(cc) BY

Гусев Сергей Сергеевич
инженер-энергетик
ПАО «Ростелеком»
г. Москва

ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА ВСТРОЕННОЙ ХОЛОДНОЙ ФИЛЬТР-ЛОВУШКИ РАБОЧЕГО УЧАСТКА БН-1200 НА СТЕНДЕ САЗ

***Аннотация**: комплексные испытания проводятся для подтверждения расчетных тепловых и массообменных характеристик холодной фильтр-ловушки. Основными технологическими характеристиками холодных ловушек являются производительность, ёмкость по примесям и энергоёмкость. Под производительностью ловушки понимается масса примеси, удаленной в единицу времени, либо масса теплоносителя, очищаемого в единицу времени до требуемой безопасной концентрации той или иной примеси. Емкость ловушки по примесям – это масса примеси, которую можно накопить либо в единице объема устройства, либо на единице элемента ловушки, до момента необратимого возрастания гидравлического сопротивления. Под энергоемкостью ловушки понимается энергия, которую необходимо затратить для удаления единицы массы примеси, либо для очистки единицы теплоносителя до требуемой концентрации той или иной примеси.*

Необходимость роли повышения квалификации персонала, обслуживающих ядерные энергетические установки (ЯЭУ), в частности атомные электростанции (АЭС) и стенды рабочих участков, которым посвящена данная статья, позволяет на практике и в теории в частности подготовить инженеров и научных сотрудников в сфере обслуживания АЭС и ЯЭУ.

***Ключевые слова**: холодная фильтр-ловушка (ХФЛ), рабочий участок (РУ), стенд аварийной защиты (САЗ), трубопроводы.*

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

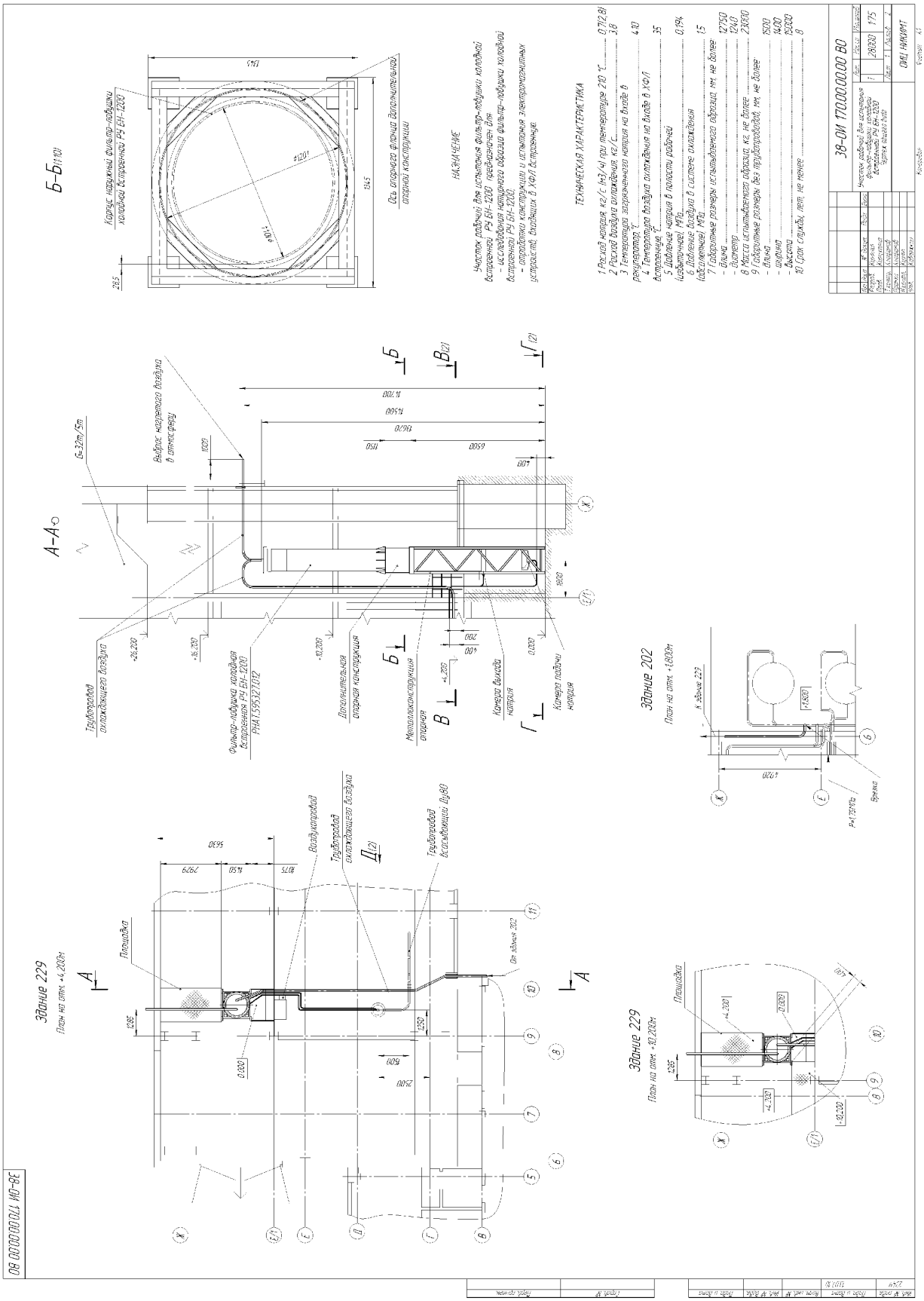

Рис. 1. Участок для испытания холодной ловушки на стенде САЗ

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Работа, представленная к рассмотрению, предполагает повышение квалификации подготовки аспирантов и инженеров в технических вузах, специальности которых соответствуют требованиям подготовки инженеров технических наук в области ядерных энергетических установок.

Имеются акты, полученные С.С. Гусевым, в преподавательском проекте по темам «Теория и системы управления» и «Системы управления: проектирование систем управления» для студентов специальности «Электроника и автоматика физических установок», «Информационное обеспечение АЭС» и «АСУТП АЭС» специальности «Атомные электрические станции» в Обнинском институте атомной энергетики – филиале Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», а также в научном проекте «Методического руководства по определению оценок параметров динамических объектов управления» в ООО Экспериментальном научно-исследовательском и методическом центре «Моделирующие Системы».

Схема рабочего участка для испытания макета встроенной холодной фильтр-ловушки (ХФЛ) на стенде рабочего участка (РУ) БН-1200 стенда САЗ представлена на рисунке 1.

Участок для испытания встроенной ХФЛ состоит из следующих составных частей: металлоконструкции опорной; трубопровода натрия; трубопровода охлаждения ХФЛ встроенной; площадки.

Металлоконструкция опорная предназначена для размещения в рабочем положении ХФЛ встроенной с оборудованием внутри здания 229 стенда САЗ ФЭИ. Металлоконструкция опирается на бетонное основание помещения газовакуумной системы (№117 по плану) на отметке 0.000 через закладные пластины с подливкой из бетона.

На отметке 4.200 м металлоконструкция опорная для обеспечения устойчивости закрепляется к плитам перекрытия в проеме съемной плиты.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Трубопровод натрия предназначен для подачи натрия с требуемыми параметрами к рекуператору ХФЛ и отвода натрия от выхода из подогревателя ХФЛ [1]. Трубопровод натрия DN25 врезается в трубопровод, всасывающий DN80 стенда САЗ до и после электромагнитного винтового насоса ЭНИВ-4 Э079. До него врезается ветка трубопровода выхода натрия, после – ветка подачи натрия. Такая схема врезки позволяет использовать, при необходимости, этот насос для создания напора натрия. К кольцевому входу рекуператора встроенной ХФЛ приваривается переходник – камера подачи натрия, а к выходу очищенного натрия из подогревателя приваривается переходник – камера выхода натрия.

Трубопровод охлаждающего воздуха предназначен для подачи охлаждающего воздуха от газодинамического комплекса к входной газовой трубе встроенной ХФЛ и выброса нагретого воздуха от выходной газовой трубы за пределы помещения в атмосферу [4]. Изготавливается из трубы DN80 и врезается в трубопровод DN100 газодинамического комплекса, расположенного в здании 202.

Перед испытаниями проводятся монтаж и пуско-наладка системы очистки на стенде САЗ. Исследуется накопление примеси (кислород, водород) в макете встроенной ХФЛ. Проводится запись показаний приборов и количества поданной примеси для учета количества отложений, накопленных в макете холодной ловушки. Кроме того, ведется контроль за технологическими и параметрами основного контура и его основных элементов.

Оцениваемые параметры:

1. Время очистки до исчерпания ресурса при заданных величине источника примеси и расходе натрия через холодную ловушку.

2. Температурные режимы натрия на входе и выходе и внутри холодной ловушки.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

3. Температура аргона на входе и выходе из холодной ловушки, его давление и массовый расход.

4. Концентрация примесей в натрии на входе и выходе из холодной ловушки.

Перечень режимов, соответствующих нормальной эксплуатации встроенной холодной фильтр-ловушки.

Условия экспериментов соответствуют условиям эксплуатации встроенной ХФЛ, которые подразделяются на следующие:

– нормальная эксплуатация;

– эксплуатация при существенном повышении содержания примесей в натрии (например, после перегрузки реактора).

Для обеспечения требуемых в экспериментах температурных режимов и фиксированных уровней концентраций кислорода в натрии используются основной нагреватель стенда и дозатор примеси, расположенный на основном контуре. Смесь водорода с аргоном может подаваться в натрий через специальный дозатор, расположенный также на основном циркуляционном контуре. Уровень кислорода в натрии контролируется электрохимическими ячейками и пробковым индикатором, а водорода – индикатором водорода типа ИВА.

Перечень режимов, соответствующих нормальной эксплуатации встроенной ХФЛ, приведен в таблице 1. Эксперименты проводятся с примесью кислорода (водорода) в натрии. Начальная концентрация примеси выбирается такой, чтобы температура кристаллизации была на 50 ^{0}C ниже температуры натрия в контуре.

Температура натрия в контуре – 350–400°C.

Заданная концентрация кислорода в натрии эксплуатационного участка создается периодической засыпкой перекиси натрия Na_2O_2 через дозатор в дыхательный бак насоса [4]. При этом порция перекиси весом около 5 кг. засыпается тогда, когда температура забивания пробкового индикатора становится ниже

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

250 ^{0}C. Температура забивания пробкового индикатора определяется с интервалом 1 час.

Таблица 1

Наименование режима	Значение	Дополнительные сведения
1. Разогрев перед заполнением натрием 1.1. Среда	 Аргон	Разогрев осуществляется средствами и в составе РУ. Газовое охлаждение отключено
2. Заполнение полости ХФЛ натрием		Газовое охлаждение отключено
3. Режим холодной очистки в номинальном режиме работы реактора в условиях малой загрязненности натрия 3.1. Среда	 Натрий, примеси	Газовое охлаждение работает. Рекуператор подключен.
4 Режим холодной очистки в режиме перегрузки реактора и режиме номинальной работы реактора в условиях большой загрязненности натрия 4.1. Среда	 Натрий, примеси	Газовое охлаждение работает. Рекуператор отключен
5. Режим механической очистки 5.1. Среда	 Натрий	Газовое охлаждение отключено.
6. Стояночный режим 6.1. Среда	 Натрий, примеси	Циркуляция натрия отсутствует. Газовое охлаждение работает
7. Режим пневмогидравлических испытаний при техническом освидетельствовании 7.1. Среда	 Натрий, примеси	Циркуляция натрия отсутствует. Газовое охлаждение работает

Количество окиси натрия, поступающее в контур, рассчитывается по реакции

$$Na_2O_2 + 2\ Na = 2\ Na_2O$$

Количество водорода, подаваемое в контур с натрием, оценивается по падению давления газа в емкости известного объема, из которой перепускается водород.

Эксперименты проводятся в следующем порядке:

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

1. Производится разогрев основного контура до температуры около 350 °С.

2. Натрий очищается штатной холодной ловушкой до температуры забивания 120–130 °С.

3. Устанавливается требуемый уровень концентрации кислорода в натрии путем подачи перекиси натрия Na_2O_2 в дыхательный бак насоса (до ≈23 млн$^{-1}$). Далее поддерживается этот уровень.

4. Производится прокачка натрия через макет встроенной ХФЛ в течение времени, необходимого для исчерпания ее ресурса, с расходом 0,7 – 1,0 кг/с.

5. Оценивается количество примеси (оксид, гидрид натрия), накопленное холодной ловушкой. Полученные данные сравниваются с результатами модельных расчетов в соответствии с разрабатываемыми кодами.

6. Производится регенерация макета ХФЛ.

7. Аналогичные эксперименты по п.п. b. – e. выполняются при подаче в натрий водорода (до ≈3 млн$^{-1}$).

Предложение по установке страховочных кожухов на циркуляционных трубопроводах второго контура РУ БН-1200.

Основные задачи установки защитных кожухов:

1. Исключить попадание вытекающего из дефекта натрия за пределы системы окожухования.

2. Обеспечить следующие основные мероприятия при возникновении и ликвидации последствий аварийной ситуации:

– обнаружение места течи на ранней стадии развития аварии по показаниям датчиков, установленных в страховочном кожухе;

– накопление вытекающего из дефекта в трубопроводе натрия в объеме кожуха;

3. Исключить перетекание пролившегося натрия из дефектной секции страховочного кожуха в соседние секции.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

4. У обслуживающего персонала появляется резерв времени для принятия решения о выводе из эксплуатации дефектной секции парогенератора при появлении сигнала от системы электрообогрева до сигнала от системы окожухования.

К защитным кожухам, устанавливаемым на циркуляционных трубопроводах второго контура РУ БН-1200, предъявляются следующие требования:

1. Защитные кожуха циркуляционных трубопроводов второго контура РУ БН-1200 должны быть разбиты на секции.

2. Секция страховочного кожуха циркуляционного трубопровода должна быть одинакового размера с секцией электронагревателей.

3. Для обеспечения сборки и демонтажа каждая секция страховочного кожуха должна состоять из съемных частей. Для горизонтальных трубопроводов секция защитных кожухов состоит из защитного экрана (верхняя часть) и короба – накопителя (нижняя часть).

4. Секции должны разделяться между собой бандажами. Бандаж должен быть съемный, плотно прилегать к циркуляционному трубопроводу, но не на сварке. Бандаж является составной частью защитного кожуха, к которому крепятся короб – накопитель и защитный экран.

5. Короб – накопитель используется для сбора пролившегося натрия и его слива в дренажные баки. Короб должен привариваться к нижнему полукольцу бандажа герметично.

6. Дренирование натрия из объема страховочного кожуха горизонтального трубопровода может осуществляться через сливные патрубки. Патрубки привариваются к днищу короба-накопителя и герметизируются заглушками на сварке.

7. Объем натрия, который может попасть в короб – накопитель, зависит от размера дефекта и времени истечения и может быть определен расчетным пу-

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

тем. Соответственно и рабочий объем короба – накопителя должен быть таким же.

8. Контроль появления натрия в коробе – накопителе осуществляется с помощью термопары и датчиков контроля герметичности, установленных в нижней части короба – накопителя горизонтального циркуляционного трубопровода.

9. Защитный экран предназначен для исключения струйного истечения натрия через дефект в циркуляционном трубопроводе за пределы кожуха.

10. Вывод концов электронагревателей, термопар и любых других датчиков должен осуществляться через проходки в защитном экране.

11. Для циркуляционных трубопроводов вертикального исполнения секция защитного кожуха состоит из корзины – накопителя (она же является бандажом), и защитного экрана. Бандаж состоит из двух разъемных полуколец, которые вплотную прилегают к циркуляционному трубопроводу и плотно соединяются между собой. В корзине закрепляется защитный экран, также состоящий из разъемных деталей (полуцилиндров).

12. Контроль появления натрия в корзине – накопителе осуществляется аналогично системе контроля, предложенной в п. 8.

13. Вывод концов электронагревателей, термопар и других датчиков из кожуха вертикального трубопровода осуществляется аналогично п. 10.

14. Толщина стенки страховочных кожухов должна быть несколько мм, материал стенки – оцинкованное железо.

Заключение.

Изготовлены и направлены в Государственном Научном Центре Российской Федерации – Физико-Энергетическом Институте имени А.И. Лейпунского макетный образец ХФЛ в трех исполнениях и электронагреватель для ХФЛ, изготовлен и смонтирован рабочий участок на натриевом стенде, выполнен монтаж ХФЛ. Проведены испытания макетного образца ХФЛ на рабочем участке

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

натриевого стенда «Протва-1», разработаны рекомендации по уточнению конструкции и режимов эксплуатации ХФЛ, определены константы массопереноса кислорода в натрии [2], верифицирована расчетная программа по результатам исследования накопления отложений в модели холодной ловушки.

Для получения распределения толщины отложений по высоте ловушки использована математическая обработка измерений температурного режима модели ХФЛ, выданы рекомендации по усовершенствованию полномасштабной встроенной холодной ловушки БН-1200.

Список литературы

1. Акоста В. Основы современной физики / В. Акоста, К. Кован, Б. Грэм. – М.: Просвещение, 1981. – 495 с.

2. Гусев С.С. Построение модифицированного алгоритма идентификации динамического объекта управления по экспериментальным данным ядерной энергетической установки // Управление большими системами. – 2014. – №47. – С. 167–186.

3. Лысиков Б.В. Термометрия и расходометрия ядерных реакторов / Б.В. Лысиков, В.К. Прозоров. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.

4. Фраэнфельдер Г. Субатомная физика / Г. Фраэнфельдер, Э. Хенли. – М.: Мир, 1979. – 735 с.

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)