



НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
КУРЧАТОВСКИЙ КОМПЛЕКС АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Использование реалистичного подхода в рамках анализа ядерной безопасности в реакторах типа ВВЭР при запроектных авариях

Глазков А.С.

Glazkov_AS@nrcki.ru

Требования к анализу ядерной безопасности в ЗПА

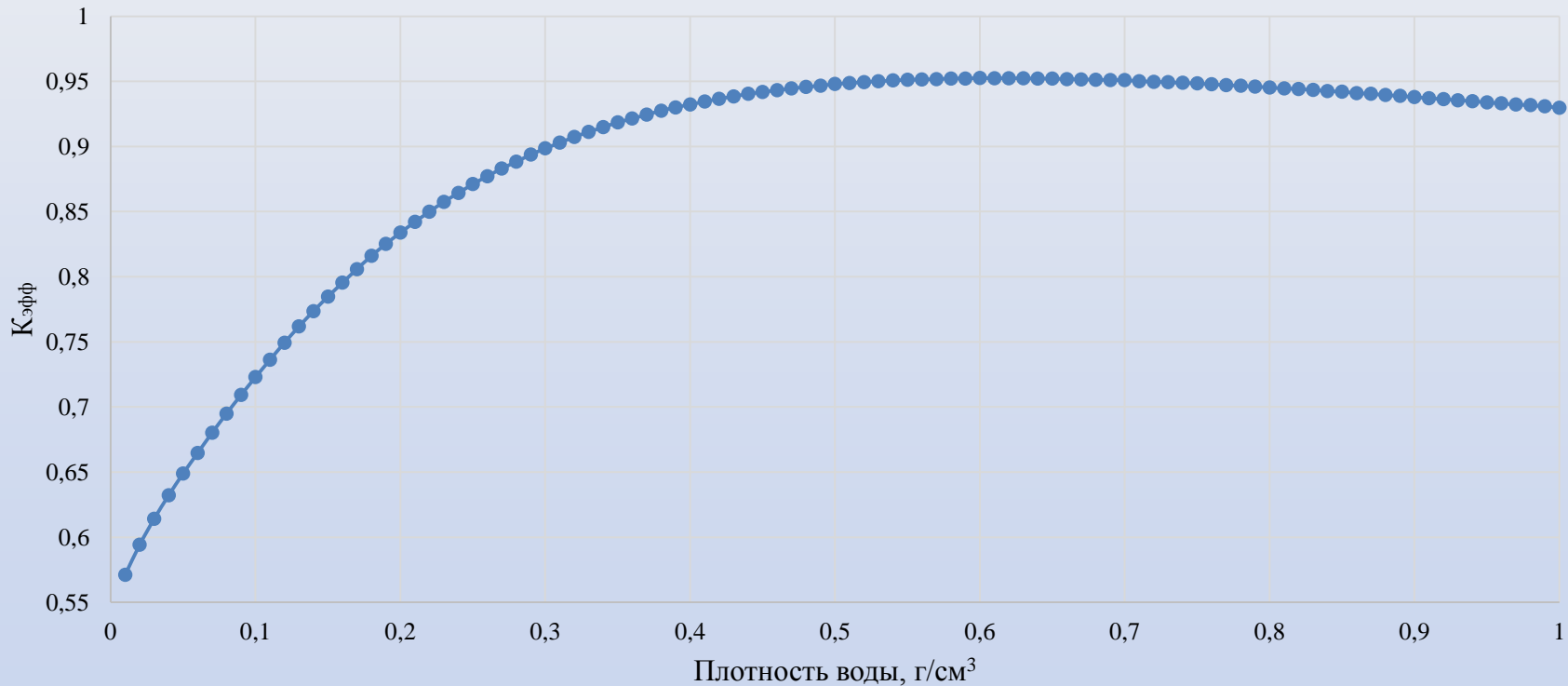
НП-001-15 пункт 1.2.16.

- Окончательные перечни запроектных аварий (включая тяжелые аварии) представляются в ООБ АС. Они должны включать представительные сценарии для определения мер по управлению такими авариями. Представительность сценариев обеспечивается посредством учета уровней тяжести состояния АС и, кроме того, возможных состояний работоспособности или неработоспособности систем безопасности и специальных технических средств для управления запроектными авариями.
- **В ООБ АС должен быть представлен реалистичский (неконсервативный) анализ указанных запроектных аварий, содержащий оценки вероятностей путей протекания и последствий запроектных аварий.**
- Анализ запроектных аварий, приведенный в ООБ АС, является основой для составления планов мероприятий по защите персонала и населения в случае аварий, а также для составления руководства по управлению запроектными авариями.

Трудности реализации экспертной оценки

Применение экспертной оценки в некоторых сценариях также тяжелоприменима из-за распределения теплофизических параметров по слоям модели реактора, используемой при расчете величины $K_{эфф}$.

Зависимость $K_{эфф}$ от плотности воды с растворенной в ней борной кислотой 16 г/л



Описание аварии

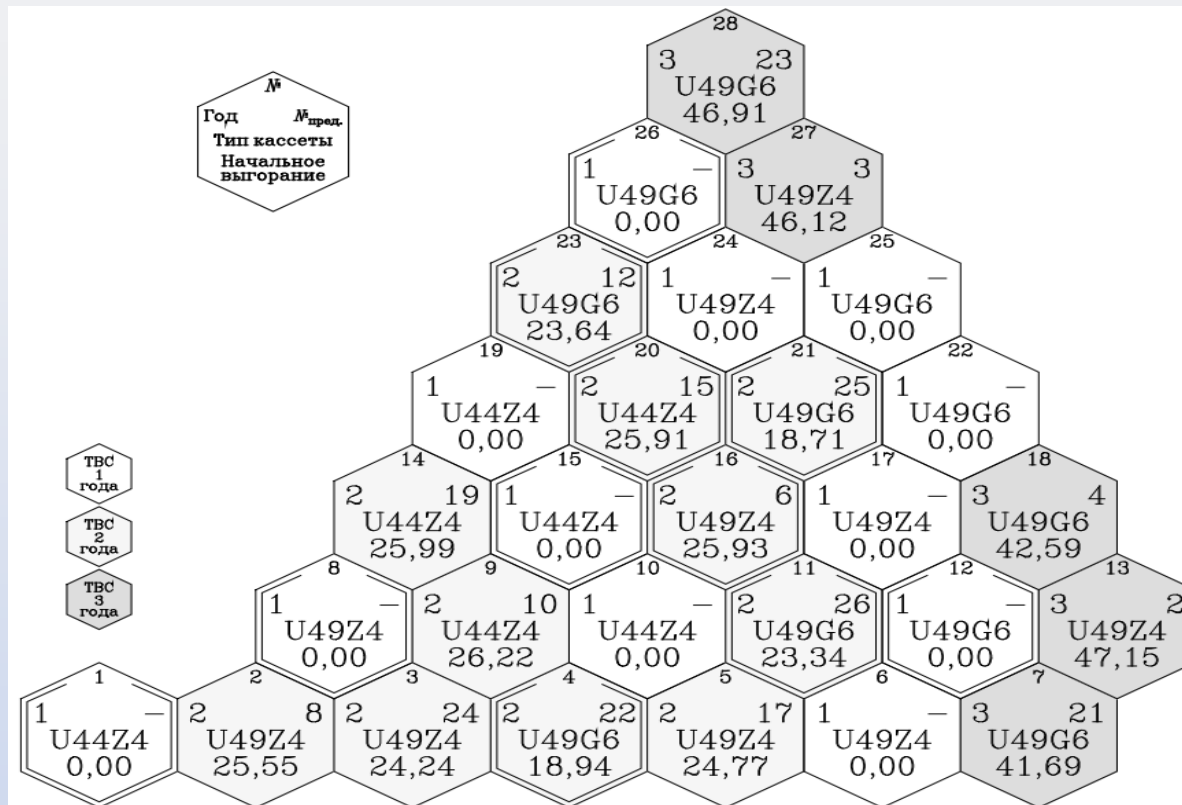
- Исходное событие - отказ системы аварийного охлаждения низкого давления активной зоны с одновременным разрывом соединительного трубопровода ГЕ САОЗ на реакторе ВВЭР-1000 с 18-ти месячным топливным циклом при перегрузке топлива.
- Главный разъем реактора разуплотнен, верхний блок снят, ОР СУЗ подняты.
- Концентрация борной кислоты в теплоносителе составляет 16 г/кг H_2O .

Описание модели

Исходные теплофизические данные представляли собой 100000 состояний реактора, с временным интервалом между собой не превышающим 10 секунд. Каждое состояние характеризовалось следующими параметрами:

- Распределения плотности теплоносителя по 23 высотным слоям;
- Распределения температуры теплоносителя и конструкционных материалов по 23 высотным слоям;
- Распределения температур топлива по 20 высотным слоям.

Описание модели



Картограмма загрузки, использованной в расчетной модели

Описание модели

Расчетная модель включает активную зону, выгородку, шахту реактора, опускной участок теплоносителя между шахтой реактора и корпусом реактора и сам корпус реактора. Высота концевиков выше и ниже топливных столбов составляет 50 см. Граничные условия модели — утечка нейтронов. Глубины выгорания заданы по 20 высотным слоям для каждой ТВС. В модели рассматривается активная зона при поднятых органах регулирования, ^{135}Xe отсутствует. Содержание делящихся изотопов и осколков деления задано профилировано по высоте и радиально внутри ТВС на момент начала стационарной топливной загрузки.



Программные средства

- Теплофизический расчет проводился с использованием интегрального тяжело-аварийного кода СОКРАТ-В1/В2
- Исходные данные для послыного состава выгоревшего топлива были заданы по результатам расчета программы БИПР-7А
- Нейтронно-физические расчеты были выполнены с применением программного комплекса САПФИР-2006, реализующего метод Монте-Карло с библиотеками на основе российских оценок нейтронных сечений БД ЛНФК-87/03.

Причина разработки методики

Пересчет всех состояний полученных на основе теплофизических данных невозможен, поскольку затраченное время на современном компьютере с учетом параллельных вычислений превысит несколько лет. В связи с этим обстоятельством был разработан алгоритм отбора состояний, который бы удовлетворял требованиям реалистичного подхода за приемлемое время.

Методика отбора состояний

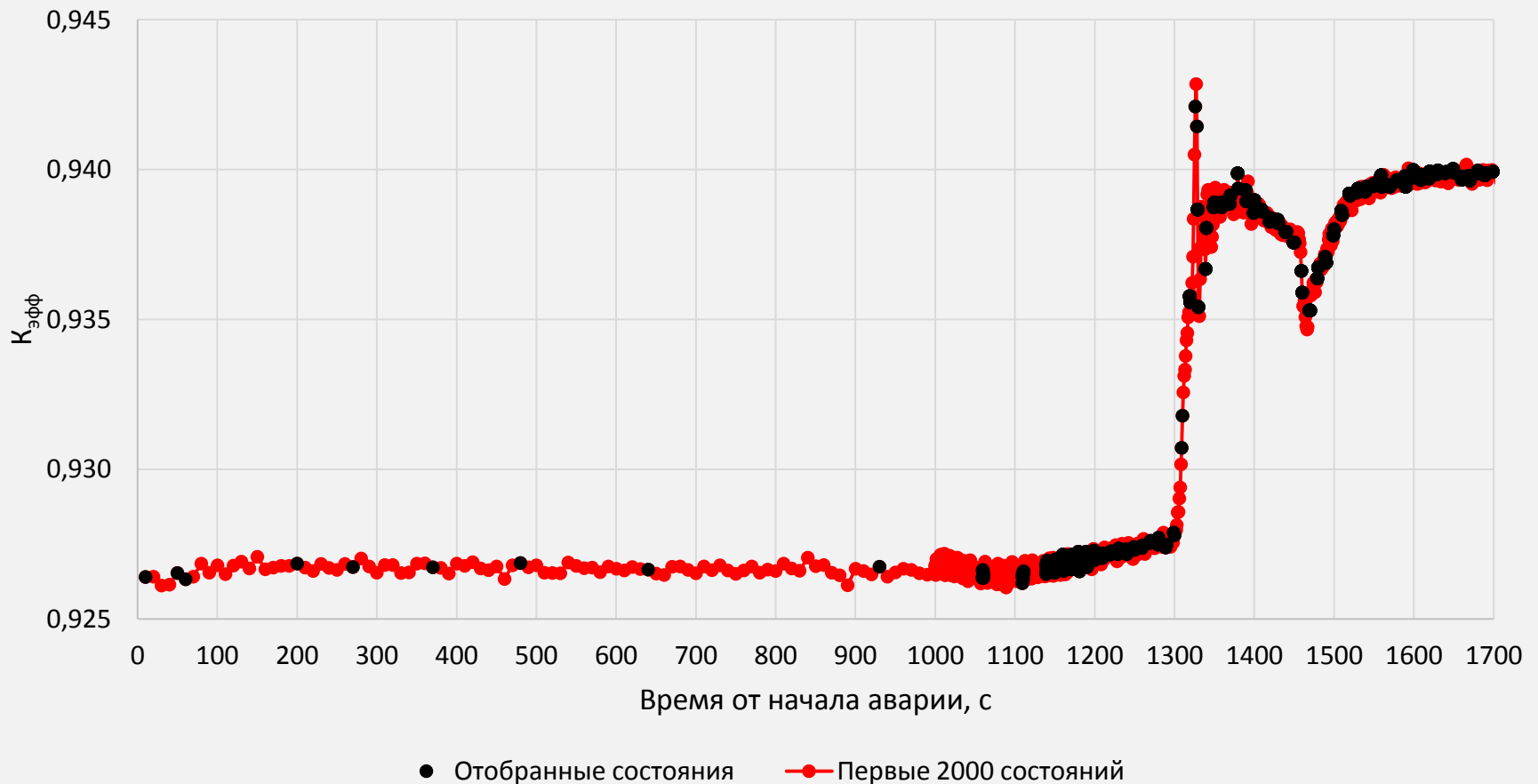
Исходя из того факта, что величина $K_{эфф}$ в данной системе наиболее чувствительна к изменению плотности теплоносителя, алгоритм отбора состояний состоял в следующем:

1. Плотности во всех состояниях были округлены до 2-ой значащей цифры;
2. Состояния с распределением плотности теплоносителя, уже попавшие в расчетную выборку отбрасывались.

В итоге было получено 6273 состояния активной зоны, в которых была рассчитана величина $K_{эфф}$.

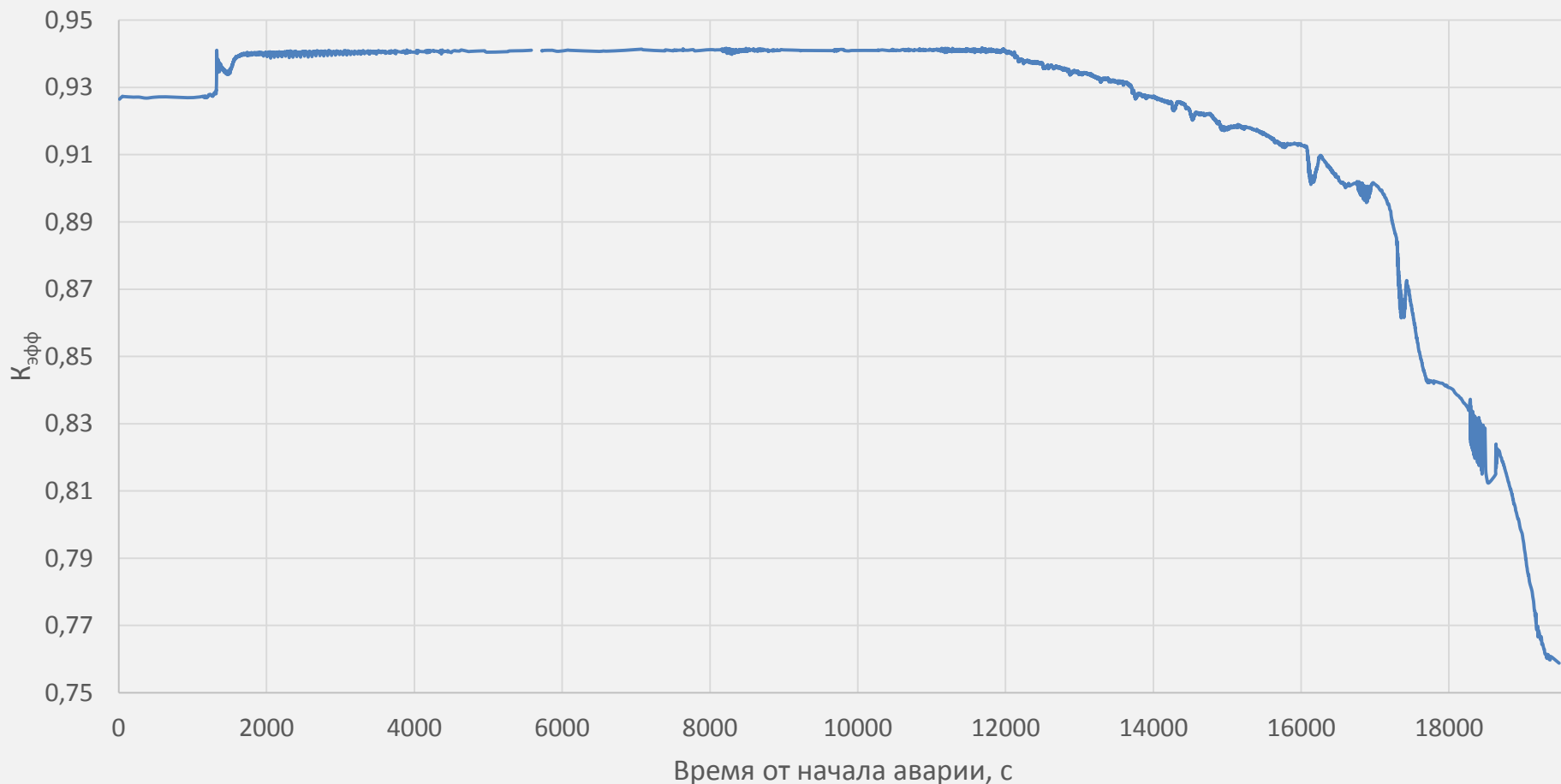
Проверка состоятельности методики отбора

Зависимость $K_{эфф}$ от времени с начала аварии



Результаты расчетов

Изменение величины $K_{эфф}$ на стадии выкипания теплоносителя



Результаты расчетов

Поскольку была показана состоятельность разработанного критерия отбора состояний, с помощью полученных результатов можно определить временную область, в которой $K_{эфф}$ достигает максимума и просчитав ее точно определить наибольшую величину $K_{эфф}$ в ходе аварии.



Выводы

- Была разработана и реализована методика, позволяющая в рамках реалистичного подхода определить максимальное значение величины $K_{эфф}$ без использования экспертной оценки.
- Затраченное время на расчет всех 6273 состояний с учетом распараллеливания процессов на 4 ядра процессора составило 56 дней, что говорит о необходимости в улучшении методики или об изменении подхода в целом. В качестве альтернативного подхода планируется рассмотреть использование искусственных нейронных сетей для решения данной задачи.

**Спасибо
за внимание!**

