

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЯ ВНЕПЛАНОВОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

Авторы:

Арефьев Павел Валерьевич – студент ИШЭ ТПУ

Прохоров Антон Викторович – к.т.н., доцент ИШЭ ТПУ

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

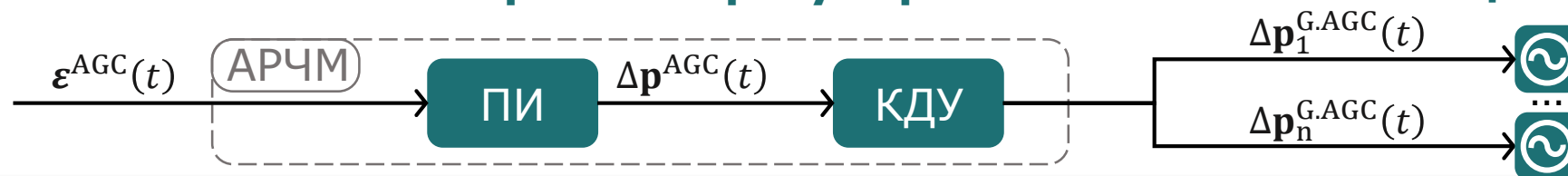
Объект: процесс автоматического вторичного регулирования частоты и мощности

## Проблема

КДУ должны учитывать схемно-режимную ситуацию в ЭЭС



При необходимости КДУ изменяются диспетчером, но не обновляются непрерывно, так как процесс не автоматизирован



## Цель работы

Оценка положительного влияния непрерывного уточнения КДУ с учетом схемно-режимной ситуации на равномерность расходования РВР и потери электрической энергии

## Актуальность

Определение КДУ является многокритериальной оптимизационной задачей, которая может быть решена на основе **расчетной модели (РМ) СМЗУ**

## Задачи

- При применении онлайн расчета КДУ для задачи АРПЧ в контролируемом сечении Казахстан-Сибирь 1 выполнить оценку:
- снижения потерь электроэнергии и активной мощности
  - повышения эффективности и равномерности расходования резервов РЭС

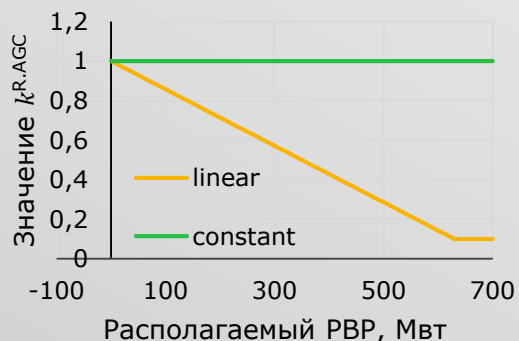


## Специализированное ПО СОМА.КДУ.АРЧМ

ПО использует алгоритм дифференциальной эволюции для решения многокритериальной задачи оптимизации, в которой основной критерий – минимизация использования вторичных резервов:

$$f_1(\mathbf{p}^{G.AGC}) = \sum_{a=1}^A k_a^{R.AGC} \cdot |p_a^{G.AGC} - \hat{p}_a^{G.AGC}|^\beta$$

коэффициенты, заданные в соответствии с располагаемым объемом вторичных резервов:



положительная константа, определяющая равномерность расходования вторичных резервов

начальная загрузка РЭС

конечная загрузка РЭС

PM СМЗУ, параметры РЭС и регуляторов

Алгоритм оптимизации изменяет мощность РЭС в расчетной модели и выполняет поиск минимума целевой функции

$$КДУ = \frac{p_a^{G.AGC} - \hat{p}_a^{G.AGC}}{\sum_{a=1}^A p_a^{G.AGC} - \hat{p}_a^{G.AGC}}$$



- Подготовка исходных данных
- Построение статистических зависимостей
- Анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов



# МЕТРИКИ

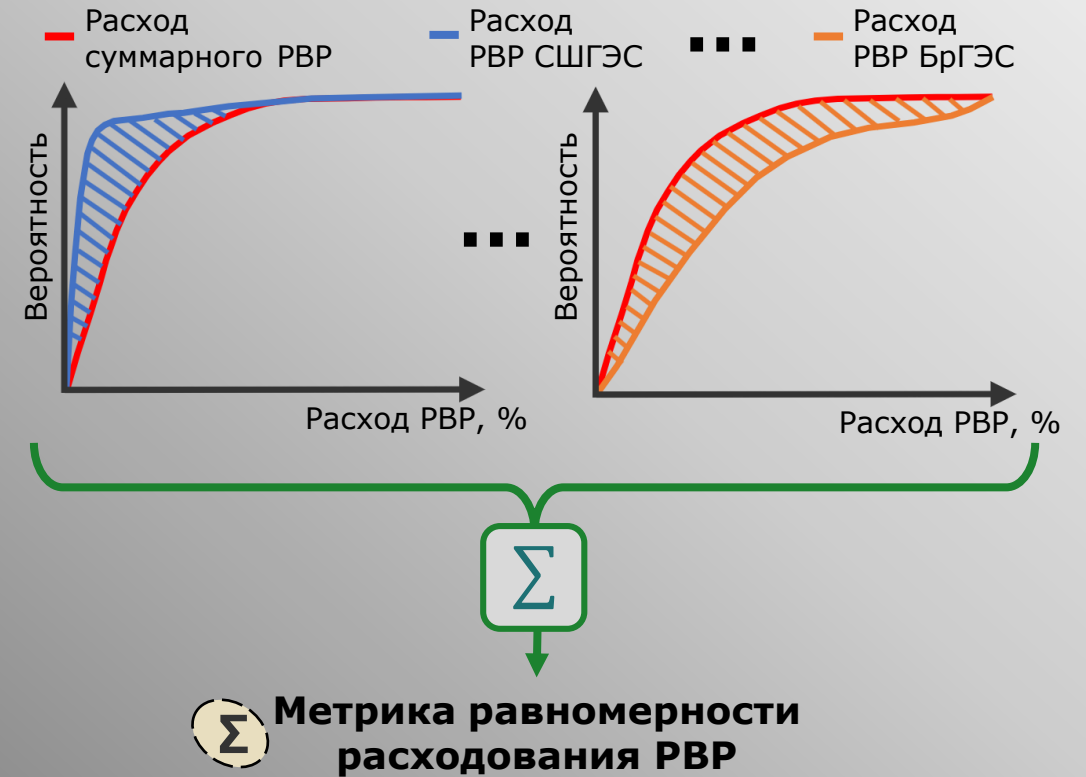


## Потери электрической энергии



## Равномерность расходования РВР

Функции распределения доли израсходованного РВР (расхода РВР):



# **ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

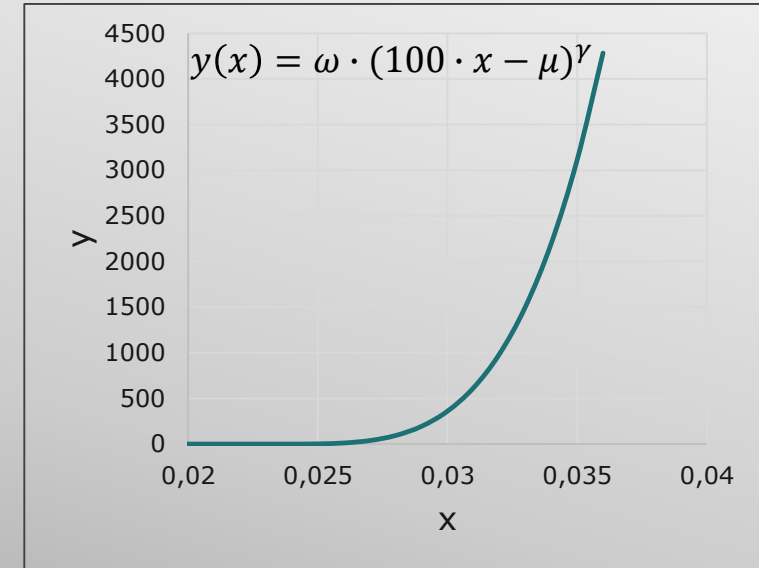
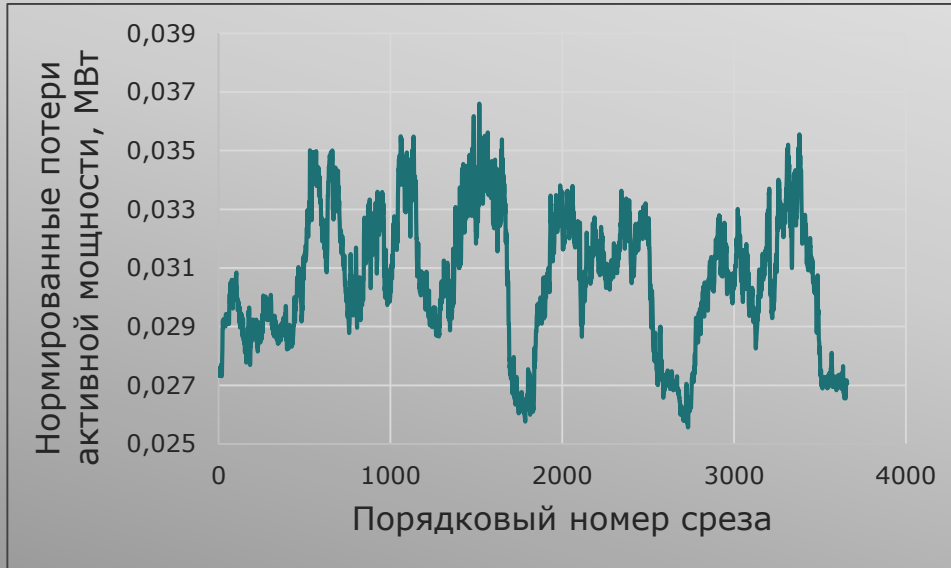


# ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ

Механизм учета потерь активной мощности



Целевая функция в ПО СОМА.КДУ.АРЧМ

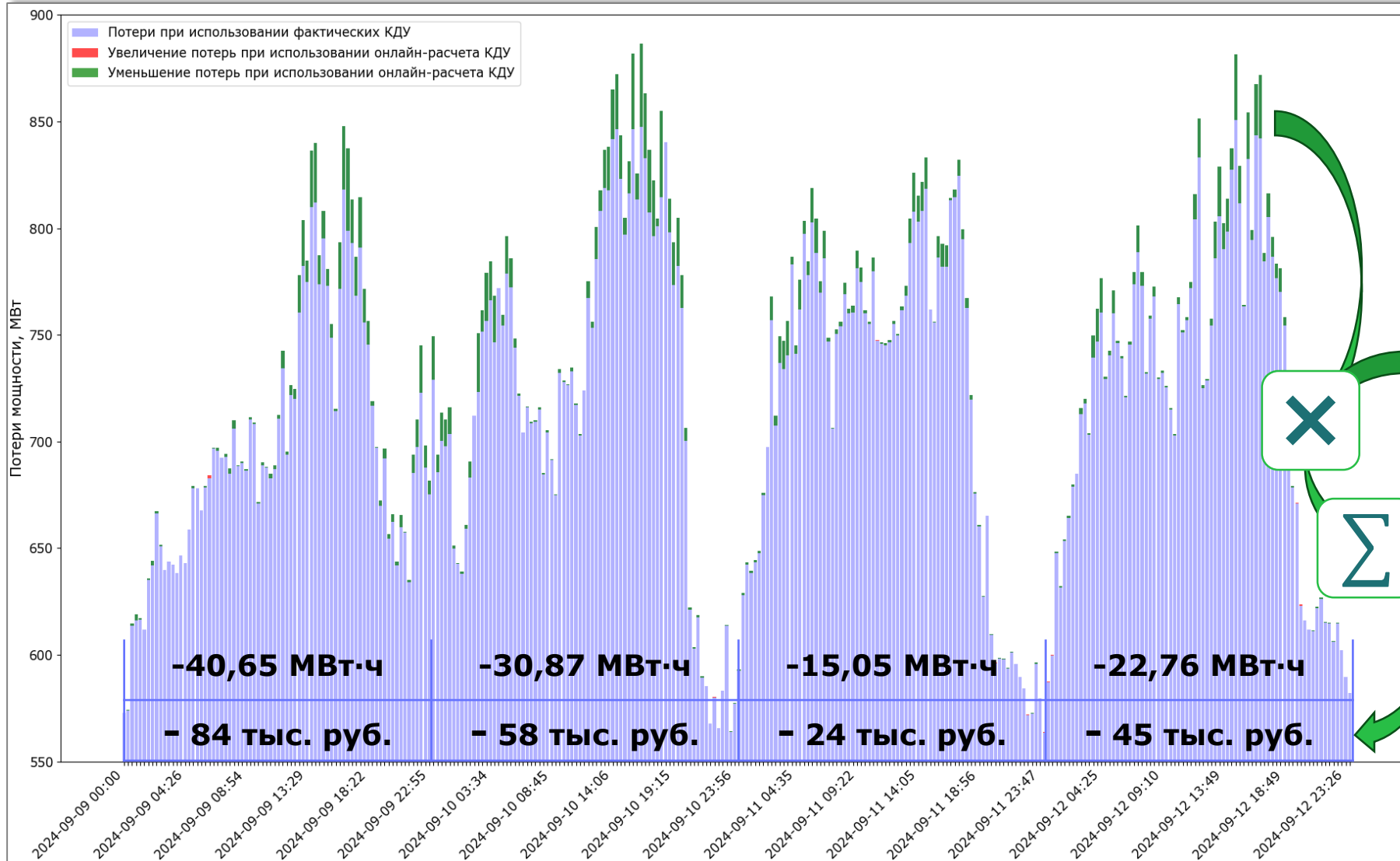
$$\begin{aligned} \text{ЦФ} = & \left\{ \begin{array}{l} \text{минимизация} \\ \text{использования} \\ \text{резервов} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{минимизация} \\ \text{отклонения} \\ \text{перетока в смежном КС} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{минимизация} \\ \text{потерь} \\ \text{активной мощности} \end{array} \right\} \\ & + \left\{ \begin{array}{l} \text{ограничение} \\ \text{на превышение} \\ \text{МДП в КС} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{ограничение} \\ \text{на отклонение} \\ \text{напряжения в КП} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{ограничение} \\ \text{на превышение} \\ \text{ДДТН} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{ограничение} \\ \text{на отклонение} \\ \text{перетока в КС} \end{array} \right\} \end{aligned}$$



# ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ



Дата	Час	Индекс РСВ ОЭС Сибири
09.09.2024	0	1 547,03
...	...	...
12.09.2024	23	1 465,40

При этом в масштабе года для ОЭС Сибири эффект составляет порядка:

- **10 тыс. МВт·ч**
- **20 млн. руб**

**ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ  
РАВНОМЕРНОСТИ  
РАСХОДОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ**



# ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ РАСХОДОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ



ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ

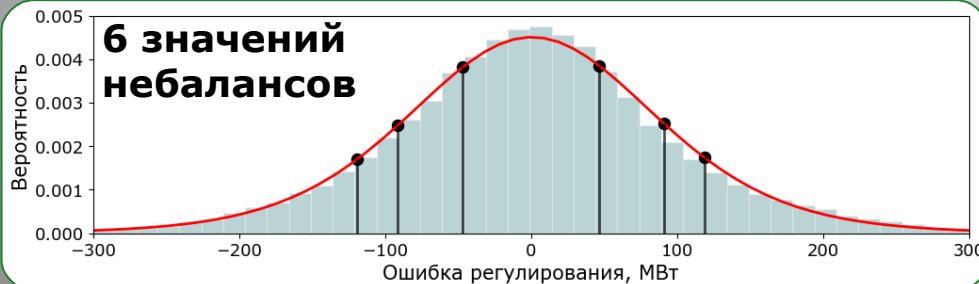
## Схема проведения эксперимента

### Исходные данные для расчетов

**702 режимных среза СМЗУ** за период  
09.09.2024 00:00:49 до 12.09.2024 23:59:30

#### Телеизмерения:

- резервы на разгрузку каждой РЭС;
- резервы на загрузку каждой РЭС;
- значение МДП в КС в прямом направлении;
- значение МДП в КС в обратном направлении;
- КДУ фактические каждой РЭС;



4212  
точек

ПО  
СОМА КДУ  
АРЧМ

Расчет

Доля  
израсходованных  
резервов при  
онлайн расчете  
КДУ

4212  
точек

Скрипт  
изменяющий  
мощность  
РЭС

Расчет

Доля  
израсходованных  
резервов при  
фактических  
КДУ



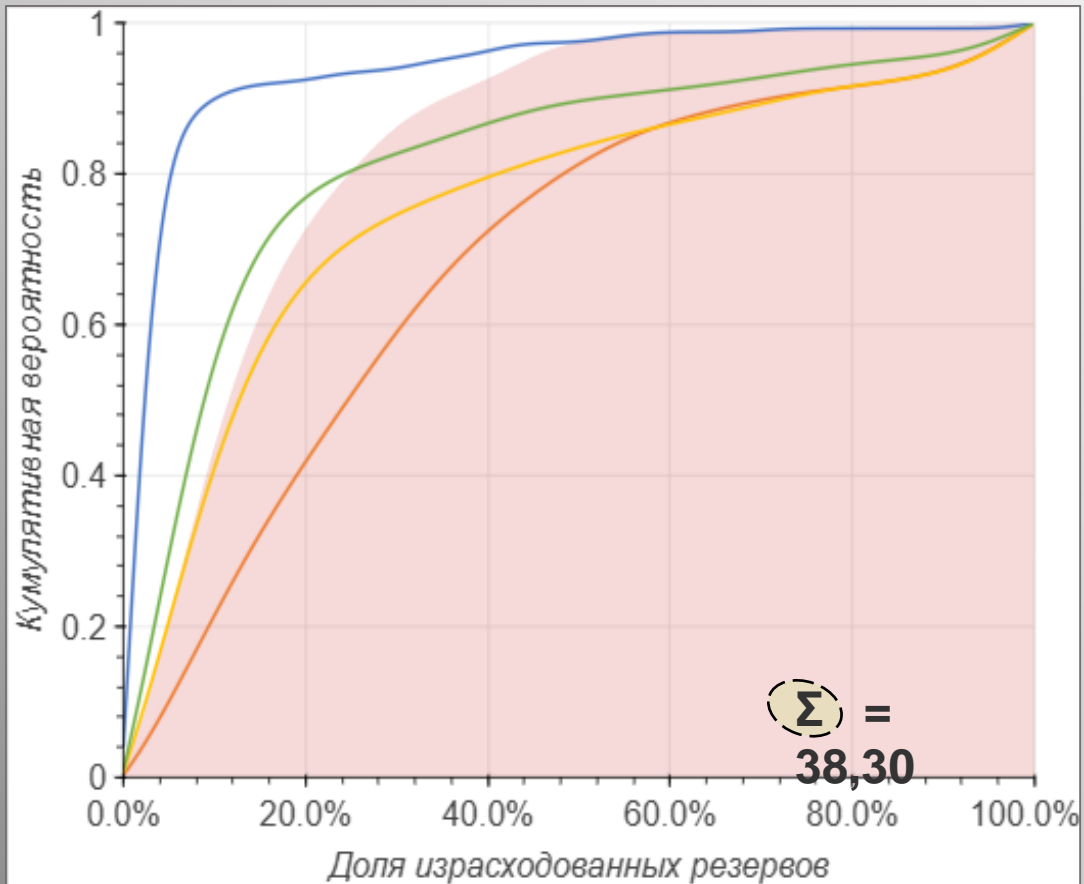
# ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ РАСХОДОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ



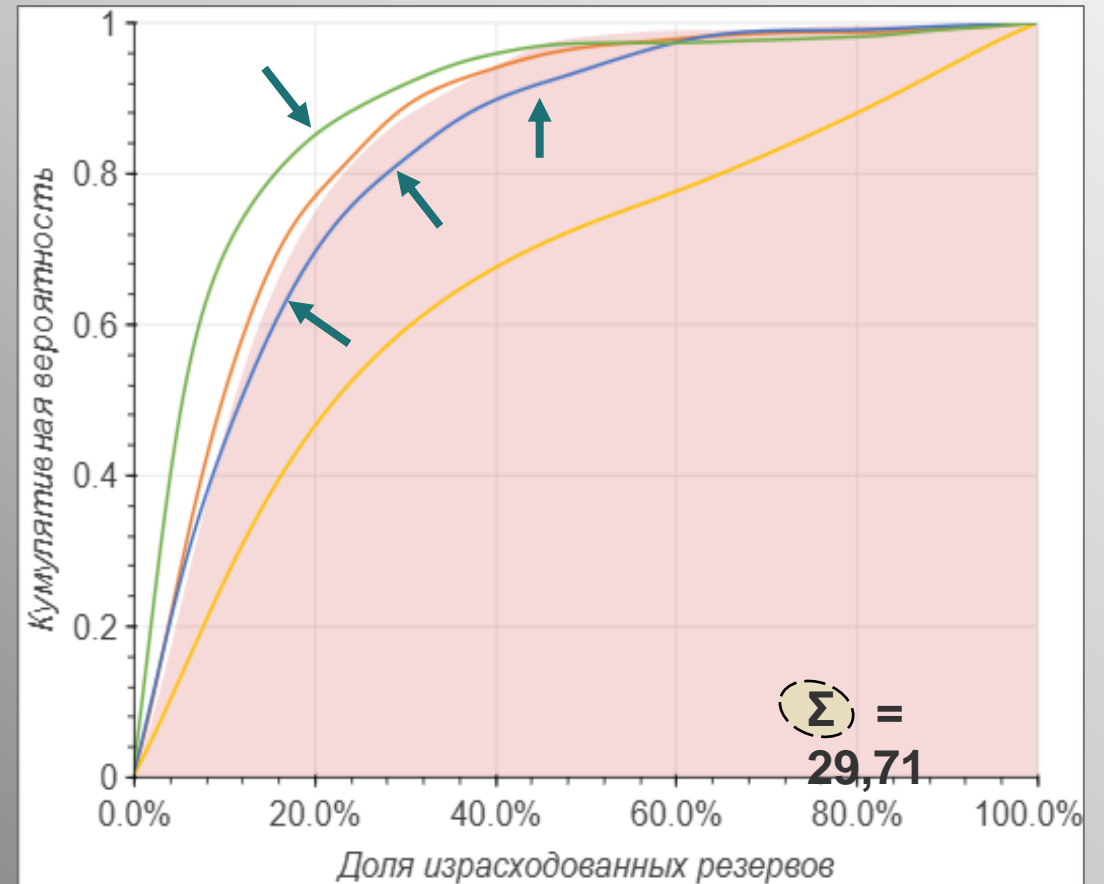
ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ

В направлении на загрузку

АРЧМ



СОМА.КДУ.АРЧМ





# ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ  
ШКОЛА  
ЭНЕРГЕТИКИ

## Сводные результаты оценки равномерности расходования РВР и снижения потерь

Метрика	Способ задания КДУ			
	КДУ факт	СОМА.АРЧМ.КДУ; эффективность и равномерность расходования РВР  без критерия минимизации потерь	СОМА.АРЧМ.КДУ; эффективность расходования РВР  с критерием минимизации потерь	СОМА.АРЧМ.КДУ; эффективность и равномерность расходования РВР  с критерием минимизации потерь
<b>В направлении на загрузку</b>				
Равномерность расходования резервов	38,30	29,71	129,90	84,29
Потери электрической энергии, МВт·ч	8516,183	8510,65 (снижение на 5,53)	8469,39 (снижение на 46,79)	8498,55 (снижение на 14,63)
<b>В направлении на разгрузку</b>				
Равномерность расходования резервов	35,79	27,82	75,71	64,19
Потери электрической энергии, МВт·ч	8389,08	8384,47 (снижение на 4,61)	8326,70 (снижение на 62,38)	8365,07 (снижение на 24,01)



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ



## Результаты:

1. Применение онлайн-расчета КДУ позволяет получить дополнительные эффекты: снижение потерь электрической энергии и повышение эффективности расходования РВР.
2. Снижение потерь электрической энергии позволяет получить экономически значимый эффект в годовом выражении.
3. Возможность гибкой настройки целевой функции позволяет технологу повысить равномерность расходования РВР или снизить потери электрической энергии.
4. Предложенный подход обеспечивает выполнение требований к заданию КДУ без участия диспетчера.

## Направления дальнейшей работы:

1. Оценить возможность исключения блокировки АРПЧ регулятора при срабатывании АОП.
2. Оценить целесообразность учета принципов оплаты на РСУ и затрат на восстановление вторичных резервов при определении КДУ

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЯ ВНЕПЛАНОВОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

---

Авторы:

Арефьев Павел Валерьевич – студент ИШЭ ТПУ

Прохоров Антон Викторович – к.т.н., доцент ИШЭ ТПУ