



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МНОГОВАРИАНТНЫХ ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РЕАКТОРЕ ВВЭР

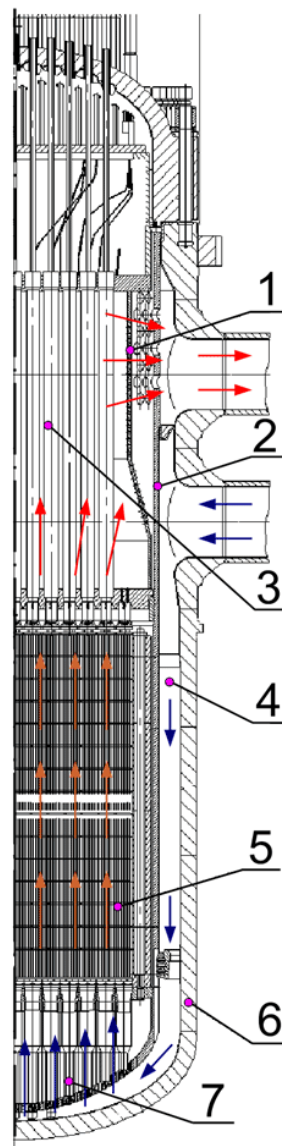
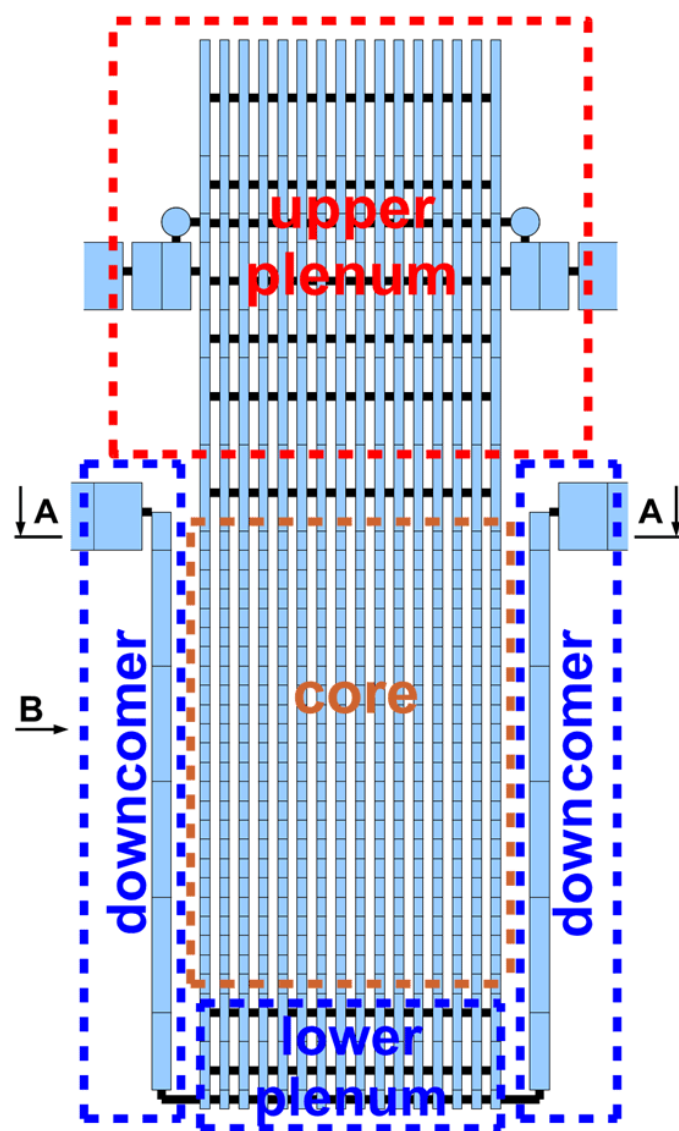
«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики»
(«Нейтроника-2024»).

Увакин М.А., Николаев А.Л., Антипов М.В. И.В. Махин, Е.В Сотсков

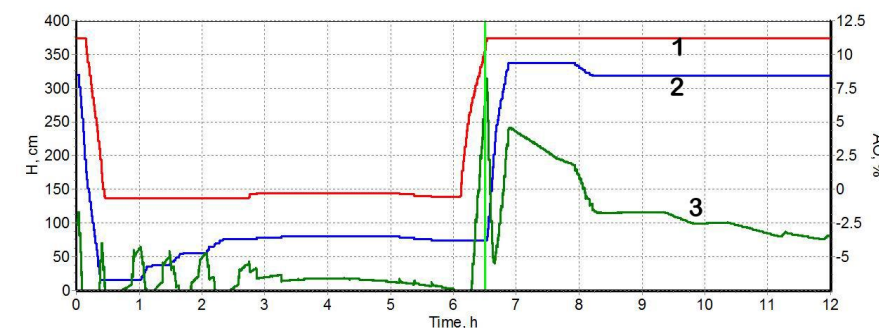
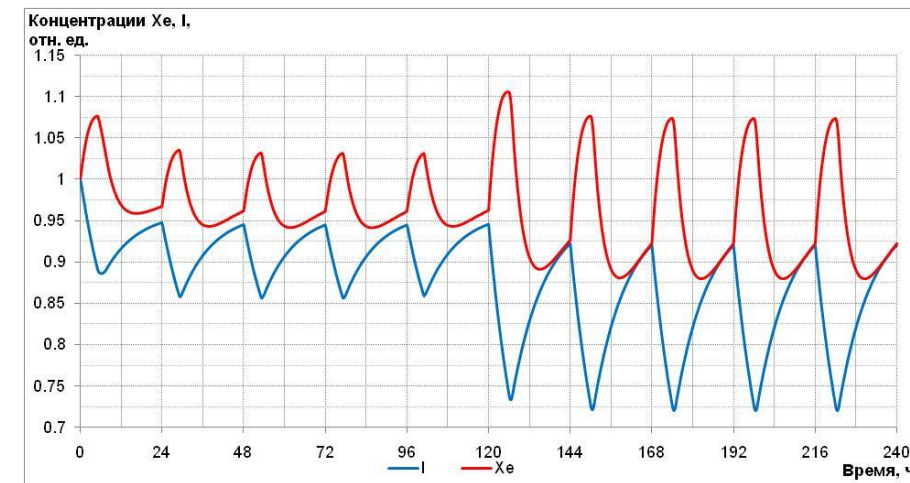
Связанный нейтронно-физический и теплогидравлический расчет маневренных режимов - ПК КОРСАР/ГП



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ



- 1 – block of shielding tubes sidewall
- 2 – barrel
- 3 – block of shielding tubes
- 4 – downcomer
- 5 – core
- 6 – reactor vessel
- 7 – lower plenum



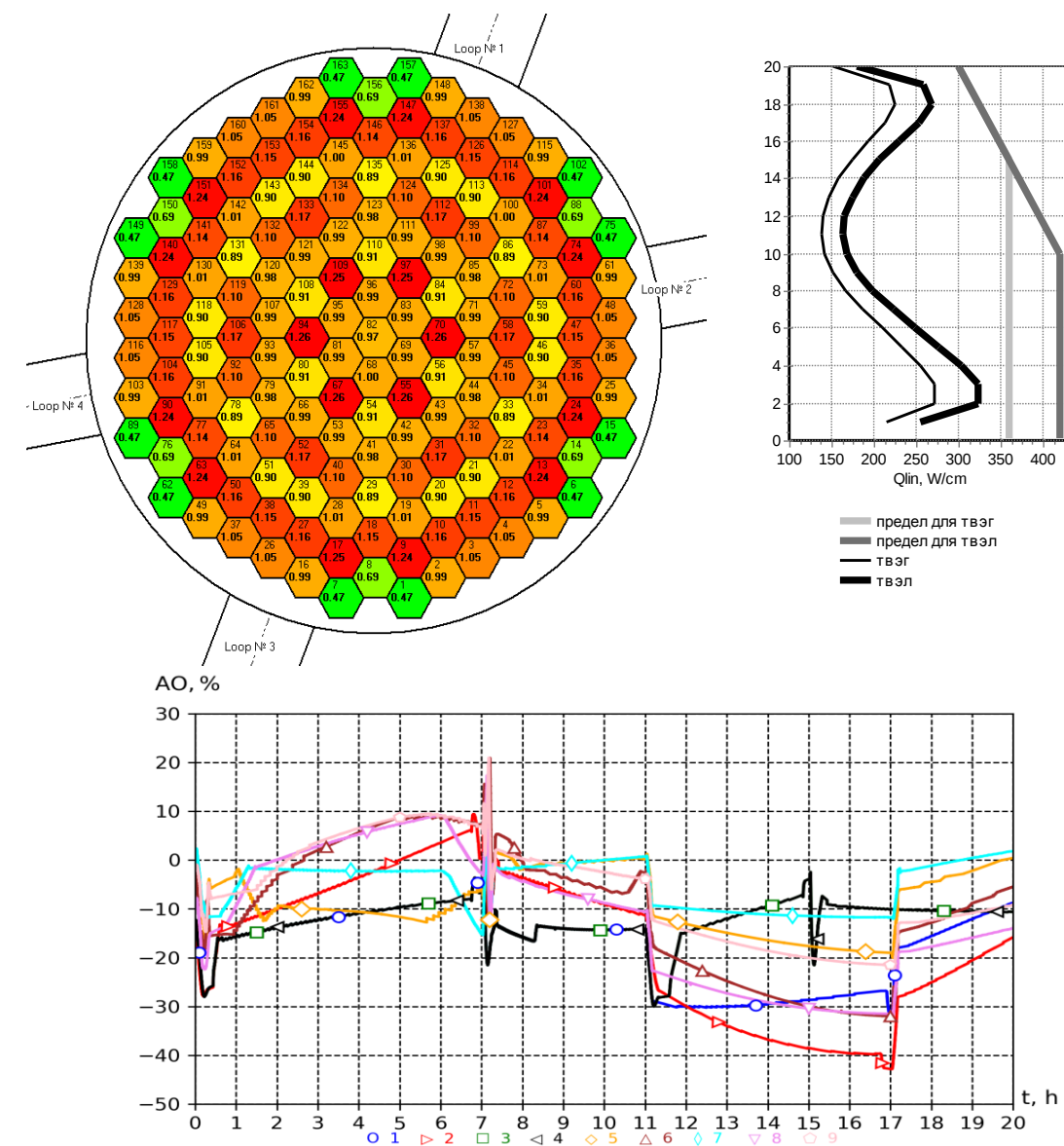
Связанный расчет нестационарного процесса по целой группе параметров с существенно различающимися постоянными времени

Новые методы - повышение производительности путем использования технологий машинного обучения

Выбор исходного состояния для анализа безопасности – анализа аварийных процессов в консервативной постановке.

Проблема:
зависимость результата от конкретного экспертного мнения и большое количество возможных вариантов

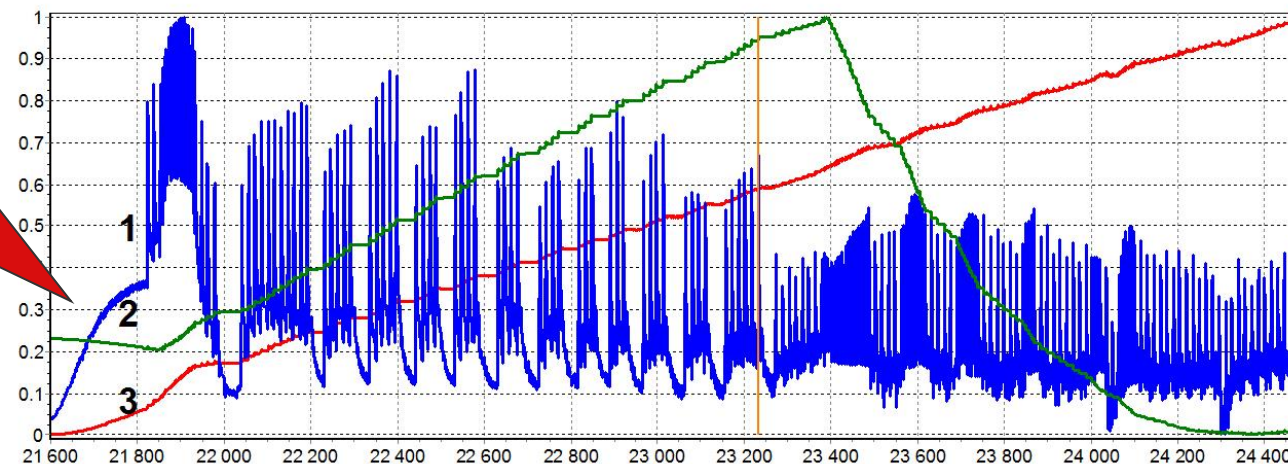
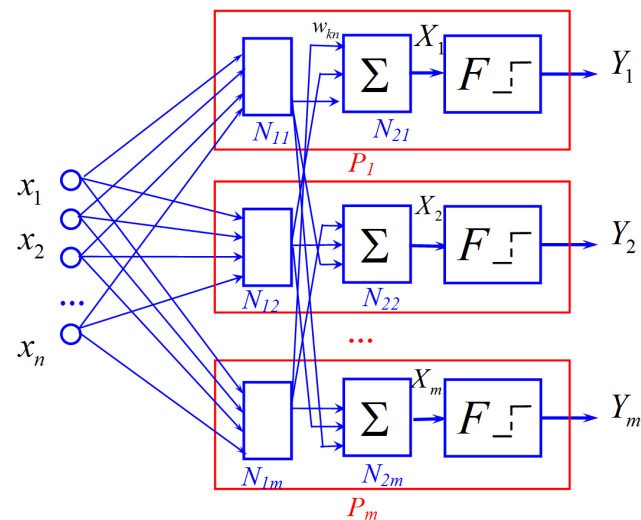
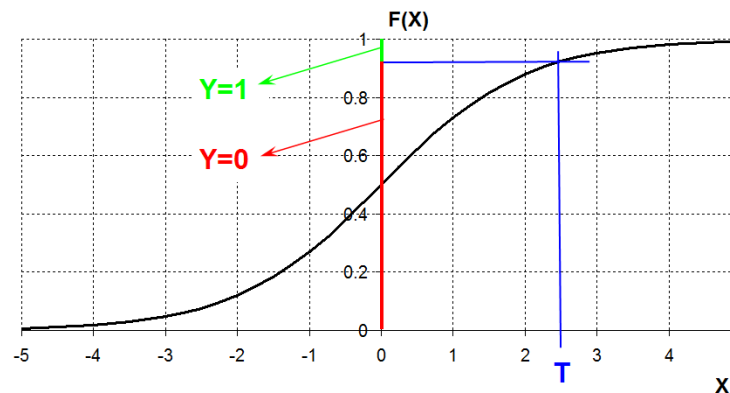
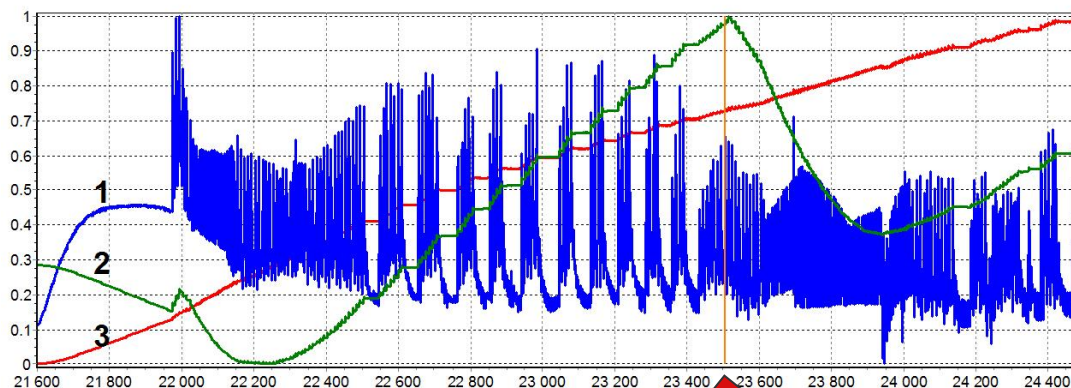
Решение:
использование нейронной сети, обученной на ранее выполненных расчетах для прогноза



Постановка задачи: применение **искусственного интеллекта** для определения консервативного момента времени начала исходного события (аварии) – показано на **Нейтронике-2022**



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

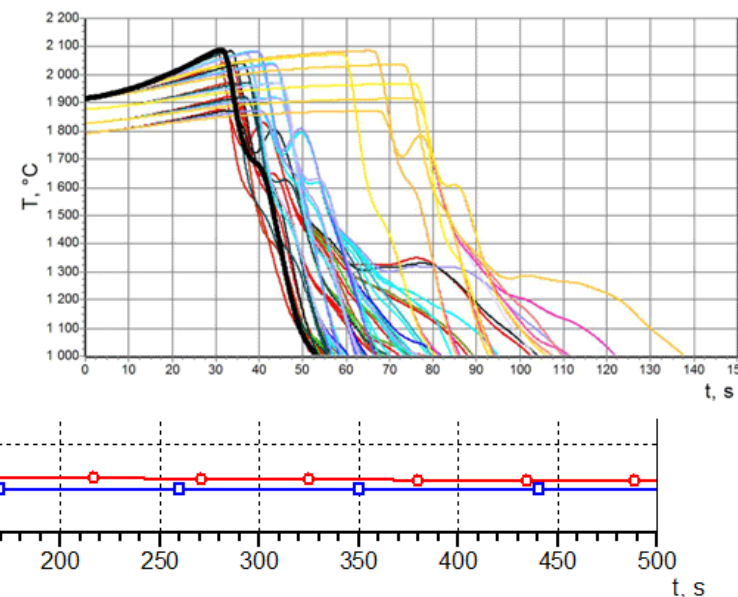
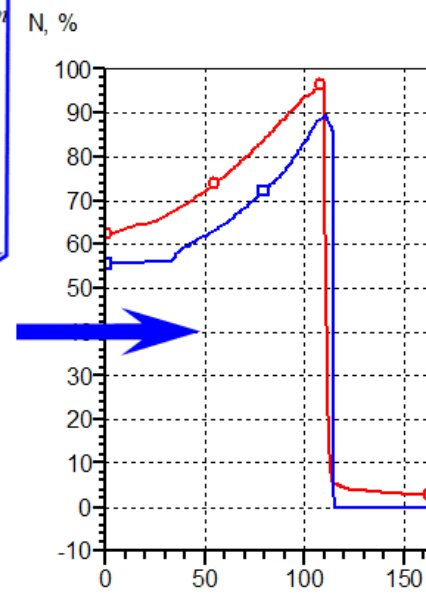
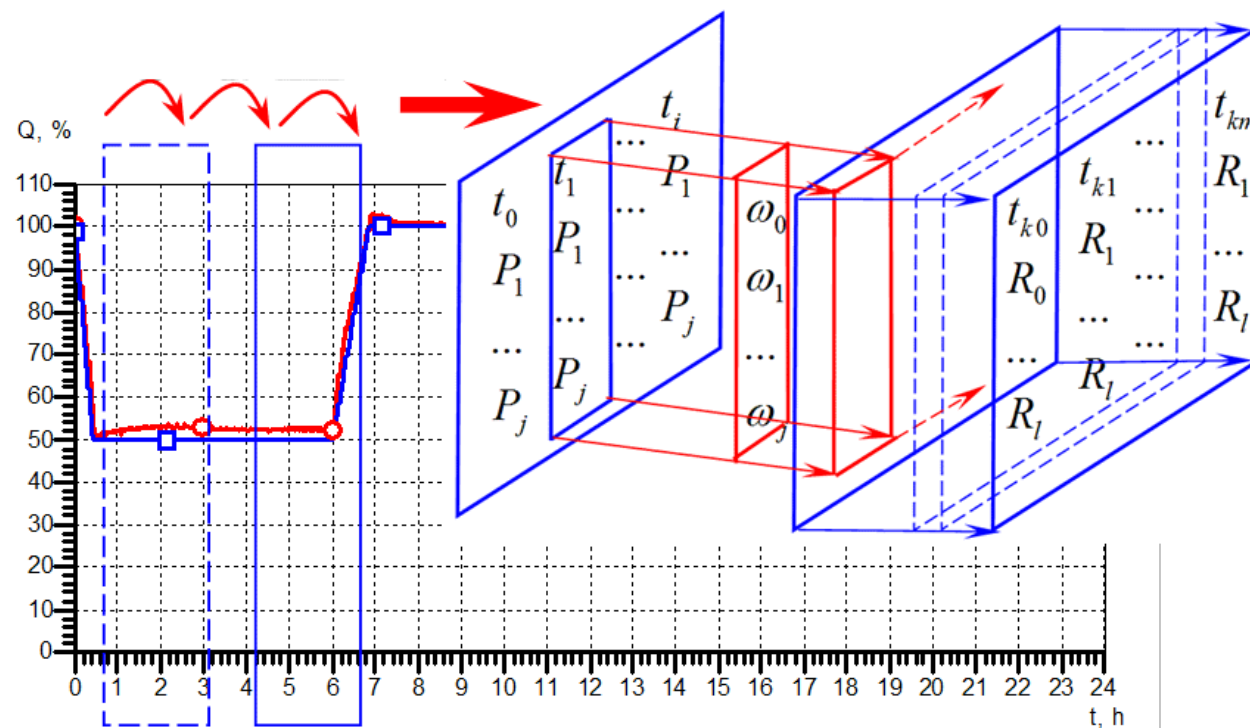


Пример ранее полученного решения для **быстропротекающего режима** (выброс ОР СУЗ)

Новые методы - повышение производительности путем применения нейронных сетей для прогноза динамики



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

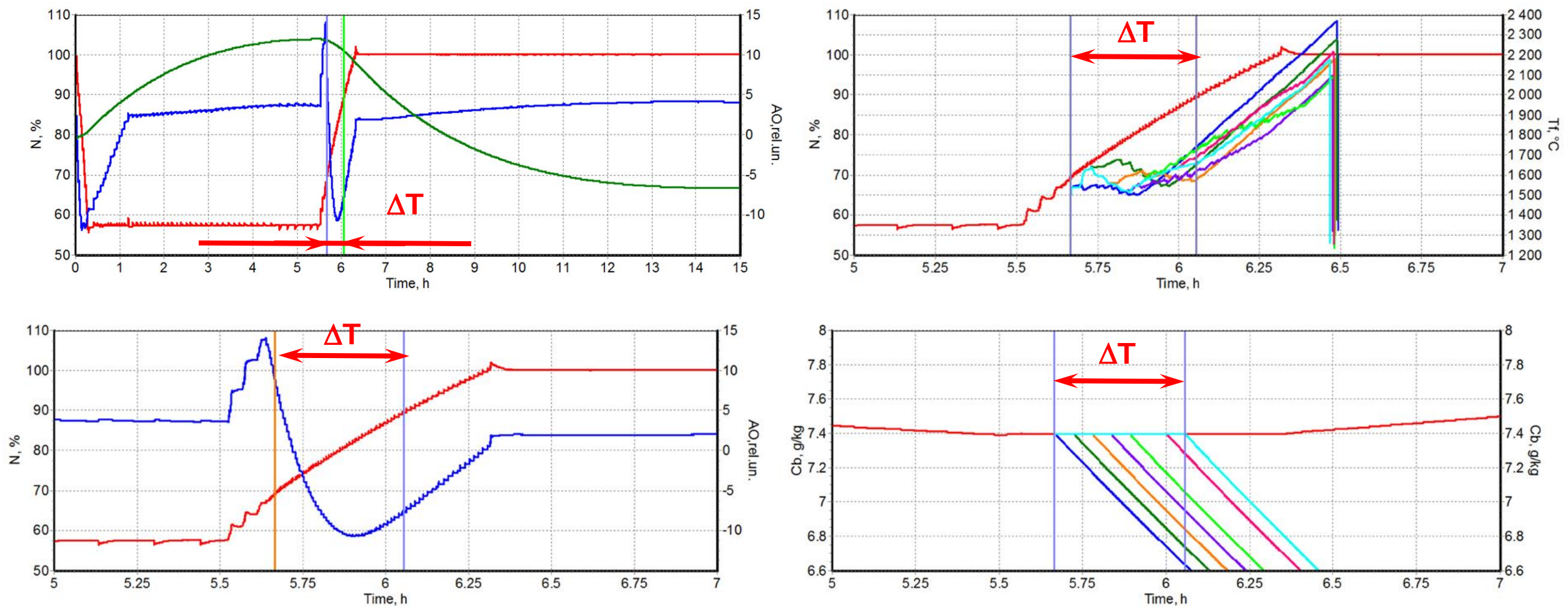


Эффект от применения – ускорение вычислительных процедур.

Недостаток – проблема интерпретируемости результатов

Важно – итоговый результат анализа формирует человек по аттестованному коду

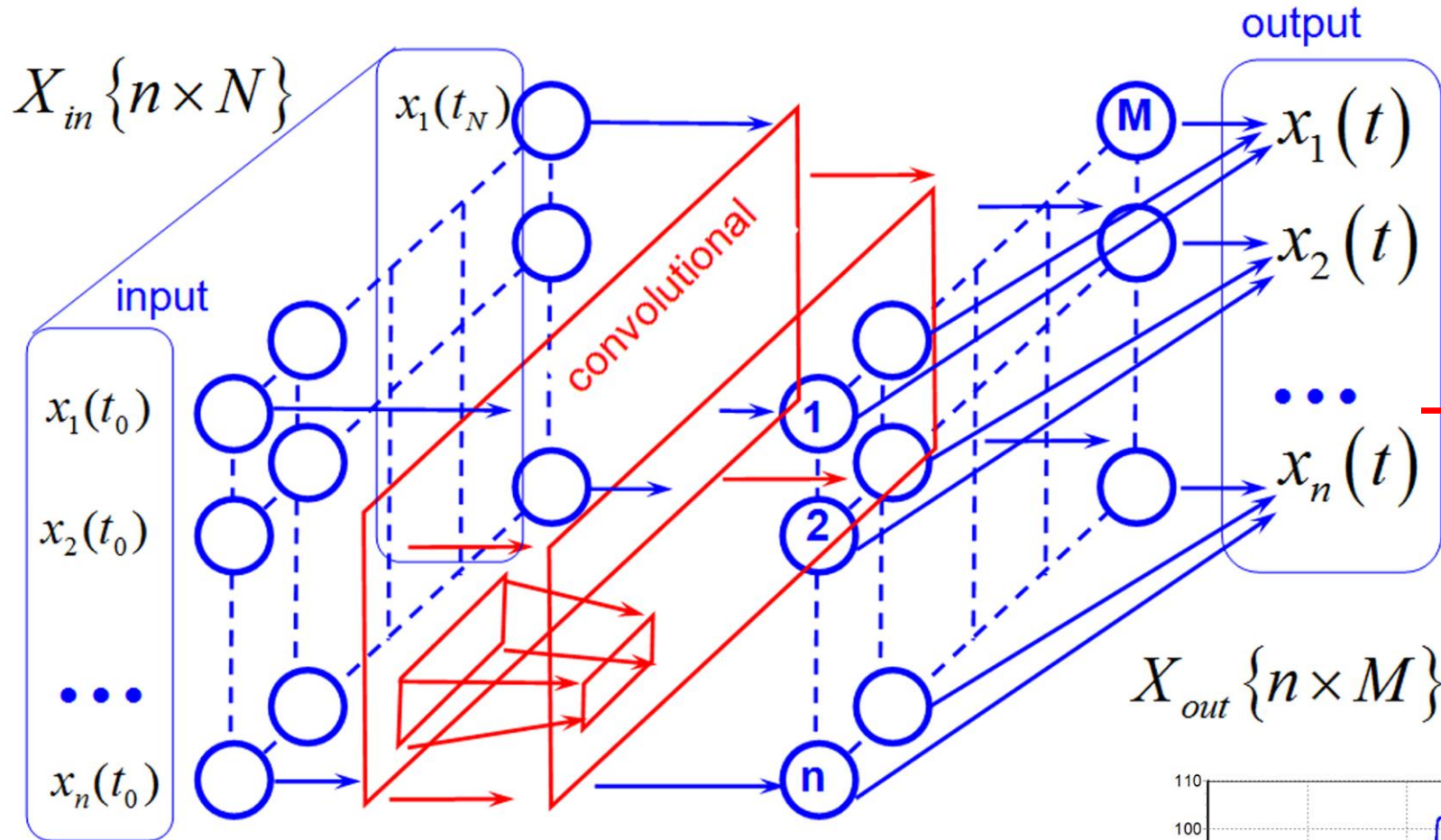
Постановка задачи: исходные данные для продолжительного режима (непреднамеренное разбавление теплоносителя)



Блок сверточной нейронной сети

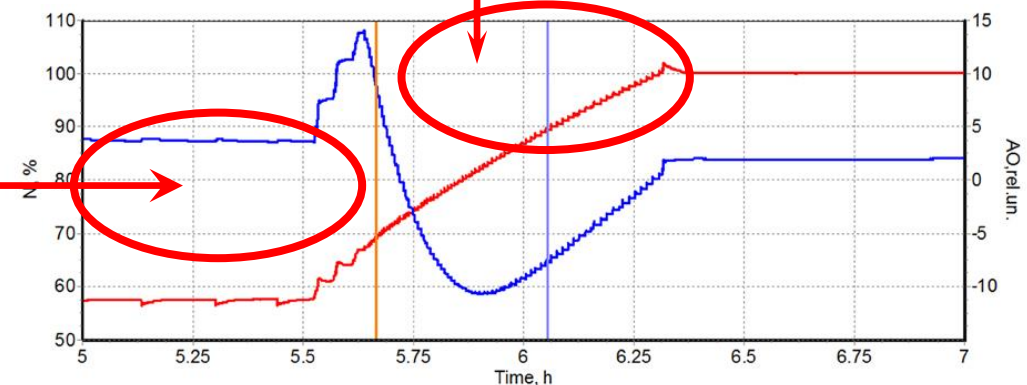


ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

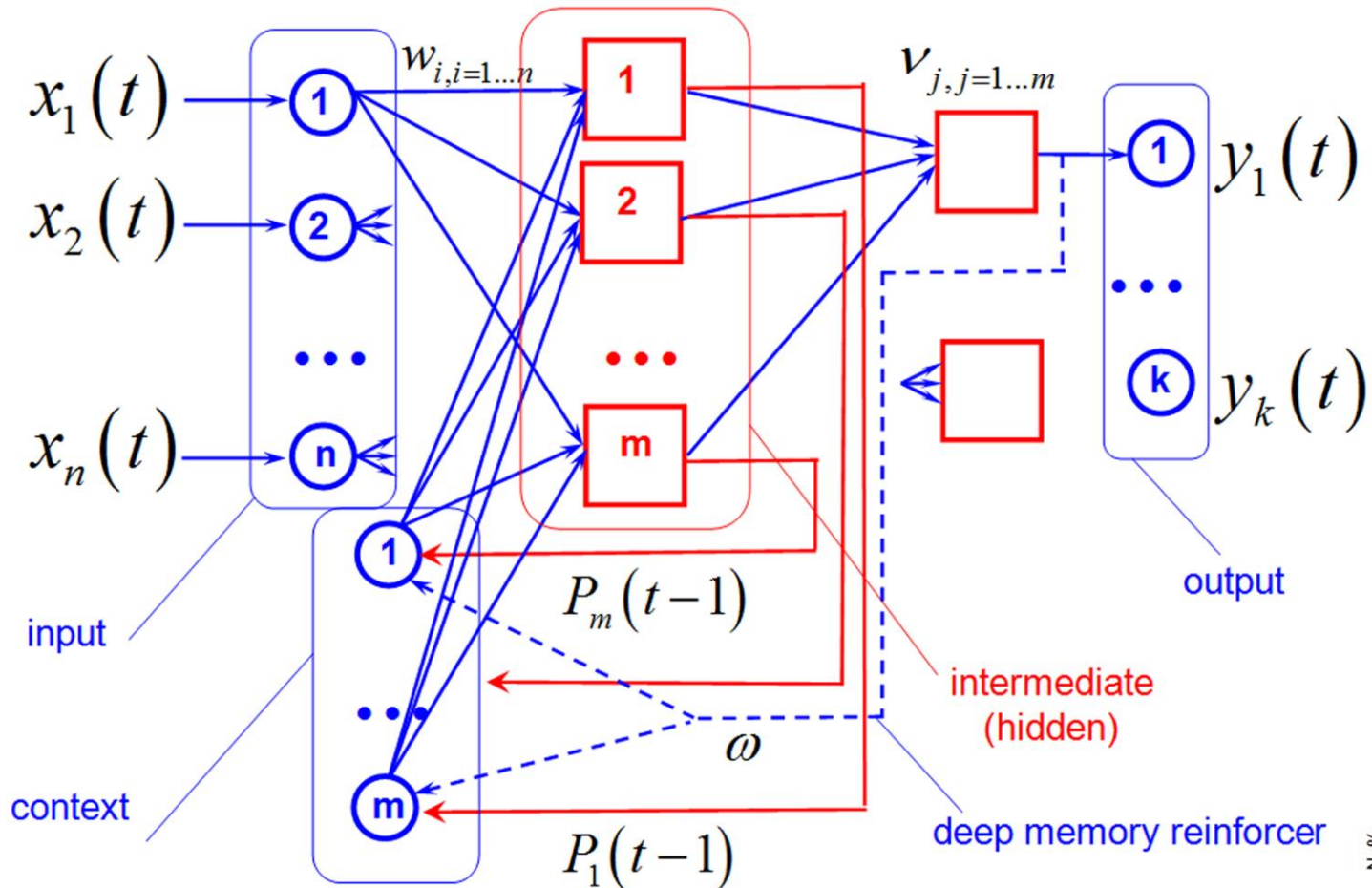


Модификация весовых коэффициентов в процессе обучения проводилась на основе метода **градиентного спуска** для минимизации суммарной квадратичной ошибки обучения.

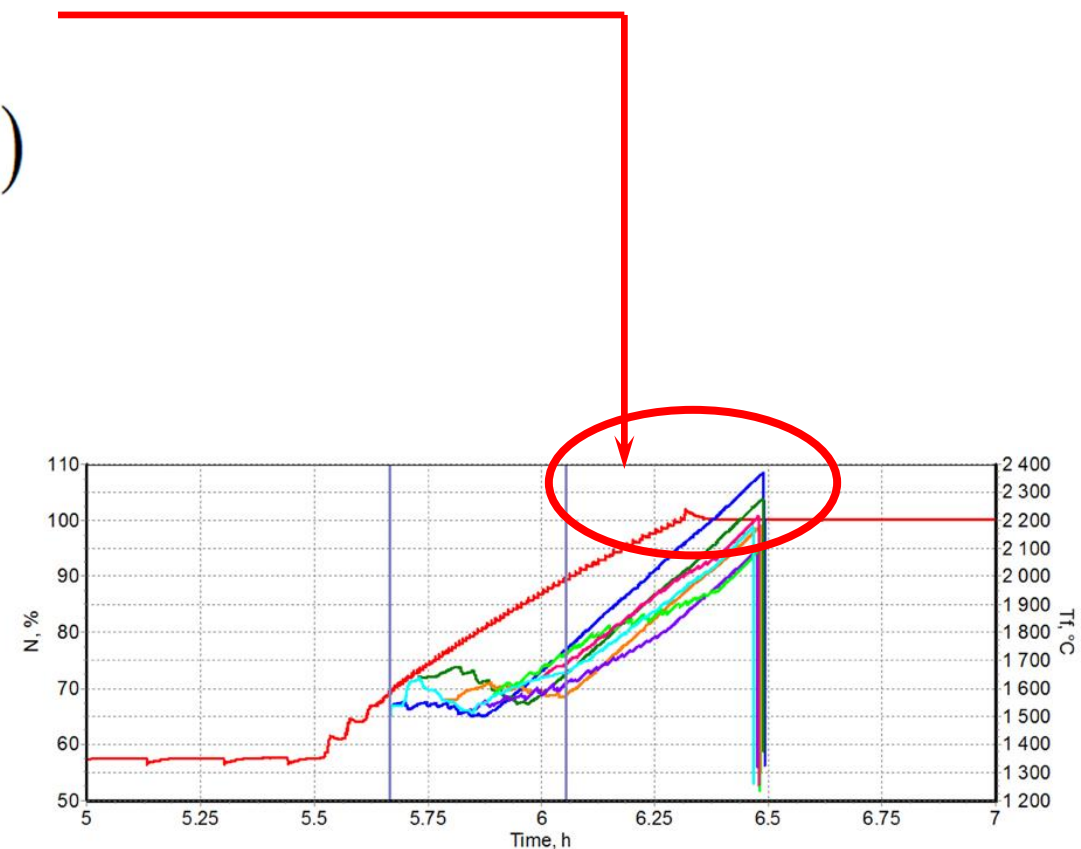
$$w_{ij}^k(l+1) = w_{ij}^k(l) + \alpha \sum_{i,j} \gamma_{ij}^k \frac{\partial F(X_{in}^{ik})}{\partial X} x_{ij}^k$$



Блок рекуррентной нейронной сети



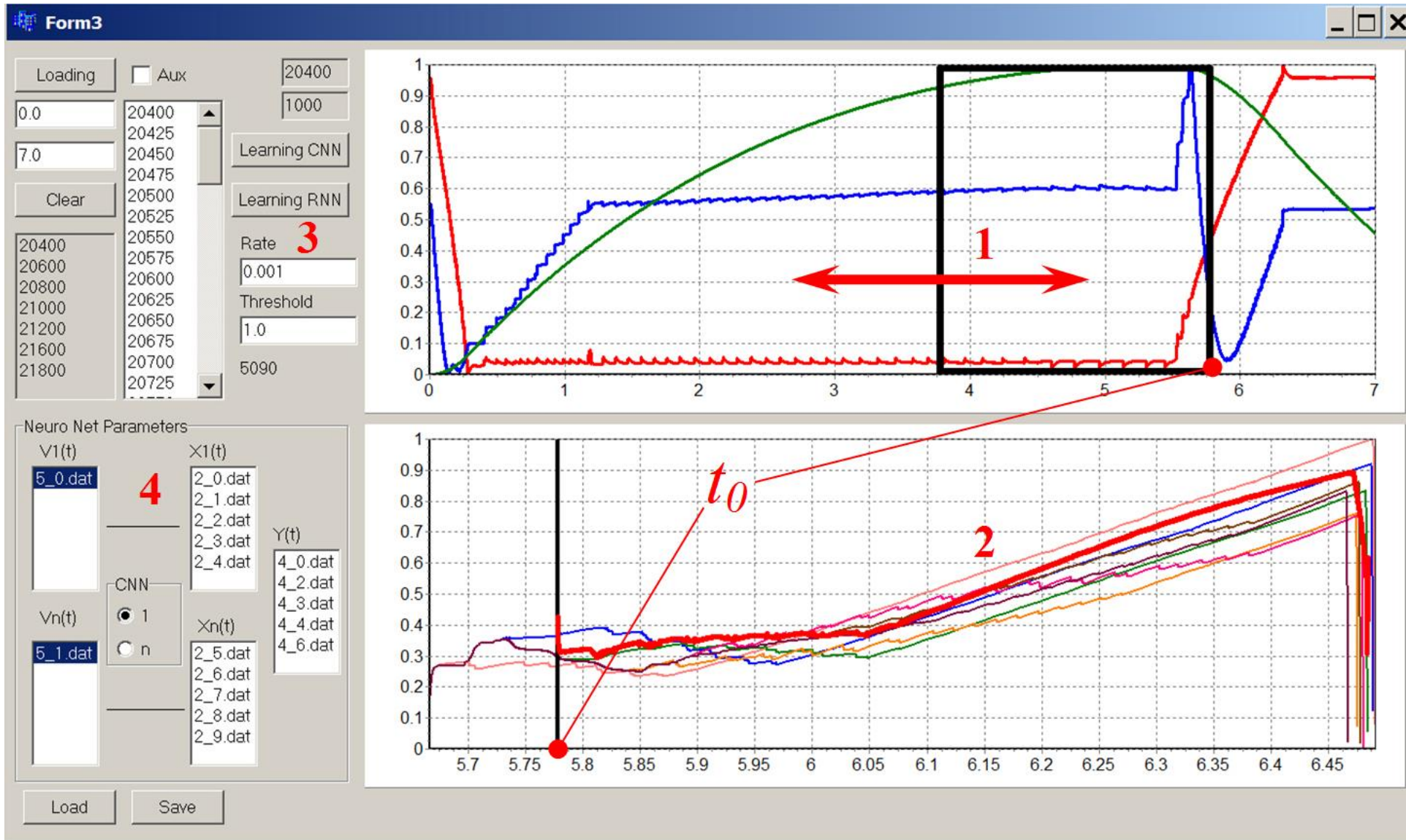
$$X_{out}^i(t) = \sum_{k=1}^n w_{ki} x_i(t) + \sum_{l=1}^m w_{li} p_l(t-1) + \omega_i y(t - \delta t) - T_i$$



Программная реализация и апробация модели



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

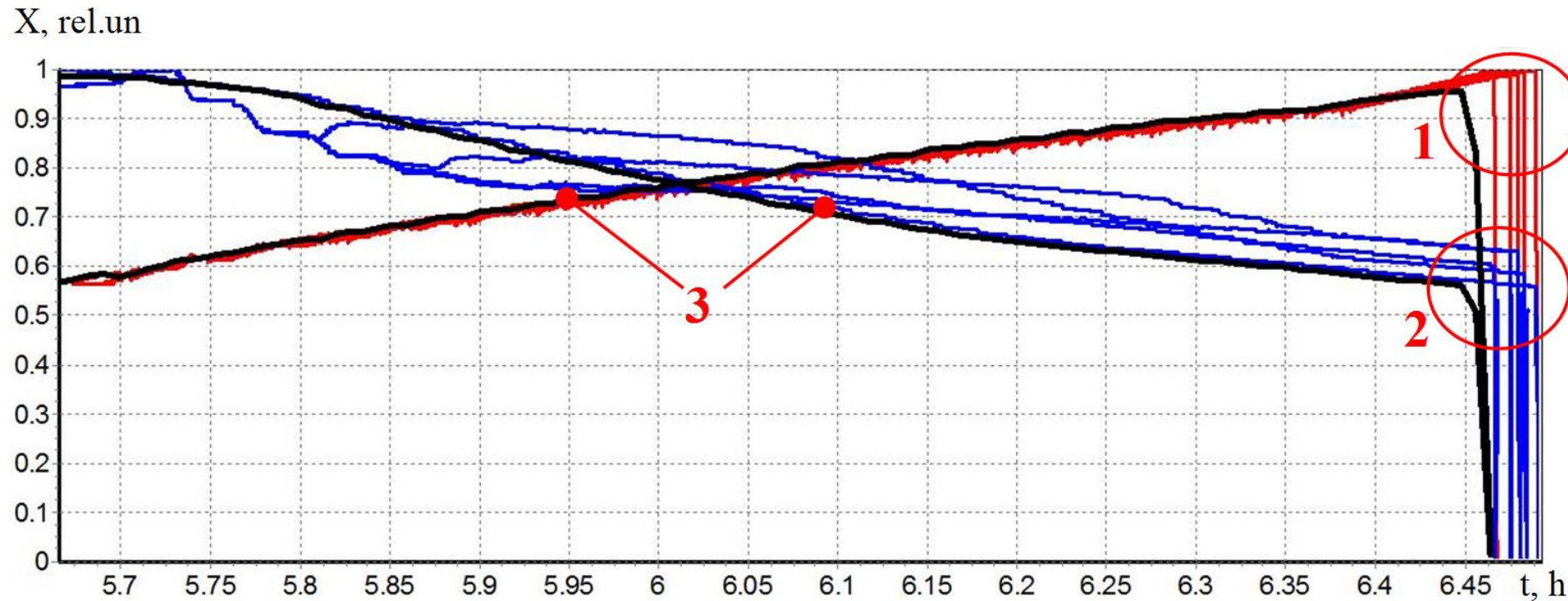


Программа
VELETMA/GR
получила
дополнительную
«ветку» для
реализации
поставленной
задачи

Проверка работы блока сверточной нейронной сети



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ



1 – набор эталонных данных по нейтронной мощности, 2 – набор эталонных данных по аксиальному офсету, 3 – пример расчета по модели нейросети

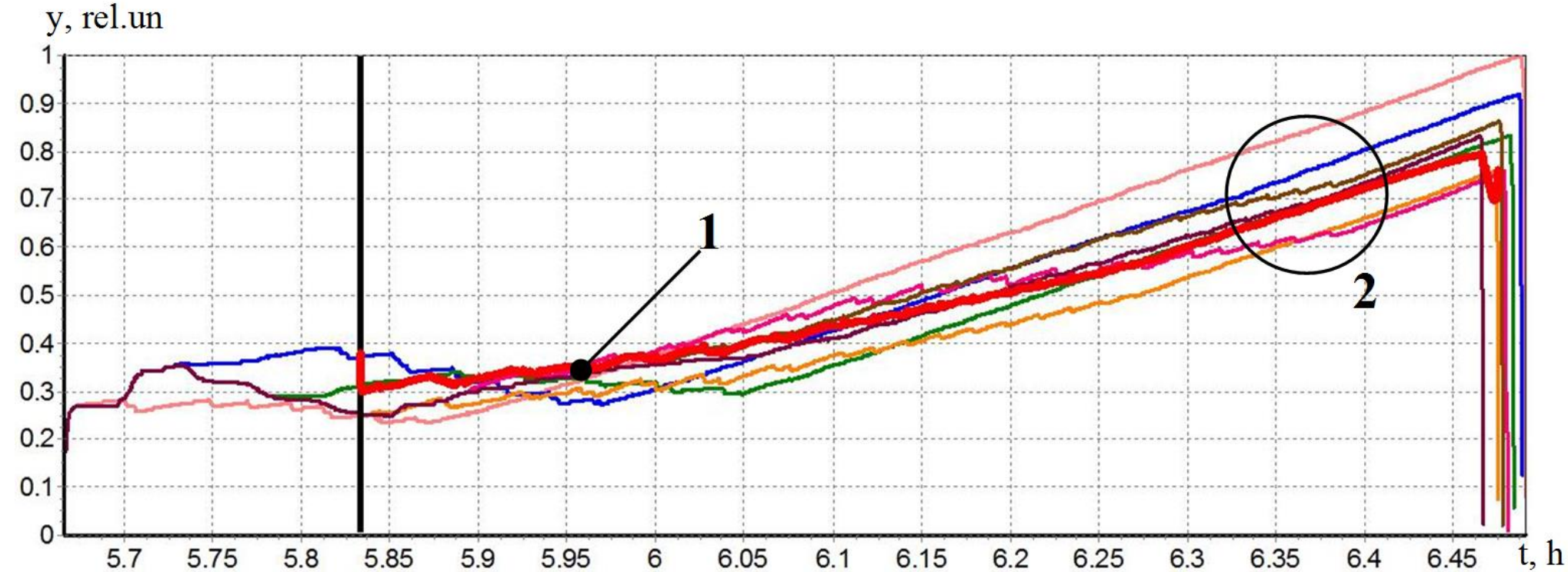
Размер рецептивного окна - **7200 сек**

Погрешность предиктивной модели по СКО не превышает **3%**.

Проверка работы блока рекуррентной нейронной сети



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ



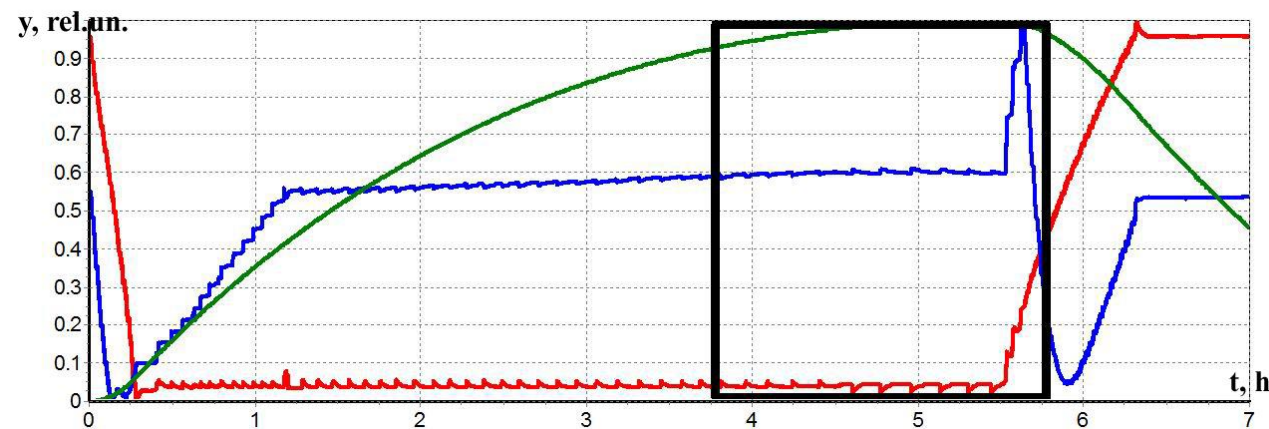
1 – расчет по модели нейросети, 2 – набор эталонных данных по максимальной температуре топлива

Погрешность предиктивной модели по СКО не превышает 1.2%.

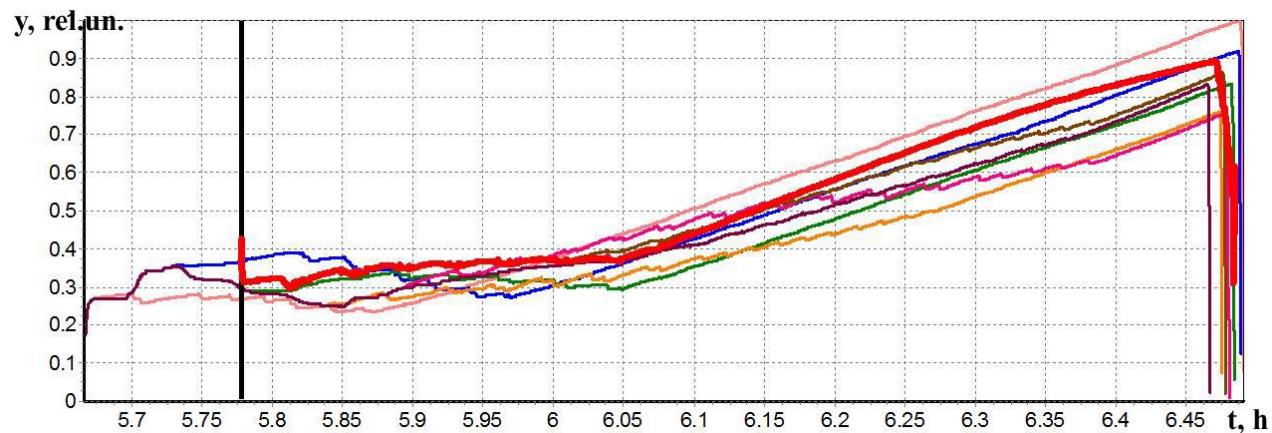
Практические примеры работы модели



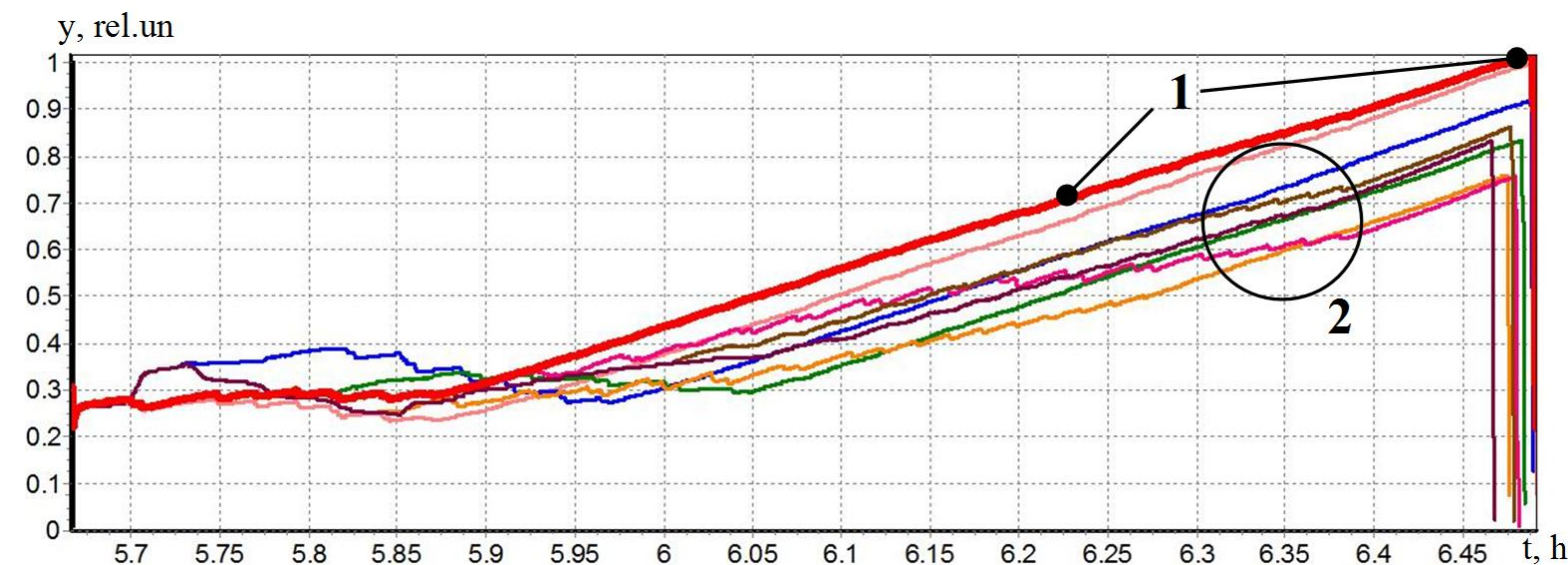
ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ



Рецептивное окно



Результат расчета максимальной температуры топлива

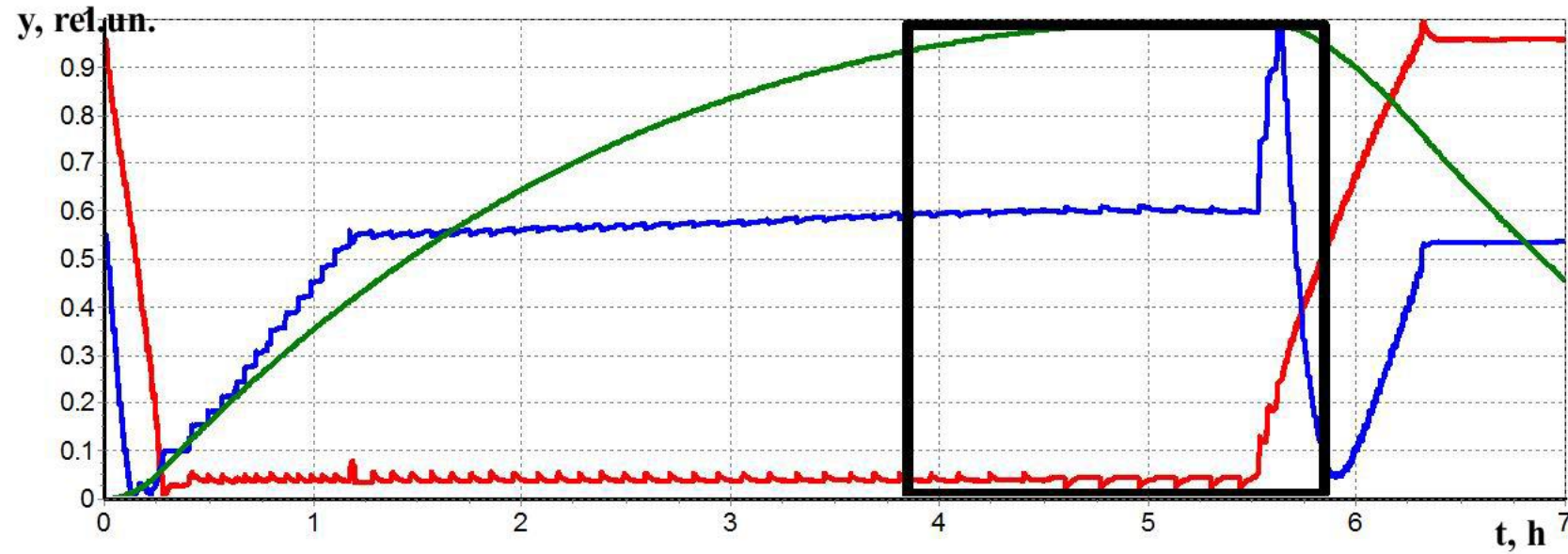


Поиск **консервативного** варианта
1 – расчет по модели нейросети,
указан участок с использованием
подкрепления **«глубокой» памяти**,
2 – набор эталонных данных по
максимальной температуре топлива

Проверка интерпретируемости нейросетевой модели

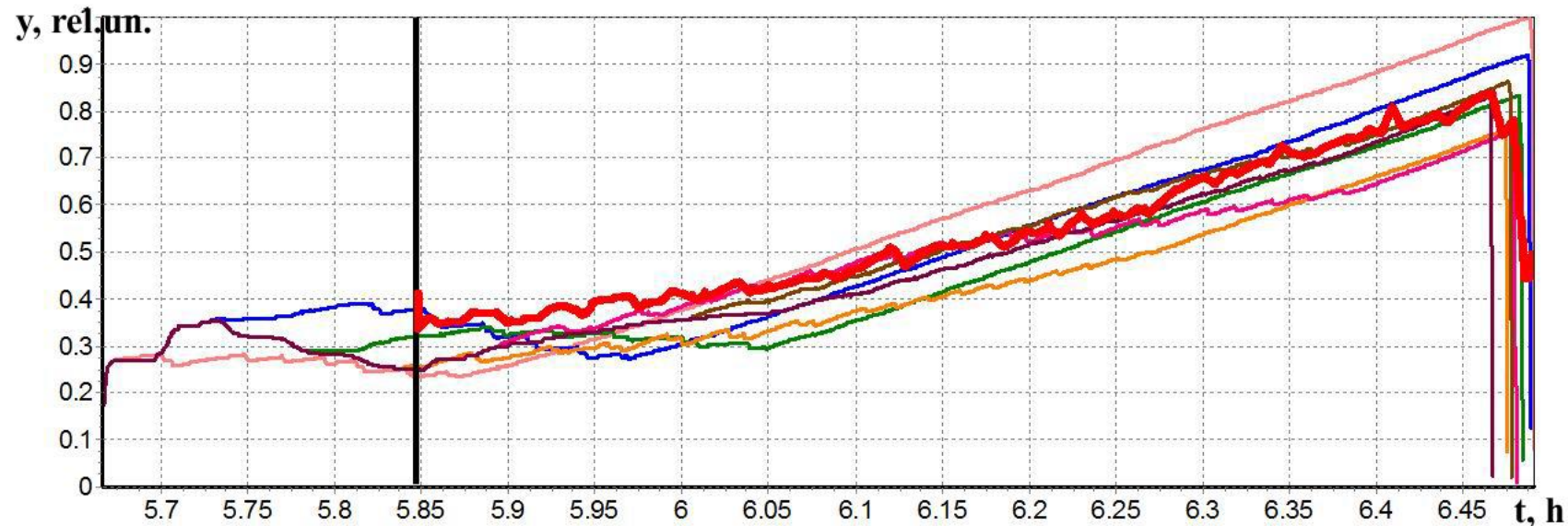


ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ



Из эталонного массива расчетов аварии была **выброшена** группа вариантов

На вход был подан массив параметров с возникновением аварии в момент времени, **наиболее удаленный** от эталонных массивов.



Ход кривой приобрел **нефизические** колебания, но погрешность результата не превысила **2%**

Оценка эффективности



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

Для получения консервативного сценария с шагом по времени 25 секунд нужно для возможного интервала возникновения исходного события 1800 секунд провести примерно 70 вариантов расчета – **10 суток расчетного времени.**

При использовании модели нейронной сети можно получить прогноз на консервативный вариант и провести всего 4-5 поверочных расчетов - **примерно сутки расчетного времени**

Таким образом, оцененная эффективность модели нейронной сети составляет экономию по продолжительности вычислений примерно в **10 раз.**

Заключение



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

1. Продемонстрирована **принципиальная возможность** построения и использования моделей на основе машинного обучения в целом и нейронных сетей в частности для **предиктивного анализа** нестационарных процессов на реакторной установке ВВЭР.
2. Показано, что за счет применения нейросетевых моделей возможно примерно в 10 раз **повысить производительность вычислений** при решении задач, требующих многовариантных расчетов.
3. Результаты прогноза предназначены для упрощения и ускорения процедуры расчетного обоснования безопасности. Заключение о соблюдении приемочных критериев должно приниматься на основе расчетов по **аттестованному программному коду**.

Спасибо за внимание

Увакин Максим Александрович

Email: Uvakin_MA@grpress.podolsk.ru

28.05.2024 – 31.05.2024