ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

Разработка численного метода параметризации макроконстант для программы КОРСАР/ГП на основе полиномов

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

Дарьин Николай Артемович

Инженер-конструктор 2 категории

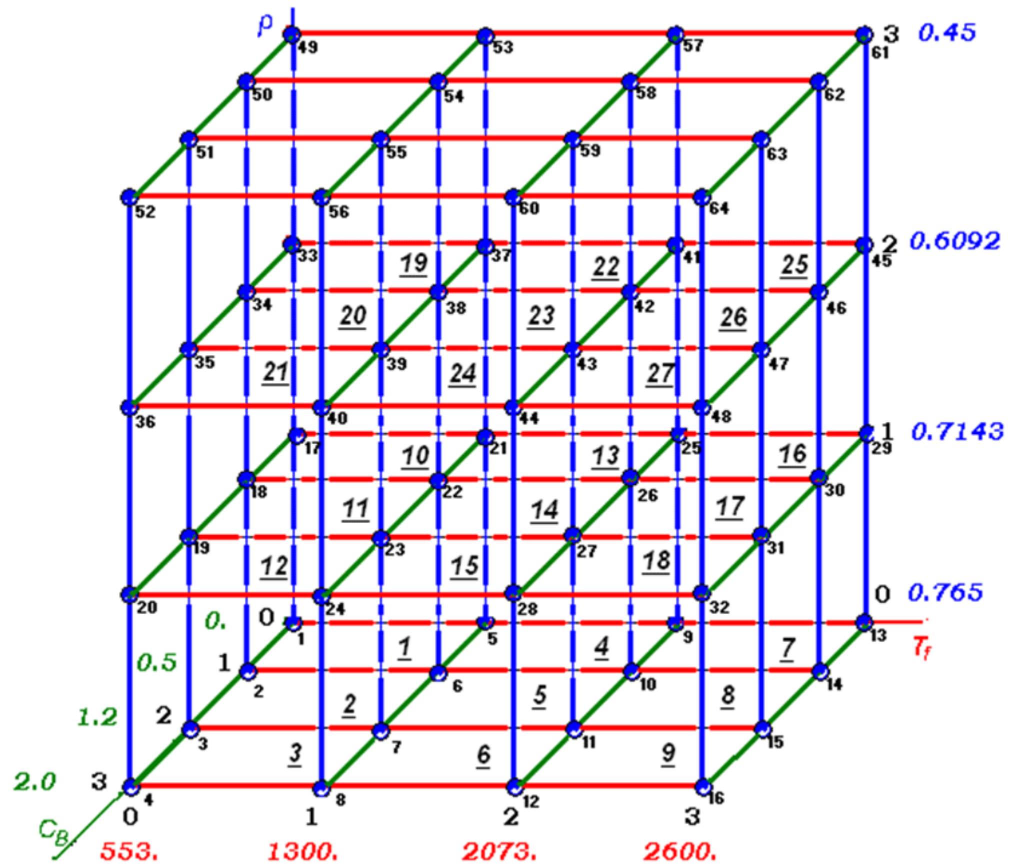
31.05.2024

Библиотека макроскопических констант

ОКБ ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

Способы подготовки параметрических библиотек макроскопических констант

- Предварительный расчет значений макроконстант
- Поиск функциональной аппроксимации
- Расчет макроконстант напрямую при проведении связанного н-ф расчета



Вид пространственной сетки макроконстант

Файловая схема ПК КОРСАР/ГП

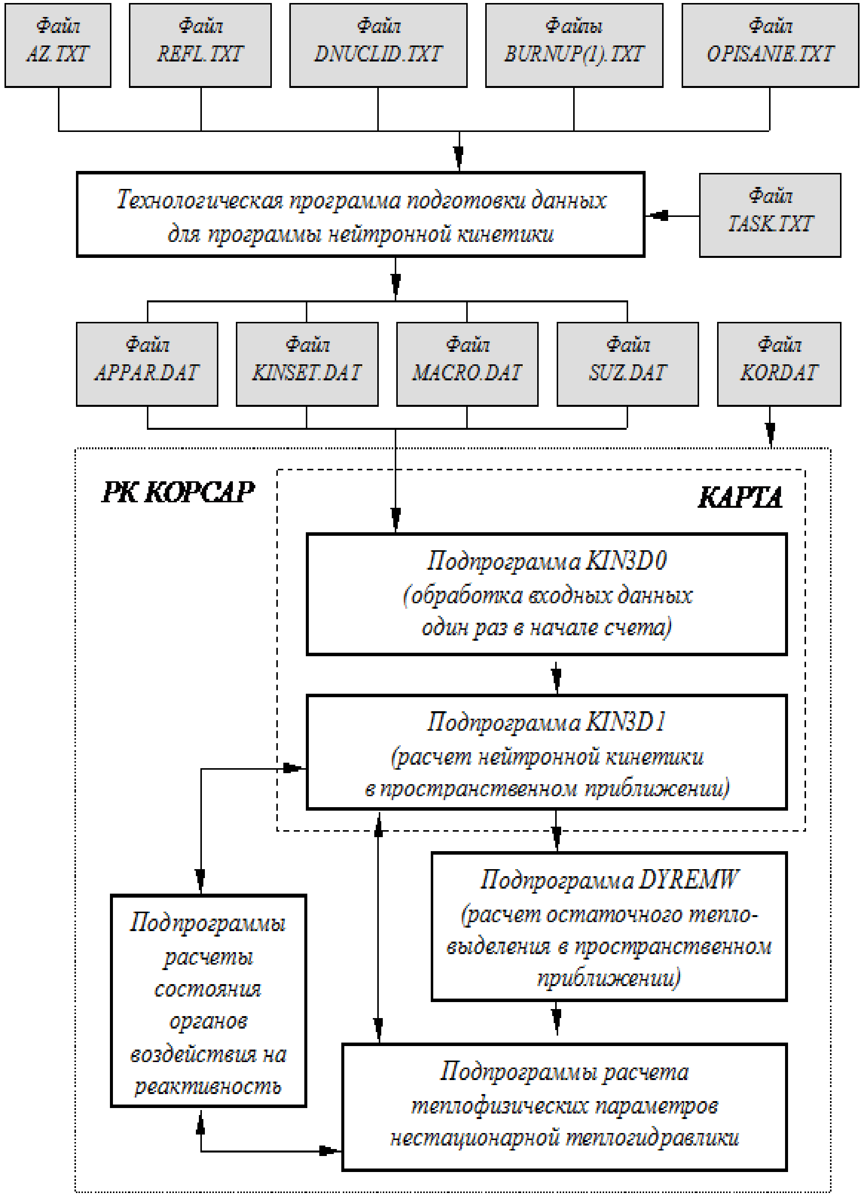


Схема с подготовкой макроконстант на основе многомерной линейной интерполяции

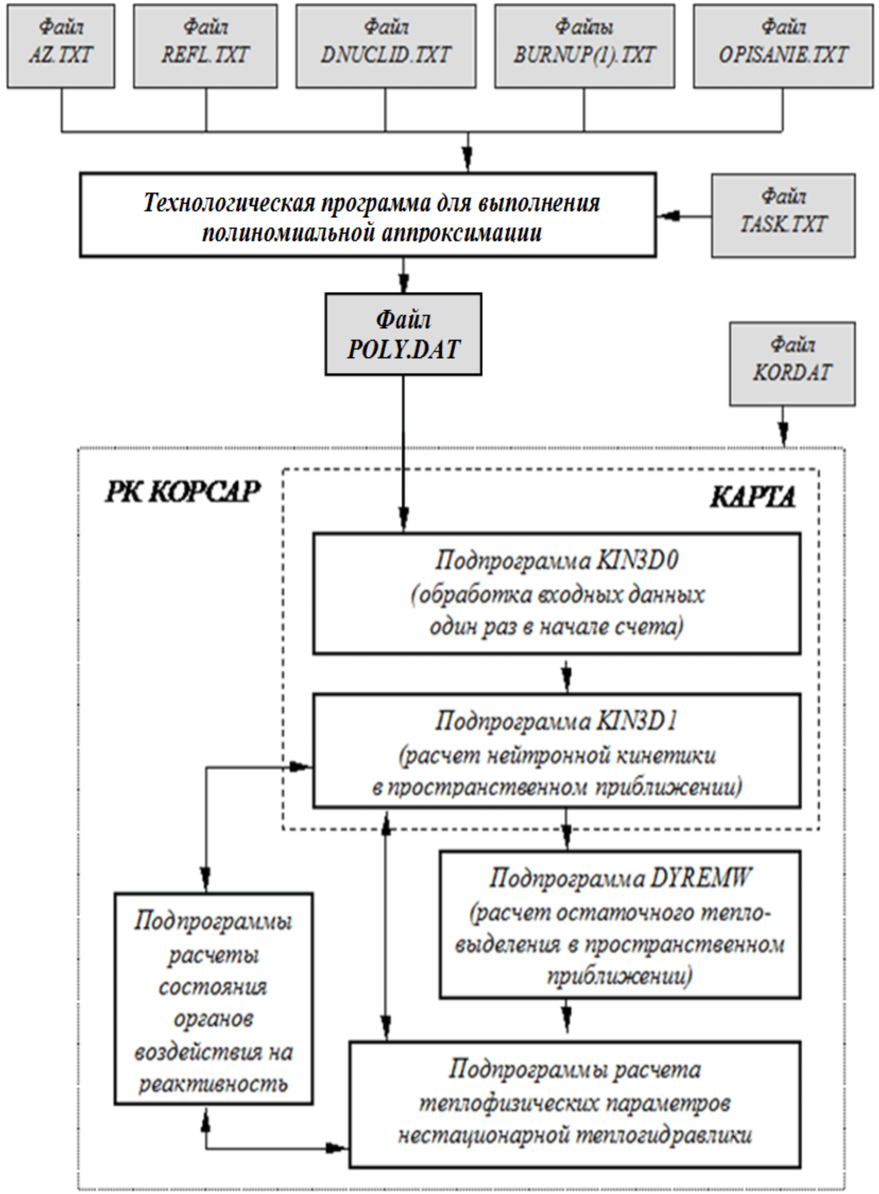


Схема с методом аппроксимации, интегрированным в код КОРСАР/ГП

Поиск аппроксимирующего полинома

ОКБ ГИДРОПРЕСС РОСАТОМ

$$F(B, p_1, p_2, p_3) = \sum_{i=0}^{k} C_i \cdot B^{\alpha_i} p_1^{\beta_i} p_2^{\gamma_i} p_3^{\delta_i}$$

B – выгорание топлива;
p_1, p_2, p_3 – значения параметров обратной связи по плотности теплоносителя, концентрации и температуре топлива;
C_i – константы при соответствующих комбинациях входных данных;
$k, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i$ – неизвестные целые числа

Линейная регрессия

ОКБ ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

Пусть у нас есть n объектов с k различными признаками: $x_i = (x_i^1, \dots, x_i^k) \to y_i, \overline{i = 1, n}$ (1)

Тогда модель линейной регрессии имеет вид: $a(x_i) = w_0 + w_1 x_i^1 + \dots + w_n x_i^n = w_0 + \sum_{j=1}^{n} w_j x_i^j$ (2)

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^1 & \cdots & x_1^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^1 & \cdots & x_n^k \end{pmatrix} \qquad a(X) = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \cdot w = \begin{pmatrix} x_1^1 & \cdots & x_1^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^1 & \cdots & x_n^k \end{pmatrix} \cdot w = X \cdot w \ (3)$$

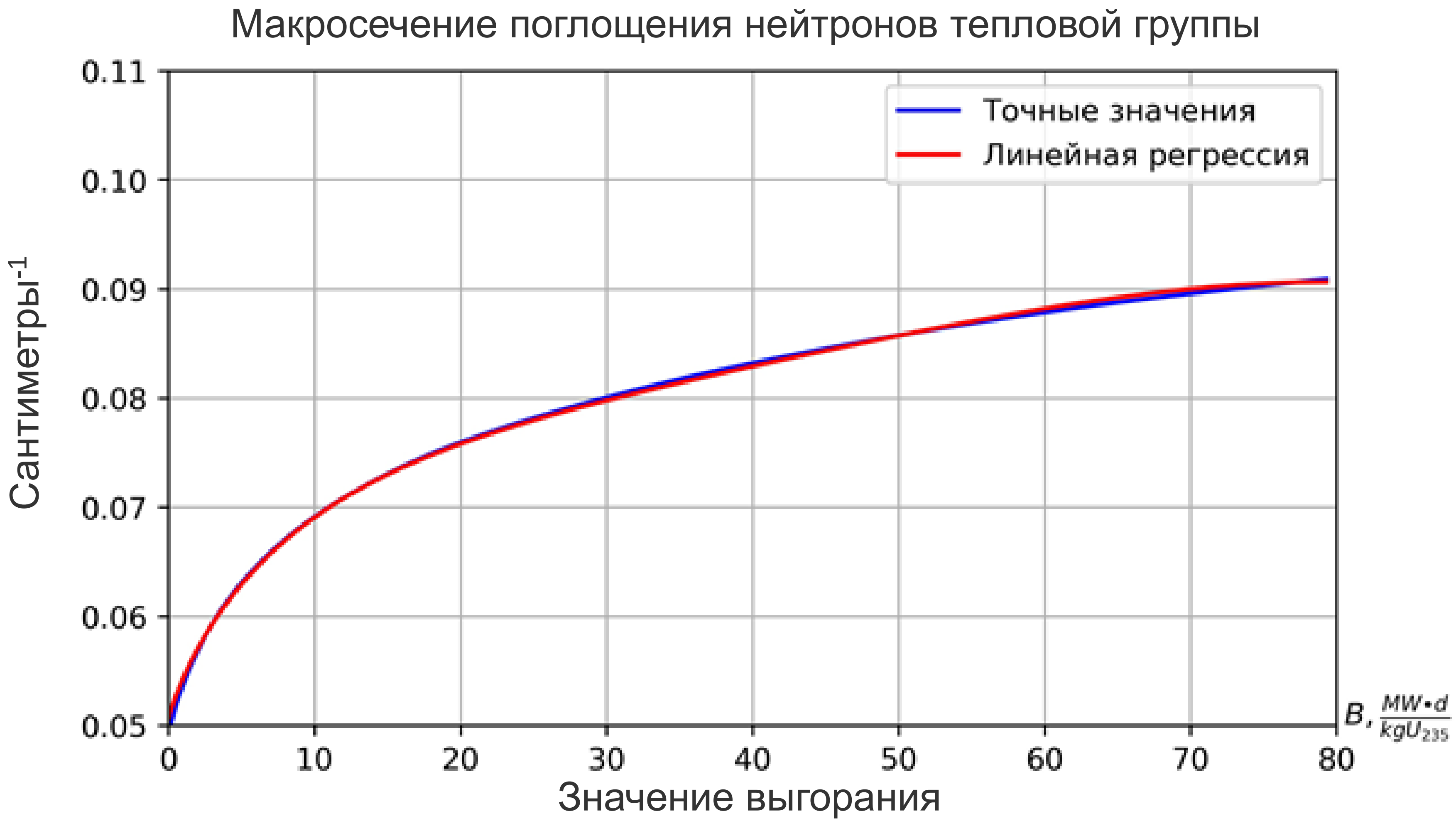
Функционал ошибки: $Q(w) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (a(x_i) - y_i)^2 = \frac{1}{n} \|X \cdot w - y\|_2^2 \longrightarrow \min_w$ (4)

Минимизация функционала осуществляется с помощью градиентного спуска.

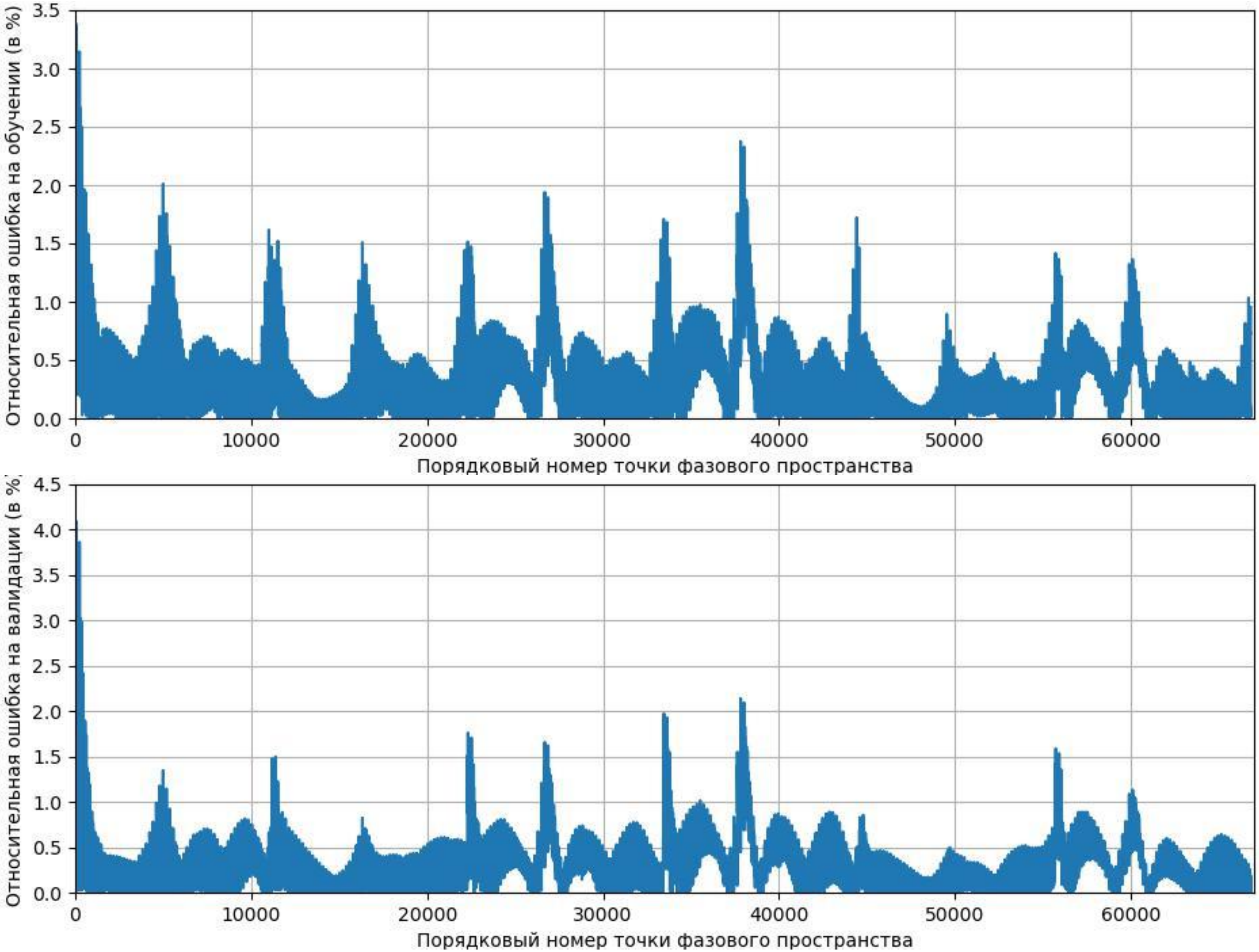
Плюсы данного подхода:
– решение находится менее чем за минуту;
– у задачи есть точное аналитическое решение, являющиеся оптимальным с точки зрения метода наименьших квадратов.

Результаты работы модели

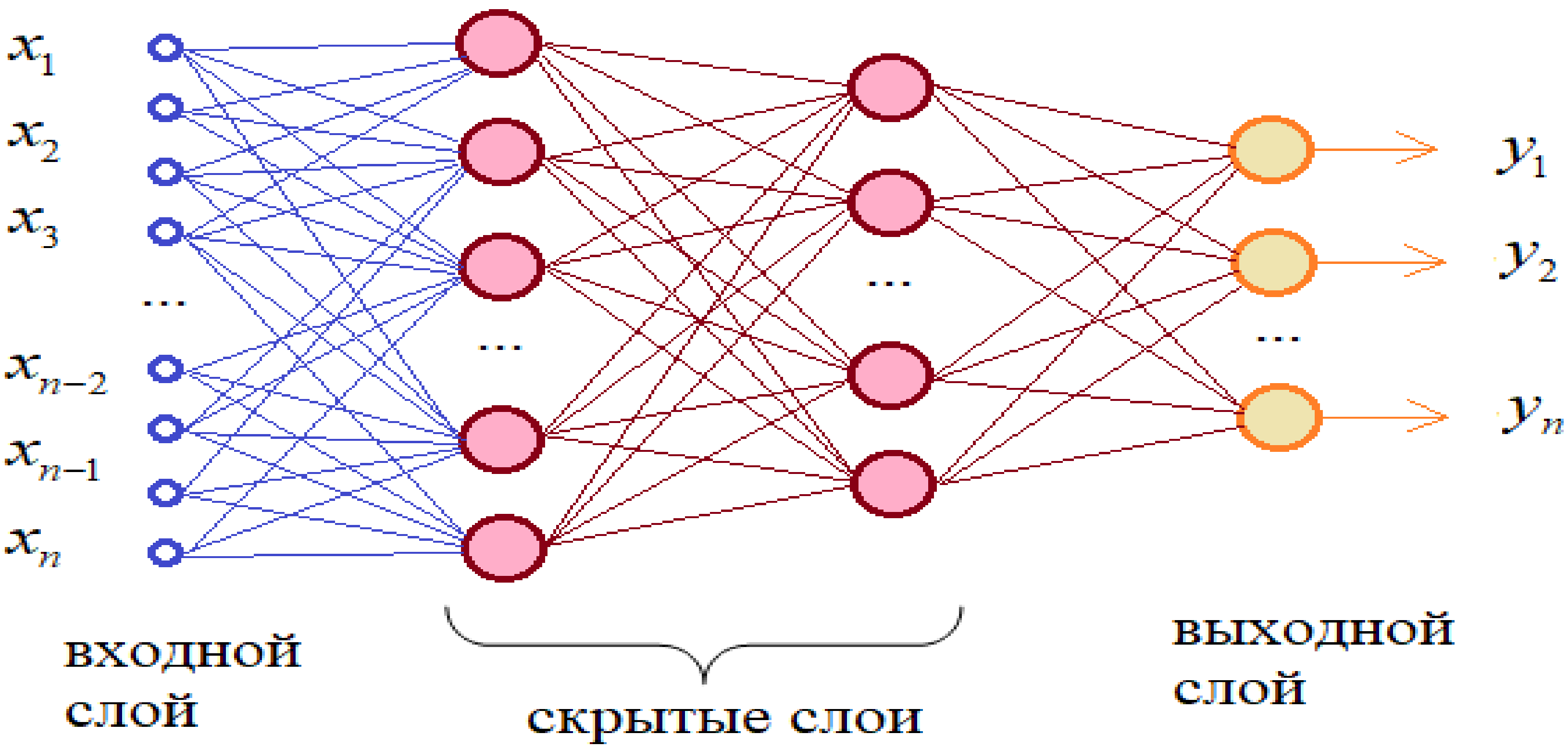
$$F(B, p_1, p_2, p_3) = \sum_{\substack{i, v_1, v_2, v_3, v_4 \\ i=\overline{1,\dots,34} \\ v_1, v_2, v_3, v_4 \in \{0,1,2,3\} \\ v_1+v_2+v_3+v_4=\{0,1,2,3\}}} w_i \cdot B^{v_1} p_1^{v_2} p_2^{v_3} p_3^{v_4} + w_{35} B + w_{36} p_1^{1,3} + w_{37} p_2^{1,3} + w_{38} p_3^{1,3}$$

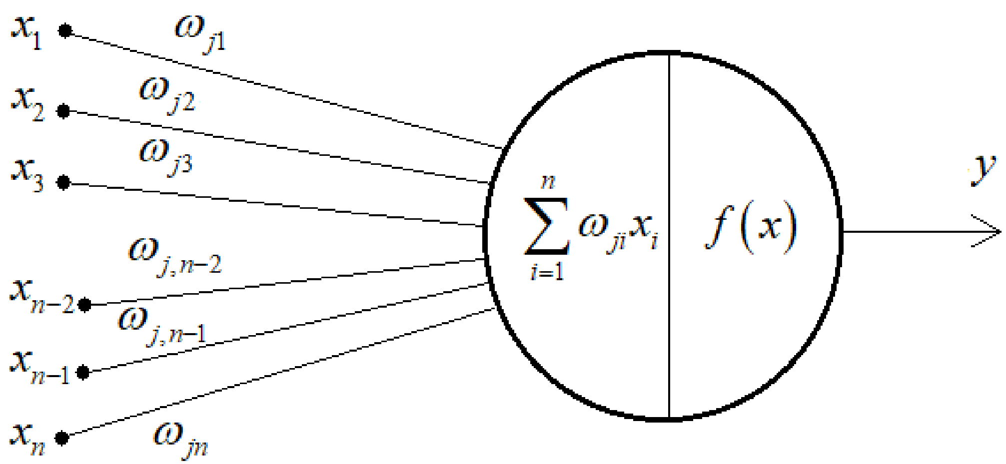


Оценка точности аппроксимации с помощью линейной регрессии



Полносвязная нейронная сеть





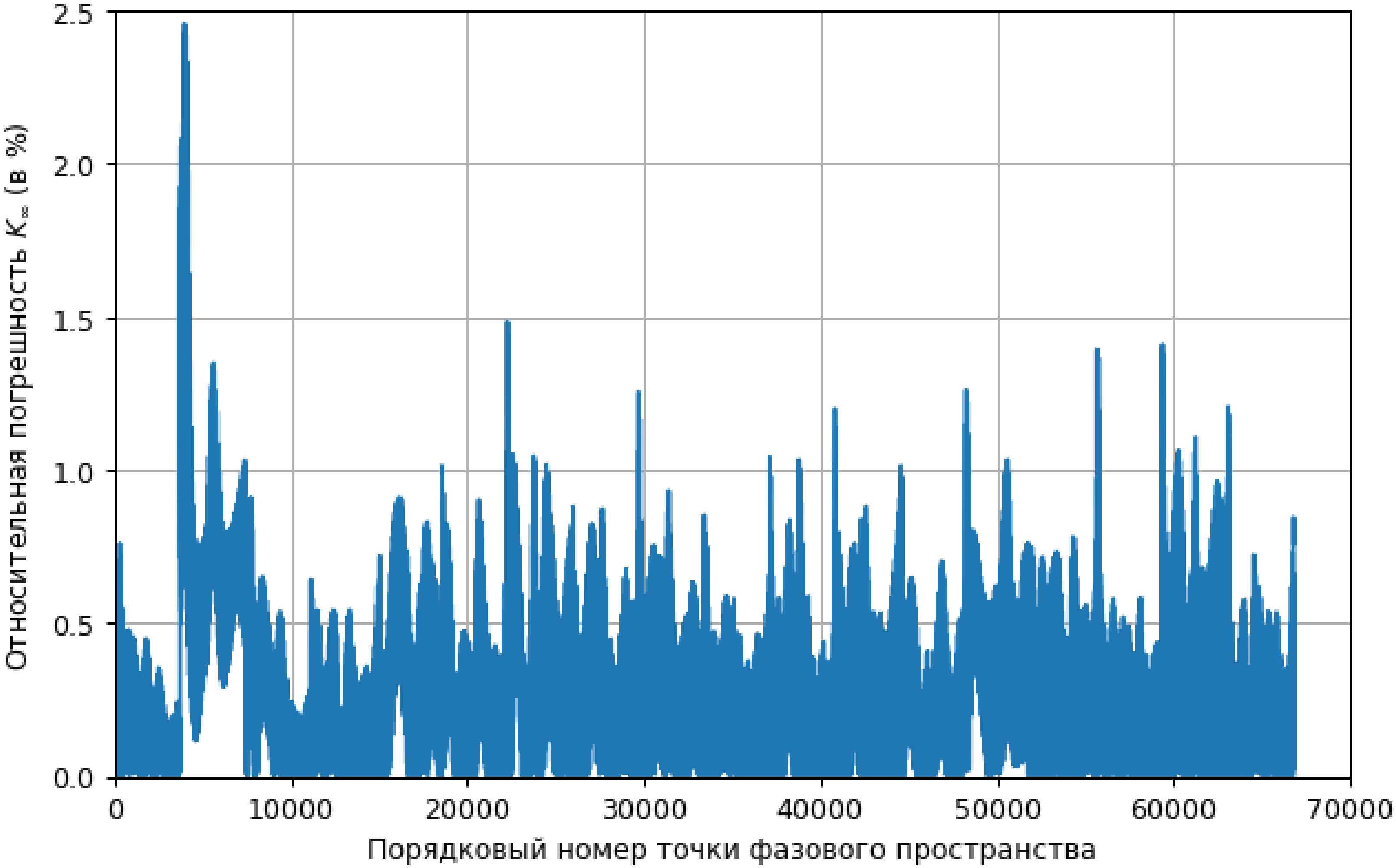
Погрешности различных макросечений при использовании полносвязной нейронной сети в качестве аппроксиматора

ОКБ ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

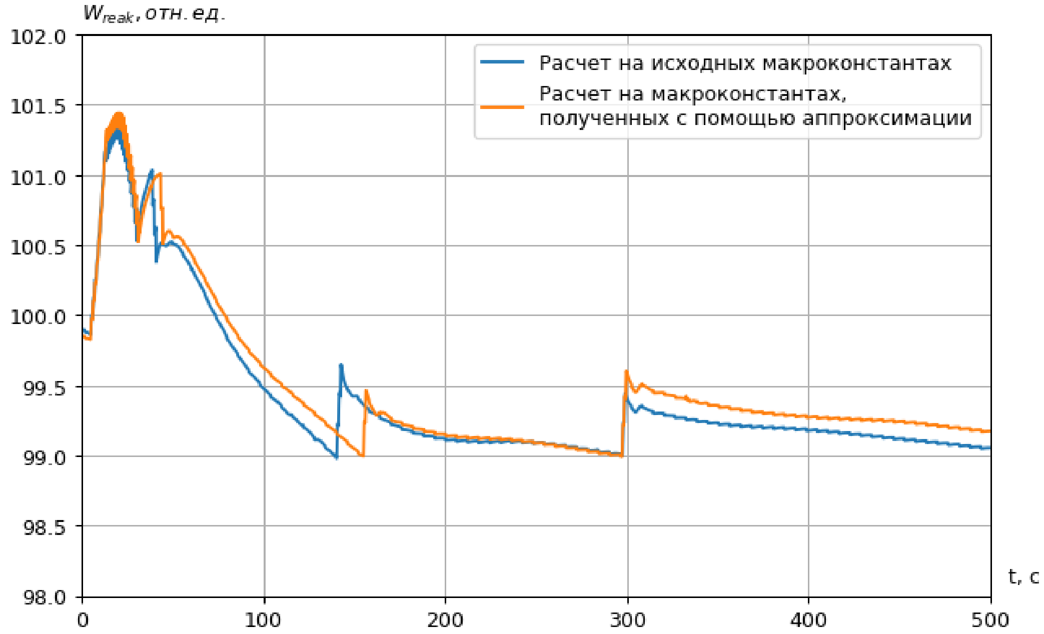
Макросечение	Максимальное значение относительной ошибки (в %)
Сечение поглощения нейтронов быстрой группы, Σ_{a1}	1,1
Сечение поглощения нейтронов тепловой группы, Σ_{a2}	2,5
Сечение генерации нейтронов быстрой группа, $v_f \Sigma_{f1}$	0,7
Сечение генерации нейтронов тепловой группы, $v_f \Sigma_{f2}$	3,1
Сечение перевода нейтронов из быстрых в тепловые, Σ_{sr}	1,6

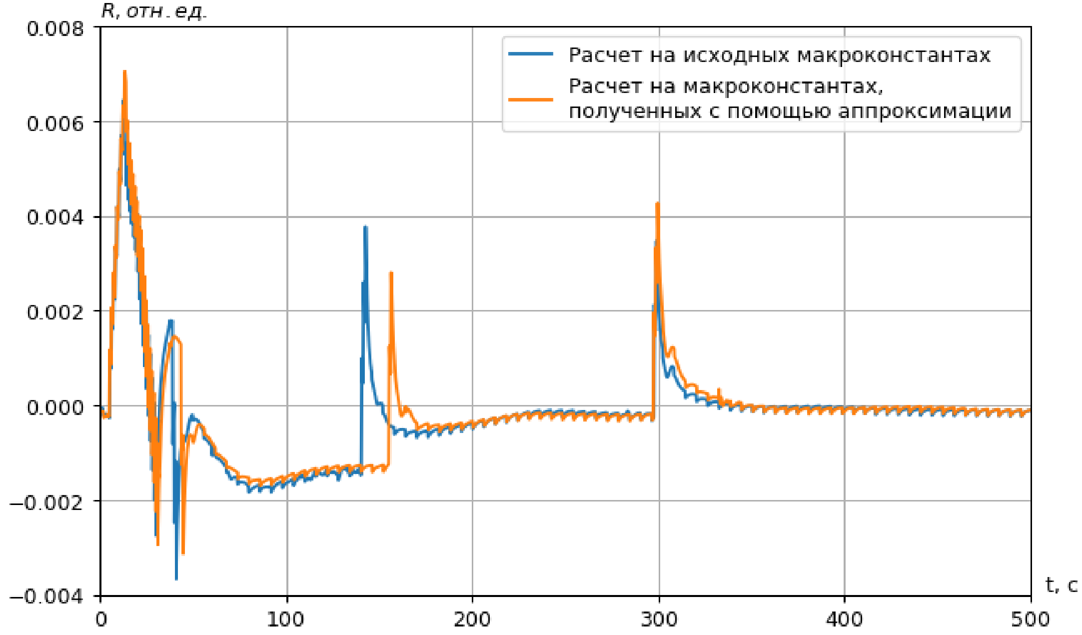
Вычисление коэффициента размножения

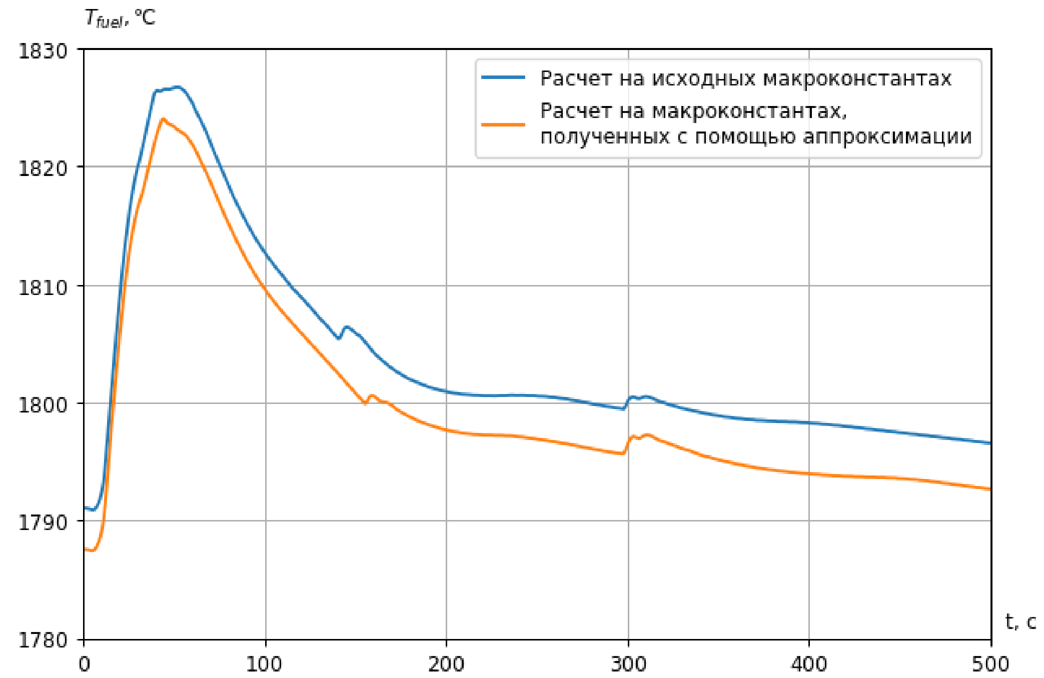
$$K_{\infty} = \frac{\nu_f \Sigma_{f1}}{\Sigma_{a1} + \Sigma_{r12}} + \frac{\Sigma_{r12}}{\Sigma_{a1} + \Sigma_{r12}} \cdot \frac{\nu_f \Sigma_{f2}}{\Sigma}$$

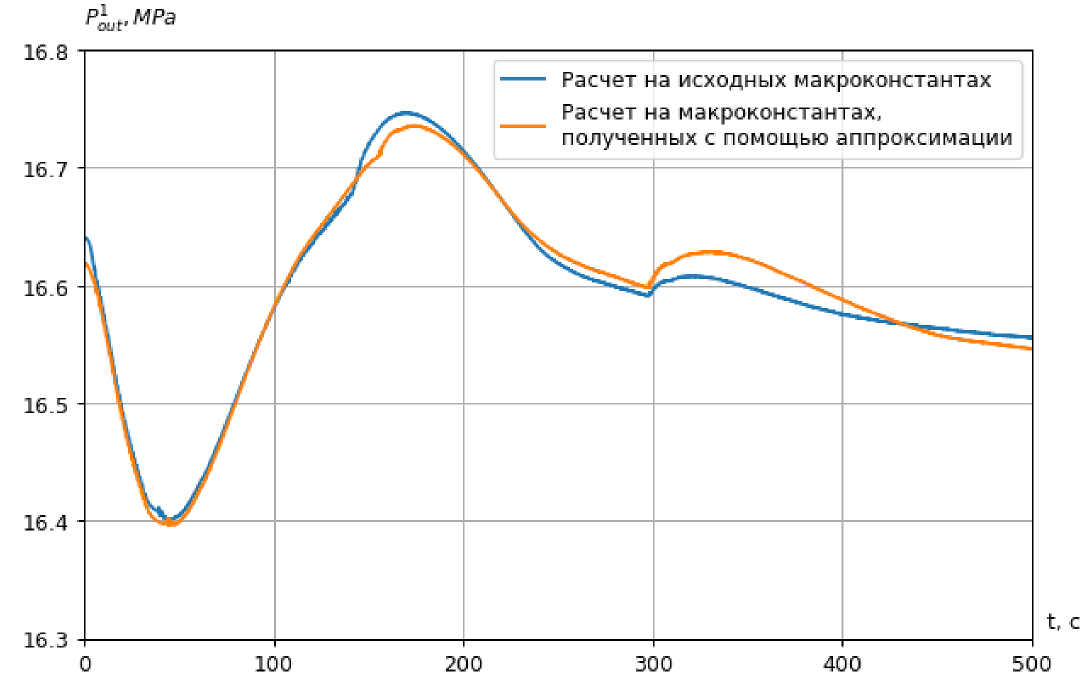


Проведение тестовых расчетов









Спасибо за внимание

Дарьин Николай Артемович

тick.daryin2015@yandex.ru

31.05.2024