

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 обработке 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)

Решение - 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

Решение - использование методов параллельных вычислений

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

Решение - 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 приспособляемости 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)

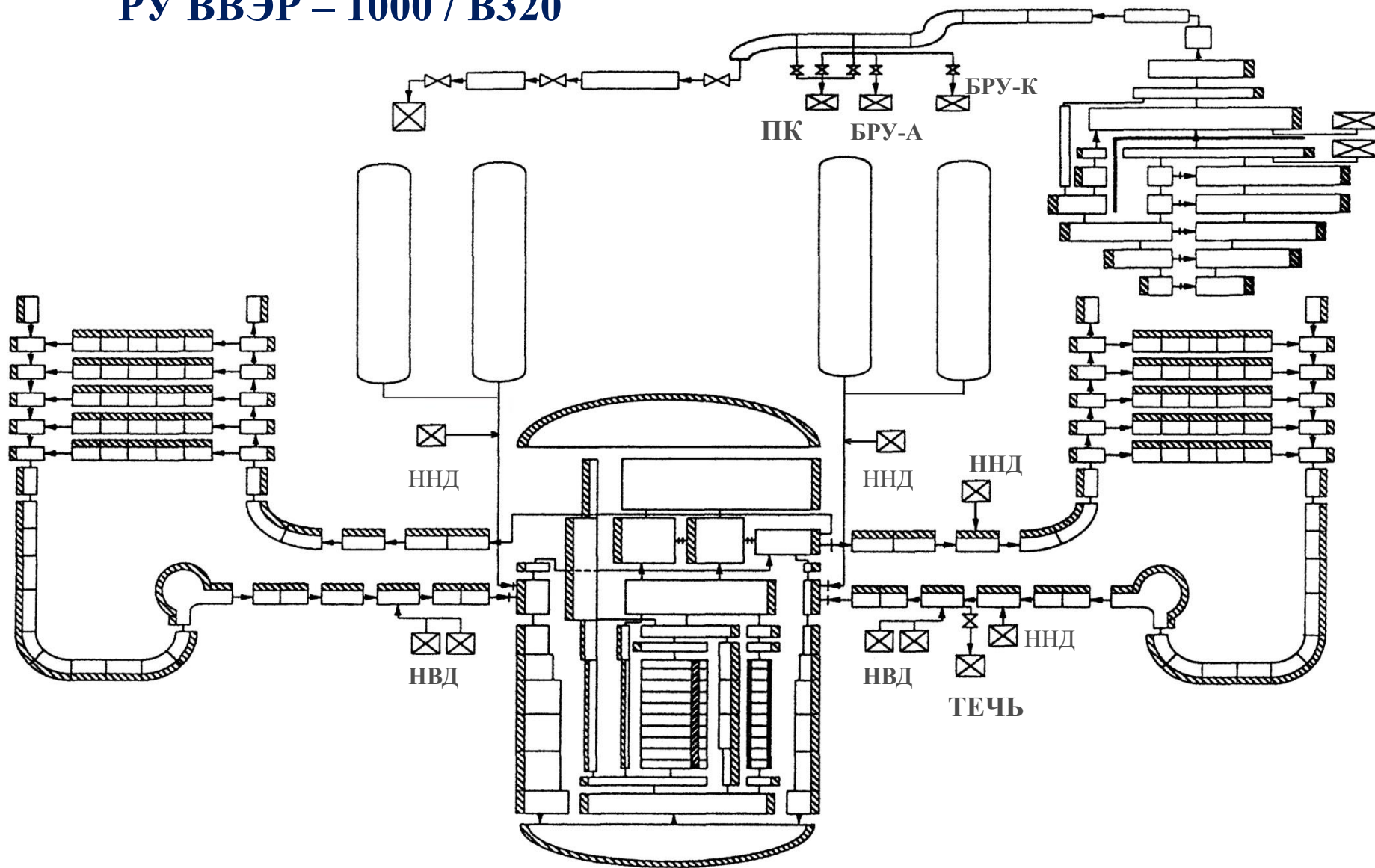
Примеры использования PRO для оптимизационных расчетов ВВЭР-1000/ВЗ20

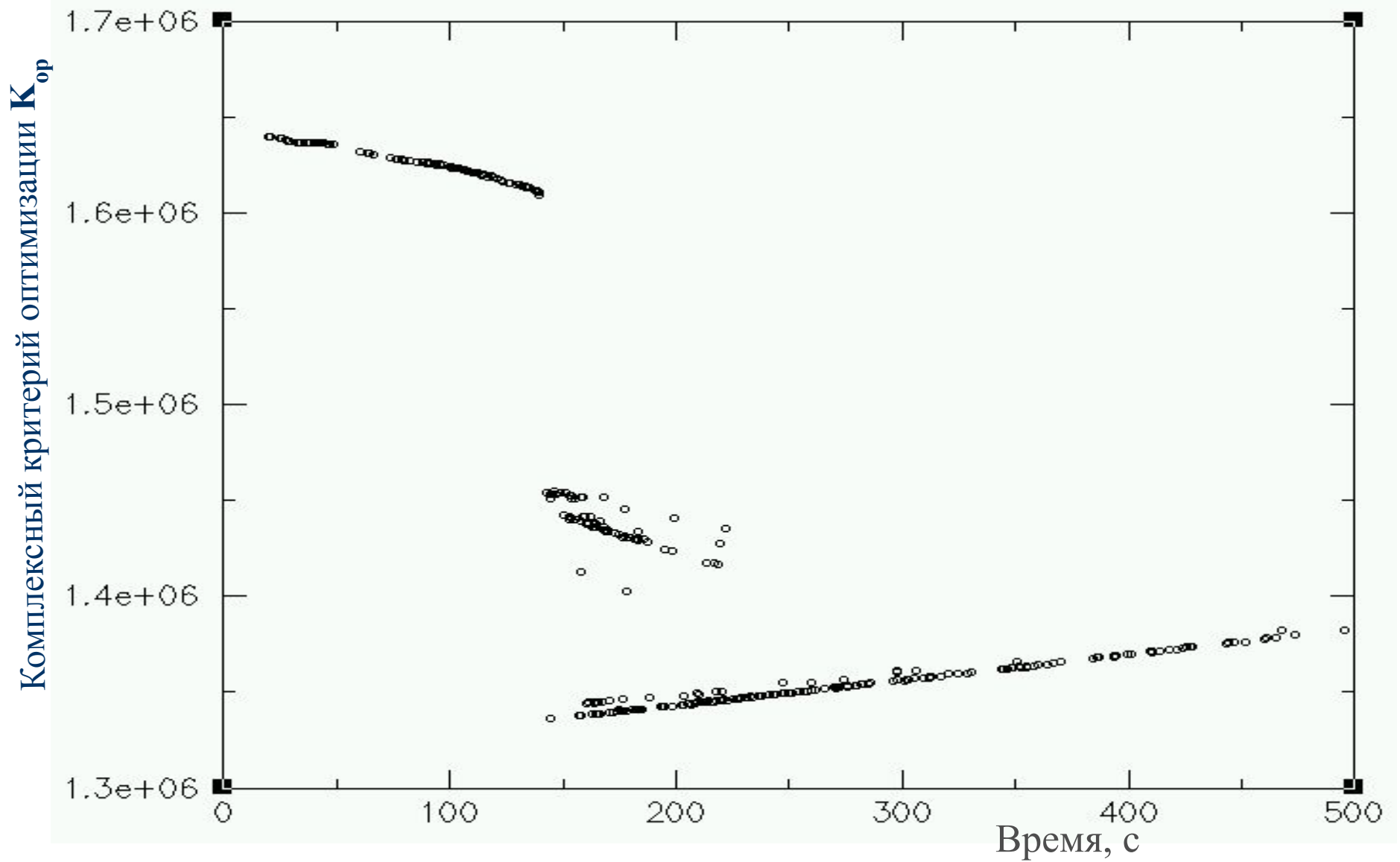
- RELAP5 модель, 4 петли
- В оптимизационных расчетах комплексный критерий оптимизации C_{op} использовался

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

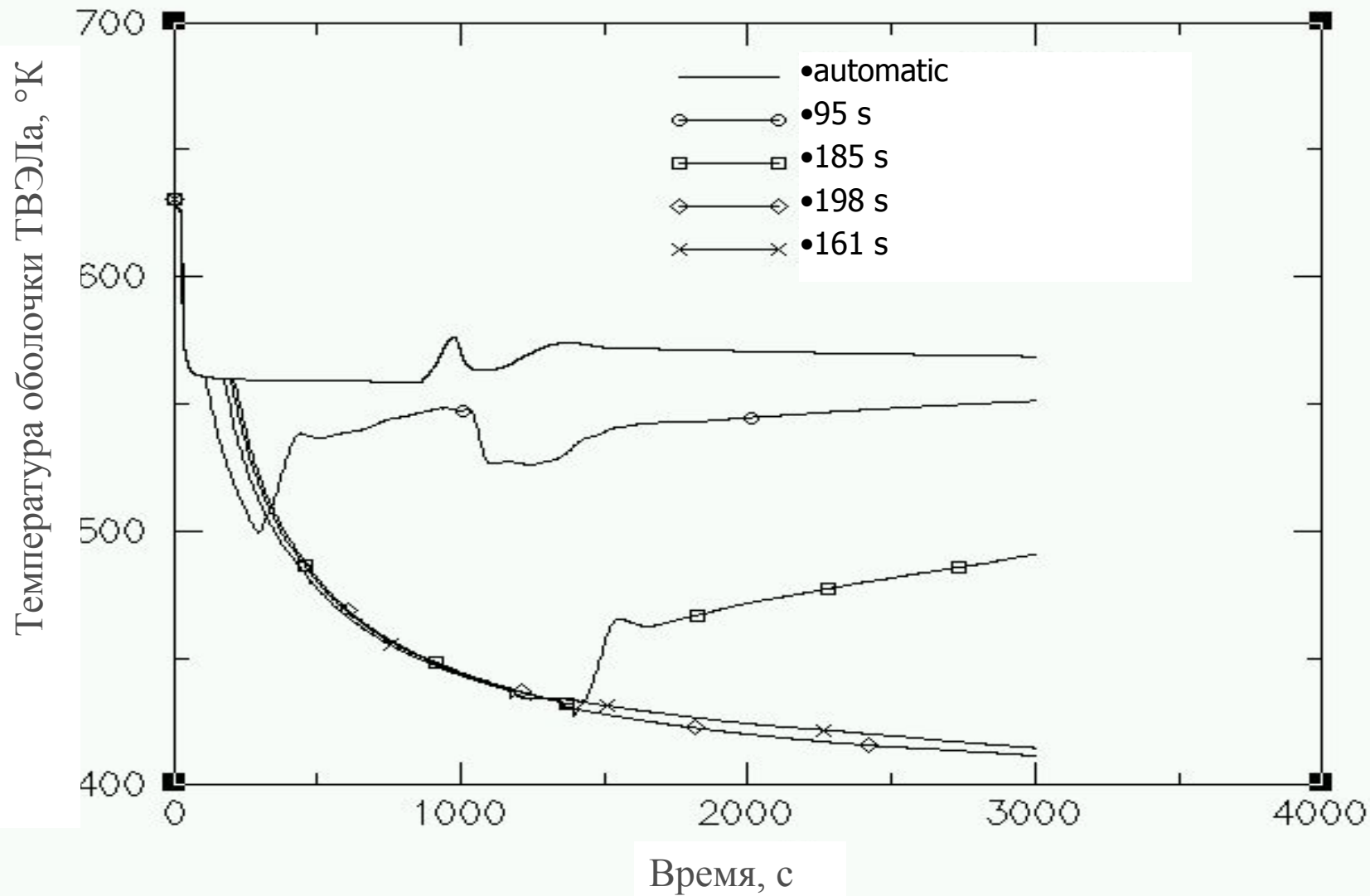
- T_{cld} – максимальная температура оболочки ТВЭЛа T_A – время окончания расчета.
- Время включения оператором БРУ-К было выбрано как одно из возможных управляющих воздействий и проводился поиск на его оптимальное значение.
- Рассматривались аварии - ЛОСА: течи 25 мм; 50 мм; + отказ насосов высокого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

РУ ВВЭР – 1000 / В320

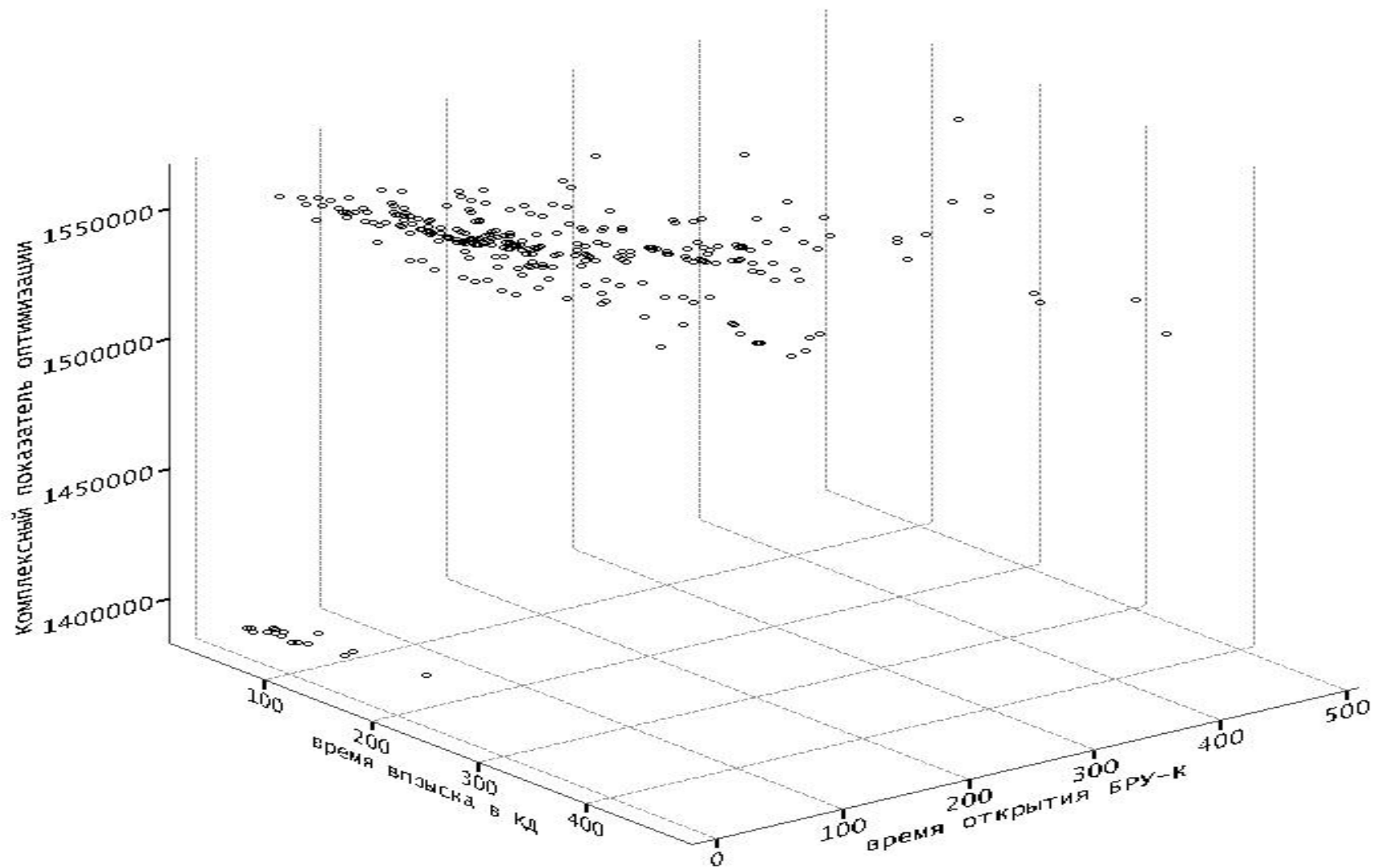




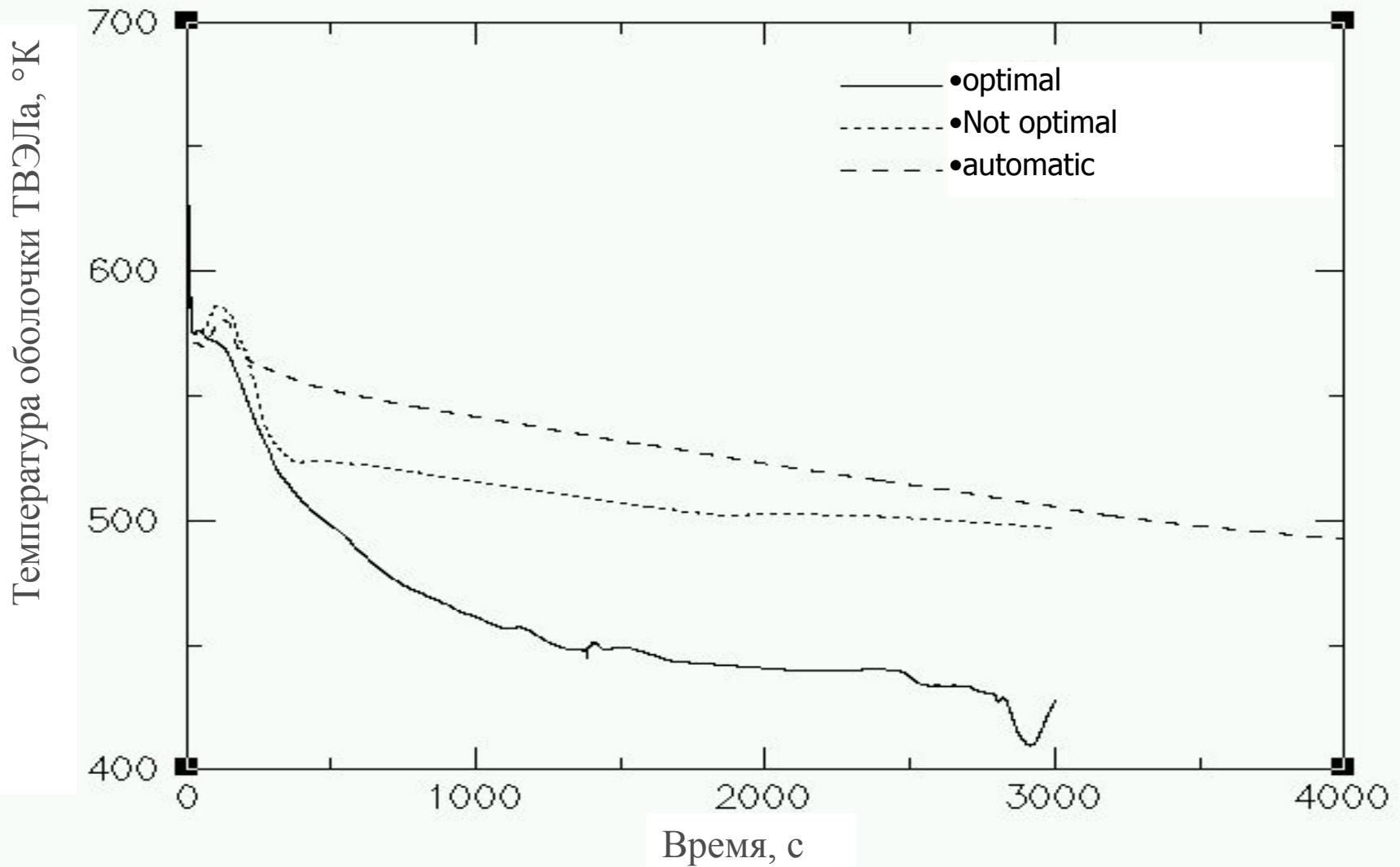
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К; разрыв Ду 25 мм ; ВВЭР-1000 / В320



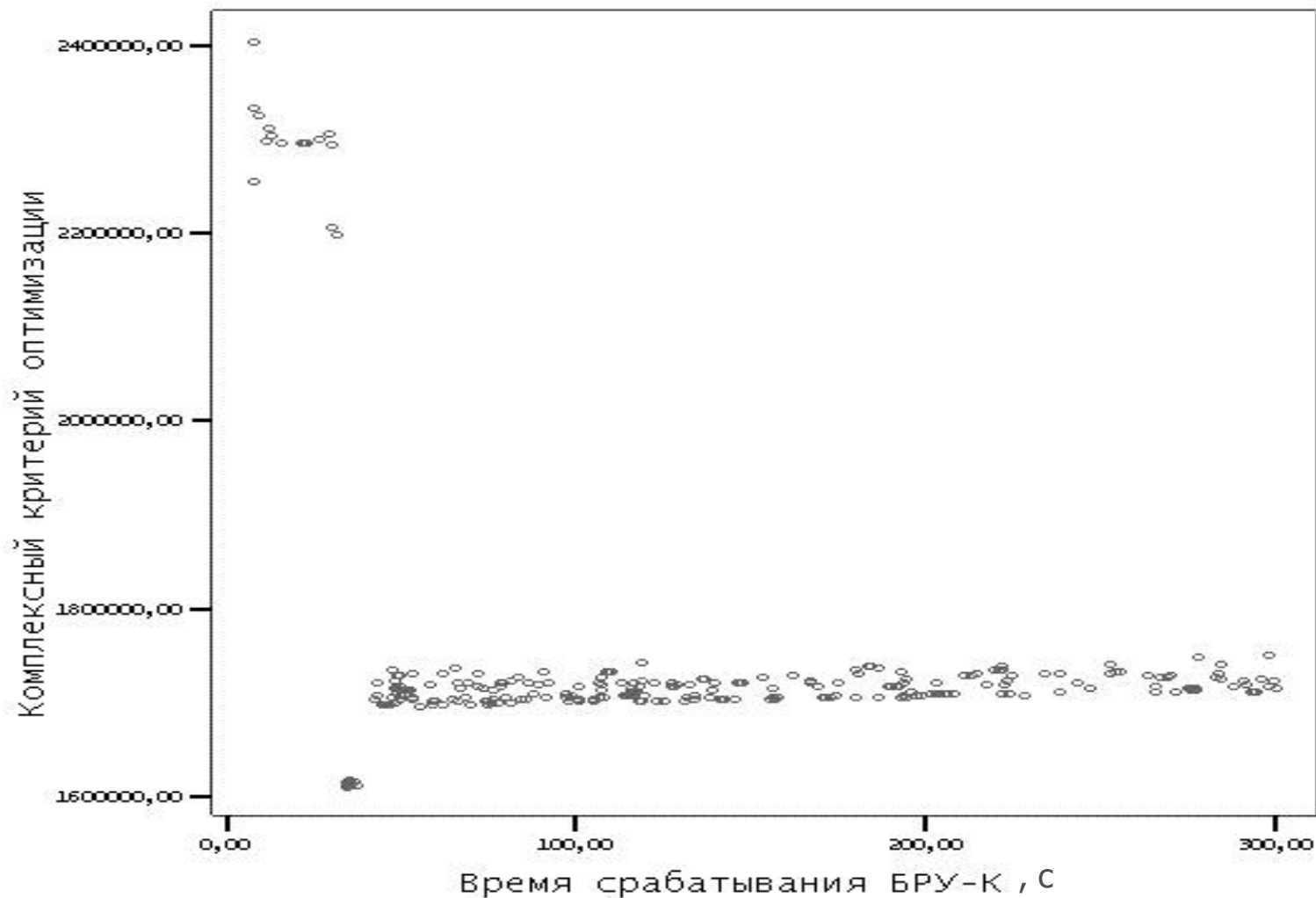
Зависимость изменения максимальной температуры ТВЭЛа от различного времени включения БРУ-К ; разрыв Ду 25 мм ; ВВЭР-1000 / В320



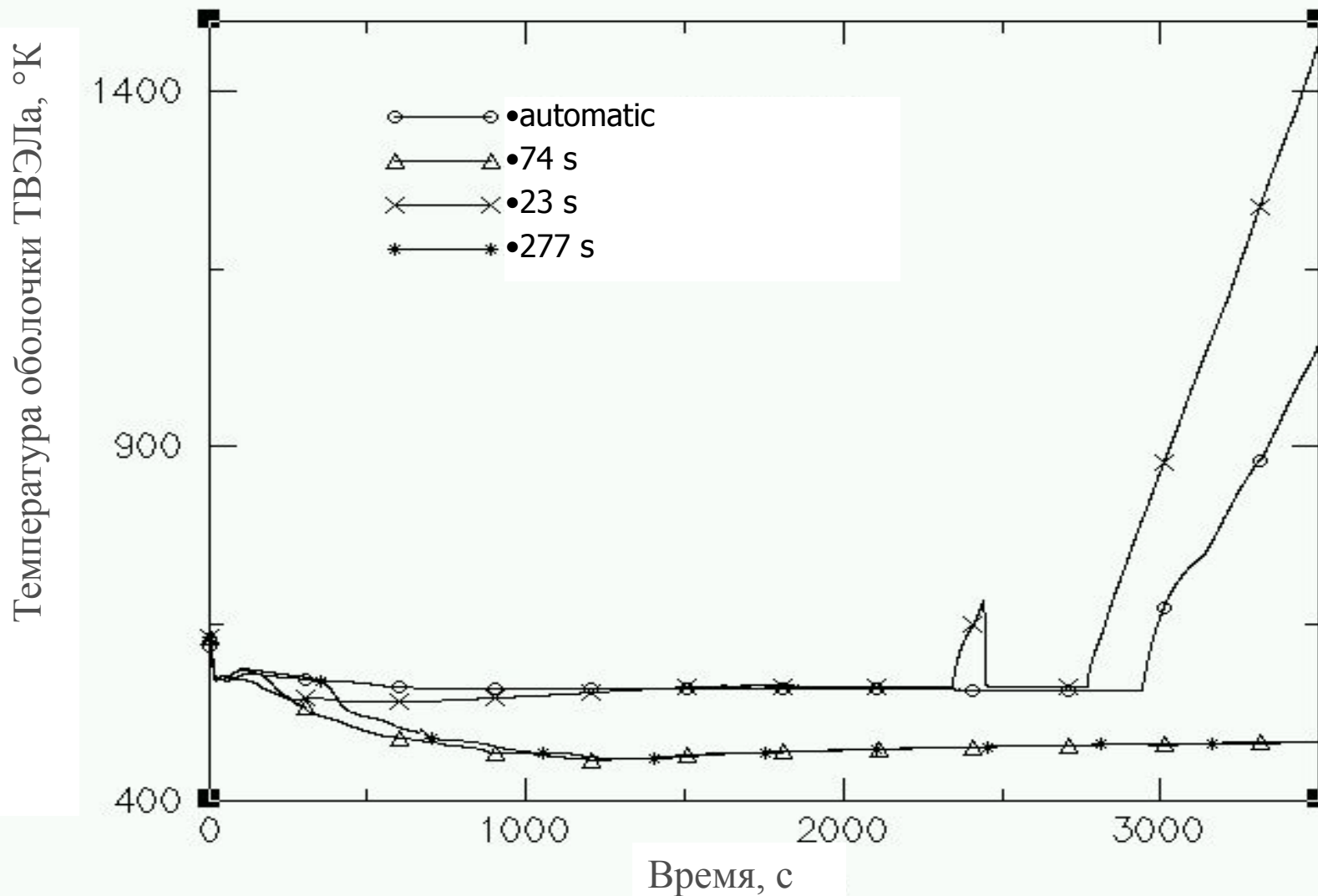
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К и впрыска в КД; разрыв Ду 50 мм ; ВВЭР-1000 / В320



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



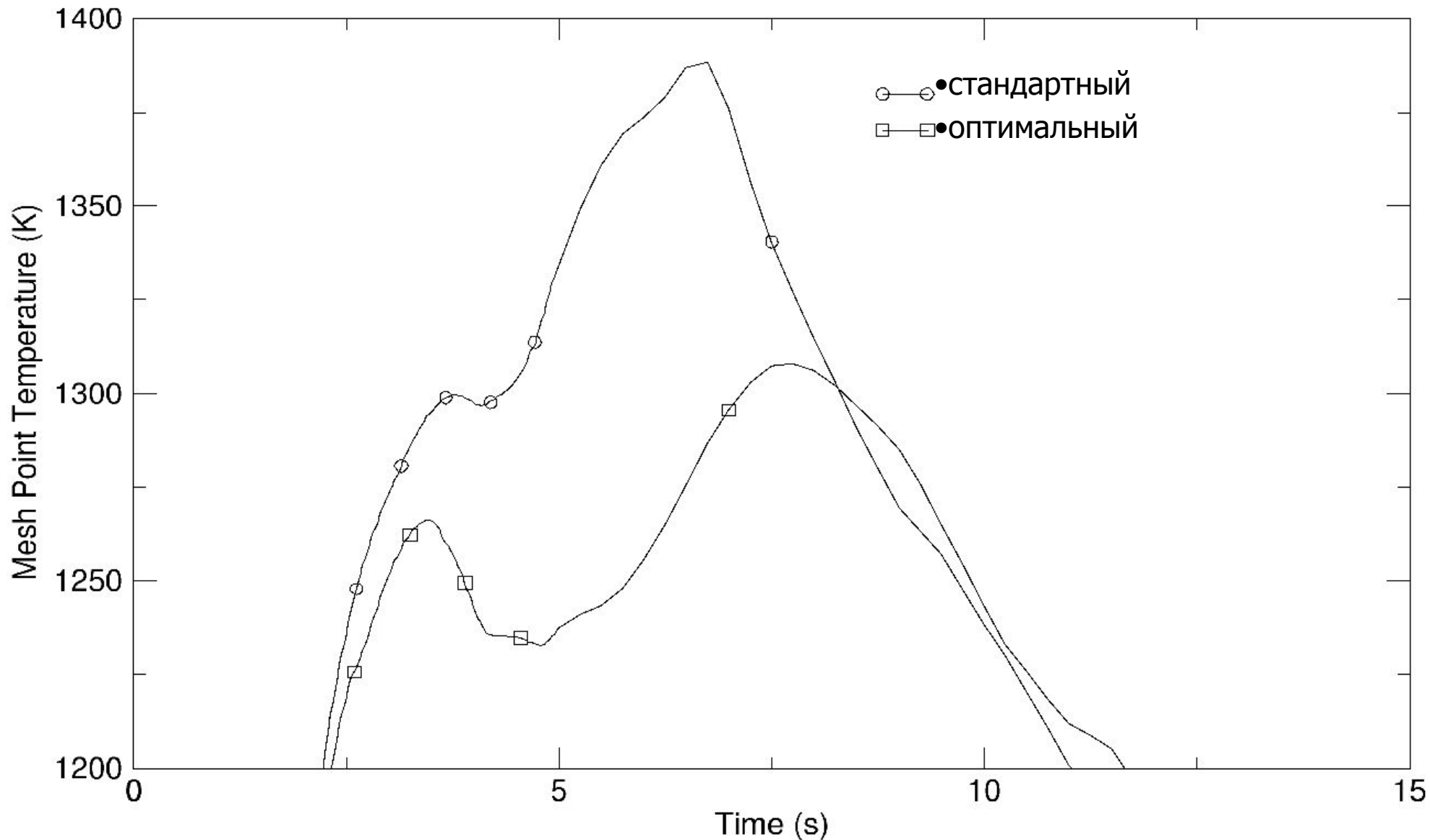
Зависимость комплексного критерия оптимизации от времени начала срабатывания БРУ-К при отказе группы насосов высокого давления; разрыв Ду 50 мм; ВВЭР-1000 / В320



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 петлях 2, 3 и 4.

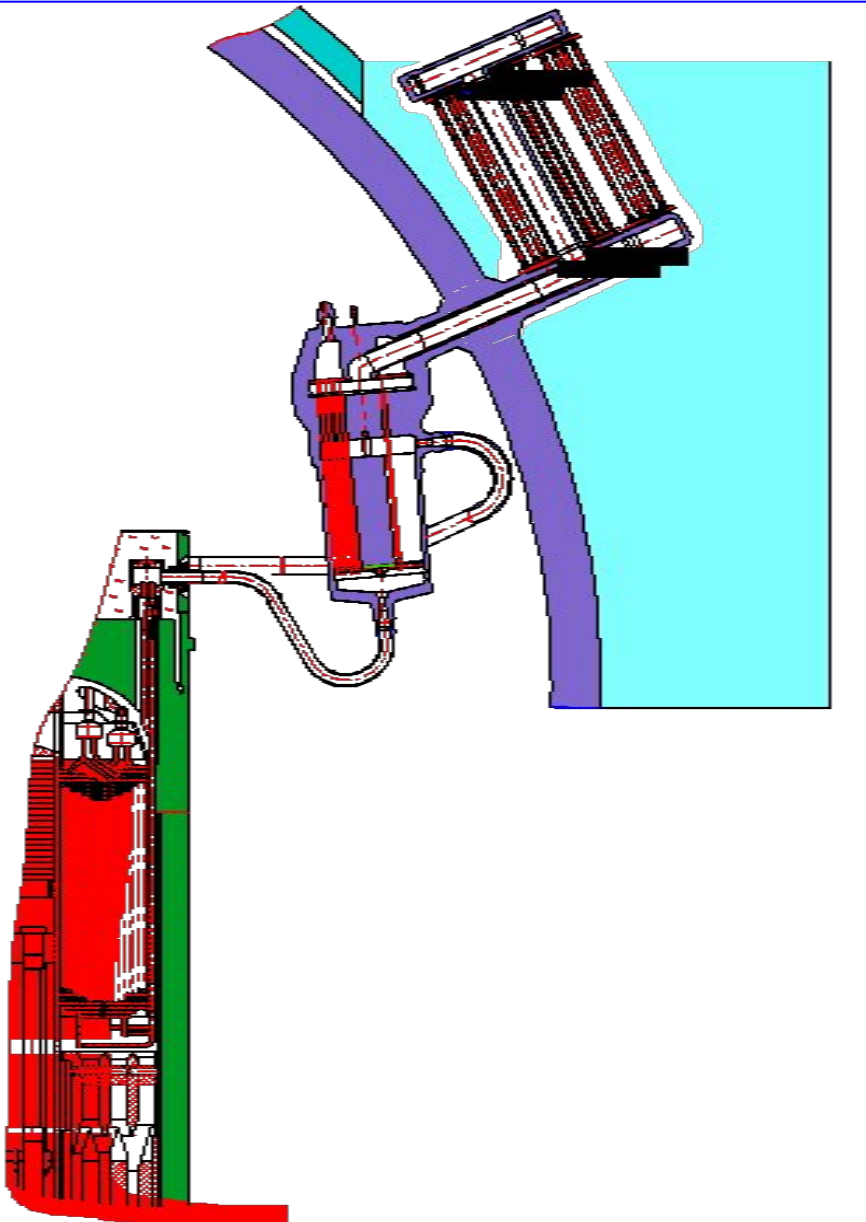


● **Изменение максимальной температуры оболочки наиболее нагруженного ТВЭЛа для стандартного и оптимального вариантов отключения ГЦН (увеличено).**

Оптимизация пассивной системы безопасности для транспортных ЯЭУ

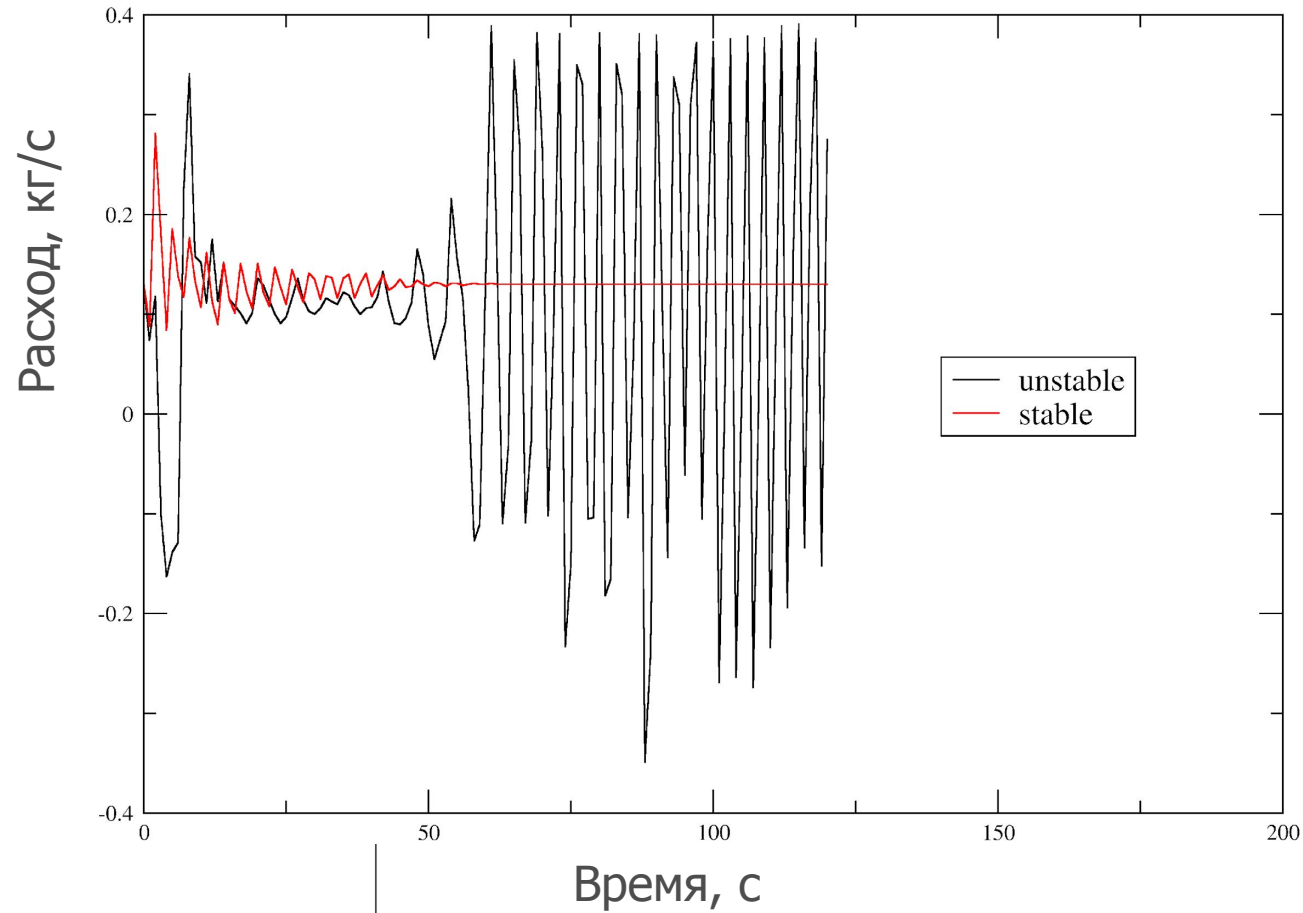
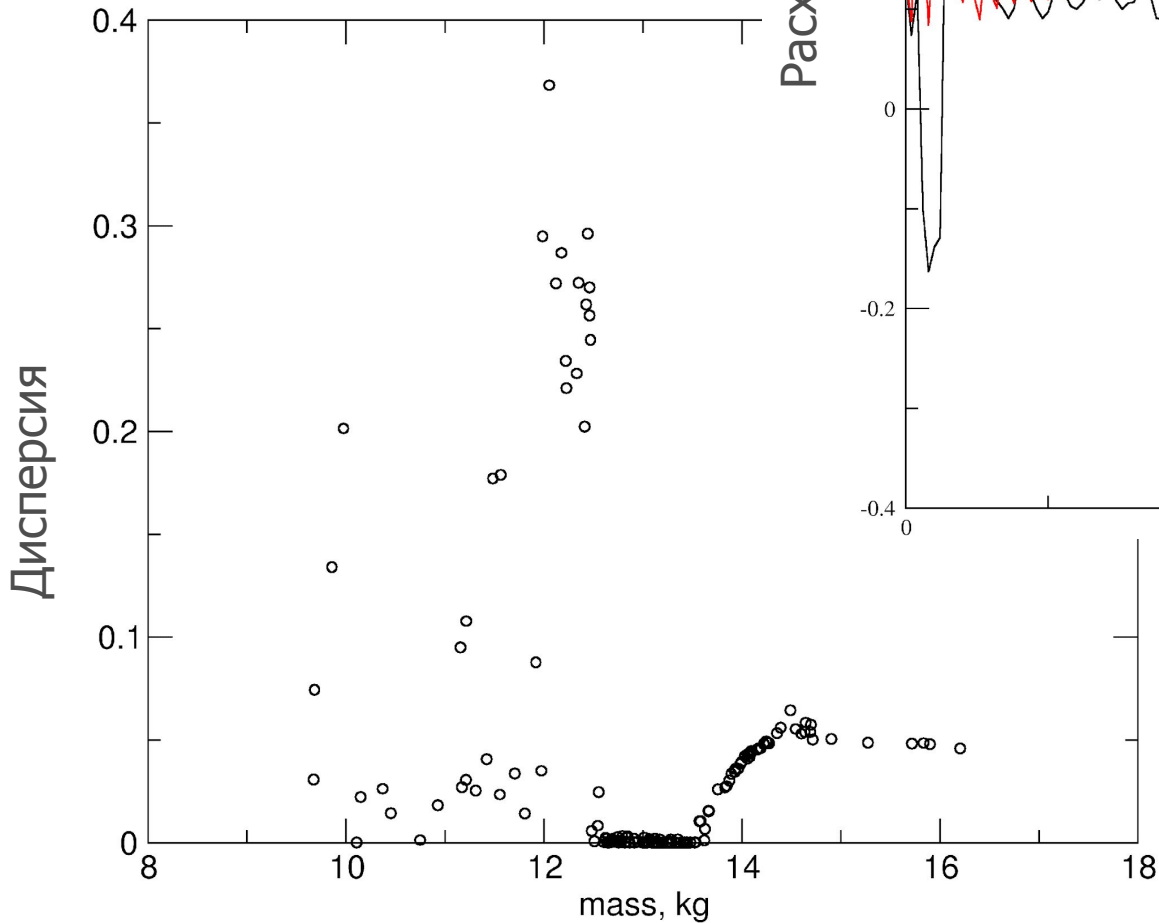
- **Основная задача** – нахождение количества теплоносителя в промежуточном контуре для получения стабильной естественной циркуляции
- Адаптация системы NPO для решения данной задачи
- Варьирование количества жидкой фазы в 7 нодализационных элементах модели

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.

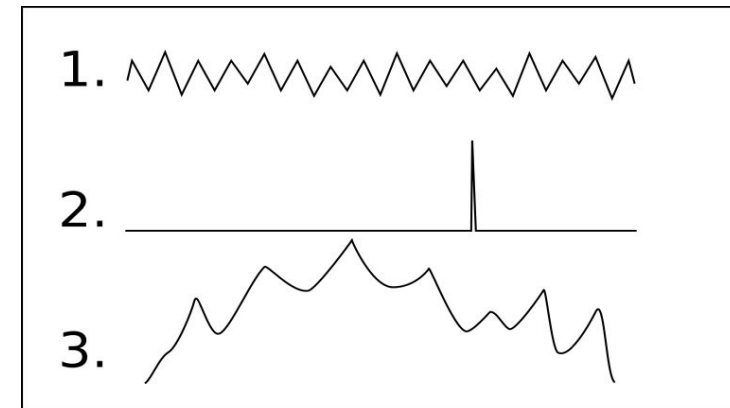
Частичная
Поддержка
Стокгольмского
Технологического
Института с 2006 г.,
интерес группы
разработчиков
RELAP7 в настоящий
момент

Направления развития

1. Выбор целевой функции оптимизации (функции приспособляемости 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