

Применение методов машинного обучения для сокращения времени расчета предельных перетоков активной мощности

Выполнил: студент гр. 5AM1P Конухов А.В.
Руководитель: к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ Прохоров А.В.

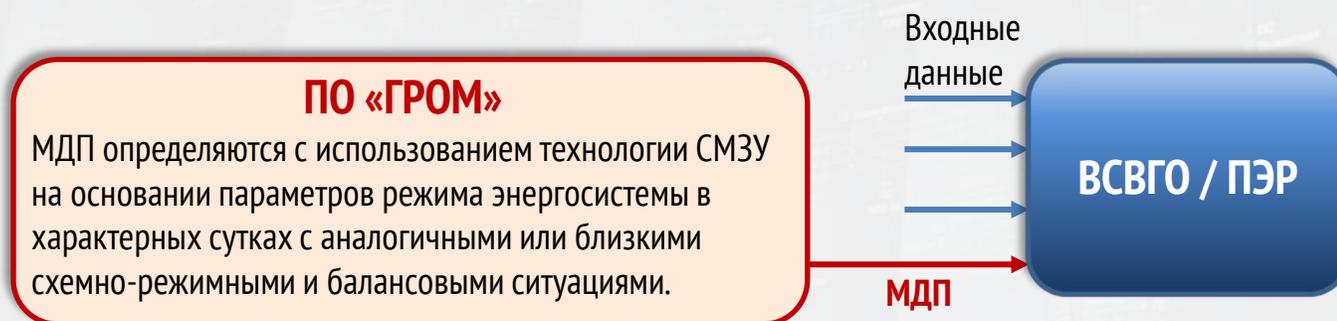
Томск 2023

Проблема:

Применение итерационных методов расчета МДП в автоматизированных системах приводит к необходимости принятия дополнительных упрощений и допущений, снижающих эффективность решения технологических задач

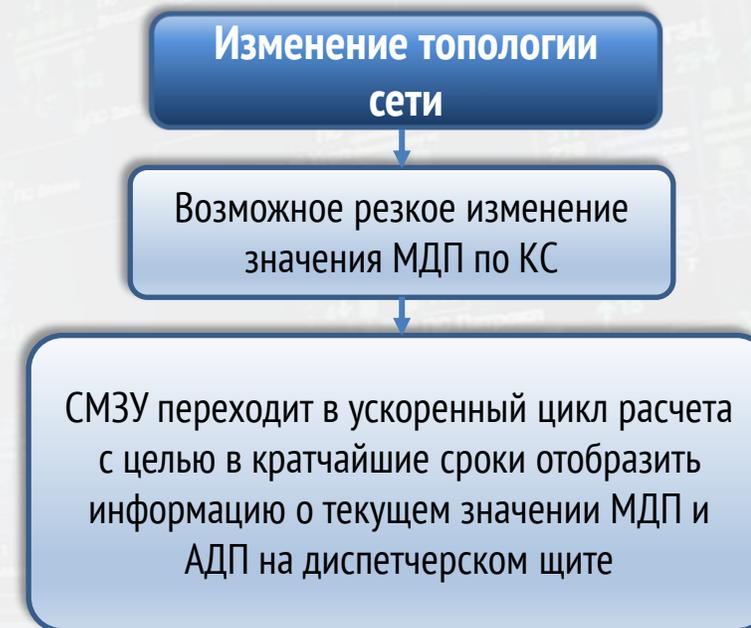
Актуальность:

Краткосрочное планирование режима



Расчёты МДП с помощью ПО «Барс-МДП» внутри оптимизационных алгоритмов ВСВГО и ПЭР слишком длительны и из-за этого не проводятся.

Управление электрическим режимом



Цель:

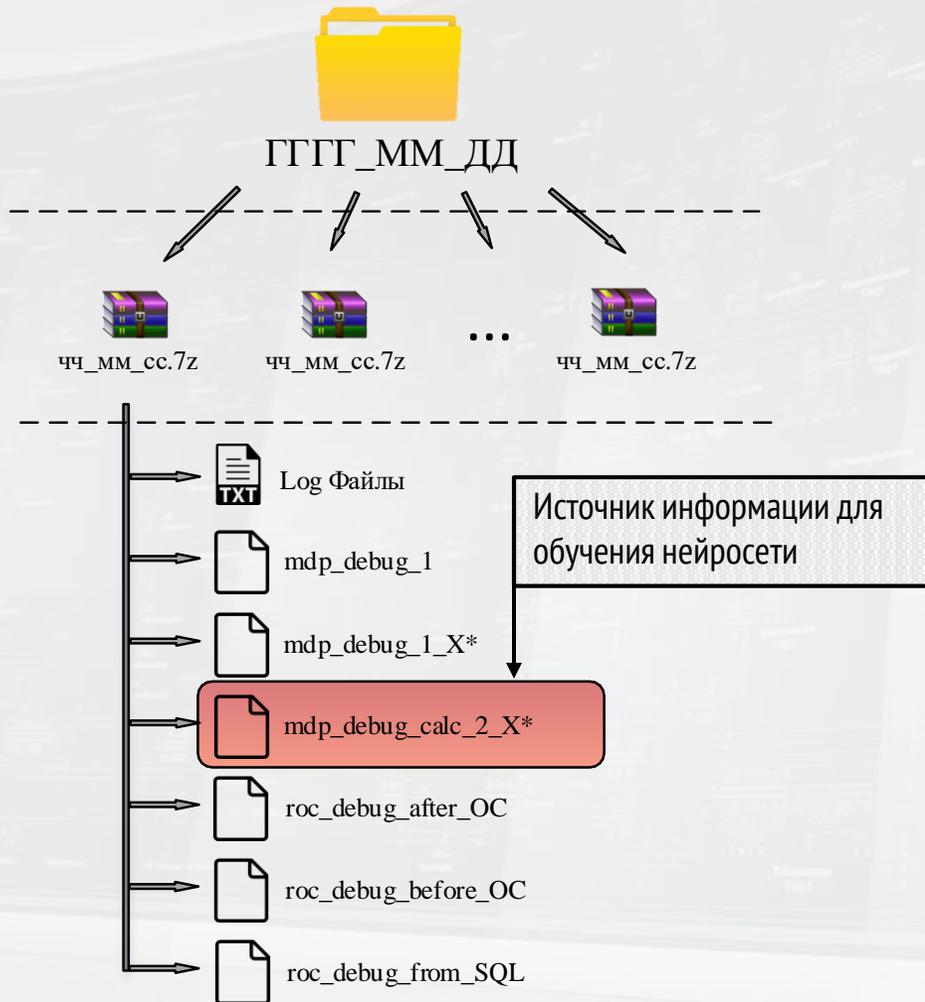
Снизить время расчета МДП без потери точности

Задачи:

- ✓ Разработать методику безитерационного расчета МДП с помощью искусственной нейронной сети (ИНС);
- ✓ Разработать подход к формированию обучающей выборки в условиях недостаточного количества ретроспективных результатов расчета СМЗУ для обучения нейросети;
- ✓ Оценить скорость расчета МДП с помощью ИНС;
- ✓ Определить методы повышения точности оценки МДП с помощью ИНС.

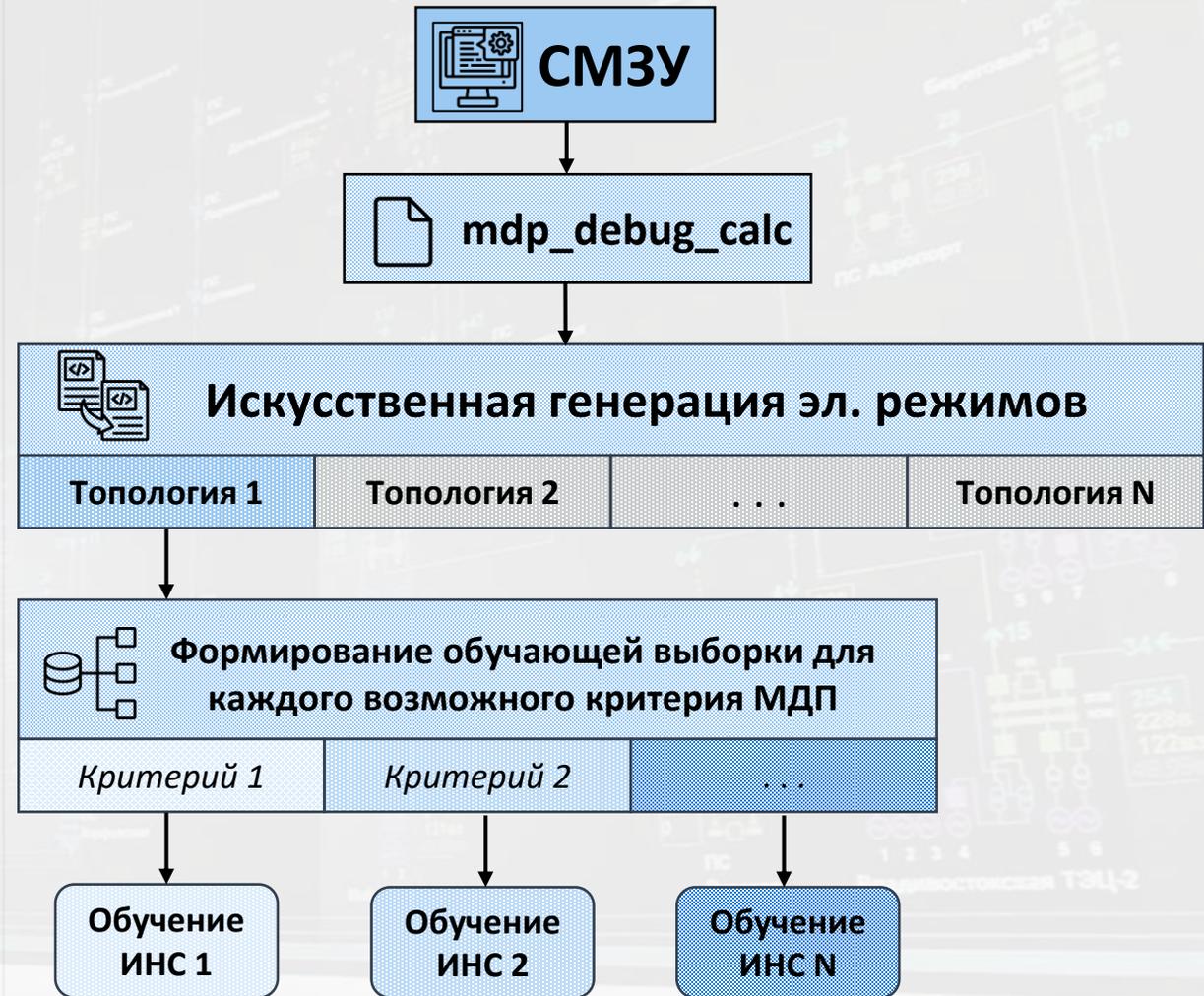
Методика использования ИНС в задаче расчета значений МДП

Структура файлов сохраняемых СМЗУ



* X – Номер контролируемого сечения

Методика обучения ИНС



Методика определения МДП с помощью ИНС



Выбранное сечение:

Братск – Иркутск

Причины выбора сечения:

1) Чередование определяющих критериев МДП без ПА:

- 8% запас по статической устойчивости;
- Токовый в послеаварийном режиме.

2) Наличие всего одного ВИР в расчете МДП

Состав сечения:



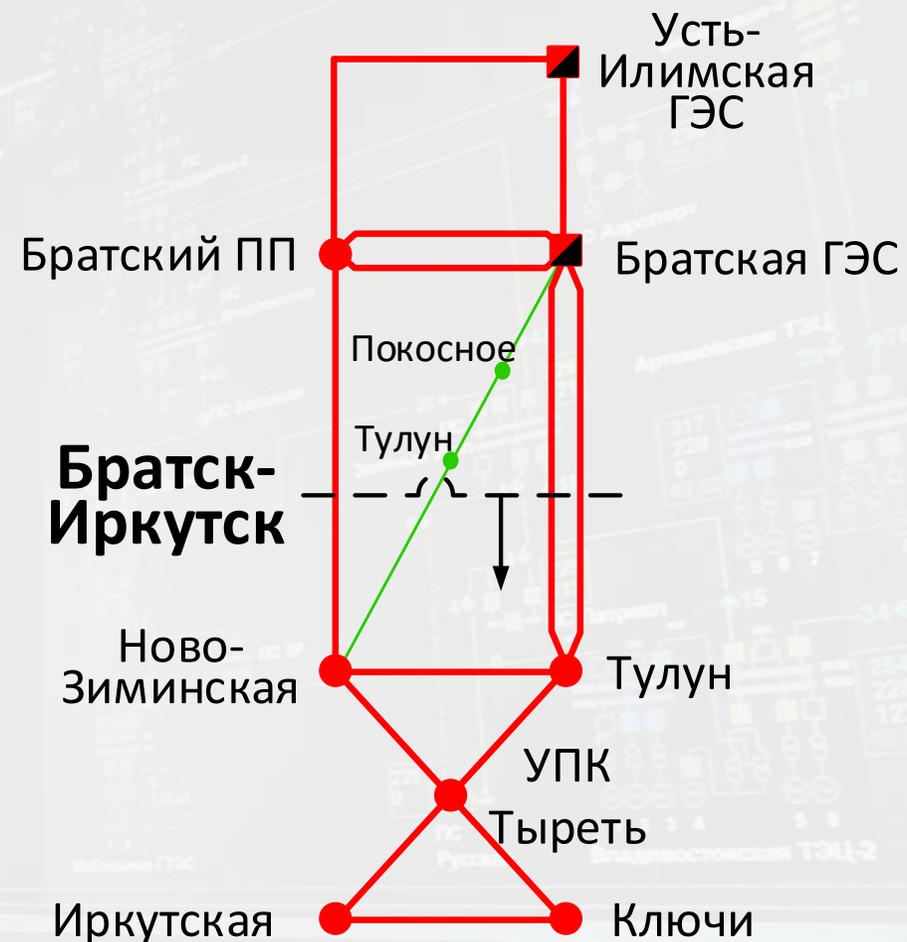
ВЛ 500кВ

Братский ПП – ПС Новозиминская (ВЛ-560);

БГЭС– ПС Тулун, 1 цепь (ВЛ-561);

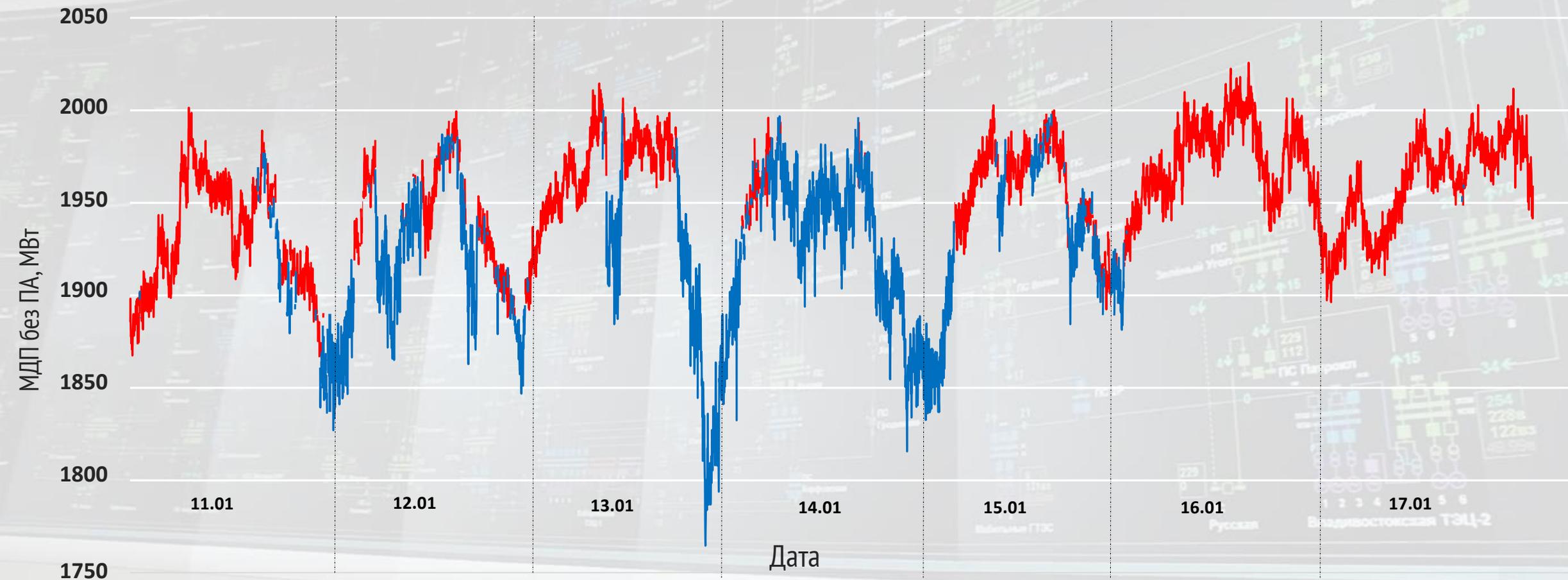
БГЭС– ПС Тулун, 2 цепь (ВЛ-561).

Структура сети



Исследование методики обучения ИНС на основе ретроспективных данных СМЗУ

Период сбора данных	Количество циклов СМЗУ за 7 дней:	Критерий МДП	Кол-во циклов СМЗУ
11 января – 17 января	7787	Ток в п.а.р.	5122
		8% в п.а.р.	2665



Состав обучающей выборки

- 1) Перетоки мощности по ветвям, входящим в контролируемое сечение;
- 2) Перетоки мощности по ветвям, отключение которых приводит к набросу мощности в КС (берется из ПУР);
- 3) Выработка активной и реактивной мощностей генераторов, загрузка которых влияет на переток мощности в КС;
- 4) Потребление активной и реактивной мощности крупной нагрузки (от 30МВт).
- 5) Напряжение в узлах, примыкающих к КС;
- 6) Напряжение в узлах, к которым подключены средства компенсации реактивной мощности;
- 7) Значения АДТН в ветвях, по которым возможна токовая перегрузка.

Номер цикла	$P_g-(360)$...	$P_g-(46)$	$P_n-(839)$	$U-(818)$	$P_{vetv}-(6022-6332(0))$	$Q_{vetv}-(6022-6332(0))$	МДП без ПА	Критерий МДП	
0	00_00_33	198,01	...	2,87	34,40	235,96	563,74	9,80	1885,57	Ток п.а. схема
1	00_01_53	198,20	...	2,93	33,81	236,07	536,46	11,44	1898,25	Ток п.а. схема
2	00_03_13	198,17	...	3,18	34,00	236,02	568,52	4,89	1885,69	Ток п.а. схема
3	00_04_35	198,71	...	3,13	34,68	235,94	547,36	14,34	1879,33	Ток п.а. схема
4	00_05_57	198,04	...	2,48	34,76	235,92	542,42	15,77	1877,50	Ток п.а. схема
...
7787	23_59_27	198,24	...	3,19	33,41	235,94	551,44	12,22	1923,35	Ток п.а. схема

Значение выработки активной мощности генератора №360

Переток активной мощности по ветви.
6022 – узел начала ветви
6332 – узел конца ветви
0 – номер параллельности

Обучающая выборка

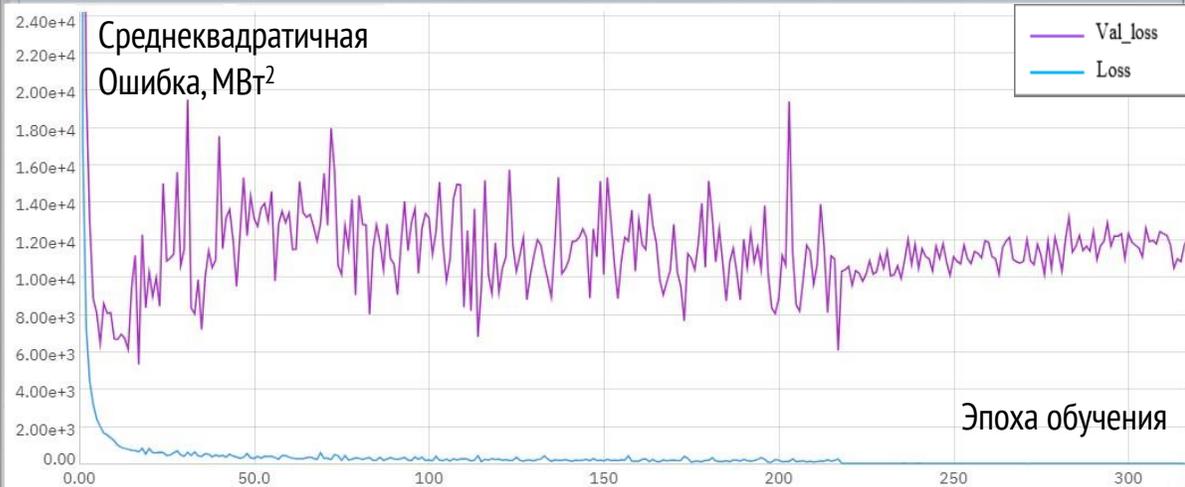
Показатель качества обучения ИНС

Значение среднеквадратичной ошибки при предсказании МДП на валидационной выборке (Val_loss)

Размер валидационной выборки

20% от общего объема данных (1557 циклов СМЗУ)

Процесс обучения ИНС



Результат обучения ИНС:

Большое значение

Val_loss

Малое значение

Loss



Переобучение

Тип нейросети	RBFN
Количество скрытых слоев	2
Функция активации	relu
Алгоритм оптимизации	Adam
Функция потерь	MSE
Количество нейронов в скрытых слоях	64
Кол-во эпох обучения	Автоматически определяемое

Время расчета
МДП

СМЗУ

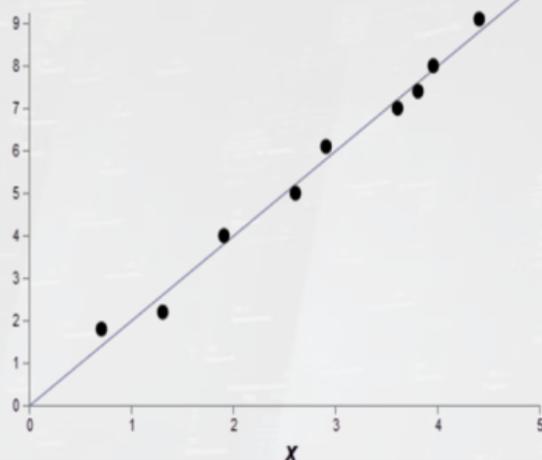
90 с

ИНС

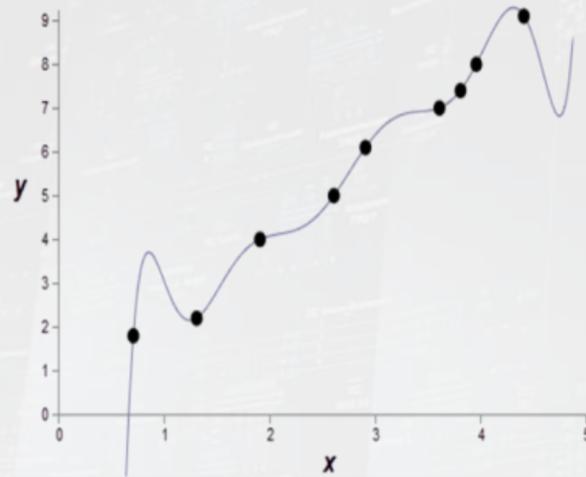
0,1 с

Проявление эффекта переобучения

Ожидаемый результат регрессии



Переобучение ИНС



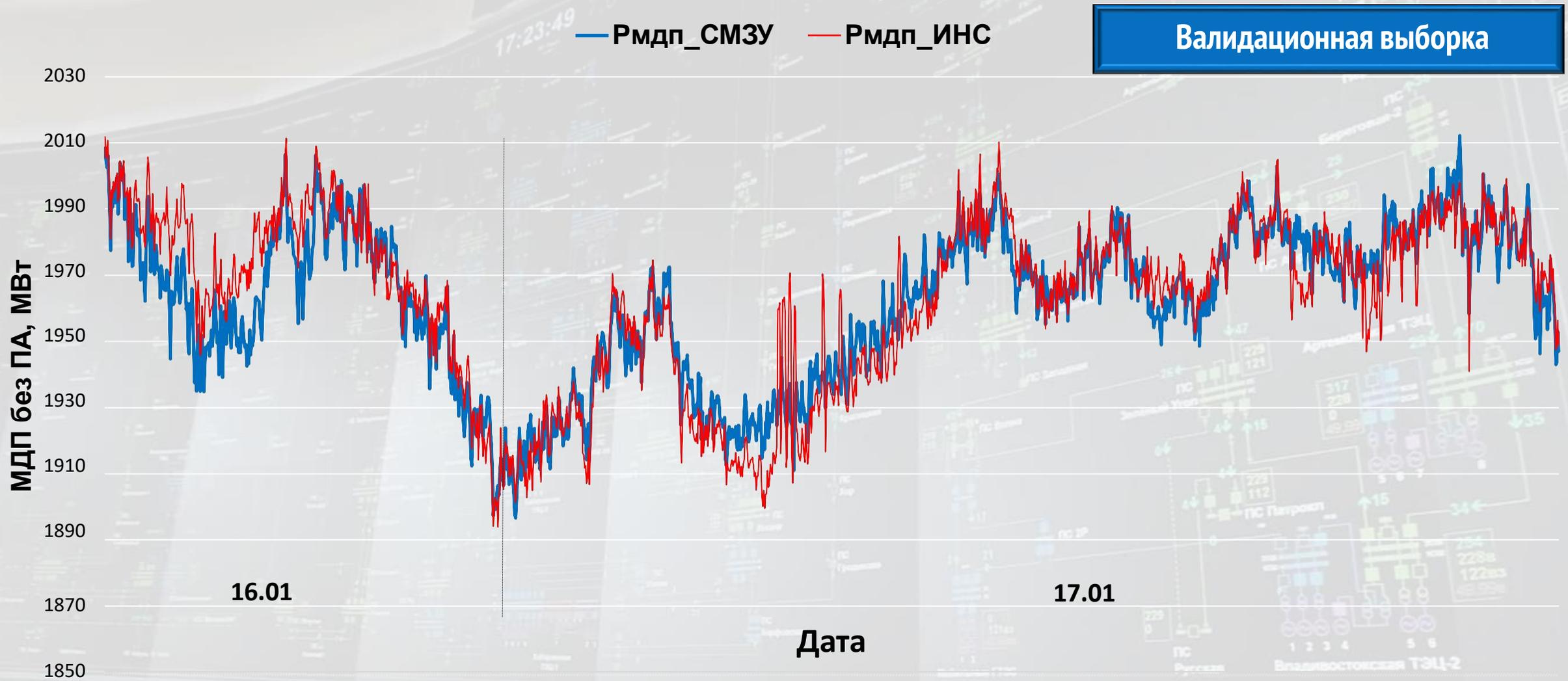
Предлагаемые решения

- 1) Увеличение размера обучающей выборки;
- 2) Удаление из обучающей выборки коррелирующих между собой признаков;
- 3) Прореживание входных данных, с помощью Dropout слоев;
- 4) Применение регуляризации данных;
- 5) Подбор коэффициента скорости обучения.

Основные причины переобучения

- Наличие коррелирующих признаков в обучающей выборке
- Недостаточное число обучающих примеров

Результат расчета МДП по токовому критерию с помощью ИНС по данным за 7 дней



Ошибка расчета МДП по токовому критерию



Максимальная ошибка в меньшую сторону

1,76 %

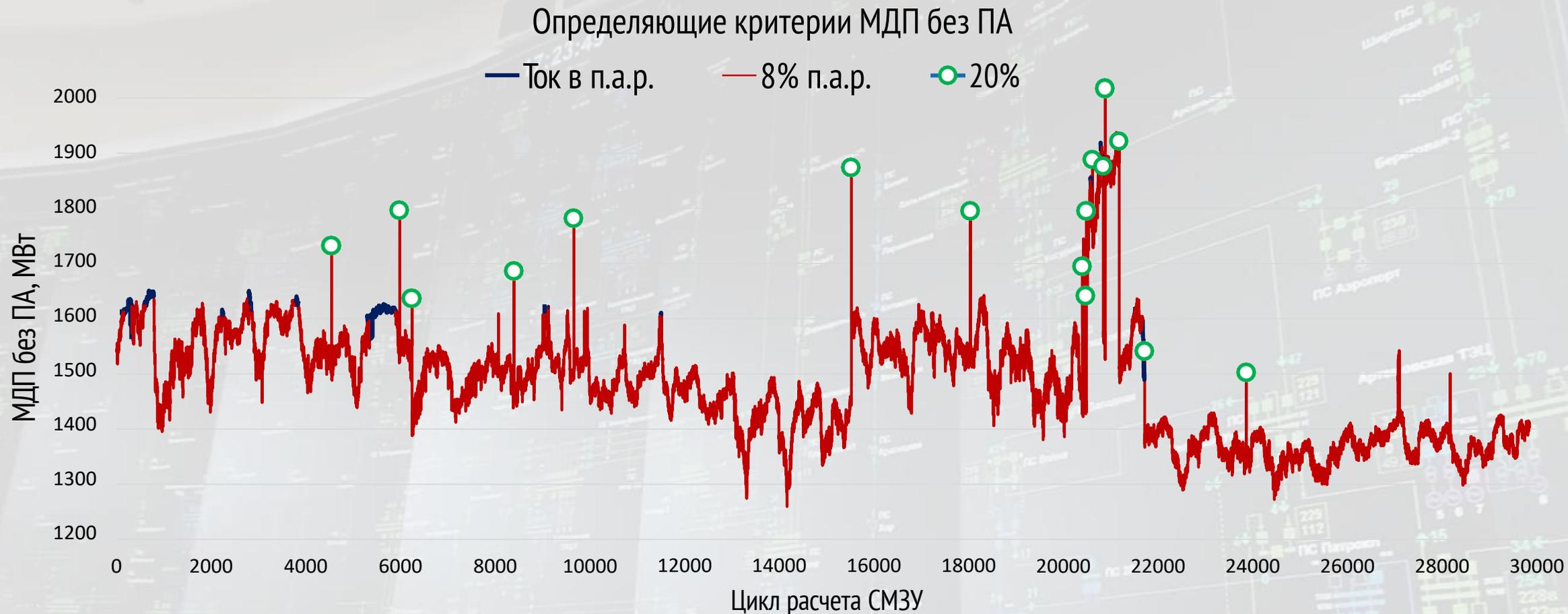
Максимальная ошибка в большую сторону

1,23 %

Проблема: Расчет МДП по критерию 8% запаса с помощью ИНС показывает большую ошибку (10 %)

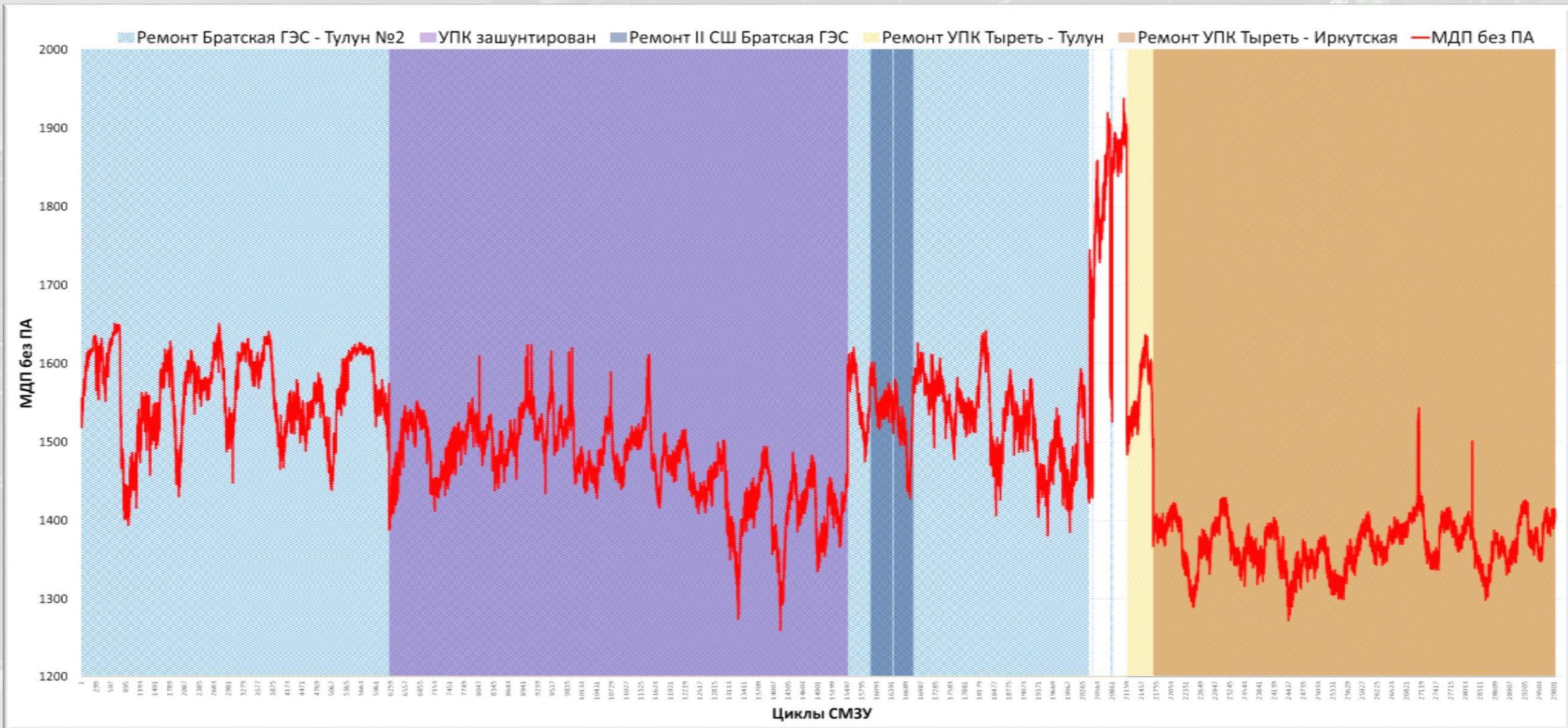
ввиду недостаточности объема обучающей выборки

Анализ данных с СМЗУ за месяц



Определяющий критерий МДП без ПА	Кол-во циклов СМЗУ
Ток в п.а.р.	1981
8% в п.а.р.	27 843
20% в исходном режиме	16

Анализ данных с СМЗУ за месяц



Алгоритм искусственной генерации режима:

Задание режима
с необходимой топологией сети

1 Изменение нагрузки и
генерации

2 Расчет МДП с помощью модуля
«Поиск ОС» RastrWin3

3 Сохранение файла режима с результатами
расчета МДП для последующего
формирования обучающей выборки ИНС

Преимущество искусственной генерации режимов:

Еще до наступления схемной ситуации, которая зависит на значение МДП, будут иметься обученные модели ИНС, способные оценивать значение допустимого перетока по своему определяющему критерию.

Кол-во сгенерированных режимов:

30 000

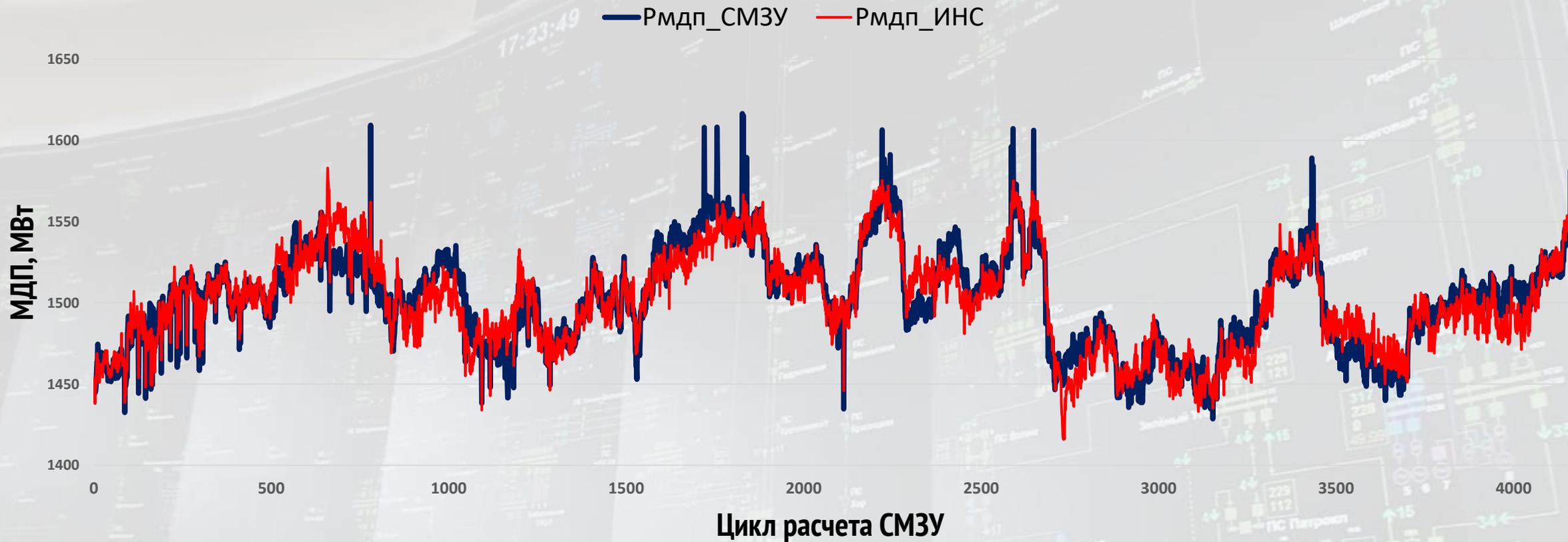
Время генерации режимов с учетом
распараллеливания на 20-ти ядерном процессоре:

10 часов

Время обучения модели ИНС:

2 часа

Оценка МДП на модели ИНС, обученной на искусственно-сгенерированных режимах



Кол-во режимов в валидационной выборке	4250
Максимальная относительная ошибка, %	-3,9
Максимальная абсолютная ошибка, МВт	54,2
Кол-во режимов с ошибкой >2%	18
Кол-во режимов с ошибкой >0,5%	2120
Кол-во режимов с ошибкой >0,1%	3400

Основные результаты исследования:

- ✓ Обосновано применение ИНС для повышения скорости оценки допустимых перетоков активной мощности.
- ✓ Предложена методика оценки допустимых перетоков активной мощности с использованием ИНС.
- ✓ Показано, что применение ИНС позволяет значительно сократить время оценки допустимых перетоков.
- ✓ Применены методы повышения точности ИНС:
- ✓ Выполнено сравнение результаты расчета МДП с помощью СМЗУ и с помощью ИНС на примере расчетов для сечения Братск-Иркутск ОЭС Сибири.

Направления будущих исследований:

- 1) Выполнить исследования по оценки МДП с ПА с помощью ИНС;
- 2) Определить необходимое количество искусственно сгенерированных режимов для обучения ИНС;
- 3) Выполнить эксперимент по оценке итогового значения МДП найденного по результатам оценки допустимых перетоков по каждому критерию.
- 4) Автоматизировать алгоритм выбора состава обучающей выборки для каждой модели ИНС. Использовать для этого Lasso регрессию

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Конухов Андрей

Студент гр. 5AM1P/O-5KM11

 г. Томск, ул. Усова 15 Б

 89821075017

