



*III Международная конференция
«АЭС:
проектирование, строительство, эксплуатация»*

ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ АЭС

Бахметьев А.М., Большухин М.А., Хизбуллин А.М., Соколов А.Н.

1 декабря 2009 г.

Оснащение АЭС нового поколения системами управления авариями, основанными на пассивных принципах действия является одним из наиболее перспективных направлений совершенствования безопасности атомных станций.

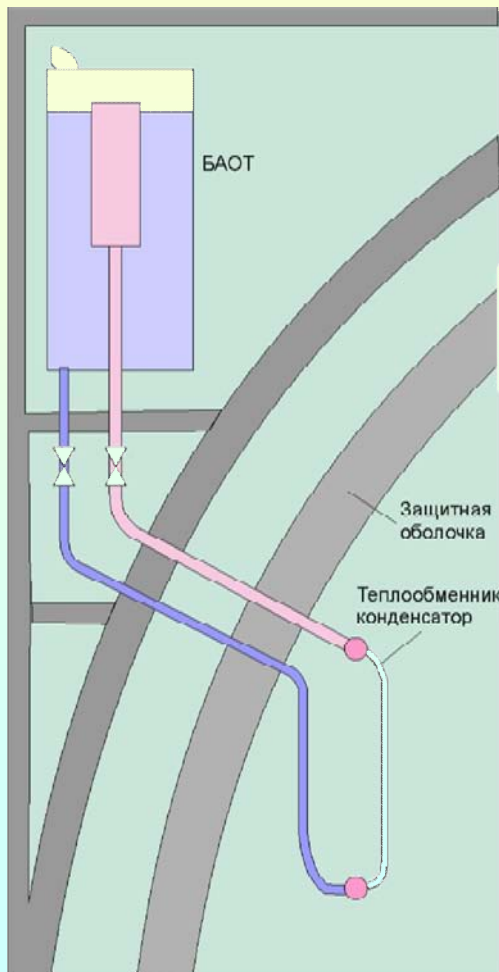
-Пассивными системами аварийного отвода тепла от ЗО и реактора оснащается большинство современных проектов отечественных АЭС в частности:

- проект ЛАЭС-2;*
- проекты региональных АЭС с РУ ВБЭР-300 и ВБЭР-600*
- проект плавучей АЭС малой мощности с РУ КЛТ40С*

Пассивные системы аварийного теплоотвода от ЗО

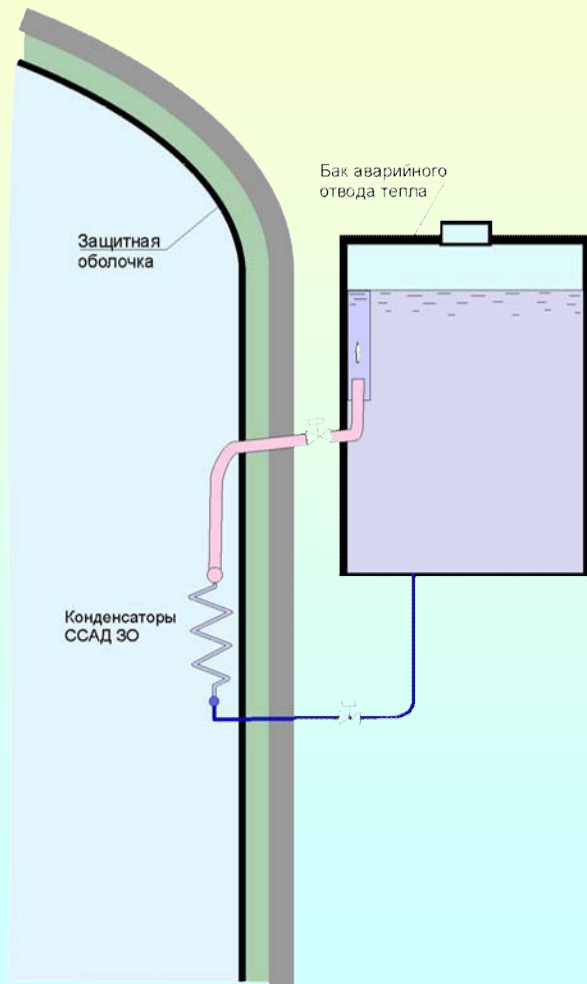
СПОТ ЗО ЛАЭС-2

Система Пассивного Отвода Тепла от ЗО



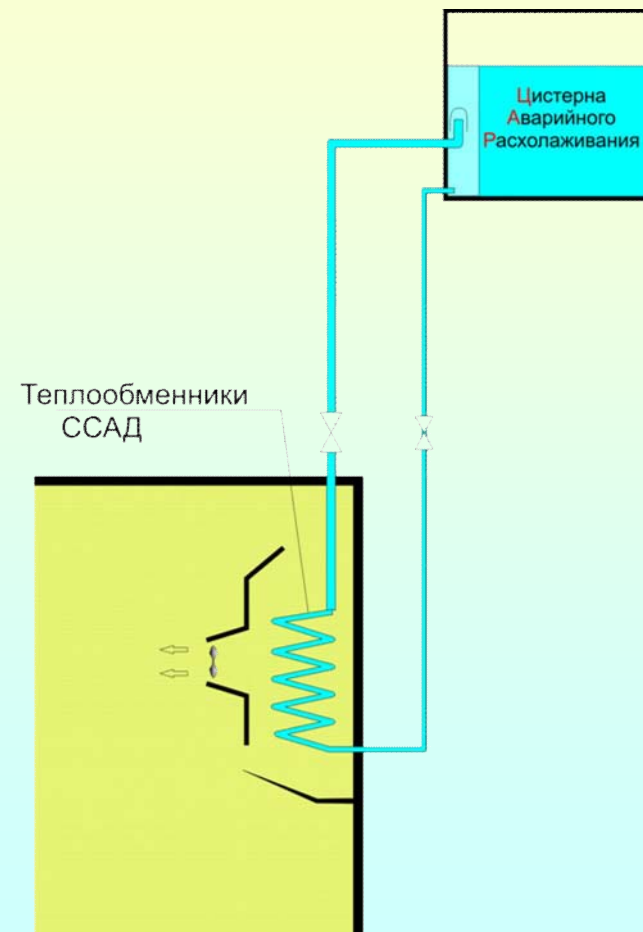
ССДГО ВБЭР-300

Система Снижения Давления в ГО



ССАД ЗО КЛТ-40С

Система Снижения Аварийного Давления ЗО



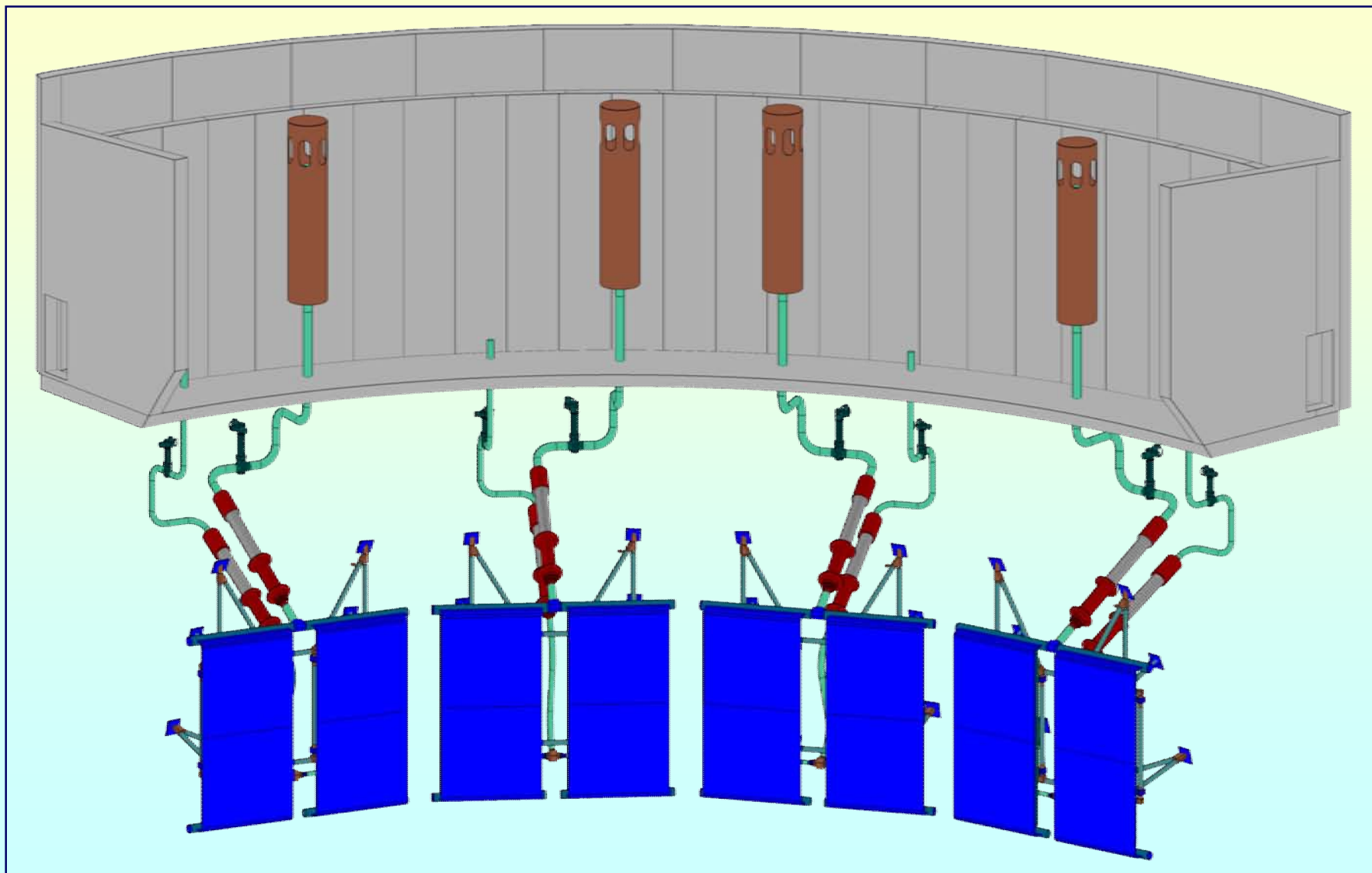


Основные направления экспериментальных исследований:

- ◆ *экспериментальное обоснование эффективности теплоотвода пассивной системой СПОТ 30 в условиях естественной циркуляции охлаждающей пароводяной смеси*
- ◆ *исследование влияния гидродинамической неустойчивости потока в контуре охлаждения на работоспособность системы*
- ◆ *исследование влияния повторной подпитки баков с запасом выпариваемой воды на работоспособность системы*
- ◆ *исследование влияния состава парогазовой смеси 30 на эффективность работы СПОТ 30*
- ◆ *обеспечение оптимальных условий транспорта пара и пароводяной смеси до выхода его в БАОТ, исключая “гидравлические удары” и повышенный уровень вибрации*
- ◆ *верификация расчетных кодов (КУПОЛ, КОРСАР, СОКРАТ, РАСНАР)*

СПОТ 30 АЭС-2006

5



Экспериментальный стенд СПОТ 30 (компоновка стенда)

6

ПАРАМЕТРЫ ЕМКОСТИ-МОДЕЛИ 30

- ◆ МАКСИМАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ 1,2 МПа
- ◆ МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА 200 °С
- ◆ ОБЪЕМ 59 М³

ПАРАМЕТРЫ ЭПГ:

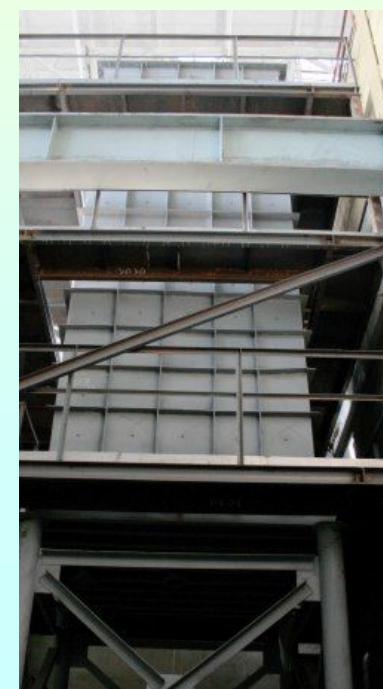
- ◆ СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ 2500 кВт
- ◆ МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПАРА 180 °С
- ◆ РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ 1,1 МПа

Бак-испаритель

Модель 30 с моделью конденсатора

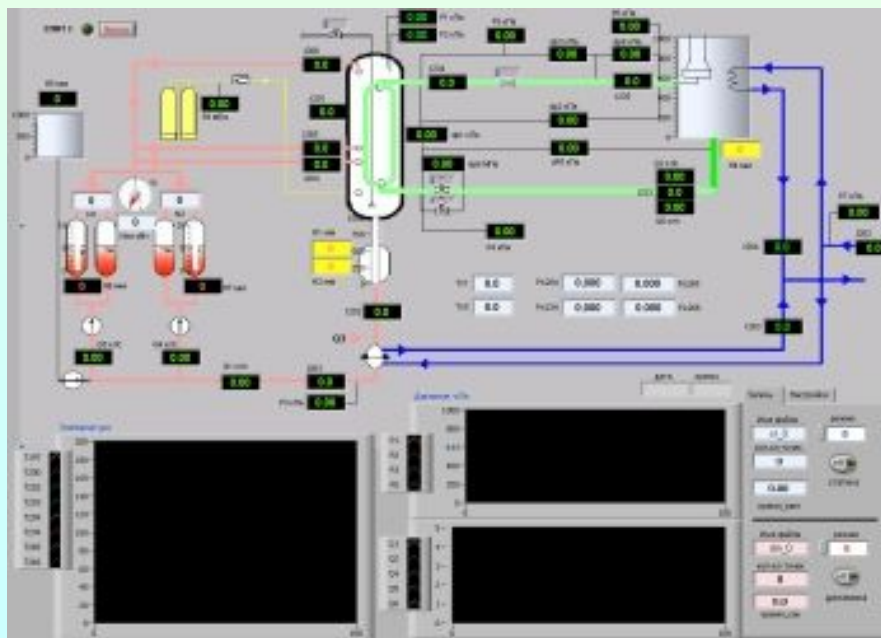
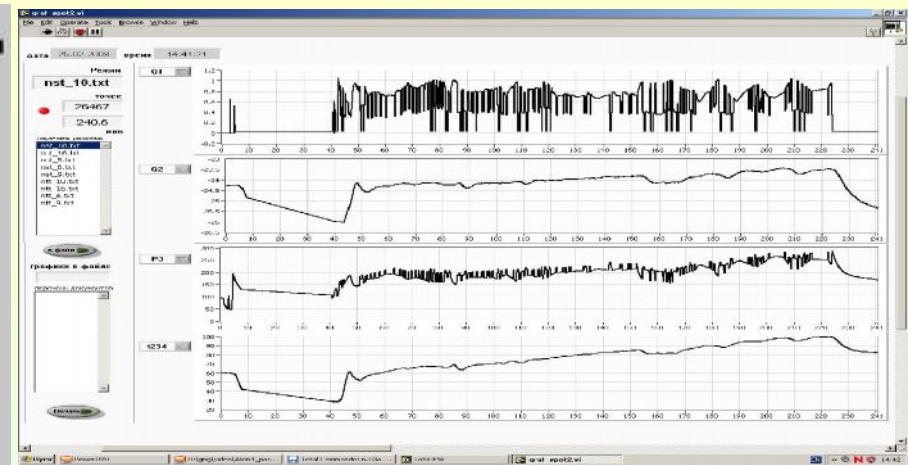
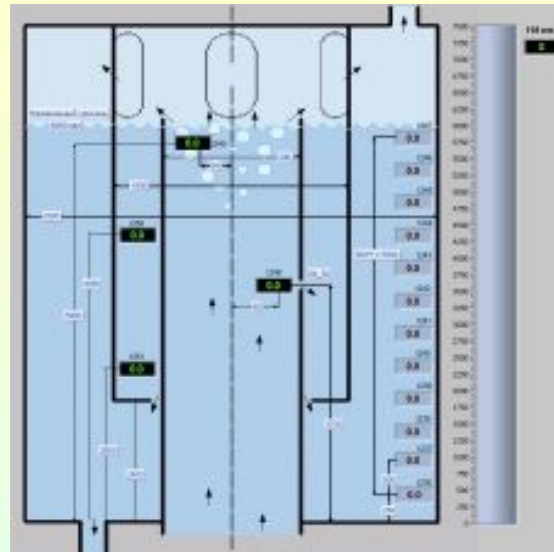
Электропарогенераторы «Гейзер ПК-1200»

Экспериментальный стенд СПОТ 30 (оборудование)



Экспериментальный стенд СПОТ 30 (информационно-измерительная система)

8

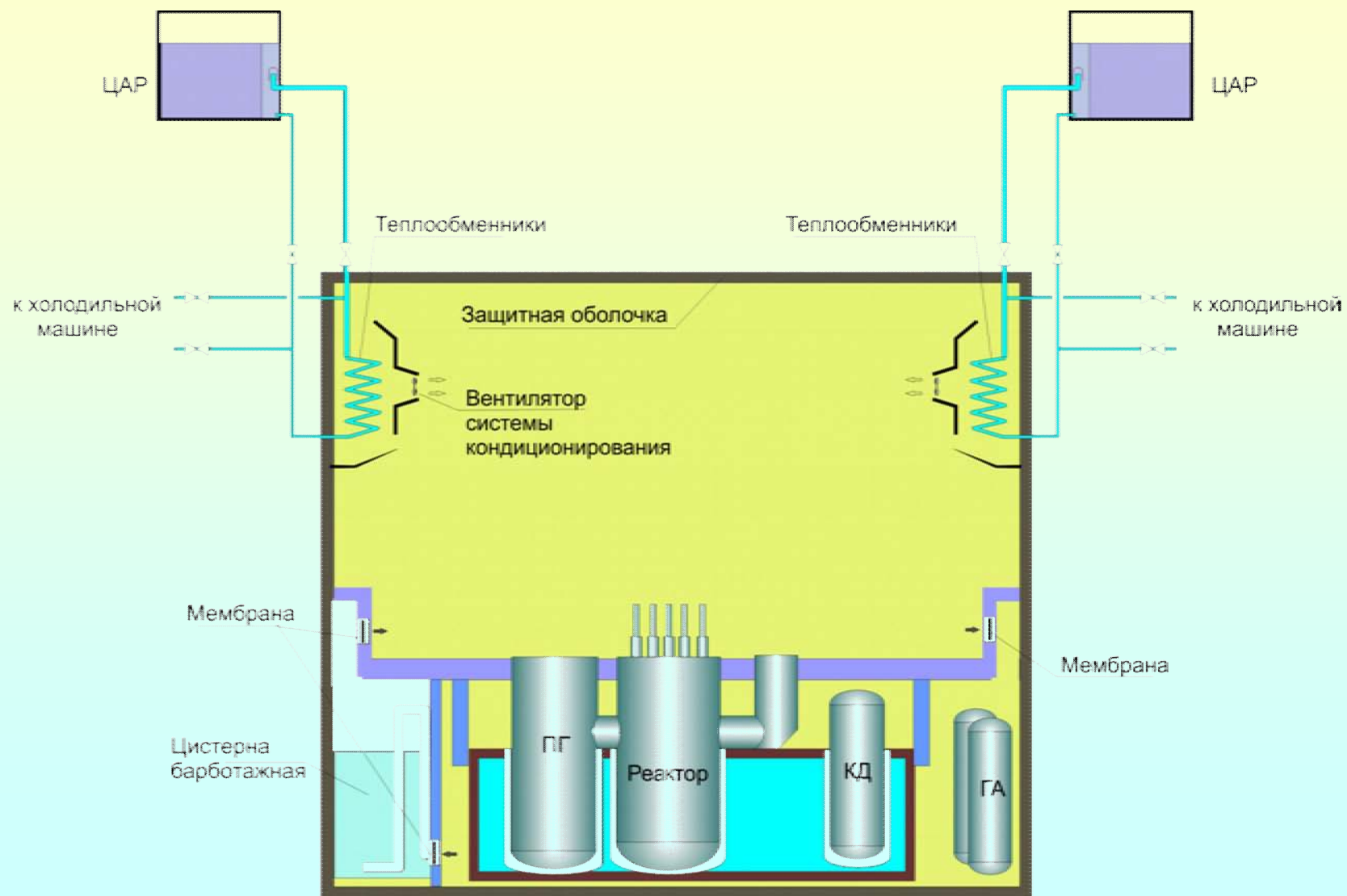


ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

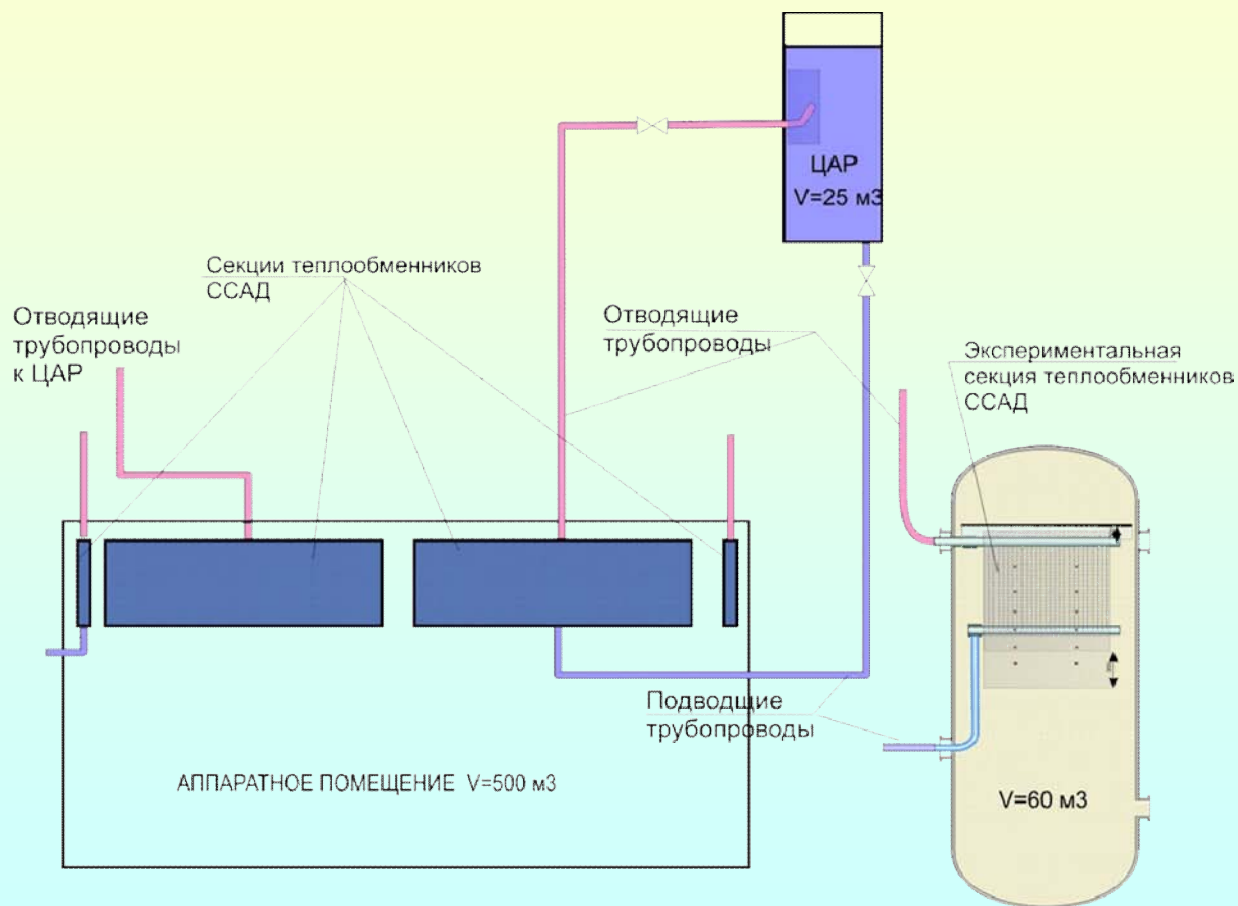
- ◆ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОПАРОГЕНЕРАТОРОВ
- ◆ ТЕМПЕРАТУРА ПАРА, ВОДЫ, ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ
- ◆ РАСХОД ВОДЫ
- ◆ ДАВЛЕНИЕ ПАРА, ВОДЫ, ГАЗА
- ◆ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ПАРА, ВОДЫ
- ◆ УРОВЕНЬ ВОДЫ
- ◆ ВИБРОУСКОРЕНИЕ ТРУБ

ССАД РУ КЛТ-40С

9



Доработка стенда СПОТ 30 для обоснование ССАД РУ КЛТ-40С ¹⁰



Соотношение параметров штатной системы и стенда:

Элемент

Системы

Масштаб

Теплообменник-конденсатор

1:1

Контур охлаждения

1:1

Высота 30

1:1

Объем 30 (на одну петлю контура охлаждения)

1:2

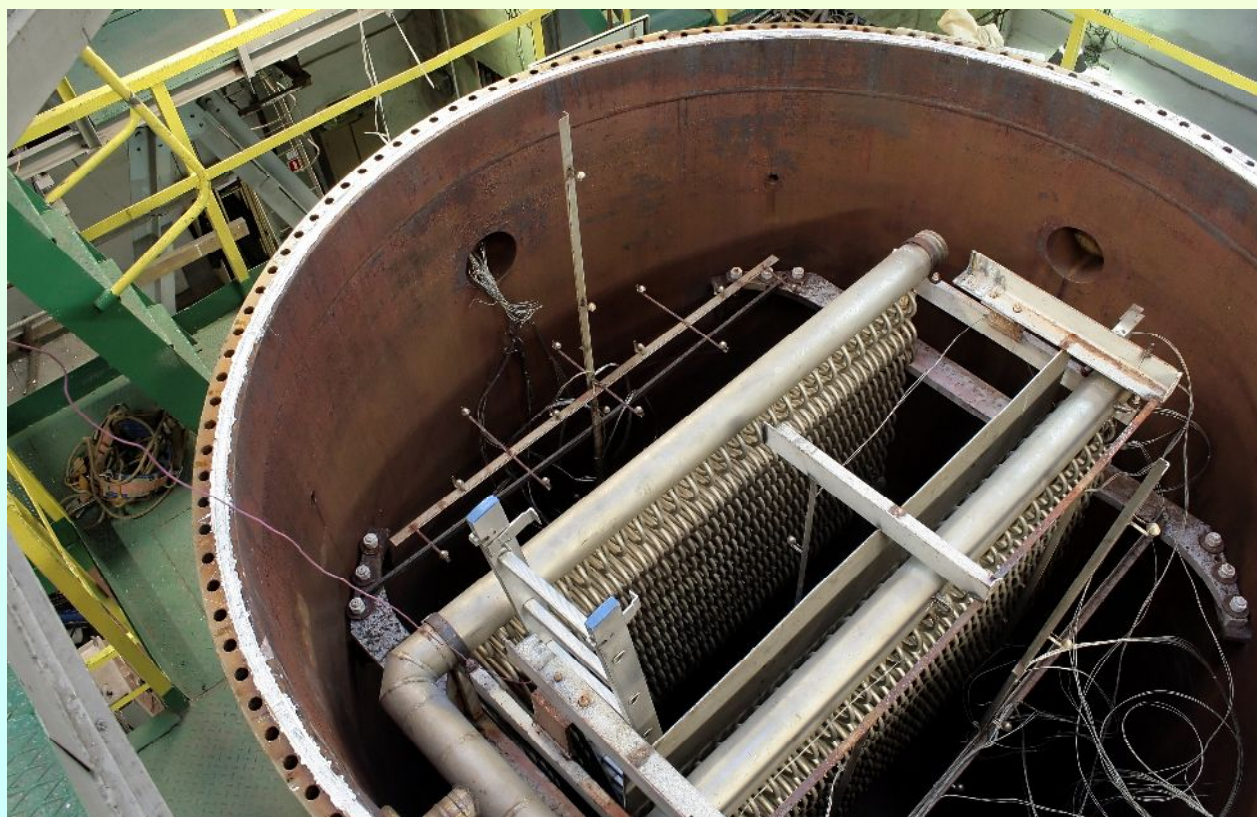
Экспериментальная модель ССАД 30 РУ КЛТ-40С

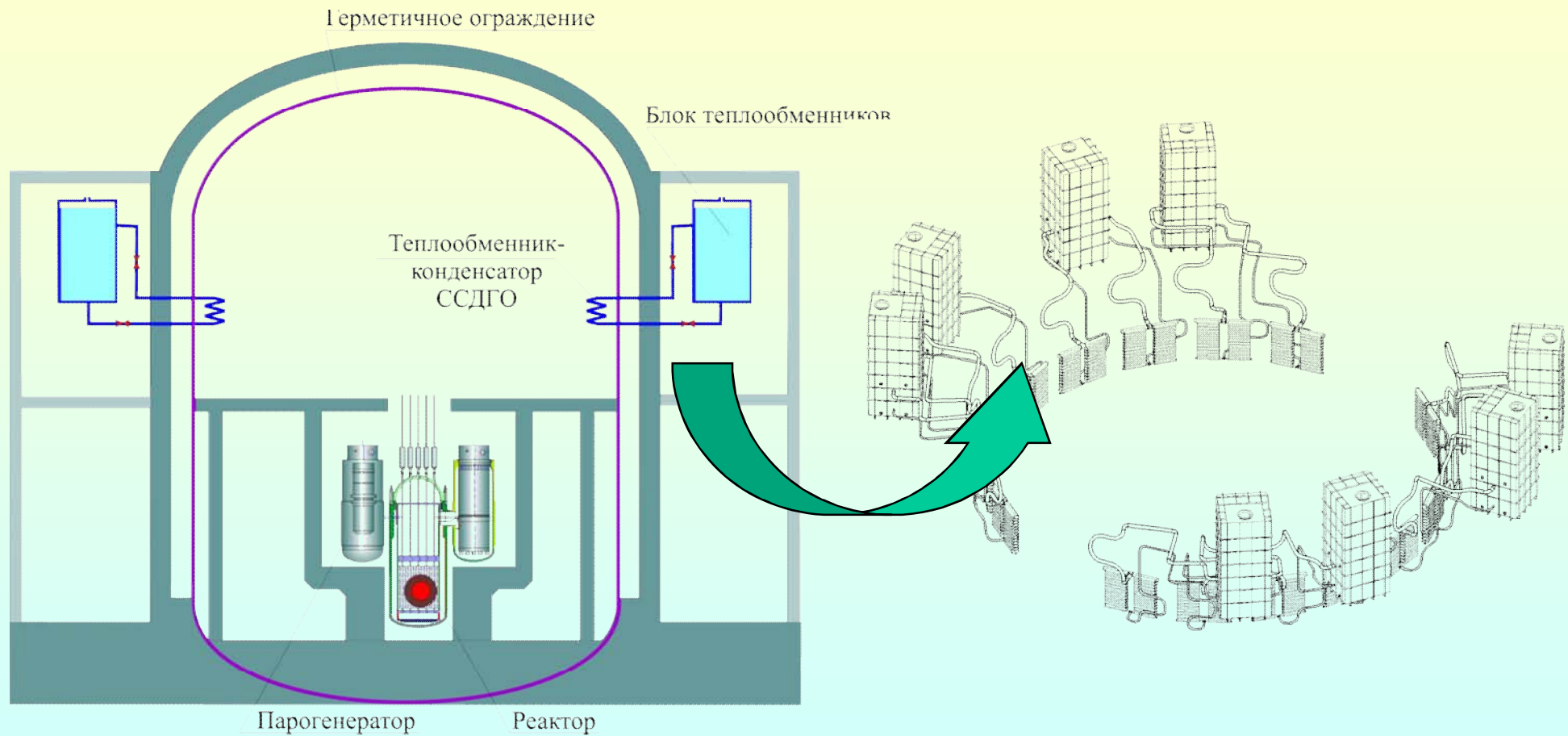
11

*Модель
теплообменника-конденсатора*



*Размещение
модели теплообменника-конденсатора
в модели 30*





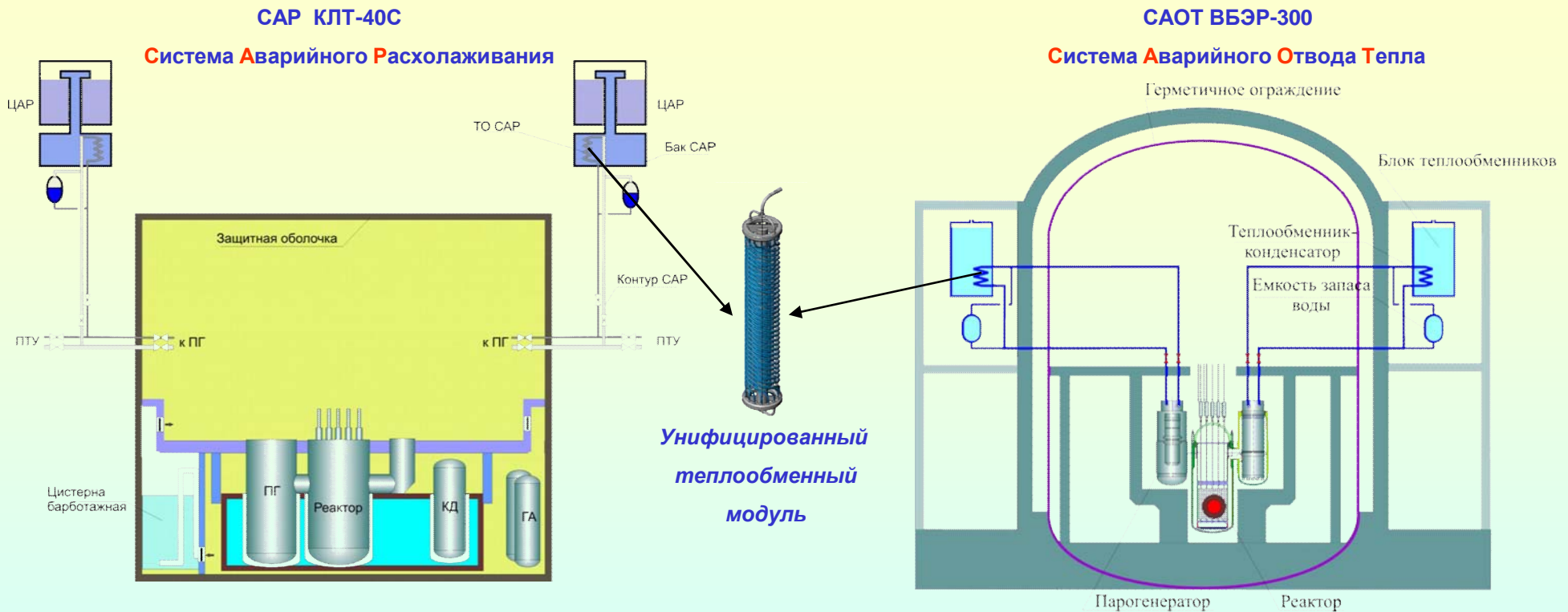
Результаты испытаний на полномасштабных моделях пассивных систем СПОТ 30 АЭС-2006 и ССАД 30 РУ КЛТ-40С позволят сделать окончательные выводы о необходимости проведения испытаний системы ССДГО РУ ВБЭР-300.

- ◆ *Результаты экспериментальных исследований позволили оптимизировать геометрические характеристики систем; подтвердить заданную мощность теплообменников при авариях; исследовать работу систем в ряде нештатных условий (изменении гидравлического сопротивления контура охлаждения, подача пара в верхнюю полость емкости, изменение исходного уровня заливки запаса выпариваемой воды и т.д).*
- ◆ *В результате испытаний получен значительный объем данных, необходимых для верификации программных средств, используемых для обоснования современных и перспективных проектов*

**Экспериментальное обоснование пассивных систем
аварийного теплоотвода через парогенераторы
(КЛТ-40С, ВБЭР-300 (600), РИТМ-200)**

Пассивные системы аварийного теплоотвода перспективных АЭС малой и средней мощности

15



САР КЛТ-40С состоит из двух независимых каналов, каждый из которых подключен к 2 ПГ
В канале:

- ◆ Цистерна аварийного расхолаживания (ЦАР) емкостью 25 м³
- ◆ ТО САР мощностью 2600 кВт
- ◆ емкости запаса воды (ЕЗВ) 3 м³
- ◆ Трубопроводов и арматуры

САОТ ВБЭР-300 является двухканальной (в каждом канале по 2 независимых петли подключенных к ПГ)

Каждая петля состоит из:

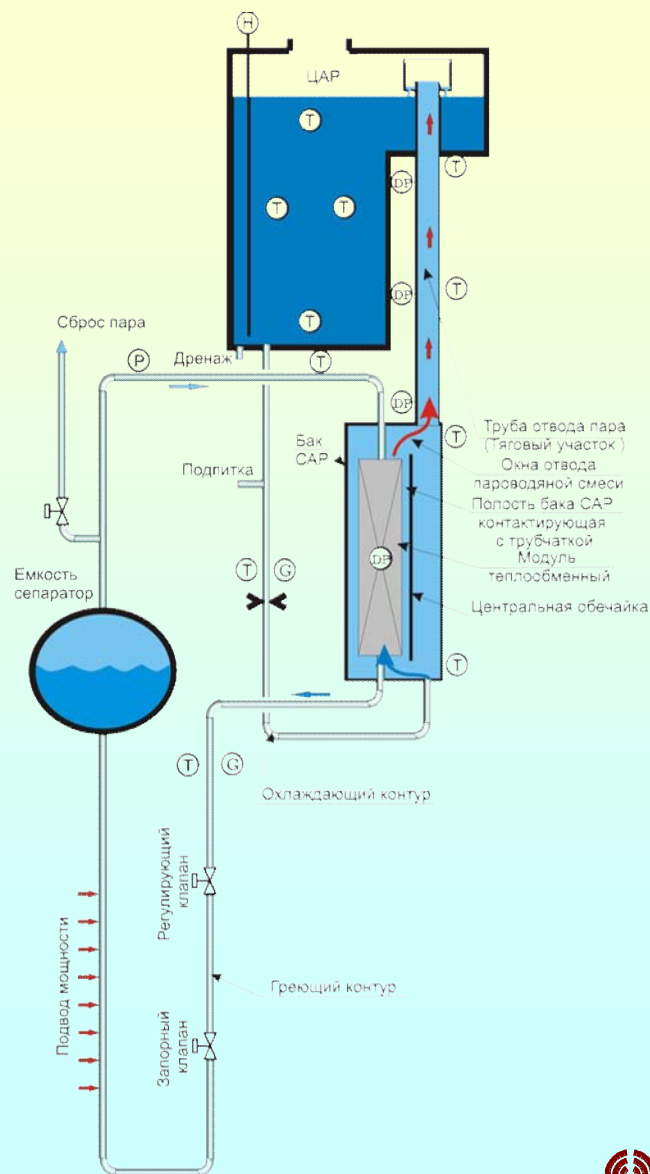
- ◆ 2 блока теплообменников (БТК) по 4600 кВт, с запасом воды 75 т
- ◆ емкости запаса воды (ЕЗВ), объемом 3 м³
- ◆ Трубопроводов и арматуры

В обоих проектах в качестве теплообменного элемента используется унифицированный теплообменный модуль

Стенд системы аварийного расхолаживания (схема)

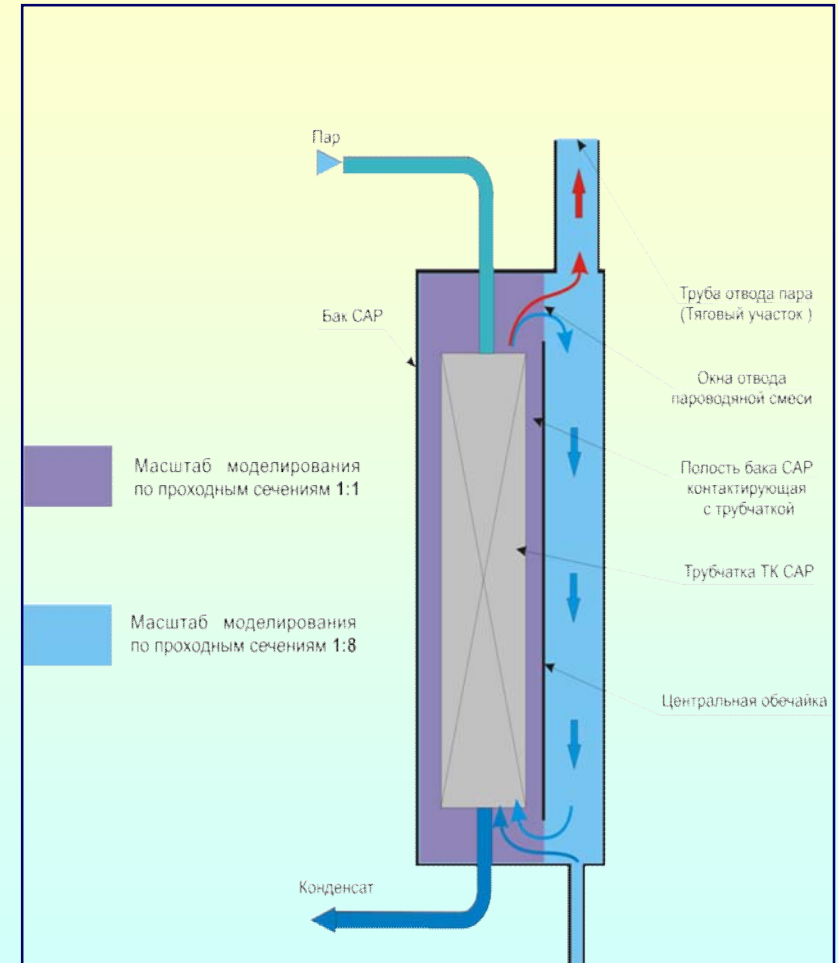
16

- ◆ Для экспериментального подтверждения работоспособности системы аварийного расхолаживания для ПАЭС КЛТ-40С в НПО ЦКТИ создан стенд САР.
- ◆ Основными вопросами решаемыми с помощью данного стенда являются:
 - подтверждение теплогидравлических характеристик унифицированного теплообменного модуля;
 - определение мощности унифицированного теплообменного модуля в условиях большой плотности теплового потока;
 - обоснование работоспособности контура охлаждения ТО САР и выбор оптимальной конструкции элементов контура охлаждения ТО САР;
 - верификация теплогидравлических кодов



Представительность модели контура охлаждения обеспечивается выполнением следующих мероприятий:

- ◆ использованием в качестве испытуемой штатного теплообменного элемента модели теплообменника САР;
- ◆ полновысотное исполнение охлаждающего контура
- ◆ сохранением теплогидравлических условий и режимов работы модели теплообменника подобных штатным;
- ◆ моделированием проектных режимов работы теплообменника:
 - работа САР с максимальными параметрами пара;
 - работа САР в квазистатическом режиме работы;



Стенд САР (Общий вид)



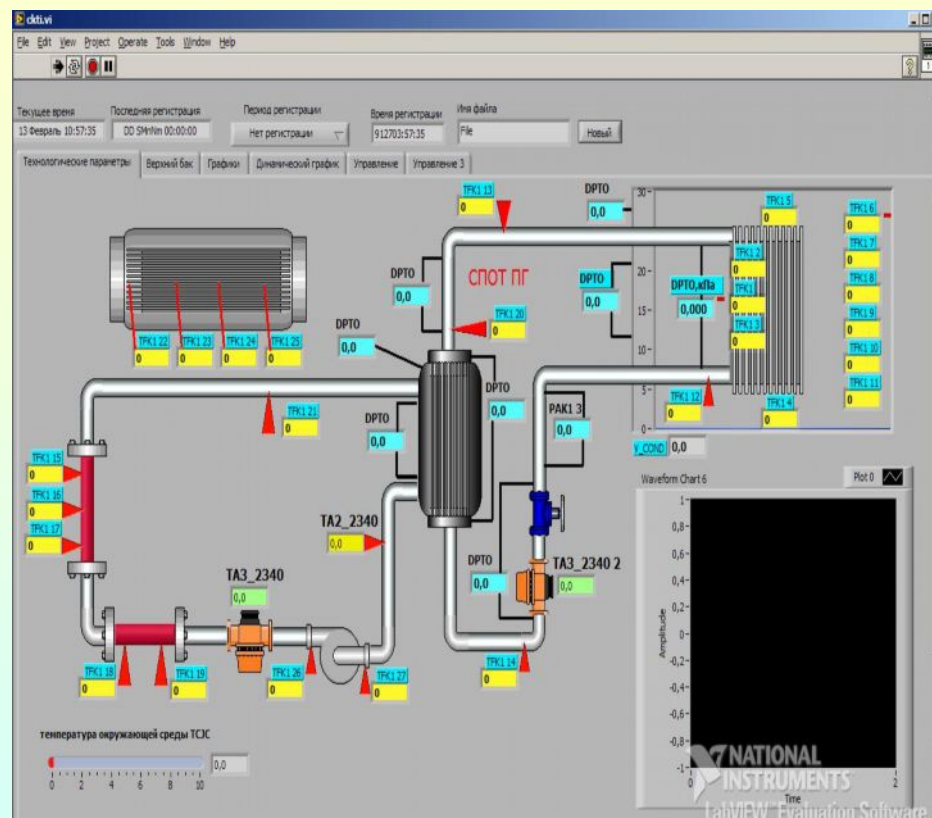
Стенд САР (информационно-измерительная система)

19



ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ

- ◆ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ
- ◆ ТЕМПЕРАТУРА ПАРА, ВОДЫ, ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ
- ◆ РАСХОД, КОНДЕНСАТА, ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ
- ◆ ДАВЛЕНИЕ ПАРА, ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ
- ◆ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ПО ТЕПЛОБМЕННИКУ
- ◆ УРОВЕНЬ ВОДЫ В ЦИСТЕРНЕ ЗАПАСА ВОДЫ



Результаты испытаний пассивных систем аварийного отвода тепла от реактора

20

- ◆ Результаты испытаний подтвердили соответствие теплогидравлических характеристик модели теплообменника ТО САР требованиям проекта технических условий ТО САР РУ КЛТ-40С.
- ◆ Заметной вибрации бака с моделью ТО САР и гидроударов, не наблюдалось даже в опыте с высокой начальной мощностью и давлением в ТО САР
- ◆ Результаты экспериментов используются для верификации расчетных кодов, применяющихся при обосновании пассивных систем безопасности
- ◆ Результаты испытаний могут быть перенесены на проекты пассивных систем АЭС средней мощности с РУ ВБЭР-300 и РУ ВБЭР-600, а также РУ универсального атомного ледокола РИТМ-200

- ◆ Результаты испытаний подтвердили заданные проектные характеристики и эффективную работу пассивных систем современных и перспективных проектов АЭС малой, средней и большой мощности
- ◆ Значительно расширена область понимания теплогидравлических процессов и явлений, происходящих в системах с естественной циркуляцией теплоносителей при фазовых переходах в условиях низких давлений и высоких тепловых потоков
- ◆ Получен большой экспериментальный материал для верификации программных средств, включая 3D-коды
- ◆ Полученные знания о работе пассивных систем позволят минимизировать в дальнейшем экспериментальные исследования, повысив экономическую привлекательность и безопасность перспективных проектов АЭС

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

