EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF DESIGN FUNCTIONS OF HT-2 SYSTEM FOR NEW RUSSIAN NPP PROJECT

A. D. Efanov(1), V. M. Berkovich(2), A. B. Malyshev(2),
S. G. Kaliakin(1), O. V. Remizov(1), G. S. Taranov(2)

(1) *SSC RF – Institute of Physics and Power Engineering by acad. A. I. Lejpunsky, Obninsk,*
(2) *State Research, Design and Prospecting Institute – Atomenergoproekt, Moscow*

Key words: accident cooling, passive heat removing system, hydro-tanks, water flow-rate.

ABSTRACT

In the project of new generation NPP with increased safety the passive system of hydro-tanks of the second step (HT-2) together with passive heat removing system (PHRS) for overcoming out-of-project accidents with complete loss of all sources of alternating current and leaks of the first circuit is stipulated.

In accordance with the project the duration of reliable cooling of the core is provided within not less than 24 hours at joint work with system PHRS and not less than 8 hours at refusal of PHRS.

The HT-2 system starts to after reduction of pressure in reactor below 1.5 MPa. This system consists of 4 groups of hydro-tanks (two tanks in each group). The hydro-tanks are the vertical vessels by a diameter of 4.6 м and height of 10.5 м and, in the rest regime, are completely filled with solution of boric acid at atmospheric pressure. Hydro-tanks have the equalizing partitions on the steam and water sides.

The system of passive flooding HT-2 is a new development in the reactor facility safety.

For the design functions of passive system HT-2 to be substantiated, the large-scale hydraulic facility simulating one group of hydro-tanks with volume of 25 $м^3$ + 16 $м^3$ is under construction in SSC RF-IPPE with full-scale pipelines and fixtures, having design lengths and diameters, all height marks of the equipment arrangement corresponding to the project. The merge of cold water from head hydro-tanks to the reception ones takes place through a collector with three-step flow-rate

adjusting. The reception tanks with volume of 25 $м^3$ + 16 $м^3$ are filled with dry saturated steam at pressure of 1.5 MPa.

For the decision of "scale" questions the head and reception hydro-tanks are arranged horizontally in the average cross-section of 2.2x7.0 м, what corresponds to the natural sizes of hydro-tanks.

All design works are executed in SSC RF-IPPE; and manufacturing of the facility is in progress.

The HT-2 facility is constructing for the decision of the following questions:

- experimental substantiation of the flow-rates from group of hydro-tanks of 2-nd steps after reaching in them the pressure 1.5 MPa and their opening into the reactor model (reception tanks);
- improvement of algorithm of functioning of HT-2 system, including:
  - improvement of hydro-tanks system start-up algorithm, definition of deployment time of system of water submission from head tanks to the reception ones;
  - definition of dynamics of water and steam flows between hydro-tanks;
  - definition of system working ability at chosen scheme of connection of hydro-tanks and collector and specification of the scheme of their connection;
- verification of computer codes;
- decision of the questions of pipelines damping for maintenance of their vibrating stability at non-stationary two-phase flow in them;
- substantiation of design of the special valve connecting HT-2 with reactor facility at pressure of 1.5 MPa.

Full-scale facility for design functions substantiation of passive flooding system HT-2 is a representative one for improvement of adjustment technique of HT-2 system on the reactor facility and will give economy of time at start-up and adjustment of NPP.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ФУНКЦИЙ СИСТЕМЫ ГЕ-2 НОВОГО РОССИЙСКОГО ПРОЕКТА АЭС

Беркович В.М., Ефанов А.Д., Калякин С.Г., Малышев А.Б., Ремизов О.В., Таранов Г.С.

ГНЦ РФ - Физико-энергетический институт им. академика А.И. Лейпунского, г. Обнинск

Государственный научно-исследовательский проектно-конструкторский и изыскательский институт Атомэнергопроект, г. Москва

Аннотация

Представлено описание крупномасштабного гидравлического стенда для обоснования проектных функций системы пассивного залива активной зоны реактора ВВЭР-1000 нового поколения.

Введение.

В проекте АЭС нового поколения повышенной безопасности предусмотрена пассивная система гидроемкостей второй ступени (ГЕ-2), служащая совместно с системой пассивного отвода тепла (СПОТ) для преодоления запроектных аварий с полной потерей всех источников переменного тока и течах первого контура.

По проекту длительность надежного охлаждения активной зоны обеспечивается в течение не менее 24 часов при совместной работе с системой СПОТ и не менее 8 часов при отказе СПОТ.

Система ГЕ-2 включается в работу после снижения давления в реакторе ниже 1,5 МПа. Система состоит из 4-х групп гидроемкостей по две емкости в каждой группе. Гидроемкости представляют собой вертикальные сосуды диаметром 4,6 м и высотой 10,5 м и в стояночном режиме полностью заполнены раствором борной кислоты при атмосферном давлении.

Система пассивного залива ГЕ-2 является новой разработкой в обеспечении безопасности реакторной установки.

1. Описание стенда.

На **Рис.1** представлена принципиальная гидравлическая схема стенда, включающая основное и вспомогательное оборудование, арматуру, трубопроводы, обратные клапаны, предохранительные клапаны и др.

На **Рис.2** показана аксонометрическая компоновка одной из четырех групп гидроаккумулирующих емкостей с проектными нивелирными отметками. Крупномасштабный гидравлический стенд моделирует одну группу гидроемкостей, обвязанную натурными трубопроводами, имеющими проектные длины и диаметры, арматуру, а нивелирные отметки размещения оборудования соответствуют проектным.

На **Рис.3** представлена аксонометрическая компоновка одной группы гидроемкостей для натурного проекта НВ АЭС-2.

Стенд состоит из двух напорных емкостей Б1 и Б2 объемами воды 16 м^3 и 25 м^3 и сливных емкостей – имитатора реактора Б3 и Б4 объемами пара 16 м^3 и 25 м^3 соответственно. Для решения «масштабного» вопроса напорные и сливные

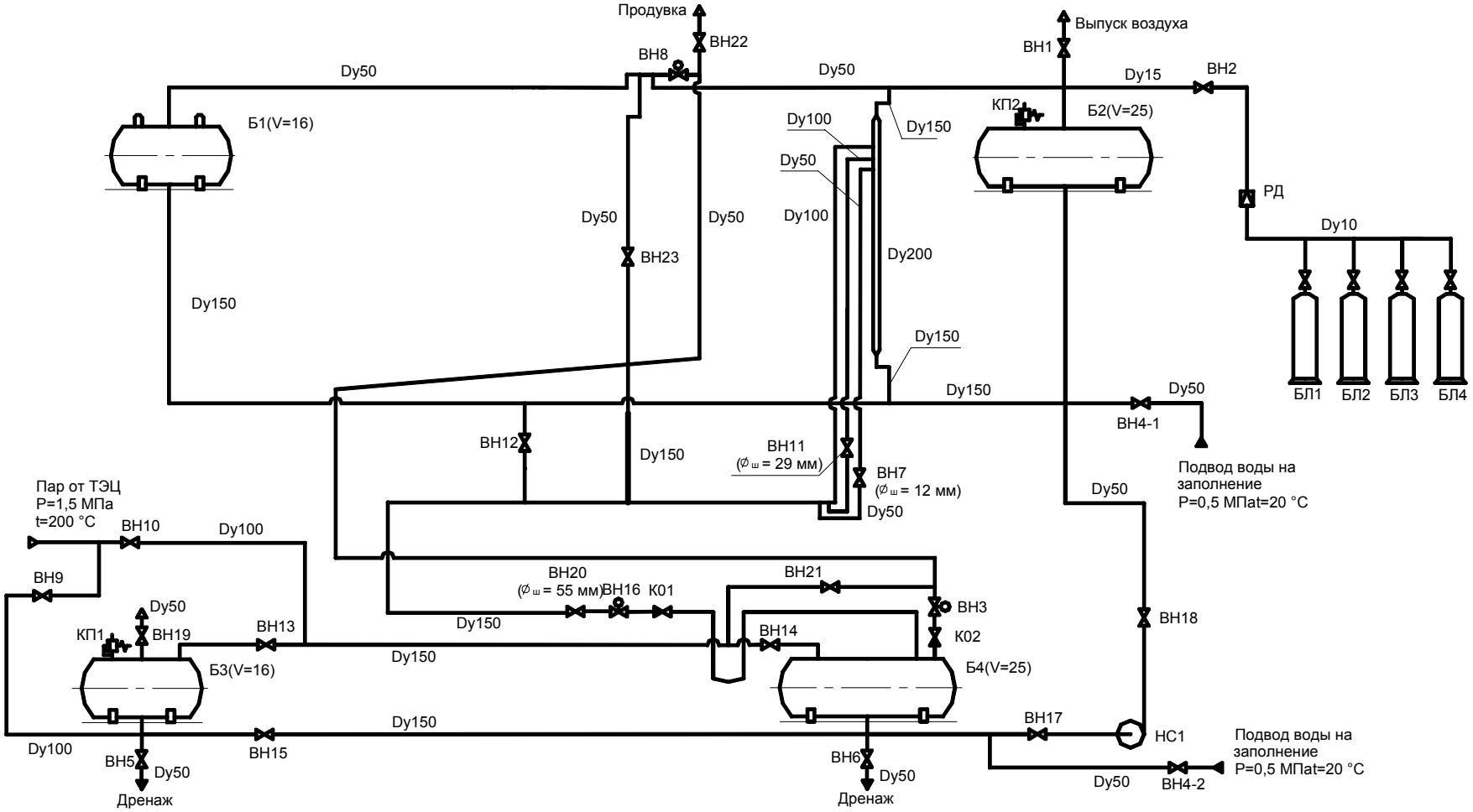

Рис.1. Принципиальная гидравлическая схема стенда ГЕ-2

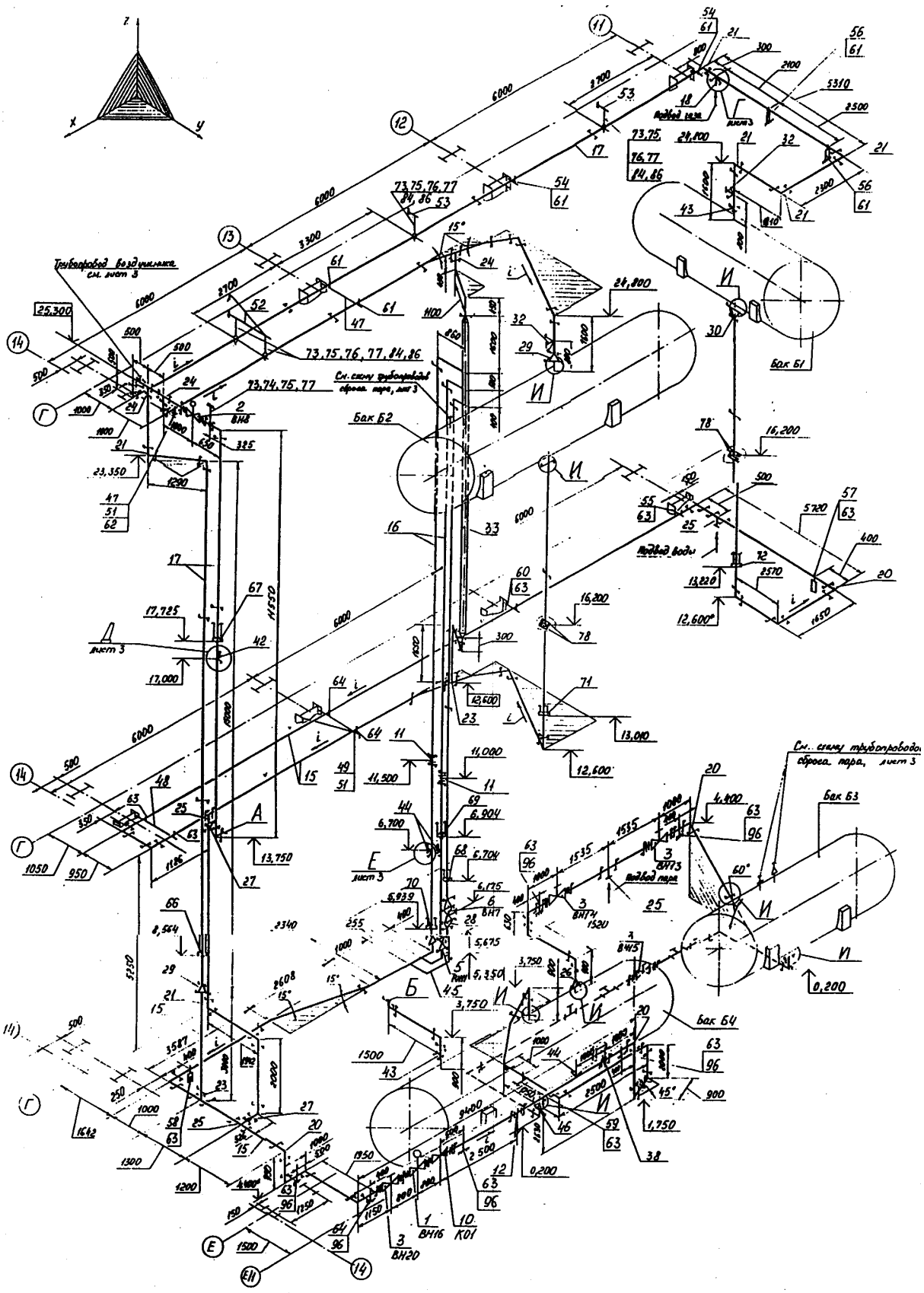

Рис.2 Аксонометрическая компоновка крупномасштабного стенда ГЕ-2 ФЭИ

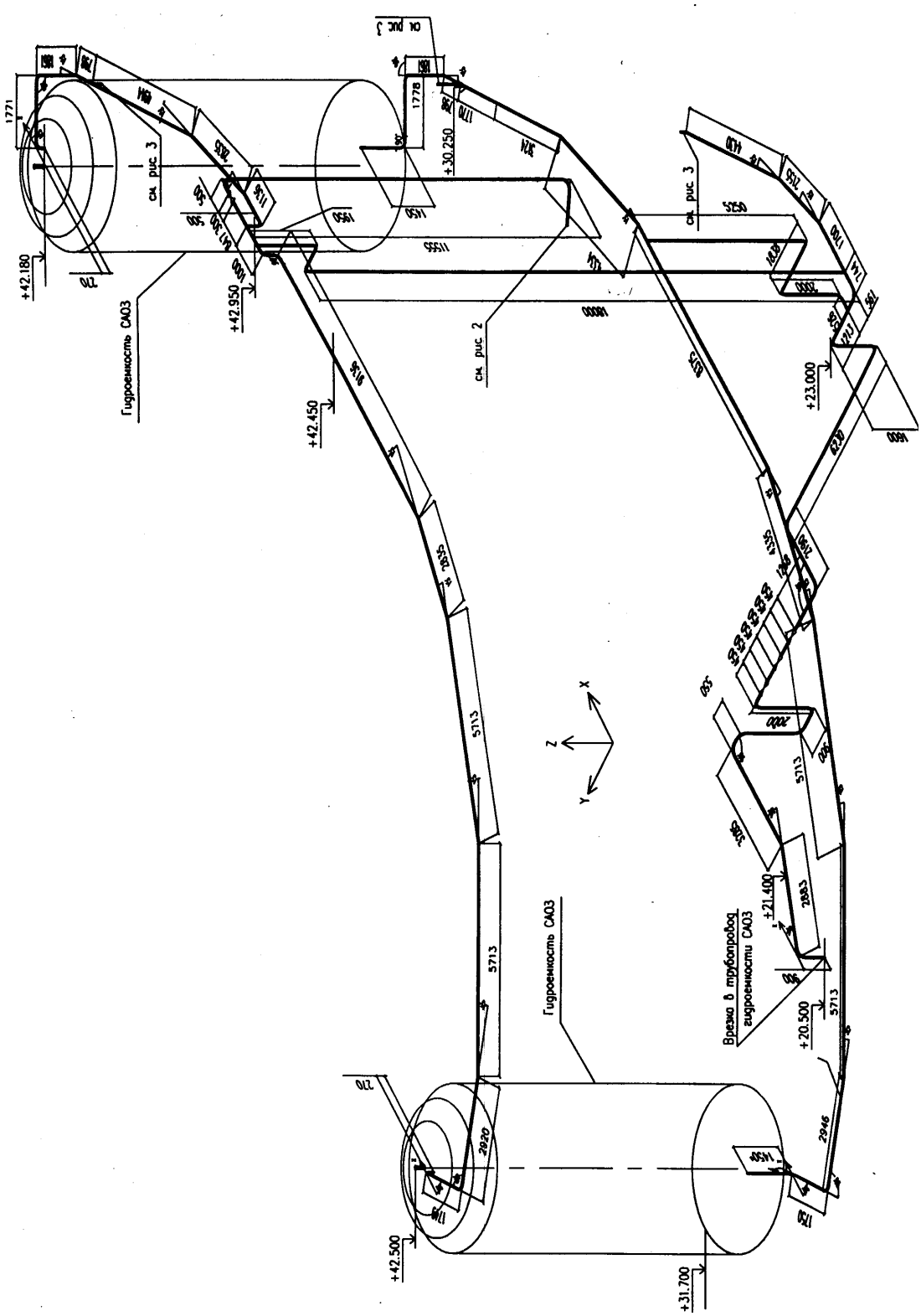

Рис. 3. Аксонометрическая компоновка одной группы гидроемкостей проекта НВ АЭС-2

емкости установлены горизонтально и имеют размеры в среднем сечении 2,2×7,0 м, что соответствует натурным размерам гидроемкостей.

Напорные емкости имеют уравнительные перемычки как по паровой так и по водяной частям, а сливные емкости – уравнительные перемычки ∅150 мм по верху и низу емкостей. Слив воды из напорных гидроемкостей происходит через коллектор в приемные емкости, в которых находится насыщенный пар при давлении 1,5 МПа.

В соответствие с техническими требованиями в обоснование проектных функций системы пассивного залива активной зоны в крупномасштабном стенде ФЭИ предусмотрена реализация схемного решения по соединению верхней части ГЕ-2 с холодной ниткой ГЦТ. Коллектор К1 расположен между уравнительными приемниками ∅150 мм и ∅50 мм и для обеспечения временного профилирования расхода имеет три отвода по высоте коллектора патрубками ∅100 мм, ∅100 мм и ∅50 мм. На двух последних трубопроводах установлены вентиля ВН11 и ВН7. На основном сбросном трубопроводе ∅150 мм установлены вентиль ВН20, электроприводной вентиль ВН16 и обратный клапан КО1.

Регулирующие сливные трубопроводы подсоединяются не к гидроемкостям, а к патрубкам вертикального коллектора К1 (∅200 мм). Такая схема подсоединения снижает число патрубков непосредственно на гидроемкостях.

Пока уровень находится выше верхнего патрубка расход воды максимальный и складывается из расходов всех трех линий. При истечении после прохождения уровнем отметки врезки самой верхней ступени эта линия отключается. Линии слива последовательно отключаются, как только уровень проходит отметку врезки соответствующей линии. Таким образом реализуется трехступенчатое профилирование расхода.

Для установления расходной характеристики пассивной системы расхолаживания ГЕ-2 на стенде предусмотрена следующая процедура работы стенда. При начальной наладке циркуляции из емкостей Б1 и Б2 через коллектор К1 с трехступенчатыми патрубками воды в емкости Б3 и Б4 на трубопроводах ∅100 мм устанавливается вентиль ВН11, на ∅50 мм – вентиль ВН7 и на ∅150 мм – вентиль ВН20.

При наладочных опытах подбором открытия вентилей ВН20, ВН11 и ВН7 устанавливается расходная характеристика. На первых 1000 секундах расход должен быть ~17 кг/с, а после 7 кг/с. Измеряются перепады давления на вентилях ВН20, ВН11, ВН7, которые являются основой для расчета окончательных диаметров дроссельных шайб. Контрольными величинами являются высотные отметки расположения вентилей.

В первом расчетном приближении диаметры шайб должны иметь следующие размеры: вентиль ВН20 $\varnothing_{ш} \approx 55$ мм, вентиль ВН11 $\varnothing_{ш} \approx 29$ мм, вентиль ВН7 $\varnothing_{ш} \approx 12$ мм.

2. Функционирование системы при авариях с течью первого контура.

При возникновении аварийного режима с течью первого контура и одновременной потерей всех источников питания переменного тока по мере снижения давления вначале происходит срабатывание гидроемкостей 1-ой ступени(при P<5,9 МПа), а затем гидроемкостей 2-ой ступени (при P<1,5 МПа). Гидроемкости 2-ой ступени обеспечивают за счет гидростатического столба жидкости дозалив активной зоны.

Отмеченный выше алгоритм развертывания системы пассивного залива ГЕ-2 на стенде осуществляется следующим образом.

Напорные баки Б1 и Б2 заполняются полностью водой через вентили ВН4-1 с контролем через вентиль ВН1. Вентили ВН16, ВН8 и ВН3 полностью закрыты. Обратные клапаны КО1 и КО2 закрыты. Приемные баки-имитаторы реактора Б3 и Б4 через вентиль ВН4-2 заполняются водой на высоту 0,6 м от дна, и это заполнение контролируется уровнемерами типа «САПФИР»-22ДД. Закрываются все дренажные вентиля ВН5, ВН6, ВН19 и вентиля связи ВН9, ВН17, ВН18, ВН12, ВН2. Предохранительные клапаны КП1 и КП2 настроены на предельное давление 1,6 МПа. Открываются вентиля ВН13, ВН14, ВН15. Проверяется качество пара от ТЭЦ ФЭИ (давление и температура) и постепенным открытием вентиля ВН10 заполняют паром емкости Б3 и Б4 для их прогрева и стабилизации давления в них на уровне 1,5 МПа.

После стабилизации давления и компенсации тепловых потерь вентиль с электроприводом ВН16 и ВН3 устанавливаются в полностью открытое положение.

Все измерительные датчики, приборы и система обегающего контроля приводится в состояние «пуск».

В момент открытия обратного клапана КО2 происходит запуск стенда в работу и одновременно записываются все измеряемые параметры во времени: давления, уровни, расходы, температуры.

Пар начинает поступать в вертикальную трубу ∅50 мм и горизонтальные трубы-перемычки ∅50 мм. Встречные потоки воды и пара в трубах ∅50 мм могут обеспечить передачу импульса давления в емкости Б1 и Б2, но стабильное открытие обратного клапана КО1 произойдет только тогда, когда давление в емкостях Б1 и Б2 достигнет давления 1,3÷1,4 МПа.

Рост давления в емкостях Б1 и Б2 будет определяться интенсивностью конденсации пара на металлических поверхностях емкостей и прогревом воды в поверхностном слое. Открытие обратного клапана КО1 должен обеспечить разворачивание системы подачи воды из емкостей Б1 и Б2 в емкости Б3 и Б4. Длительность эксперимента оценивается в 1200 – 1500 секунд.

Основное назначение крупномасштабного стенда состоит в следующем:

- отработать алгоритм запуска системы гидроемкости 2-ой ступени;
- определить время разворачивания системы подачи воды из напорных емкостей в сливные;
- определить работоспособность системы при выбранной схеме обвязки;

– подтвердить экспериментально возможность обеспечить расходную характеристику системы пассивного залива;
– определить динамику потоков воды и пара между гидроемкостями.

3. Гидравлический расчет стенда ГЕ-2 ФЭИ.

В качестве расчетной схемы используется идеализированная гидравлическая схема стенда по **Рис.1**, представленная на **Рис.4**.

Начальное давление в баках 3 и 4 равно 1,5 МПа. Верхние напорные баки 1 и 2 заполнены водой при температуре 30^0С и давлением 0,1 МПа. Нижние баки на 0,6 м заполнены водой при температуре насыщения. Обратный клапан в паровой линии расположен на 2 м выше нижних баков и открывается в начальный момент времени. Обратный клапан в линии слива открывается при условии, что давление в ней больше, чем в нижнем баке.

Пар от ТЭЦ с температурой 200^oС начинает поступать в бак 3.

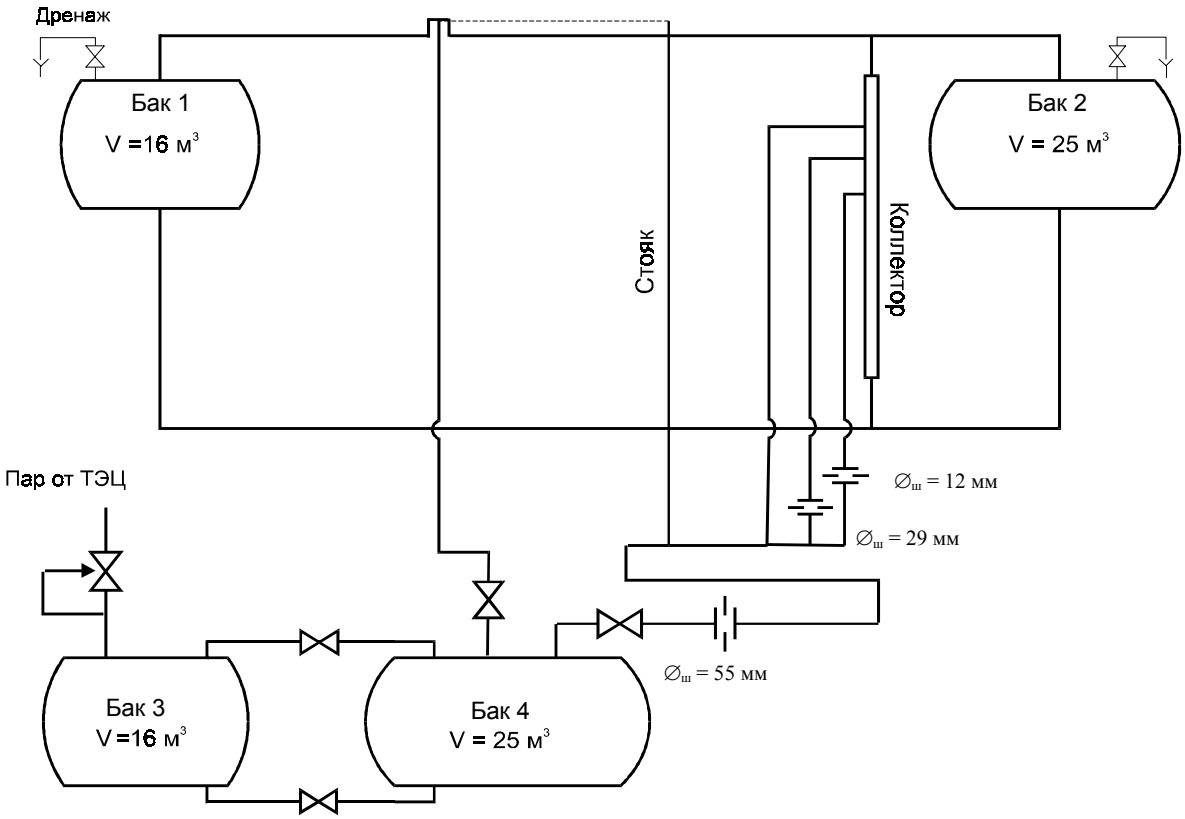

Рис.4. Гидравлическая схема стенда ГЕ-2 для расчета

На **Рис.5** представлены расчетные графики изменения расхода воды из верхних баков в нижние через профилирующий коллектор. Суммарный расход в первые 700-800 секунд составляет ~17 кг/с, а к 1100-1200 секунде расход будет ~ 7 кг/с. На **Рис. 6** показано изменение суммарного расхода излива в первые 20 секунд.

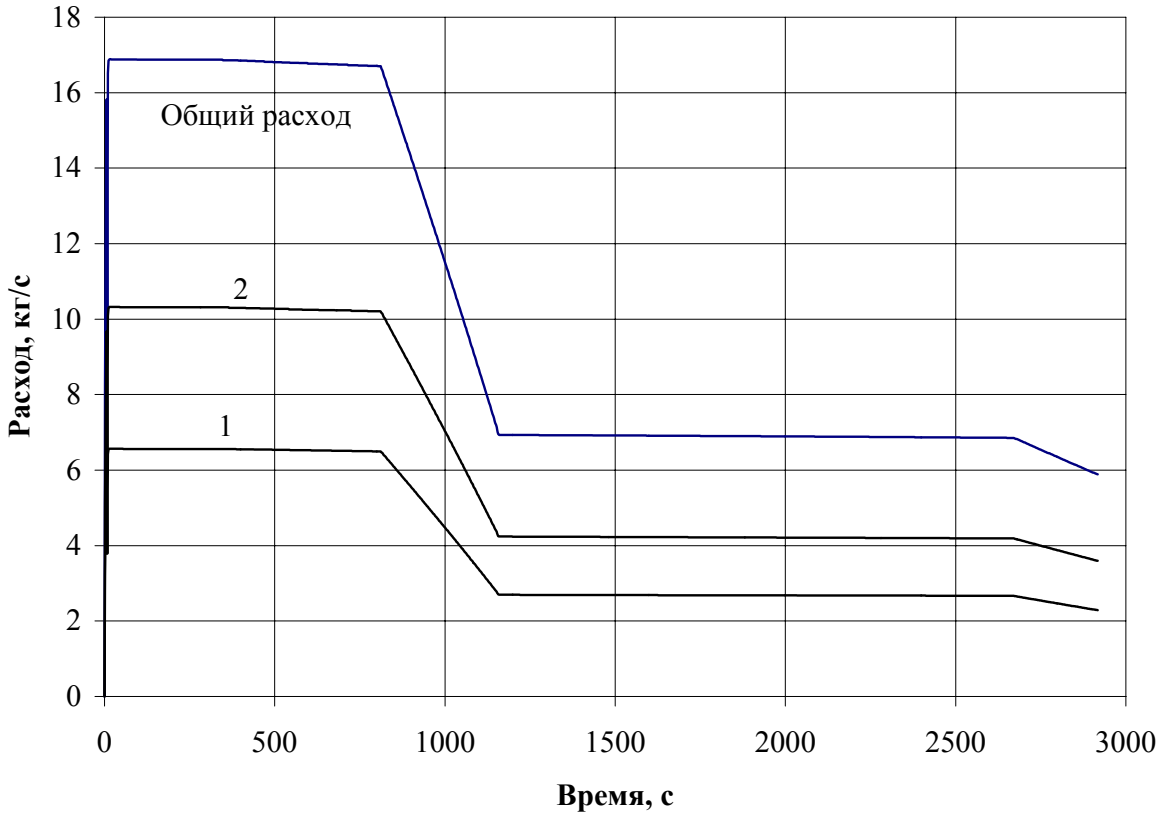

Рис. 5. Расход воды из коллектора по ниткам 1 и 2 и общий расход

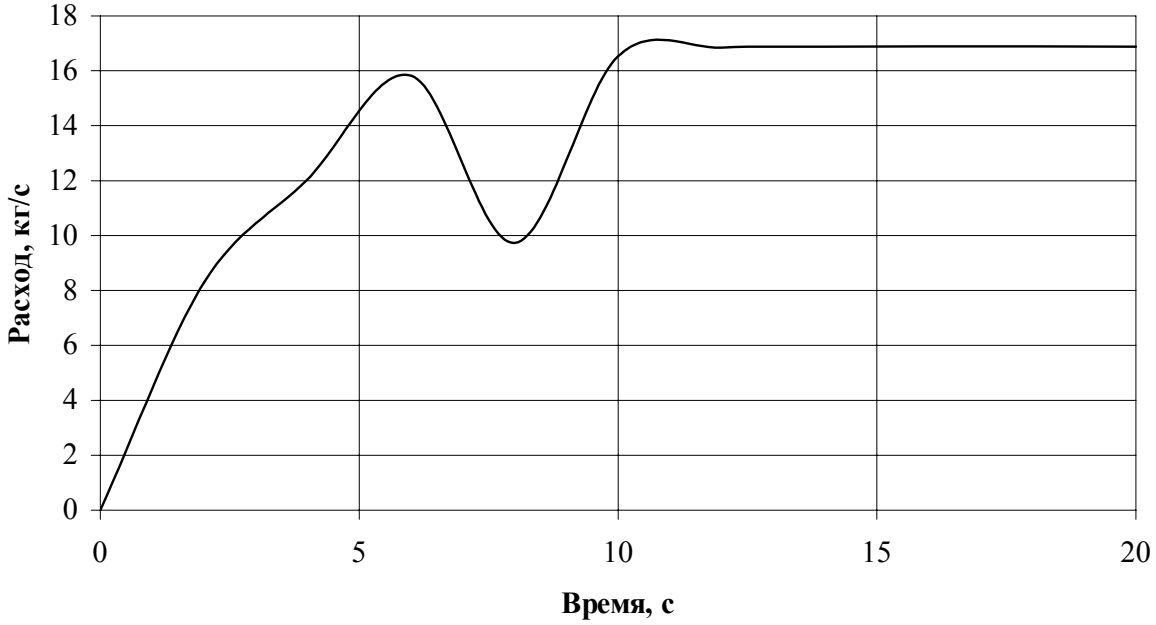

Рис. 6. Изменение общего расхода воды в первые 20 секунд

На **Рис. 7** проиллюстрировано изменение уровней воды в верхних баках, коллекторе и нижних баках за время опытов.

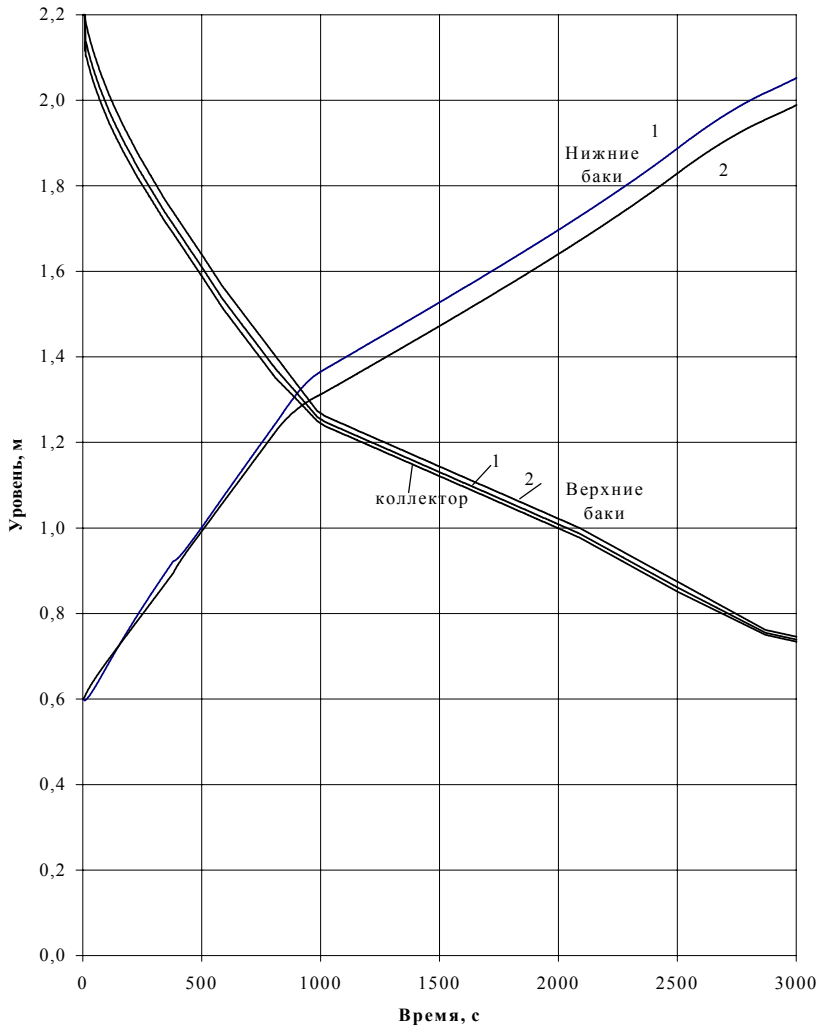

Рис.7. Изменения уровня воды во времени в нижних и верхних баках и коллекторе

Несмотря на то, что расчетная программа достаточно хорошо описывает процессы излива воды в стенде, ее все же необходимо верифицировать на экспериментальных данных.

Заключение.

Стенд ГЕ-2 сооружается для решения следующих вопросов:

- экспериментальное обоснование расходов из группы гидроемкостей 2-ой ступени в модель реактора (сливные баки) при достижении в них давления 1,5 МПа и открытии наружных задвижек и обратных клапанов на паровом и напорном трубопроводах;
- отработка алгоритма запуска системы гидроемкостей, определение времени разворачивания системы подачи воды из напорных емкостей в сливные;
- определение динамики потока воды и пара между гидроемкостями;
- определение работоспособности системы при выбранной схеме обвязки гидроемкостей и коллектора и уточнение схемы их обвязки;

- решение вопроса раскрепления трубопроводов для обеспечения вибрационной устойчивости трубопроводов при неравновесном двухфазном течении в них;
- обоснование конструкции специального клапана, соединяющего ГЕ-2 с РУ при 1,5 МПа.

Полномасштабный стенд для обоснования проектных функций системы пассивного залива ГЕ-2 является представительной установкой для отработки методики настройки системы ГЕ-2 на РУ и даст экономию времени при пуско-наладке на АЭС.

Использованные источники

1. G. S. Taranov and V. M. Berkovich, THE CONCEPT AND MAIN SOLUTIONS FOR THE SAFETY OF A NEW RUSSIAN PROJECT OF A NUCLEAR POWER STATION WITH A VVER-1000 REACTOR , Proceedings of ICONE 8, 8th International Conference on Nuclear Engineering, April 2-6, 2000, Baltimore, MD USA, ICONE-8019.
2. Беркович В.М., Таранов Г.С., Пересадько В.Г. Пассивные системы безопасности АЭС с ВВЭР-1000 и результаты научно-исследовательских работ по обоснованию проектных функций систем. Отраслевая конференция «Вопросы безопасности АЭС с ВВЭР», 12-14 сентября 2000 г., С-Петербург.