Автоматизация поиска оптимальных режимов работы РУ на основе использования методов поиска глобального оптимума и кодов типа RELAP5

Ю.Б. Воробьев

Каф. АЭС, Московский Энергетический Институт

(Технический Университет)

План презентации

- Мотивация проведенных работ
- Основные характеристики разработанного подхода NPO
- Примеры использования NPO для: ВВЭР-1000/В320; Пассивная система безопасности
- Перспективы развития

Основные проблемы в анализе переходных и аварийных процессов на АЭС:

- Большой объем информации
- Нелинейные связи между параметрами
- Существенно нелинейное поведение результирующих характеристик безопасности
- Необходимо проводить многомерный анализ данных
- Субъективный фактор в обычном анализе безопасности АЭС, как в выборе точек расчета, так и в анализе результатов
- Существенные временные затраты на проведение расчетов с использованием кодов типа RELAP5

Основной путь решения:

Цель → Разработка максимально автоматизированного программного комплекса для решения оптимизационных задач применительно к АЭС

Современные информационные технологии → эффективны в обработки больших объемов сложной информации

Следовательно → решение:

Их использование совместно с имеющимися технологиями анализа динамических процессов на АЭС на основе кодов типа RELAP5

Основные характеристики подхода:

- Существенная нелинейность результирующих характеристик (целевой функции)

  <u>Решение</u> - использование алгоритмов семейства поиска глобального оптимума → алгоритмы: эволюционные, simulated annealing…

- Значимые временные затраты на получение данных по одной расчетной точке с использованием интегральных кодов типа RELAP5

  <u>Решение</u> - использование методов параллельных вычислений

- Эффективность процесса поиска глобального оптимума на основе согласования оптимизационного алгоритма и параллельных вычислений

  <u>Решение</u> - Генетические алгоритмы (ГА) наиболее подходят на текущем этапе

Основные принципы ГА

- ***Основная задача*** – решение проблемы нахождения глобального оптимума функции **Y=F(X)** **Y** – вектор критериев, **X** – вектор оптимизируемых параметров
- Техника ГА базируется на биологических принципах, которые формализованы и преобразованы в математическую форму

Общая принципиальная схема функционирования программы NPO

Этапы решения оптимизационной задачи на основе NPO

- Создание оптимизационной модели и формирование пространства поиска
  - Создание модели ЯЭУ на основе используемого кода (RELAP5)
  - Определение варьируемых параметров и их интервалов изменения
  - Определение целевой функции оптимизации и соответствующей функции приспосабливаемости ГА (например максимальная температура оболочки ТВЭЛов)
  - Кодирование оптимизационной задачи в конфигурационный файл NPO
- Проведение оптимизационных расчетов на основе параллельных вычислений – NPO – накопление результатов
- Анализ результатов расчетов (постпроцессинг)

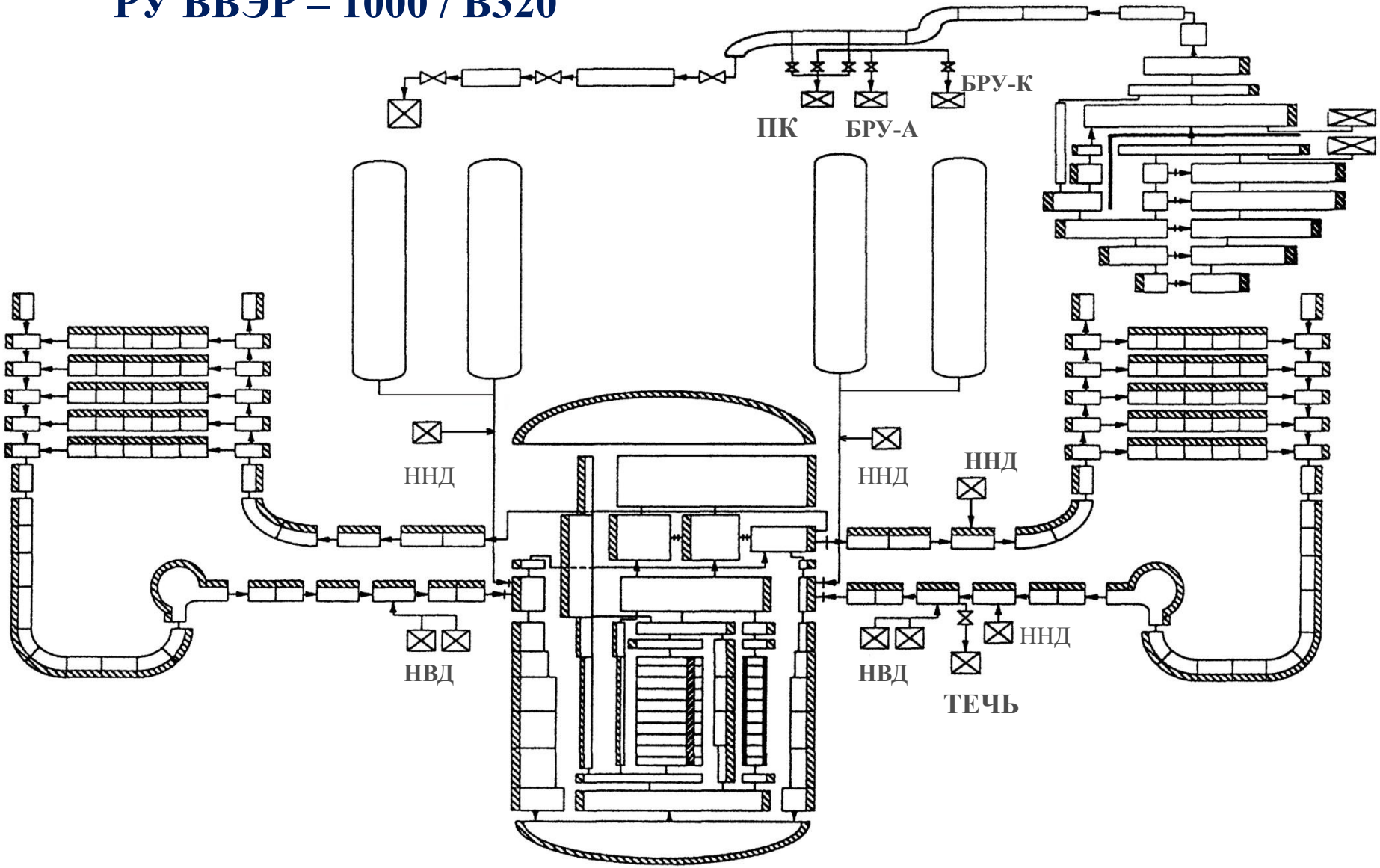
Примеры использования NPO для оптимизационных расчетов ВВЭР-1000/В320

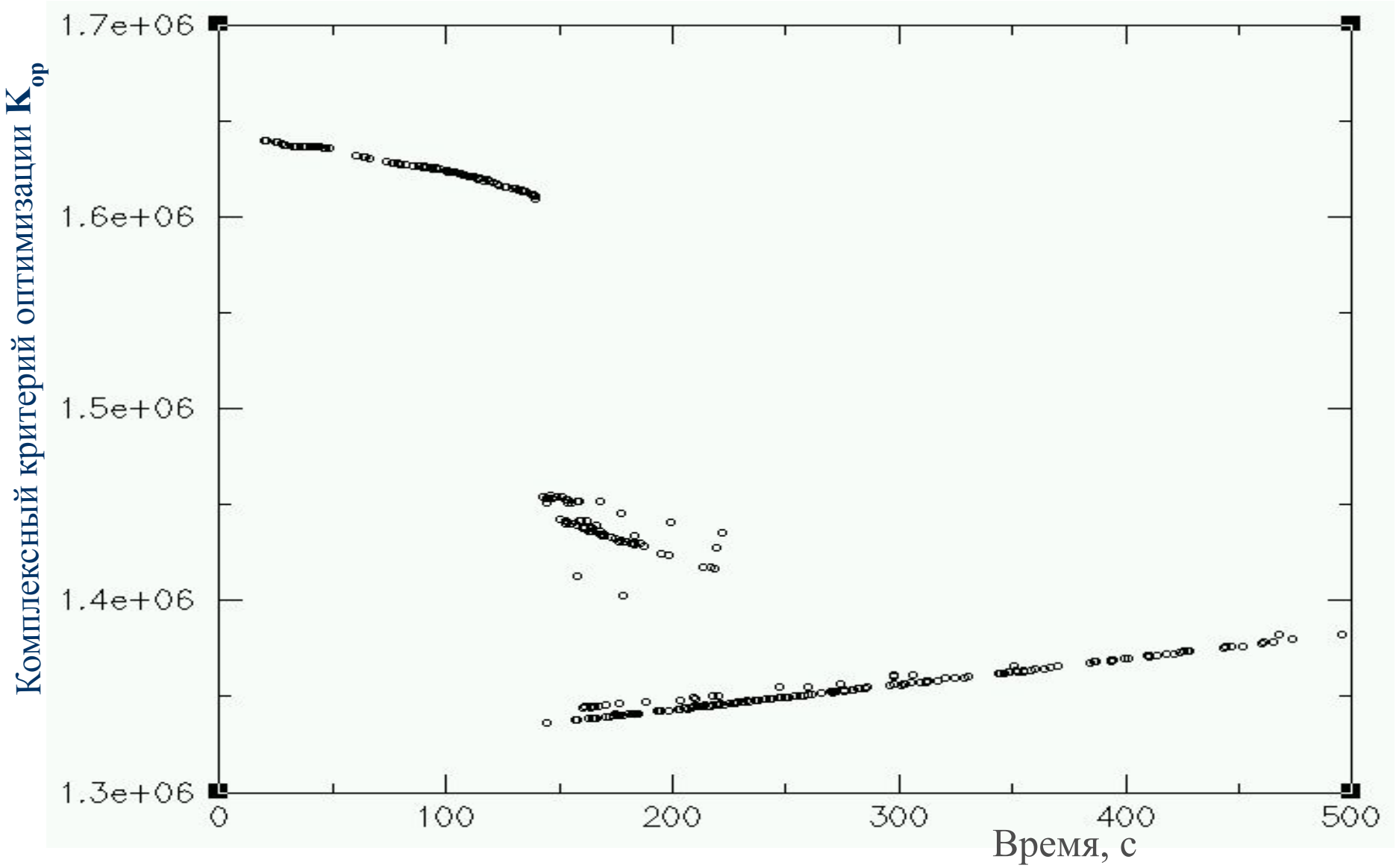
- RELAP5 модель, 4 петли
- В оптимизационных расчетах комплексный критерий оптимизации $\mathbf{C_{op}}$ использовался

$$C_{op} = \int_0^{T_A} T_{cld}(t)dt$$

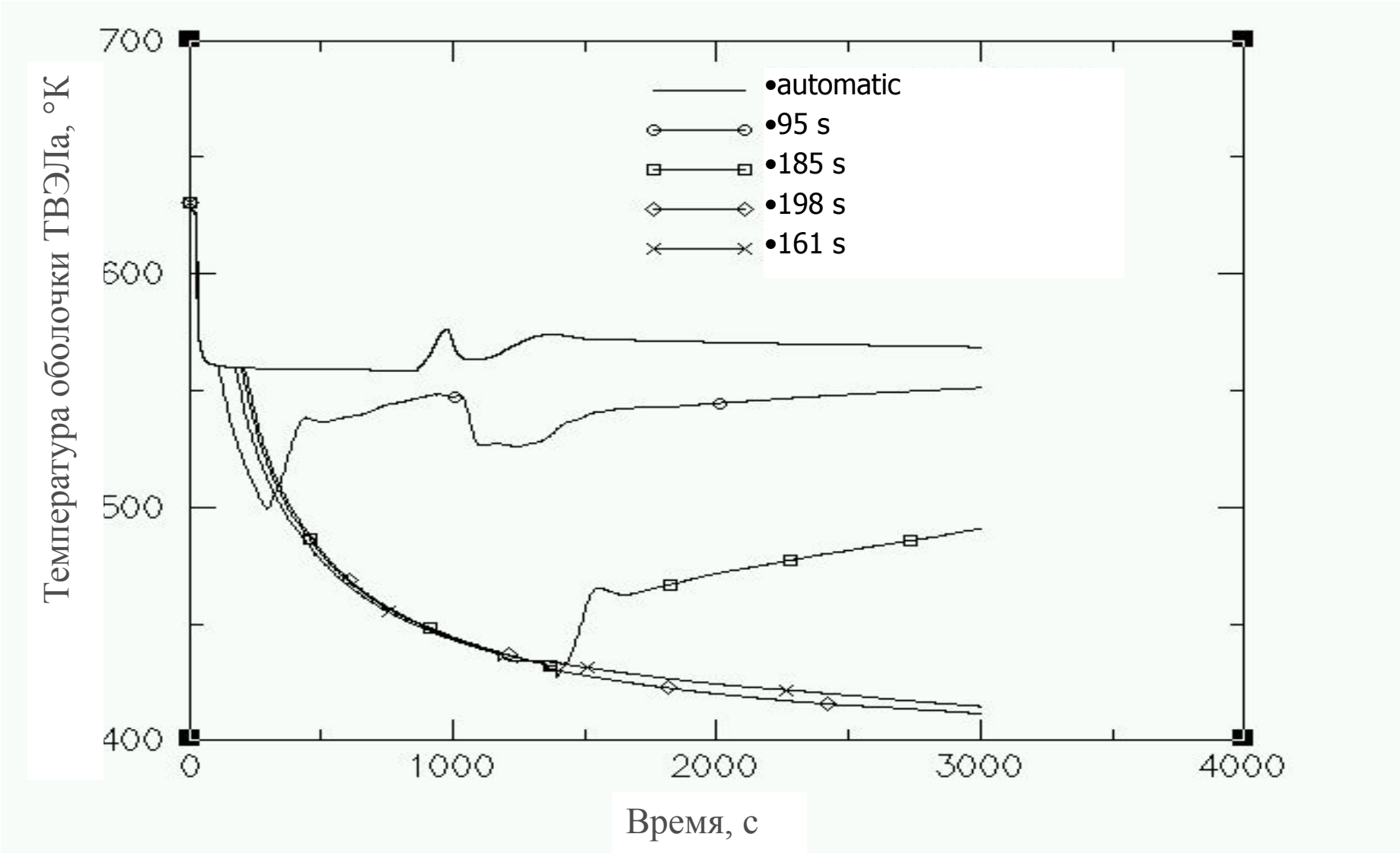
- $\mathbf{T_{cld}}$ – максимальная температура оболочки ТВЭЛа $\mathbf{T_A}$ – время окончания расчета.
- Время включения оператором БРУ-К было выбрано как одно из возможных управляющих воздействий и проводился поиск на его оптимальное значение.
- **Рассматривались аварии - LOCA: течи 25 мм; 50 мм; + отказ насосов высокого давления САОЗ**

РУ ВВЭР – 1000 / В320

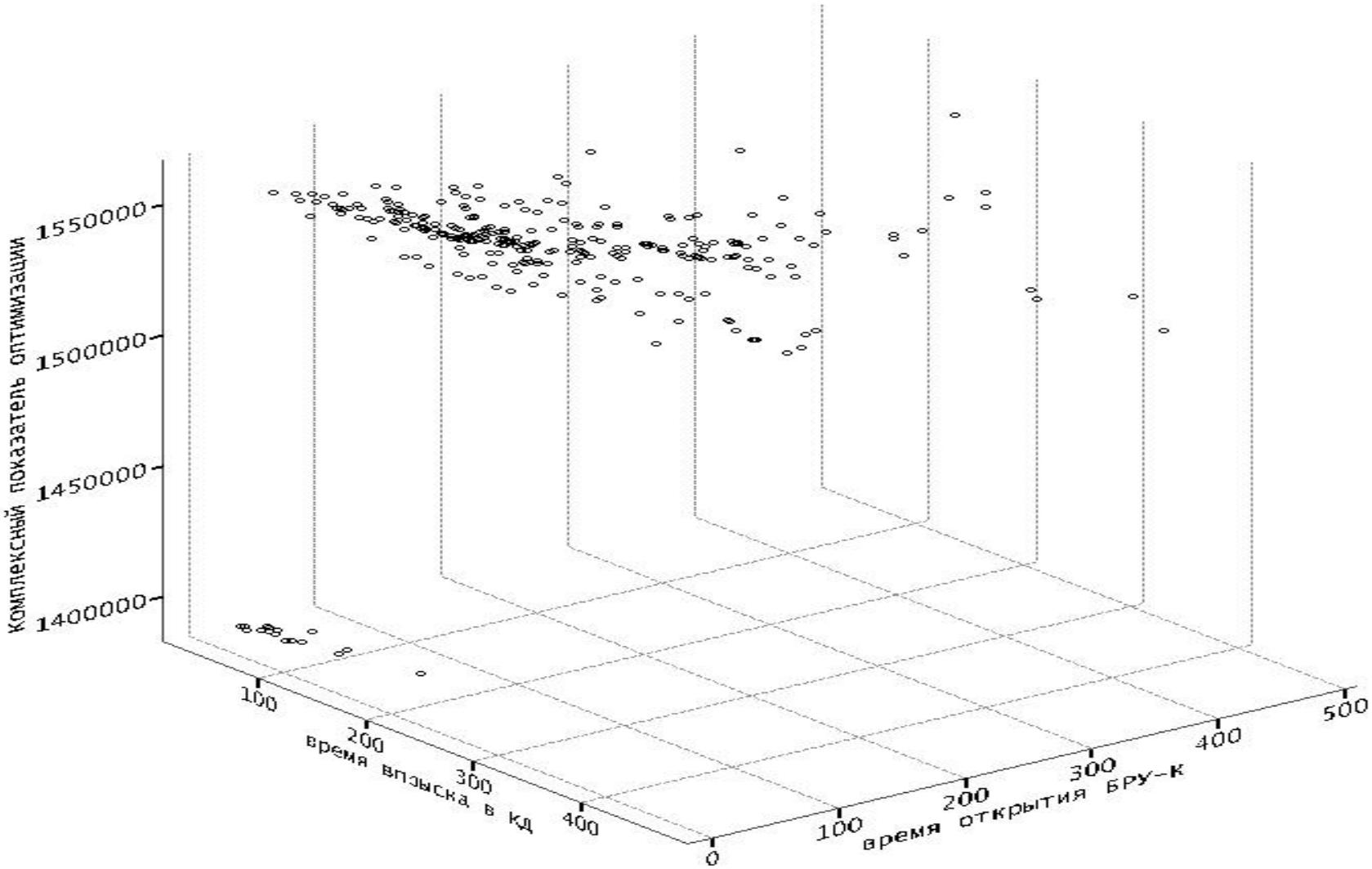




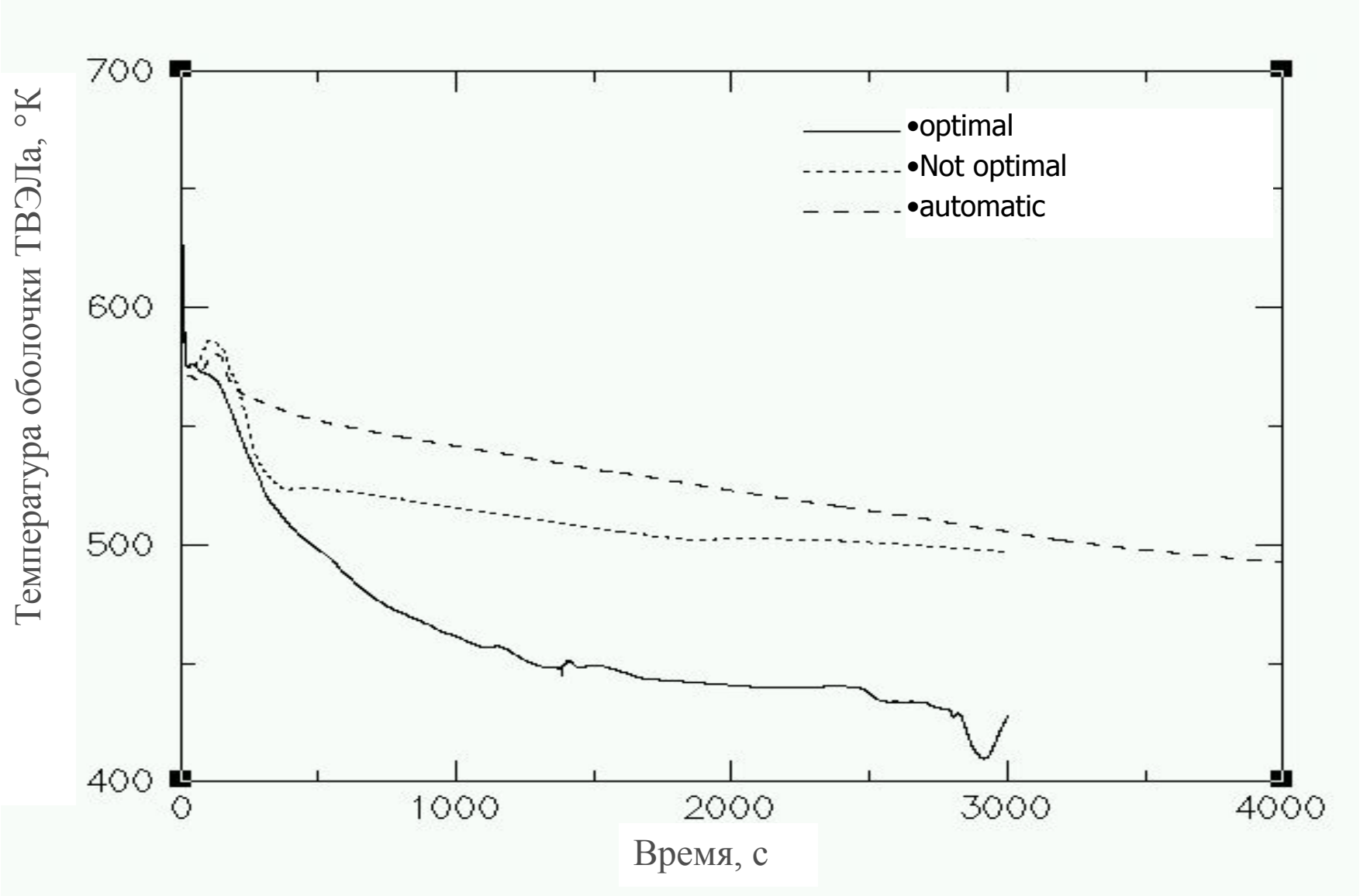
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К; разрыв Ду 25 мм ; ВВЭР-1000 / В320



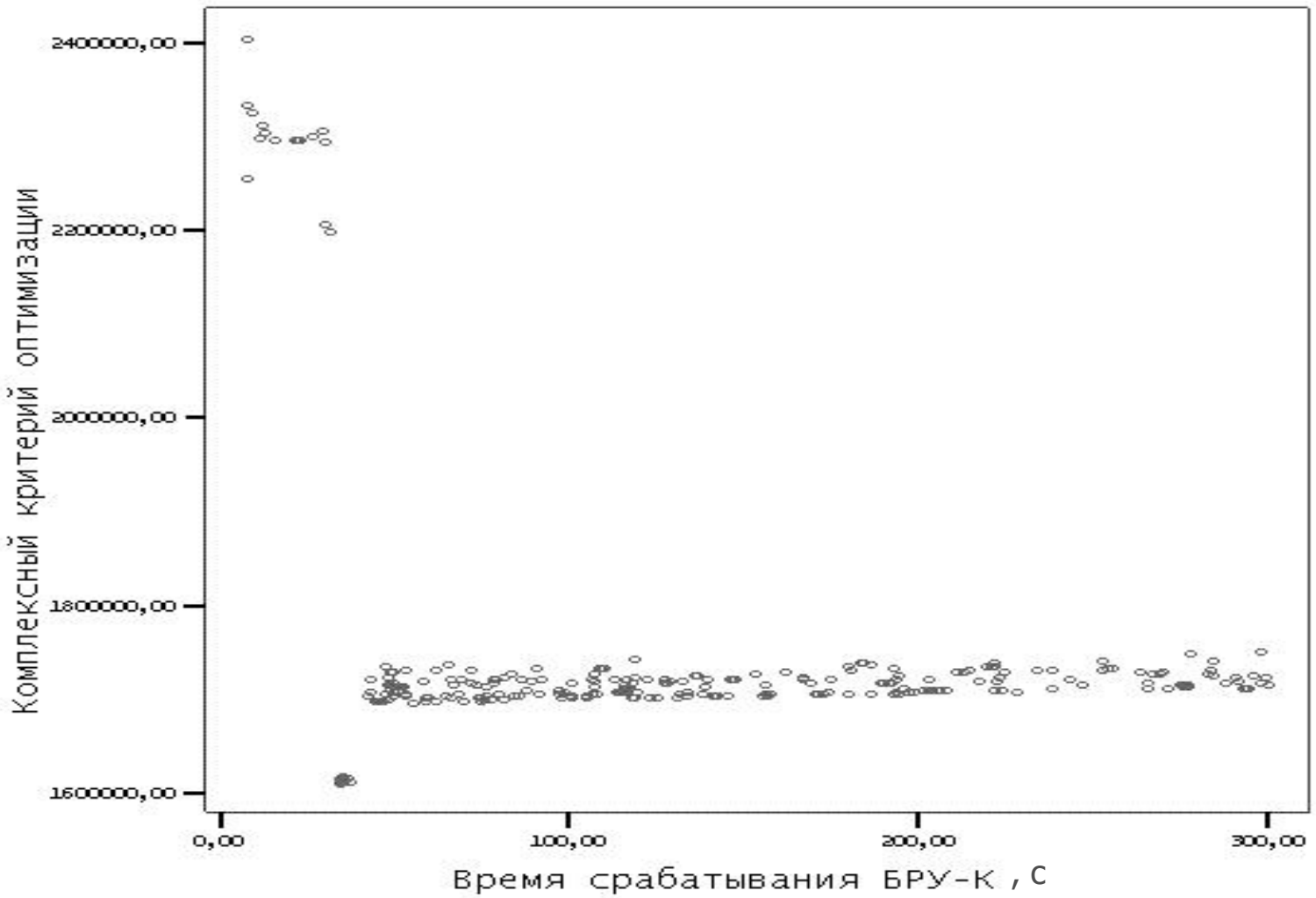
Зависимость изменения максимальной температуры ТВЭЛа от различного времени включения БРУ-К ; разрыв Ду 25 мм ; ВВЭР-1000 / В320



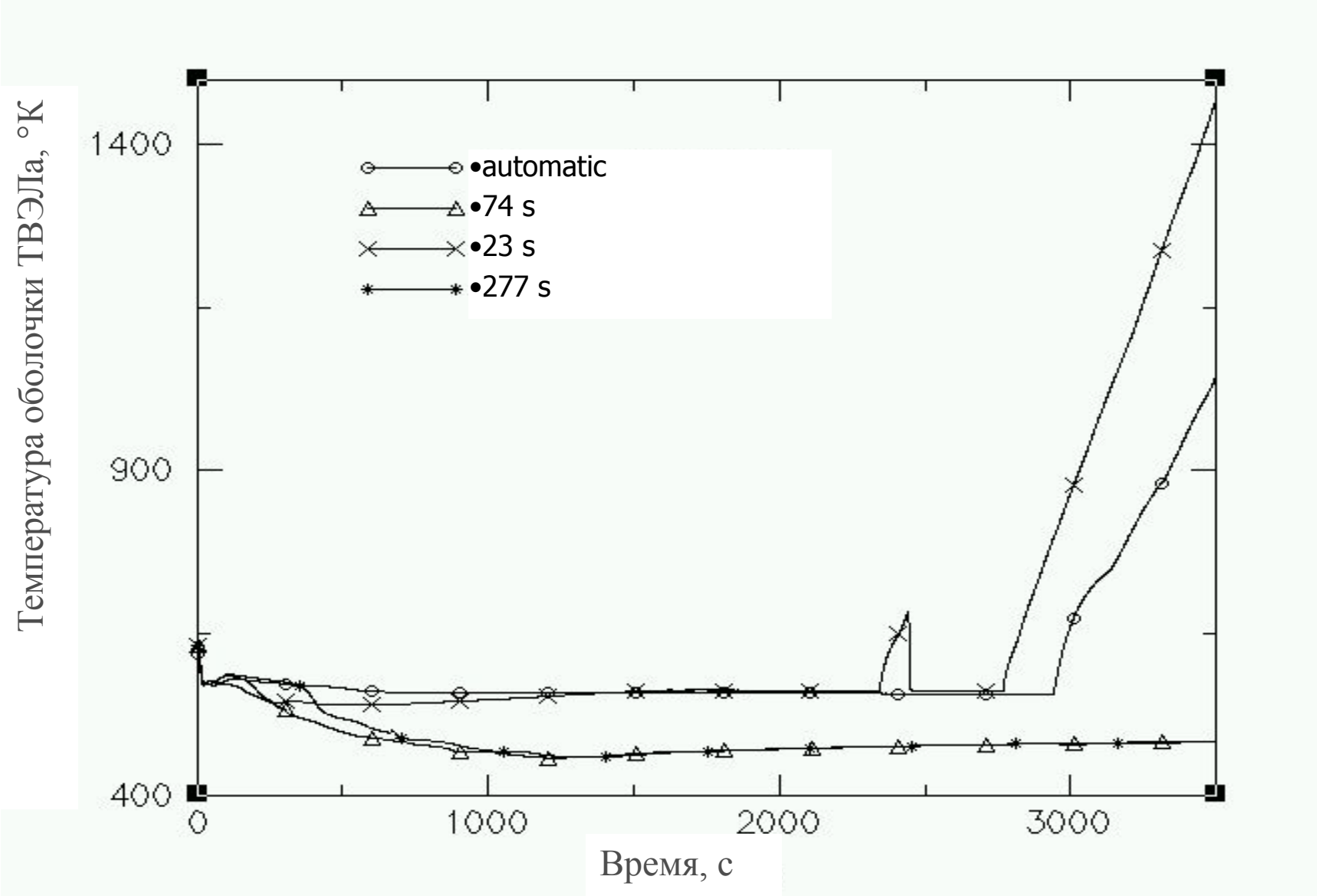
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К и впрыска в КД; разрыв Ду 50 мм ; ВВЭР-1000 / В320



Зависимость изменения максимальной температуры ТВЭЛа от различного времени включения БРУ-К и впрыска в КД; разрыв Ду 50 мм ;
ВВЭР-1000 / В320



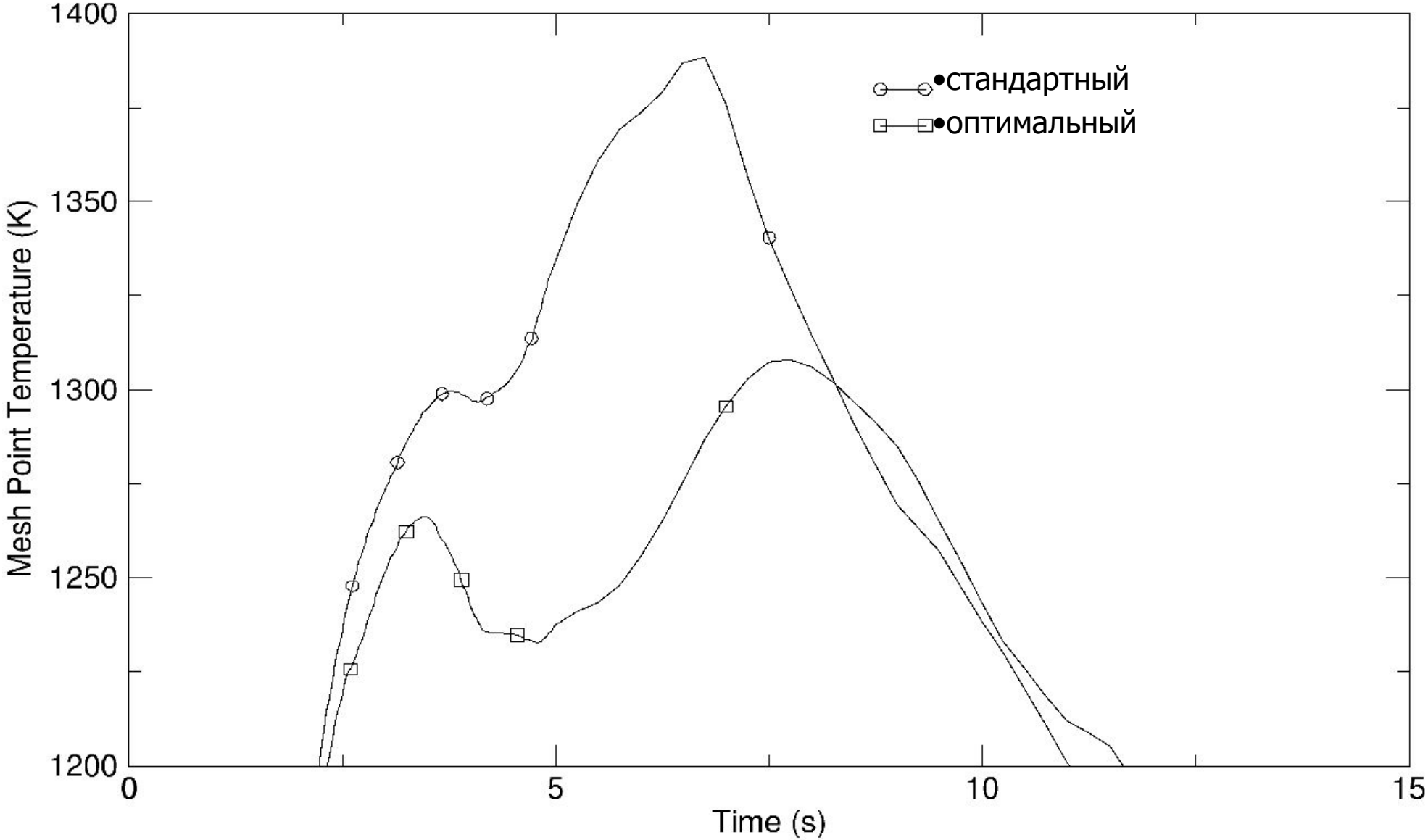
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К при отказе группы насосов высокого давления; разрыв Ду 50 мм; ВВЭР-1000 / В320



Зависимость изменения максимальной температуры ТВЭЛа от различного времени включения БРУ-К при отказе группы насосов высокого давления; разрыв Ду 50 мм ; ВВЭР-1000 / В320

Большая течь, гильотинный разрыв , отказ двух гидроаккумуляторов САОЗ.

- Авария – петля 1
- Цель – уменьшение пика температуры оболочки наиболее нагруженного ТВЭЛа в первые 10 с аварии.
- Оптимизация аварии на основе задержки сигнала на отключение ГЦН
- Оптимизационные расчеты на основе NPO нашли оптимальные задержки для ГЦН на аварийных петель 2, 3 и 4.

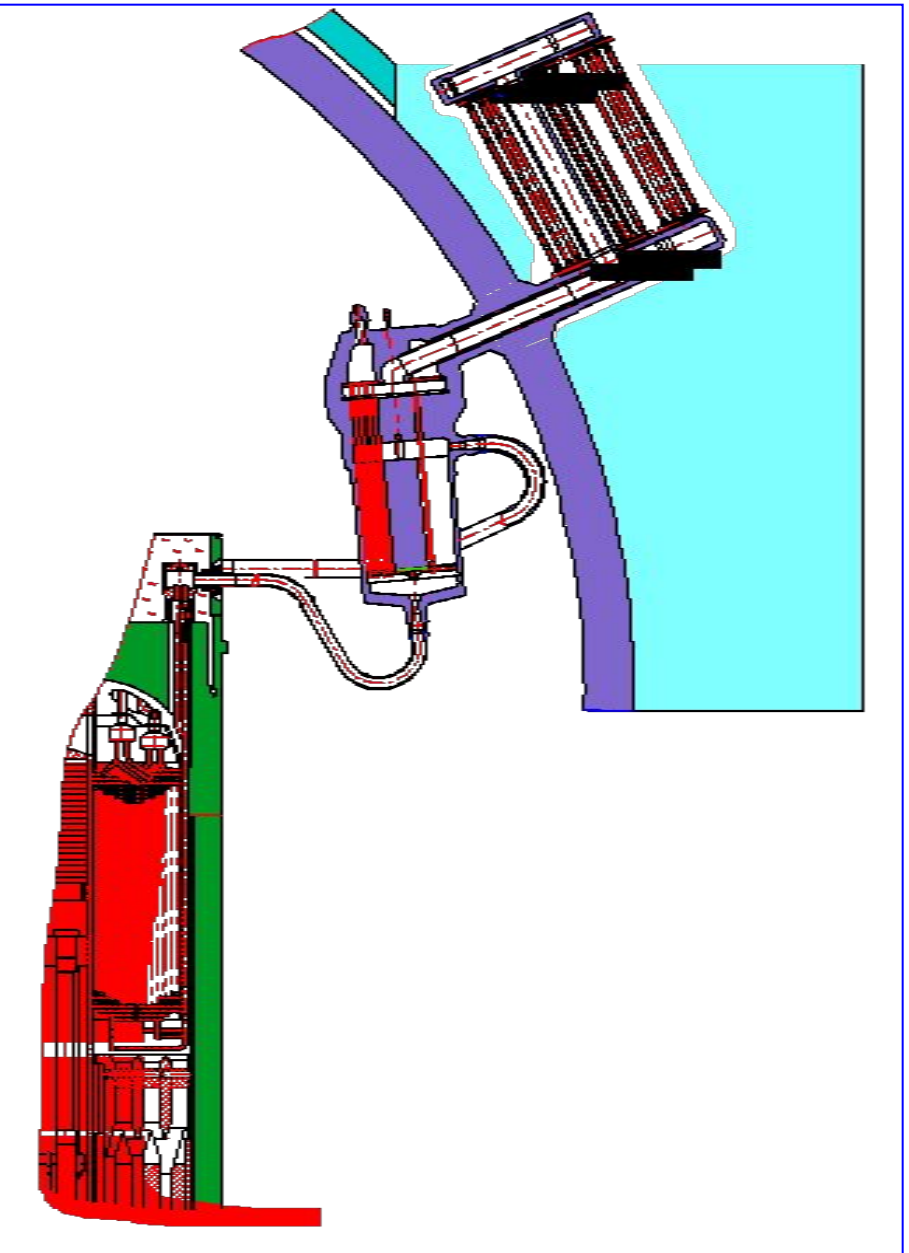


- **Изменение максимальной температуры оболочки наиболее нагруженного ТВЭЛа для стандартного и оптимального вариантов отключения ГЦН (увеличено).**

Оптимизация пассивной системы безопасности для транспортных ЯЭУ

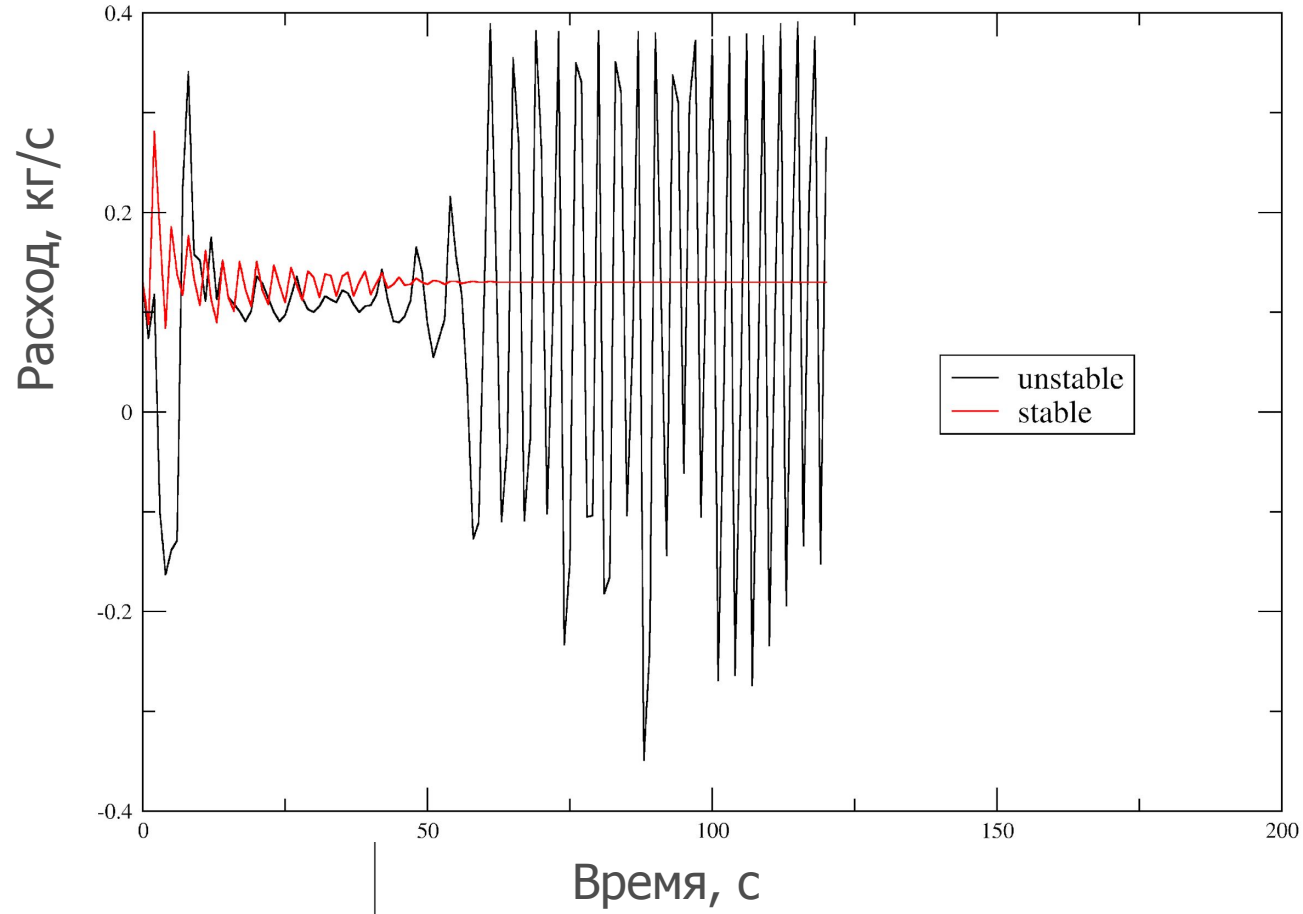
- **Основная задача** – нахождение количества теплоносителя в промежуточном контуре для получения стабильной естественной циркуляции
- Адаптация системы NPO для решения данной задачи
- Варьирование количества жидкой фазы в 7 нодализационных элементах модели

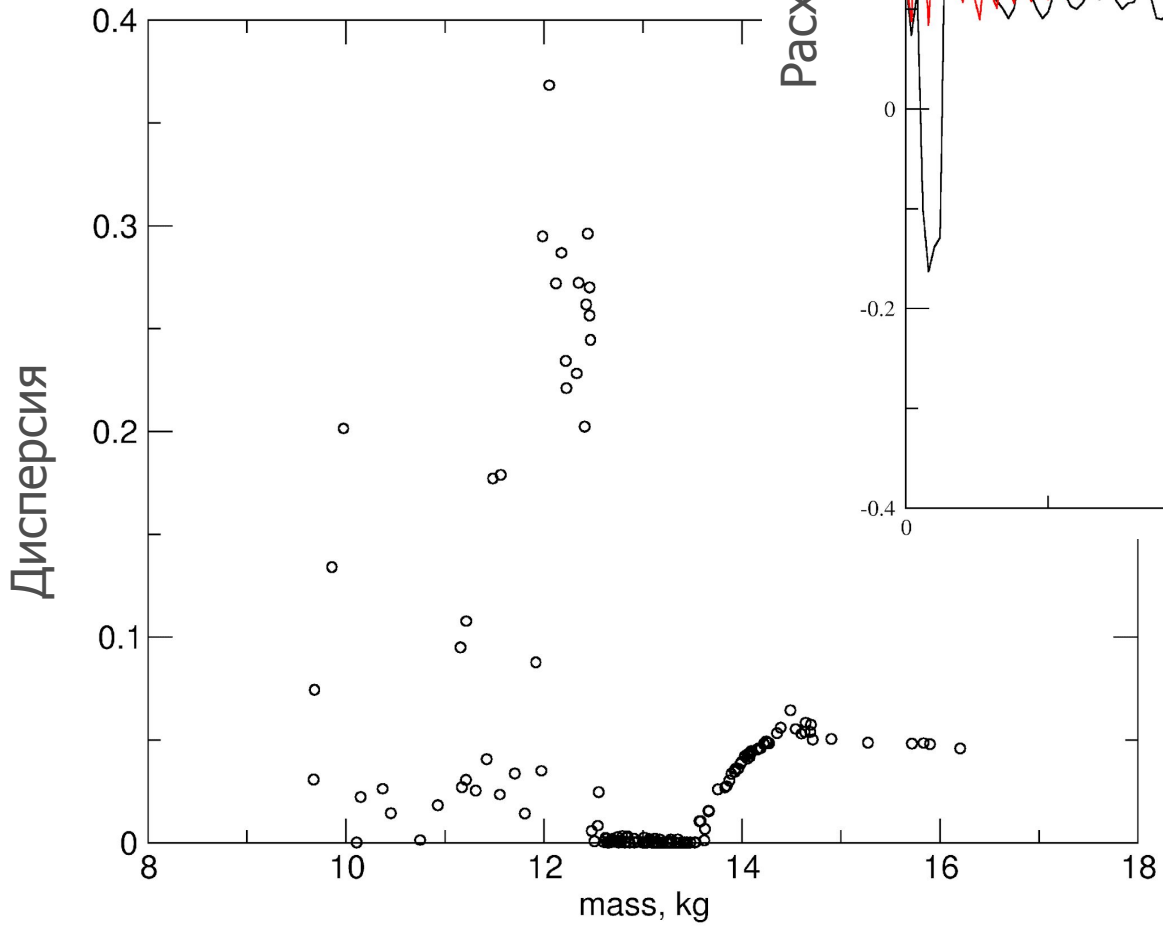
Пассивная система безопасности (ПСБ)



Нодализационная схема для RELAP5

Результаты оптимизационных расчетов ПСБ





Общие направления развития

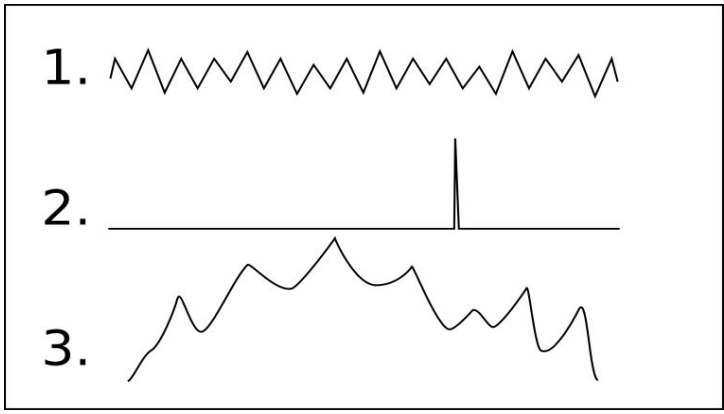
- **Оптимизация параметров оборудования, процессов →** **NPO**;
- **Оптимизации управления аварией** (переходным процессом) – система поддержки оператора в процессе аварии → **NPOneuro**;
- **Поиск возможных аварийных ситуаций** → задачи ДВАБ - **GA-NPO метод**;
- **Оптимизация соотношения "эксперимент – расчет по коду"** – уменьшение epistemic uncertainties в пост тест моделировании;
- **Поиск аномального поведения кодов** и исследуемых объектов – автоматизация верификации кодов;

Поддержка по гранту МинОбр. - МинАтом до 2005 г.

Частичная Поддержка Стокгольмского Технологического Института с 2006 г., интерес группы разработчиков RELAP7 в настоящий момент

Направления развития

1. Выбор целевой функции оптимизации (функции приспосабливаемости ГА)
   - Важность выбора правильной функции
     - Выбор физической величины (температура оболочки ТВЭЛов, уровень в АЗ и т.д.)



     - Обработка по анализируемому интервалу времени :
       - Минимум/максимум
       - Среднее значение
       - Интегральное значение
       - Отклонение от среднего значение – дисперсия
       - Другие варианты по мере накопления опыта?

Направления развития
(продолжение)

2. Возможность использования альтернативных алгоритмов поиска глобального оптимума для сложных случаев
   - Экстремальная оптимизация
   - Simulated annealing
   - Разработка собственных алгоритмов ?
3. Адаптация к другим кодам
   - RELAP5 , RELAP5 + PARCS
   - Другие коды?

Направления развития
(продолжение)

4. Автоматизация анализа результатов расчетов
   - Анализ чувствительности – основная проблема → наличие кросс корреляций между компонентами
   - Формализация описания найденной оптимальной области, автоматизация анализа
5. Реализация многокритериальной оптимизации
   - Наличие положительного опыта для ГА

Заключение

- Существует ряд проблем при использовании интегральных кодов для анализа динамических процессов на АЭС
- Представленный подход позволяет решить выделенные проблемы
- Рассмотренные примеры использования системы NPO показывают возможность решения сложных оптимизационных задач применительно к АЭС
- Представленные направления развития предлагаемого метода позволят существенно улучшить качество проводимых расчетов