУ

Из результатов сравнения следует, что для рассмотренных примеров при определении величины МДП, предельного по критерию динамической устойчивости, для нескольких схем сети применение ранжирования возмущений позволило сократить общее время расчета на 15 часов и 56 минут (с 17 часов и 8 минут), а объем расчетов – с 257 расчетных случаев до 5.

План дальнейшей работы заключается в автоматизации этапов алгоритма ранжирования возмущений в качестве модуля для ПО «Rustab Robot».



 **СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

Докладчик: Соловьев Макар Борисович

Контактная информация:



г. Томск, ул. Усова 15 Б



8-952-176-50-40



solovyovmakar@gmail.com