



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

**«ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ НА
ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНО
ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ
МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЙ
ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ»**

Авторы:

Белокуров Демьян Вячеславович. – студент
Прохоров Антон Викторович – доцент, к.т.н.

Томск - 2025

Цель



**Оценка применимости
искусственных нейронных сетей
в качестве моделей для расчета
максимально допустимых
перетоков активной мощности с
учетом действия
противоаварийной автоматики**

Актуальность



Безытерационный метод расчета

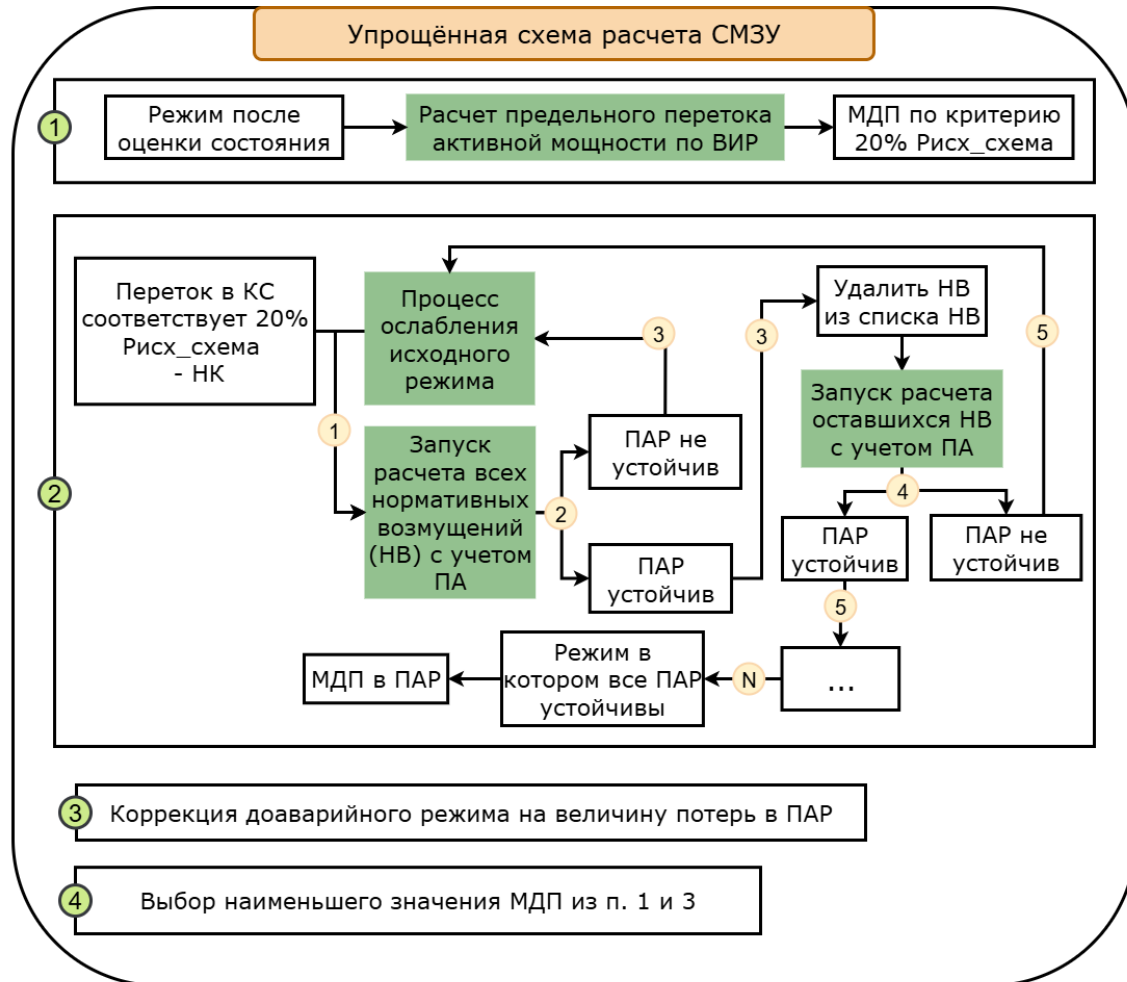


**Сокращение времени
расчета МДП**

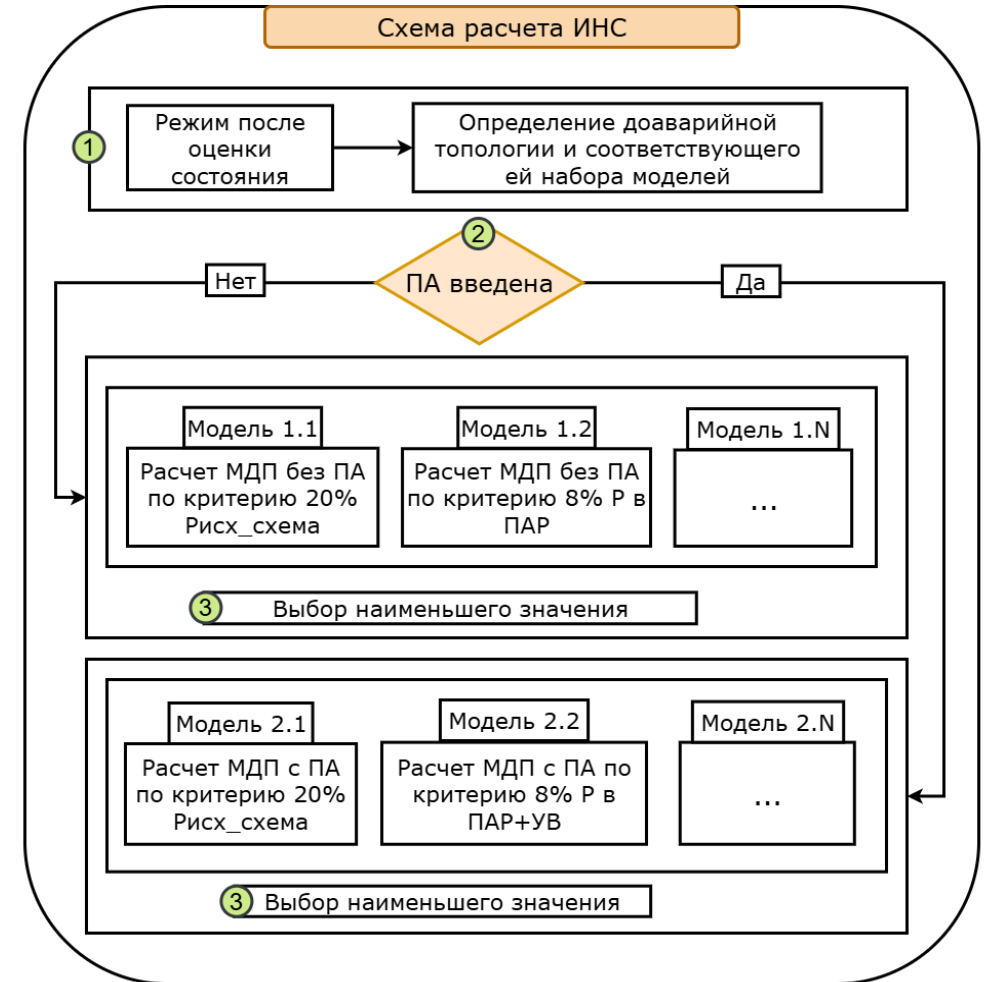


**Уточнение МДП в цикле
оптимизации режима**

Методика применения ИНС



а)



б)

Рисунок 1 – Последовательность расчета МДП с ПА: а – с использованием СМЗУ, б – с использованием ИНС.

Критерии для моделей ИНС

- МДП без учета действия ПА, обеспечивающий 8% запас статической устойчивости по активной мощности в КС в ПАР.
- МДП с учетом действия ПА, обеспечивающий 20% запас статической устойчивости по активной мощности в КС в нормальном режиме в доаварийной схеме при наличии объема УВ ПА, достаточного для обеспечения 8% запаса в ПАР после нормативного возмущения.
- МДП с учетом действия ПА, ограничивающий переток в доаварийной схеме на уровне, обеспечивающем 8% запас статической устойчивости по активной мощности в КС в ПАР с учетом доступного объема УВ.
- АДП, обеспечивающий 8% запас статической устойчивости по активной мощности в КС в нормальном режиме в доаварийной схеме.

Исходные данные для обучения

Срезы СМЗУ

- За период 07.04.2023 – 08.04.2023

Допустимые перетоки в срезях определяются критериями:

Критерий АДП	Критерий МДП без ПА	Критерий МДП с ПА
8%P исходная схема	8%P в ПАР	20% P исходная схема

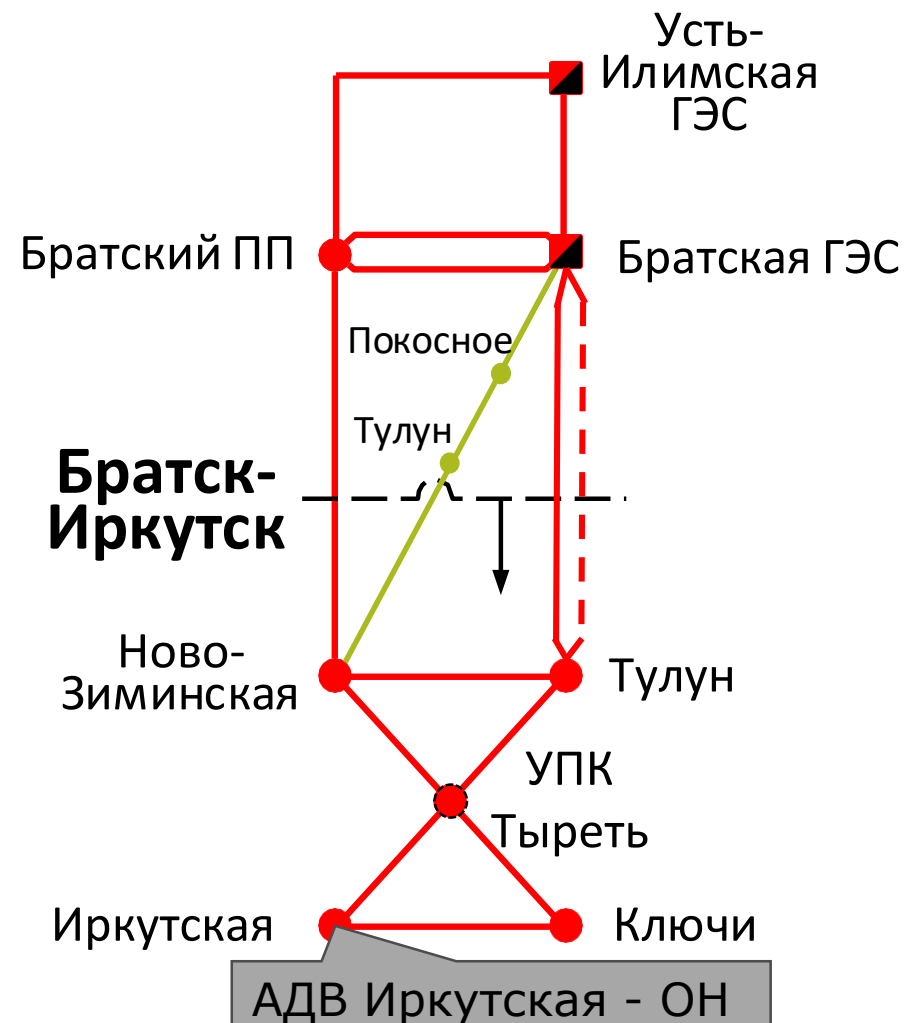
Состав сечения:

- ВЛ 500кВ Братский ПП – ПС Новозиминская (ВЛ-560);
- ВЛ 500кВ БГЭС– ПС Тулун, 1 цепь (ВЛ-561);
- ВЛ 500кВ БГЭС– ПС Тулун, 2 цепь (ВЛ-562)

Ремонтная схема:

- Ремонт ВЛ 500кВ Братская ГЭС – Тулун №2
- Зашунтировано УПК Тыреть 500кВ

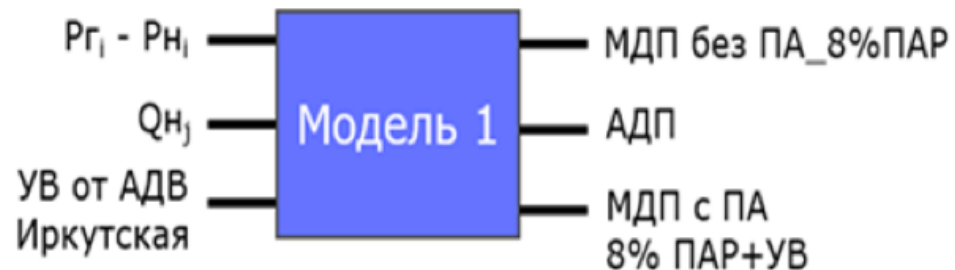
Структура сети



Апробация алгоритма на примере КС Братск-Иркутск

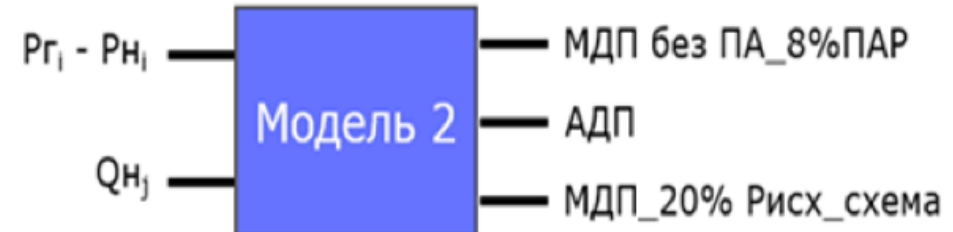
Предлагаемая конфигурация

Модель 1: МДП обеспечивает 8% запас в ПАР с учетом действия ПА



Предлагаемая конфигурация

Модель 2: МДП обеспечивает 20% запас в доаварийной схеме и 8% запас в ПАР с учетом действия ПА



Характеристики ИНС:

- Архитектура: MLP сеть
- Функция потерь: Huber
- Оптимизатор: Adam
- Функция активации: ReLU

Задачи исследования

1

Оценить возможность применения ИНС для расчета МДП

2

Выполнить анализ точности моделей с использованием различных тестовых данных

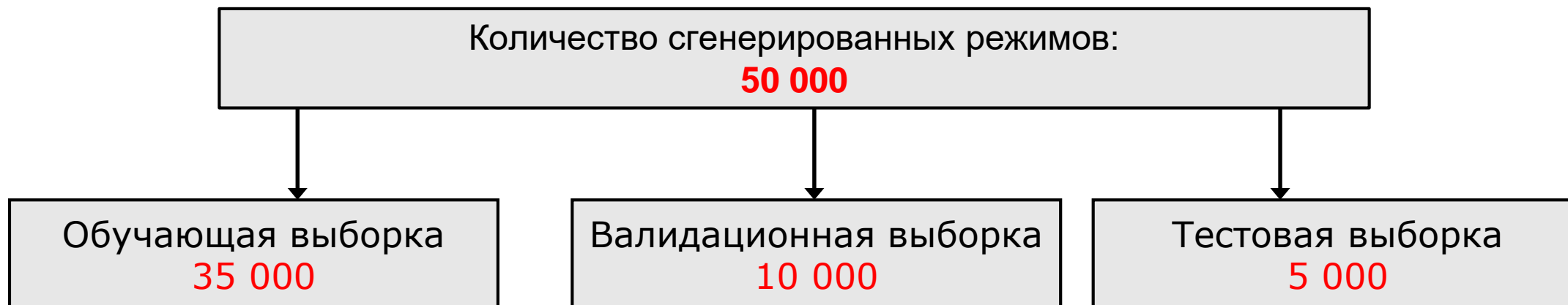
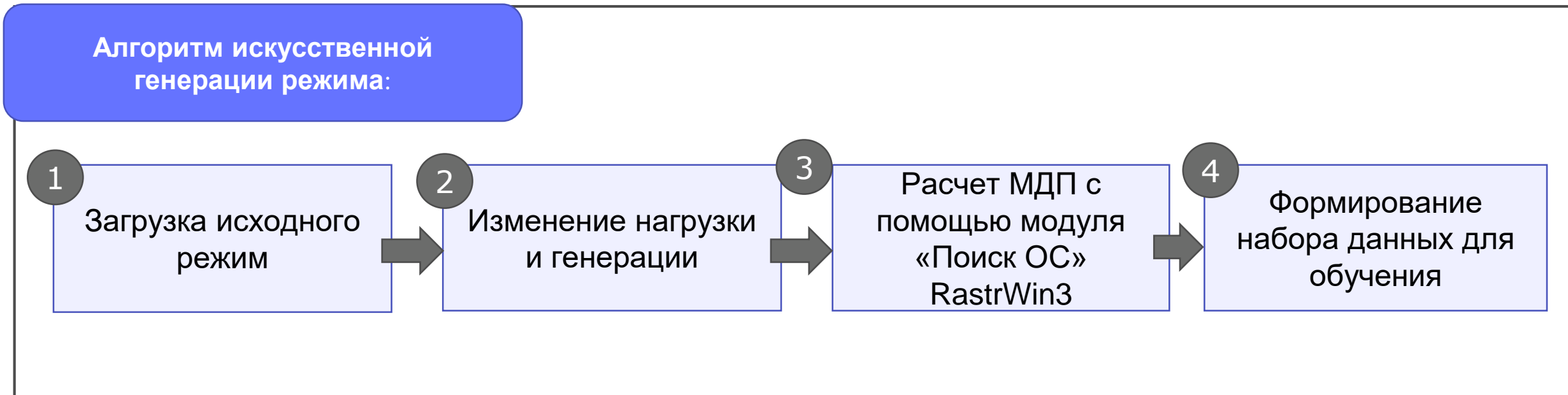
3

Оценить работоспособность моделей при задании нескольких параметров выходного слоя

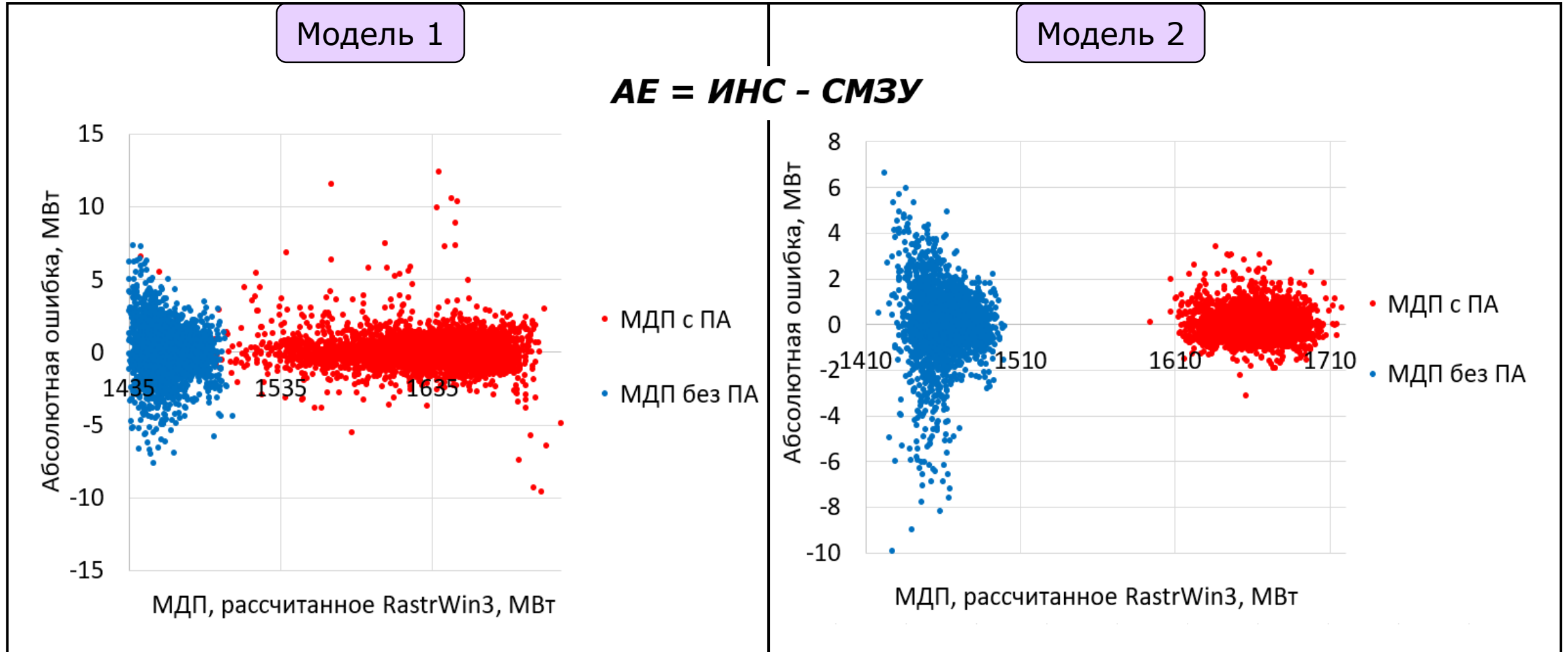
4

Исследовать возможность использования параметра УВ во входных данных ИНС в качестве признака для оценки МДП с ПА по разным критериям

Формирование обучающей выборки на искусственно-сгенерированных режимах



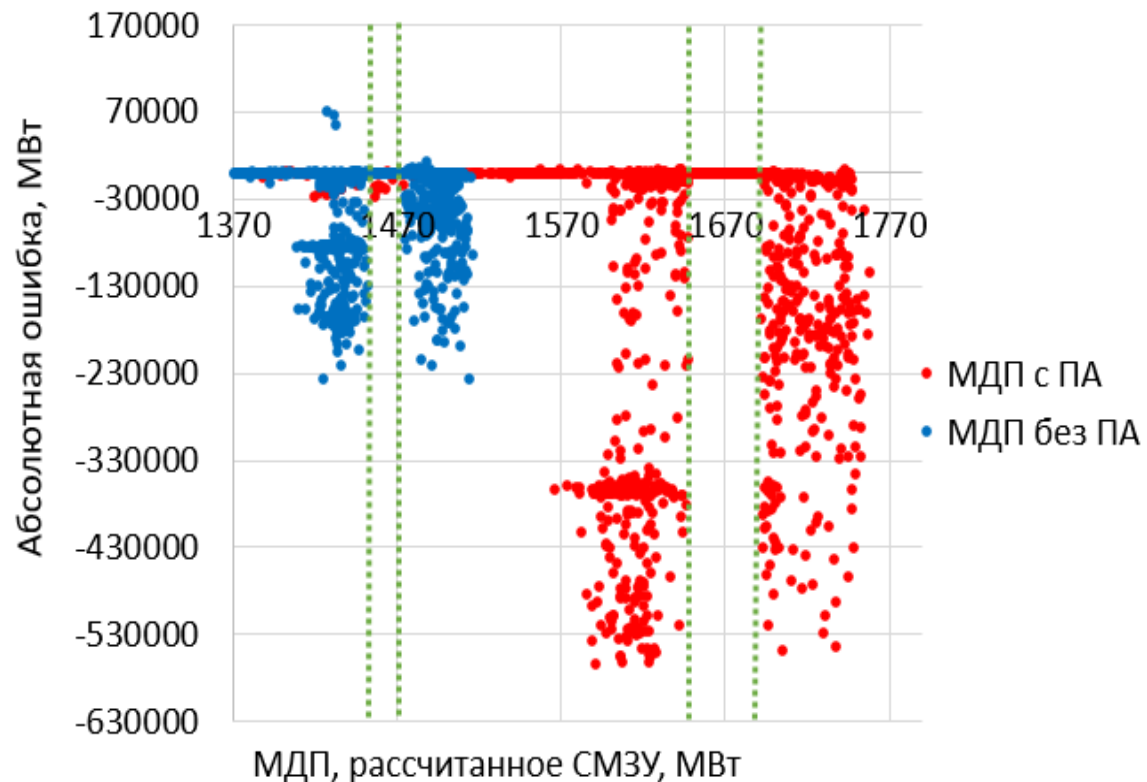
Оценка моделей на искусственной тестовой выборке с постоянной топологией



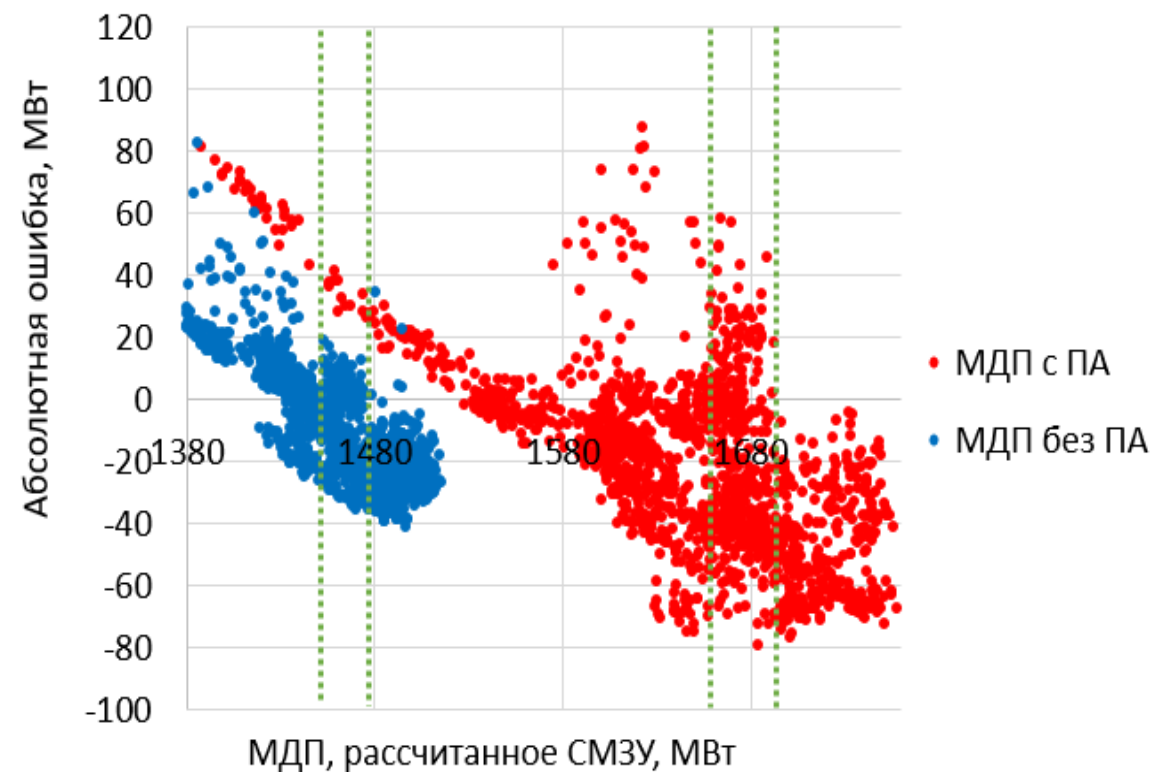
Оценка моделей на реальной тестовой выборке с переменной топологией

Модель 1

$$AE = ИНС - СМЗУ$$



Модель 2



Зависимость МДП от объема УВ в выборках модели 1

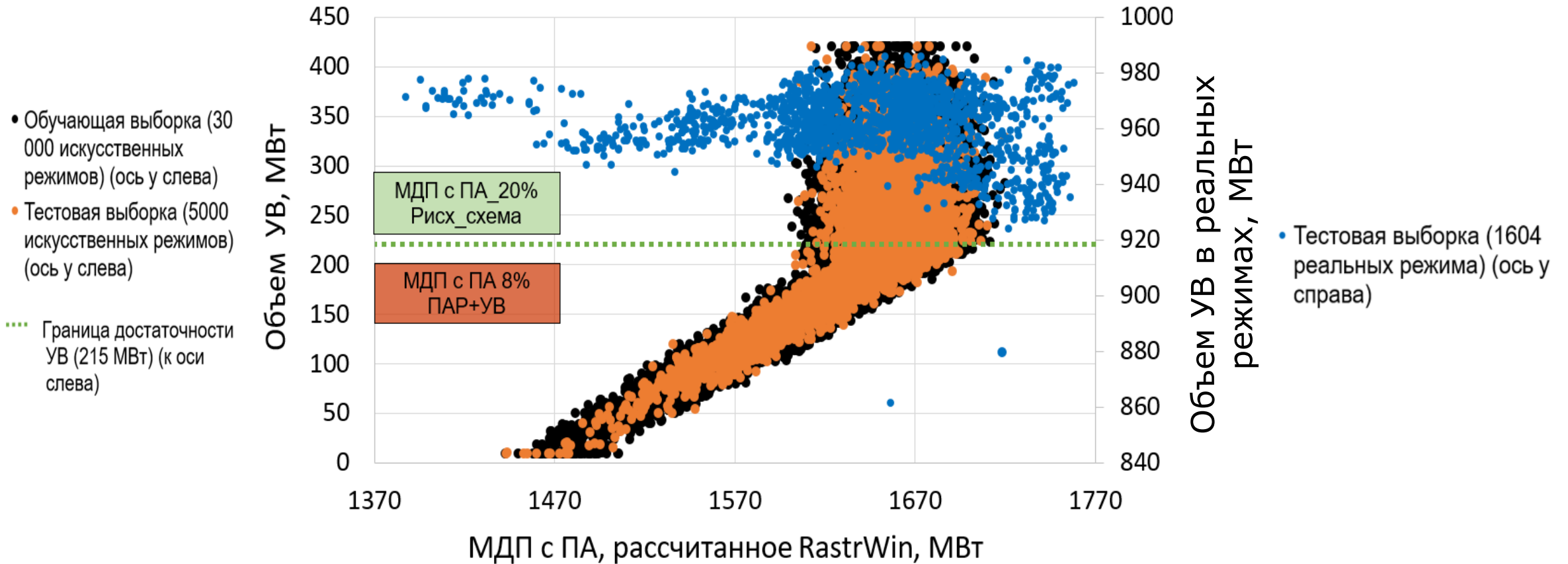


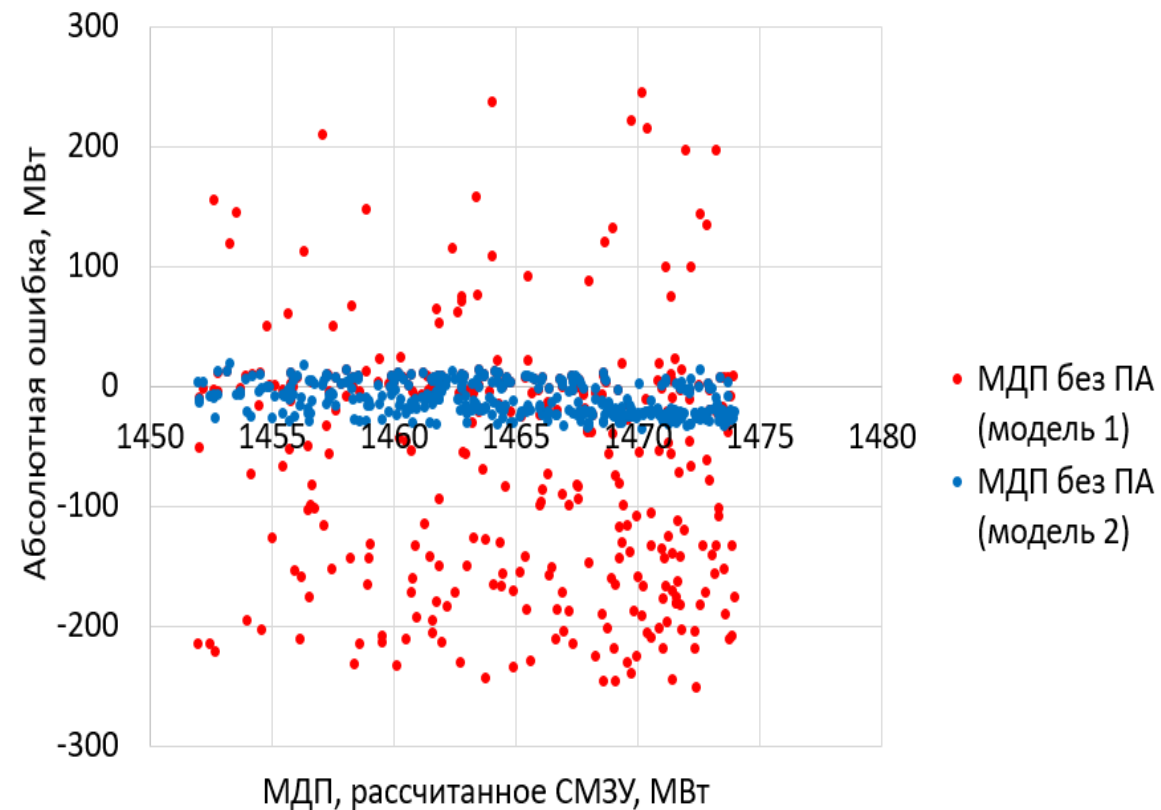
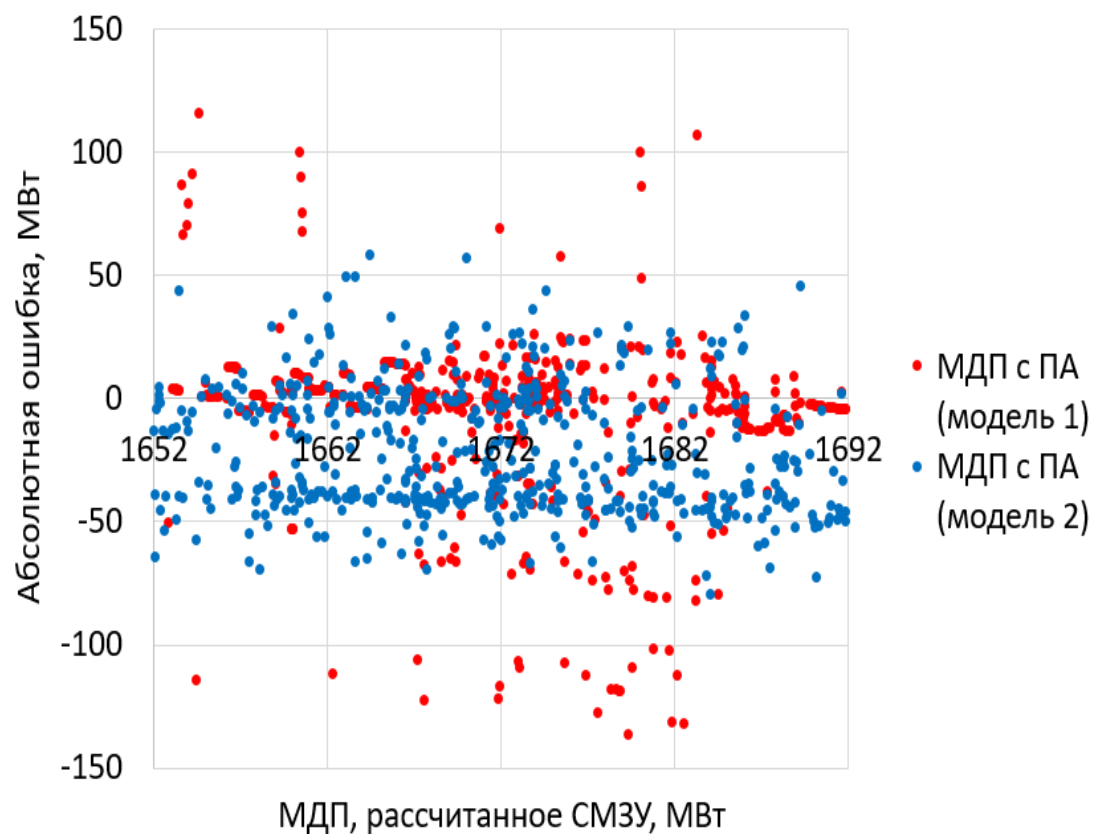
Рисунок 2 – Зависимость МДП от объема УВ в обучающей и тестовых выборках модели 1.

Оценка моделей на реальной тестовой выборке с переменной топологией

МДП с ПА

МДП без ПА

$AE = ИНС - СМЗУ$



Основные результаты исследования:

✓ Обучена ИНС для оценки МДП с ПА по критериям: 20%Р исходная схема и 8%Р в ПАР+УВ (Модель 1):

- Не рекомендуется обучать модели для оценки МДП с ПА по двум критериям одновременно;

✓ Обучена ИНС для оценки МДП с ПА по критерию 20%Р исходная схема (Модель 2):

- Максимальная погрешность на постоянной топологии – 11, 3 МВт;
- Максимальная погрешность на переменной топологии – 87,54 МВт;
- Требуется увеличение точности.

✓ Скорость расчета моделей составляет от 0,0001 до 0,01 с.

✓ Подтверждена принципиальная возможность обучения и применения ИНС для оценки МДП с ПА.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХ



ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Авторы:

Белокуров Демьян Вячеславович. – студент
Прохоров Антон Викторович – доцент, к.т.н.

Томск - 2025