



Конференция Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ  
Сибири по теме: «Планирование и управление  
электроэнергетическими системами»

# Разработка алгоритмов определения дозировки управляющих воздействий автоматики разгрузки при коротких замыканиях Богучанской ГЭС

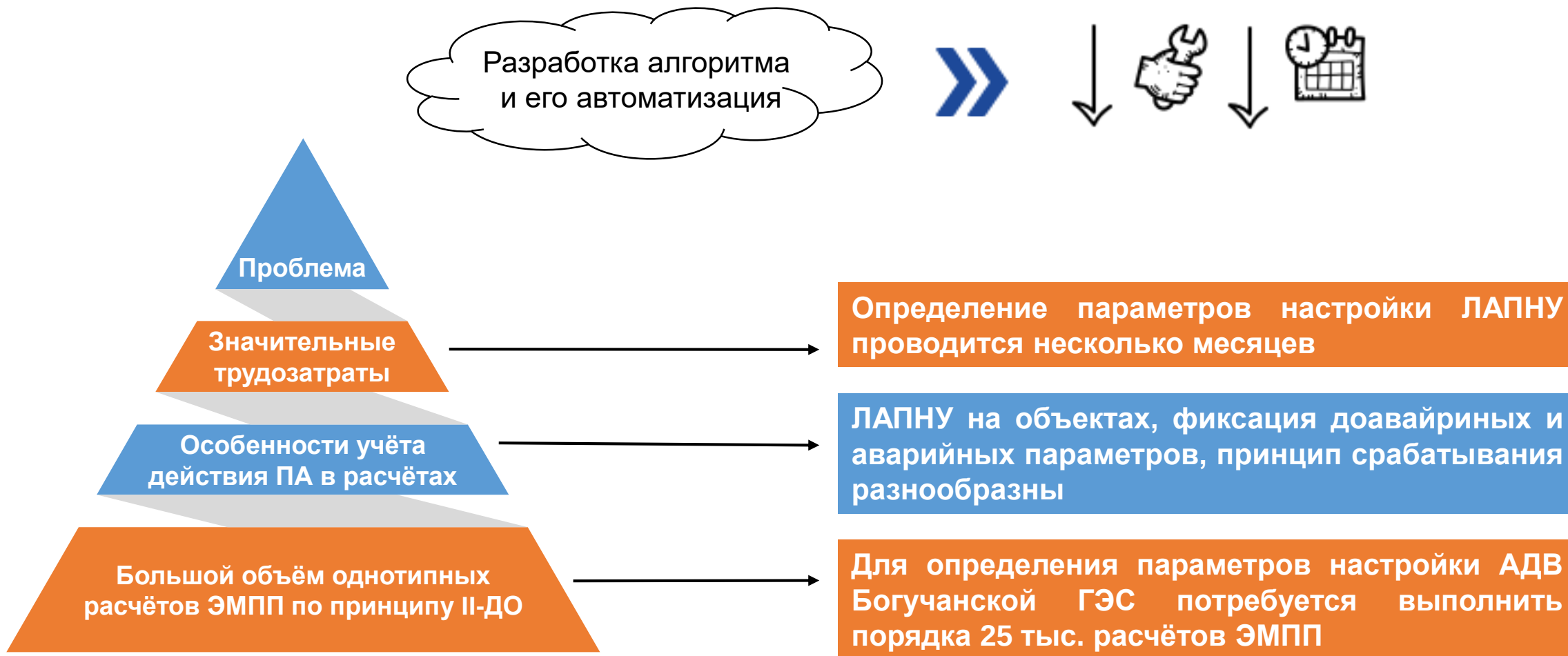
**Докладчик:** Копцев Илья Олегович

**Соавторы:** к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ Кац И.М,  
к.т.н., главный специалист СЭР Бородин Д.Н.

Кемерово, 7 декабря 2023 г.



# Основные положения исследования



# Объект исследования

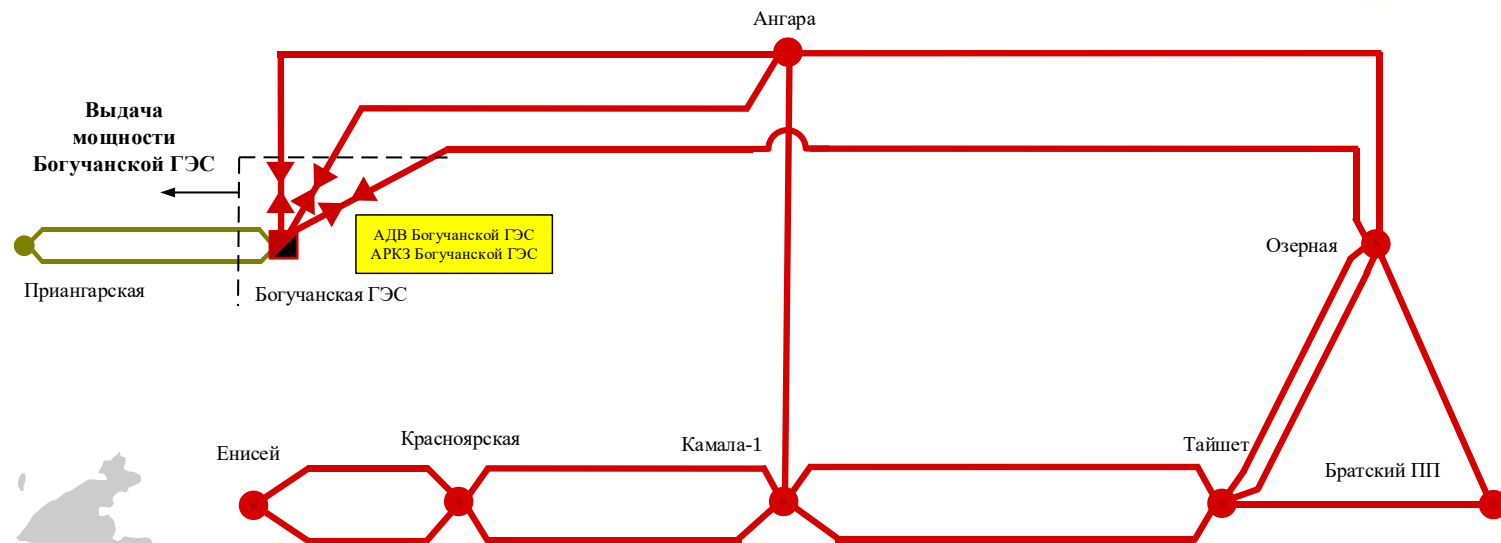


## Общие сведения:

Установленная мощность – 2997 МВт,

Номинальная мощность генератора – 333 МВт,

Количество генераторов – 9.



Фрагмент ОЗ ОДУ Сибири – КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС»

## АРКЗ Богучанской ГЭС включает:

- ▶ Автоматика разгрузки при близких КЗ в сети 220 кВ (АРБКЗ-220);
- ▶ Автоматика разгрузки при близких КЗ в сети 500 кВ (АРБКЗ-500);
- ▶ Автоматика разгрузки при затяжных КЗ в сети 500 кВ (АРЗКЗ).



Богучанская ГЭС

# Укрупнённый алгоритм определения дозировки УВ от АРЗКЗ и АРБКЗ

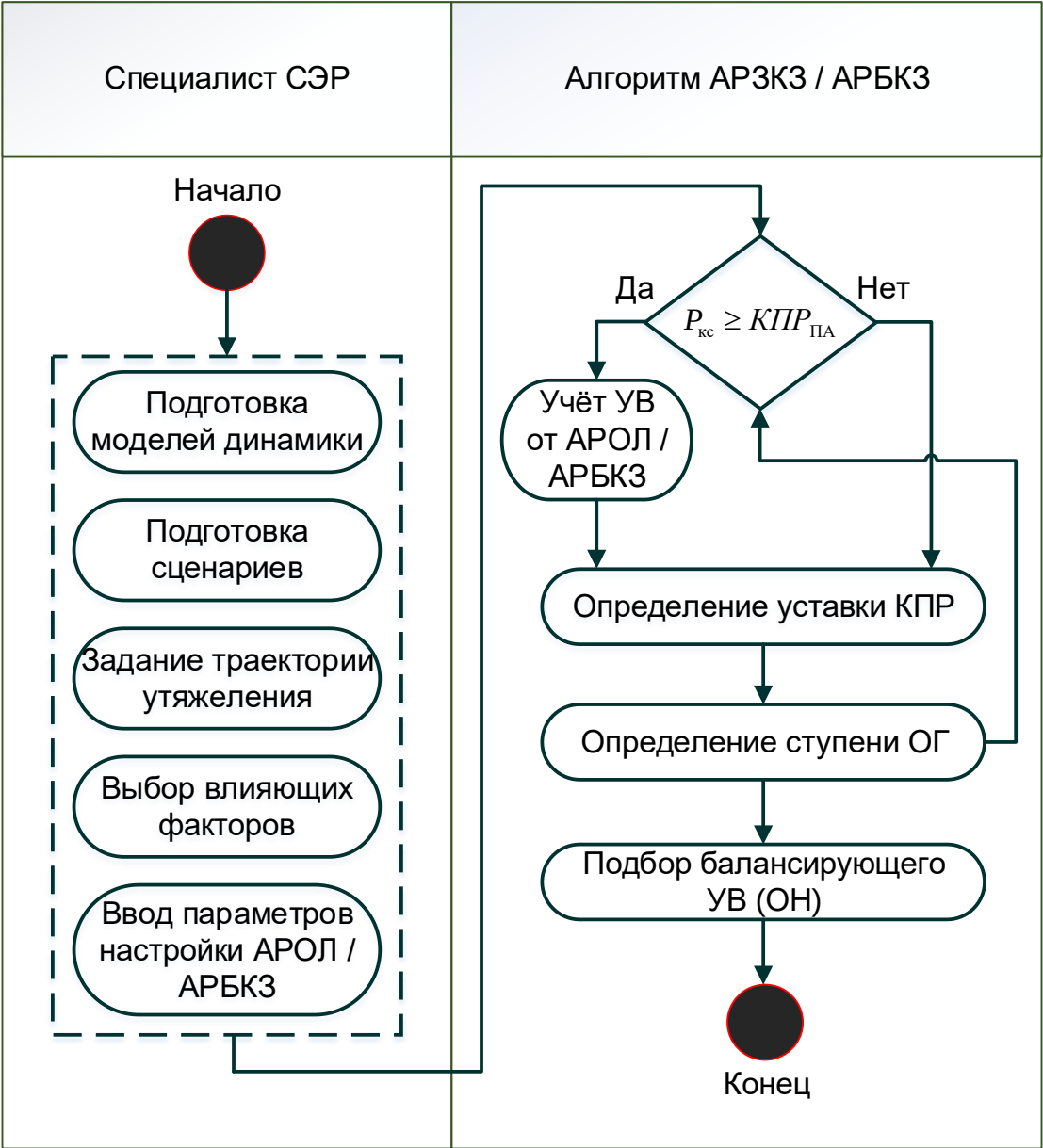
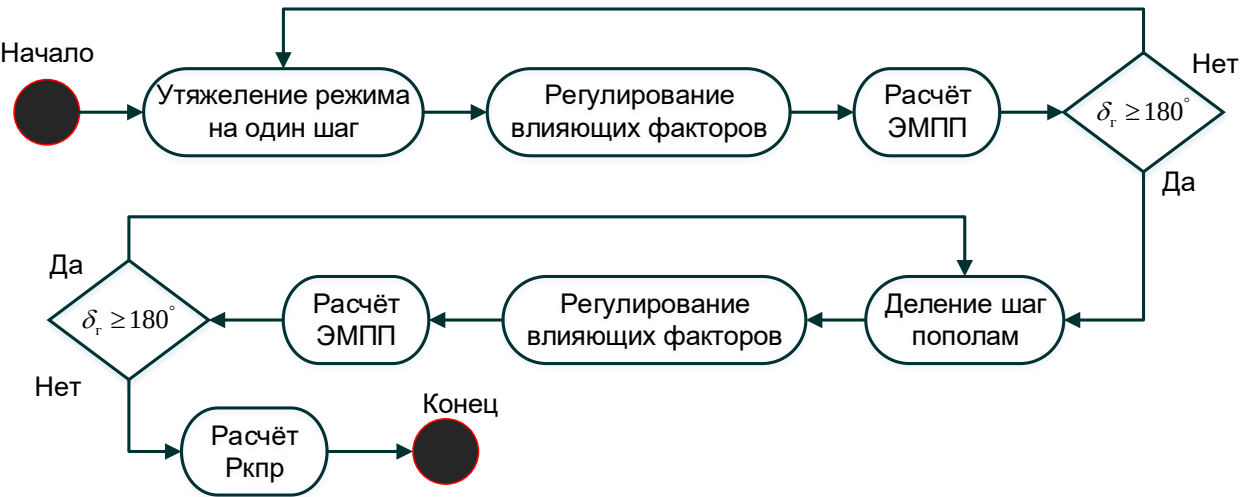


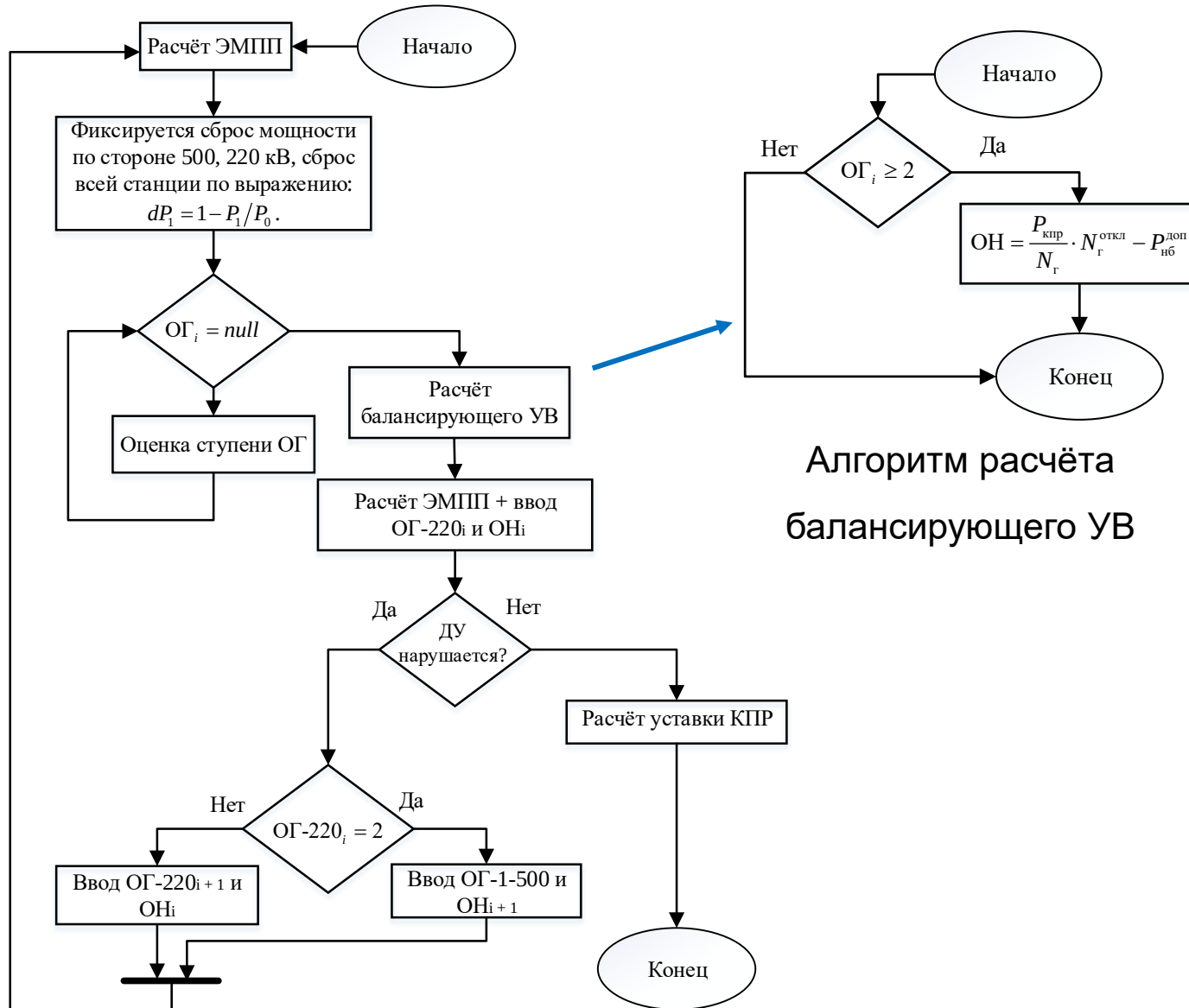
Таблица 1 – Параметры настройки АРОЛ / АРБКЗ

| Параметр настройки<br>КПР, МВт | Управляющие воздействия |        |
|--------------------------------|-------------------------|--------|
|                                | на ОГ                   | на ОН  |
| КПР1                           | ...                     | ...    |
| ...                            | ...                     | ...    |
| КПРmax                         | ОГ-max                  | ОН-max |



Алгоритм определения уставки КПР

# Определение управляющих воздействий от АРБКЗ-220



Алгоритм расчёта балансирующего УВ

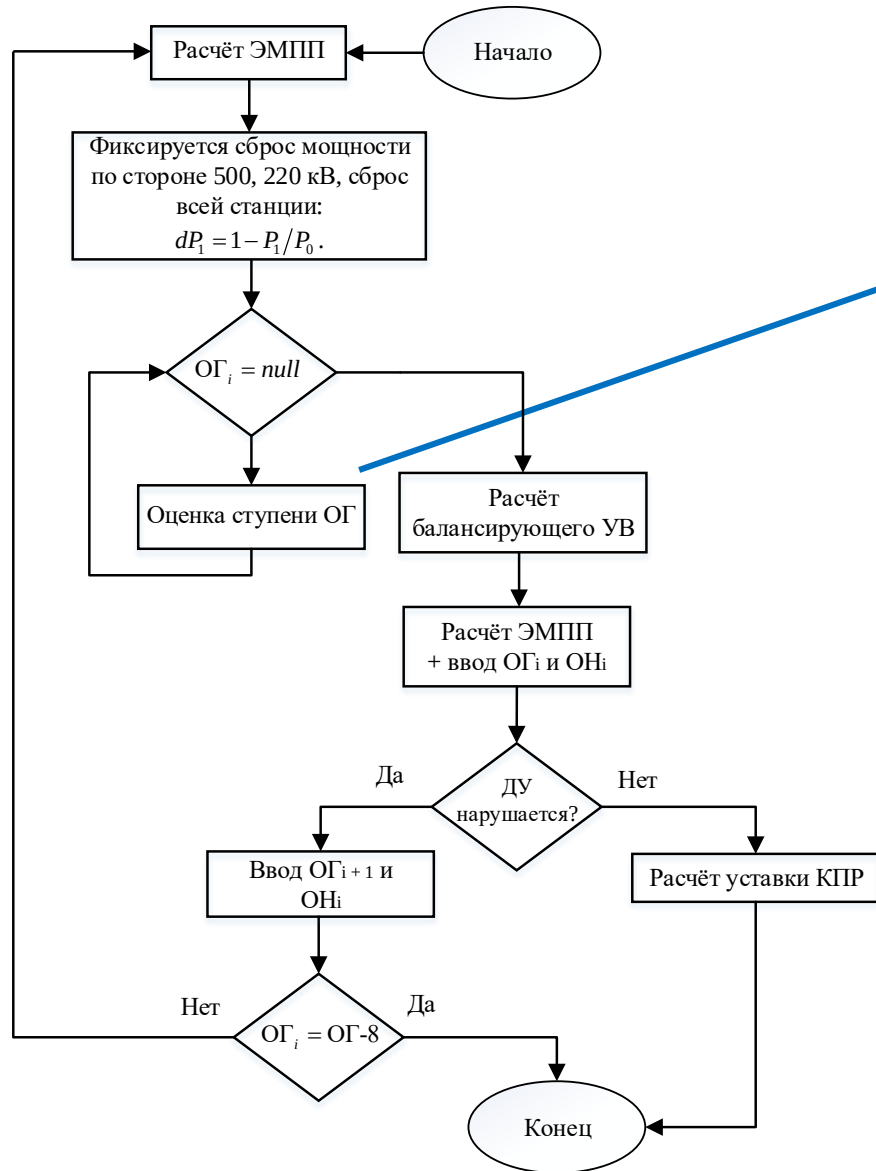
Пример расчёта балансирующего ОН:

$$\text{ОН} = \frac{P_{\text{кпр}}}{N_{\Gamma}} \cdot N_{\Gamma}^{\text{откл}} - P_{\text{нб}}^{\text{доп}} = \frac{2850}{9} \cdot 3 - 500 = 950 - 500 = 450 \text{ МВт} \rightarrow \text{ОН} - 4 \text{ Бр (объём 600 МВт)},$$

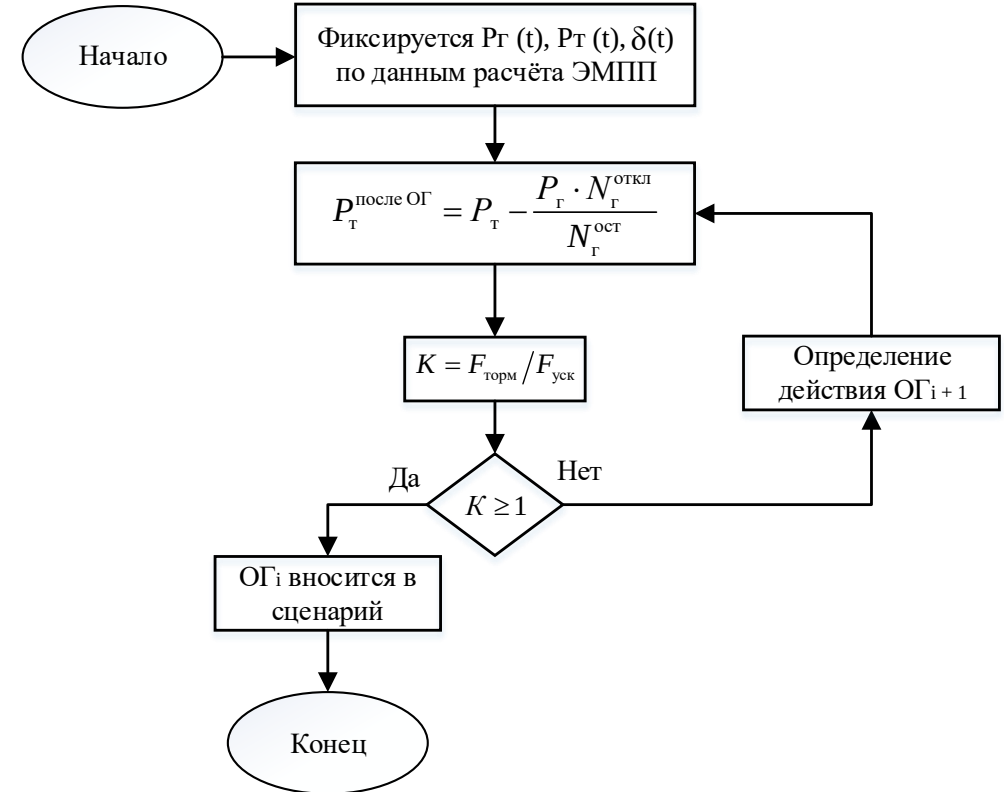
где  $P_{\text{кпр}}$  – уставка КПР, МВт;  $N_{\Gamma}$  – количество генераторов БоГЭС, находящихся в работе;  $N_{\Gamma}^{\text{откл}}$  – количество отключенных генераторов, в качестве УВ;  $P_{\text{нб}}^{\text{доп}}$  – допустимый небаланс, равный 500 МВт.

Алгоритм определения УВ от АРБКЗ-220

# Определение управляющих воздействий от АРБКЗ-500



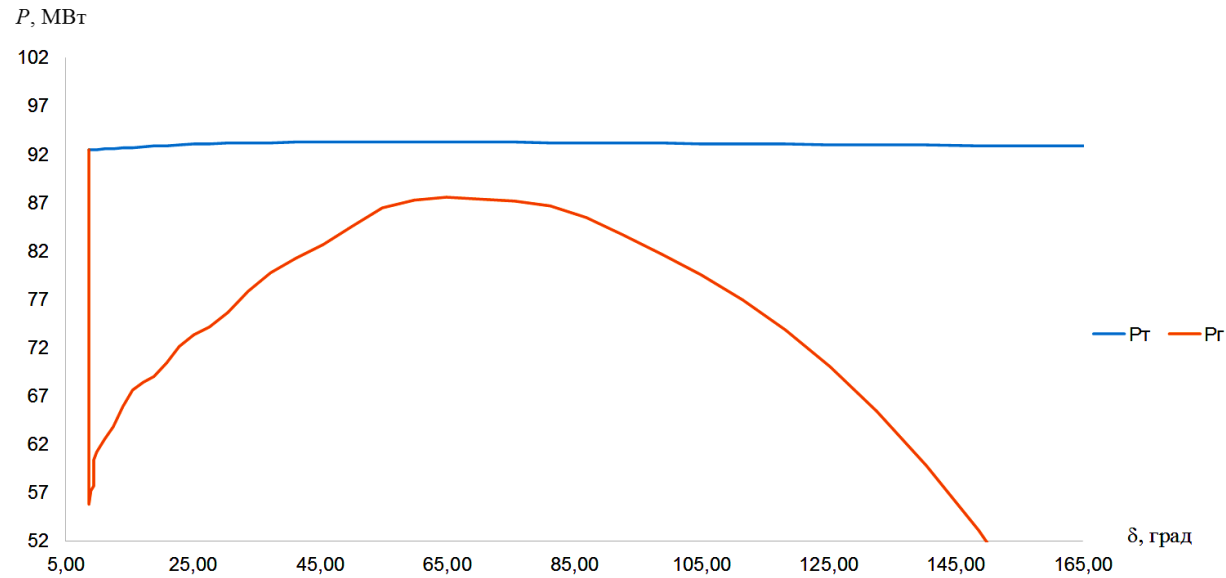
Алгоритм определения УВ от АРБКЗ-500



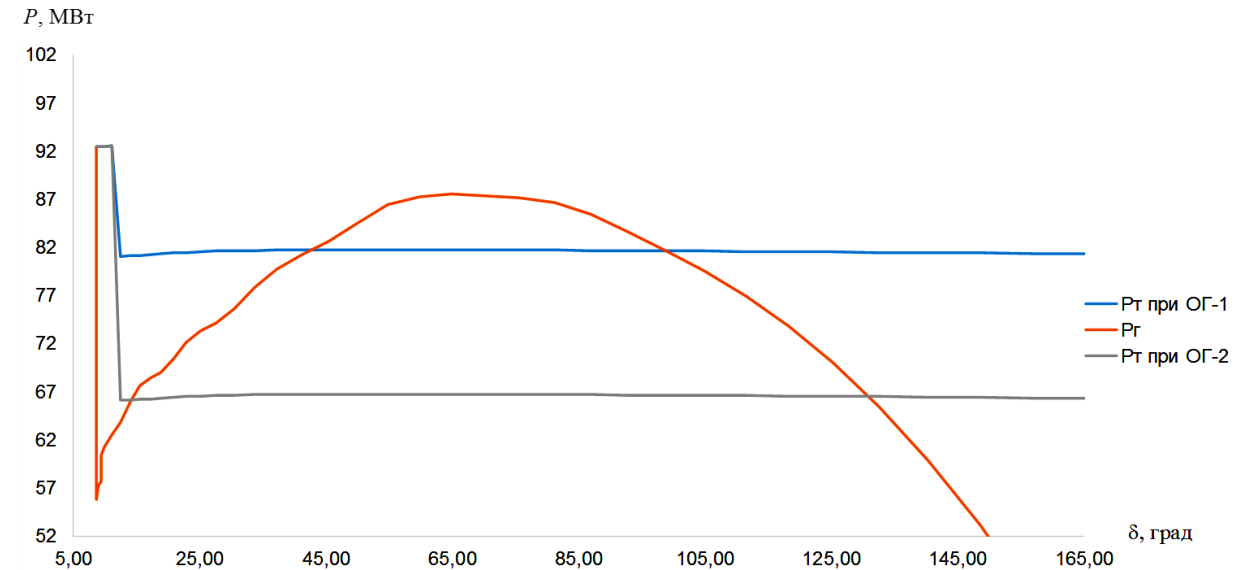
Алгоритм оценки ступени ОГ



# Оценка количества отключаемых генераторов в качестве УВ



Результат расчёта ЭМПП при К(1,1) на КВЛ 500 кВ  
Богучанская ГЭС – Озёрная вблизи ПС Озёрная



Определение действия ОГ после ввода УВ

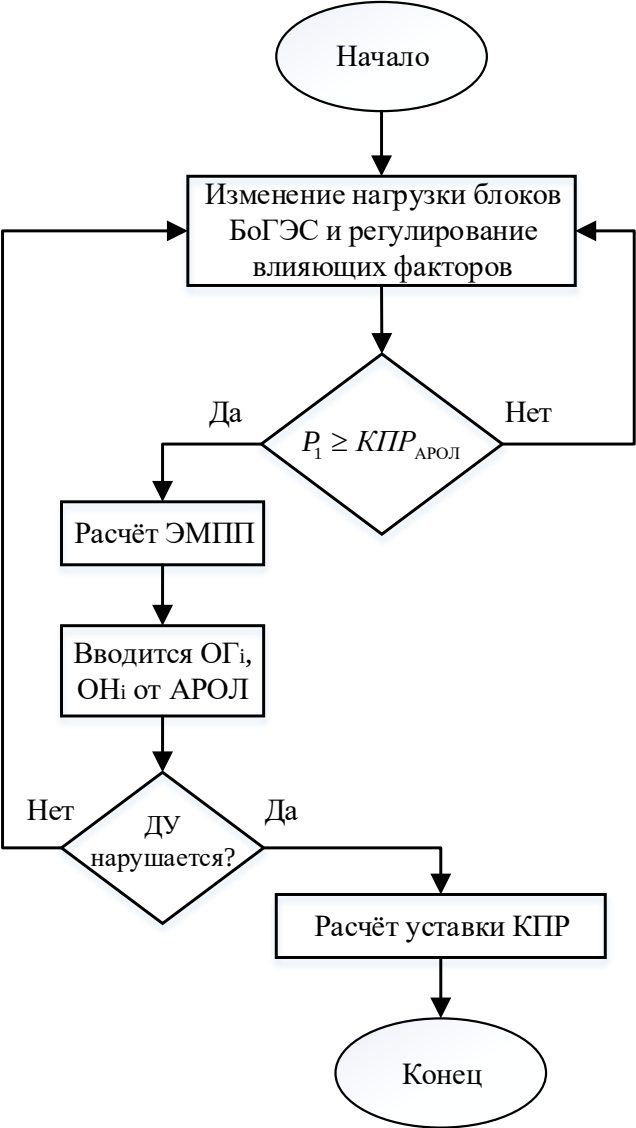
Определение действия ОГ-1 после ввода УВ:

$$P_{\text{после ОГ}} = P_t - \frac{P_{\text{г д/ав}} \cdot N_{\text{г}}^{\text{откл}}}{N_{\text{г}}^{\text{ост}}} = 92,5 - \frac{92,5 \cdot 1}{8} = 92,5 - 11,5 = 81,0 \text{ МВт.}$$

Определение действия ОГ-2 после ввода УВ:

$$P_{\text{после ОГ}} = P_t - \frac{P_{\text{г д/ав}} \cdot N_{\text{г}}^{\text{откл}}}{N_{\text{г}}^{\text{ост}}} = 92,5 - \frac{92,5 \cdot 2}{7} = 92,5 - 26,5 = 66,0 \text{ МВт.}$$

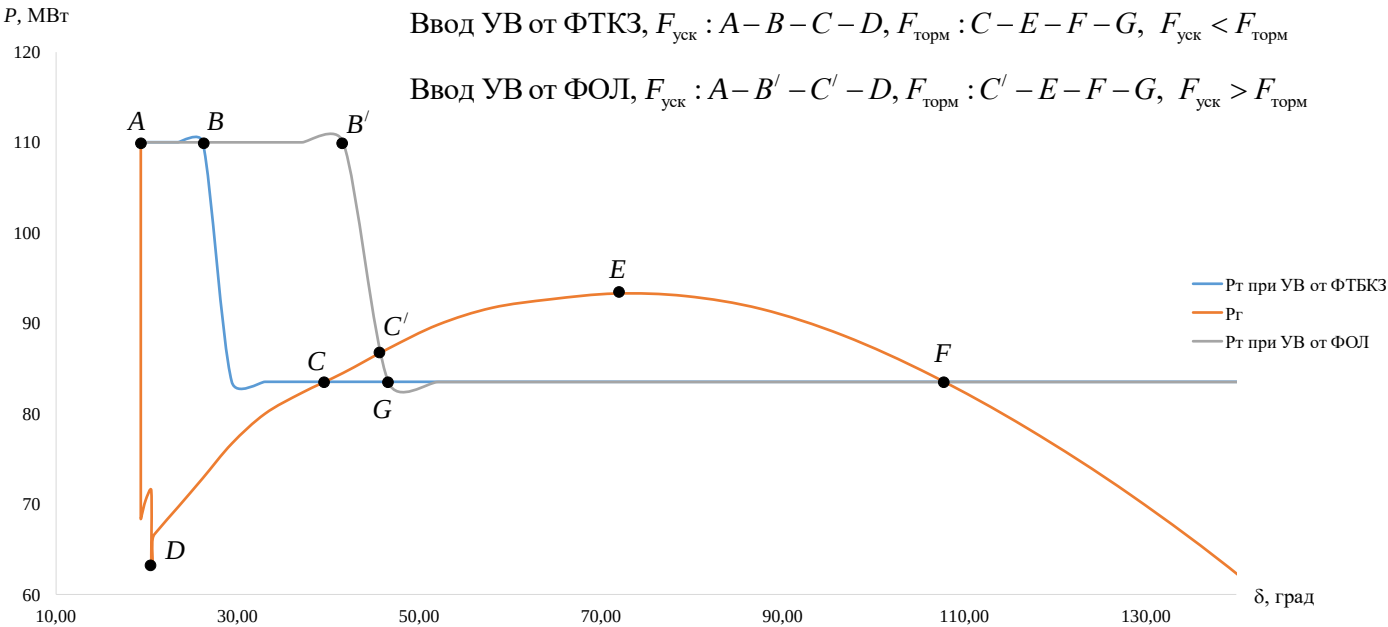
# Учёт действия АРОЛ при определении уставки КПР АРБКЗ-500



Алгоритм учёта действия АРОЛ

Таблица 3 – Время реализации команды ПА

| Команда<br>ПА | Суммарное время реализации команды, мс |                                                          |                                                |
|---------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|               | АРБКЗ<br>(ФТБКЗ)                       | ФОЛ КВЛ 500 кВ<br>Богучанская ГЭС –<br>Ангара 1 и 2 цепь | ФОЛ КВЛ 500 кВ<br>Богучанская ГЭС –<br>Озёрная |
| ОГ<br>БоГЭС   | 177                                    | 279                                                      | 290                                            |



Угловая характеристика мощности генератора Г-3 при моделировании ОГ-3



# Определение управляющих воздействий от АРЗКЗ

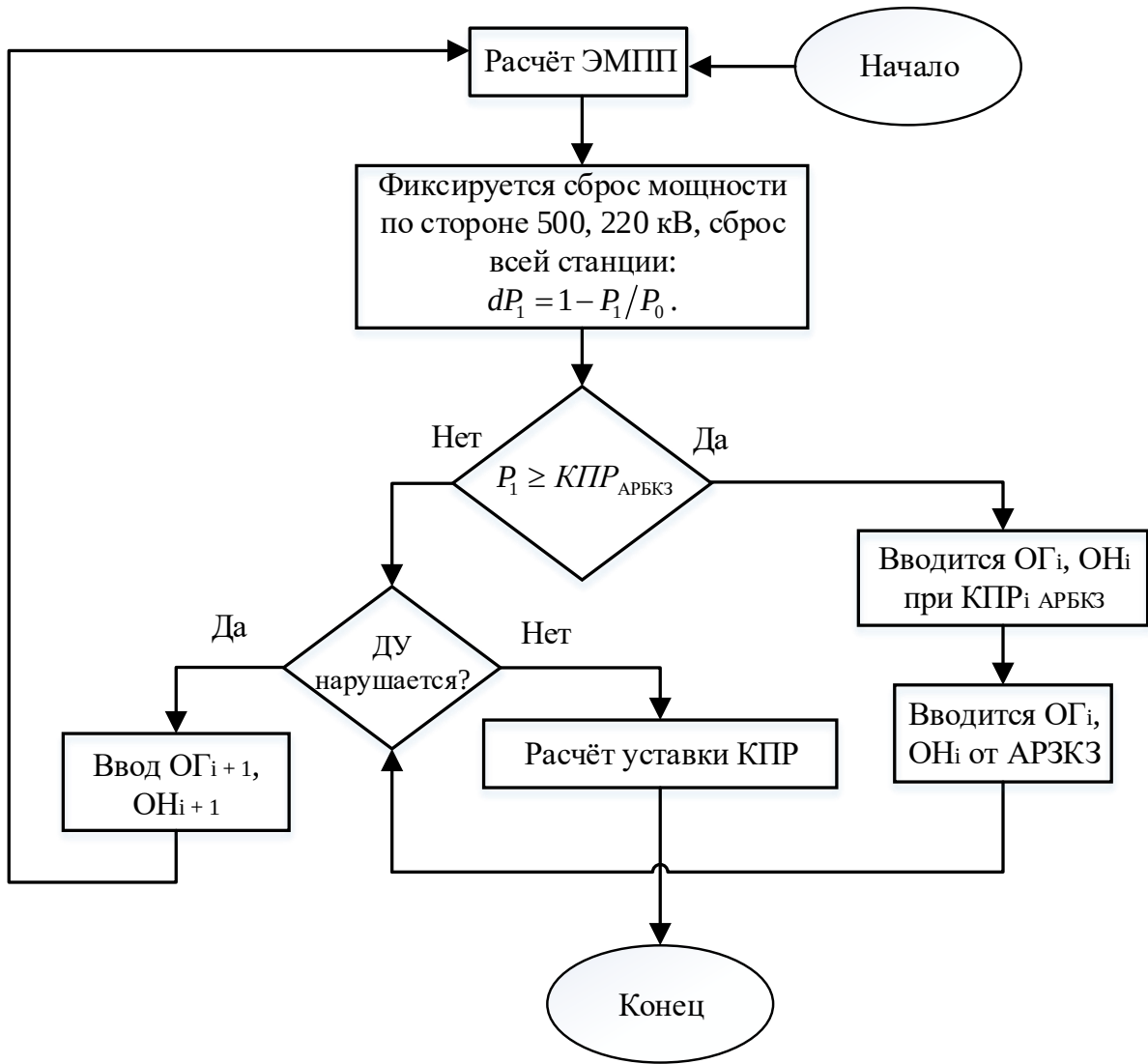
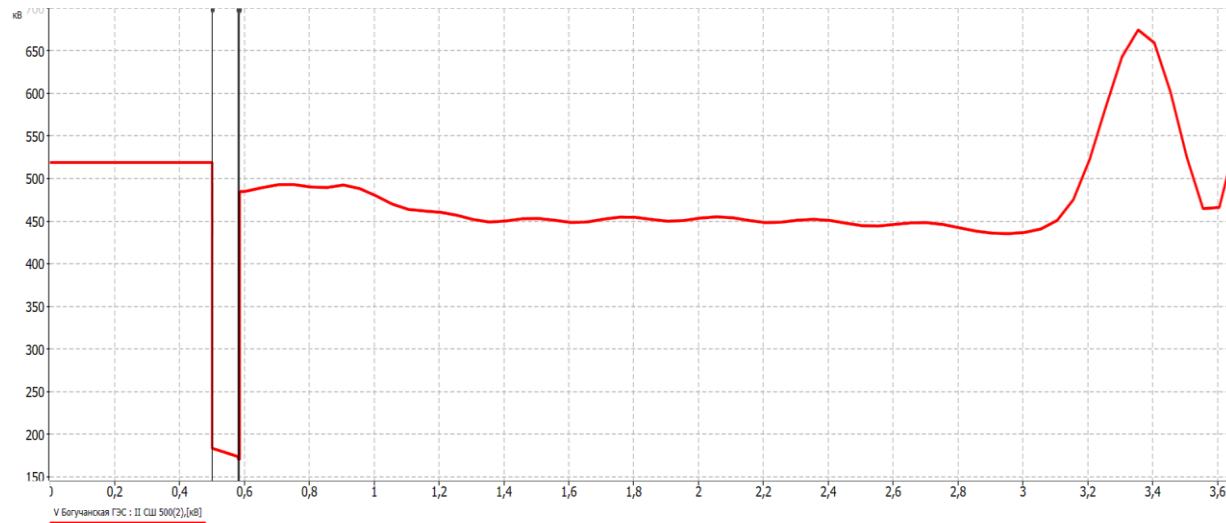


Таблица 4 – Пример учёта АРБКЗ в настройке АРЗКЗ

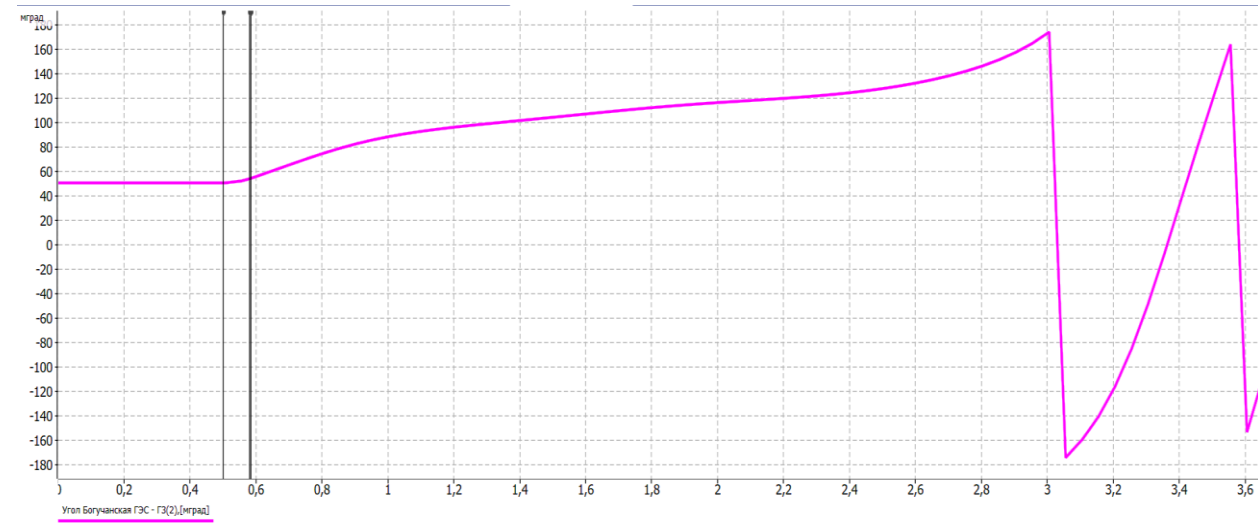
| Схема сети                                  | Количество<br>работающих блоков<br>на Богучанской ГЭС | Параметры<br>настройки<br>КПР, МВт | Управляющие<br>воздействия |         |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------|
|                                             |                                                       |                                    | на ОГ                      | на ОН   |
| Параметры  настройки <b>АРЗКЗ</b> 2 ступень |                                                       |                                    |                            |         |
| Нормальная<br>схема                         | 9                                                     | 2650                               | ОГ-1                       | -       |
|                                             |                                                       | 2850                               | ОГ-2                       | ОН-2 Бр |
|                                             |                                                       | 3000                               | ОГ-3                       | ОН-4 Бр |
| Параметры  настройки <b>АРБКЗ</b> 2 ступень |                                                       |                                    |                            |         |
| Нормальная<br>схема                         | 9                                                     | 3050                               | ОГ-1                       | -       |

При  $P_{\text{КС}} > 3050$  МВт ввод ОГ-1 от сигнала АРБКЗ, ОГ-2 от сигнала АРЗКЗ.

# Тестирование алгоритма определения дозировки УВ от АРБКЗ-500



Напряжение на 2 СШ 500 кВ Богучанской ГЭС в ходе ЭМПП на третьей итерации (доаварийный переток в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» 2254 МВт)



Угол ротора Г-3 Богучанской ГЭС относительно ТГ-3 Назаровской ГРЭС в ходе ЭМПП на третьей итерации (переток в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» 2254 МВт)

## Сброс активной мощности:

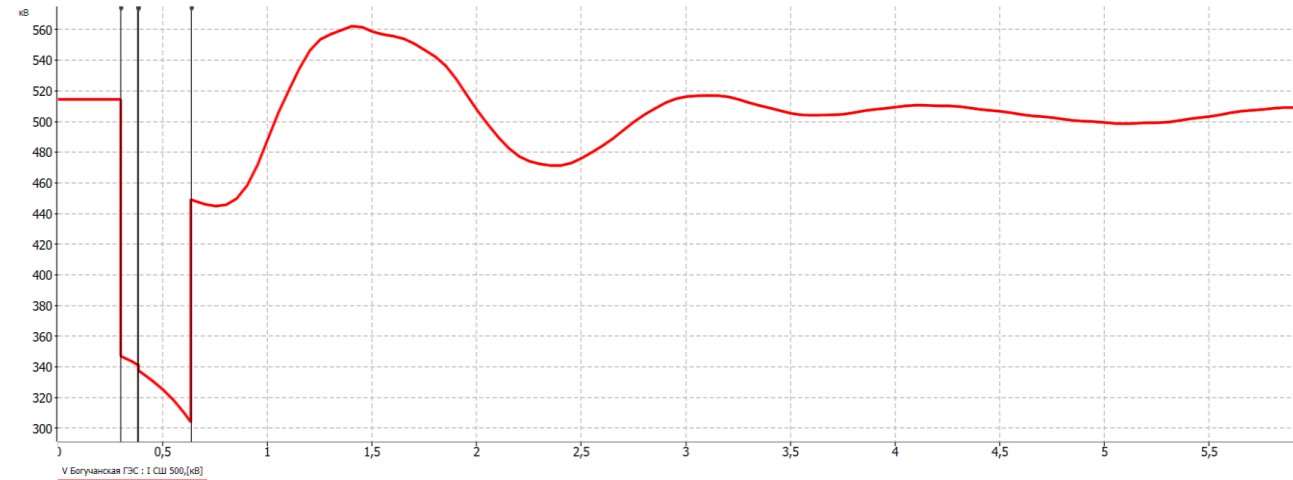
- по стороне 500 кВ:  $dP_1 = 1 - P_1/P_0 = 1 - 92,5/284 = 0,674$ .
- по стороне 220 кВ:  $dP_1 = 1 - P_1/P_0 = 1 - 122/284 = 0,570$ .
- всей станции:  $dP_1 = 1 - P_1/P_0 = 1 - (92,5 \cdot 6 + 122 \cdot 2)/(284 \cdot 8) = 0,648$ .

**КПР** при доаварийном перетоке, равном 2254 МВт

составляет:

$$\text{КПР}_1 = P_{\text{д.ав}} - \Delta P_{\text{нк}} = 2254 - 8 = 2246 \approx 2200 \text{ МВт.}$$

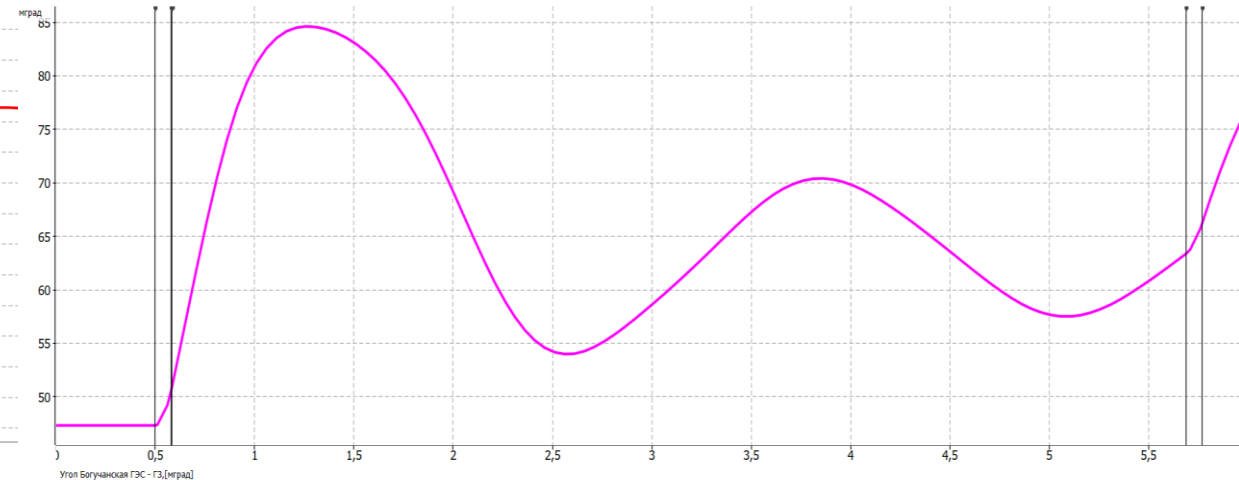
# Тестирование алгоритма определения дозировки УВ от АРЗКЗ



Напряжение на 1СШ 500 кВ Богучанской ГЭС в ходе ЭМПП на первой итерации (доаварийный переток в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» 2700 МВт)

## Сброс активной мощности блоков:

- по стороне 500 кВ:  $dP_1 = 1 - P_1/P_0 = 1 - 197/308 = 0,360$ .
- по стороне 220 кВ:  $dP_1 = 1 - P_1/P_0 = 1 - 210,5/308 = 0,317$ .
- всей станции:  $dP_1 = 1 - (197 \cdot 6 + 210,5 \cdot 3)/(308 \cdot 9) = 0,346$ .



Угол ротора Г-3 Богучанской ГЭС относительно ТГ-3 Назаровской ГРЭС в ходе ЭМПП на первой итерации (переток в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» 2700 МВт)

Доаварийный переток в КС до нарушения устойчивости – 3098 МВт. **КПР составит:**

$$\text{КПР}_1 = P_{\text{д.ав}} - \Delta P_{\text{нк}} = 3098 - 8 = 3090 \approx 3050 \text{ МВт.}$$

# Полученные результаты и выводы



- ✓ Разработаны алгоритмы расчёта уставки КПР и определения УВ от АРБКЗ-220, АРБКЗ-500 и АРЗКЗ Богучанской ГЭС;
  - ✓ В алгоритме определения УВ учтено действие АРОЛ, АРБКЗ;
  - ✓ Применён метод площадей для оценки степени ОГ.
- 
- ↻ Разрабатываемое ПО позволит снизить трудозатраты технологов СЭР при выполнении расчётов ЭМПП в ПК «RUSTAB».



Конференция Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ  
Сибири по теме: «Планирование и управление  
электроэнергетическими системами»

# Спасибо за внимание

**Докладчик:** Копцев Илья Олегович

**Контактная информация:** +7-983-572-68-54 /  
KoptsevIO@yandex.ru

Кемерово, 7 декабря 2023 г.

