












ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-1
---------------------	--	------------------	---------

## 5.4.9 СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ

Дата		06.2015
Заместитель генерального конструктора, начальник отделения		И.Г. Щекин
Главный конструктор, начальник департамента		Д.Н. Ермаков
Главный конструктор, начальник департамента		В.И. Крыжановский
Главный конструктор, начальник департамента		М.П. Никитенко
Начальник отдела		А.М. Рогов
Начальник отдела		С.В. Шмелев
Начальник отдела		В.В. Петров
Ведущий конструктор		А.А. Пантюхин
Проверил		В.М. Рогов
Разработал		И.К. Вдовкина
Нормоконтроль		Т.Н. Созина
Всего листов		26

### СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений.....	5.4.9-2
Условные обозначения.....	5.4.9-3
5.4.9.1 Проектные основы.....	5.4.9-4
5.4.9.2 Проект системы.....	5.4.9-5
5.4.9.3 Связанные системы.....	5.4.9-11
5.4.9.4 Управление и контроль работы системы.....	5.4.9-12
5.4.9.5 Испытания и проверки.....	5.4.9-18
5.4.9.6 Анализ проекта.....	5.4.9-19
5.4.9.7 Выводы.....	5.4.9-23
Список литературы.....	5.4.9-24
Лист регистрации изменений.....	5.4.9-26

491-Пр-1657

LN20.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001\_&\_F=0

LN20.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	337
--------------------------------------	--	-----

478449 07.07.2015

ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-2
---------------------	--	------------------	---------

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЭС	-	атомная электрическая станция
БПУ	-	блочный пункт управления
ГК	-	главный клапан
ГЦК	-	главный циркуляционный контур
ГЦНА	-	главный циркуляционный насосный агрегат
ГЦТ	-	главный циркуляционный трубопровод
ИПУ	-	импульсно-предохранительное устройство
ИК	-	импульсный клапан
КД	-	компенсатор давления
КИП	-	контрольно-измерительные приборы
ННЭ	-	нарушение нормальной эксплуатации
НЭ	-	нормальная эксплуатация
ОК	-	отключающий клапан
ПНР	-	предпусковые наладочные работы
ППР	-	планово-предупредительный ремонт
РПУ	-	резервный пункт управления
РУ	-	реакторная установка
ТЭН	-	трубчатый электронагреватель

478449 07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	338
--------------------------------------	--	-----

ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-3
---------------------	--	------------------	---------

### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $N_{\text{НОМ}}$  - номинальная мощность, МВт, %  
 $T_{\text{НОМ}}$  - номинальная температура, °С

478449  
*Ref*  
07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	339
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-4
---------------------	--	------------------	---------

### 5.4.9.1 Проектные основы

5.4.9.1.1 Система поддержания давления в первом контуре предназначена для компенсации изменения объема, создания, регулирования и ограничения давления теплоносителя первого контура РУ.

5.4.9.1.2 Система поддержания давления в первом контуре обеспечивает выполнение следующих функций:

- компенсацию температурных изменений объема теплоносителя первого контура;
- создание и поддержание давления в первом контуре реакторной установки в период пуска;
- ограничение отклонений давления в первом контуре во время работы реакторной установки;
- защиту первого контура от чрезмерного повышения давления;
- снижение давления в первом контуре, в т.ч. совместно с системой КВА, в режиме расхолаживания реакторной установки;
- локализацию протечек пара через ИПУ КД и сдувок из КД в период пуска;
- снижение давления в первом контуре совместно с системой JND в режиме течи из первого контура во второй.

5.4.9.1.3 В проект системы поддержания давления в первом контуре, заложены следующие проектные основы:

- соответствие требованиям нормативной документации /1 – 10/;
- объем КД должен обеспечивать компенсацию температурного изменения объема теплоносителя первого контура при изменении мощности реактора от 30 до 100 % и обратно. Объем воды в КД должен быть достаточным для не оголения ТЭН в режимах НЭ и не допущения попадания паровой фазы в ГЦТ при ННЭ, не связанных с разуплотнением первого контура;
- высота парового объема должна быть достаточной для обеспечения эффективности впрыска;
- для обеспечения постоянного водообмена между КД и ГЦК, прогрева трубопроводов и пространства под ТЭН должна быть предусмотрена постоянная протечка теплоносителя;
- поддержание давления при работе в стационарном режиме обеспечивается работой ТЭН, компенсирующей тепловые потери с поверхности КД и постоянную протечку теплоносителя;
- ограничение роста давления теплоносителя первого контура при НЭ обеспечивается впрыском теплоносителя с напора ГЦНА в КД соответствующим расходом по линии с регулирующей арматурой Ду 50;
- ограничение роста давления теплоносителя первого контура при ННЭ и проектной работе всего оборудования и систем обеспечивается впрыском теплоносителя с напора ГЦНА в КД соответствующим расходом по линии с регулирующей арматурой Ду 50 и по двум линиям с быстродействующей арматурой Ду 125;
- ограничение роста давления теплоносителя первого контура при проектных исходных событиях с учетом предусмотренных нормативными документами отказов обеспечивается работой трех ИПУ КД;
- расхолаживание КД обеспечивается впрыском с напора ГЦНА (от системы подпитки-продувки при низкой эффективности или в условиях не работающих ГЦНА) через регулирующей клапан Ду 100 расходом, обеспечивающим заданную скорость расхолаживания.

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	340
--------------------------------------	--	-----

Def 07 ИЮЛ 2015  
 478449



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-5
---------------------	--	------------------	---------

5.4.9.1.4 Элементы системы поддержания давления по назначению относятся к элементам нормальной эксплуатации и элементам безопасности, а по влиянию на безопасность – к элементам, важным для безопасности. Элементы системы по /1/ имеют следующие классификационные обозначения:

- корпус компенсатора давления – 1Н;
- элементы крепления, блоки ТЭН – 2Н;
- трубопроводы: соединительный, впрыска и сброса пара от КД до ИПУ – 2Н;
- ИПУ и дополнительная линия управления ГК – 2З;
- арматура трубопроводов – 2Н;
- барботер – 3Н;
- трубопровод сброса пара на участке от ИПУ до барботера – 3Н.

5.4.9.1.5 Оборудование системы в зависимости от степени влияния ее на безопасность АЭС по /2/ относится к следующим группам:

- корпус компенсатора давления к группе А;
- ИПУ и дополнительная линия управления ГК к группе В;
- трубопроводы системы КД: соединительный, впрыска, сброса от КД до ИПУ КД к группе В;
- блоки ТЭН к группе В;
- трубопроводы системы от ИПУ КД до барботера, включая барботер, к группе С.

5.4.9.1.6 По категориям сейсмостойкости в соответствии с /3/ оборудование системы от КД до ИПУ КД, включая КД, ИПУ и дополнительную линию управления ГК, относится к первой категории, а после ИПУ КД до барботера, включая барботер – к категории II.

5.4.9.1.7 При оценке безопасности АЭС рассмотрены анализы поведения станции при постулируемых исходных событиях с учетом зависимых от исходного события отказов и принципа единичного отказа. Перечень указанных исходных событий, связанных с нарушением нормальной эксплуатации и запроектными авариями, приведен в разделах 15.1 и 15.2. Проектные характеристики оборудования и систем, которые использованы в качестве исходных данных при оценке безопасности, приведены в разделе 15.4.

5.4.9.1.8 При проектировании оборудования учтены сейсмические нагрузки, нагрузки при срабатывании ИПУ, при сдвиге парогазовой смеси в режимах разогрева, нагрузки от гидравлических испытаний и уплотнений-разуплотнений, а также нагрузки, возникающие во всех остальных проектных режимах. В режимах нормальной эксплуатации, при нарушении теплоотвода из-под герметичной оболочки и после режима «малой» течи компенсатор давления, барботер, трубопроводы, ИПУ сохраняют работоспособность и не требуют ревизии. После аварийного режима «большой» течи или ложного впрыска в КД теплоносителя с температурой 20 °С производится ревизия оборудования и определяется возможность его дальнейшей эксплуатации.

### 5.4.9.2 Проект системы

5.4.9.2.1 Принципиальная схема системы поддержания давления в составе первого контура приведена в подразделе 5.1.2.

В состав системы поддержания давления входят:

- компенсатор давления с комплектом электронагревателей и элементами крепления (JEF10BV001);
- барботер с элементами крепления (JEG10BV001);
- соединительный трубопровод;
- трубопроводы впрыска с арматурой;

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	341
--------------------------------------	--	-----

478449 Def 07 ИЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-6
---------------------	--	------------------	---------

- трубопровод сброса пара с импульсно-предохранительными устройствами;
- трубопровод сброса парогазовой смеси с арматурой и дроссельным устройством.

КД представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с двумя эллиптическими днищами, работающий под давлением. КД установлен и закреплен на нижней опоре и фиксируется верхней подвижной опорой. В состав КД входят корпус, внутрикорпусные устройства, блоки ТЭН, сосуды уравнивающие (для контроля уровня теплоносителя в КД), элементы крепления.

Материал корпуса КД – легированная сталь 10ГН2МФА. Внутренняя поверхность корпуса КД, контактирующая со средой первого контура, плакирована наплавкой антикоррозионными материалами.

На верхнем днище КД расположены патрубок для подсоединения трубопровода впрыска теплоносителя, патрубок для подсоединения трубопровода сброса пара через ИПУ, патрубок аварийного ввода бора, люк-лаз для обследования и ремонта внутрикорпусных устройств КД, бобышка с чехлом для установки термопреобразователя сопротивления для измерения температуры стенки корпуса. На горловине люка-лаза расположены штуцеры под трубопровод для сброса парогазовой смеси в барботер, подвода азота и сброса среды в систему газовых сдувок, под трубу для подсоединения к уравнивающим сосудам и под трубопровод для отвода протечек из зоны, расположенной между прокладками уплотнения люка-лаза с крышкой КД.

На нижнем днище расположены патрубок под «соединительный» трубопровод, соединяющий «горячую» нитку петли № 4 ГЦТ с КД, штуцер для отбора проб, бобышка с чехлом для установки термопреобразователя сопротивления для измерения температуры стенки корпуса.

На цилиндрической обечайке КД расположены чехлы под термопреобразователи сопротивления для измерения температуры среды в КД, бобышка с чехлом под термопреобразователь сопротивления для измерения температуры стенки корпуса, штуцеры для подсоединения к уравнивающим сосудам, 28 блоков ТЭН, штуцеры для подключения к преобразователям разности давления.

Внутрикорпусные устройства КД включают в себя: разбрызгивающие устройства, опорную обечайку блоков ТЭН, тепловой экран, защитный экран, площадки обслуживания и лестницы. Разбрызгивающие устройства предназначены для распыления в паровом объеме КД впрыскиваемого «холодного» теплоносителя, на каплях которого происходит конденсация пара, что приводит к снижению давления в первом контуре, а также раствора борной кислоты от системы аварийного ввода бора. Основной впрыск «холодного» теплоносителя производится от четырех форсунок, размещенных на двух коллекторах, соединенных с патрубком впрыска. Впрыск раствора борной кислоты от системы аварийного ввода бора производится от одной форсунки, труба которой соединена с патрубком аварийного впрыска.

Блоки ТЭН предназначены для разогрева теплоносителя во время пуска реакторной установки и поддержания заданного давления в процессе работы. Соединение блоков ТЭН с корпусом выполнено разъемным. Разъем блока ТЭН и КД уплотняется двумя прокладками с контрольной полостью между ними, откуда организован контроль протечек.

Наружная и внутренняя поверхности корпуса, все сварные соединения и внутрикорпусные устройства доступны для осмотра, проведения контроля неразрушающими методами дефектоскопии, очистки, промывки и ремонта.

Подробное описание элементов КД и используемых для него материалов приведено в подразделе 5.4.8 и в /11/.

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	342
--------------------------------------	--	-----

478449 Def 07 ИЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-7
---------------------	--	------------------	---------

Барботер, приведенный на рисунке 5.4.9.1, представляет собой горизонтально расположенный сосуд с эллиптическими днищами, установленный на две опоры, одна из которых подвижная. В средней части корпуса барботера имеется люк-лаз, в цилиндрической части которого встроены два патрубка с фланцами под предохранительные мембраны, предназначенные для защиты от переопрессовки барботера. Предохранительная мембрана представляет собой тонкий лист из стали 08Х18Н10Т толщиной 0,15 мм. Разрыв мембран происходит вследствие повышения давления в барботере до установленной величины.

Внутри барботера расположены два парораздающих коллектора и теплообменник, состоящий из входного и выходного коллекторов и охлаждающих труб. В барботере предусмотрен чехол под термодатчик, а также штуцеры для подсоединения трубопроводов:

- подвода пара;
- подвода и отвода охлаждающей воды;
- подвода воды для заполнения барботера;
- подвода азота;
- для срыва вакуума;
- дренажа;
- штуцеры для замера давления и уровня;
- газоудаления.

Корпус и внутрикорпусные устройства барботера выполнены из нержавеющей стали 08Х18Н10Т, а для изготовления подвижной и неподвижной опор применена сталь СтЗспЗ.

Крепежные детали фланцевых соединений выполнены из сплава ХН35ВТ (шпильки), из сталей 31Х19Н9МВБТ (гайки) и 08Х18Н10Т (шайбы). Выбор материалов произведен из условия совместимости их с рабочей и окружающей средами, а также стойкости к дезактивирующим растворам.

Барботер спроектирован для обеспечения приема пара из компенсатора давления без разрыва предохранительной мембраны в режимах нормальной эксплуатации:

- сдувка парогазовой смеси из КД через барботер в режиме разогрева первого контура с расходом до 60 м<sup>3</sup>/ч на время до 2 ч;
- протечки суммарные через ИПУ КД 250 кг/ч;
- опробование ИПУ КД открытием на 2-3 с с помощью дистанционного управления электромагнитом. Расход через клапан 50 кг/с.

Подробное описание элементов барботера и используемых для него материалов приведено в /12/.

Технические характеристики барботера приведены в таблице 5.4.9.1.

478449  
Ref 07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	343
--------------------------------------	--	-----



478449 *Ref* 07 ИЮЛ 2015

ОКБ  
«ГИДРОПРЕСС»

Ленинградская АЭС-2 Блок 1  
Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы

Изм.  
25.06.15

5.4.9-8

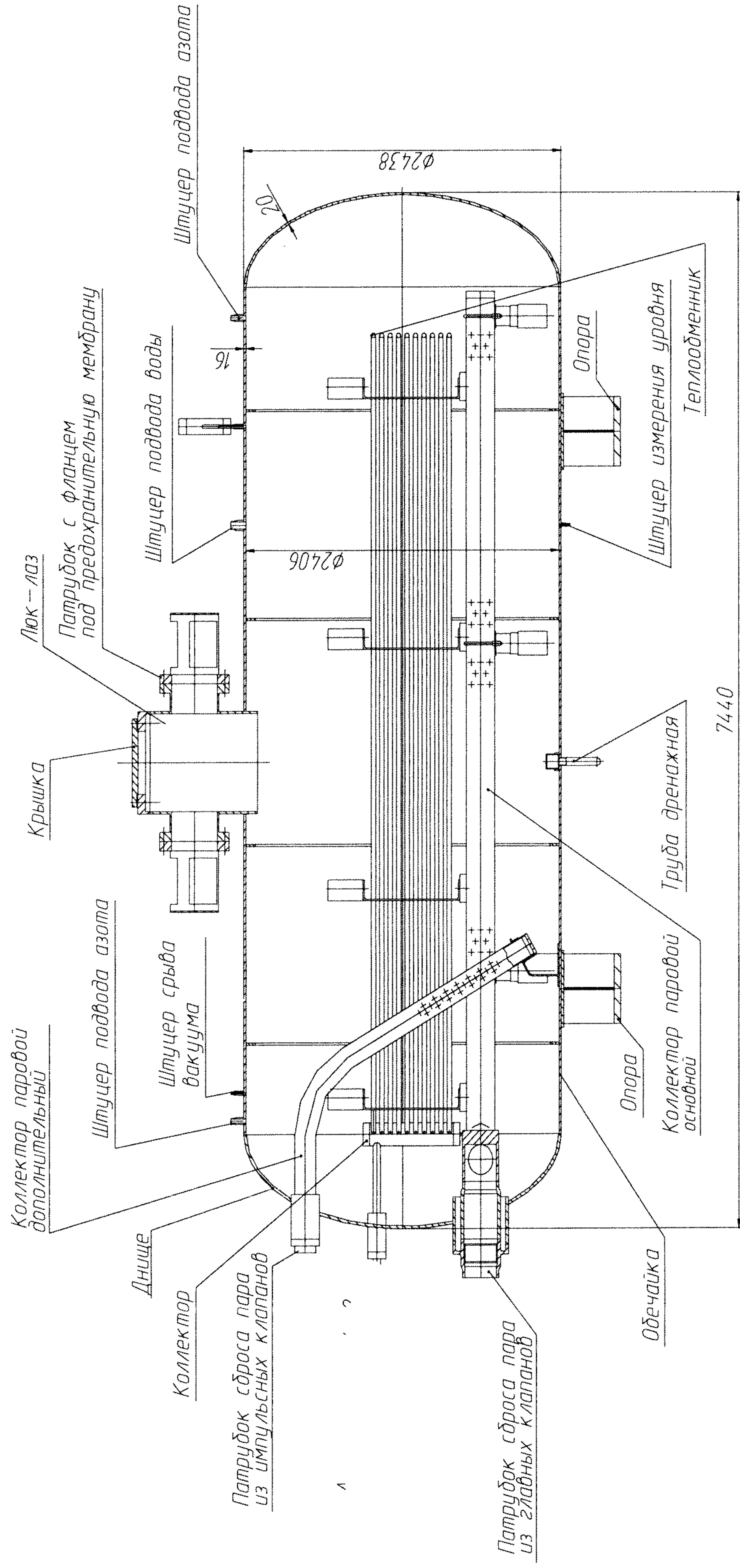


Рисунок 5.4.9.1 – Барботер

491-Пр-1657

LN20.P.132.1.050409.&&&.021.HD.1001

Окончательный отчет по обоснованию  
безопасности (предварительная редакция)



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-9
---------------------	--	------------------	---------

Таблица 5.4.9.1 – Технические характеристики барботера

Параметр	Значение		
	в корпусе	в коллекторе паровом	в коллекторе водяном
Давление избыточное, МПа:			
– номинальное стационарного режима;	0,02	0,02	0,29
– расчетное;	0,69	11,30	0,59
– гидравлических испытаний на прочность:			
1) номинальное значение;	1,20	-	1,00
2) нижняя граница;	0,90	-	0,80
3) верхняя граница;	1,40	-	12,00
– разрыва мембран	0,69-0,86	-	-
Температура, °С:			
– номинальная стационарного режима:	20-60	20-100	-
1) на входе;	-	-	10-45
2) на выходе;	-	-	10-60
– расчетная;	150	320	150
– гидравлических испытаний на прочность, не менее	5	5	5
Объем, м <sup>3</sup> :			
– полный;	30	-	-
– воды;	20	-	-
– газа	10	-	-
Уровень воды, мм	1700	-	-
Расход охлаждающей воды промконтура, м <sup>3</sup> /ч	20-30	-	-
Расход насыщенного пара через разрывные мембраны (при давлении избыточном в корпусе 0,69 МПа), кг/с	200	-	-
Количество пара, принимаемое барботером в стационарном режиме без разрыва мембран, кг/ч	250	-	-

Соединительный трубопровод предназначен для осуществления перетока теплоносителя из первого контура в КД и обратно при изменении температуры и объема теплоносителя в первом контуре. Соединительный трубопровод выполнен из трубы 426x40 мм, которая соединяет нижнюю часть КД с «горячей» ниткой петли № 4 главного циркуляционного трубопровода.

Трубопровод впрыска с напора ГЦНА имеет четыре параллельных участка. На двух участках (труба 159x17 мм) установлена быстродействующая запорная арматура. На третьем участке (труба 57x5,5 мм) установлена регулирующая арматура Ду 50. На четвертом участке (труба 133x14 мм) установлена регулирующая арматура Ду 100. Прогрев системы

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	345
--------------------------------------	--	-----

478449  
07.10.15  
2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-10
---------------------	--	------------------	----------

трубопроводов впрыска осуществляется как за счет байпасирующей линии, так и за счет протечек через регулируемую арматуру Ду 50. Плановое расхолаживание КД производится подачей теплоносителя по линии впрыска (за счет напора ГЦНА) через регулятор Ду 100, который поддерживает заданную разность температур между КД и первым контуром.

В случае обесточивания АЭС расхолаживание КД, при необходимости, производится от насосов системы КВА по линии впрыска в КД по трубопроводу 133x14 мм.

Трубопровод сброса пара служит для сброса пара при срабатывании предохранительных клапанов и соединяет паровое пространство компенсатора давления с барботером. Трубопровод состоит из труб 245x19, 133x14, 273x20 и 159x8,5 мм. Для предотвращения образования вакуума в трубопроводе сброса он соединен с газовым пространством барботера трубопроводом 18x2,5 мм.

Технические характеристики трубопроводов системы поддержания давления представлены в таблице 5.4.9.2.

Таблица 5.4.9.2- Технические характеристики трубопроводов системы поддержания давления

Параметр	Соединительный трубопровод	Трубопровод впрыска	Трубопровод сброса парогазовой смеси	
			со стороны компенсатора давления	со стороны барботера
Давление, МПа: – номинальное стационарного режима; – расчетное; – гидравлического испытания на прочность	16,20 17,64 24,50	16,60–16,10 17,64 24,50	16,10 17,64 24,50	0,12 11,30 - <sup>1)</sup>
Температура, °С: – номинальная стационарного режима; – расчетная; – гидравлического испытания на прочность	328,9 350,0 90-135	298,2 350,0 90-135	347,9 350,0 90-135	20-320 320 20
<sup>1)</sup> При гидравлическом испытании в составе корпуса барботера по таблице 5.4.9.1				

Для сброса пара из КД в барботер в аварийных режимах через систему аварийного газоудаления на трубопроводах сброса 245x19 мм и 273x20 мм имеются два штуцера.

Для осуществления сброса парогазовой смеси из КД в режиме разогрева предусмотрен трубопровод газовых сдувок 38x3,5 мм, соединяющий паровое пространство КД с трубопроводом сброса пара за ИПУ. На трубопроводе удаления газа из КД установлены два вентиля JEG20AA001(002) и дроссельное устройство JEG20BP001, ограничивающее давление сброса парогазовой смеси в барботер.

Все трубопроводы системы КД, включая арматуру, выполнены из нержавеющей стали 08X18H10T. Все соединения сварные.

Подробное описание трубопроводов системы поддержания давления и используемых для них материалов приведено в /13/.

Описание и технические данные арматуры представлены в подразделе 5.4.10.

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	346
--------------------------------------	--	-----

478449  
 07 ИЮЛ 2015  
 Ref



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-11
---------------------	--	------------------	----------

Для защиты оборудования первого контура от превышения давления применены три ИПУ. Одно из ИПУ обеспечивает сброс пара из КД при достижении давлением первого контура значения 18,11 МПа. Другие ИПУ обеспечивают сброс пара из КД при достижении давлением первого контура значения 18,60 МПа.

Каждое ИПУ представляет собой блочную конструкцию и состоит из главного клапана JEF21(22, 23)AA401 с поршневым приводом, двух ИК JEF21(22, 23)AA403, 404 импульсных трубопроводов, клапана настройки пружин ИК JEF21(22, 23)AA101 от постороннего источника давления, одного ОК JEF21(22, 23)AA402 и дополнительной линии управления ГК с двумя последовательно установленными запорными клапанами, один из которых имеет электромагнитный, а другой – электрический привод.

Подробное описание элементов и используемых материалов по системе защиты первого контура от превышения давления приведено в подразделе 12.1.3.

### 5.4.9.3 Связанные системы

5.4.9.3.1 С системой поддержания давления в первом контуре связаны следующие системы:

- система подпитки-продувки первого контура (КВА);
- система аварийного ввода бора (JDH);
- система подачи азота (KRJ);
- система воздухоудаления (КТВ10);
- система аварийного газоудаления (КТР);
- система дренажа (КТА);
- система контроля и управления;
- система электроснабжения;
- система сбора протечек;
- система отбора проб (КУА).

5.4.9.3.2 Система подпитки-продувки обеспечивает впрыск теплоносителя в компенсатор давления расходом до 80 м<sup>3</sup>/ч в режимах, когда впрыск от ГЦНА невозможен или неэффективен.

Система аварийного ввода бора обеспечивает впрыск в компенсатор раствора борной кислоты с концентрацией 40 г/кг для обеспечения снижения давления в первом контуре в режиме течи из первого контура во второй. Номинальная подача одним насосом равна 14,5 м<sup>3</sup>/ч.

Система подачи азота обеспечивает подачу азота в КД в режимах разогрева-расхолаживания.

Система воздухоудаления обеспечивает удаление соответствующей среды из компенсатора давления с расходом до 60 м<sup>3</sup>/ч при заполнении первого контура.

Система аварийного газоудаления обеспечивает удаление неконденсирующихся газов из КД при проектных и запроектных авариях, сопровождающихся вскипанием теплоносителя и выделением газов из теплоносителя.

Система дренажа обеспечивает дренирование полостей, которые нельзя сдренировать в составе первого контура.

Система сбора протечек обеспечивает отвод протечек от уплотнения люка и ТЭН КД с температурой от 60 до 350 °С, давлением до 17,64 МПа.

Система отбора проб обеспечивает подготовку проб паровой и водяной фазы из КД.

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	347
--------------------------------------	--	-----

478449  
07 ИЮН 2015  
Def



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-12
---------------------	--	------------------	----------

#### 5.4.9.4 Управление и контроль работы системы

5.4.9.4.1 Управление и контроль системы компенсации давления предусматривается во всех режимах работы данной РУ.

Параметрами, характеризующими нормальное функционирование системы, являются:

- уровень теплоносителя в КД;
- температура теплоносителя в КД;
- температура металла КД;
- давление в межпрокладочных полостях разъема люка-лаза и разъемов блоков ТЭН в КД;
- уровень воды в барботере;
- давление в барботере;
- температура воды в барботере.

Предусмотрено представление информации о положении арматуры, установленной на трубопроводе впрыска, и о состоянии групп ТЭН КД на дисплее БПУ и РПУ, а также о положении ИПУ КД на дисплее БПУ и РПУ и панелях безопасности БПУ и РПУ.

5.4.9.4.2 Предусматривается автоматическое регулирование следующих параметров:

– давления в первом контуре, путем воздействия на электрические нагреватели и регулируемую арматуру Ду 50 и арматуру Ду 125 на трубопроводе впрыска в компенсатор давления;

– уровня в компенсаторе давления в зависимости от средней температуры теплоносителя в первом контуре путем воздействия на регулирующие клапаны системы подпитки-продувки. В проекте предусмотрена защита электрических нагревателей. По сигналу низкого уровня в КД отключаются все ТЭН и подается запрет на их включение. При восстановлении уровня запрет снимается.

Описание команд и условий срабатывания защит основного оборудования РУ представлено в таблице 5.4.9.3. Перечень команд и условий срабатывания технологических блокировок по отклонению уровня в барботере приведен в таблице 5.4.9.4. Перечень и схема размещения точек контроля на оборудовании и трубопроводах приведены в подразделе 5.1.3. Система контроля и управления реакторной установки приведена в подразделе 7.2.3. Система контроля и защиты реактора приведена в подразделе 7.2.4. Пределы и условия безопасной эксплуатации системы в составе РУ представлены в главе 16.

491-Пр-1657

LN20.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	348
--------------------------------------	--	-----

478449 Def 07 ЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-13
---------------------	--	------------------	----------

Таблица 5.4.9.3 – Перечень команд и условий срабатывания защит основного оборудования РУ

Условие срабатывания защиты	Значение		Задержка, с	Действие защиты	Примечание
	Номинальное	Уставка			
Совпадение сигналов: – давление над активной зоной, МПа, более; – температура теплоносителя в горячей нитке петли, °С, более	16,2 $T_{ном}$	17,0 150	-	Открываются регулирующий клапан и запорная задвижка на линии впрыска в КД	$T_{ном}$ – температура при номинальной мощности
Совпадение сигналов: – давление над активной зоной, МПа, более; – температура теплоносителя в горячей нитке петли, °С, более	16,2 $T_{ном}$	17,2 150	-	Открываются быстродействующие и запорные задвижки на первой и второй линиях впрыска в КД	-
Совпадение сигналов: – давление на выходе из реактора (в точке замера), МПа, менее; – температура теплоносителя в «горячей» нитке петли, °С, более	16,2 $T_{ном}$	16,2 150	-	Закрываются быстродействующие задвижки и регулирующий клапан на линиях впрыска в КД	Защита снимается при включении регулятора давления в режим расхолаживания
Совпадение сигналов: – давление на выходе из реактора (в точке замера), МПа, менее; – температура теплоносителя в «горячей» нитке петли, °С, более; – незакрытие любой из быстродействующих задвижек на линии впрыска в КД	16,2 $T_{ном}$ -	16,2 150 -	10	Закрывается запорная задвижка на линии впрыска в КД с не закрывшейся быстродействующей задвижкой	

478449  
 07 ИЮЛ 2015  


491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	349
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-14
---------------------	--	------------------	----------

Продолжение таблицы 5.4.9.3

Условие срабатывания защиты	Значение		Задерж- ка, с	Действие защиты	Примечание
	Номи- нальное	Устав- ка			
Совпадение сигналов: – давление над активной зоной, МПа, более; – отключение всех ГЦНА	16,2  -	17,0  -	-	Открывается арматура на линии подачи воды от системы КВА в трубопровод впрыска. Закрывается при снижении давления до 16,5 МПа. Закрывается арматура на линии подачи воды от системы КВА в первый контур. Открывается при снижении давления до 16,5 МПа. Запрет на закрытие регулятора «тонкого» впрыска. Запрет снимается при снижении давления до 16,5 МПа.  Закрывается линия рециркуляции насоса подпитки «большой» производительности, данный насос включается на впрыск в КД, отключается из работы регулятор уровня в КД. При снижении давления до 16,5 МПа насос подпитки «большой» производительности переключается на линию рециркуляции, включается в работу регулятор уровня в КД	Защитное действие, направленное на предотвра- щение срабатывания ИПУ КД в режимах, сопровожда- ющихся ростом давления первого контура в условиях отключения всех ГЦНА

07 ИЮЛ 2015  
*Ref*

478449

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	350
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-15
---------------------	--	------------------	----------

Продолжение таблицы 5.4.9.3

Условие срабатывания защиты	Значение		Задерж- ка, с	Действие защиты	Примечание
	Номи- нальное	Устав- ка			
Совпадение сигналов: – открыта арматура на линии впрыска в КД с напора насосов КВА; – ГЦНА третьей и четвертой петли не работают	-	-	-	Закрывается запорная арматура на линиях впрыска в КД с напора ГЦНА третьей петли	-
Совпадение сигналов: – давление на выходе из реактора (в точке замера), МПа, менее; – температура тепло- носителя в «горячей» нитке петли, °С, более; – незакрытие регулирующего клапана на линии впрыска в КД	16,2	16,2	30	Закрывается запорная задвижка на линии впрыска в КД с регулирующим клапаном	-
Совпадение сигналов: – давление на напоре ГЦНА, МПа, более; – температура тепло- носителя в «ХОЛОДНЫХ» нитках петель, °С, менее	16,7	3,4	-	Отключаются подпиточные насосы первого контура «большой» и «малой» производительности. Отключаются все ТЭН КД (в режиме разогрева- расхолаживания)	
Совпадение сигналов: – увеличение уровня воды в КД, м; – температура теплоносителя в горячих нитках петель, °С, более	5,10- 8,17  260	8,4	-	Отключение насосов подпитки первого контура большой производительности	Защита снимается при включении регулятора давления в режим расхолажи- вания

07 ИЮЛ 2015

*Ref*

478449

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	351
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-16
---------------------	--	------------------	----------

Продолжение таблицы 5.4.9.3

Условие срабатывания защиты	Значение		Задерж- ка, с	Действие защиты	Примечание
	Номи- нальное	Устав- ка			
Совпадение сигналов: – увеличение уровня воды в КД, м; – температура теплоносителя в горячих нитках петель, °С, более	5,10- 8,17	9,4		Отключение насосов подпитки первого контра малой производительности. Закрываются запорные клапаны на напоре подпиточных насосов КВА61АА101(102,103), КВА62АА101(102,103), (открывается при восстановлении номинального уровня). Закрывается запорный клапан на линии впрыска в КД от системы подпитки- продувки	Защита снимается при включении регулятора давления в режим расхолажи- вания
Уменьшение уровня воды в КД, м	5,10- 8,17	минус 0,2	-	Включается резервный насос подпитки первого контра малой производительности	Отключается при восстанов- лении номинального уровня
Уменьшение уровня воды в КД, м	5,10- 8,17	3,60	-	Отключаются все ТЭН КД. Подается запрет на включение	Запрет снимается при снятии сигнала
Уменьшение уровня воды в КД, м	5,10- 8,17	минус 1,1	-	Отсечение линии продувки первого контра	
Уменьшение уровня воды в КД, м	5,10- 8,17	минус 0,8	-	Включается один из насосов подпитки первого контра большой производительности. Отключается при достижении уровня в КД на 0,2 м ниже номинального	Всас насосов подпитки переключа- ется с деаэрата на баки борного раствора

478449  
07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	352
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-17
---------------------	---	------------------	----------

Таблица 5.4.9.4 – Перечень команд и условий срабатывания технологических блокировок по отклонению уровня в барботере

Условие срабатывания защиты	Значение		Задержка, с	Действие защиты
	Номинальное	Уставка		
Увеличение уровня воды в барботере, м	1,7	1,8	-	Открывается задвижка на линии дренажа барботера. Закрывается при восстановлении номинального уровня
Уменьшение уровня воды в барботере, м	1,7	1,6	-	Открывается задвижка на линии подачи конденсата в барботер. Закрывается при восстановлении номинального уровня

5.4.9.4.3 Поддержание номинального значения давления в первом контуре 16,2 МПа при работе реактора на мощности обеспечивается регулятором давления, воздействующим на электронагреватели КД, а также на регулирующие клапаны и быстродействующие задвижки на линиях впрыска КД.

При увеличении давления выше 16,6 МПа открывается регулирующий клапан Ду 50 на линии впрыска в КД, при этом степень открытия пропорциональна отклонению давления от давления открытия. Полное открытие достигается при давлении 16,8 МПа.

При дальнейшем повышении давления последовательно открываются быстродействующие задвижки на линиях впрыска в КД.

При понижении давления ниже номинального последовательно включаются группы электронагревателей КД.

Программа регулирования давления первого контура представлена в таблице 5.4.9.5.

Таблица 5.4.9.5 – Программа работы регулятора давления

Срабатывание быстродействующих задвижек на линиях впрыска при увеличении давления, МПа		
Номер задвижки	Открытие	Закрытие
1	Выше 16,9	Ниже 16,8
2	Выше 17,1	Ниже 17,0
Срабатывание групп электронагревателей при уменьшении давления, МПа		
Номер группы ТЭН	Включение	Отключение
1, регулирующая подгруппа (90 кВт)	Ниже 16,0	Выше 16,2
1, рабочая подгруппа (270 кВт)	Ниже 16,0	Выше 16,3
2 (270 кВт)	Ниже 15,9	Выше 16,1
3 (720 кВт)	Ниже 15,8	Выше 16,0
4 (1170 кВт)	Ниже 15,8	Выше 16,0

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	353
--------------------------------------	--	-----

478449 07 ЮН 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-18
---------------------	--	------------------	----------

### 5.4.9.5 Испытания и проверки

5.4.9.5.1 Надежность оборудования системы компенсации давления (JEF) и соответствие ее проектным характеристикам обеспечивается контролем качества на всех этапах изготовления и монтажа, проведением пуско-наладочных работ и контролем за состоянием оборудования во время эксплуатации.

Объем работ определяется пуско-наладочной и эксплуатационной документацией.

5.4.9.5.2 Перед пуском блока, во время ПНР предусмотрены испытания системы компенсации давления, целью которых является подтверждение соответствия характеристик оборудования проектным характеристикам.

Во время проведения пуско-наладочных работ проводятся:

- проверка правильности монтажа;
- проверка динамических характеристик системы компенсации давления; ревизия

КД;

- контроль металла корпуса и сварных швов неразрушающими методами контроля;
- проверка готовности внешних систем;
- проверка электрических цепей системы управления;
- проверка настройки пружин импульсных клапанов;
- проверка работоспособности КИП и сигнализации на РПУ и БПУ;
- проверка эффективности впрыска;
- проверка эффективности работы групп ТЭН;
- гидравлическое испытание с целью проверки плотности и прочности.

Гидравлические испытания компенсатора давления, соединительного трубопровода, трубопровода впрыска и трубопровода сброса до ИПУ проводятся в составе первого контура в соответствии с требованиями /2/, давлением, указанным таблице 5.4.9.2. При этом контролируется температура корпуса КД и соединительного трубопровода. Разогрев КД и трубопроводов до температуры гидравлического испытания производится за счет энергии ГЦНА и энергии остаточных тепловыделений активной зоны путем подачи теплоносителя в КД из ГЦТ по трубопроводу впрыска.

Гидравлические испытания барботера проводятся отдельно от первого контура в соответствии с требованиями /2/, давлением, указанным в таблице 5.4.9.2. Гидравлические испытания трубопровода сброса от ИПУ до барботера проводятся совместно с барботером.

5.4.9.5.3 В процессе эксплуатации предусмотрен контроль за состоянием оборудования:

- измерения основных параметров, по величине которых можно определить исправность оборудования;
- положение запорных органов арматуры;
- контроль плотности узлов уплотнения оборудования системой контроля протечек с сигнализацией появления их;
- контроль за состоянием металла.

5.4.9.5.4 В период ПНР оборудование системы компенсации давления должно подвергаться профилактическому осмотру. Перед осмотром, при необходимости, должна быть проведена дезактивация. Профилактический осмотр должен включать в себя визуальный осмотр и контроль металла неразрушающими методами. Периодической проверке должны подвергаться КИП и блокировки системы. Периодически не реже одного раза в год должно быть проверено быстрое действие запорных быстродействующих задвижек. Периодичность проверок ИПУ КД приведена в главе 12.

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	354
--------------------------------------	--	-----

478449 07 ИЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-19
---------------------	--	------------------	----------

5.4.9.5.5 Перечень проверок и испытаний системы компенсации давления и ее элементов в период ППР, разогрева и пуска энергоблока, при работе РУ на мощности и в процессе расхолаживания энергоблока, а так же периодичность и критерии успешности проверок и испытаний приведены и проводятся по соответствующим инструкциям, программам и графикам, которые разрабатываются административным руководством АЭС.

#### 5.4.9.6 Анализ проекта

5.4.9.6.1 Конструкцией и компоновкой системы обеспечивается возможность осмотра, контроля основного металла и сварных соединений неразрушающими методами дефектоскопии, отмывка от загрязнений.

Обеспечивается устойчивость оборудования к воздействию дезактивирующих растворов и среды под герметичной оболочкой, в том числе, при отклонениях параметров окружающей среды при авариях, связанных с разуплотнением первого контура.

Конструкция системы обеспечивает нормальное функционирование при воздействии проектного землетрясения, а также прочность и герметичность при воздействии максимального расчетного землетрясения (до семи баллов), падении самолета и внешней ударной волне.

5.4.9.6.2 Проведенные экспертные оценки, базирующиеся на опыте проектирования РУ В-320 и В-392, позволяют сделать вывод о надежности выбранной конструкции КД. Информация об обеспечении надежности оборудования и других элементов приведена в подразделе 1.8.1.

Надежность системы обеспечивается:

– консервативностью оценок при проектном обосновании пропускной способности ИПУ КД;

– резервированием каналов управления;

– соответствием требованиям нормативно-технической документации;

– обеспечением качества при изготовлении и монтаже.

Качество при изготовлении обеспечено за счет:

– качества применяемых материалов, т.е. их соответствием требованиям технических условий;

– отработанности технологических процессов изготовления деталей, сборочных узлов и соответствия их требованиям рабочих чертежей;

– отработанности технологии сборки и соответствие ее требованиям сборочного чертежа, контроля соответствия сварки деталей и сборочных единиц трубопроводов требованиям рабочих чертежей и программы контроля качества.

Качество при монтаже обеспечивается:

– качественным входным контролем;

– качественным монтажом составных частей, качеством сборочных и сварочных работ и соответствием монтажа КД требованиям рабочих и монтажных чертежей;

– качеством обеспечения чистоты внутренних поверхностей сборочных единиц;

– качеством сдаточных испытаний.

5.4.9.6.3 Функционирование системы поддержания давления в первом контуре в режимах нормальной эксплуатации сводится к следующему:

– компенсация изменения объема теплоносителя первого контура за счет перетока из ГЦК в КД и обратно;

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	355
--------------------------------------	--	-----

478449 07 ИЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-20
---------------------	--	------------------	----------

– поддержание давления в первом контуре осуществляется за счет демпфирующих свойств парового объема КД, за счет работы электронагревателей компенсатора давления и за счет впрыска теплоносителя в паровое пространство КД с напора ГЦНА;

– в режимах разогрева первого контура и КД в работе могут находиться все группы электронагревателей. Поддержание давления в первый период процесса разогрева осуществляется за счет создания в КД газовой (азотной) подушки, подачей среды от системы KRJ, и далее паровой, переход на которую обеспечивается периодическим открытием-закрытием клапанов Ду 32 (JEG20 AA001,002) на линии сброса парогазовой смеси в барботер;

– после сброса парогазовой смеси из КД снижается уровень теплоносителя в КД до величины, соответствующей мощности реактора от 0 до 2 %  $N_{ном}$ , закрывается впрыск и остаются только постоянные протечки теплоносителя из первого контура в КД по линии впрыска. Дальнейший разогрев теплоносителя в КД, до достижения номинальных параметров, осуществляется блоками ТЭН с заданной скоростью разогрева, которая соответствует скорости разогрева первого контура и обеспечивается регулятором разогрева-расхолаживания путем поддержания определенной постоянной величины превышения температуры воды в КД над температурой первого контура (с запасом до кавитации ГЦНА не менее 40 °С);

– регулирование давления в первом контуре при работе реактора на мощности обеспечивается регулятором давления, получающим сигналы по давлению на выходе из реактора и воздействующим на блоки ТЭН, регулирующий клапан и быстродействующие клапаны впрыска в КД. При снижении давления в первом контуре ниже номинального значения поочередно включаются группы электронагревателей, при восстановлении давления происходит их последовательное отключение. При росте давления в первом контуре выше номинального значения происходит отключение электрических нагревателей и последовательно открываются регулирующий клапан и, при необходимости, клапаны впрыска. Закрытие клапанов происходит также последовательно при снижении давления. При работе в стационарном режиме с номинальными параметрами давления и температуры теплоносителя, в работе находится одна группа ТЭН, необходимая для компенсации тепловых потерь и подогрева воды, используемой для прогрева трубопроводов впрыска;

– в режиме плановой остановки реактора, одновременно с повышением концентрации борной кислоты в первом контуре, производится повышение концентрации борной кислоты в КД подачей теплоносителя первого контура по линии впрыска в КД с напора ГЦНА через регулирующий клапан JEF11AA202, работающий в режиме поддержания давления в первом контуре при включенных ТЭН КД. Регулятор подпитки-продувки поддерживает уровень в КД. Расхолаживание КД проводится подачей в него теплоносителя по линии впрыска при двух работающих ГЦНА. Регулирующий клапан на линии впрыска в КД регулирует расход таким образом, чтобы скорость расхолаживания КД была не более проектной. ТЭН КД на протяжении всего процесса расхолаживания отключены. При снижении давления в первом контуре ниже определенной величины к КД подключается система азота высокого давления для обеспечения требования по минимально допустимому давлению на всасе ГЦНА в зависимости от температуры теплоносителя.

5.4.9.6.4 В режимах нарушения нормальной эксплуатации, не связанных с течами теплоносителя первого контура, при сохранении работоспособности элементов системы и наличии электропитания, система может работать так же, как и в режимах нормальной эксплуатации, компенсируя изменения давления в первом контуре до определенных пределов. В авариях, связанных с течами теплоносителя первого контура, ее

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	356
--------------------------------------	--	-----

47849  
07 ИЮН 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-21
---------------------	--	------------------	----------

функционирование не требуется. В запроектных авариях, при наличии электропитания арматуры впрыска, насосов системы КВА и (или) ГЦНА, система может работать аналогично работе в нормальных условиях эксплуатации, являясь средством управления этими авариями, смягчая протекание возникающих при таких авариях переходных процессов.

5.4.9.6.5 В режиме нормальных условий эксплуатации реакторной установки ИПУ находится в режиме ожидания, в котором:

- главные клапаны закрыты давлением среды;
- импульсные клапаны закрыты и готовы к срабатыванию по импульсу превышения давления и как клапаны прямого действия;
- отключающие клапаны открыты, их электромагниты обесточены;
- клапан с электромагнитным приводом дополнительной линии управления закрыт, его электромагнит обесточен;
- клапан с электроприводом дополнительной линии управления закрыт.

Если, несмотря на работу впрыска, происходит дальнейший рост давления, открывается сначала контрольное, затем рабочие ИПУ. При снижении давления происходит их закрытие в обратной последовательности.

Пар после ИПУ поступает в коллектор барботера, из которого через сопла – в водяной объем барботера. Проходя через слой воды, пар конденсируется, что предотвращает выход активного пара под защитную оболочку. Тепло, вносимое в барботер сконденсированным паром, отводится водой промежуточного контура через теплообменник, расположенный внутри барботера.

5.4.9.6.6 В режиме нормальных условий эксплуатации реакторной установки барботер заполнен водой соответствующего качества до номинального уровня. Температура воды находится в установленных пределах. В работе системы поддержания уровня и сдувок из барботера. При аварийной ситуации, а так же неисправностях в электросхеме управления импульсными клапанами ИПУ КД, связанных с истечением пара из парового пространства КД через открывшийся ИПУ КД в барботер, происходит разрыв мембраны барботера и истечение теплоносителя под оболочку.

При запроектных авариях снижение давления в первом контуре может осуществляться путем принудительного открытия ИПУ КД с использованием дополнительной линии, а также с помощью открытия линии аварийного газоудаления, соединяющей КД с барботером и с гермообъемом.

5.4.9.6.7 Оценка безопасности АЭС, приведенная в главе 15 по перечню исходных событий, сформированном в т.ч. с учетом возможных отказов в данной системе, показывает, что проект данной системы, реализованный в соответствии с проектными основами, соответствует принципам и критериям безопасности.

Возможными отказами в системе поддержания давления могут быть:

- течь штуцеров корпуса компенсатора давления;
- отказ ТЭН КД на включение (выключение);
- отрыв внутрикорпусных устройств КД;
- разрыв трубопроводов в системе впрыска с истечением теплоносителя как из первого контура, так и из паровой части компенсатора давления;
- несрабатывание быстродействующего клапана впрыска в режимах, требующих его работы;
- отказ на закрытие быстродействующего клапана впрыска в режимах, связанных с его работой;

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	357
--------------------------------------	--	-----

478449 07 ЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-22
---------------------	--	------------------	----------

– отказ на закрытие (или открытие) регулирующего клапана Ду 100.

При течи штуцеров корпуса компенсатора давления или трубопровода впрыска возникает авария с течью теплоносителя либо из «холодной» нитки ГЦТ, либо из «горячей» нитки ГЦТ, либо из паровой части КД, при этом, компенсатор давления или трубопровод впрыска теряют свои функции и нарушается третий защитный барьер – граница давления контура теплоносителя, охлаждающего активную зону. Все эти аварии являются проектными. В этих авариях, как показали проведенные расчетные анализы, предел повреждения твэл, установленный проектом для таких аварий не превышает.

Отказ ТЭН КД в конечном итоге равносителен режиму с потерей внешнего источника энергии. В этом режиме не превышаются эксплуатационные пределы повреждения твэл.

Отказ быстродействующих электромагнитных клапанов впрыска на открытие по любой причине приведет к росту давления и его последующему ограничению за счет срабатывания ИПУ КД.

При незакрытии быстродействующей или регулирующей арматуры на линиях впрыска подается сигнал на автоматическое закрытие отсечной арматуры на соответствующих линиях, исключающее дальнейшее снижение давления в первом контуре.

При отрыве внутрикорпусных устройств КД может произойти частичная блокировка сечения КД, что может привести к частичной потере функции компенсатора давления и в предельном случае к росту давления в первом контуре до уставок срабатывания клапанов впрыска и, возможно, предохранительных клапанов КД.

Видами отказов системы защиты первого контура от превышения давления (только одного ИПУ) могут быть:

- несрабатывание при повышении давления в КД;
- незакрытие после срабатывания;
- ложное срабатывание.

При несрабатывании ИПУ по повышению давления в КД система остается работоспособной, т.к. оставшиеся в работе ИПУ обеспечивают защиту первого контура от превышения давления. При не закрытии ИПУ после срабатывания или ложном срабатывании по причинам, связанным с отказами импульсных клапанов, главный клапан закроется с помощью отключающего клапана. Незакрытие или ложное срабатывание по другим причинам относится к аварии с течью теплоносителя. Разрушение запорного органа, корпусных деталей или разрыв трубопроводов, соединяющих ИПУ и дополнительной линии разгрузки с КД, приводит к аварии типа «малая течь».

Отказы важных для безопасности систем РУ не влияют на работоспособность ИПУ. В случае выхода из строя системы управления (обесточивание, пожар и.т.д.) ИПУ продолжает выполнять свои функции, т.к. в этом случае импульсные клапаны работают как предохранительные клапаны прямого действия.

Состояние барботера не влияет на работоспособность ИПУ и дополнительной линии управления ГК. Неисправности барботера, влияющие на его готовность к приему среды, могут привести при срабатывании ИПУ или устройства разгрузки только к разрыву предохранительной мембраны.

ИПУ и дополнительная линия управления ГК сохраняют работоспособность во время и после прохождения проектной аварии при одновременном действии сейсмических нагрузок.

5.4.9.6.8 В рамках обоснования прочности оборудования и трубопроводов системы компенсации давления в соответствии с /2, 6/ были выполнены соответствующие

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	358
--------------------------------------	--	-----

478449  
07 ИЮЛ 2015



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-23
---------------------	--	------------------	----------

поверочные расчеты, в которых содержится анализ прочности следующих элементов системы компенсации давления:

- компенсатора давления;
- трубопровода впрыска;
- трубопровода сброса;
- трубопровода соединительного;
- барботера.

Результаты обоснования прочности КД приведены в подразделе 5.4.8.

При обосновании прочности трубопроводов системы компенсации проведены расчеты в обоснование статической и циклической прочности, а также прочности при внешних динамических воздействиях. В расчетах показано, что возникающие в узлах трубопроводов напряжения не превышают допустимых значений, а при принятой последовательности проектных режимов максимальное значение суммарной повреждаемости соответствующих узлов не превышает 1. Результаты расчетов представлены в /14 - 26/.

В рамках обоснования прочности барботера проведены расчеты в обоснование циклической прочности и прочности при внешних динамических воздействиях. В расчетах показано, что возникающие в узлах трубопроводов напряжения не превышают допустимых значений, а при принятой последовательности проектных режимов максимальное значение суммарной повреждаемости соответствующих узлов не превышает 1. Результаты расчетов представлены в /27 - 30/.

#### 5.4.9.7 Выводы

5.4.9.7.1 Система разработана в соответствии с проектными основами. Принятые в проекте решения обеспечивают выполнение системой заданных функций в составе системы теплоносителя первого контура.

478449 07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	359
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-24
---------------------	--	------------------	----------

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97, НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97), Москва, 1997
- 2 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, ПНАЭ Г-7-008-89, Москва, 2000
- 3 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций, НП-031-01, Москва, 2001
- 4 Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций НП-082-07, Москва, 2007
- 5 Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования НП-068-05, Москва, 2005
- 6 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, ПНАЭ Г-7-002-86, Москва, Энергоатомиздат, 1989
- 7 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения, ПНАЭ Г-7-009-89, Москва, 2000
- 8 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля ПНАЭ Г-7-010-89, Москва, 2000
- 9 Требования к программе обеспечения качества для атомных станций. НП-011-99, Москва, 1999
- 10 Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций, НП-026-04, Москва, 2004
- 11 Компенсатор давления в сборе. Пояснительная записка. 491.02.01 ПЗ, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2007
- 12 Барботер в сборе. Пояснительная записка. 392М.02.02 ПЗ, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 13 Трубопроводы системы компенсации давления. Пояснительная записка. 491.02.03 ПЗ, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 14 Трубопровод соединительный. Расчет на прочность. Часть 1. Выбор основных размеров. 491.02.03.01 РР1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2007
- 15 Трубопровод соединительный. Расчет на прочность. Часть 2. Анализ статической прочности. 491.02.03.01 РР1.1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 16 Трубопровод соединительный. Расчет на прочность. Часть 3. Анализ циклической прочности. 491.02.03.01 РР1.2, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 17 Трубопровод соединительный. Расчет на прочность. Часть 4. Анализ прочности при внешних динамических воздействиях. 491.02.03.01 РР1.3, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 18 Трубопровод впрыска. Расчет на прочность. Часть 1. Выбор основных размеров, 491.02.03.02 РР1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2006
- 19 Трубопровод впрыска. Расчет на прочность. Часть 2. Анализ статической прочности. 491.02.03.02 РР1.1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 20 Трубопровод впрыска. Расчет на прочность. Часть 3. Анализ циклической прочности. 491.02.03.02 РР1.2, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2009
- 21 Трубопровод впрыска. Расчет на прочность. Часть 4. Анализ прочности при внешних динамических воздействиях. 491.02.03.02 РР1.3, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008
- 22 Трубопровод сброса. Расчет на прочность. Часть 1. Выбор основных размеров. 491.02.03.03 РР1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2007

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	360
--------------------------------------	--	-----

07 ИЮЛ 2015  
 478449



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-25
---------------------	--	------------------	----------

23 Трубопровод сброса. Расчет на прочность. Часть 2. Анализ статической прочности. 491.02.03.03 PP1.1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008

24 Трубопровод сброса. Расчет на прочность. Часть 3. Анализ циклической прочности. 491.02.03.03 PP1.2, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008

25 Трубопровод сброса. Расчет на прочность. Часть 4. Учет гидродинамических усилий при срабатывании импульсно-предохранительных устройств. 491.02.03.03 PP1.3, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008

26 Трубопровод сброса. Расчет на прочность. Часть 5. Анализ прочности при внешних динамических воздействиях. 491.02.03.03 PP1.4, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008

27 Барботер. Расчет на прочность. Часть 1. Выбор основных размеров. 392М.02.02.01 PP1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2007

28 Барботер. Расчет на прочность. Часть 2. Разъемные соединения. 392М.02.02.01 PP1.1, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2009

29 Барботер. Расчет на прочность. Часть 3. Патрубки. 392М.02.02.01 PP1.2, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2009

30 Барботер. Расчет на прочность. Часть 4. Учет нагрузок от внешних динамических воздействий. 491.02.02.01 PP1.3, ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2008

478449 Ref 07 ИЮЛ 2015

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	361
--------------------------------------	--	-----



ОКБ «ГИДРОПРЕСС»	Ленинградская АЭС-2 Блок 1 Глава 5 Первый контур и связанные с ним системы	Изм. 25.06.15	5.4.9-26
---------------------	--	------------------	----------

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер документа	Подп.	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Аннулированных				

478449  
 07 ИЮЛ 2015  
*Ref*

491-Пр-1657

LN2O.P.132.1.050409.&&&&.021.HD.1001	Окончательный отчет по обоснованию безопасности (предварительная редакция)	362
--------------------------------------	--	-----