



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ОДУ СИБИРИ

ПОВЫШЕНИЕ ЗАПАСА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В УЗЛАХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

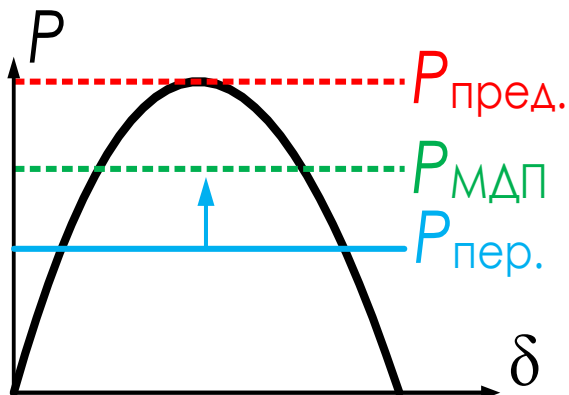
**XVI Научно-практическая конференция «Планирование и
управление электроэнергетическими системами» имени Ясникова
Новосибирск, 7-8 октября 2025 г.**

vlad.rets@mail.ru
Telegram: vv_retz

Рец Владислав Васильевич
аспирант ИШЭ НИ ТПУ,
ведущий специалист ССР ОДУ Сибири

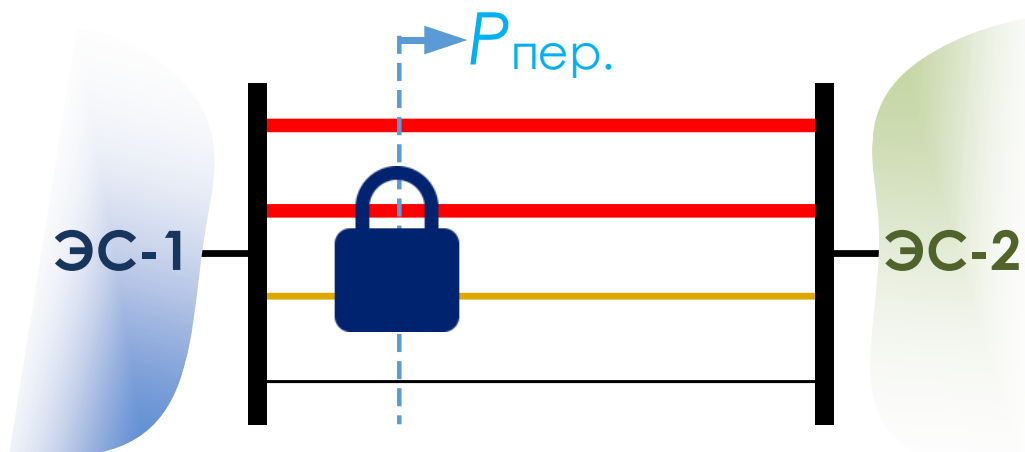


ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ



$$P_{\text{МДП}} = \min(\text{ст.уст.}, \text{ток}, \dots)$$

Правила определения МДП, ВДП и АДП



В ОЗП 2023/2024 **каждая 5-я СДК** направлена на предотвращение и **ЛИКВИДАЦИЮ перегрузок КС**

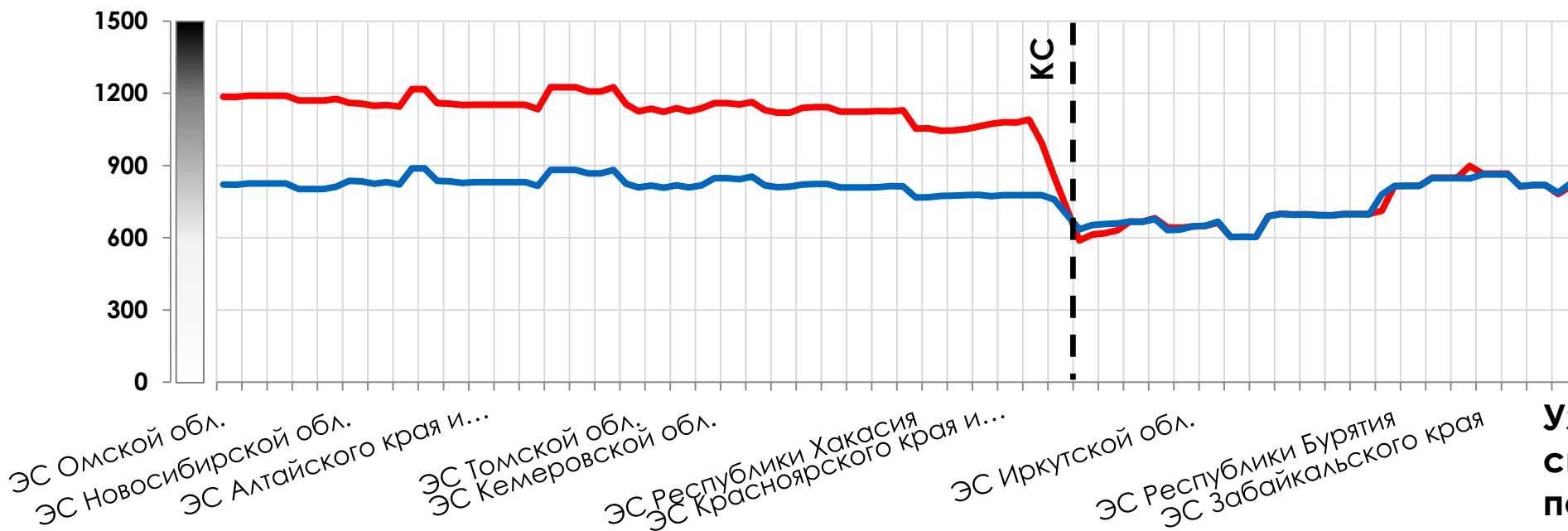
- Увеличение объема** отключения потребителей при возмущениях
- Снижение эффективности** работы рыночных механизмов



ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ СЕТИ НА ЦЕНУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

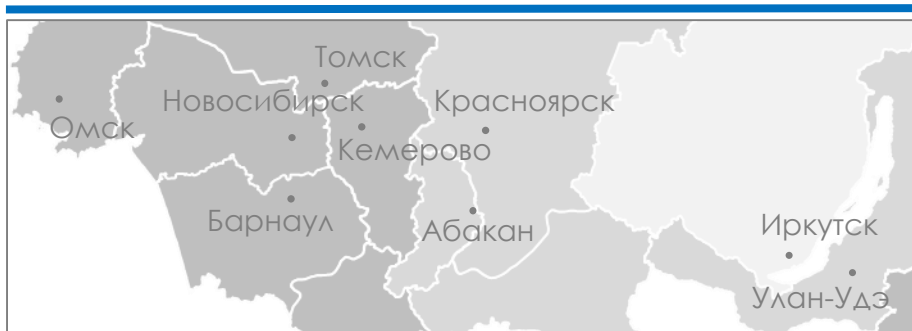
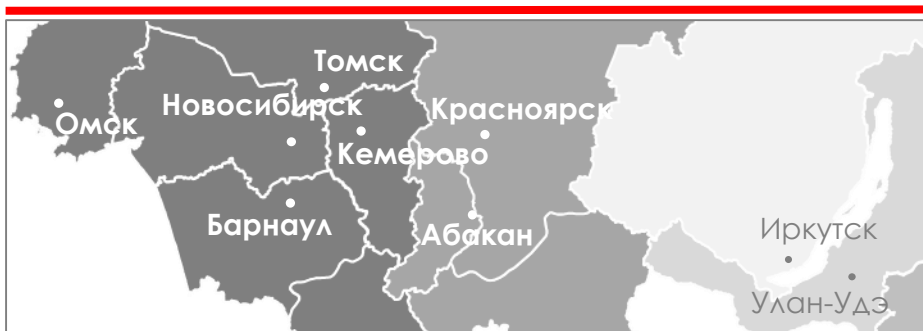
Узловая цена
РСВ, руб/МВт·ч

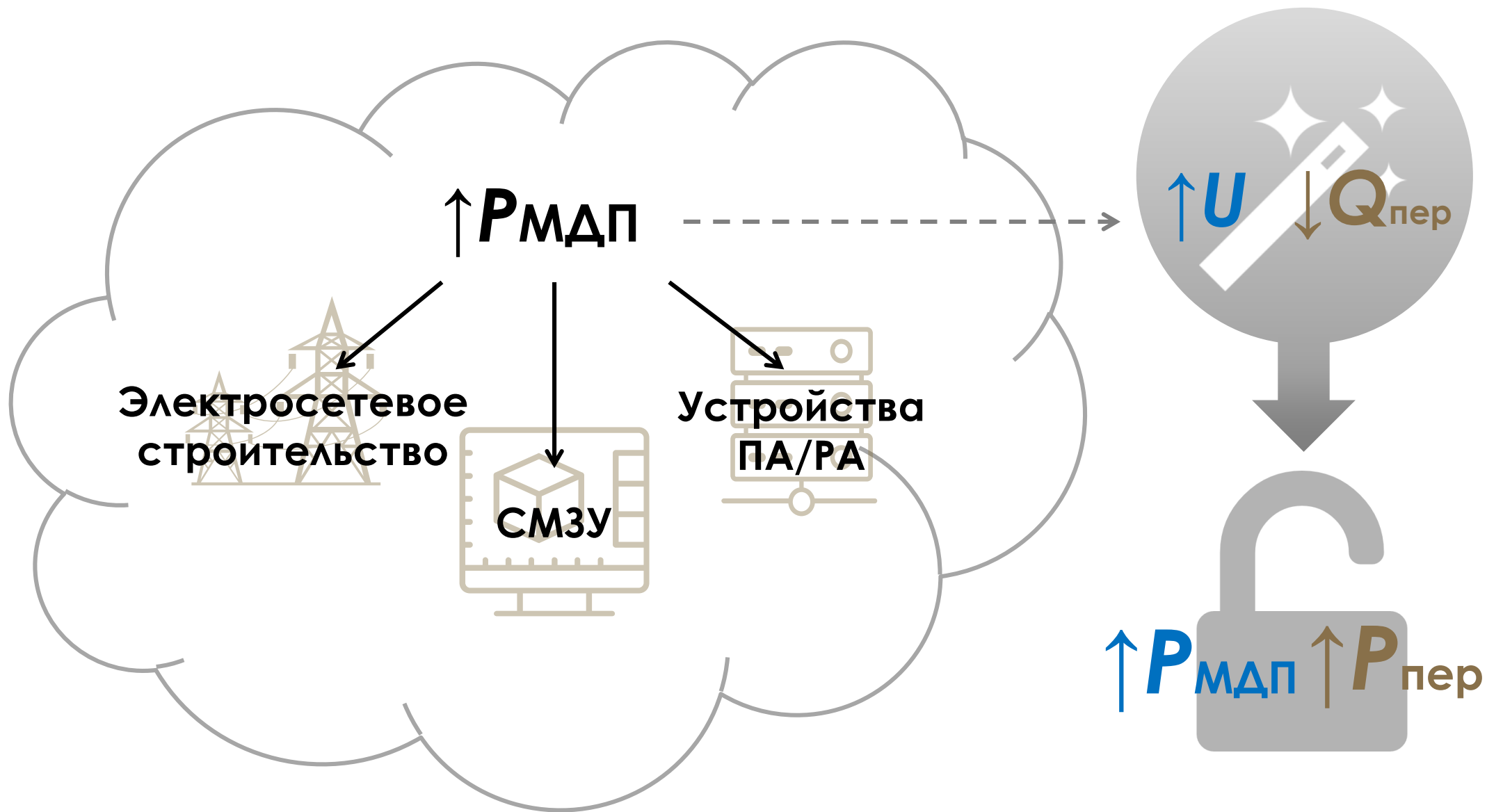
— Режим с достижением ограничений в ЭС Красноярского края
— Режим без достижения сетевых ограничений

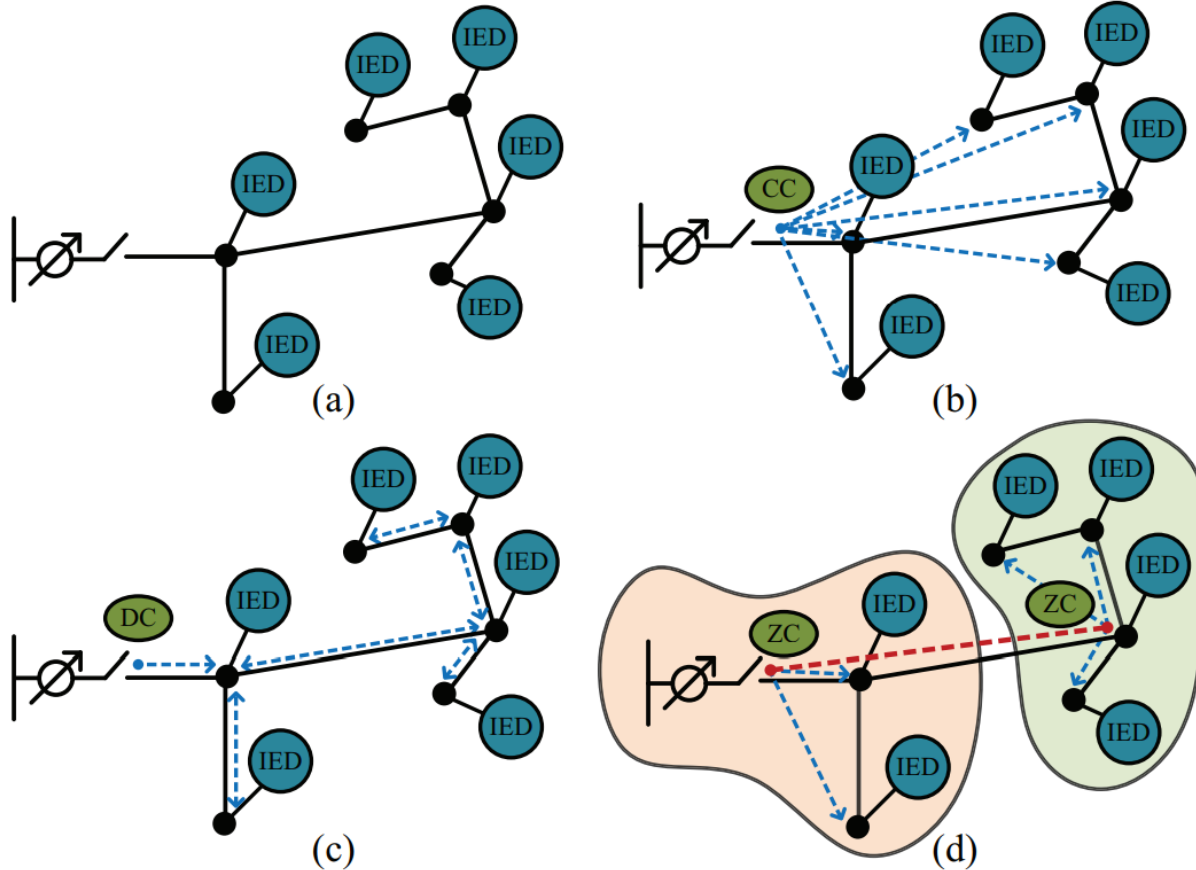


Режим с достижением ограничений

Режим без достижения ограничений







По способу информ. обмена

- a: локальная
- b: централизованная
- c: распределенная
- d: децентрализованная

КОММУНИКАЦИОННЫЕ

IED: intelligent electronic devices
 (ГРПМ энергообъекта)
 CC: central coordinator
 DC: distributed coordinator
 ZC: zone coordinator



ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ: ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

$$\max F(\mathbf{Q}_{\text{УВ}}) = w_u \cdot k_u + w_{\cos} \cdot \cos\varphi + w_e \cdot k_e + w_p \cdot k_p$$

$$\mathbf{Q}_{\text{УВ}} = (Q_{\text{УВ}a})_{a=1}^A$$

– вектор управляющих воздействий на средства регулирования напряжения (СРН) в энергосистеме

$$w_u, w_{\cos}, w_e, w_p$$

– весовые коэффициенты соответствующих критериев оптимизации

$$k_u = \frac{\sum_{n=1}^N U_n(\mathbf{Q}_{\text{УВ}})}{\sum_{n=1}^N \bar{U}_n}$$

– степень повышения напряжения в узлах, о.е.

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{пер}}}{\sqrt{P_{\text{пер}}^2 + Q_{\text{пер}}^2}}$$

– коэф-т мощности передачи по связи, ограничивающей пропускную способность сечения по току, о.е.

$$k_e = \frac{\sum_{a=1}^A [\bar{Q}_a - (Q_{\text{УВ}a} - \hat{Q}_a)]}{\sum_{a=1}^A \bar{Q}_a}$$

– относительное изменение суммарного резерва реактивной мощности СРН после оптимизации, о.е.

$$k_p = \frac{\hat{P}_{\text{КС}}}{P_{\text{КС}}(\mathbf{Q}_{\text{УВ}})}$$

– кратность изменения перетока активной мощности в КС относительно исходного режима, о.е.

В связи с отсутствием аналитического решения поиск максимума ЦФ реализован численным методом оптимизации – методом дифференциальной эволюции, который относится к генетическим алгоритмам оптимизации



Определение узлов контроля напряжения

- 1 Утяжеление режима
- 2 Сортировка перечня узлов по убыванию снижения напряжения
- 3 Выбрать N первых узлов отсортированного перечня

Определение места контроля токовых ограничений

Определяется для исходного режима

Определение перечня оптимизируемых* СРН

- 1 Изменение напряжения в контролируемом узле при изменении выработки реактивной мощности СРН на 1 Мвар, кВ
- 2 Разница между наибольшим и фактическим значением выработки реактивной мощности СРН, Мвар
- 3 Разница между наибольшим рабочим и фактическим напряжением на шинах высшего напряжения энергообъекта, кВ

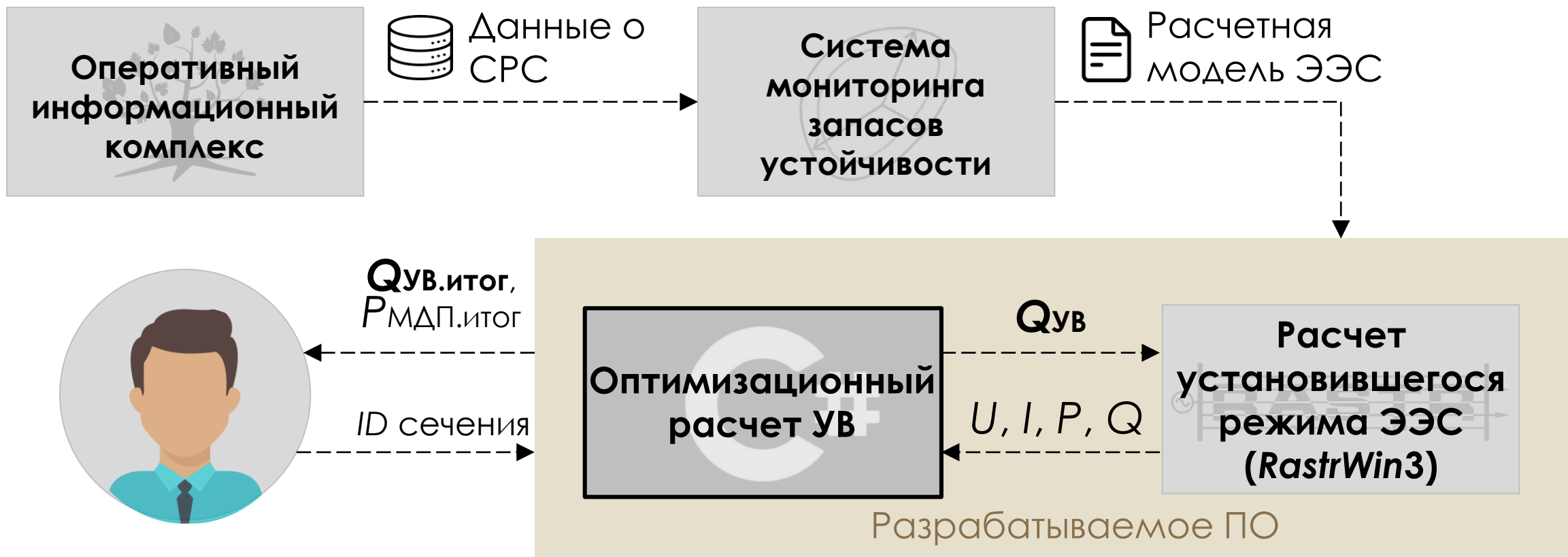
Определение УВ на оптимизируемые СРН

Численное решение задачи оптимизации методом дифференциальной эволюции

* – в качестве оптимизируемых принимаются плавнорегулируемые СРН: СК, УШР, генераторы станций



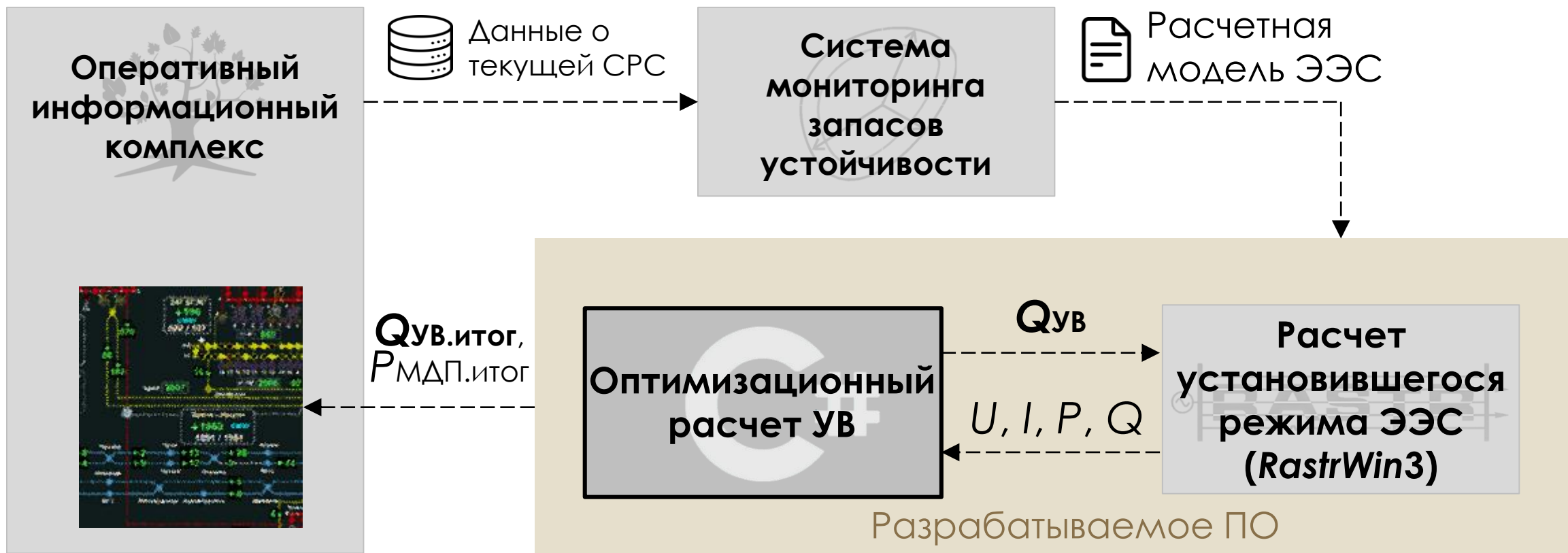
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА: РУЧНОЙ РЕЖИМ





АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА: РЕЖИМ ON-LINE

Для использования ПО на этапе управления режимом предусмотрена возможность записи результатов расчетов в ОИК





АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА: ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ОЭС СИБИРИ

Характеристика энергорайона



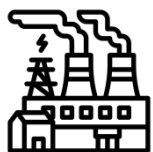
Потребление энергорайона, МВт

5259

2023

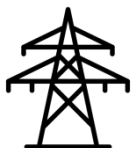
2024

5692



Установленная
мощность станций, МВт

3750



Пропускная способность
КС «Братск-Иркутск», МВт

2197 (н.сх.)

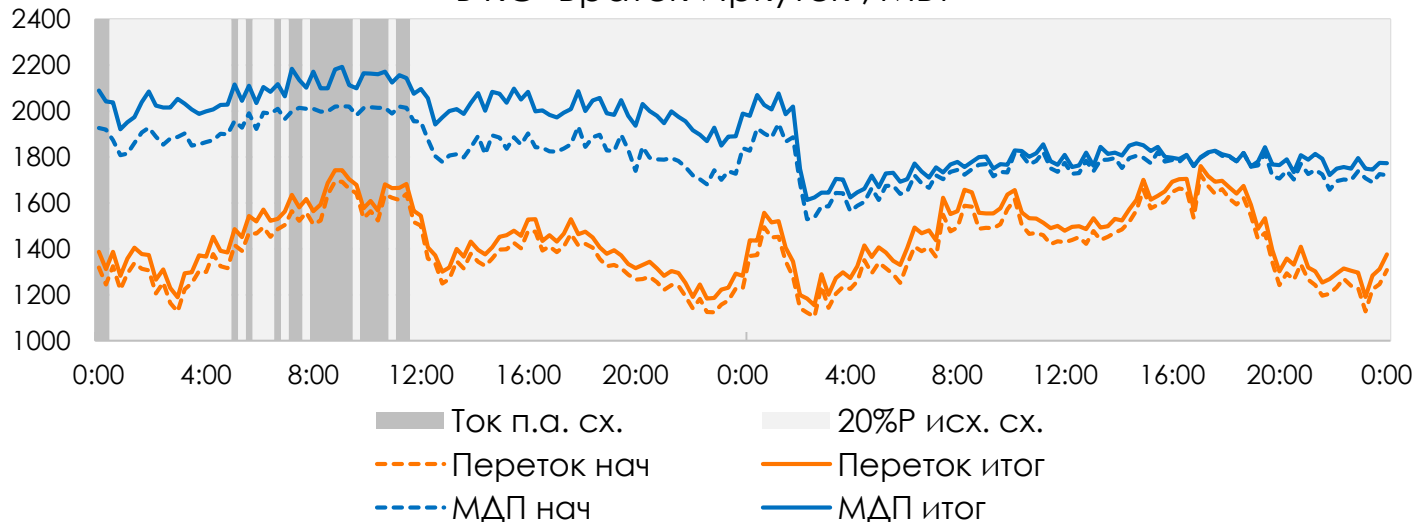
1792 (рем.сх.)



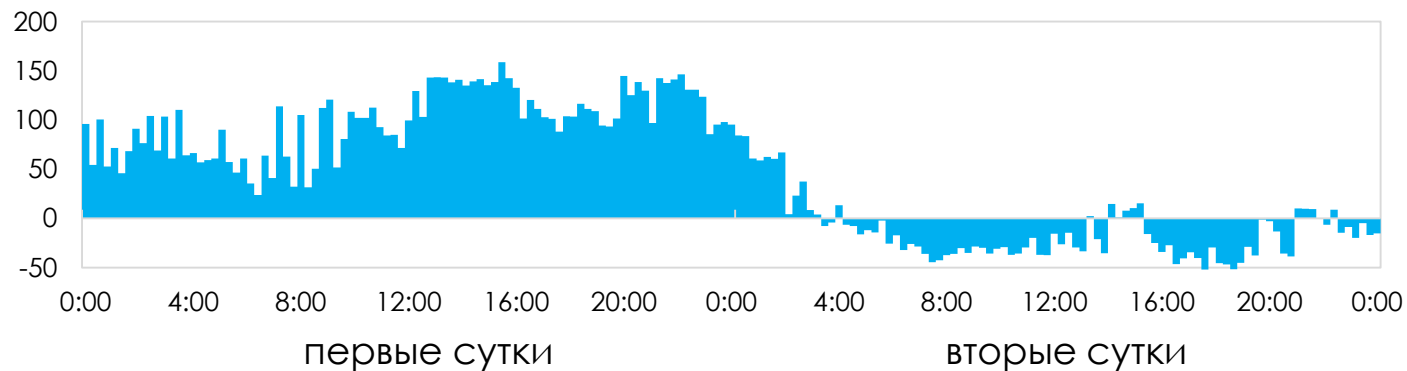
Слабопрогнозируемый характер нагрузки
и высокая динамика потребления



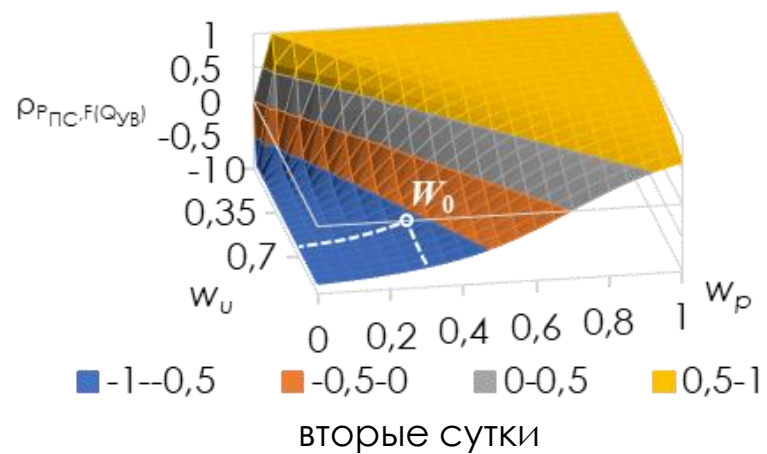
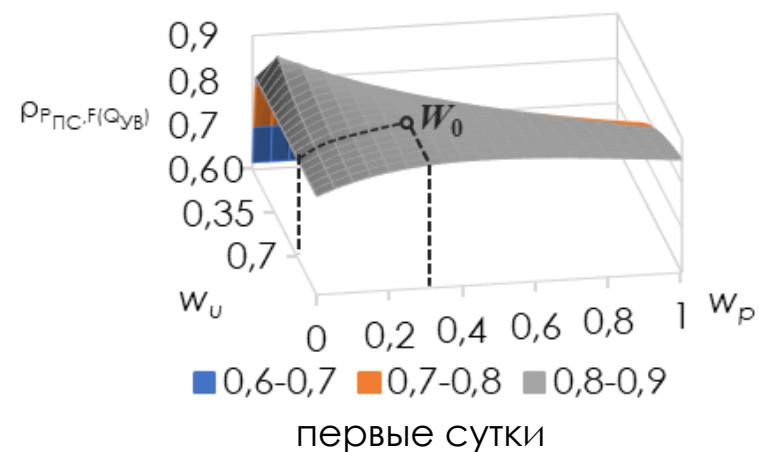
МДП и фактический переток активной мощности в КС "Братск-Иркутск", МВт



Изменение запаса пропускной способности в результате оптимизации, МВт



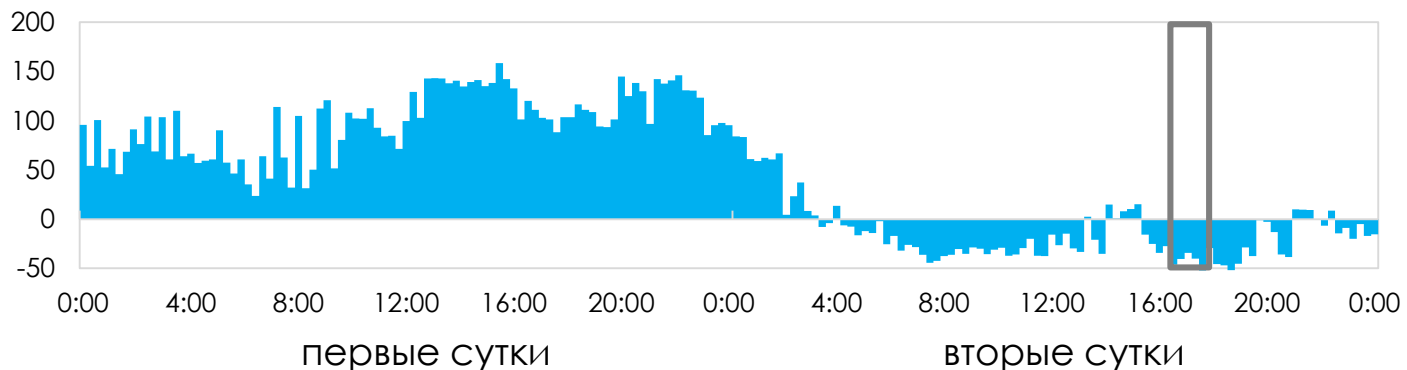
Изменение корреляции пропускной способности сети и значения ЦФ при различных значениях весовых коэффициентов критериев оптимизации





ПОДБОР ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

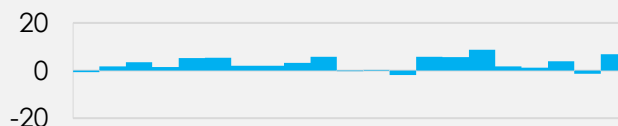
Изменение запаса пропускной способности в результате оптимизации, МВт



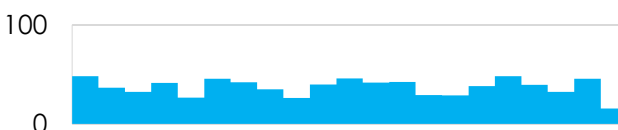
Алгоритм подбора:

1. Формирование выборки пар значений «Изменение запаса пропускной способности, МВт» - «Взвешенная сумма значений критериев оптимизации, о.е.» в скользящем окне срезов телеметрии;
2. Определение весовых коэффициентов, соответствующих наибольшему значению корреляции Пирсона для выборки из п.1.

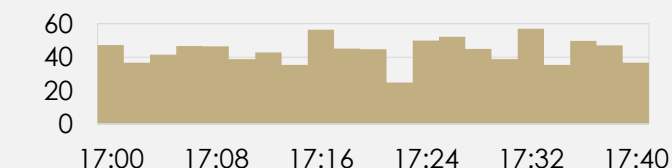
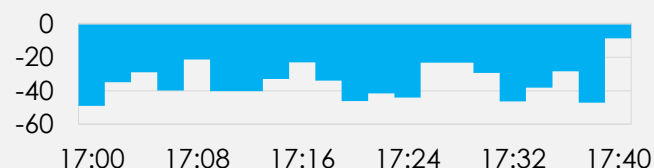
Изменение МДП в КС в результате оптимизации, МВт



Изменение фактического перетока в КС в результате оптимизации, МВт



Изменение запаса пропускной способности КС в результате оптимизации



Оптимизация с исходными весами W_0 Оптимизация с подобранными весами W_1



Основные результаты

- ✓ **Формализована задача выбора оптимального объема УВ** на средства регулирования напряжения с целью повышения пропускной способности сечения по активной мощности
- ✓ **Разработан алгоритм расчета УВ** на средства регулирования напряжения с целью повышения пропускной способности сечения по активной мощности
- ✓ **Разработан алгоритм** адаптивного подбора весовых коэффициентов критериев оптимизации для повышения достоверности оптимизационной модели
- ✓ Разработанные решения **апробированы на примере реальной энергосистемы**
- ✓ **Выполнена программная реализация алгоритмов**, обеспечивающая удовлетворительное для практического применения время расчета



Перспективы исследования

- Применение других методов оптимизации
- Совместная оптимизация плавнорегулируемых и коммутируемых СРН
- Апробация решений на этапе краткосрочного планирования режима



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ОДУ СИБИРИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**XVI Научно-практическая конференция «Планирование и управление электроэнергетическими системами» имени Ясникова
Новосибирск, 7-8 октября 2025 г.**

vlad.rets@mail.ru
Telegram: vv_retz

Рец Владислав Васильевич
аспирант ИШЭ НИ ТПУ,
ведущий специалист ССР ОДУ Сибири