



**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный исследовательский центр»
«Курчатовский институт»**

О моделировании начального источника мгновенных нейтронов для решения нестационарных задач методом Монте-Карло

Иоаннисиан М. В., Давиденко В. Д., Дьячков И. И.

Москва - 2019

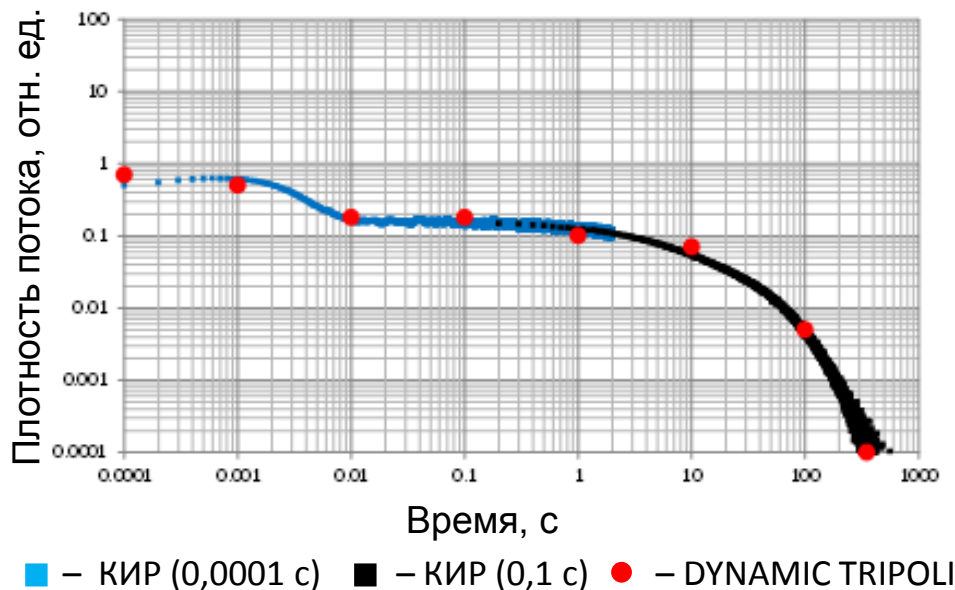
1. В НИЦ «Курчатовский институт» создается программа КИР2 для прямого моделирования кинетики нейтронов аналоговым методом Монте-Карло. Цель разработки - совершенствование и развитие предыдущей версии кода КИР.

2. На текущем этапе развития программы поставлена задача реализации корректных алгоритмов моделирования начального источника мгновенных нейтронов для решения задачи увода размножающей нейтроны системы (реактора) из критического состояния внесением возмущения (реактивности)

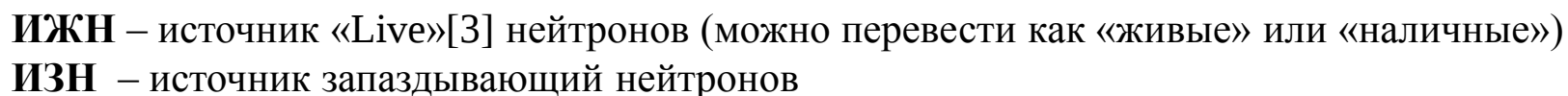
3. Реализованный алгоритм подготовки начального источника в программе КИР на примере тестовых задач позволяет получать результаты, которые, в целом, согласуются с опорными, однако остался вопрос, связанный с мгновенными нейтронами.

Алгоритм испускания мгновенных нейтронов приводит к деформации плотности потока после начала процесса в течение времени, сравнимом с временем жизни нейтрона.

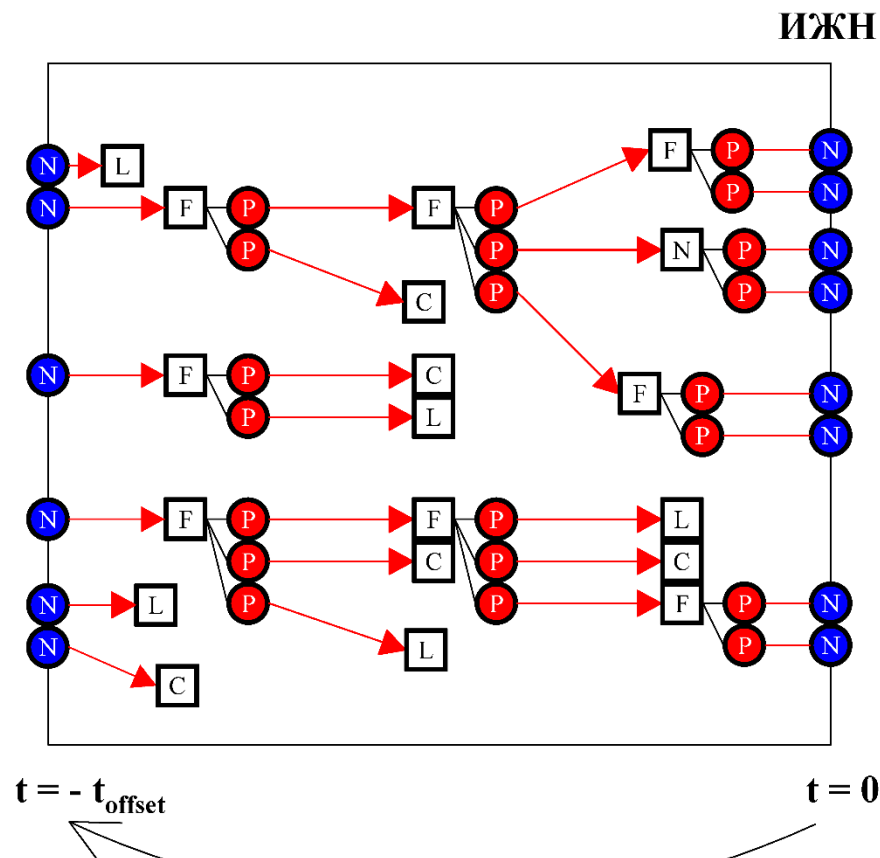
Пример результатов расчета[1] теста RP1GS[1, 2] – прямоугольного параллелепипеда, заполненного материалом, представленном в виде одогрупповых макроконстант:



1. Гомин Е.А., Давиденко В.Д., Зинченко А.С., Харченко И.К. Моделирование кинетики ядерного реактора методом Монте-Карло. ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. 2016, вып. 5, стр. 4-16.
2. Sjenitzer B.L., Hoogenboom J.A.. Dynamic Monte Carlo Method for Nuclear Reactor Kinetics Calculations. Nucl. Sci. Eng.: 175, 94–107, 2013



Алгоритм формирования ИЖН в решении стационарной задачи



В момент времени $t = 0$ запоминаются фазовые координаты нейтрона, после этого ему устанавливается время $t = -t_{\text{offset}}$ и проводится дальнейшее моделирование его истории

- 1) В исходных данных варианта задается так называемое время отступа t_{offset} .
- 2) В начале решения стационарной задачи всем нейтронам стартового источника задается время - t_{offset} .
- 3) В процессе решения задачи отслеживаются собственные времена пробегов каждого нейтрона, а после возникновения деления времена нейтронов следующего поколения не обнуляются и устанавливаются равными времени деления.
- 4) По достижении времени $t = 0$ какого-либо нейтрона (после заданного поколения) ему устанавливается время $t = -t_{\text{offset}}$.
- 5) Проводится сохранение фазовых координат нейтронов на момент времени $t = 0$: энергия, направление и геометрические координаты. Также запоминается их оставшийся оптический путь.
- 6) После расчета накопленный набор фазовых координат нейтронов с оставшимся оптическим путем записывается в файл.

Апробация алгоритма тестовая задача – бесконечная среда

Одногрупповые макропараметры
бесконечной среды:

Макропараметр	Значение
Σ_{tot}	0,9932 см ⁻¹
Σ_{fis}	0,1800 см ⁻¹
Σ_s	0,5000 см ⁻¹
Σ_{abs}	0,4932 см ⁻¹
$\nu_{\text{нкр}}, K_{\text{эф}}$	2,7948, 1,02
$\nu_{\text{кр}}, K_{\text{эф}}$	2,7400, 1,00
$\nu_{\text{пкр}}, K_{\text{эф}}$	2,6578, 0,97
Скорость V	22000 см/с

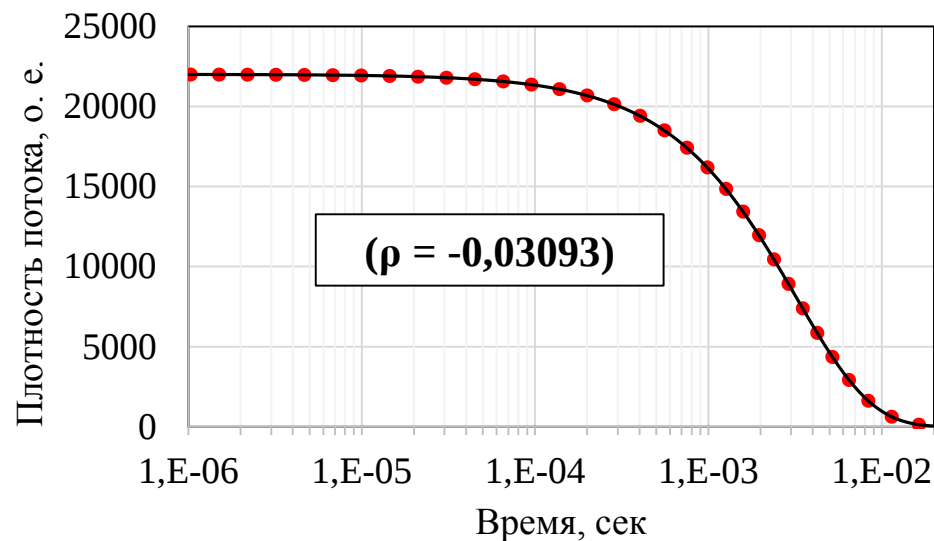
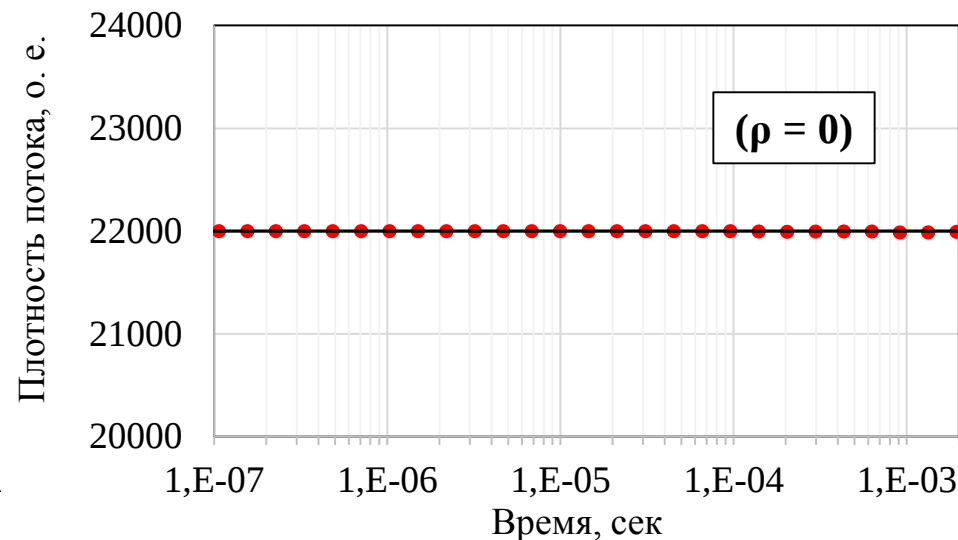
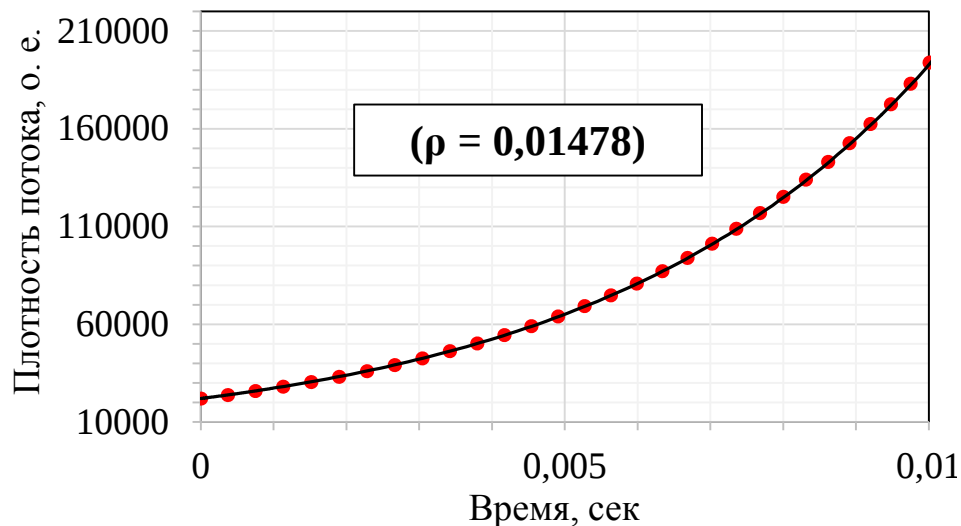
Рассчитываемые нестационарные
процессы:

- 1) **Надкритический процесс** ($\rho_{\text{нкр}} > 0$): возмущение вводится мгновенным изменением вторичных нейтронов на один акт деления $\nu_{\text{кр}}$ на надкритическое $\nu_{\text{нкр}}$.
- 2) **Критический процесс** ($\rho_{\text{кр}} = 0$): система поддерживается критической ($\nu = \nu_{\text{кр}}$). Нормировка числа нейтронов не проводится.
- 3) **Подкритический процесс** ($\rho_{\text{пкр}} < 0$): возмущение вводится мгновенным изменением вторичных нейтронов на один акт деления $\nu_{\text{кр}}$ на подкритическое $\nu_{\text{пкр}}$.

Уравнение точечной кинетики без запаздывающих нейтронов: $\frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho}{\Lambda} N(t)$

$$\Lambda = \frac{l_{\text{ж}}}{K_{\text{эфф}}}, \quad l_{\text{ж}} = 9,22 \cdot 10^{-5} \text{ с} - \text{Рассчитано в стационарном режиме по программе КИР2}$$

Результаты расчета процессов в бесконечной среде



● ● ● – КИР2 с алгоритмом накопления ИЖН

— – Решение уравнений точечной кинетики

Максимальное расхождение

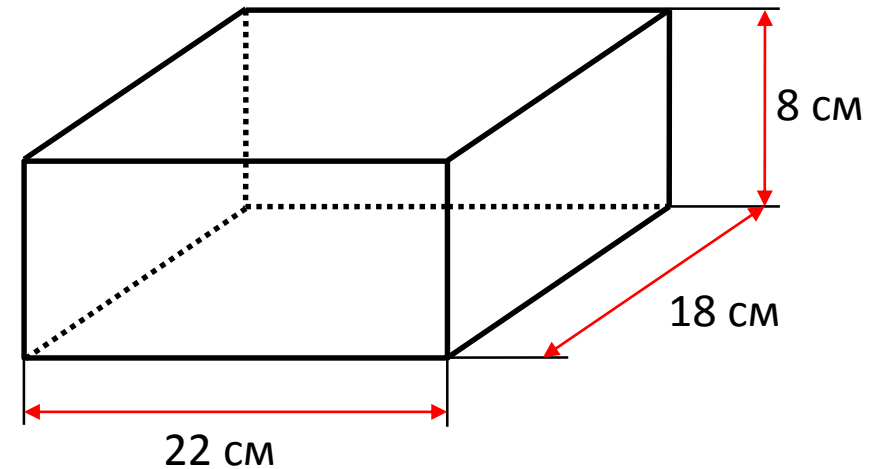
$\rho = 0,01478$: 0,40 % в конце процесса

$\rho = 0$: 0,01 % в конце процесса

$\rho = -0,03093$: 2,6 % в конце процесса

Расчётная область представляет собой прямоугольный параллелепипед, помещённый в вакуум

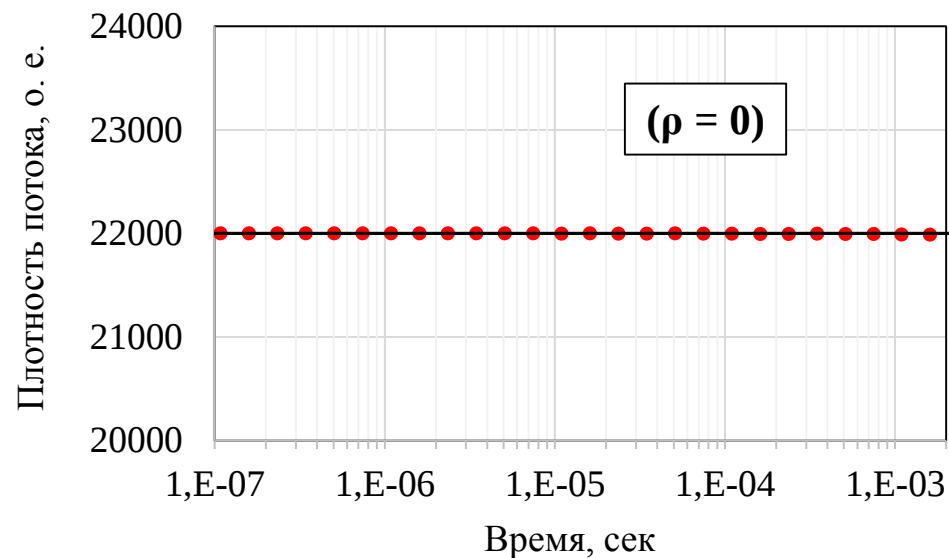
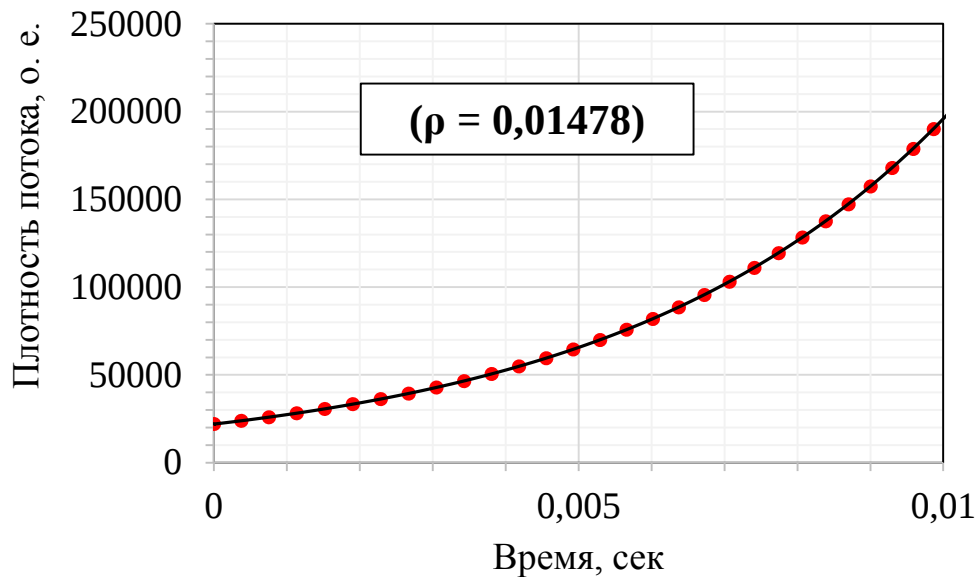
Макропараметр	Значение
Σ_{tot}	1,0000 см ⁻¹
Σ_{fis}	0,2500 см ⁻¹
Σ_s	0,4118 см ⁻¹
$\Sigma_{\text{abs}} = (\Sigma_{\text{tot}} - \Sigma_s)$	0,5882 см ⁻¹
$\nu_{\text{нкp}}, K_{\text{эф}}(\text{КИP2})$	2.592937, 1,015000 ± 0.000001
$\nu_{\text{кр}}, K_{\text{эф}}(\text{КИP2})$	2,554618, 1,000000 ± 0.000001
$\nu_{\text{пкр}}, K_{\text{эф}}(\text{КИP2})$	2,500000, 0,978620 ± 0.000001
Скорость, V	22000 см/с



Рассчитываются процессы, аналогичные тесту RP1GS

$$\Lambda = \frac{l_{\text{ж}}}{K_{\text{эфф}}}, \quad l_{\text{ж}} = 6,85 \cdot 10^{-5} \text{ с} - \text{Рассчитано исходя из } \Lambda = 7,00 \cdot 10^{-5} \text{ с. данного в работе [3] для покритического процесса}$$

Результаты расчета процессов $\rho_{\text{нкp}} > 0$ и $\rho_{\text{кр}} > 0$ в тесте RP1GS



● ● ● – КИР2 с алгоритмом накопления ИЖН

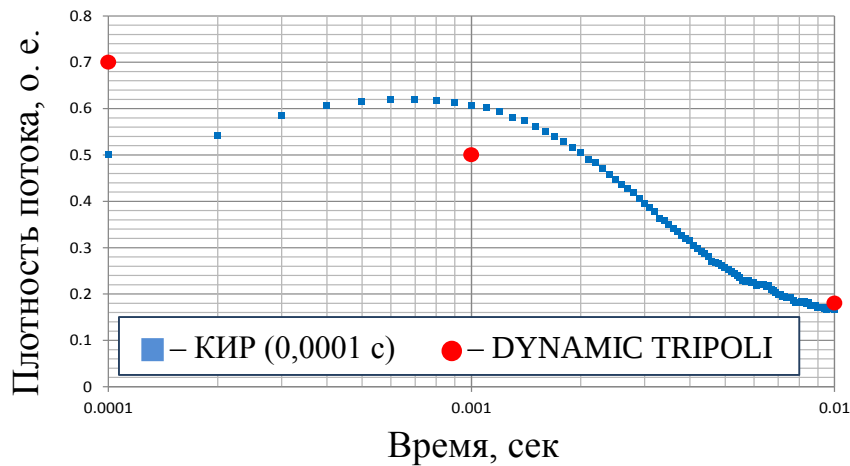
— – Решение уравнений точечной кинетики

Максимальное расхождение

$\rho = 0,01478$: 0,2 % в конце процесса

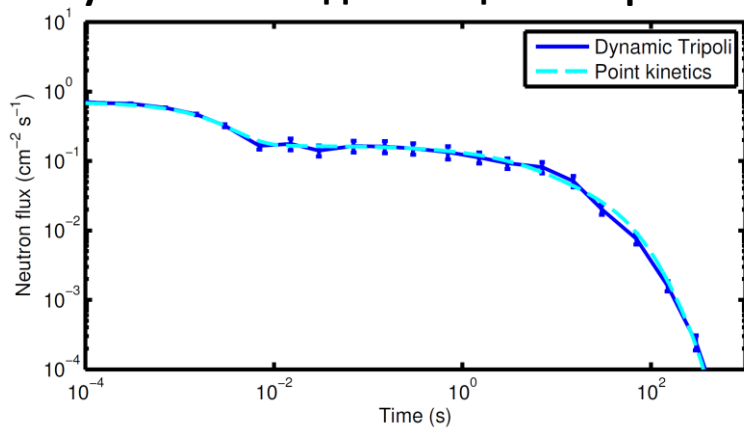
$\rho = 0$: 0.1 % в конце процесса

КИР с учетом запаздывающих нейтронов:

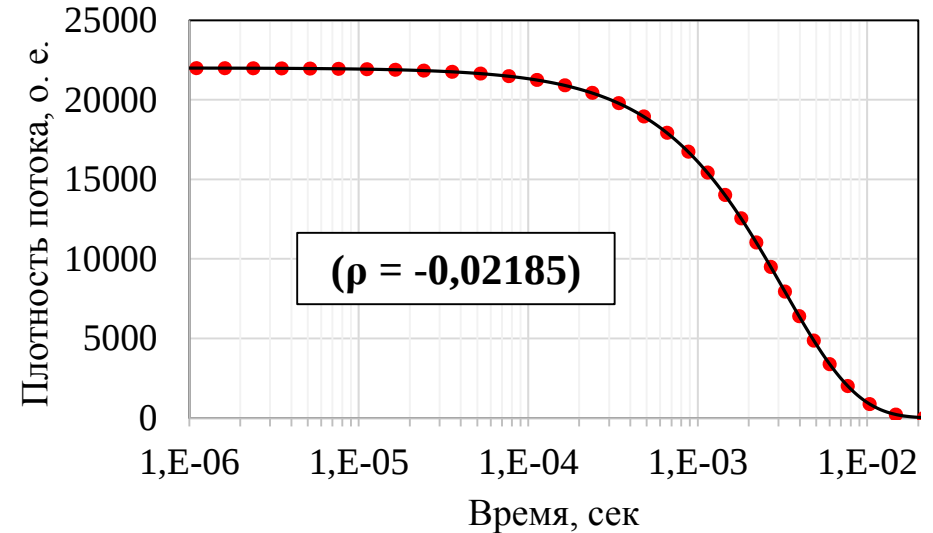


DYNAMIC TRIPOLI [3]

с учетом запаздывающих нейтронов:



КИР2 без учета запаздывающих нейтронов:



- ● ● – КИР2 с алгоритмом накопления ИЖН
- – Решение уравнений точечной кинетики

Максимальное расхождение
 $\rho = -0,02185$: 1-2% в конце процесса

1. Для программы КИР2 разработан и реализован алгоритм накопления источника живых (наличных) нейтронов, позволяющий уточнить результаты моделирования нестационарных процессов на коротких интервалах от начала процесса увода критической системы введением возмущения.
2. Применение этого алгоритма в тестовых задачах – бесконечной среде и RP1GS дает согласие с решением на основе метода точечной кинетики.
3. Применение этого алгоритма в тестовых задачах – бесконечной среде и RP1GS дает согласие с решением на основе метода точечной кинетики. Отклонение в течение всех рассчитанных процессов не превышает 0.4% по интегральной плотности потока, но растет в конце процессов с вводом отрицательной реактивности до 2% при малом количестве нейтронов в системе.



**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный исследовательский центр»
«Курчатовский институт»**



Благодарю за внимание!