



В.И. Белоусов, В.Ф. Бояринов, В.Д. Давиденко, И.И. Дьячков, М.В. Иоаннисиан

Моделирование нейтронной кинетики в трехмерных тестах бенчмарка C5G7-TD по программе КИР

Докладчик: Дьячков Иван Игоревич

Москва – 2024 г.

ПРОГРАММА КИР С ФИЗИЧЕСКИМ ГРУППОВЫМ МОДУЛЕМ

Программа КИР

- разрабатывается в НИЦ «Курчатовский институт»
- решение стационарного и нестационарного уравнения переноса
- учёт запаздывающих нейтронов
- аналоговый метод Монте-Карло
- библиотека оцененных ядерных данных
- трехмерная геометрия
- однородная и неоднородная среда
- одноядерные и многоядерные компьютеры

Модуль MAGMA

- Учитывает запаздывающие нейтроны
- Изотропное и Анизотропное рассеяние (P1 – приближение)
- Поддерживает произвольное число энергетических групп

Предназначен:

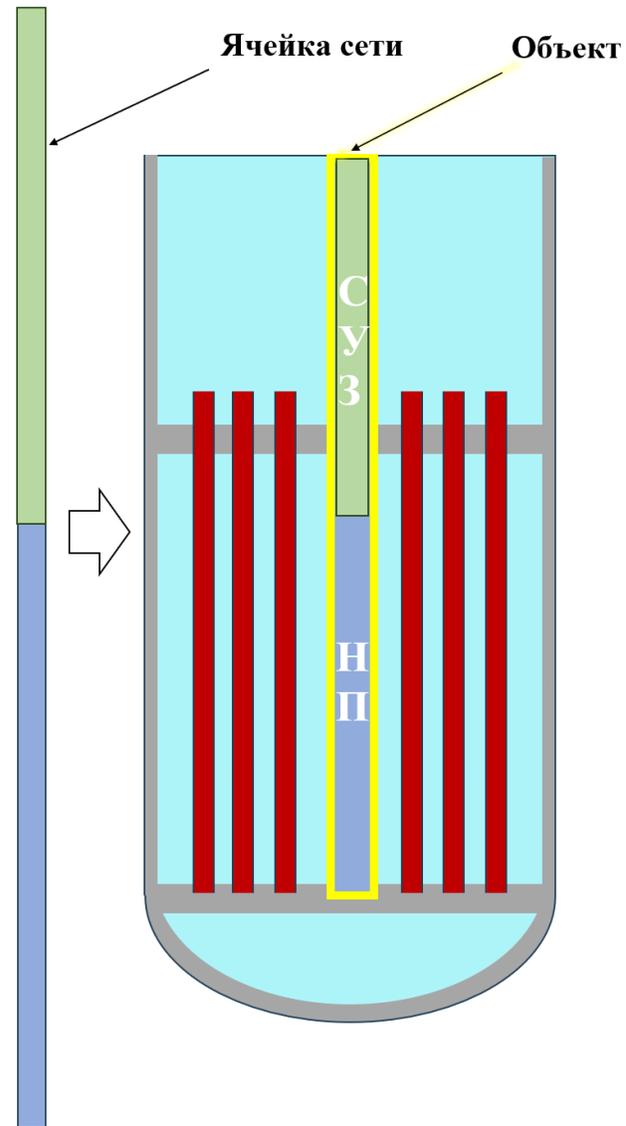
- Создание бенчмарк-тестов для программ подготовки констант
- Использование результатов программы, в качестве реперных при верификации программ инженерного класса
- Сокращение времени расчетов с сохранением точности результатов, соответствующей прецизионной программе

Основные алгоритмы модуля MAGMA



Для подготовки групповых констант используется программный комплекс UNK или программа КИР с физическим модулем с непрерывной энергетической зависимостью.

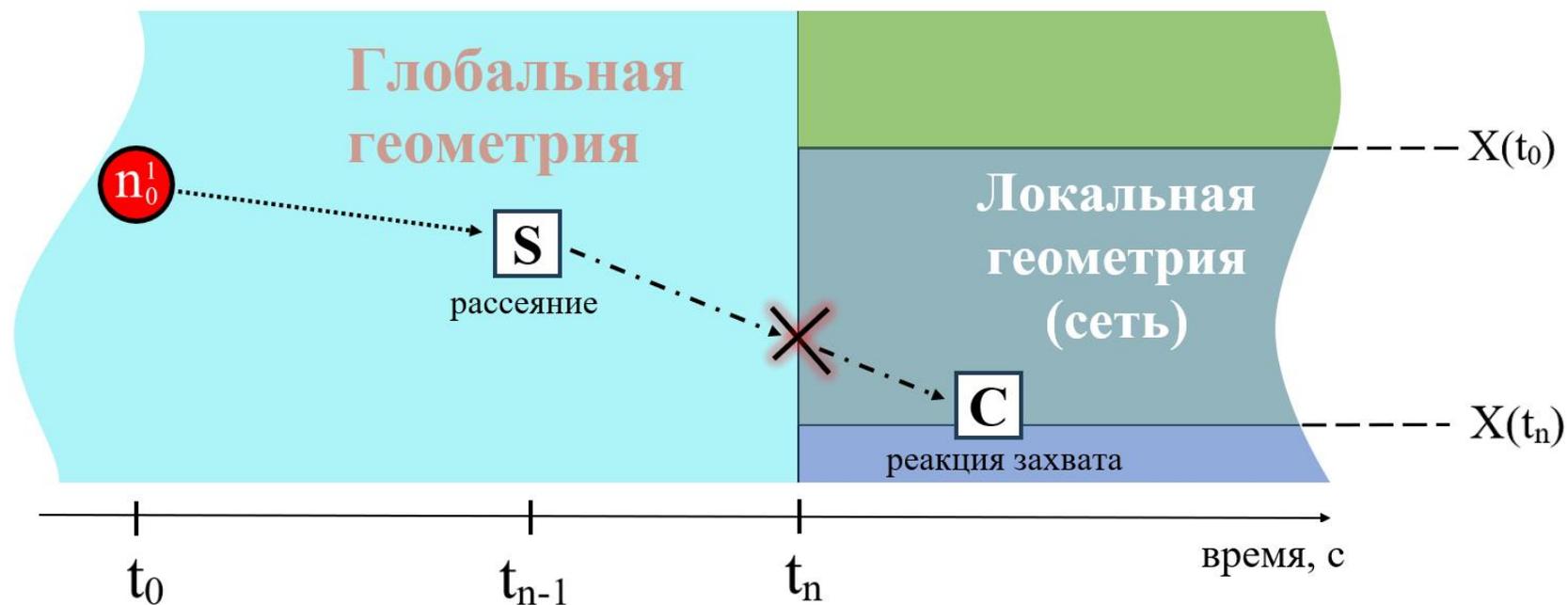
АЛГОРИТМ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ



Схематическое представление АЗ

Основные моменты
<ul style="list-style-type: none"> Алгоритм изменяет положение сети в глобальной геометрии Ячейка сети – вся область возможного перемещения объекта Создается объект в который будет внедрена сеть или ячейка сети Ячейка сети обрезается границами созданного объекта Расчет положения сети происходит непосредственно при пересечении нейтроном её границы

Возможности
<ul style="list-style-type: none"> Моделирование изменения положения стержней при мгновенном сбросе или по заданной функции Использование одной сети для произвольного числа СУЗ (групп) Использование n-ого количества сетей для различных сценариев с перекрестным движением групп стержней или с разными скоростями



Алгоритм моделирования изменения положения ОР СУЗ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КИНЕТИЧЕСКИЙ БЕНЧМАРК C5G7-TD (ТРЕХМЕРНЫЕ ТЕСТЫ)

Краткое описание

- активная зона реактора типа **PWR**
- 8 ТВС с MOX топливом и 8 ТВС с UO₂
- АкЗ окружена слоем водяного отражателя
- расчет **¼ активной зоны** (симметрия)
- **семь групп** констант с изотропным рассеянием
- **восемь групп** запаздывания
- моделируется изменение **положения ОР СУЗ**
- изменение положения ОР СУЗ через изменение геометрии

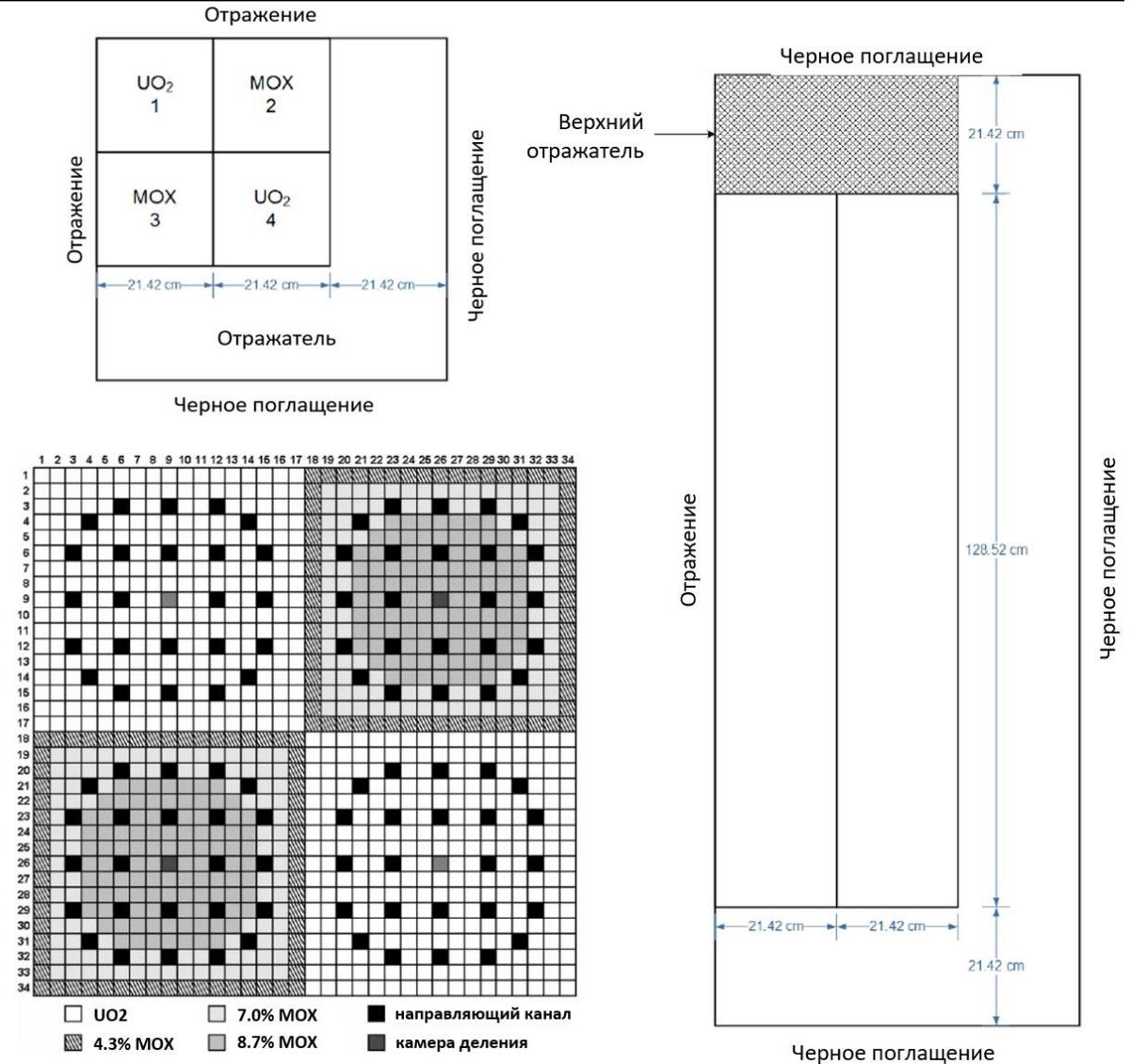
Программы

- **SUNAM-3D-TD** – программа, использующая метод поверхностных гармоник.
- **RMS** – гибридный метод - «предиктор-корректор» с использованием квазистатического метода Монте-Карло.
- **MPACT** – программа, использующая трехмерное уравнение переноса, трехмерные конечно-разностные уравнения и уравнение точечной кинетики.
- **nTRACER** – код прямого расчета разрабатывается в Сеульском национальном университете, использующий метод характеристик.

Результатами служат

- **Интегральная скорость реакции** деления во времени
- **Потвэльное распределение** скорости реакции деления во времени
- Результаты высотного распределение скорости реакции деления по твэлам (**24 слоя**) во времени

Геометрия модели

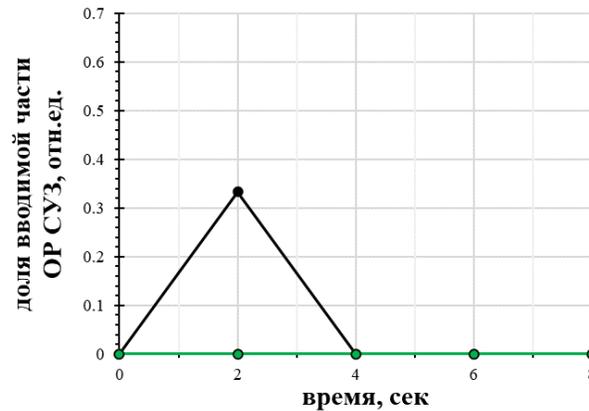


Задача TD4-1

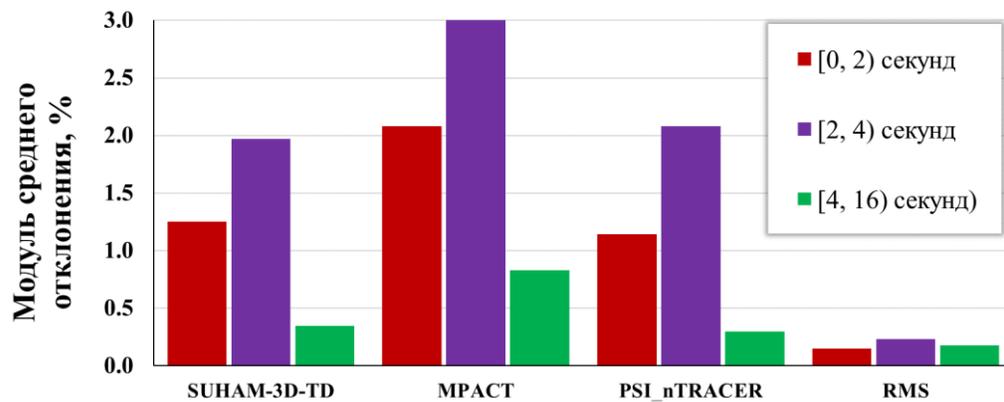
Основные моменты задачи

- Изменение положение ОР СУЗ в ТВС №1
- Погружение ОР СУЗ на 1/3 высоты активной зоны

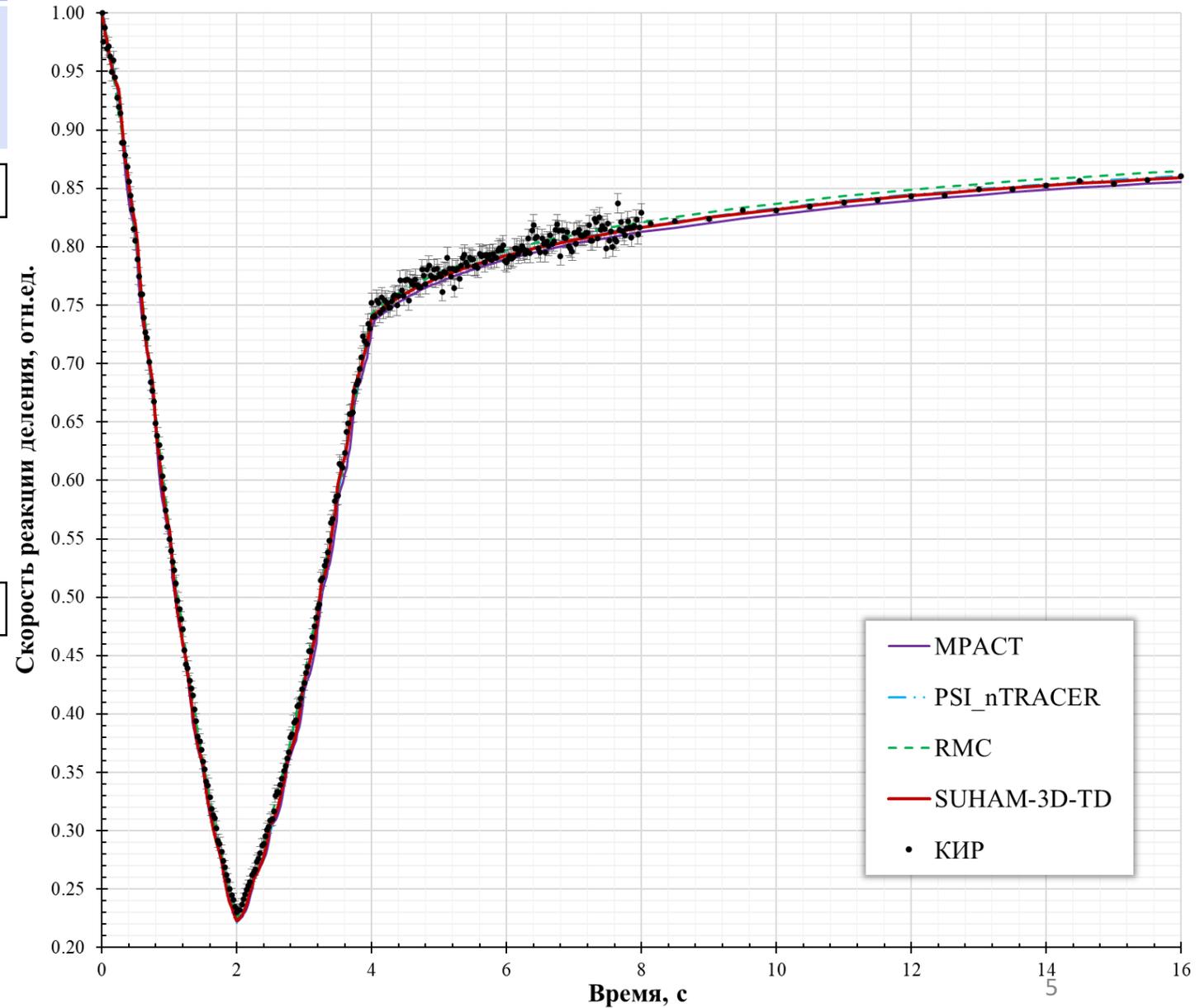
Изменение положение ОР СУЗ



Модуль среднего отклонения на временных промежутках



Интегральная скорость реакции деления (TD4-2)

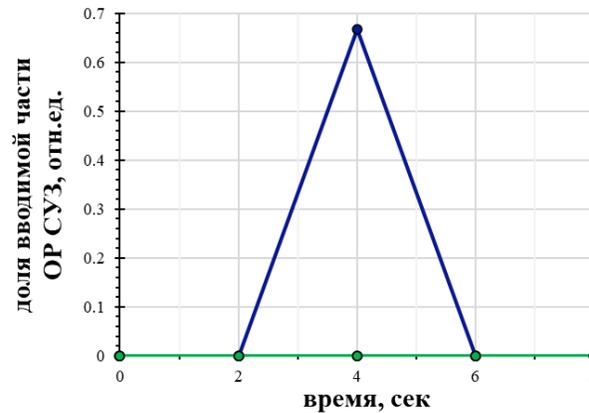


Задача TD4-2

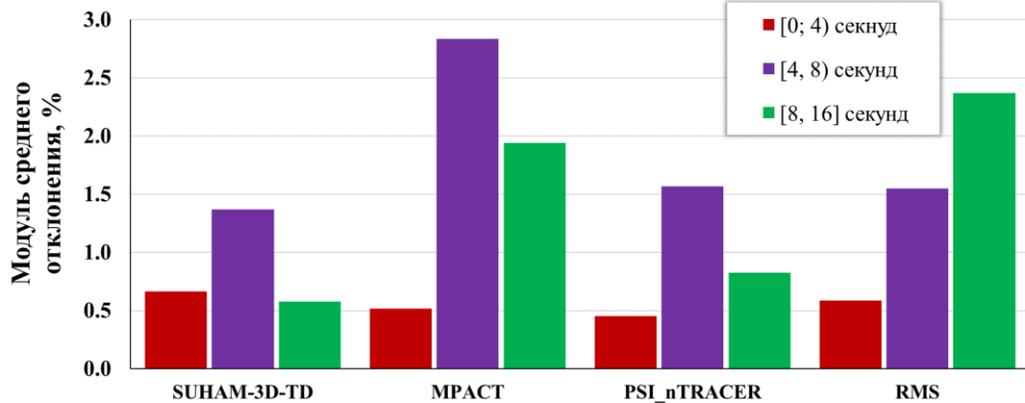
Основные моменты задачи

- Изменение положение ОР СУЗ в ТВС №3
- Погружение ОР СУЗ на 2/3 высоты активной зоны

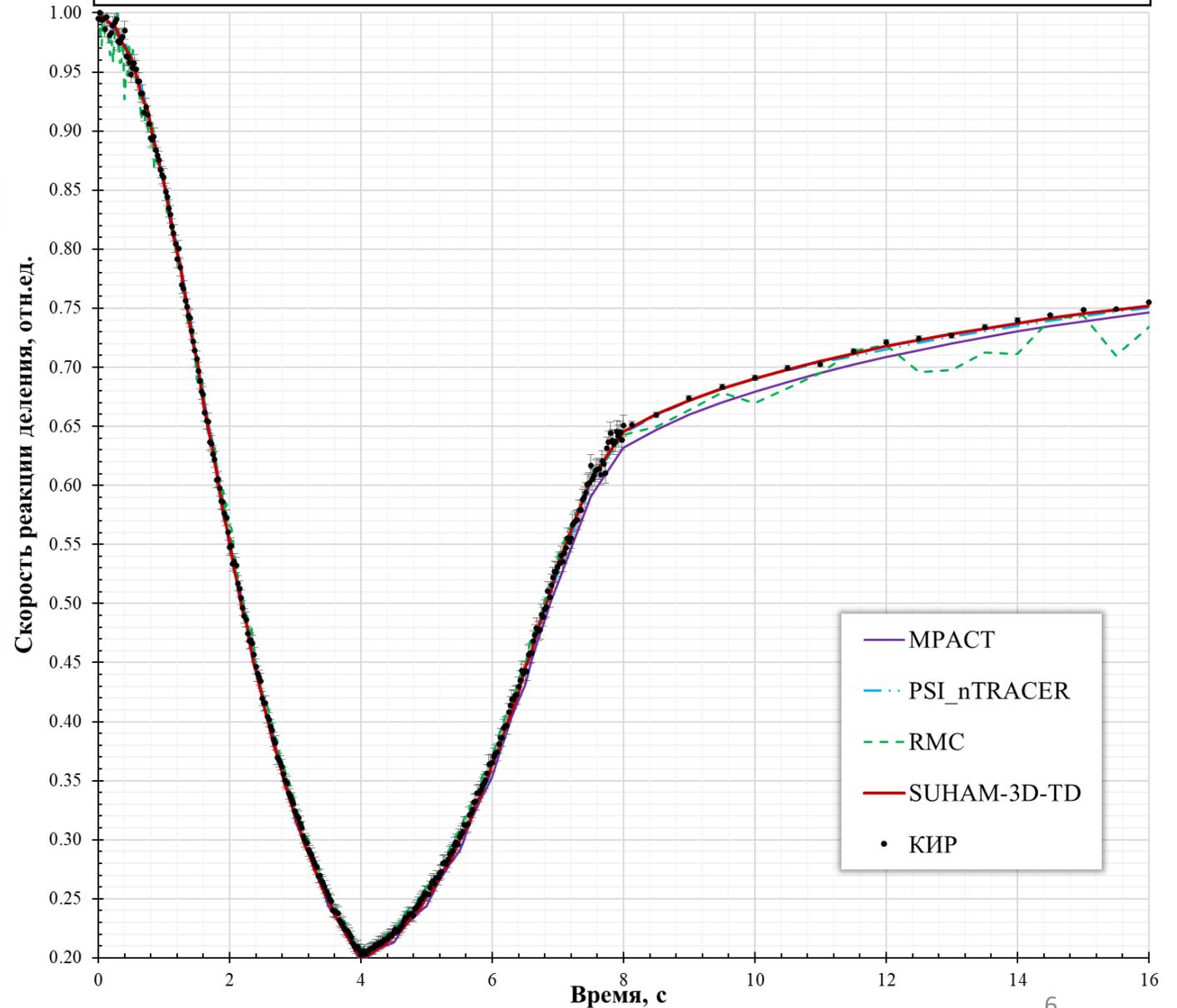
Изменение положение ОР СУЗ



Модуль среднего отклонения на временных промежутках



Интегральная скорость реакции деления (TD4-2)

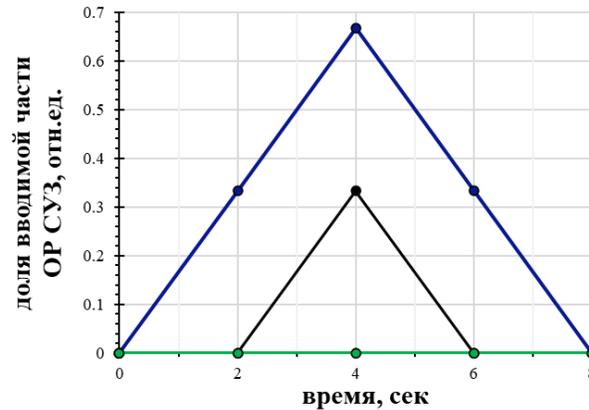


Задача TD4-3

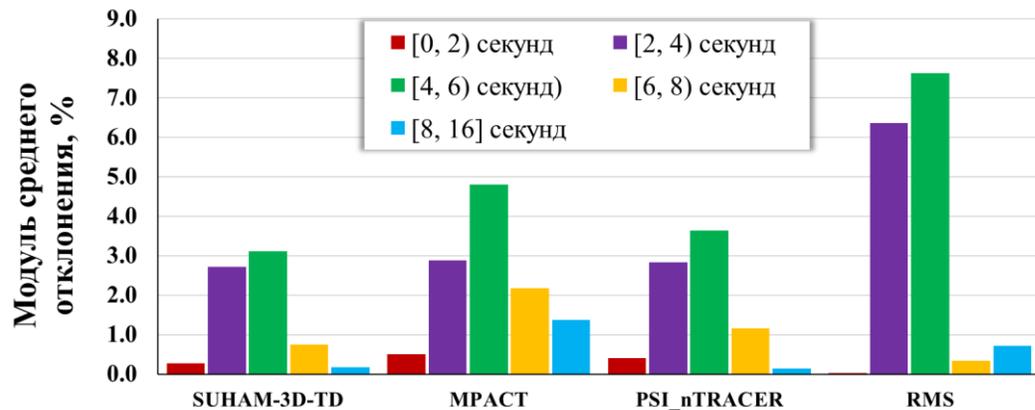
Основные моменты задачи

- Изменение положение ОР СУЗ в ТВС №1 и №3
- Погружение ОР СУЗ на 1/3 и 2/3 высоты активной зоны

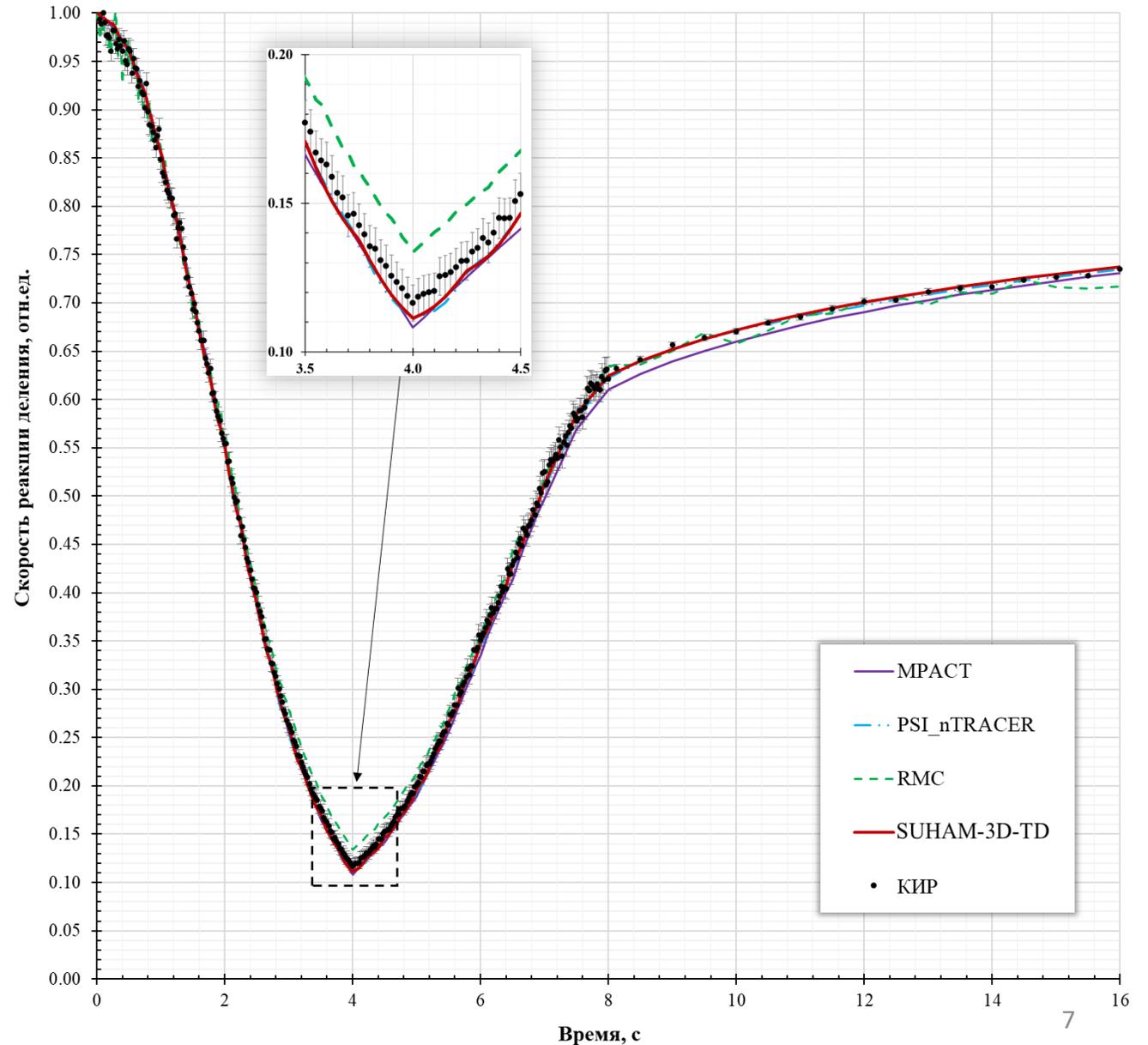
Изменение положение ОР СУЗ



Модуль среднего отклонения на временных промежутках



Интегральная скорость реакции деления (TD4-2)

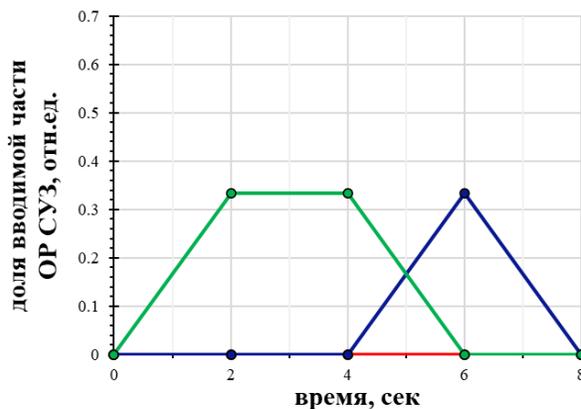


Задача TD4-4

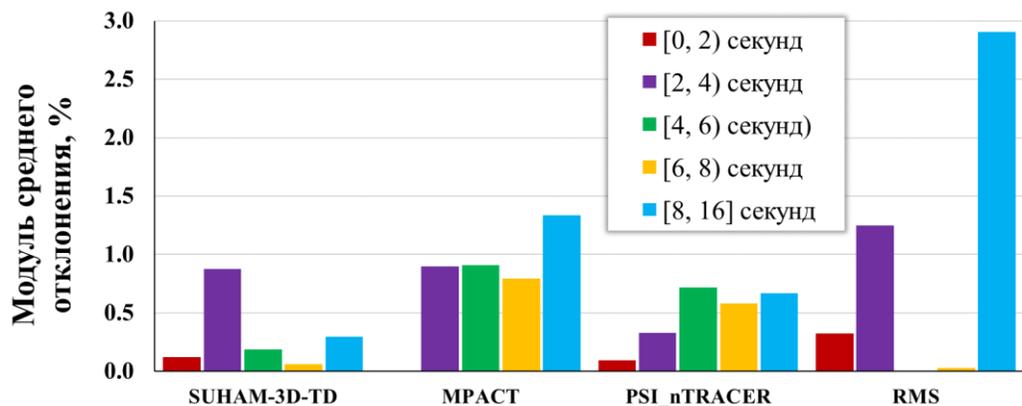
Основные моменты задачи

- Изменение положение ОР СУЗ в ТВС №3 и №4
- Погружение ОР СУЗ на 1/3 высоты активной зоны

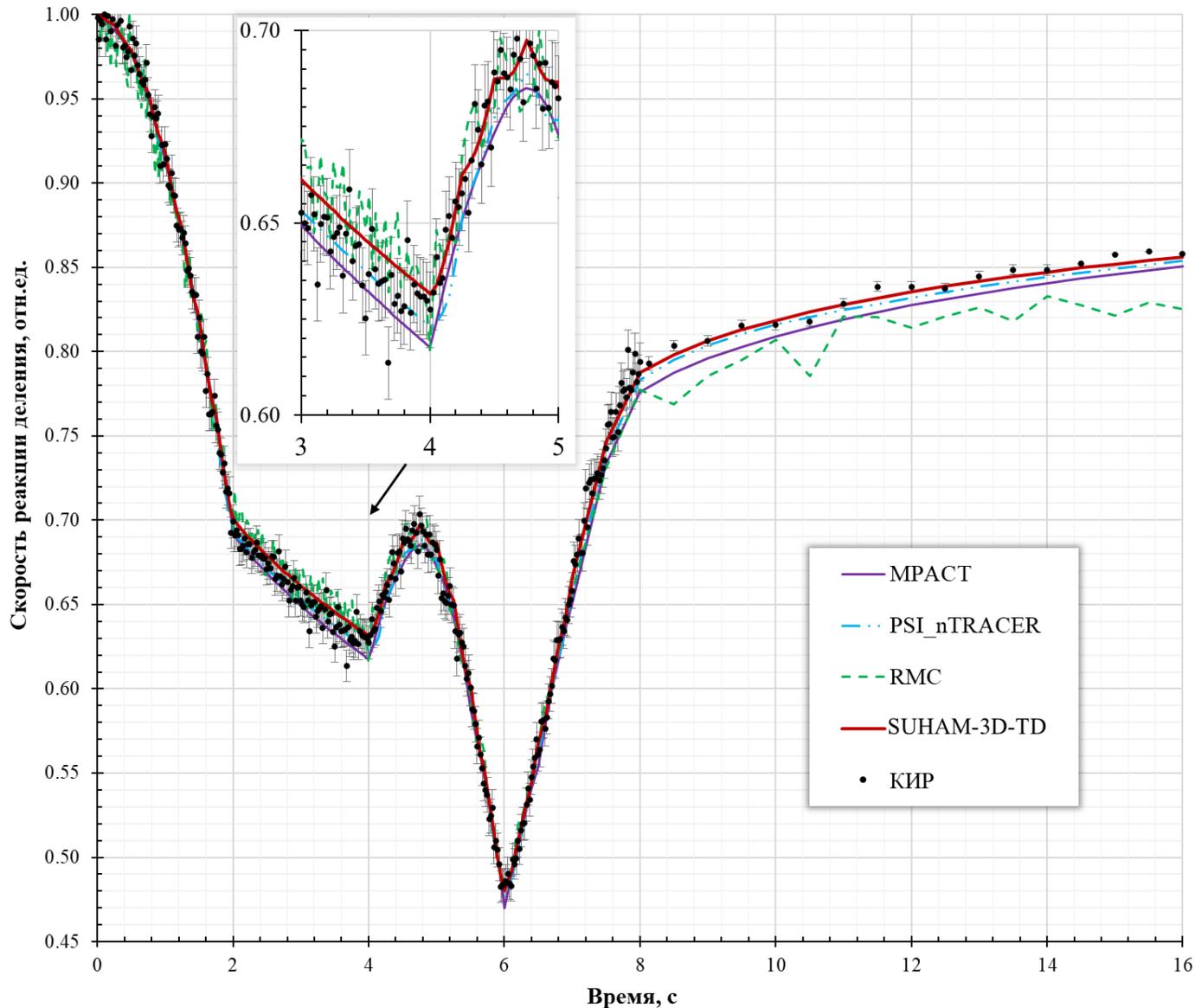
Изменение положение ОР СУЗ



Модуль среднего отклонения на временных промежутках



Интегральная скорость реакции деления (TD4-2)

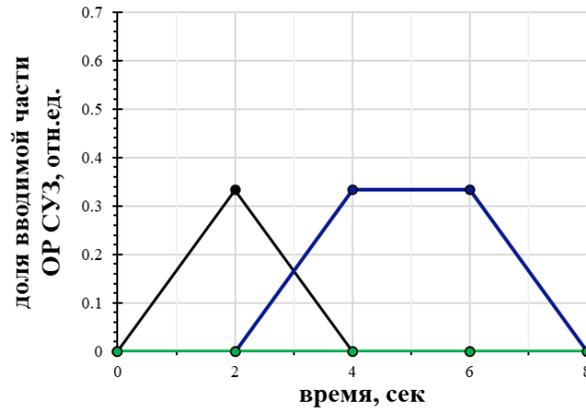


Задача TD4-5

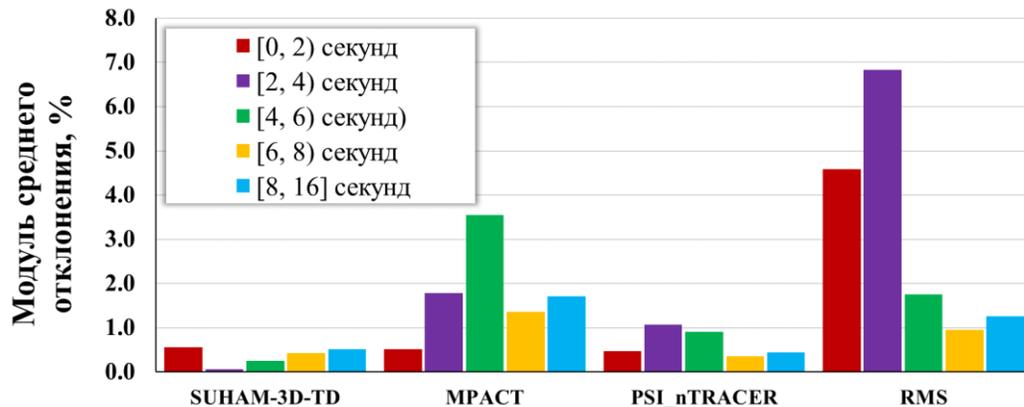
Основные моменты задачи

- Изменение положение ОР СУЗ в ТВС №3 и №4
- Погружение ОР СУЗ на 1/3 высоты активной зоны

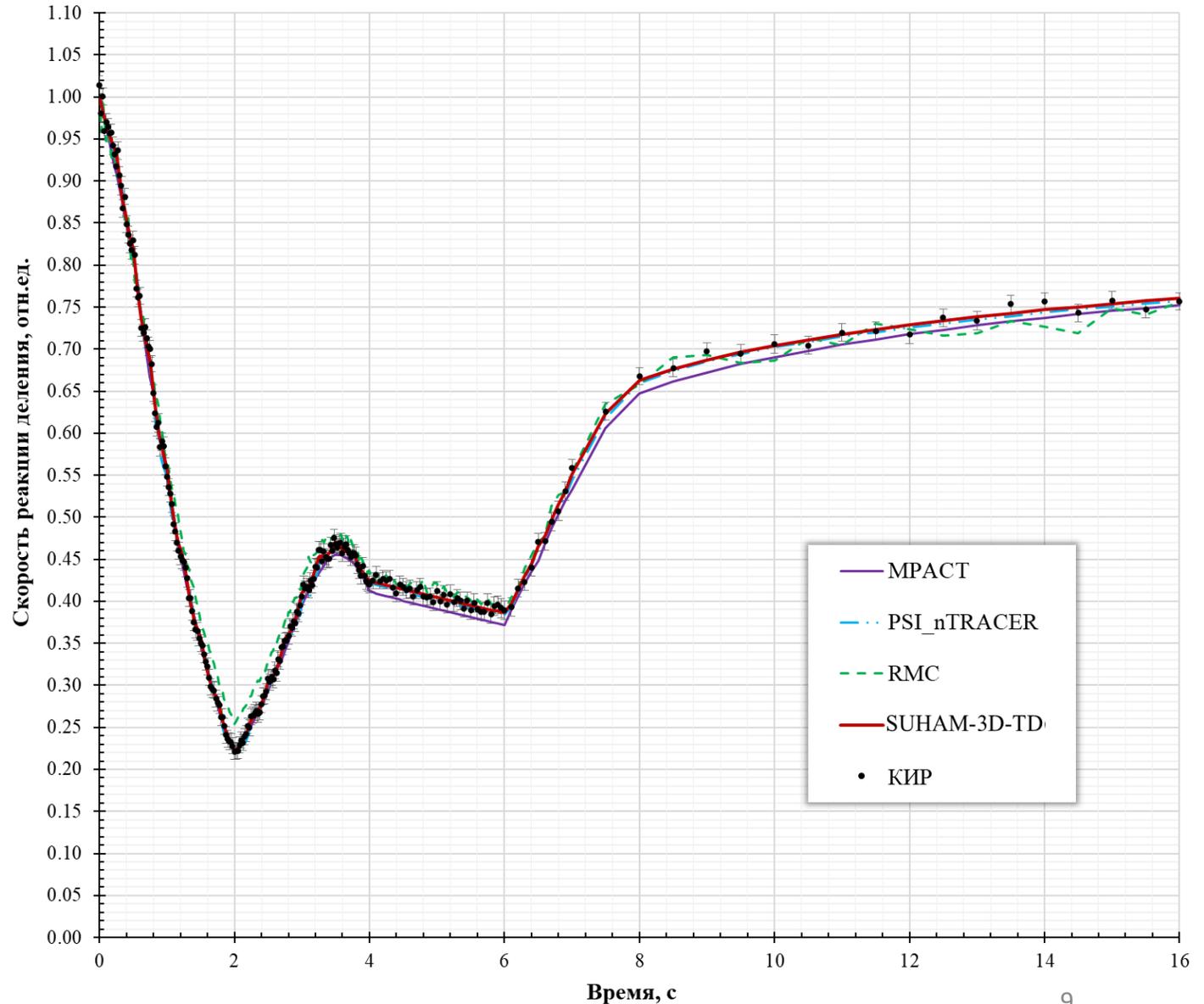
Изменение положение ОР СУЗ



Модуль среднего отклонения на временных промежутках



Интегральная скорость реакции деления (TD4-2)



Пространственное распределение скорости реакции деления

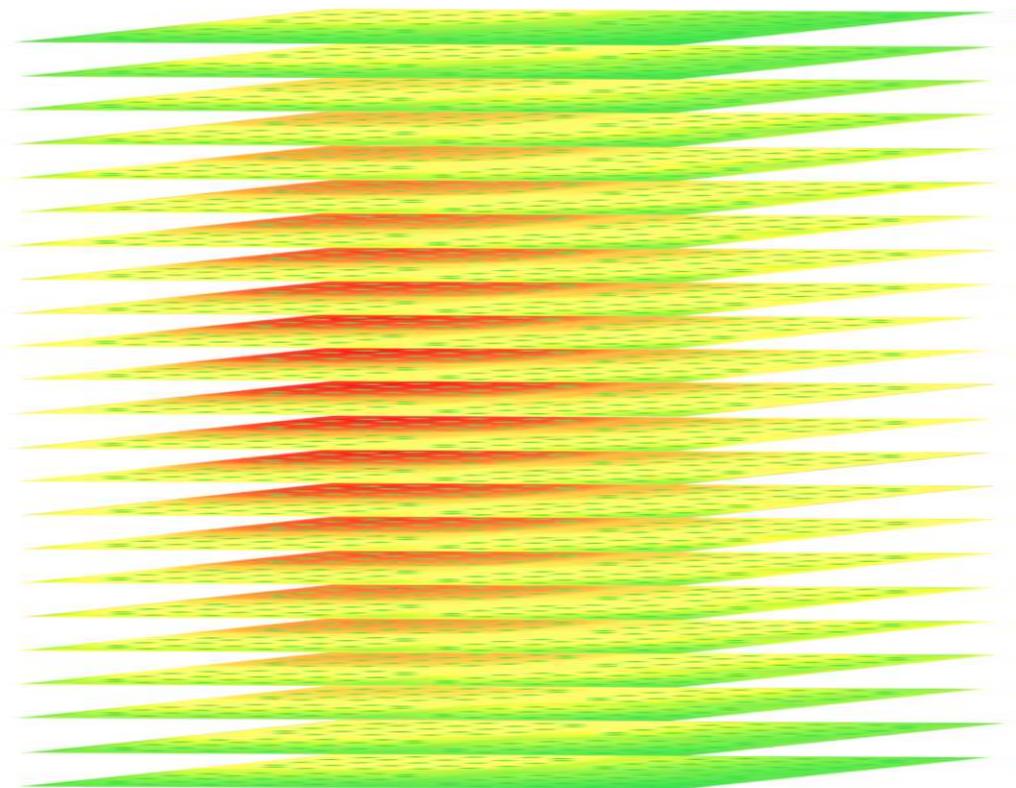
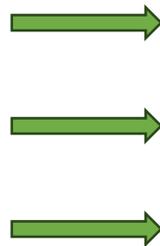
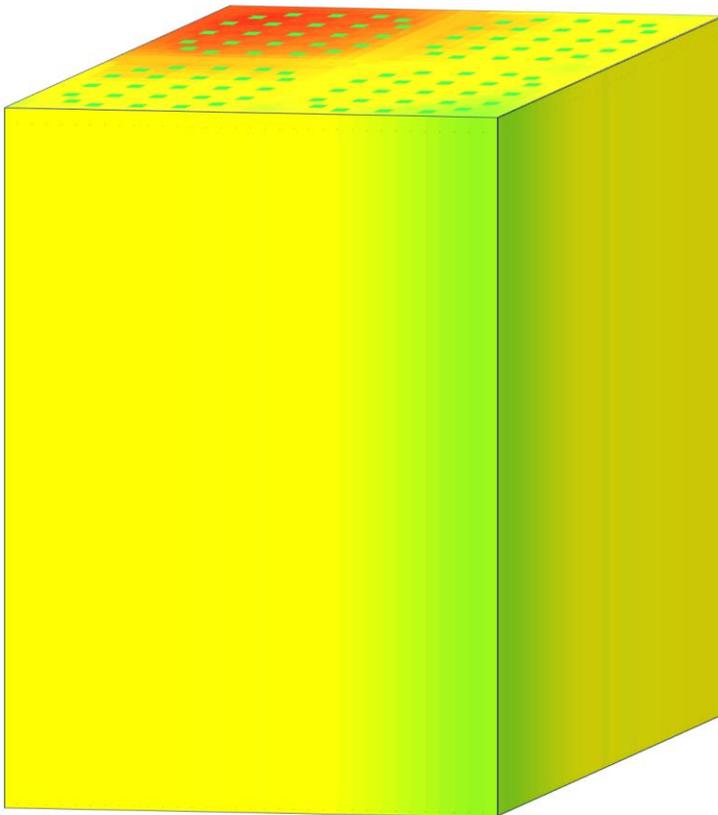
Для каждого временного шага было получено:

- Потвэльное распределение R_{fis}
- **Интегральная R_{fis}** по всей высоте твэла
- Послойное R_{fis} (**24 слоя**)

Сопоставление результатов:

Результаты программы КИР сравниваются с результатами программы **SUNAM-3D-TD**

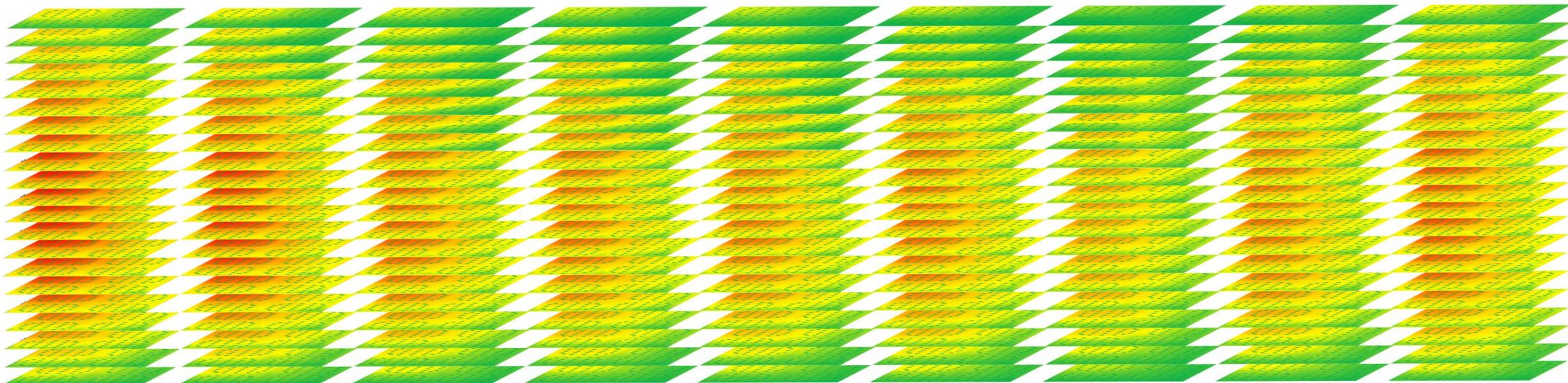
Интегральное и послойное потвэльное распределение скорости реакции деления



Пространственное распределение скорости реакции деления (Задача TD4-5)

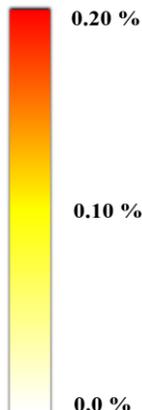
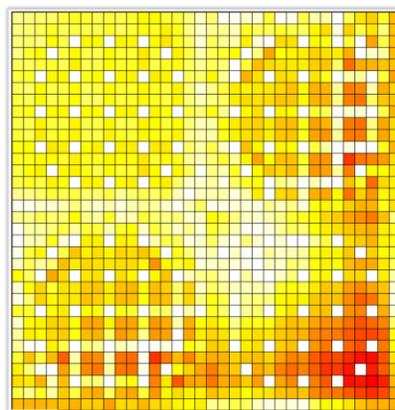
Изменение пространственного распределения скорости реакции деления во времени

0.0 с 1.0 с 2.0 с 3.0 с 4.0 с 5.0 с 6.0 с 7.0 с 8.0 с

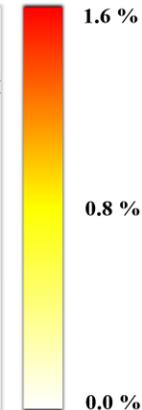
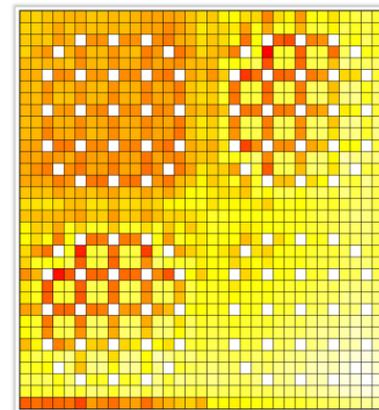


Модуль среднего отклонения, %

Время, с	Ак3	ТВС №1	ТВС № 2	ТВС № 3	ТВС № 4
0	0.12	0.06	0.10	0.10	0.14
2	0.87	0.64	0.75	0.74	0.88
4	0.25	0.21	0.21	0.22	0.23
6	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07
8	0.22	0.20	0.19	0.19	0.18



(а)



(б)

Модуль отклонения результатов скорости реакции деления программы КИР от SUHAM-3D-TD (а – 0.0 сек., б – 2.0 сек.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Результаты программы КИР согласуются с результатами программ SUHAM-3D-TD, RMS, MPACT и PSI_nTRACER.
- Алгоритмы группового физического модуля и непрерывного изменения геометрии, предназначенные для моделирования передвижения органов регулирования, в составе программы КИР показали корректную работу.
- Возможность использования алгоритмов для моделирования различных сценариев изменения положения органов регулирования, с перекрестным движением и разными скоростями стержней СУЗ или групп.