

ФГУП «ЭНИЦ»

Электрогорский научно-исследовательский центр

MNTK-2007

5-я международная

научно-техническая конференция

«Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР»

**Экспериментально-аналитическое
исследование на стенде ПСБ-ВВЭР
переходного режима с обесточиванием
АЭС с РУ ВВЭР-1000**

29 мая – 1 июня 2007 г.

г. Подольск, ФГУП ОКБ "ГИДРОПРЕСС"

***И.А. Липатов, А.В. Капустин,
С.М. Никонов, А.А. Ровнов, А.В. Басов, И.В. Елкин***

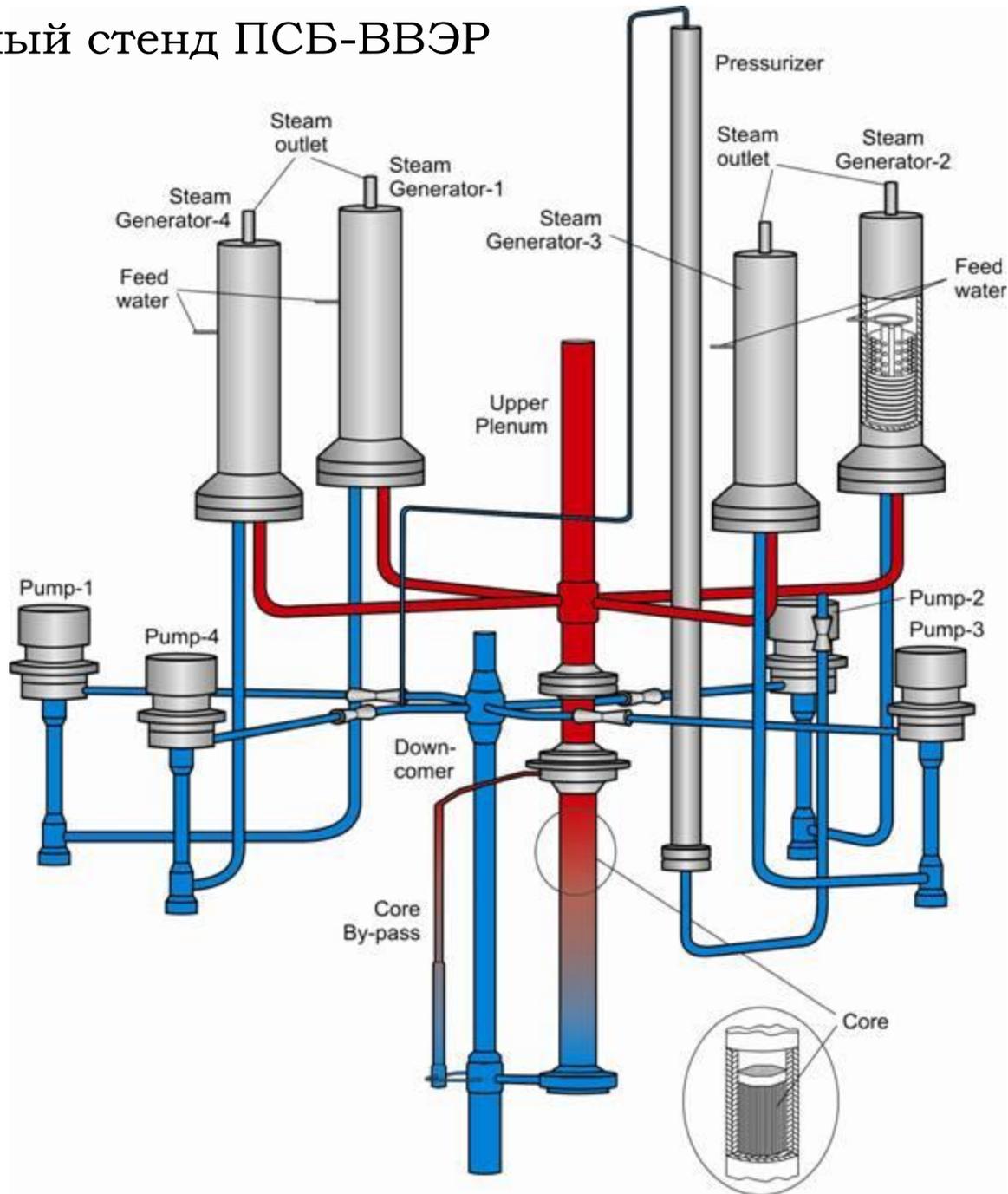
Цели работы

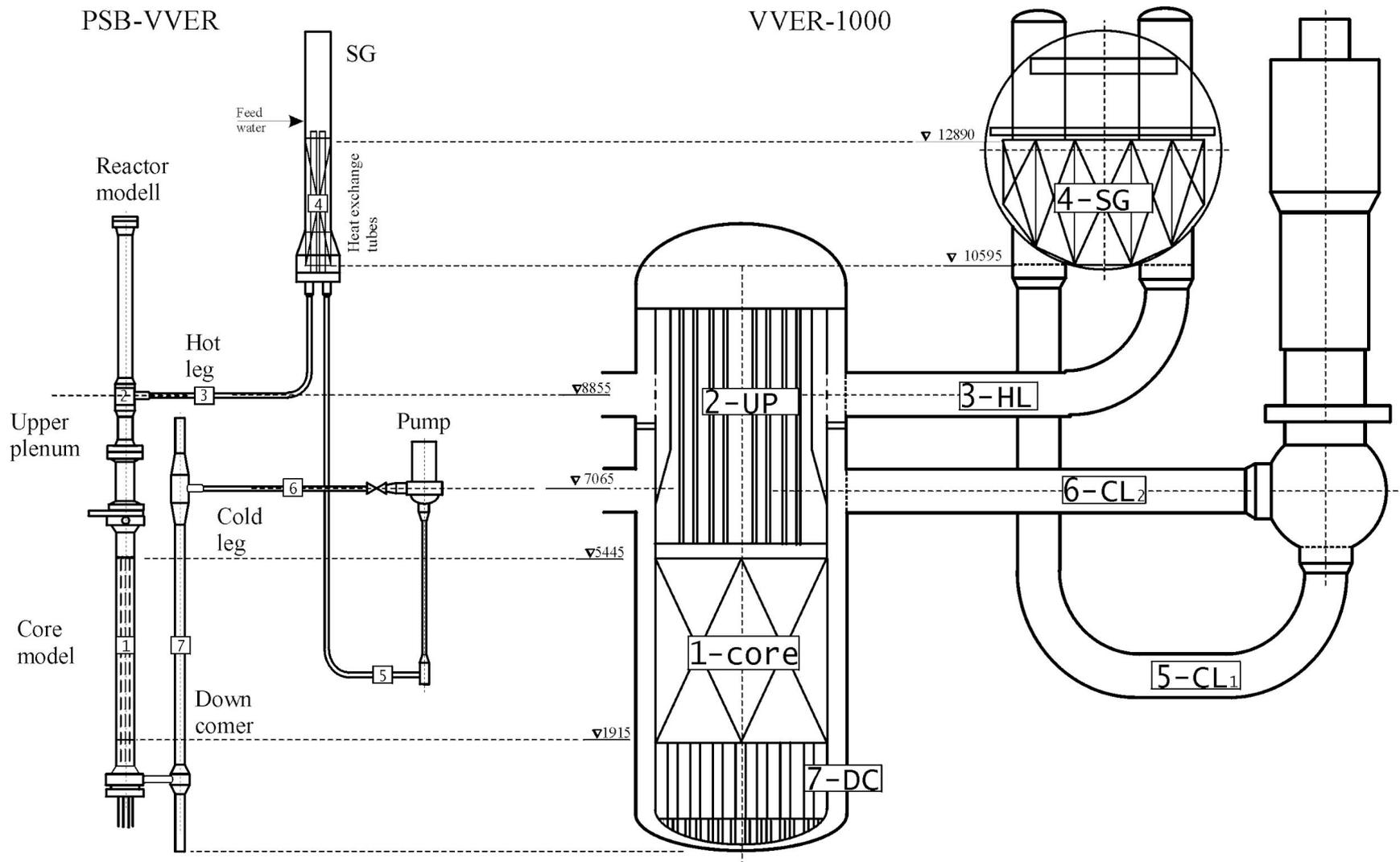
1. Исследование процесса ухудшения теплообмена при постепенном уменьшении массы теплоносителя второго контура парогенераторов РУ ВВЭР-1000
2. Моделирование этого процесса с помощью теплогидравлического кода RELAP5/MOD3.3

Содержание

1. Интегральный теплофизический стенд ПСБ-ВВЭР
2. Эксперимент «Моделирование на стенде ПСБ-ВВЭР переходного режима с обесточиванием АЭС с ВВЭР»
3. Анализ эксперимента с помощью кода RELAP5/MOD3.3
 - Три способа нодализации парогенераторов
 - Влияние нодализационной схемы на теплообмен во втором контуре ПГ
4. Расчетный анализ аналогичного переходного режима в РУ ВВЭР. Изменение теплообмена при уменьшении уровня в ПГ.

Интегральный стенд ПСБ-ВВЭР





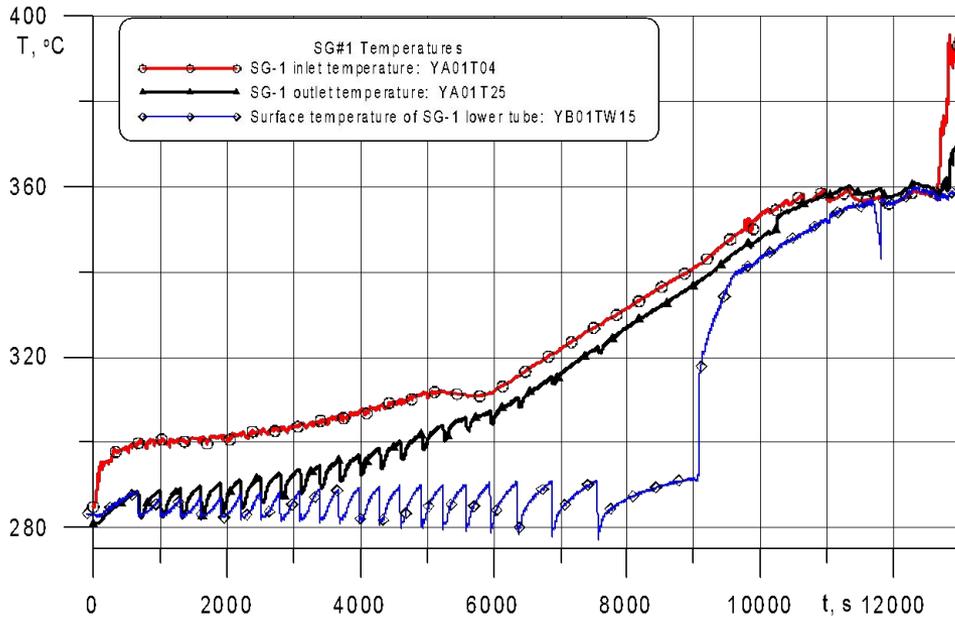
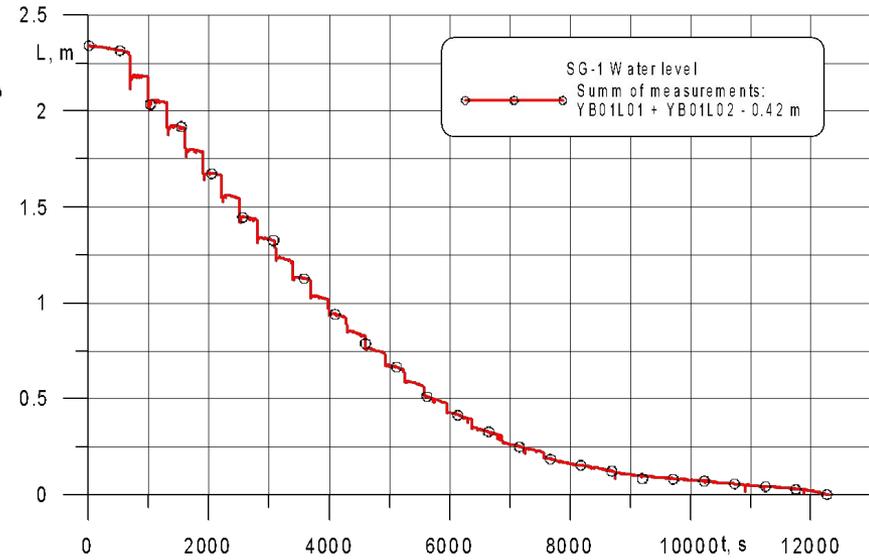
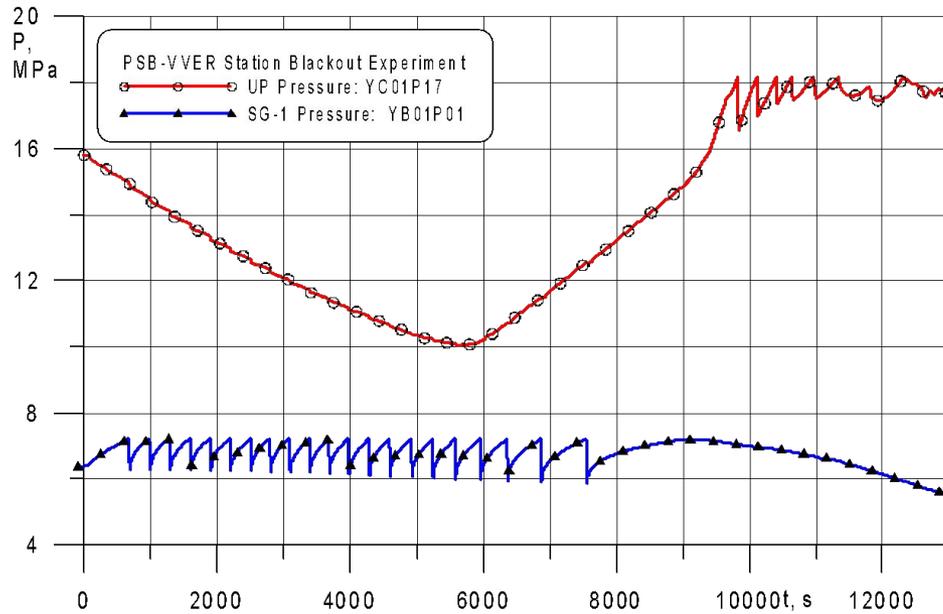
РУ ВВЭР-1000 и стенд ПСБ-ВВЭР

Начальные условия

Параметр	Измеренный	Расчетный
<i>Первый контур</i>		
давление в ВКС, МПа	15.8	15.82
Мощность активной зоны, кВт	379	379
Мощность байпаса зоны, кВт	4.1	4.1
Температура на выходе ВКС, °С	284.6	284.1
Температура на входе в ОУ, °С	278.1	277.8
Уровень воды в КД, м	6.26*	6.26*
<i>Второй контур</i>		
Давление во втором контуре, МПа	6.39	6.39
Уровень в ПГ, м	2.3	2.3

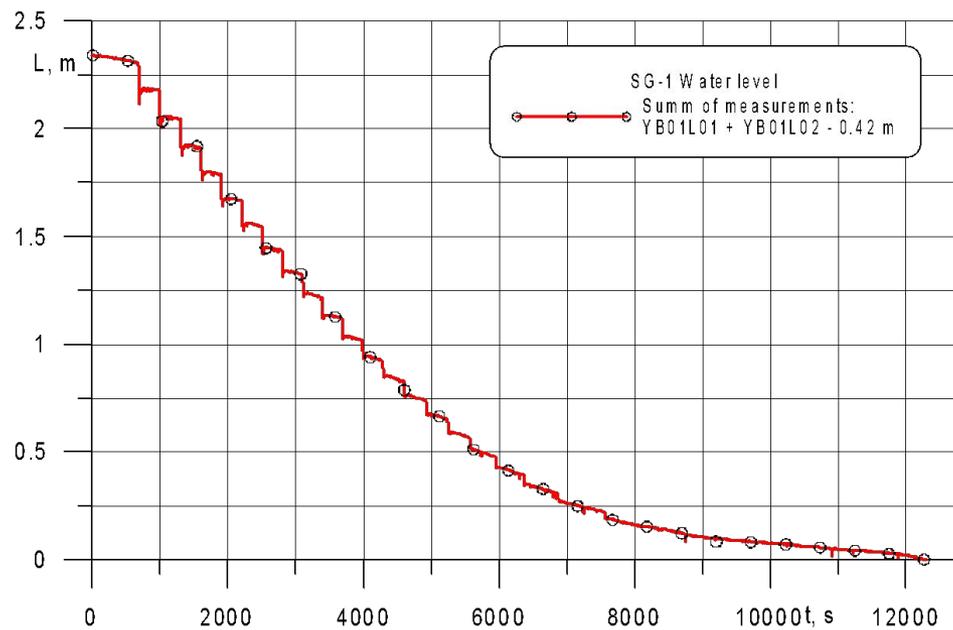
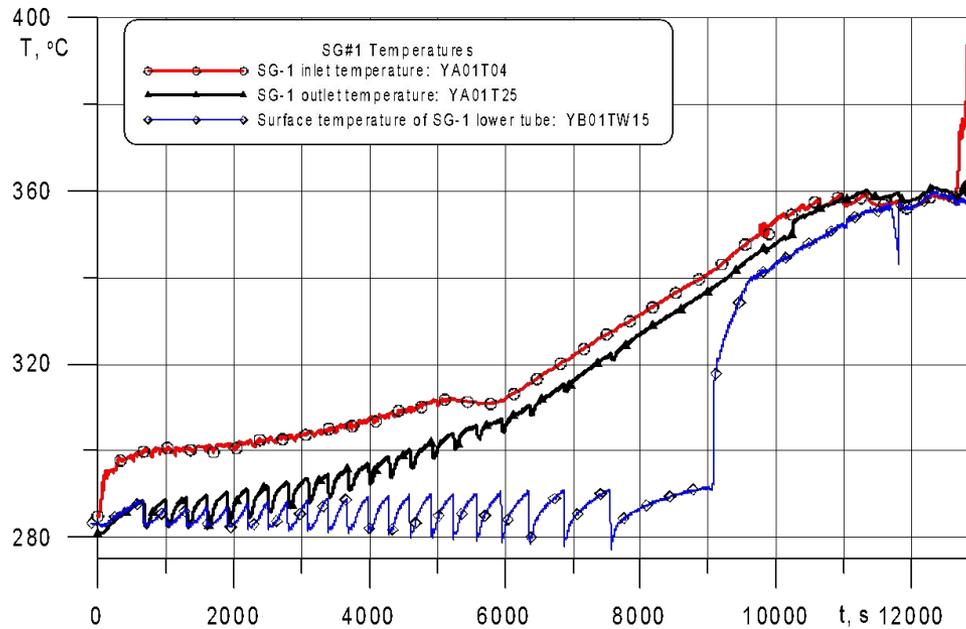
Мощность 383 кВт □ 253 кВт = 2.53%
130 кВт тепловые потери

Эксперимент на ПСБ-ВВЭР «Обесточивание станции»



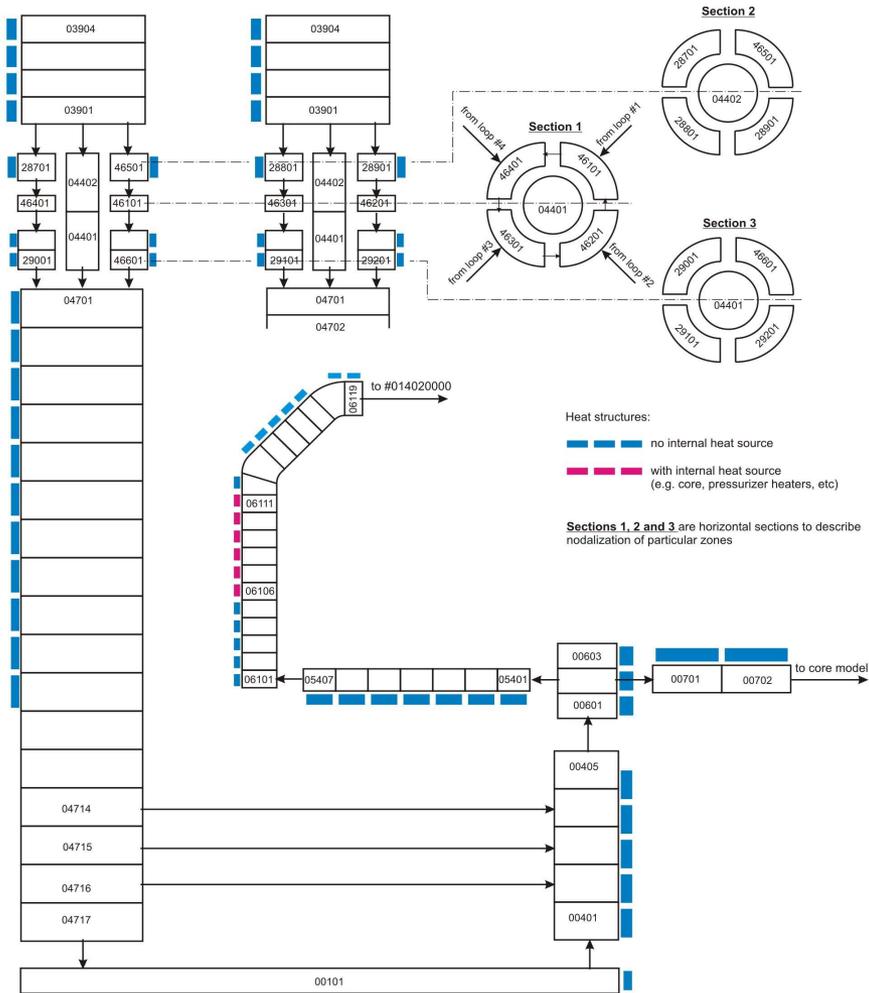
- Обесточивание
- Потеря питательной воды
- Останов всех ГЦН
- Системы безопасности не моделируются
- Уменьшение давления в первом контуре
- Выкипание теплоносителя второго контура
- Разогрев и подъем давления в первом контуре
- Потеря теплоносителя через открытый ИПУ КД
- Разогрев активной зоны

Эксперимент на ПСБ-ВВЭР «Обесточивание станции»

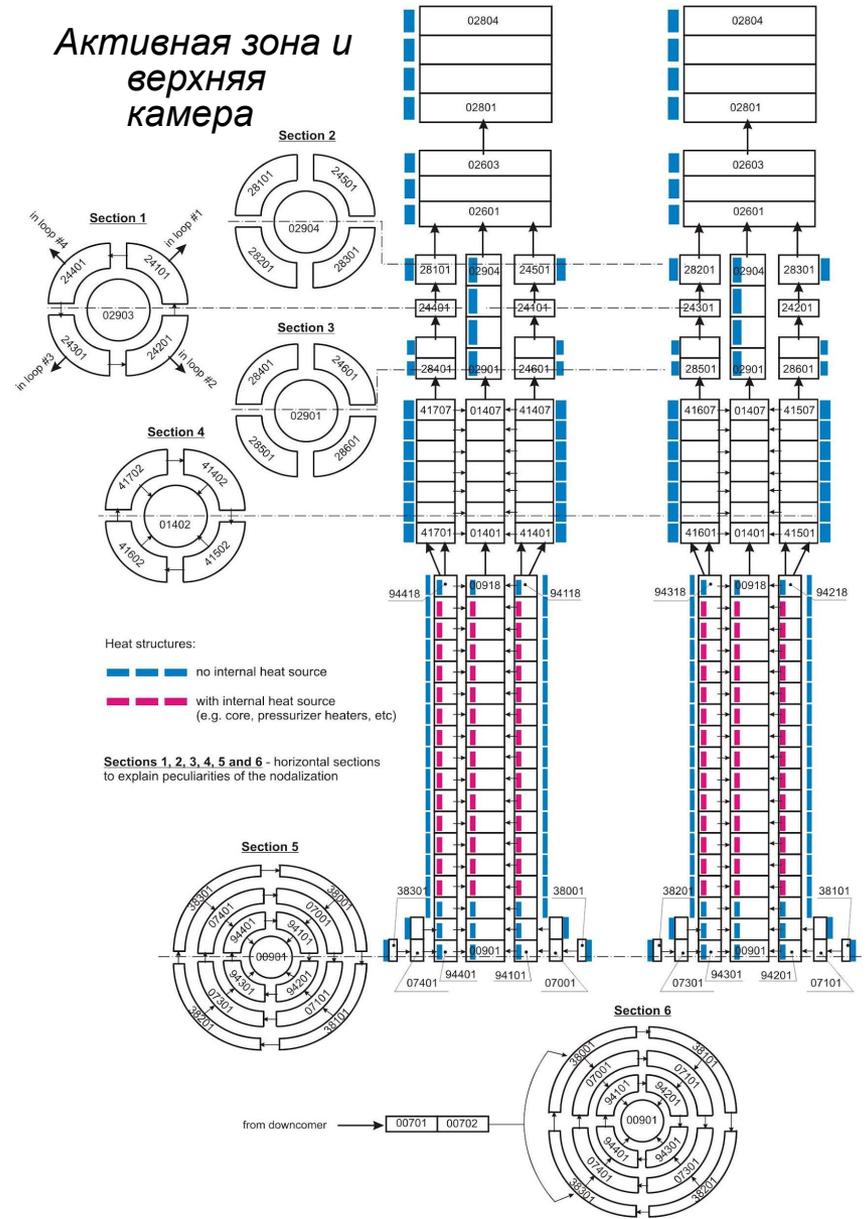


Входная модель стэнда ПСБ-ВВЭР

Опускной участок



Активная зона и верхняя камера



Нодализация парогенераторов

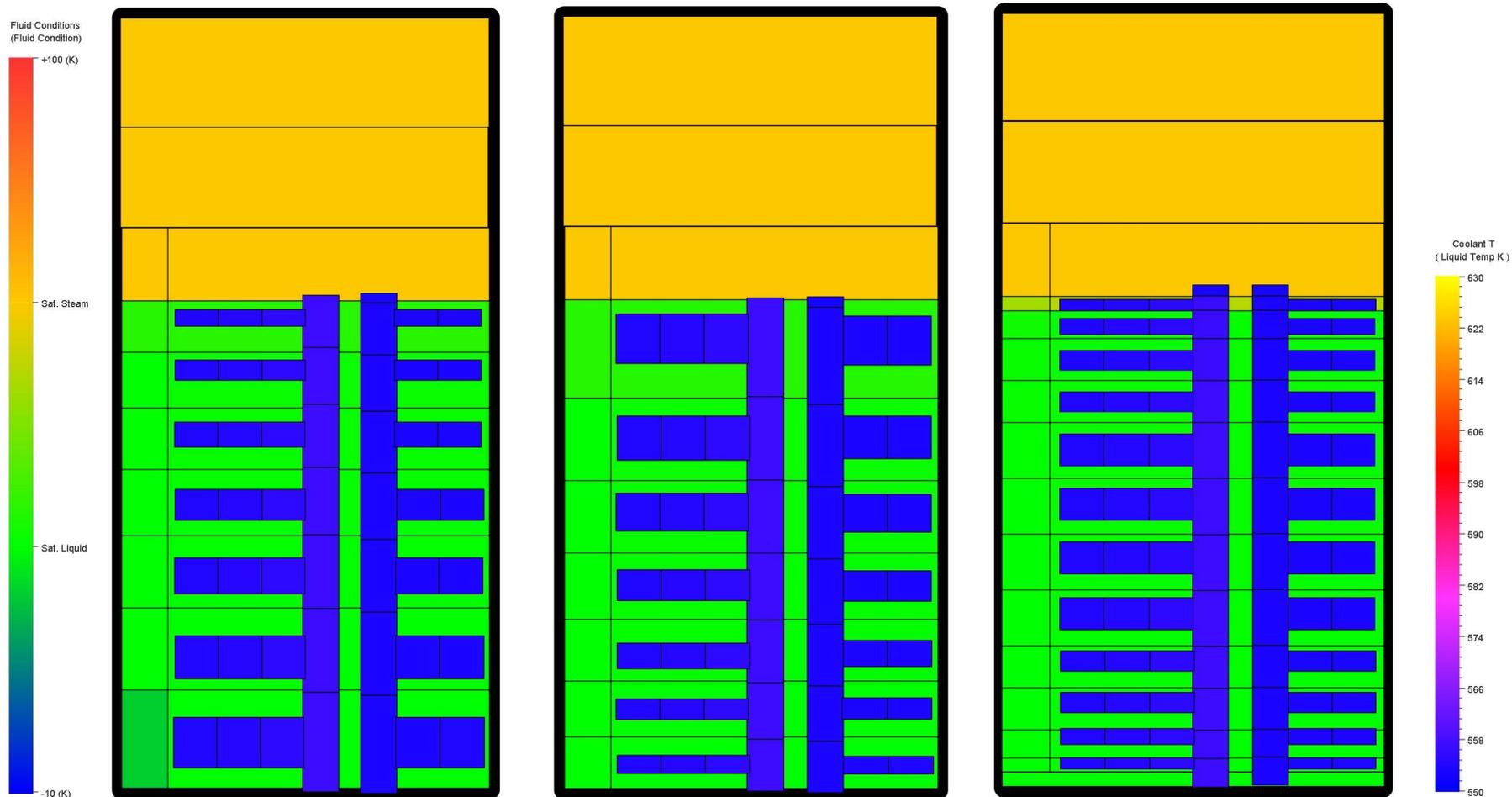


Схема 1
7 слоев трубок

Схема 2
7 слоев трубок

Схема 3
12 слоев трубок

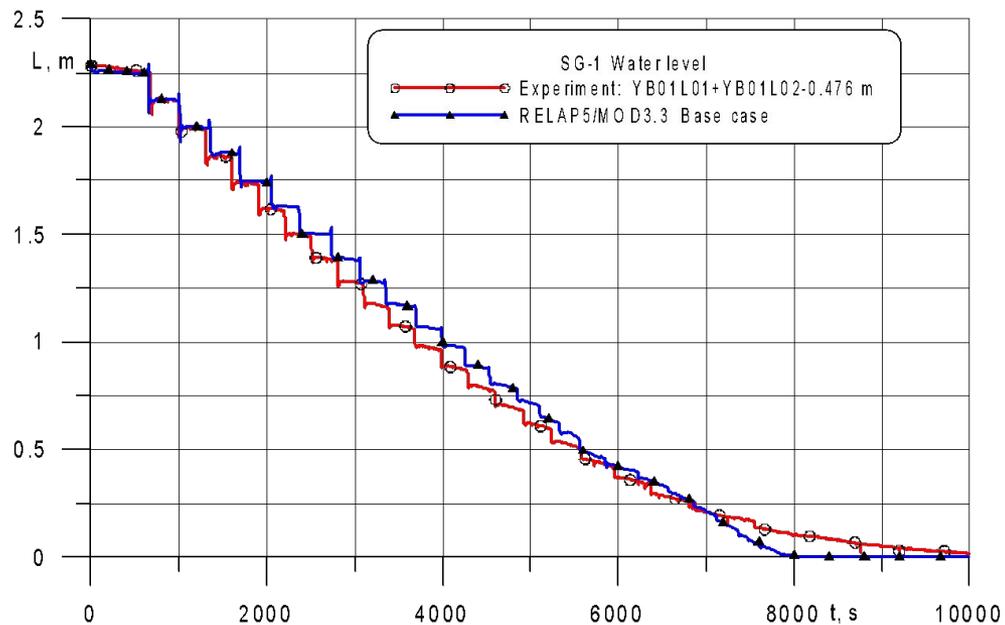
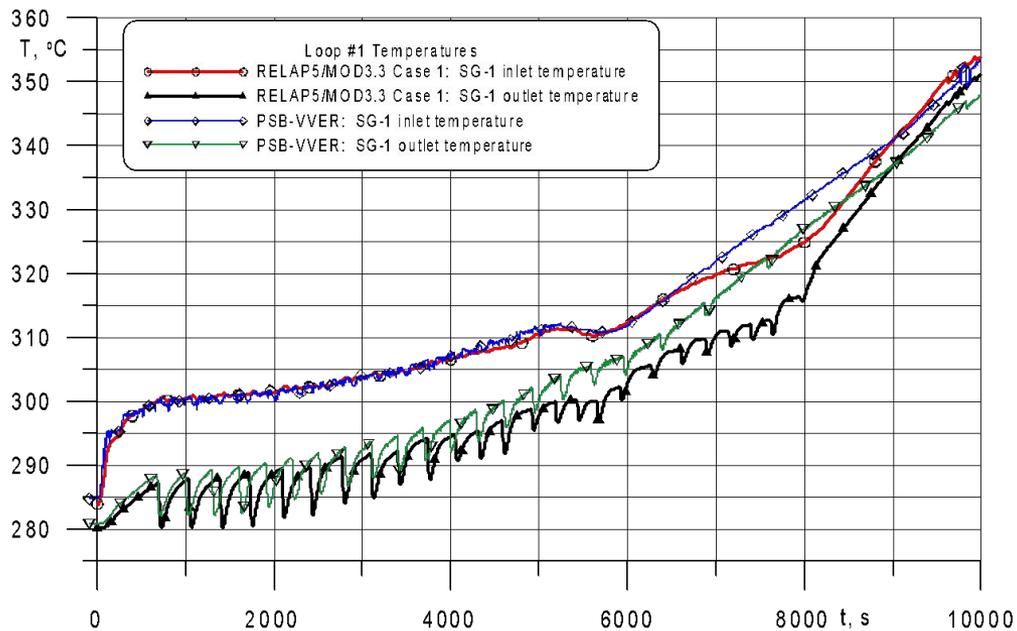
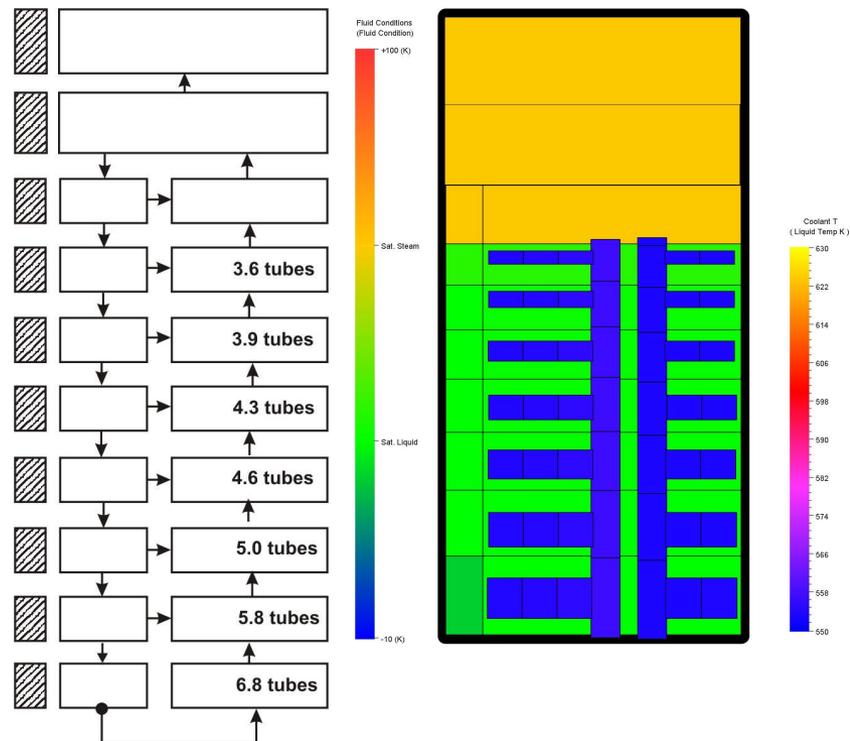
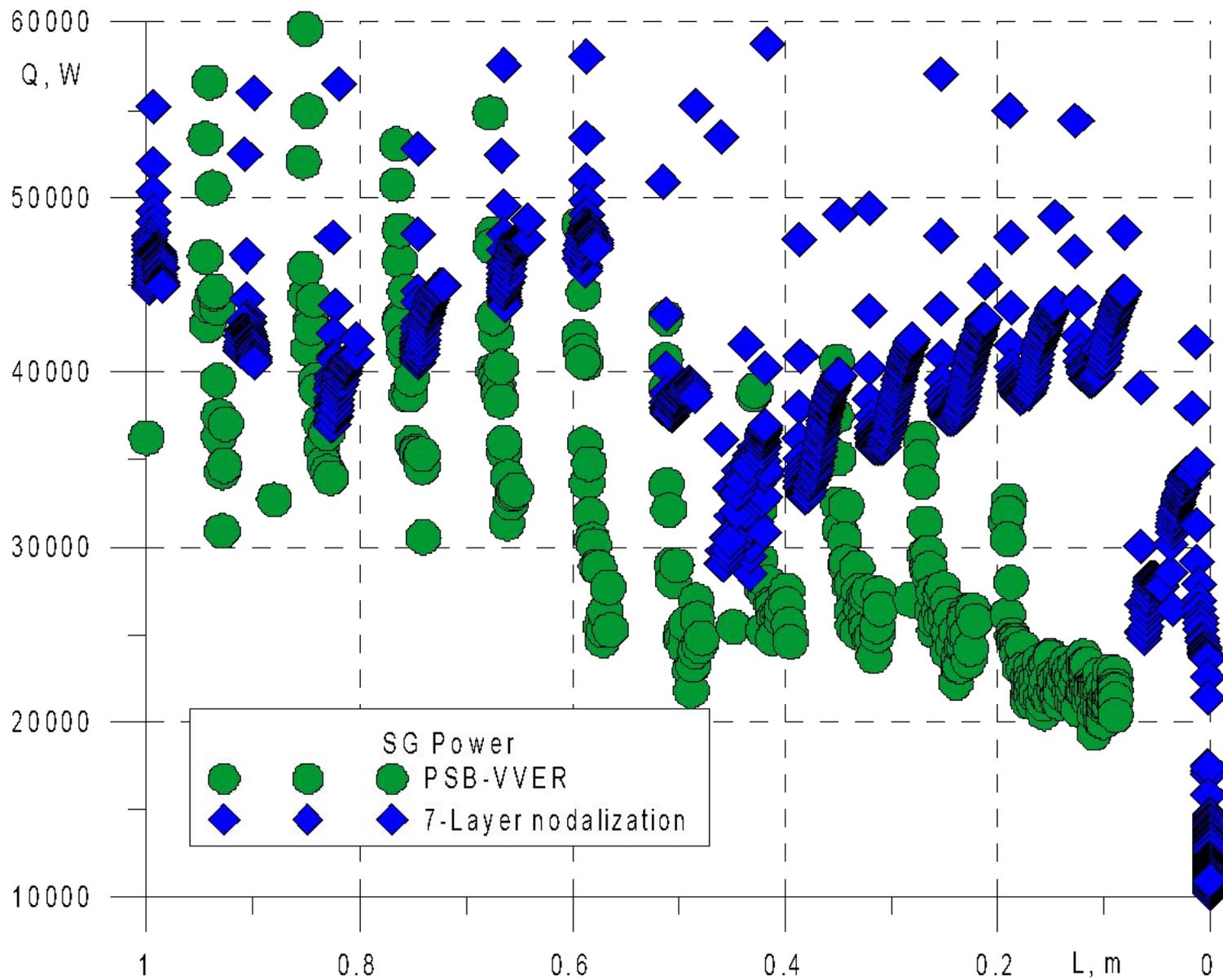
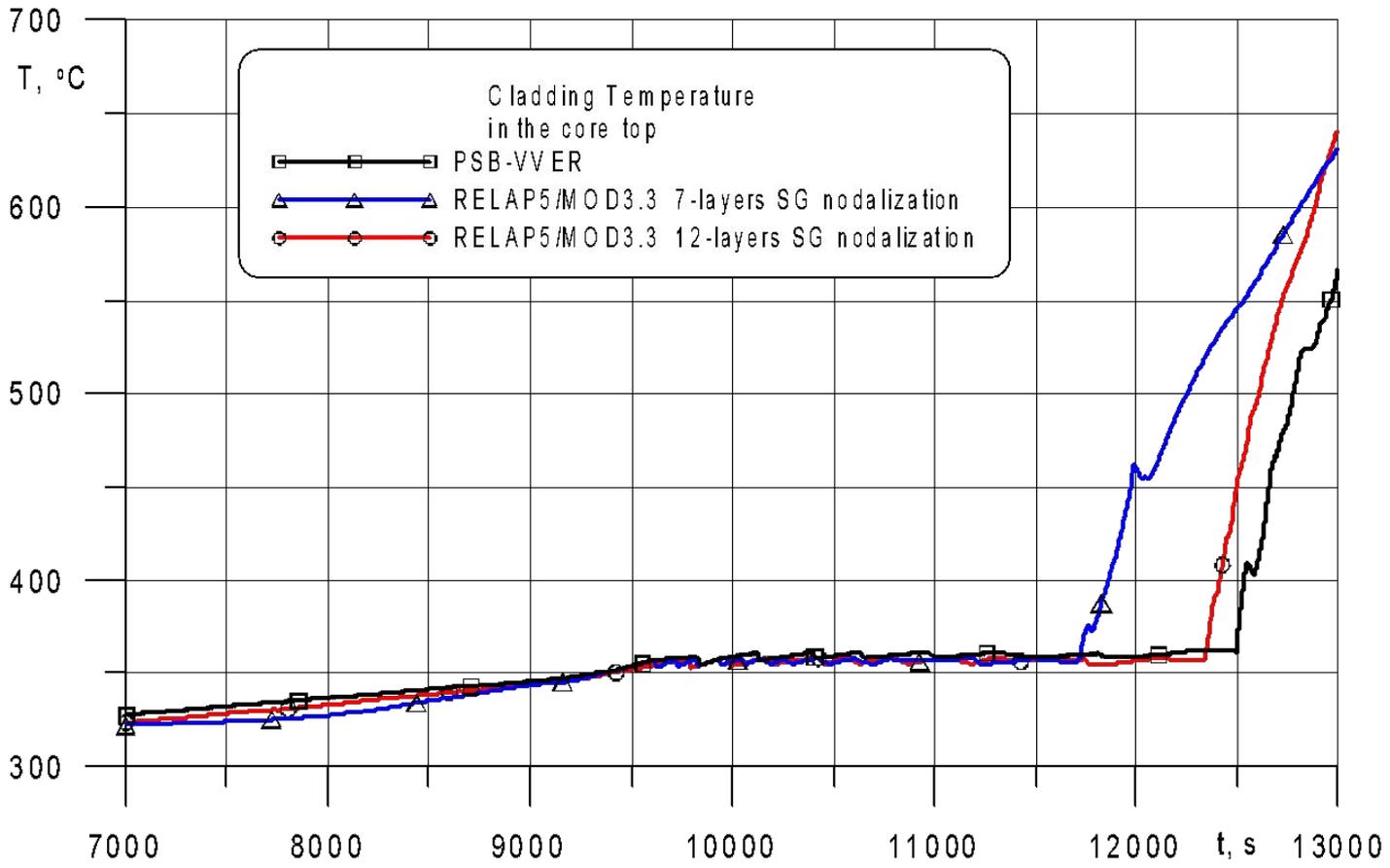


Схема 1 7 слоев трубок



Нижний слой:
6.8 трубки = 20 % общей
теплопередающей поверхности





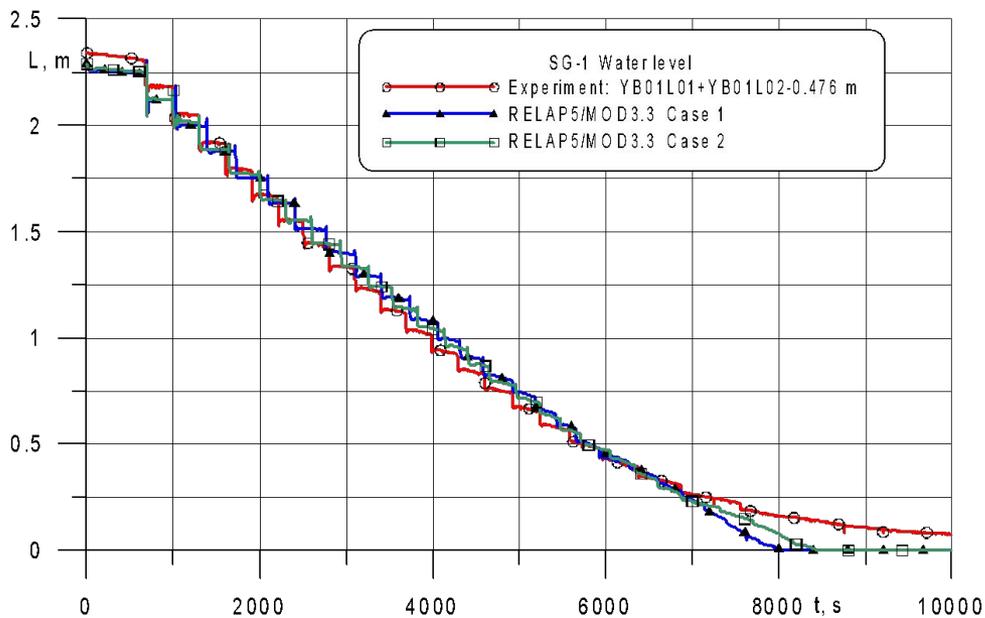
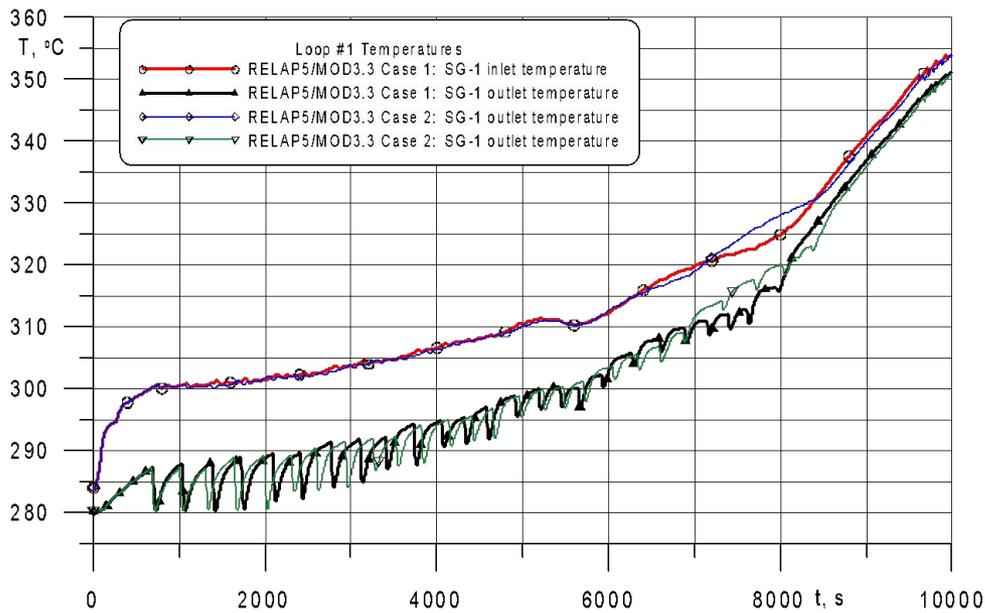
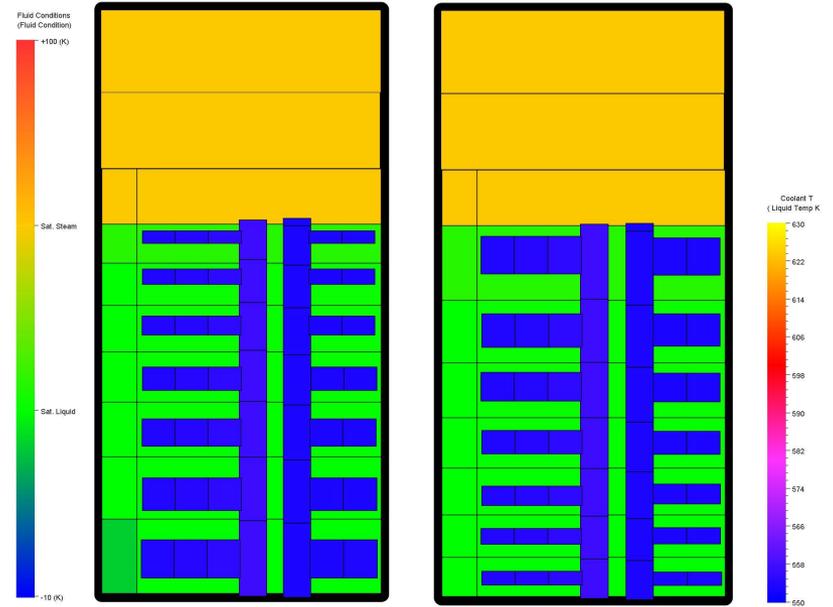


Схема 1
7 слоев трубок

Схема 2
7 слоев трубок

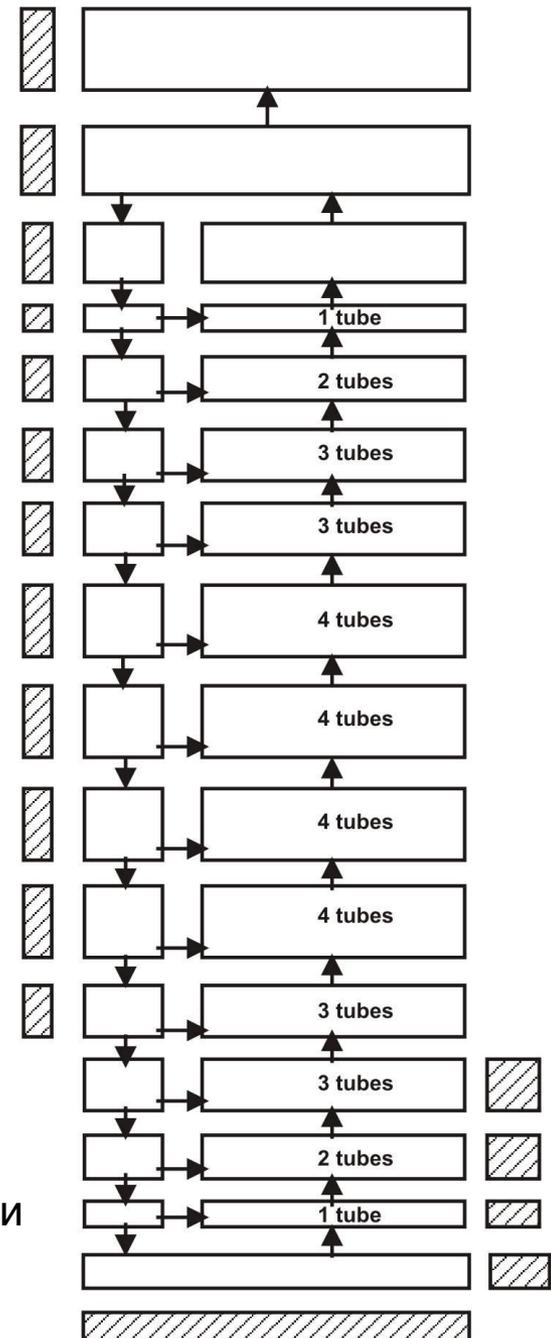


Нижний слой:
3.6 трубки = 10.6 % общей
теплопередающей поверхности

Схема 3
12 слоев трубок

1. Трубный пучок представлен 12 слоями
2. Верхняя и нижняя ячейки в модели трубного пучка соответствуют одной теплообменной трубке
3. Дополнительная ячейка добавлена, чтобы учесть небольшую область (70 мм) между дном и трубным пучком

1 трубка = 2.94 % общей теплопередающей поверхности



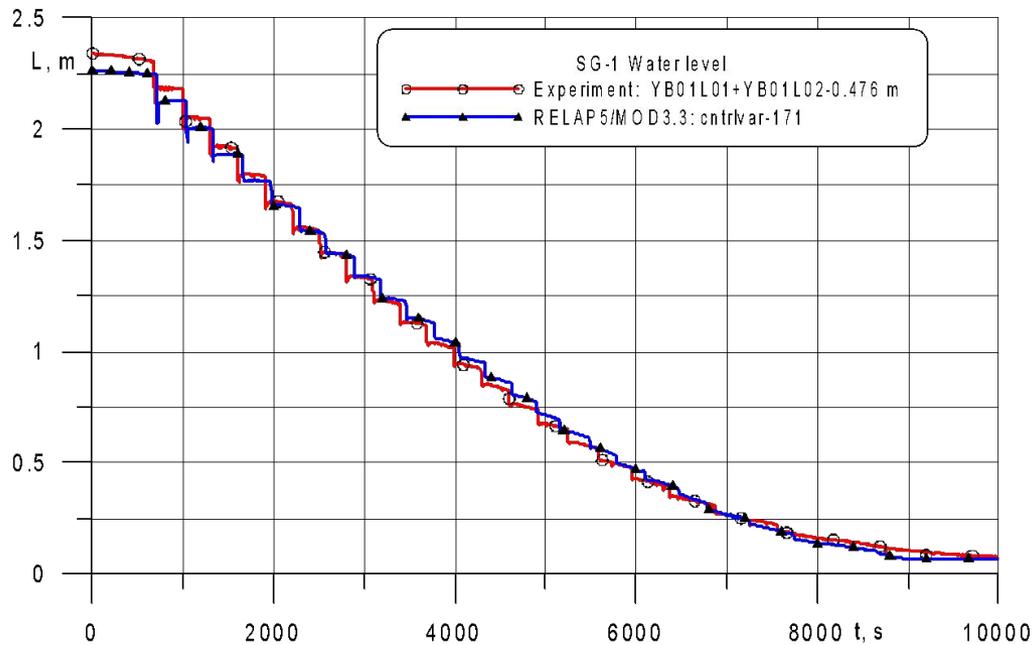
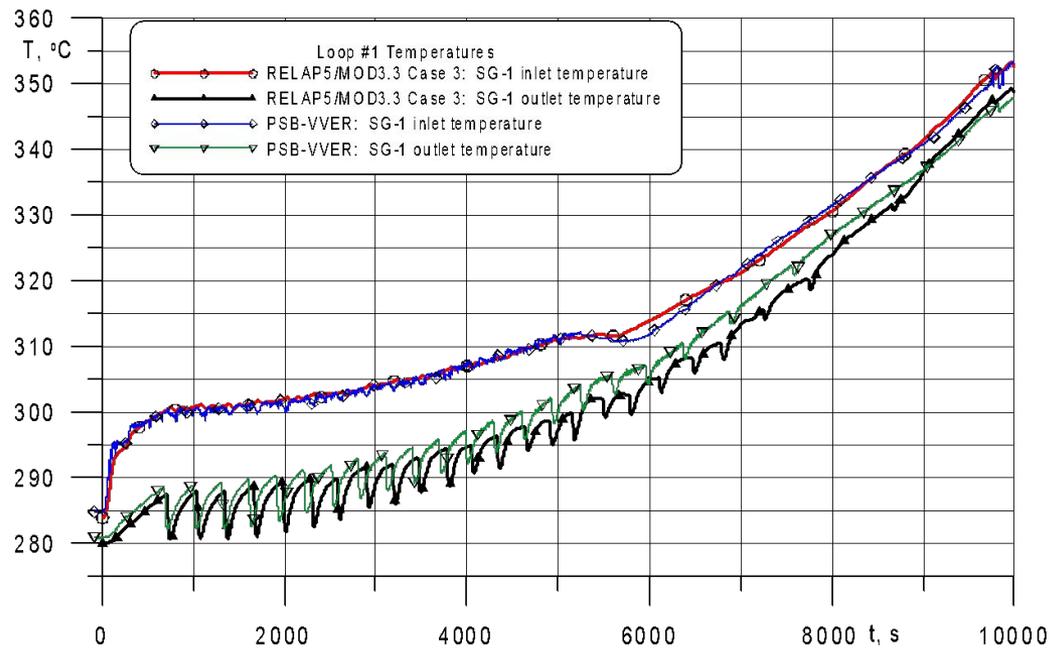
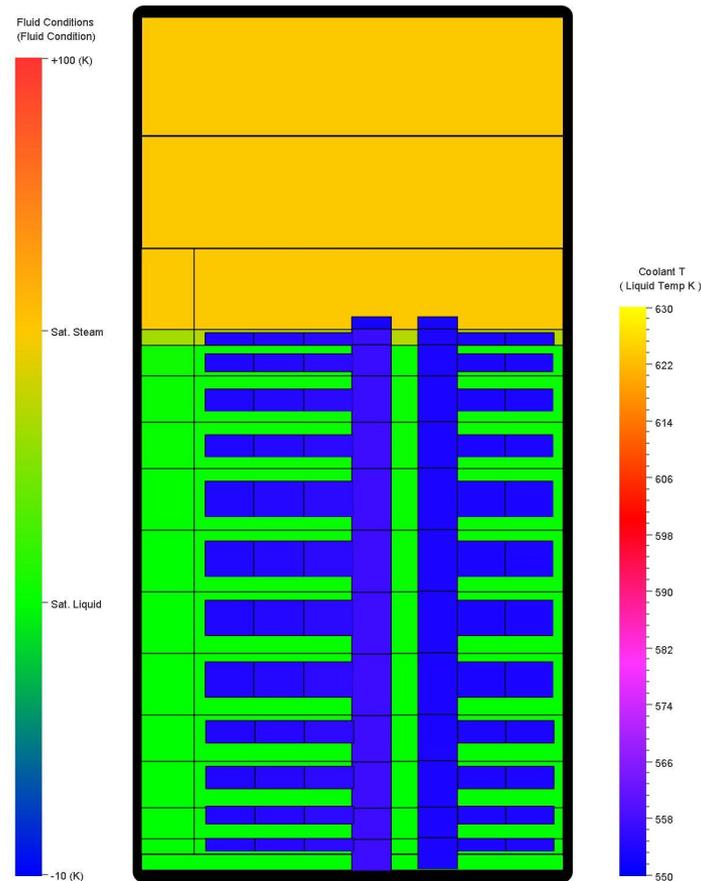
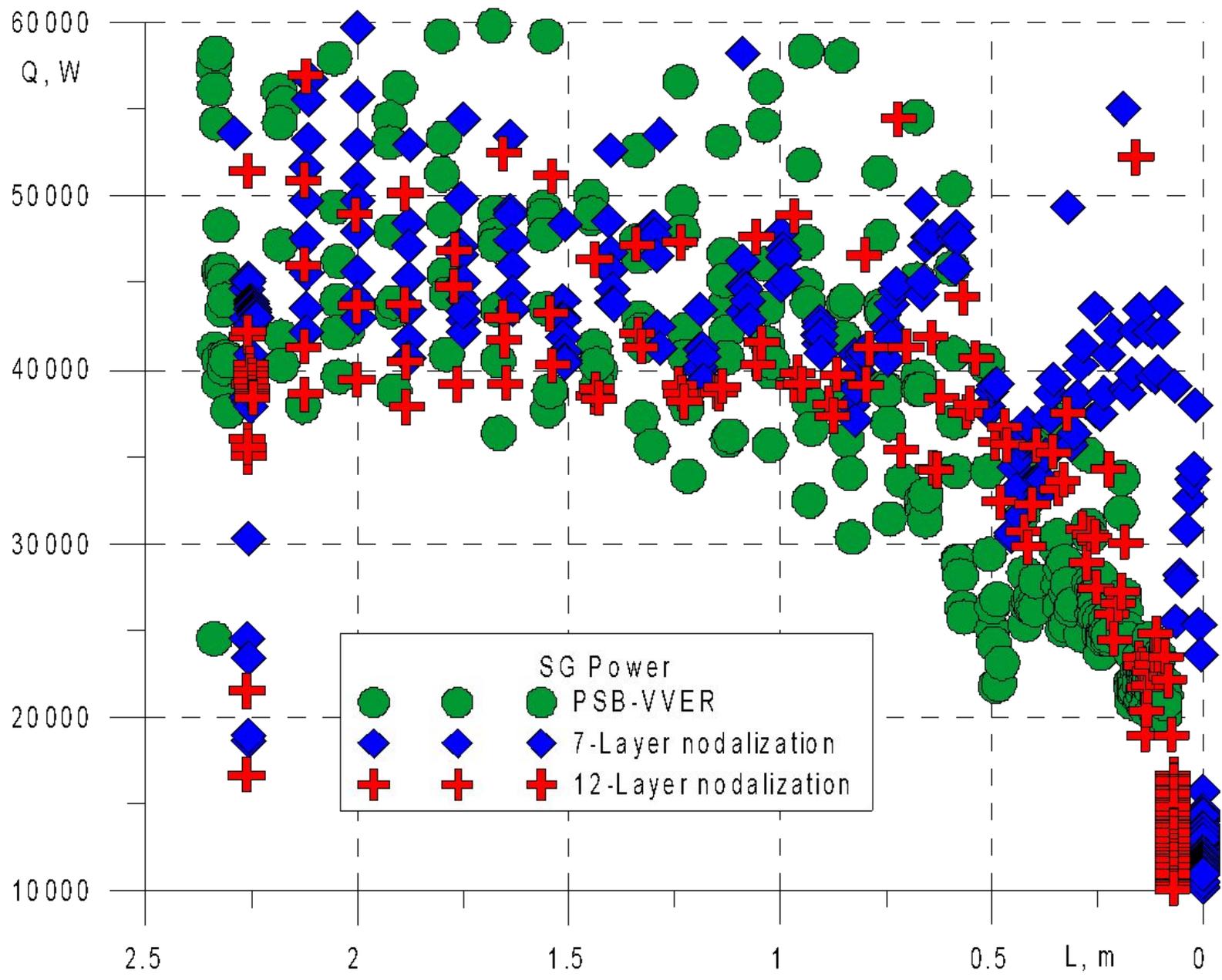
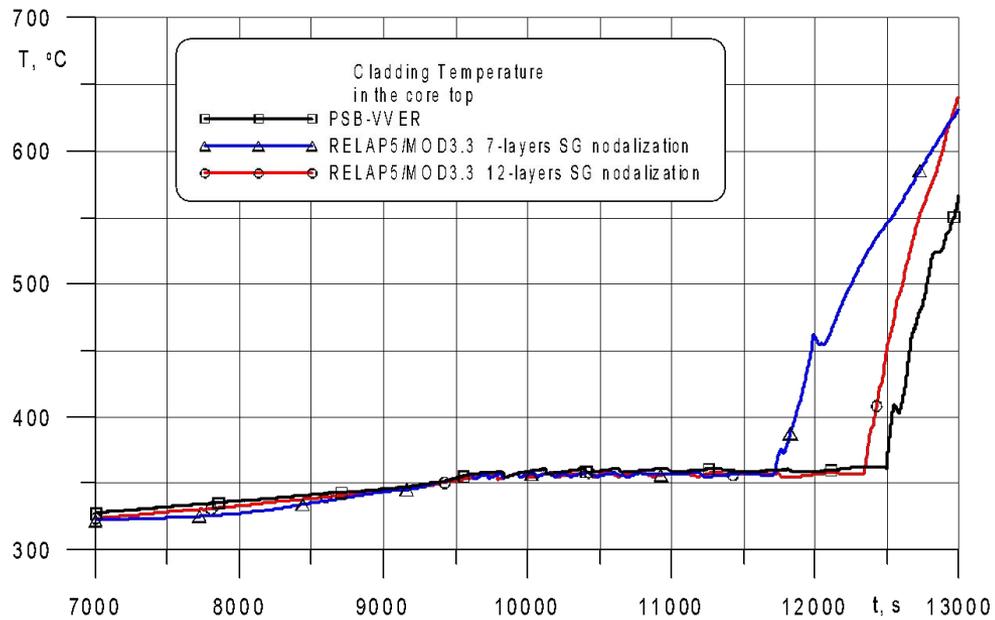
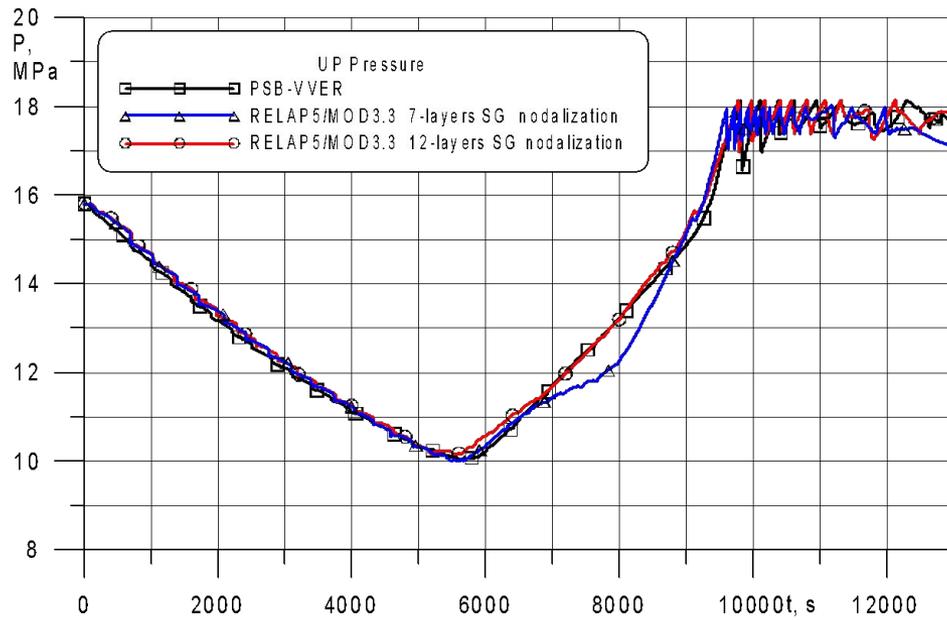


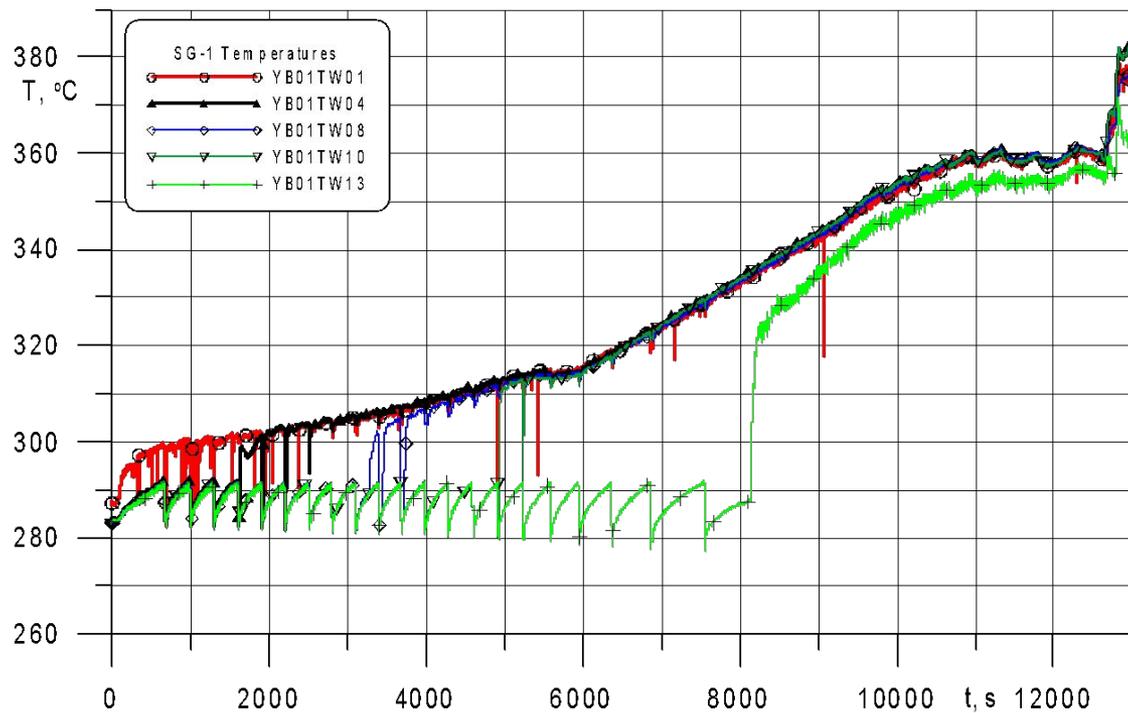
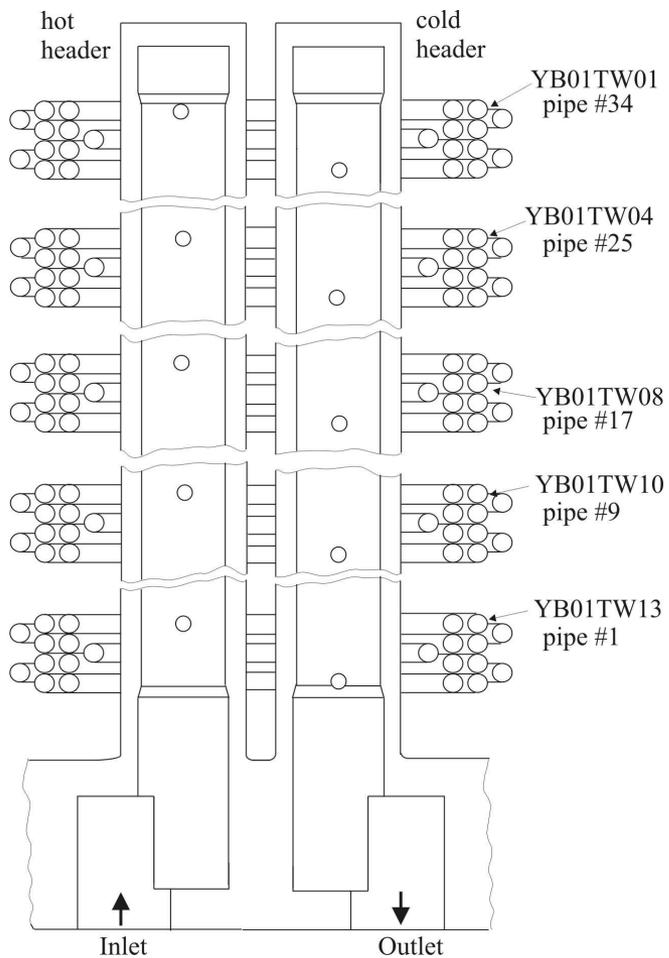
Схема 3
12 слоев турбок



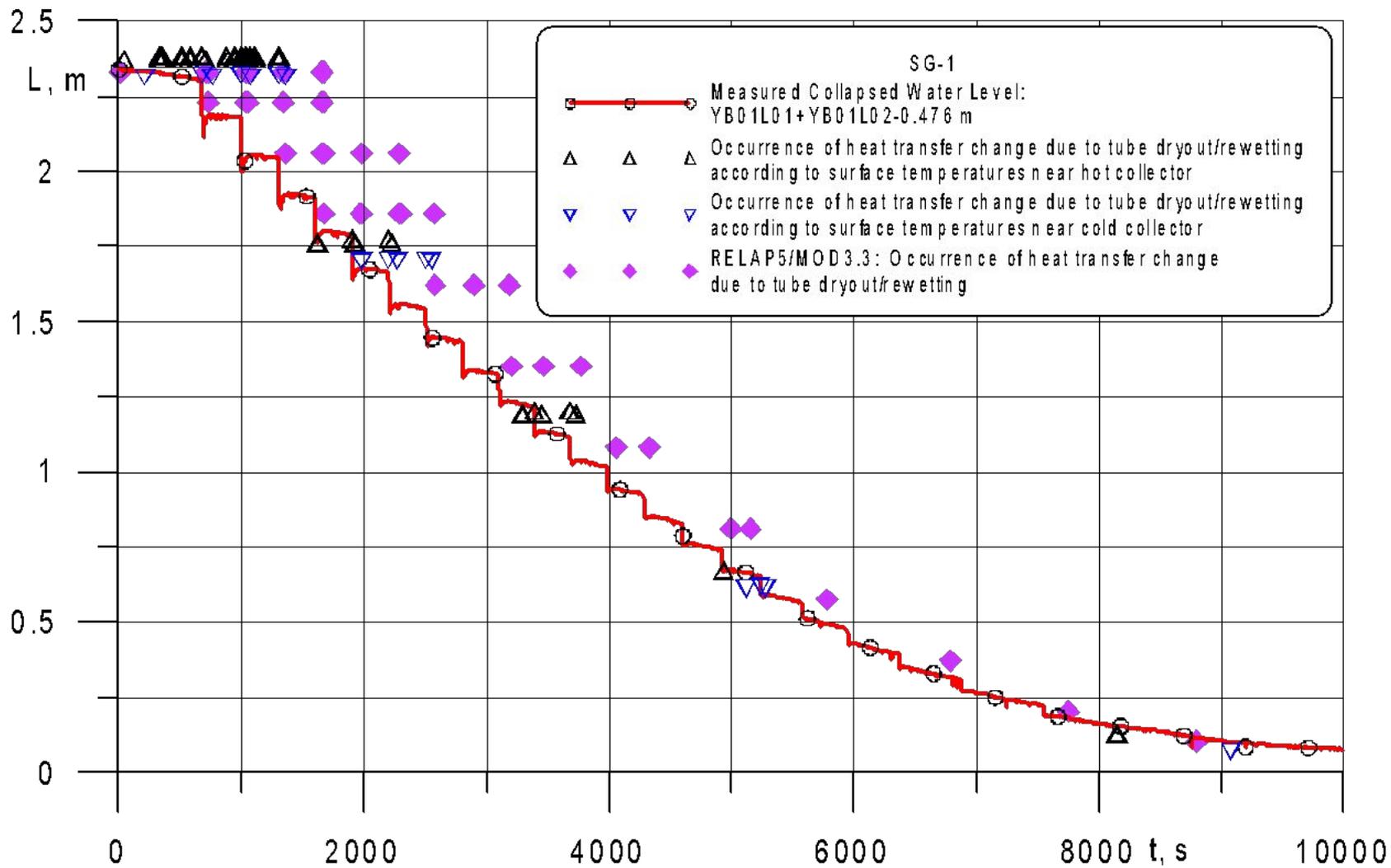




Уровень смеси и унос в ПГ



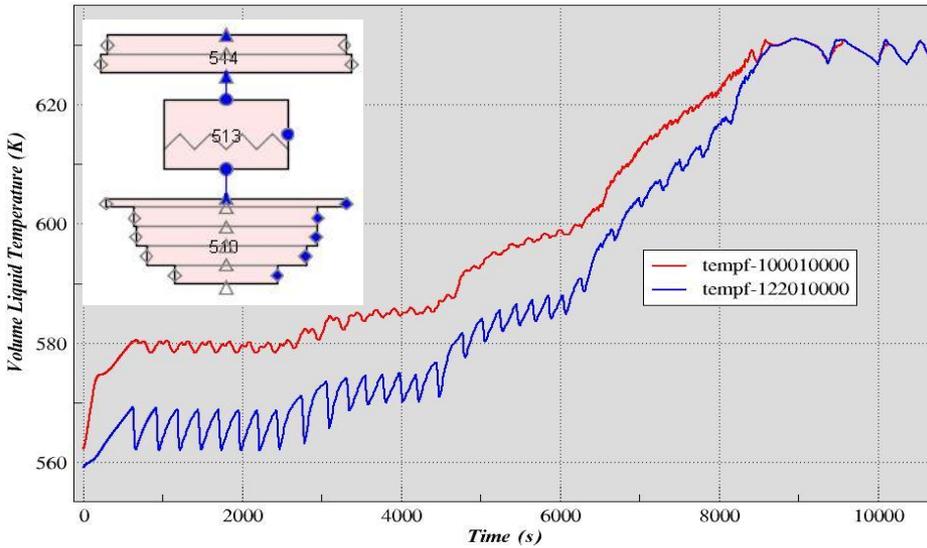
Уровень смеси и унос в ПГ



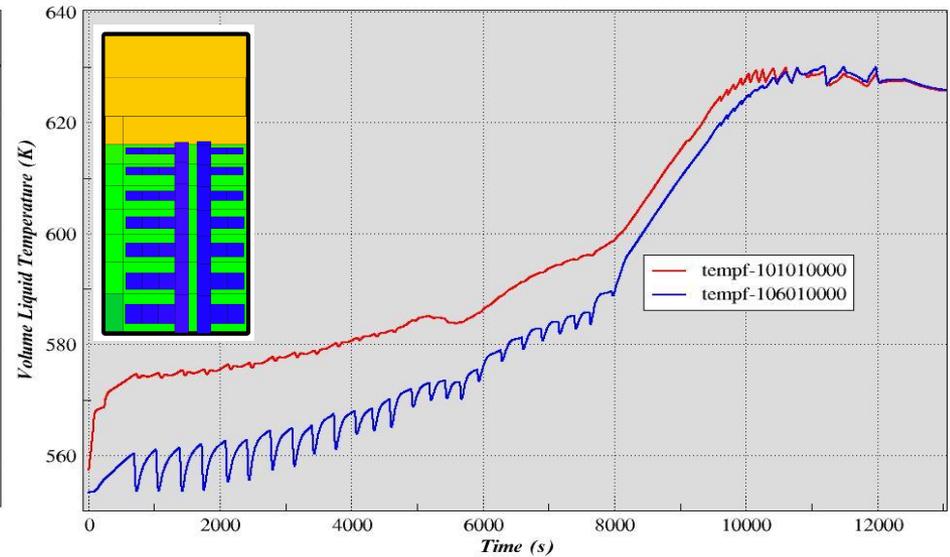
Выводы по посттест-расчету эксперимента на стенде ПСБ-ВВЭР

- Чтобы адекватно смоделировать выкипание парогенераторов при малой мощности реактора необходимо, чтобы расчетная модель подробно описывала геометрию нижней части ПГ
- В расчете эксперимента на ПСБ-ВВЭР «Переходный режим с обесточиванием станции» нижний слой соответствовал 3% от площади теплопередающей поверхности.

RELAP5/MOD3.3 Analysis of VVER blackout transient



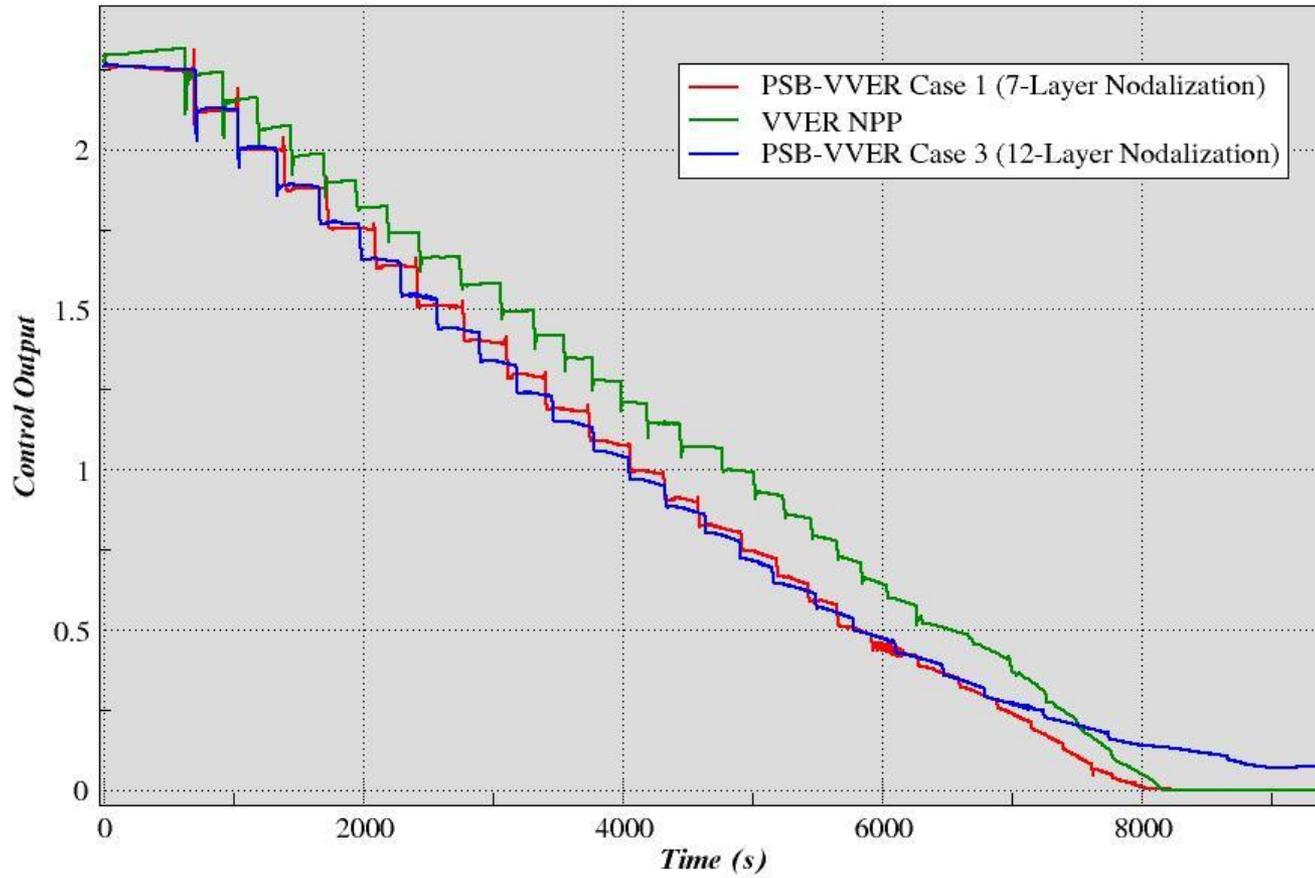
RELAP5/MOD3.3 Analysis of PSB-VVER Station Blackout Test
Case 1 Nodalization



Анализ с помощью кода RELAP5 процесса ухудшения теплообмена в следствие уменьшения массы теплоносителя второго контура

Расчет для РУ ВВЭР и для стенда ПСБ-ВВЭР (с использованием нодализации ПГ по Схеме 1)

SG Collapsed Water Level



Annex

Quantitative evaluation of accuracy

Quantitative evaluation of accuracy

$$\Delta F(t) = F_{calc}(t) - F_{exp}(t) \quad \text{The simplest evaluation of the bias}$$

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} dt \quad \text{Evaluating the bias with Fourier Transforms}$$

$$G(\omega) = A(\omega) \cdot e^{i \cdot \varphi(\omega)} \quad \text{Frequency component}$$

$$G(f) = \int_0^T g(t) \cdot e^{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} dt \quad \text{The transformation operator for a transient with duration of } T \text{ seconds}$$

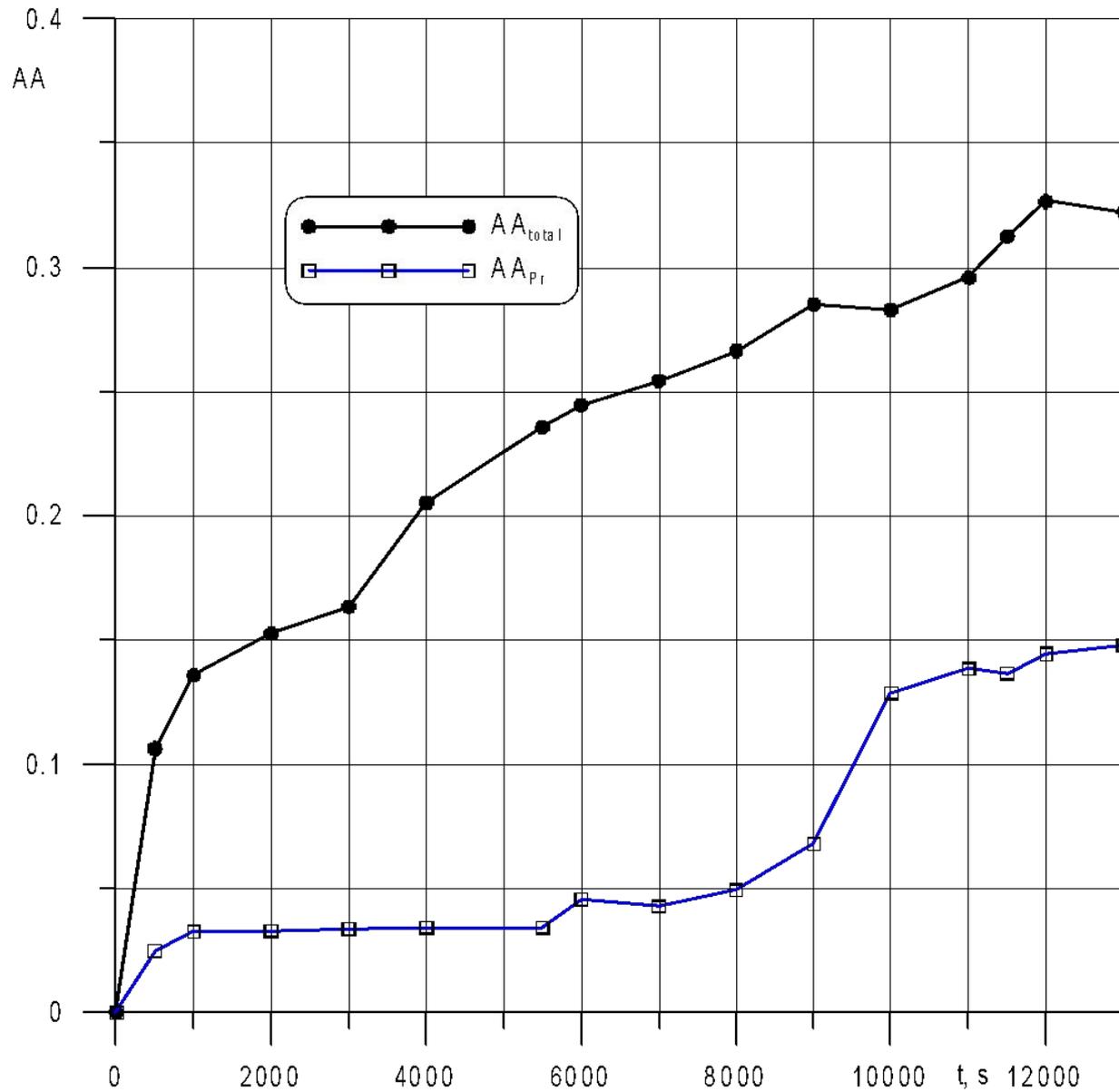
$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t} df \quad \text{Reconstruction of the original (inverse transform)}$$

$$AA = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |G_{exp}(f) - G_{calc}(f)| df}{\int_{-\infty}^{\infty} G_{exp}(f) df} \quad AA = \frac{\sum_{k=1}^N |G_{exp}(f_k) - G_{calc}(f_k)|}{\sum_{k=1}^N |G_{exp}(f_k)|} \quad \text{Average amplitude}$$

$$WF = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} |G_{exp}(f) - G_{calc}(f)| \cdot f df}{\int_{-\infty}^{\infty} G_{exp}(f) df} \quad WF = \frac{\sum_{k=1}^N |G_{exp}(f_k) - G_{calc}(f_k)| \cdot f_k}{\sum_{k=1}^N |G_{exp}(f_k) - G_{calc}(f_k)|} \quad \text{Weighted frequency}$$

$$(AA)_{tot} = \sum_{n=1}^{N_{var}} (AA)_n (w_f)_n \quad \text{Total average amplitude}$$

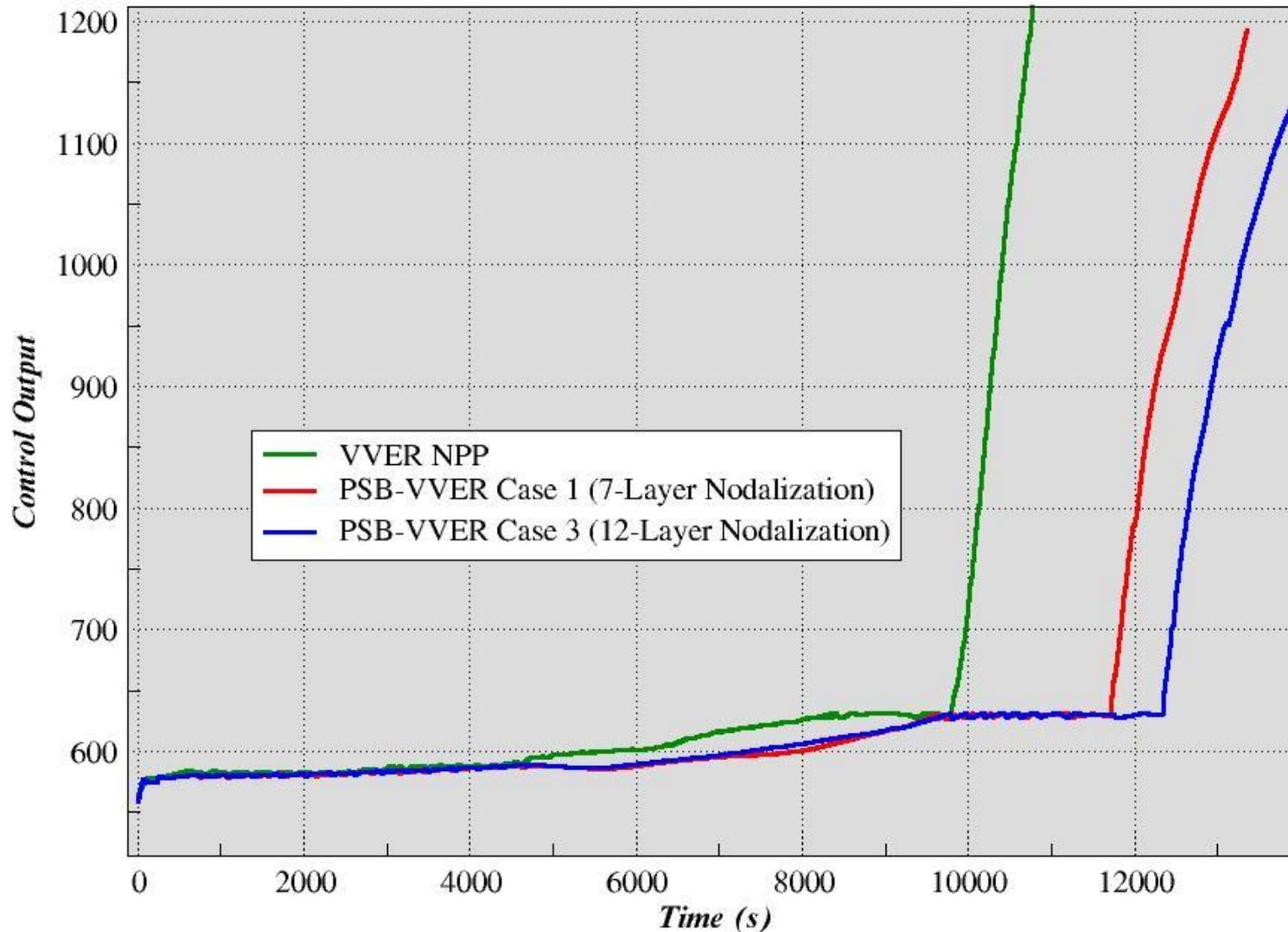
$$(WF)_{tot} = \sum_{n=1}^{N_{var}} (WF)_n (w_f)_n \quad \text{Total weighted frequency}$$

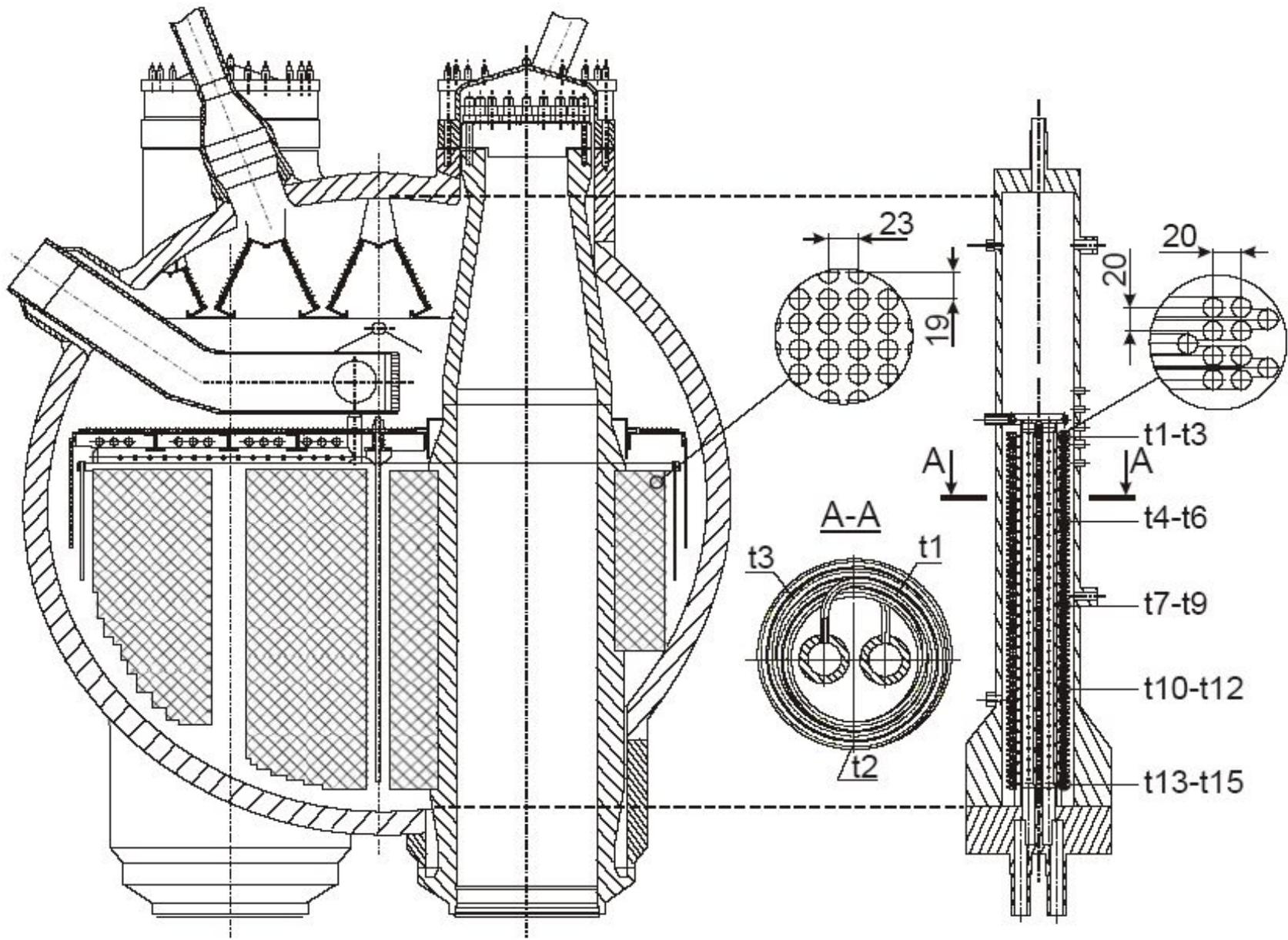


The results of the quantitative evaluation using FFT

RELAP5 analysis of heat transfer degradation due to loss of secondary side inventory

Maximum Cladding Temperature





Парогенератор ПГВ-1000М и парогенератор стенда ПСБ-ВВЭР

Критерии моделирования парогенератора

Значения относительных коэффициентов подобия для парогенератора ПСБ-ВВЭР

Параметр	Парогенератор	ПГВ-1000М	Относительный коэффициент
Количество теплообменных трубок	ПСБ-ВВЭР 34	11000	1/323
Длина теплообменных трубок, м	10.66	11.1	0.96
Pitch of the tube bundle, mm (vertical/horizontal)	20/20	19/23	
Heat transfer surface (secondary side), m ²	18.23	6115	1/335
Tube bundle flow area, m ²	0.0045	1.46	1/324
Total height of SG vessel, m	3.94	4.0	0.98
Nominal water level (from bottom), m	2.25	2.25	1.0
Elevation of the highest heat exchange tubes, m	2.36	2.19	1.08
Volume of water in the SG secondary side, m ³	0.258	66	1/256
Volume of steam in the SG secondary side, m ³	0.219	58.6	1/268
SG secondary side full volume, m ³	0.477	124.6	1/261
Volume of coolant inside the tubes in the primary side, m ³	0.048	16.2	1/337