

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра «Паротурбинные установки»

**С И С Т Е М Ы
ТУРБИННОГО ЦЕХА
АЭС-1200**

Учебное пособие

Севастополь
СевГУ
2023

УДК 621.311.25:621.165(075.8)
ББК 31.47:31.363я73
С40

Рецензент:
А.А. Скидан - канд. техн. наук

Составители: Е.В. Глушкова, В. О. Пантель, С. А. Чупрынин,
Н. К. Корнеева

С40 Системы турбинного цеха АЭС-1200: учебное пособие / Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности, кафедра «Паротурбинные установки» ; сост.: Е. В. Глушкова, В. О. Пантель, С. А. Чупрынин, Н. К. Корнеева. - Севастополь: СевГУ, 2023. – 80 с.: ил. – Текст: электронный.

Изложены конструкция, принцип действия и основы эксплуатации энергетических систем турбинного цеха атомной электрической станции с ВВЭР-1200 России.

Рассчитано на студентов, имеющих комплекс знаний по дисциплинам общепрофессионального курса: высшей математики, механике жидкости, технической термодинамике, сопротивлению материалов, теоретической механике и др.

Учебное пособие отвечает требованиям программы подготовки специалистов по эксплуатации паротурбинных установок АЭС с ВВЭР–1200. Он может быть использован инженерно-техническим персоналом, работающим в области эксплуатации и ремонта паротурбинных установок АЭС.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», также может быть использовано при подготовке студентов по другим специальностям, изучающим данные курсы.

УДК 621.311.25:621.165(075.8)
ББК 31.47:31.363я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 7 от 27 февраля 2023 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА АЭС 1200	6
2. СИСТЕМА ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА (1 LBA).....	8
3. СИСТЕМА СЕПАРАЦИИ ПАРА И ПРОМПЕРЕГРЕВА (LCS)	23
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ	26
СЛИВНЫЕ НАСОСЫ LCT 51,52,53AP001	26
4. СИСТЕМА LBG. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ.....	28
5. СИСТЕМА ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА 1 LCA	31
6. СИСТЕМА ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (LCC).....	47
7. ДЕАЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА. (LAA).	57
8. СИСТЕМА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (LAB)	62
9. СИСТЕМА ПВД (LAD).	75
ЛИТЕРАТУРА	80

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АЭС – атомная электрическая станция;
ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
БЗОК – быстрозапорный отсечной клапан;
БРУ-А – быстродействующая редукционная установка сброса пара в атмосферу;
БРУ-К – быстродействующая редукционная установка сброса пара в конденсатор;
БРУ-СН – быстродействующая редукционная установка собственных нужд;
БРУ-Д – быстродействующая редукционная установка подачи пара на деаэрактор;
БПВД – блок парораспределения высокого давления;
БРУ-ТФУ – быстродействующая редукционная установка теплофикационной установки;
БПУ – блочный пульт управления;
ВКВН – водокольцевой насос;
ВПЭН – вспомогательный питательный электронасос;
ГЦН – главный циркуляционный насос;
ГПК – главный предохранительный клапан;
ИК – импульсный клапан;
ИПУ ПГ – импульсно-предохранительное устройство парогенератора;
КГП – конденсат греющего пара;
КГТН – конденсатный гидротурбонасос;
КСН – коллектор собственных нужд;
Кс-I, II – конденсатосборник 1, 2 ступени перегрева;
КЭН – конденсатный электронасос;
НСС – насос слива сепарата;
ПГ – парогенератор;
ПК ПГ – питательные клапаны парогенератора;
ПВД – подогреватель высокого давления;
ПНД – подогреватель низкого давления;
ПЭН – питательный электронасос;
РУПГ – регулятор уровня в парогенераторе;
РУ – реакторная установка;
РУ-УПТ – редукционная установка установки подпитки теплосети;
СПП – сепаратор-пароперегреватель;
СРК – стопорно-регулирующие клапана;
ЦВД – цилиндр высокого давления;
ЦНД – цилиндр низкого давления.

ВВЕДЕНИЕ

Современные паротурбинные установки для атомных электростанций представляют собой сложный инженерный комплекс механизмов, систем, устройств и приспособлений, предназначенных для обеспечения выработки электроэнергии.

Внедрение на АЭС мощного теплосилового оборудования блочного типа с широким применением средств вычислительной техники и автоматического управления приводят к существенному усложнению систем, обслуживающих турбоагрегат. При этом увеличивается время подготовки и пуска турбоагрегатов из различных тепловых состояний, что противоречит необходимости высокой маневренности, предъявляемой к энергоблокам, с учетом особенностей современной системы энергопотребления.

Все это требует от обслуживающего персонала АЭС высокой квалификации, глубоких знаний физических процессов, происходящих в оборудовании и системах турбоагрегата.

Паротурбинная установка, состоящая из турбины, электрического генератора и систем, их обслуживающих, относится к основному оборудованию энергоблока АЭС. Эксплуатация оборудования турбинного цеха связана с использованием вращающихся механизмов, высоковольтных электродвигателей, горячих паропроводов, оборудования, находящегося под высоким давлением, взрывоопасных газов и токсичных жидкостей, что предъявляет высокие требования к знанию и неукоснительному выполнению обслуживающим персоналом правил техники безопасности.

Все изложенные в пособии материалы основываются на соответствующих разделах «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей».

Основная цель данного пособия – помочь студентам самостоятельно разобраться в принципиальном построении систем, обслуживающих турбоагрегат на различных режимах работы атомной энергетической установки, и изучить их.

1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА АЭС-1200

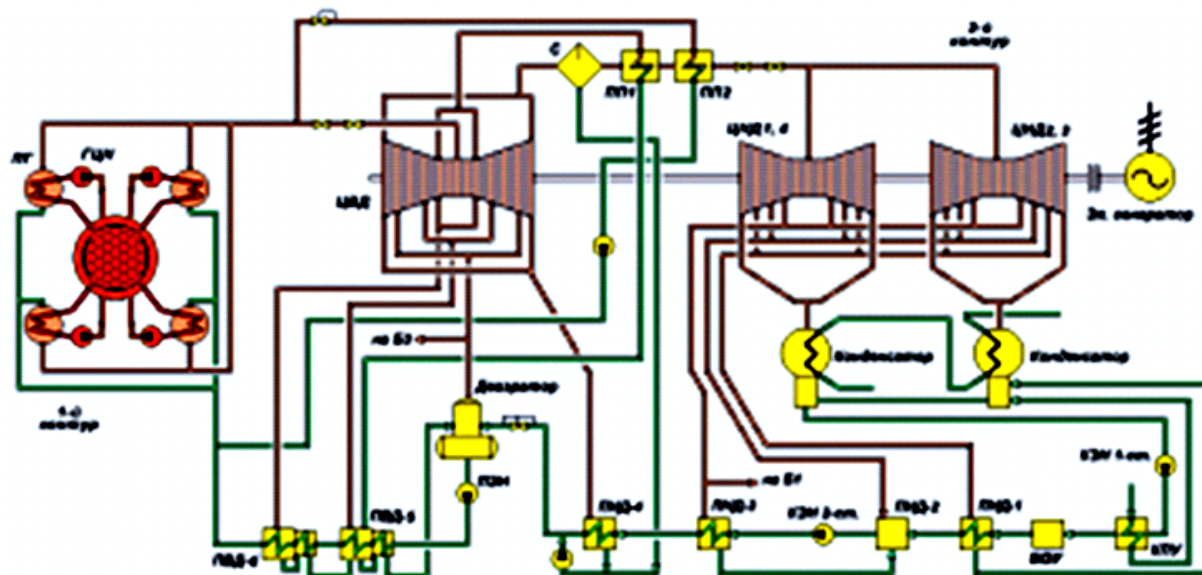


Рис. 1

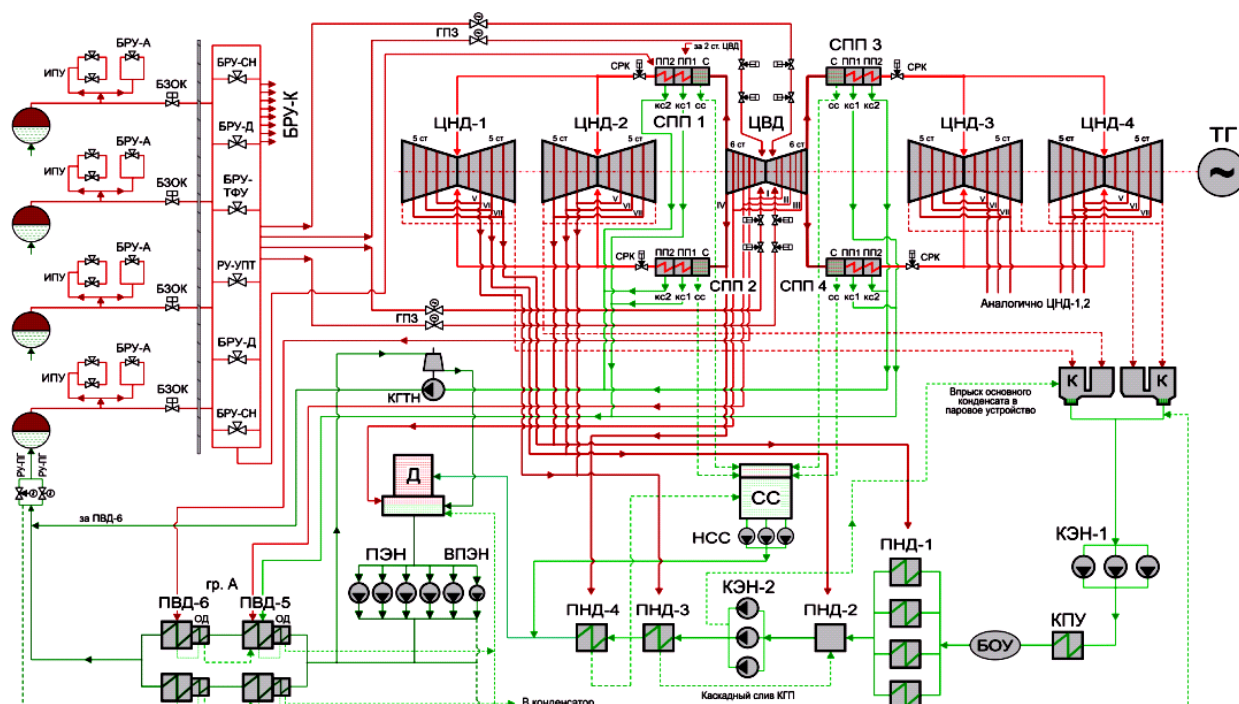


Рис. 2

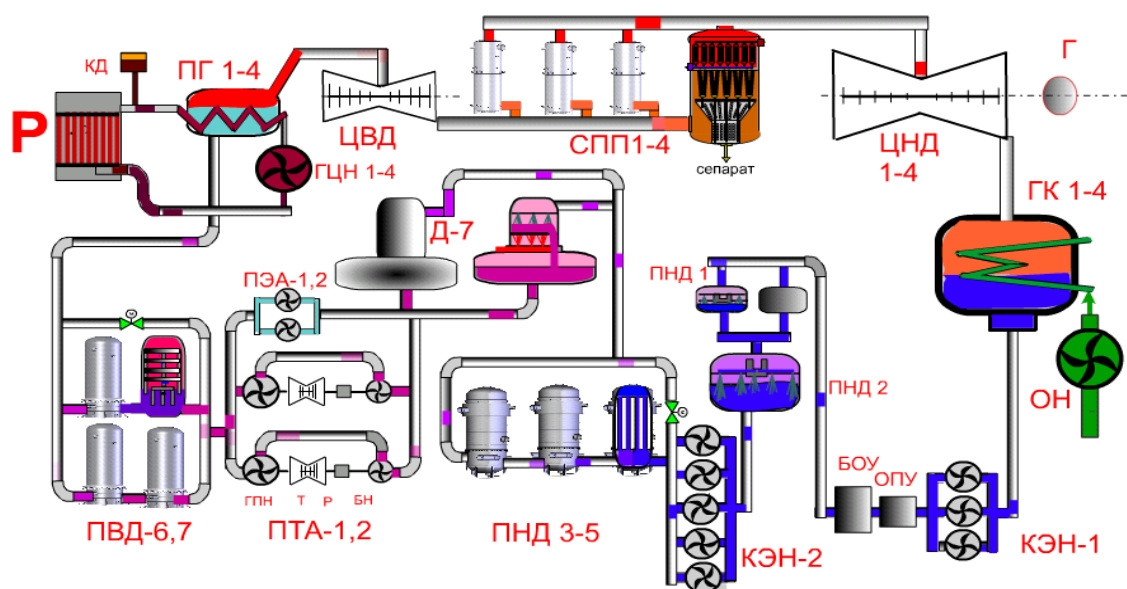


Рис. 3

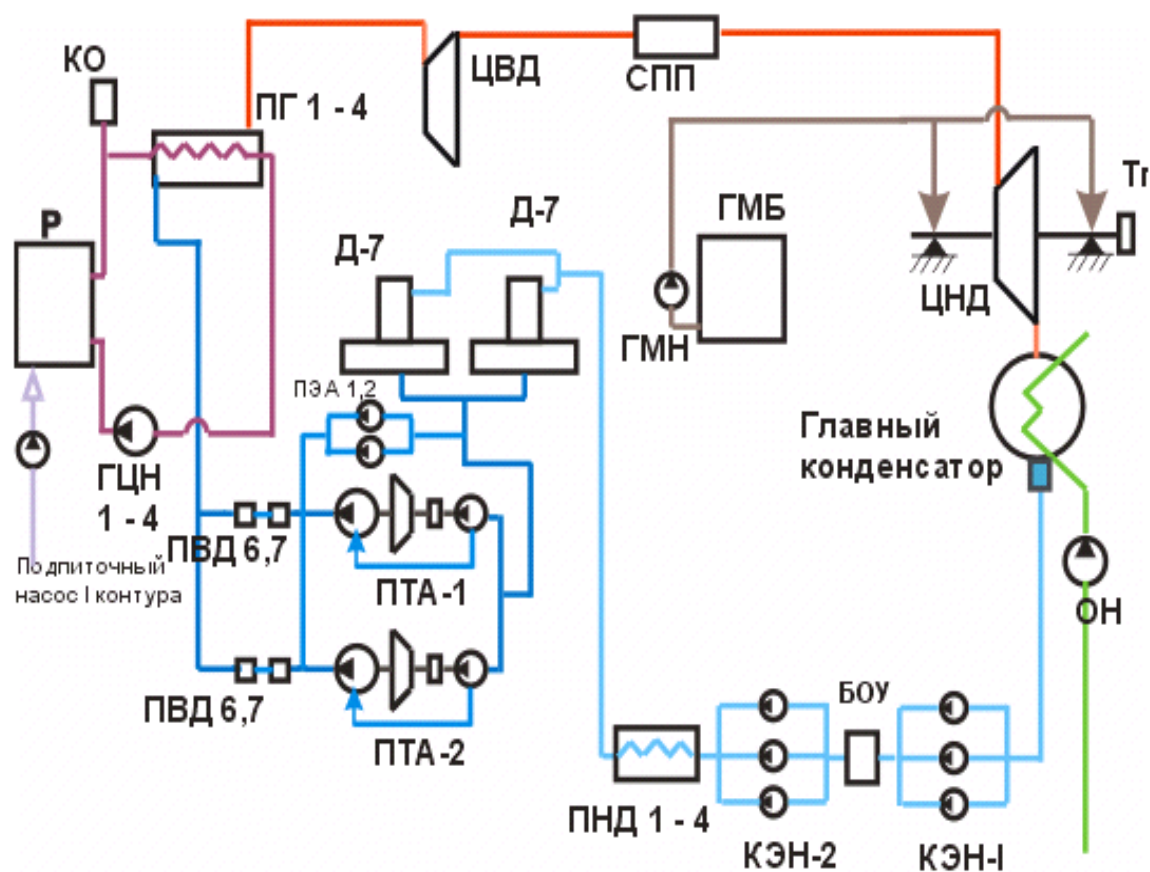


Рис. 4. Принципиальная тепловая схема АЭС ВВЭР-1000 и ПТУ К-1000-60/1500

1. СИСТЕМА ПАРОПРОВОДОВ СВЕЖЕГО ПАРА (1 LBA)

(альбом, рис. 1)

Назначение и функции

Система паропроводов свежего пара предназначена для подачи свежего пара от парогенераторов к стопорно-регулирующим клапанам цилиндра высокого давления турбины (ЦВД). Кроме того, система обеспечивает:

- защиту парогенераторов и паропроводов от превышения давления;
- отсечение парогенераторов по пару в аварийных ситуациях;
- подачу свежего пара к системе аварийного расхолаживания (1 JNB 10-40);
- подачу свежего пара в коллектор собственных нужд (в режиме резервирования отбора турбины);
- подачу свежего пара в деаэратор (в режиме резервирования отбора турбины);
- подачу свежего пара на теплофикационную установку (в режиме резервирования отбора турбины);
- сброс пара в конденсаторы турбины или в атмосферу при резких сбросах нагрузки блока;
- сброс пара в конденсаторы турбины или в атмосферу при плановом или аварийном расхолаживании или поддержании реакторной установки в «горячем состоянии»;
- подачу свежего пара на пароперегреватели системы сепарации и промпрегрева.

В основу проектирования системы паропроводов свежего пара и ее компонентов положено выполнение следующих требований:

- обеспечение требуемой подачи пара от парогенераторов к турбине от момента ее прогрева и толчка ротора до номинальной нагрузки (приблизительно 6512 т/ч), при этом потеря воды минимальная;
- обеспечение защиты парогенераторов от роста давления, превышающего рабочее более чем на 15 %, при этом предохранительные клапана рассчитаны на работу с пароводяной смесью и водой;
- обеспечение отвода остаточных тепловыделений и расхолаживания реакторной установки во всех аварийных режимах, при которых требуется работа систем аварийного отвода тепла через второй контур, до параметров, позволяющих подключить систему расхолаживания через первый контур;
- обеспечение (с помощью систем аварийного отвода тепла через второй контур) поддержания блока в горячем резерве и расхолаживания реакторной установки на паровом этапе в режимах обесточивания АЭС и в режимах ожидаемых эксплуатационных нарушений при запрете на сброс пара в конденсатор турбины. Номинальная скорость расхолаживания РУ – 30 °С/ч, аварийная – 60 °С/ч;

– обеспечения в аварийных режимах, связанных с течами паропроводов, локализации места течи от парогенератора, при этом отсечение обеспечивается за время от 4 до 10 с.

Система паропроводов свежего пара является системой важной для безопасности, и совмещает функции системы безопасности и системы нормальной эксплуатации.

К защитным устройствам относятся импульсно-предохранительные клапана парогенераторов (ИПУ ПГ), быстродействующие редуционные установки сброса пара в атмосферу (БРУ-А), отсеченные электроприводные задвижки перед БРУ-А, быстродействующие отсеченные клапаны (БЗОК и расположенные за ними отсеченные электроприводные задвижки).

К устройствам нормальной эксплуатации важным для безопасности относятся трубопроводы, оборудование и арматура.

Часть системы паропроводов свежего пара – паропроводы от парогенераторов до первого сварного стыка за пределами здания UJF (включая импульсные предохранительные устройства парогенераторов, БРУ-А, отсеченные электроприводные задвижки перед и после БРУ-А, БЗОКи) по влиянию на безопасность является системой важной для безопасности, а по характеру выполняемых функций – защитной и локализирующей системой безопасности. Эти элементы системы свежего пара по НП-001-97 (ОБП-88/97) относятся ко 2 классу безопасности. Выполняются по первой категории сейсмостойкости по НП-031-01, и в соответствии с ПНАЭ Г-7-008-89 относятся к группе В. Классификационное обозначение ИПУ ПГ, БРУ-А, электронных задвижек после БРУ-А, БЗОК – 2НЗЛ.

Часть системы паропроводов свежего пара – паропроводы от первого сварного стыка за пределами здания UJF до стопорно-регулирующих клапанов турбины, а также переключки между главными паропроводами, включая паропроводы подачи пара к БРУ-СН, БРУ-Д, БРУ-ТФУ, РУ-УПТ, на промперегрев, паропроводы БРУ-К, включая сами БРУ-К – являются системой нормальной эксплуатации важной для безопасности. Относятся к 3 классу безопасности в соответствии с НП-001-97 (ОБП – 88/97), классификационное обозначение 3Н. Элементы данной части системы в соответствии с ПНАЭ Г-7-008-98 относятся к группе С.

Часть системы паропроводов свежего пара – от парогенераторов первого сварного стыка за пределами здания UJF – в соответствии с НП -031-01 выполняются по первой категории сейсмостойкости.

Остальные элементы системы паропроводов свежего пара от первого сварного стыка за пределами здания UJF до стопорно-регулирующих клапанов в соответствии НП-031-01 выполняются по второй категории сейсмостойкости.

Утечка среды из системы при разрыве паропроводов не отсекаемой части ограничивается следующим образом:

- по сигналам защиты АЭС срабатывает аварийная защита реактора;
- закрываются стопорно-регулирующие клапаны турбины;
- закрывается БЗОК и отсеченная электроприводная задвижка на паропроводе от аварийного парогенератора;

- прекращается подача питательной воды в этот парогенератор;
- отключается ГЦН аварийной петли, закрывается продувка данного парогенератора.

Таким образом, локализуется аварийный парогенератор, а остальные парогенераторы остаются в работе. После этого блок переводиться в режим расхолаживания с использованием штатных систем.

При разрыве ГПК или паропроводов за отсеченными клапанами автоматически закрываются БЗОКи и отсеченные электроприводные задвижки на паропроводах от всех парогенераторов, в этом случае утечки ограничиваются только переходным периодом.

При аварии с разрывом паропроводов внутри паровой камеры сброс паровоздушной среды осуществляется через разгрузочные проемы в перекрытии помещения паровой камеры. Величина давления в паровой камере при данной аварии не превышает несущей способности ограждающих строительных конструкций.

Часть трубопроводов свежего пара, расположенная в герметичной оболочке, рассчитана на аварийные параметры, возникающие в гермооболочке при авариях с разуплотнением трубопроводов первого контура.

Система 1 LBA функционирует во всех режимах нормальной эксплуатации блока, включая пуск и остановку, в режимах нормальных условий эксплуатации, аварийных режимах.

При аварии с разрывом паропроводов внутри паровой камеры сброс паровоздушной среды осуществляется через разгрузочные проемы в перекрытии помещения паровой камеры.

В межблочном пространстве 10UJB паропровод проходит в защитном кожухе, и при разрыве паропровода на этом участке сброс происходит в паровую камеру 10ШЕ и оттуда в атмосферу.

Часть трубопроводов свежего пара, расположенная в герметичной оболочке, рассчитана на аварийные параметры, возникающие в гермооболочке при авариях с разуплотнением трубопроводов первого контура.

Параметры рабочей среды:

Номинальное давление свежего пара	6,9±0,1 МПа
Номинальная температура свежего пара	287±1 °С
Расчетное давление	8,1 МПа
Расчетная температура	300 °С
Номинальная влажность на выходе из ПГ	0,2 %
Производительность ПГ	1600 т/ч

Таблица 1 - Перечень проектных режимов блока, требующих работы системы паропроводов свежего пара

Проектные режимы	Расход, т/ч	Температура, °С	Давление, МПа	Примечание
Режимы нормальной эксплуатации				
Пуск блока после прогрева главных паропроводов и цилиндров турбины	От min до 6512	В соответствии с регламентом по пуску турбины из разных тепловых состояний	От min до 6,9	Параметры пара на выходе из ПГ
Режим работы блока на номинальной мощности - подачи пара на турбину	6512	283, 9	6,7	Параметры пара перед клапанами ЦВД и СПП
Режим планового расхолаживания	От 6512 до min	Плавное изменение от температуры насыщения до min со скоростью 30° С/ч	От 6,9 до min	Параметры пара на выходе из ПГ
Режим резкого сброса нагрузки турбогенератора: - подача пара на БРУ-Д (на деаэрактор); - подача пара на БРУ-СН; - подача пара на БРУ-К; - подача пара на БРУ-А	2x270 2x100 8x510 4x1000	Температура насыщения Температура насыщения Температура насыщения Температура насыщения	6,9 6,9 7,3 7,7	К 15 секунде полностью открыты не менее 8x510 БРУ-К или 4x1000 БРУ-А До момента полного открытия пропускная способность каждого клапана не менее, чем определяемая линейным законом во времени
- подача пара на БРУ-ТФУ	720	Температура насыщения	6,9	
- подача пара на РУ-УПТ	5	Температура насыщения	6,9	
Режим полного сброса нагрузки с номинального уровня до нагрузки собственных нужд (не более одного часа): - подача пара на БРУ-К; - подача пара на БРУ-Д (на деаэрактор);	8x510 2x270	Температура насыщения Температура насыщения	7,3 6,9	При давлении 7,3 МПа открываются 8x510 БРУ-К В режиме сброса нагрузки до уровня собственных нужд БРУ-К работает по программе

- подача пара на БРУ-СН	2х100	Температура насыщения	6,9	поддержания давления в главных паропроводах 6,9 МПа
Режимы нарушения нормальных условий эксплуатации				
Режим потери внешней электрической нагрузки: - подача пара на БРУ-А	4х1000	Температура насыщения	7,7	К 15 секунде полностью открыты не менее 4х1000 БРУ-А До момента полного открытия пропускная способность каждого клапана не менее чем определяемая линейным законом во времени
Закрытие стопорных клапанов турбины: - подача пара на БРУ-К;	8х150	Температура насыщения	7,3	К 15 с полностью открыты не менее 8х150 БРУ-К или 4х1000 БРУ-А
- подача пара на БРУ-А;	4х1000	Температура насыщения	7,7	До момента полного открытия пропускная способность каждого клапана не менее, чем определяемая линейным законом во времени
Аварийные режимы				
Режимы, приводящие к срабатыванию ИПУ ПГ при росте давления в ПГ сверх допустимого	7 из 8 по 1050			Расход пара через ИПУ ПГ (полностью открытый) при давлении 8,7 МПа -1050 т/ч
	4х1050	Температура насыщения	8,7	
	4х1050		8,9	
Отсечение ПГ по пару	расход			Время аварийного...

Пар из главного парового коллектора поступает по четырем паропроводам к четырем блокам парораспределения высокого давления (БПВД).

Каждый БПВД состоит из одного стопорного клапана типа "заслонка" (МАО1АА140...МАО4АА140) и одного регулирующего клапана (МАО11АА240...МАО14АА240).

В паровых коробках регулирующих клапанов установлены металлические сита, предохраняющие турбину от попадания грата и посторонних предметов.

После стопорных и регулирующих клапанов пар по четырем паропроводам поступает через четыре патрубка паровпуска в общую камеру паровпуска цилиндра высокого давления, расположенную в нижней части ЦВД турбины.

Принцип проектирования

При проектировании системы учитывались следующие принципы обеспечения безопасности:

- принцип единичного отказа;
- принцип резервирования;
- принцип разнообразия;
- принцип разделения;
- принцип включения в работу.

Принцип единичного отказа

Система паропроводов свежего пара выполняет заданные функции при любом исходном событии аварии с наложением одного независимого от исходного события отказа любого активного или пассивного, имеющего механические движущиеся части, элемента, или одной независимой от исходного события ошибки персонала. Количество ИПУ ПГ выбрано на одну единицу больше количества, обеспечивающего требуемое непревышение давления в парогенераторах (в соответствии с п. 6.2.7 ПНАЭ Г-7-008-89). Так же для обеспечения принципа единичного отказа каждый БЗОК снабжен двумя блоками клапанов, которые осуществляют быстрое закрытие БЗОК от собственной среды.

Принцип резервирования

Каждый парогенератор снабжен двумя отсекающими по пару арматурами: быстродействующим запорно-отсеченным клапаном (БЗОК) и отсеченной электроприводной задвижкой. Принцип резервирования реализован так же применением в каждом БЗОКе двух блоков клапанов, которые осуществляют быстрое закрытие БЗОК от собственной среды и запитаны от разных каналов системы надежного электроснабжения.

В случае отказа одного из ПК ПГ оставшиеся в работе клапаны обеспечивают требуемое не превышение давления в парогенераторах.

Принцип разнообразия

Принцип разнообразия реализован применением на паропроводе каждого парогенератора арматуры с разным типом привода (БЗОК – собственной средой, отсеченная задвижка – электроприводная).

Описание технологической схемы

В состав схемы входят: паропроводы высокого давления, импульсно-предохранительные клапаны парогенераторов (ИПУ ПГ), БРУ-А, отсечные электроприводные задвижки за БЗОК, а также перемычки между главными паропроводами, запорная арматура. Границы системы паропроводов свежего пара проходят в местах соединения трубопроводов системы с трубопроводами смежных систем.

Паропроводы от каждого парогенератора выходят через герметичную оболочку (10UJA) реакторного здания в паровую камеру (10UJE), а затем в здании 10UMA проводится к стопорно-регулирующим клапанам турбины (СРК). На каждом паропроводе в пределах паровой камеры реакторного здания на участке от ПГ до БЗОК устанавливается (по ходу пара) по два импульсно-предохранительных клапана, БРУ-А, отсечная электроприводная задвижка перед БРУ-А, БЗОК и отсечная электроприводная задвижка за БЗОК.

Свежий пар под давлением 6,9 Мпа от парогенераторов поступает по четырем главным паропроводам Ду 600 мм до отсечной электроприводной задвижки переходом на Ду 800 мм за отсечной электроприводной задвижкой. Подвод пара к турбине выполнен через четыре группы стопорно-регулирующих клапанов в здании UMA на отметке 14,300-13,100 м.

Между главными паропроводами выполнены паровые перемычки для выравнивания давления перед турбиной. К перемычкам между главными паропроводами подключены восемь БРУ-К, две БРУ-СН, две БРУ-Д, одна БРУ-ТФУ, одна РУ-УТП, трубопроводы подачи свежего пара на промперегрев.

Для подогрева паропроводов в режимах пуска блока, отвода дренажей в режимах остановки и нормальной эксплуатации блока выполнена система дренажей паропроводов высокого давления (1 LCN)

На каждом паропроводе в паровой камере (10UJE) выполнены отводы пара в систему аварийного расхолаживания (1 JNB 10-40).

Часть арматуры и трубопровода, включая ИПУ ПГ, БРУ-А, отсечные электроприводные задвижки перед БРУ-А, отсечные электроприводные задвижки за БЗОК, размещены в паровых камерах (10UJE) и имеют защиту от воздействия пароводяных струй, летящих предметов, образующихся при авариях.

Другая часть оборудования и паропроводов расположена в здании 10UMA: главные паропроводы, запорная и регулирующая арматура.

Принцип разделения

БЗОК, отсечная электроприводная задвижка за БЗОК, ИПУ ПГ, БРУ-А и электроприводная задвижка перед БРУ-А каждого парогенератора расположены в своем помещении паровой камеры здания реактора, отделенном от отсечных арматур, ИПУ ПГ, БРУ-А, электроприводных задвижек перед БРУ-А других парогенераторов строительными конструкциями.

Строительные конструкции рассчитаны на восприятие динамических воздействий от разрыва трубопроводов, летящих предметов и сейсмического воздействия (МРЗ), а также от перепада давления при разрыве трубопроводов.

Таким образом, благодаря физическому разделению, отказ БЗОК, отсечной электропривод одной задвижки за БЗОК, ИПУ ПГ, БРУ-А. или электроприводной задвижки перед БРУ-А какого-либо ПГ не может привести к отказу отсечной арматуры, ИПУ ПГ, БРУ-А или электроприводной задвижки перед БРУ-А другого парогенератора.

Принцип включения в работу

Для выполнения принципа включения в работу как одного из принципов безопасности реализовано автоматическое включение в работу системы паропроводов свежего пара, не требующее вмешательства оператора.

Критерием выполнения системой своих функций является обеспечение следующих требований

- обеспечение требуемой подачи пара от парогенераторов к турбине от момента ее прогрева и толчка ротора до номинальной нагрузки (приблизительно 6512 т/ч), при минимальных потерях давления в паропроводах;
- обеспечение защиты парогенераторов от роста давления, превышающего рабочее более чем на 15%, при этом предохранительные клапаны рассчитаны на работу с пароводяной смесью и водой;
- обеспечение отвода остаточных тепловыделений и расхолаживания реакторной установки во всех аварийных режимах, при которых требуется работа систем аварийного отвода тепла через паропроводы.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГЛАВНОГО ПАРОПРОВОДА

а. Импульсно-предохранительное устройство (ИПУ ПГ) (альбом, рис. 2)

Назначение

ИПУ ПГ предназначены для защиты ПГ и паропроводов от превышения давления сверх допустимого во всех режимах, сопровождающихся ростом давления во втором контуре. Для этого предусмотрена установка на каждом ПГ двух импульсно-предохранительных устройства.

Основные технические характеристики ИПУ ПГ:

- пропускная способность каждого клапана при давлении на выходе из коллектора пара ПГ 8,7 МПа, т/ч 1050;
- величина давления открытия первого клапана, МПа..8,7
- величина давления открытия второго клапана, МПа..8,9
- величина давления закрытия обоих клапанов, МПа..7,85
- время открытия/закрытия клапана, с 1/1
- расчетная температура, °С..300
- количество ИПУ ПГ в системе, шт. 8.

Принцип работы ИПУ ПГ:

- В состав каждого импульсно-предохранительного устройства входит главный предохранительный клапан (ГПК) и два импульсных управляющих клапана (ИК) с электромагнитами, имеющих одинаковую уставку открытия.
- Сигнал повышения давления пара в паропроводе от ПГ поступает в цепь управления электромагнитом открытия импульсного клапана, в результате чего он открывается. В случае отказа электрических цепей управления импульсного клапана он срабатывает (открывается) под действием давления пара, как клапан прямого действия.
- После открытия импульсного клапана пар из паропровода через импульсный клапан поступает в поршневую камеру основного клапана.
- При этом в поршневой камере из-за разности площадей седла и поршня возникают усилия, отжимающие пружину и поднимающие тарелку, в результате чего пар из главного паропровода начинает сбрасываться в атмосферу. Когда давление пара в паропроводе снизится до уставки закрытия импульсно-предохранительного устройства, подается сигнал в цепь управления электромагнитом закрытия импульсного клапана, в результате чего он закрывается и подача пара через импульсный клапан прекращается.
- Пар не подается в основной клапан и давление в поршневой камере основного клапана снижается, основной клапан закрывается под действием пружины.
- Импульсные клапана в случае потери электроснабжения работают как клапаны прямого действия, что предотвращает отказ основного клапана при потере электроснабжения.

в. Быстродействующее редукционное устройство сброса пара в атмосферу (БРУ-А) (альбом, рис. 3)

Назначение

БРУ-А предназначен для сброса пара в атмосферу в режимах, связанных с запретом на сброс пара в конденсатор турбины или с обесточиванием. БРУ-А также обеспечивает регулирование давления пара в парогенераторах в заданных пределах при переходных режимах, а также режимах нарушения нормальных условий эксплуатации и аварийных режимах.

Основные технические характеристики БРУ-А:

- пропускная способность каждой БРУ-А, т/ч ..1000
- время полного открытия/закрытия БРУА, с 15/15
- давление открытия БРУ-А, МПа 7,7
- давление закрытия БРУ-А, МПа. 6,95
- давление регулирования БРУ-А, МПа $7,3 \pm 0,1$
- количество БРУ-А в системе, шт. ...4

Режимы работы БРУ-А

Защитный режим

- открытие $P_{\text{пп}} \geq 7,7 \text{ МПа}$
- закрытие $P_{\text{пп}} \geq 6,95 \text{ МПа}$

Режим авторегулирования

БРУ-А поддерживает постоянное давление на выходе из коллектора пара парогенератора, равное 7,3 МПа с точностью $\pm 0,1 \text{ МПа}$.

Режим расхолаживания

БРУ-А обеспечивает режим расхолаживания реакторной установки со скоростью $30 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{ч}$ или $60 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{ч}$.

При работе на номинальном уровне мощности давление в парогенераторах поддерживается на уровне 6.9 МПа. При этом БРУ-А закрыты и находятся в режиме ожидания в состоянии готовности к работе. Арматура перед БРУ-А открыта.

с. Быстродействующее редуцирующее устройство сброса пара в конденсатор турбины (БРУ-К) (альбом, рис. 4)

Назначение

БРУ-К предназначен для сброса пара в конденсатор турбины:

- при разогреве установки и не работающей турбине;
- при расхолаживании установки;
- при резких сбросах электронагрузки потребителей электроэнергии.

Основные технические характеристики БРУ-К:

- пропускная способность каждой БРУ-К, т/ч 510
- время полного открытия/закрытия БРУ-К, с.... 3/1
- давление открытия БРУ-К, МПа..... 7,3
- давление закрытия БРУ-К, МПа..... 6,8К
- давление регулирования БРУ-А, МПа..... $6,9 \pm 0,1$
- количество БРУ-К в системе, шт.....8

Режимы работы БРУ-К

Защитный режим

- открытие..... $P_{\text{гпк}} \geq 7,3 \text{ МПа}$
- закрытие..... $P_{\text{гпк}} \geq 6,82 \text{ МПа}$

Режим авторегулирования

БРУ-К поддерживает постоянное давление в главном паром коллекторе перед турбиной, равное 6,9 МПа.

Режим расхолаживания

БРУ-К обеспечивает режим расхолаживания реакторной установки со скоростью 30 °С /ч или 60 °С/ч.

В режиме полного сброса нагрузки с номинального уровня до уровня собственных нужд БРУ-К работают по программе поддержания давления в главных паропроводах 6,9 МПа.

d. Быстродействующий запорно-отсечной клапан (БЗОК) (альбом, рис. 5)

БЗОК состоит из корпуса с перемещающимся внутри него поршнем, который приводится в движение через вентили системы управления паровым приводом. При этом для приведения в действие БЗОК предусмотрены подводящие и отводящие паропроводы с установленной на них запорной арматурой.

Для аварийного (быстрого) закрытия БЗОК предусмотрены две пары управляющих вентилях, каждый из которых запитан от двух каналов своей подсистемы аварийного электроснабжения. В качестве рабочего тела используется собственная среда - свежий пар.

Для предотвращения утечки пара из полостей над и под поршнем БЗОК предусмотрены обратные клапаны на подводящих паропроводах к БЗОК. Конструкция и система управления БЗОК обеспечивает его надежную работу в режимах нормальной эксплуатации и при авариях:

Автоматическое закрытие БЗОК и отсечных электроприводных задвижек происходит по следующим сигналам:

- 1) разница между температурами насыщения первого и второго контуров более 70 °С и давление в ПГ ниже 5,53 МПа;
- 2) увеличение уровня воды в ПГ на 300 мм от номинального;
- 3) снижение уровня воды в ПГ на 900 мм от номинального.

Автоматическое закрытие БЗОК и отсечной электроприводной задвижки происходит также, если сформировался сигнал «Течь из первого контура во второй».

По данным сигналам происходит срабатывание БЗОК и отсечных электроприводных задвижек на том парогенераторе, где сформировался сигнал.

Основные технические характеристики БЗОК

(могут быть уточнены на следующих стадиях проектирования)

Рабочая среда	пар из ПГ, пароводяная смесь, вода
Рабочее давление, МПа	8,1
Расчетная температура, °С	300
Давление в номинальном режиме, МПа	6,9±01
Температура в номинальном режиме, °С	287±1
Расход среды, т/ч	1600 - 1712
Расход пара на одно срабатывание, кг/с	3,11
Время аварийного закрытия, с	4 - 10
Время медленного закрытия (открытия), с	до 150

Параметры пара от постороннего источника (пар от КСН)

Рабочее давление, МПа	1,08
Расчетная температура, °С	205
Количество БЗОК в системе, шт.	4

Отсечная электроприводная задвижка

Установленная последовательно с БЗОК отсечная арматура представляет собой электроприводную задвижку Ду 600. мм.

Рабочее давление, МПа	8,1
Расчетная температура, °С	300
Время закрытия, с	135
Количество отсечных электроприводных задвижек в системе, шт	4

Пределы и условия безопасной эксплуатации системы LBA

Максимальное давление пара в паропроводах свежего пара – 8,9 МПа (кроме режима гидроиспытаний).

Перед пуском блока должны быть работоспособны:

- все восемь ИПУ-ПГ;
- все четыре БЗОК;
- все четыре отсечных задвижки за БЗОК;
- все четыре БРУ-А;
- все четыре электроприводных задвижки перед БРУ-А;
- все восемь БРУ-К;
- система автоматического контроля и управления арматурой системы.

Пуск блока осуществляется только после проверки всей арматуры системы и при условии ее работоспособности.

Максимальное давление пара в паропроводах свежего пара при гидроиспытании – 11,5 МПа.

Нормальная эксплуатация

В режимах нормальной эксплуатации (работа на различных уровнях мощности, разогрев, расхолаживание блока) система паропроводов свежего пара обеспечивает транспортировку пара от парогенераторов до турбоустановки. Пуск блока осуществляется паром номинальных параметров после прогрева и дренирования паропроводов свежего пара. Давление свежего пара при пуске поддерживается постоянным при помощи БРУ-К.

При работе блока на номинальном уровне мощности в парогенераторах поддерживается давление 6,9 МПа. При этом ИПУ ПГ находятся в режиме ожидания, т.е. предохранительные клапаны закрыты; БЗОКи и отсечные электроприводные задвижки за БЗОК открыты и в режиме ожидания находятся в состоянии готовности к работе; БРУ-А и БРУ-К закрыты, электроприводная задвижка перед

БРУ-А открыта. Пар от парогенераторов по главным паропроводам поступает на четыре блока стопорно-регулирующих клапанов турбины. Пар от переключки между главными паропроводами поступает к пароперегревателю.

При плановом расхолаживании первого контура в паровом режиме отвод остаточных тепловыделений обеспечивается за счет сброса пара через БРУ-К (при наличии вакуума в конденсаторе).

Непреднамеренное открытие предохранительного устройства ПГ является нарушением нормальных условий эксплуатации. Открытие по ложному сигналу и неподача ИПУ ПГ, а также неоткрытие или ложное закрытие одного ИПУ ПГ не влияет на безопасность АЭС, так как система не теряет функциональных свойств за счет работы остальных 7 ПК ПГ.

В случае отказа в системе одного БЗОКа его функции берет на себя отсечная электроприводная задвижка данного парогенератора. При отказе одной пары управляющих клапанов БЗОКа (включая отказ обеспечивающих систем) оставшаяся в работоспособном состоянии пара управляющих клапанов обеспечивает закрытие БЗОК.

Функционирование системы при нарушениях нормальной эксплуатации

В режимах нарушения нормальных условий эксплуатации, не связанных с потерей энергоснабжения собственных нужд или запретом сброса пара в конденсатор турбины, при достижении давления во втором контуре соответствующей уставки давления открываются БРУ-К, обеспечивая при этом поддержание давления в ПГ в заданных пределах. Если дальнейший рост давления прекратился и давление снизилось до уставки закрытия, то БРУ-К закрываются. Если рост давления не прекратился, не сработали БРУ-К или есть запрет на их открытие, то вступают в работу БРУ-А. При отказе БРУ-А на открытие срабатывают предохранительные клапаны ИПУ ПГ.

В режимах нарушения нормальных условий эксплуатации, связанных с потерей питания шин нормальной эксплуатации, при закрытии стопорных клапанов турбины резко возрастает давление пара во втором контуре. Сброс пара в конденсаторы турбины в этом режиме запрещается, так как в конденсаторы не подается охлаждающая вода. При достижении давления пара на выходе из коллектора пара парогенератора 7,7 МПа срабатывают БРУ-А. По программе ступенчатого пуска вводится в работу ВПЭН, открывается БРУ-А, насосы системы аварийного расхолаживания (JNB10-40) включаются на рециркуляцию. В случае не закрытия БРУ-А для исключения потери среды второго контура из ПГ закрываются электроприводные задвижки перед БРУ-А. Закрытия БЗОК в этом режиме не происходит.

Если при обесточивании станции необходимо расхолаживание реакторной установки или обесточивание произошло на первом этапе режима расхолаживания, отвод остаточных тепловыделений и расхолаживание реакторной установки производится через систему БРУ-А и систему аварийного расхолаживания (ЛЧВ 10-40) до момента подключения системы расхолаживания через первый контур (МА). В режимах нарушения нормальных

условий эксплуатации, не связанных с обесточиванием, при запрете на сброс пара в конденсатор турбины поддержание блока в горячем резерве или расхолаживание реакторной установки производится аналогично режиму обесточивания АЭС.

Функционирование системы при аварийных режимах, включая внешние воздействия

При разрыве паропровода в неотсекаемой части - от парогенератора до отсечной электроприводной задвижки - по сигналам защиты АЭС срабатывает аварийная защита реактора, закрываются стопорно-регулирующие клапаны турбины, закрывается БЗОК и отсечная электроприводная задвижка на паропроводе от аварийного парогенератора, прекращается подача питательной воды в этот парогенератор, отключается ГЦН аварийной петли, закрывается продувка данного парогенератора. Таким образом локализуется аварийный парогенератор, а остальные парогенераторы остаются в работе. После этого блок переводится в режим расхолаживания с использованием штатных систем.

При разрыве ГПК или паропроводов за отсечными задвижками (в отсекаемой части) по сигналам защиты АЭС срабатывает аварийная защита реактора, автоматически закрываются БЗОКи и отсечные электроприводные задвижки на паропроводах от всех парогенераторов, закрываются стопорные клапаны турбины. После этого блок переводится в режим расхолаживания с использованием системы БРУ-А и системы аварийного расхолаживания ПГ (JNB10-40).

Аварийный режим с обрывом паропровода между БЗОК и отсечной электроприводной задвижкой протекает аналогично аварийному режиму обрыва паропровода в неотсекаемой от ПГ части при единичном отказе БЗОК на закрытие по аварийным сигналам.

В аварийных режимах аварийное закрытие БЗОК и электроприводной задвижки на трубопроводе за БЗОК происходит по совпадению следующих сигналов:

- разница между температурами насыщения первого и второго контуров более 70 °С при давлении в соответствующем парогенераторе менее 5,53 Мпа;
- снижение уровня в парогенераторе на 900 мм от номинального.

В случае прохождения сигнала срабатывает БЗОК и быстродействующая электроприводная задвижка на том парогенераторе, где сформировался сигнал. Открытие БЗОК и электрифицированной задвижки за БЗОК производится оператором после снятия запрета на их открытие.

В случае одновременного отказа на закрытие БЗОК и отсечной электроприводной задвижки возможна потеря среды только из одного парогенератора, т.к. остальные парогенераторы будут отсечены своими БЗОКами или задвижками.

В случае невыполнения активными системами безопасности функции отвода тепла через парогенератор от активной зоны эту функцию выполнит СПОТ (система JNB50-90). При течи из первого контура во второй происходит резкое снижение давления в первом контуре, рост давления и уровня в

аварийном парогенераторе, рост активности в паре. При этом срабатывает аварийная защита реактора, закрываются стопорные клапаны турбины. Расхолаживание реакторной установки в режиме течи из первого контура во второй производится через неаварийные парогенераторы по специальному регламенту.

Элементы системы, относящиеся к I категории сейсмостойкости, выдерживают максимальное проектное землетрясение. Элементы системы, выполненные по I категории сейсмостойкости, рассчитаны на МРЗ, что обеспечивает выполнение системой своих функций при МРЗ. Элементы системы, относящиеся ко II категории сейсмостойкости, выдерживают максимальное проектное землетрясение. Система защищена от экстремальных температур, так как оборудование расположено в помещениях, имеющих системы вентиляции.

Размещение оборудования

Часть паропроводов свежего пара размещается внутри герметичной оболочки в здании UJA, часть паропроводов с установленными на них ИПУ ПГ, БРУ-А, отсечными электроприводными задвижками перед БРУ-А, БЗОК и отсечными электроприводными задвижками, размещены в паровой камере UJB. Участок паропровода в здании UJE помещен в защитный кожух, который рассчитан на параметры, возникающие при разрыве паропровода.

ИПУ ПГ, БРУ-А, отсечная электроприводная задвижка перед БРУ-А, БЗОК и отсечная электроприводная задвижка за БЗОК от одного парогенератора, расположенные в здании UJE, устанавливаются в своем помещении, отделенном от оборудования и трубопроводов других парогенераторов строительными конструкциями, которые рассчитаны на восприятие динамических воздействий от разрыва трубопроводов (в том числе и вне здания UJE), летящих предметов и сейсмического воздействия уровня МРЗ.

Выхлопные трубопроводы ИПУ ПГ оснащены постоянно действующими дренажами для отвода влаги, образующейся атмосферными осадками и протечками пара через клапаны ИПУ. Часть системы паропроводов свежего пара размещается в здании UMA: трубопроводы, арматура. Для арматуры обеспечены доступ и условия проведения технического обслуживания и ремонтов при работе реактора на мощности.

3. СИСТЕМА СЕПАРАЦИИ ПАРА И ПРОМПЕРЕГРЕВА (LCS)

(альбом, рис. 6)

Предназначена для поддержания допустимой влажности пара перед последними ступенями ЦНД путем:

- сепарации рабочего пара с выхода ЦВД турбины;
- перегрева пара, подаваемого в ЦНД.

Функции системы:

- сепарация рабочего пара с выхода ЦВД турбины
- отвод сепарата в сепаратосборник и далее сливными насосами в тракт основного конденсата после ПНД-4;
- двухступенчатый перегрев пара, подаваемого в ЦНД, до 260 °С;
- отвод конденсата греющего пара в Кс-I и II ступеней, с дальнейшим сливом КГП I ступени в ПВД-5 и КГП – II ступени насосами КГТН в трубопровод питательной воды после ПВД-6.

Система сепарации промперегрева является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности.

НП-001-07 (ОПБ-88/97) – 3 класс безопасности,

НП-031-01-II категория сейсмостойкости,

ПНАЭ Г-7 008-89 – группа С.

Исключение составляют:

- сбросные клапаны;
- паропроводы от сбросных клапанов до конденсатора;
- перепускные трубы низкого давления ЦВД-СПП;
- перепускные трубы низкого давления СПП-ЦНД;
- паропроводы от перепускных труб до сбросных клапанов;
- паропроводы от перепускных труб до предохранительных клапанов;
- выхлопные трубопроводы предохранительных клапанов;
- трубопровод отсоса газов из сепаратосборника от задвижки перед ПНД-2 до ПГД-2;
- трубопровод слива сепарата из сепаратосборника от задвижки перед конденсатором до конденсатора;
- трубопровод отсоса газов из КС от задвижки перед конденсатором до конденсатора;
- трубопровод слива конденсата из КС от задвижки перед конденсатором до конденсатора;

Классификационное обозначение – 3Н.

Работа системы

После ЦВД пар четырьмя трубами направляется в сепараторы-пароперегреватели на сепарацию (удаление влаги из пара) и промежуточный

перегрев. Тепловой схемой предусмотрены четыре СПП: LBJ10...LBJ40 – по одному СПП на каждом паропроводе выхлопа пара из ЦВД.

На каждом из трубопроводов выхода пара из ЦВД перед аппаратами СПП предусмотрена установка предвключенного пленочного сепаратора с отводом отсепарированной влаги через разделитель в сепаратосборник.

Параметры системы LCS

Нагреваемый пар

Сепаратор

– Расход влажного пара на входе в СПП, т/ч	1122,1
– Давление пара на входе в СПП, МПа	0,48
– Энтальпия на входе в СПП, кДж/кг	2399,87
– Влажность пара на входе в СПП, %	16,88
– Влажность пара после СПП, %	0,2
– Расход пара после СПП, т/ч	938,07
– Давление пара на выходе из СПП, МПа	0,474
– Энтальпия пара на выходе из СПП, кДж/кг	2743,6

Пароперегреватель I ступени

– Давление на пара на выходе из ПП1, МПа	0,471
– Энтальпия пара на выходе из ПП1, кДж/кг	2880,0
– Температура пара на выходе из ПП1, °С	213,1

Пароперегреватель II ступени

– Давление на пара на выходе из ПП2, МПа	0,467
– Энтальпия пара на выходе из ПП2, кДж/кг	3001,0
– Температура пара на выходе из ПП2, °С	260
– Гидравлическое сопротивление С ПП-1200, % от Р перед СПП	2,7

Греющий пар

Пароперегреватель I ступени

– Расход пара (отбор после 2 ступени ЦВД), т/ч	79,90
– Давление на пара на входе в ПП1, МПа	2,618
– Энтальпия пара на входе в... ПП1, кДж/кг	2639,78
– Температура пара на входе ПП1, °С	213,4

Пароперегреватель II ступени

– Расход пара (свежий пар), т/ч	74,88
– Давление на пара на входе в ПП2, МПа	6,464
– Энтальпия пара на входе в ПП2, кДж/кг	2767,14
– Температура пара на входе в ПП2, °С	281,5

Основные параметры оборудования

Тип СПП – 1200

- Масса, кг.....155000
- Высота, мм.....21000
- Диаметр, мм.....4072/4200
- Температура перегретого пара, °C.....260
- Расход греющего пара, кг/с.....34,9
- Материалы углеродистая сталь, нержавеющая сталь

Сепаратор LCT50BB001

- Высота, мм.....3600
- Диаметр, мм.....2800
- Длина, мм.....8000
- Масса, кг.....20800
- Материалы углеродистая сталь, нержавеющая сталь

Конденсаторы LCS51BB001, LCS52BB001, LCS61BB001, LCS62BB001

- Высота, мм.....2980
- Диаметр, мм.....1789
- Длина, мм.....4250
- Масса, кг.....31000
- Материалы углеродистая сталь

Конденсатный насос с гидроприводом LCS50AP001 (по техническому заданию)

- Тип.....КГТН-415-305А
- Производительность, м³/ч.....415
- Напор насоса, м.вод.ст.....305
- А.....для АЭС
- Расход воды на турбину, м³/ч.....340
- Напор турбины, м.вод.ст.....820
- Материалы.....нержавеющая сталь

Сливные насосы ПНД-4 и сепараторы СПП LCT51AP001, LCT52P001, LCT53P001

- Тип.....КсВА 650-135-6
- Количество, шт.....3
- Производительность, м³/ч.....650
- Напор, м.вод.ст.....135
- Масса агрегата, кг.....8800
- Материалы углеродистая сталь, нержавеющая сталь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

- Не допускается работа турбоустановки при отключении по нагреваемому пару хотя бы одного из четырех СПП.
- Запрещается работа СПП с отключенной первой ступенью.
- Допускается работа СПП при отключенной 2 ступени пароперегревателя на всех четырех СПП в течение 24 часов при электрической мощности 30%.
- Запрещается работа СПП с не отглушенными поврежденными кассетами.
- Запрещается работа СПП с уровнем сепарата на нижнем днище.
- Не допускается работа СПП при нарушении системы регулирования уровня воды в СС, КС-1, КС-2 и заполнения их выше предельного уровня.
- Не допускается работа СПП при неисправных предохранительных устройствах. Повышение давления в корпусе СПП может возникнуть при разрыве трубок второй ступени перегрева и истечении через них пара при закрытых регулирующих клапанах турбины и отсечных заслонках на тракте перегреваемого пара в ЦНД.
- Не допускается работа СПП при снижении более чем на 10 °С температуры нагреваемого пара на выходе из аппарата. Причиной резкого снижения температуры перегрева может быть в теплообменной поверхности.
- Максимальная скорость прогрева стенки СПП – 2 °С в минуту, максимальная скорость расхолаживания – 5 - 6 °С в минуту.
- Корпуса СПП и комплектующего оборудования, а также все выступающие части, камеры и трубопроводы покрываются теплоизолирующим слоем. Температура наружного слоя изоляции при работе СПП не должна превышать 45 °С.

СЛИВНЫЕ НАСОСЫ LCT 51,52,53AP001

Конструктивные особенности

Насос центробежный, вертикальный, двухкорпусной, секционного типа, двухступенчатый с предвключенным колесом, кольцевым уплотнением торцевого типа.

Опорами ротора являются: верхний опорно-упорный подшипник скольжения с картерной жидкой масляной смазкой, нижний – гидростатический подшипник скольжения (смазка – перекачиваемый конденсат).

Осевое усилие, действующее на ротор, компенсируется разгрузочным устройством барабанного типа.

Остаточное осевое усилие воспринимается опорно-упорным подшипником скольжения.

Ограничения по работе насоса.

- Температура верхнего опорно-упорного подшипника более 80 °С
- Внешние утечки через торцевое уплотнение вала свыше 2,5 л/ч
- Виброскорость верхнего подшипника насоса более 11,2 мм/с

Конденсатный насос с гидроприводом LCS50AP001

- Предназначен для использования в составе турбоустановки К–1200-6,8/50 для откачивания конденсата греющего пара из КС-2 ступени СПП в магистраль питательной воды за
 - ПВД-6.
- Источником рабочей среды для гидротурбины является питательная вода, отбираемая из коллектора питательных насосов.
- Регулирование уровня конденсата в КС-2 производится изменением частоты вращения агрегата.
- Агрегат должен обеспечивать откачку конденсата из КС-2 в диапазоне нагрузок турбины от 20% до номинальной.
- Резервный отвод конденсата при нарушениях нормальных условий эксплуатации и при нагрузках турбины менее 20% от номинальной производится самотеком в деаэратор или конденсатор в зависимости от режима работы.
- По условиям прочности корпус агрегат должен быть рассчитан на давление 130 кгс/см^2 при максимальных температурах перекачиваемой жидкости 300°C и питательной воды 190°C .

4. СИСТЕМА LBG. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Предназначена для снабжения паром потребителей:

- деаэратор второго контура;
- уплотнения турбины;
- сетевые подогреватели блоков 1 и 2;
- БЗОК;
- баков и трубопроводов обессоленной воды на улице в зимний период;
- потребители зданий 10УМА, 10УКС, 00УУВ, 00УКУ, 00УВБ, 00УКС.

В основу проектирования системы положено выполнение следующих требований:

- Обеспечение паром требуемых параметров всех потребителей пара собственных нужд блока 1 в различных режимах работы блока;
- Обеспечение паром требуемых параметров всех потребителей пара собственных нужд блока 1 и потребителей пара собственных нужд блока 2 в пусковом режиме. При этом пуск второго блока предполагается при 100 % нагрузке первого блока;
- Подача пара в КСН и поддержание в нем давления 1,08 – 0,38 МПа во всех режимах работы системы 1LBG-70, требующих ее функционирования;
- Поддачи пара в КСН из отбора давлением не ниже 0,38 МПа при снижении мощности турбины не ниже 70% от $N_{ном}$;
- Поддержание скользящего давления пара в деаэраторе в диапазоне 0,69 – 0,33 МПа при условии работы ПВД во всех режимах работы системы 1LBG-70;
- Поддержание величины давления пара в деаэраторе 2 контура не ниже 0,33 МПа в режиме сброса нагрузки турбины от 100 до 55 % от $N_{ном}$. В режиме нарушения нормальных условий эксплуатации, связанного с обесточиванием шин нормального питания, в деаэраторе автоматически поддерживаются параметры $p = 0,59$ МПа (изб), $T = 164,2$ °С;
- Обеспечение подачи пара от КСН в деаэратор 2 контура расходом не менее 50 т/ч в режиме сброса нагрузки от 100% до 20% $N_{ном}$;
- Обеспечение подачи пара от КСН в деаэратор 2 контура расходом не менее 540 т/ч в режиме полного сброса нагрузки блока;
- Обеспечение подачи пара в сетевые подогреватели блоков 1 и 2 расходом 720 т/ч для поддержания теплофикационной нагрузки 70 % от $N_{ном}$ двух блоков;
- Обеспечение подачи пара в установку подпитки теплосети расходом 3,1 т/ч для поддержания теплофикационной нагрузки двух блоков 70 % от $N_{ном}$.

Система LBG. Классификация по нормативным документам

Система LBG-70 относится к классу безопасности 3Н, группе С и является системой нормальной эксплуатации важной для безопасности.

ПНАЭ Г-7-008-89 относится к группе С;

НП-001-97 (ОПБ-88/97) – к 3 классу безопасности;

НП-031-01 – к II категории сейсмостойкости.

Связь с другими системами

- Системой устройств для дезактивации выемных частей ГЦН и других деталей машин (0 FKK)4
- «грязным» отделением спецпрачечной (0 SRR)
- Системой подогревателей сетевой воды (1 NDA);
- Системой переработки трапных вод (1 KPF10-60);
- Системой переработки теплоносителя (1 KBF);
- Системой химической промывки ПГ (1 LFG);
- Замкнутым контуром подогрева подпиточной воды и установки получения чистого пара (0 NDF30);
- Системой трубопроводов обессоленной воды здания 10UKC (1 GHС30);
- Системой сжигания ТРО (0 KPH);
- Системой обессоленной воды здания 10UMA (1LCP10-80)

Технические характеристики оборудования системы LBG

БРУ-СН, (LBF10 AA201, LBF20 AA201)

Производительность, т/ч	100
Давление, МПа (изб)	6, 9/1,08 – 0,38
Температура пара на входе, ° С	287
Температура пара на выходе, ° С	187,1
Время закрытия клапана, с	11

БРУ-ТФУ, (LBF30 AA201)

Производительность, т/ч	720
Давление, МПа (изб)	6, 9/1,08 – 0,48
Температура пара на входе, ° С	287
Температура пара на выходе, ° С	187,1
Время закрытия клапана, с	11

БРУ-Д, (LBF40AA201, LBF50AA201)

Производительность, т/ч	270
Давление, МПа (изб)	6, 9/1,08 – 0,33
Температура пара на входе, ° С	287
Температура пара на выходе, ° С	187,1
Время закрытия клапана, с	11

РУ-УТП (для установки подпитки теплосети), (LBF60 AA201)

Производительность, т/ч	5
Давление, МПа (изб)	6, 9/1,08
Температура пара на входе, ° С	287
Температура пара на выходе, ° С	187,1

Редукционно-охлаждающая установка РОУ (LBG19 AC001, LBG20 AC001)

Производительность, т/ч	25
Давление, МПа (изб)	1,08-0,025-0,35
Температура пара на входе, °С	187,1 - 150,4
Температура пара на выходе, °С	138 - 148

Система LBG. Перечень параметров для управления и защиты

Снижение давления в КСН менее 0,38 МПа.

Автоматическое включение двух БРУ-СН. При повышении давления до 1,08 вводится запрет команды больше на клапаны 10LBF10AA201, 10LBF20AA201. при отключении одной БРУ-СН вторая обеспечивает нагрузку 70%.

Давление в деаэраторе второго контура менее 0,33 МПа.

Автоматическое подключение БРУ-Д. с началом открытия любого клапана БРУ-Д закрывается задвижка на трубопроводе подачи пара от отбора в деаэратор. При не открытии клапана LBF40AA201 автоматически, с выдержкой времени 10 с, подключается клапан LBF50AA201.

Обесточивание.

Автоматическое подключение БРУ-Д с переводом в режим поддержания давления в деаэраторе 0,59 МПа (изб) . С началом открытия любого клапана БРУ-Д закрывается задвижка на трубопроводе подачи пара от отбора в деаэратор. При не открытии клапана LBF40AA201 автоматически, с выдержкой времени 10 с, подключается клапан LBF50AA201.

Снижение давления в отборе № 3 менее 0,48 МПа.

Автоматическое подключение БРУ-ТФУ. С началом открытия клапана 10LBF30AA201 закрывается задвижка на трубопроводе подачи пара от отбора турбоустановки в пиковый бойлер БЗ.

Снижение давления в отборе № 2 менее 1,08 МПа.

Автоматическое подключение РУ-УПТ. С началом открытия клапана 10LBF60AA201 закрывается задвижка на трубопроводе подачи пара от отбора турбоустановки в установку подпитки теплосети.

5. СИСТЕМА ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА 1 LCA

Система основного конденсата должна обеспечивать:

- подачу конденсата из основного конденсатора в деаэратор через систему блочной обессоливающей установки (БОУ), конденсатора пара уплотнений (КПУ) и систему регенерации низкого давления;
- управление расходом конденсата, откачиваемого конденсатными насосами, для поддержания уровня в деаэраторе и в подогревателе низкого давления №2 (ПНД-2) в заданных пределах
- обеспечение расхода конденсата по линии рециркуляции, необходимого для нормальной работы конденсатных насосов, при работе турбины на холостом ходу и малых нагрузках;
- подачу основного конденсата:
 1. в систему впрысков в пароприемное устройство конденсатора;
 2. на управление защитными устройствами ПВД;
 3. на охлаждение выхлопных частей ЦНД;
 4. на охлаждение гидрозатвора ПНД-2;
 5. на гидроприводы обратных клапанов на отборах турбины.

Система LCA. Подача в деаэратор (LCA 70)

Основной конденсат после ПНД-4 подается коллектором Ду800:

- для равномерной раздачи этого потока коллектор разделяется на 4 трубопровода Ду400,
- на каждом из которых предусмотрены электроприводные задвижки (10LCA71, 72, 73, 74AA001).

Открытие задвижек производится исходя из следующего условия: в диапазоне нагрузок 0 – 25 % номинальной открыта задвижка 10LCA 71 AA01, в диапазоне 25 – 50 % дополнительно открывается задвижка 10LCA 72AA01, в диапазоне 50 - 75 % дополнительно-10LCA 73AA01, в диапазоне 75 – 100 % - открыты все четыре задвижки;

Для исключения гидроударов в конденсатопроводах на подъемном участке трубопровода Ду800 мм предусмотрен обратный клапан 10LCA 70 AA601.

Система основного конденсата обеспечивает выполнение следующих задач:

- подачу конденсата из основного конденсатора в деаэратор посредством 2-х ступеней конденсатных насосов КЭН-I и КЭН-II;
- регулирование уровня в деаэраторе и ПНД-2 во всех режимах работы турбины, включая пусковые режимы и работу блока на частичных нагрузках;
- работу КЭН-I и КЭН-II на рециркуляцию при пусках турбины и работе в малорасходных режимах;
- подачу конденсата:
 - в систему впрысков в пароприемное устройство конденсатора;
 - на управление защитными устройствами ПВД;

- на охлаждение выхлопов ЦНД;
- на заполнение гидрозатвора ПНД-2;
- на гидроприводы обратных клапанов на отборах турбины;
- на уплотнение вакуумной арматуры;
- на заполнение и подпитку баков системы охлаждения генератора МКФ;
- на заполнение водокольцевых вакуумных насосов;
- на уплотнение ПЭН, ВПЭН, КЭН-I, КЭН-II, НСС
- на охлаждение охладителя выпара системы дренажей машзала LSM;
- на охлаждение сервомоторов.

Система основного конденсата состоит из конденсатных насосов I и II ступеней, фильтров-сеток на всасе конденсатных насосов, трубопроводов и арматуры.

Конденсаторная группа турбины состоит из двух секционированных двухпоточных по охлаждающей воде конденсаторов.

Нижняя часть второй по ходу охлаждающей воды секции конденсатора является конденсатосборником. Конденсатосборники обоих конденсаторов соединены уравнивающей линией, являющейся всасывающим коллектором конденсатных насосов.

Отвод конденсата из конденсаторов осуществляется тремя конденсатными насосами I-ой ступени, каждый из которых обеспечивает 50% производительности (2 в работе, 1 в резерве).

Напорный трубопровод за КЭН-I обеспечивает подачу конденсата последовательно в конденсатор пара уплотнений, блочную обессоливающую установку, ПНД-1 и ПНД-2.

Из ПНД-2 основной конденсат конденсатными насосами II-ой ступени КЭН-II подается в ПНД-3, затем в ПНД-4 и в деаэратор.

В линию основного конденсата за ПНД-4 предусмотрен подвод конденсата из сепаратосборника СПП (сепарат пара СПП + КГП ПНД-4).

Из трубопровода напора КЭН-II конденсат подается в линию впрыска в пароприемные устройства конденсатора для охлаждения пара, поступающего в конденсатор от БРУ-К, и на управление быстродействующими клапанами для защиты от повышения уровня воды в корпусах ПВД.

Для обеспечения устойчивой работы конденсатных насосов при пусках и малорасходных режимах предусмотрены линии рециркуляции КЭН-I в конденсатор и КЭН-II в корпус ПНД-2. При заполнении системы и испытаниях рециркуляция КЭН-I осуществляется через перелив ПНД-2 с гидрозатвором.

Кроме общей линии рециркуляции каждый насос КЭН-I имеет индивидуальную линию для опробования насоса после ремонта.

На нагнетании каждого конденсатного насоса установлен обратный клапан с байпасом, с помощью которого можно опрессовать насос, выводимый из ремонта, за счет давления, развиваемого соседним насосом.

Узел регулирования уровня в ПНД-2 установлен на линии основного конденсата за ПНД-1. Узел регулирования уровня в деаэраторе установлен на

напоре КЭН-II перед ПНД-3. Регулирование уровня в ПНД-2 и деаэраторе осуществляется по схеме «после себя».

Каждый из узлов регулирования уровня в ПНД-2 и деаэраторе включает по три регулирующих клапана, из которых один (в каждой группе) - пусковой с пропускной способностью порядка 30 %, а два других пропускной способностью порядка 70 % каждый служат рабочим и резервным регулируемыми клапанами. Полная нагрузка блока обеспечивается за счет открытия любых двух из названных клапанов.

Электронасосный агрегат КЭНА 2000-100 состоит из насоса производства ОАО «Пролетарский завод», электродвигателя АВ5А-800Д-6УХЛ4 производства ЗАО «Завод крупных электрических машин» и фонаря.

Электродвигатель асинхронный вертикальный. Передача крутящего момента от двигателя к насосу осуществляется через упругую пластинчатую муфту.

Подача – 2000 м³/ч

Напор – 100 м

Частота вращения – 985 об/мин

Мощность приводного двигателя – 800 кВт

Температура рабочей среды – до 75 °С

Допустимый кавитационный запас – 2,8 м в.ст.

Агрегат вертикального исполнения, центробежный, четырехступенчатый, двухкорпусной; опорой ротора служат подшипники. Нижний подшипник – скольжения на перекачиваемой жидкости, верхний – качения на жидкой смазке. Уплотнение ротора – двойное торцовое. Входной и напорный патрубки выполнены под приварку трубопроводов.

Электронасосный агрегат КЭНА 2245-220 состоит из насоса производства ОАО «Пролетарский завод», электродвигателя АВ5А-2000Д-4УХЛ4 производства ЗАО «Завод крупных электрических машин», и фонаря.

Электродвигатель асинхронный вертикальный. Передача крутящего момента от двигателя к насосу осуществляется через упругую пластинчатую муфту.

Подача – 2245 м³/ч

Напор – 220 м

Частота вращения – 1485 об/мин

Мощность приводного двигателя - 2000 кВт

Температура рабочей среды – до 125 °С

Допустимый кавитационный запас – 4,7 м в.ст.

Агрегат вертикального исполнения, центробежный, четырехступенчатый, двухкорпусной; опорой ротора служат подшипники. Нижний подшипник – скольжения на перекачиваемой жидкости, верхний – качения на жидкой смазке. Уплотнение ротора – двойное торцовое. Входной и напорный патрубки выполнены под приварку трубопроводов.

Управление конденсатными насосами

Последовательность включения насосов при выполнении команд «шагового» управления определяется общим для всех КЭН данной ступени переключателем предварительного выбора, имеющим три положения:

- первым включается КЭН № 1;
- первым включается КЭН № 2;
- первым включается КЭН № 3.

При поступлении сигнала на автоматическое включение КЭН этот сигнал поступает на насос, определенный указанным переключателем, как пускаемый первым.

Если к моменту поступления команды на автоматическое включение этот насос уже включен в работу, сигнал поступает на следующий насос (следующим за КЭН №3 является насос №1). Если насос, на который поступил сигнал автоматического включения, за две секунды не включился (например, вследствие того, что он выведен в ремонт), по истечении указанной выдержки времени сигнал автоматического включения поступает на следующий КЭН.

По приведенному алгоритму производится включение КЭН при повышении нагрузки свыше 50 % и включение КЭН командами АВР.

Защиты и блокировки

КЭН-I

Условия включения:

- уровень в конденсатосборниках обоих конденсаторов выше II предела;
- задвижка на нагнетании включаемого насоса закрыта, либо давление в напорном коллекторе КЭН-I выше I предела.

Второй насос включается автоматически с выдержкой времени 10 секунд при увеличении расхода основного конденсатора до 50 %.

Резервный КЭН-I включается при снижении давления в напорном коллекторе за КЭН-I до II предела при условии, что в работе находится какой-либо из КЭН-I, при чем с момента его включения прошло более 4 минут.

Отключение КЭН-I, определенного в соответствии с ключом выбора:

- с выдержкой времени в 10 секунд, если расход конденсатора ниже 45 % от минимального значения;
- если уровень конденсатора во всех конденсаторах меньше I предела;
- если через 3 минуты после его выключения задвижка на нагнетании этого насоса не открыта.

Все работающие КЭН-I отключаются защитой, если уровень ПНД-2 повышается выше четвертого предела.

КЭН-II

Условия включения:

- уровень в ПНД-2 выше второго предела;
- задвижка на нагнетании включаемого насоса закрыта либо давление в напорном коллекторе КЭН-II выше первого предела.

Второй насос включается автоматически с выдержкой времени 10 секунд при увеличении расхода основного конденсатора до 50 %.

Резервный КЭН-II включается при снижении давления в напорном коллекторе за КЭН-II до II предела при условии, что в работе находится какой-либо из КЭН-II, при чем с момента его включения прошло более 4 минут.

Отключение КЭН-II, определенного в соответствии с ключом выбора:

- с выдержкой времени в 10 секунд, если расход конденсатора ниже 45 % от минимального значения;
- если уровень конденсатора в ПНД-2 меньше I предела;
- если через 3 минуты после его выключения задвижка на нагнетании этого насоса не открыта.

Все работающие КЭН-II отключаются защитой, если уровень в деаэраторе повышается выше аварийного предела.

Классификация по НД

В соответствии с НП-001-97 (ОПБ-88/97) система основного конденсатора (1 LCA) является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности. Классификационное обозначение ЗН.

В соответствии с п.1.1.7 ПНАЭ Г-7-008-89 оборудование и трубопроводы системы от тракта основного конденсата, относятся к группе С.

Все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости НП-031-01.

Электропитание. Размещение

Электроприводные компоненты системы 1 LCA подключены к системе электроснабжения нормальной эксплуатации во всех проектных режимах.

Оборудование и трубопроводы системы 1 LCA размещаются в здании турбины (UMA)

Конденсаторные насосы I и II ступени установлены в здании турбины в своих приемках на отметке -5 м.

Система конденсаторов турбины МАG (конденсационная установка 1200КП-95000-1)

Система конденсаторов турбины предназначена:

- для конденсации отработавшего в турбине пара;
- приема нормального добавка подпиточной воды;
- первичной деаэрации конденсата и добавка;
- выделения зон с максимальным парциальным давлением воздуха для отсоса неконденсирующихся газов;
- приема дренажей и неконденсирующихся газов из системы регенерации турбины и других источников;
- приема и конденсации пара от системы БРУ-К (MAN).

Система конденсаторов турбины является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности. Все элементы системы конденсаторов турбины в соответствии с «Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций» НП-001-97 (ОПБ-88/97) относятся к 3 классу безопасности. В соответствии с Нормами проектирования сейсмостойких атомных станций НП-031-01 все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости.

Принцип действия конденсационной установки

Одним из основных способов достижения высокого термического КПД паротурбинной установки является понижение параметров пара за турбиной. С понижением отработавшего в турбине пара уменьшается количество теплоты, передаваемой холодному источнику, что, как известно из термодинамики, при неизменных параметрах свежего пара повышает мощность турбины за счет увеличения теплоперепада на ней и экономичность цикла в целом. Понижение параметров пара за турбиной осуществляется до давления ниже барометрического, для чего необходимо обеспечить конденсацию отработавшего в турбине пара.

Этой цели и служит конденсационная установка, которая, кроме того, обеспечивает также получение чистого конденсата для питания парогенератора, замыкая цикл.

Пар, отработавший в турбине, направляется в конденсатор, представляющий собой горизонтальный кожухотрубный теплообменный аппарат, в котором происходит его конденсация. Процесс конденсации совершается за счет отнятия у пара теплоты конденсации при постоянном давлении.

Для отвода теплоты, выделяющейся при конденсации пара (теплоты фазового перехода), через трубы конденсатора, образующие поверхность охлаждения, циркуляционными насосами непрерывно прокачивается охлаждающая вода.

Конденсат, образовавшийся в результате конденсации пара, стекает в конденсатосборник, откуда откачивается конденсатными насосами и подается в систему регенерации.

Система конденсаторов турбины МАГ имеет связь со следующими системами:

- системой основного конденсата LCA;
- системой вакуумирования конденсаторов MAJ;
- системой основной охлаждающей воды PAB;
- системой БРУ-К (MAN);
- системой подогревателей низкого давления LCC, LCJ;
- системой подогревателей высокого давления LAD, LCH;
- системой сепаратора СПП LCT;
- системой конденсата греющего пара пароперегревателя LCS;
- системой обессоленной воды LCP;
- системой дренажей турбины MAL;

- системой дренажей паропроводов высокого давления LCN;
- системой сбора дренажей и конденсата LCM;
- системой отсоса пара из уплотнений турбины МАМ;
- системой автоматического хим.контроля QUC;
- системой отбора проб QUN.

Пар, отработавший в турбине, направляется в конденсатор, представляющий собой горизонтальный кожухотрубный теплообменный аппарат, в котором происходит его конденсация. Процесс конденсации совершается за счет отнятия теплоты конденсации при постоянном давлении.

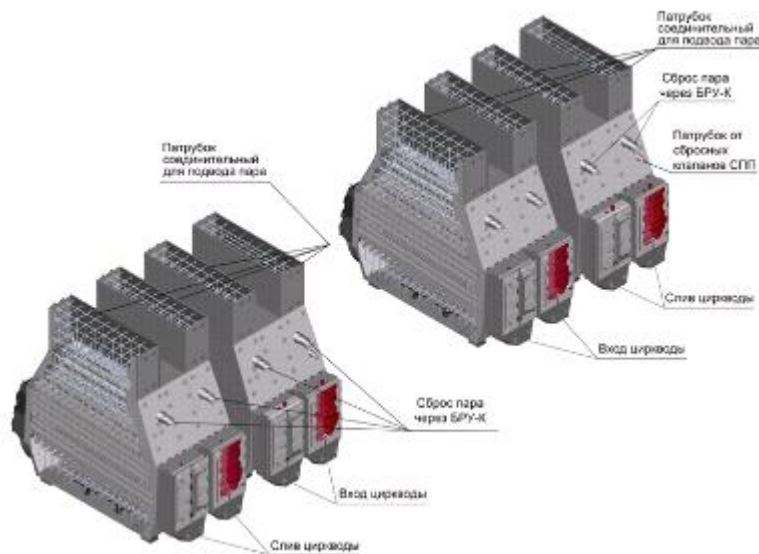


Рис. 5

Для отвода теплоты, выделяющейся при конденсации пара (теплоты фазового перехода) через трубы конденсатора, образующие поверхность охлаждения, циркуляционными насосами непрерывно прокачивается охлаждающая вода. Конденсат, образовавшийся в результате конденсации пара, стекает в конденсатосборник, откуда откачивается конденсатными насосами в систему регенерации.

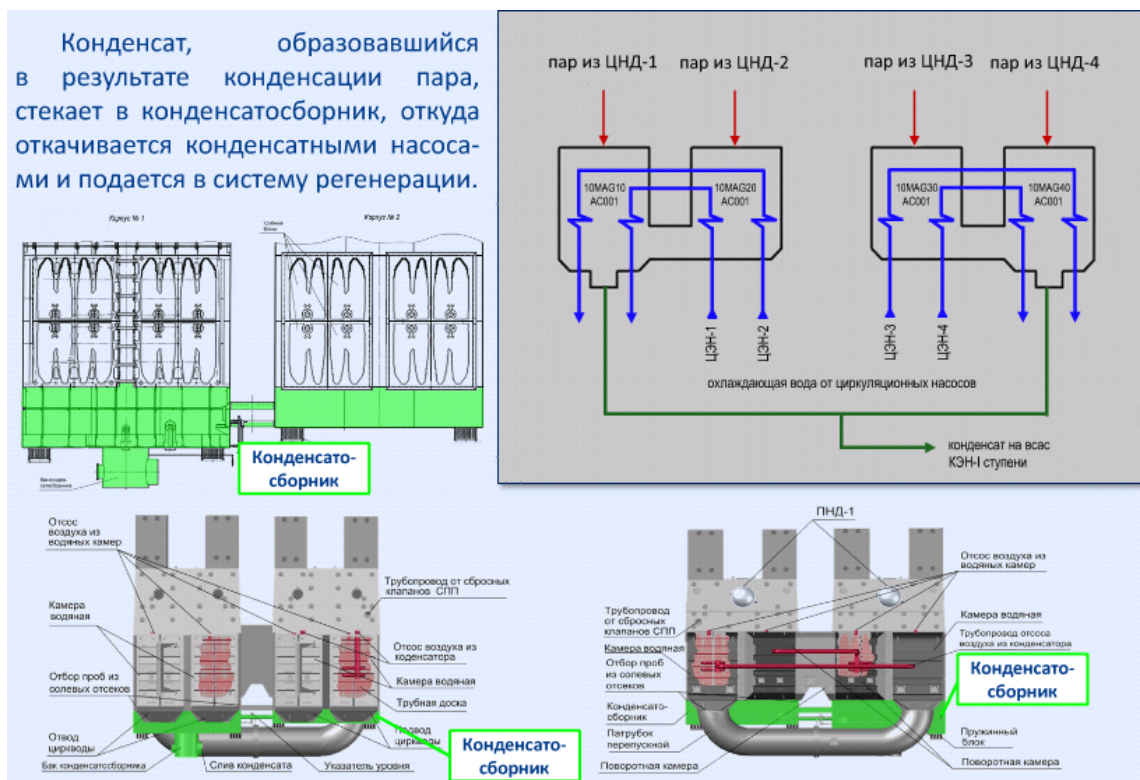


Рис. 6

Конденсат, образовавшийся в результате конденсации пара, стекает в конденсатосборник, откуда откачивается конденсаторными насосами и подается в систему регенерации.

Описание технологической схемы конденсаторов турбины

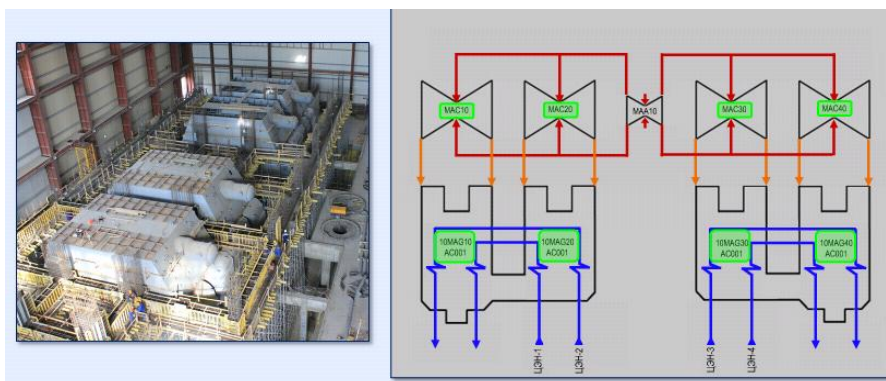


Рис. 7

Система главных конденсаторов турбины состоит из четырех (по числу цилиндров) двухпоточных одноходовых по охлаждающей воде конденсаторов подвального типа с расположением конденсаторных трубок поперечно относительно оси турбины.

Нумерация корпусов конденсаторов соответствует нумерации цилиндров низкого давления.

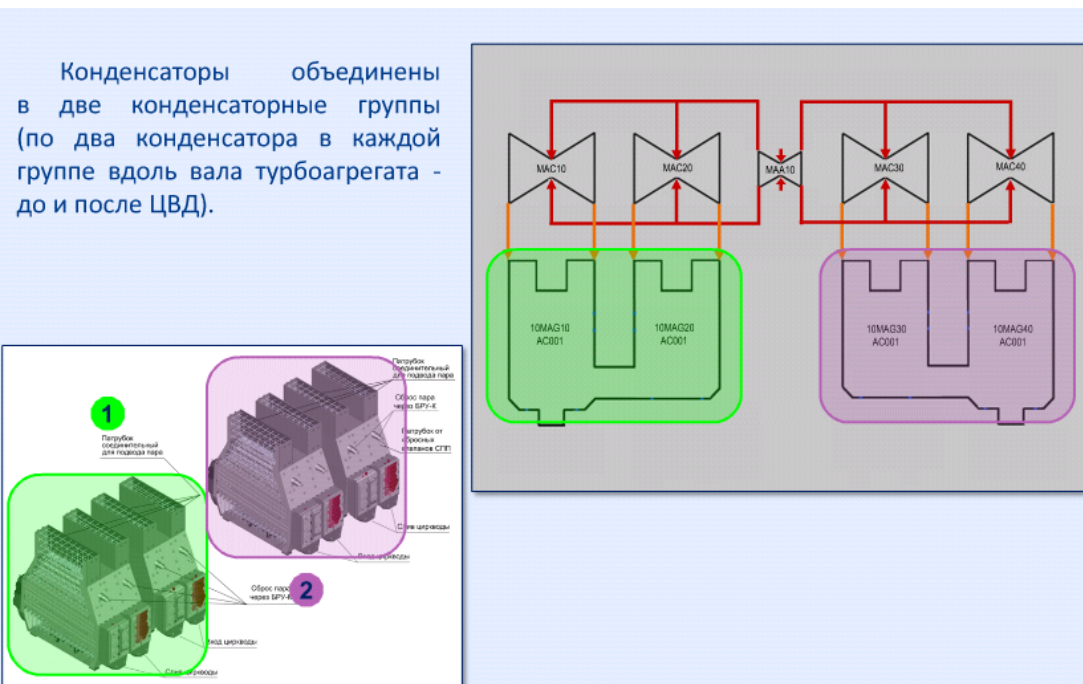


Рис. 8

Конденсаторы объединены в две конденсаторные группы (по два конденсатора в каждой группе вдоль вала турбоагрегата – до и после ЦВД).

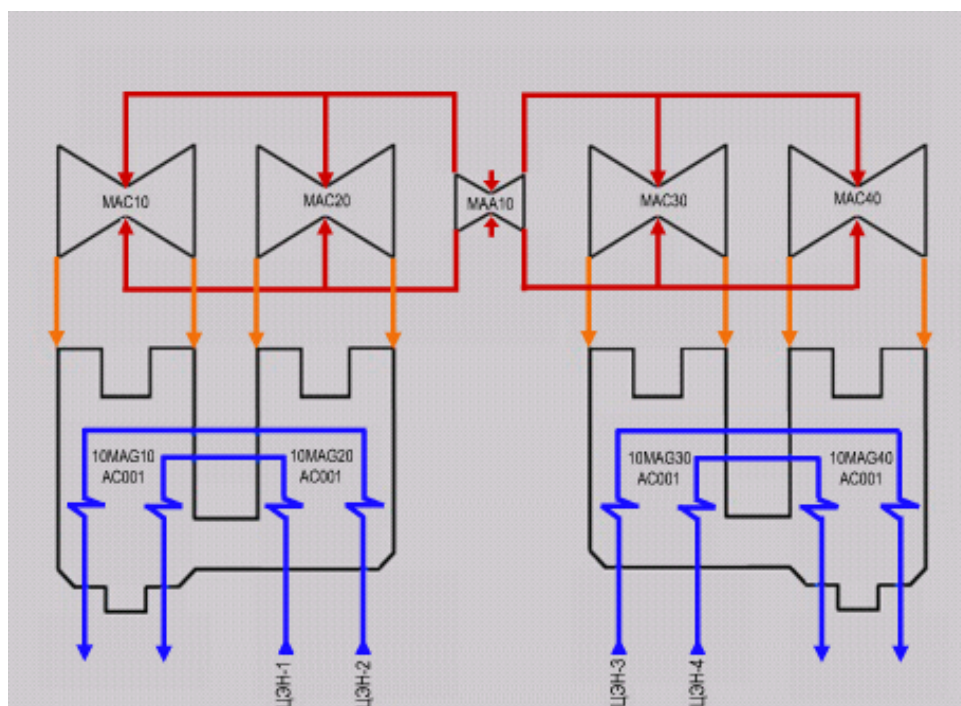


Рис. 9

Охлаждающая вода подводится к каждой из двух конденсаторных групп двумя трубопроводами.

Отвод охлаждающей воды осуществляется также двумя трубопроводами.

Площадь поверхности теплопередачи 101000 м^2

Количество труб	80000
Наружный/внутренний диаметр	28/26,8 мм
Длина труб	14,5 м
Материал труб	титан
Номинальный расход циркулирующей воды	143680 т/ч
Масса без воды	
- корпус 1,4 520650*2	
- корпус 2,3 509100*2	
Масса конденсата в конденсаторе	130 т
Масса циркулирующей воды в конденсаторе	1280 т

Гидравлическое сопротивление при номинальном расходе циркулирующей воды 56 кПа.

Поступающий в конденсатор из турбины пар всегда содержит воздух, который попадает в турбину через концевые уплотнения ЦНД, неплотности фланцевых соединений различных элементов ПТУ, где давление меньше барометрического, и т. д. Часть воздуха попадает в конденсатор через неплотности соединения выходного патрубка турбины и переходного патрубка конденсатора. Поэтому для первоначального создания вакуума в конденсаторе и поддержания его во время работы необходимо постоянно отводить воздух из конденсатора. Отсос паровоздушной смеси из парового пространства осуществляется вакуумными водокольцевыми насосами со сбросом в окружающую среду. Количество одновременно работающих устройств определяется необходимостью поддержания расчетного вакуума.

Система МАУ. Принцип работы водокольцевого насоса.

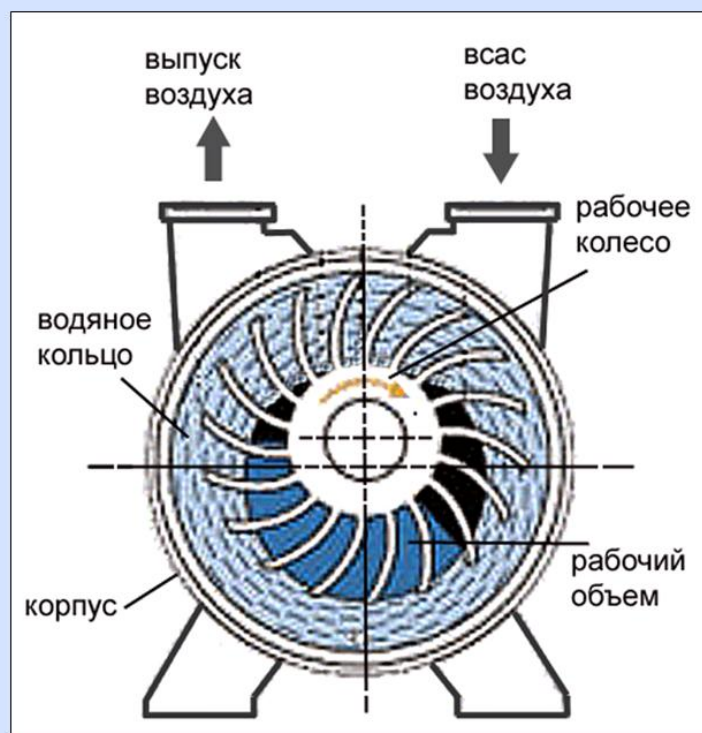


Рис. 10

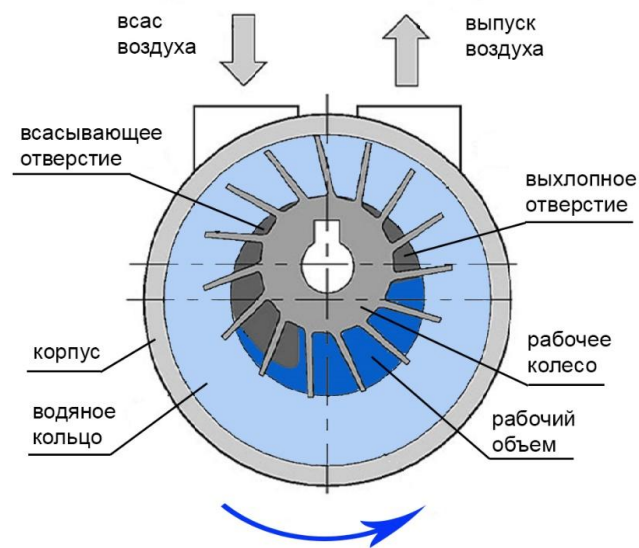


Рис.11

Система МАЈ. Водокольцевой насос.

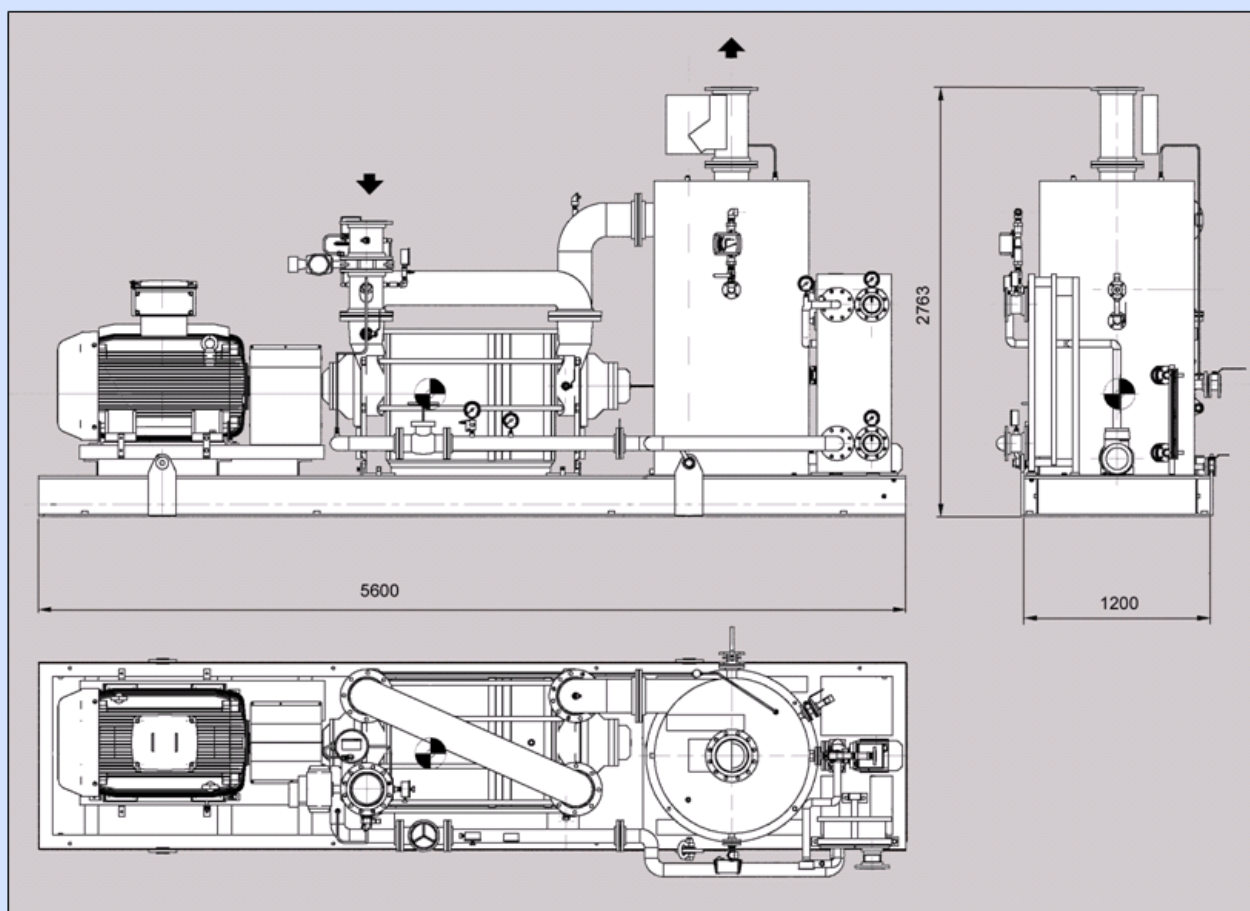


Рис. 12

Система МАУ. Водокольцевой насос.

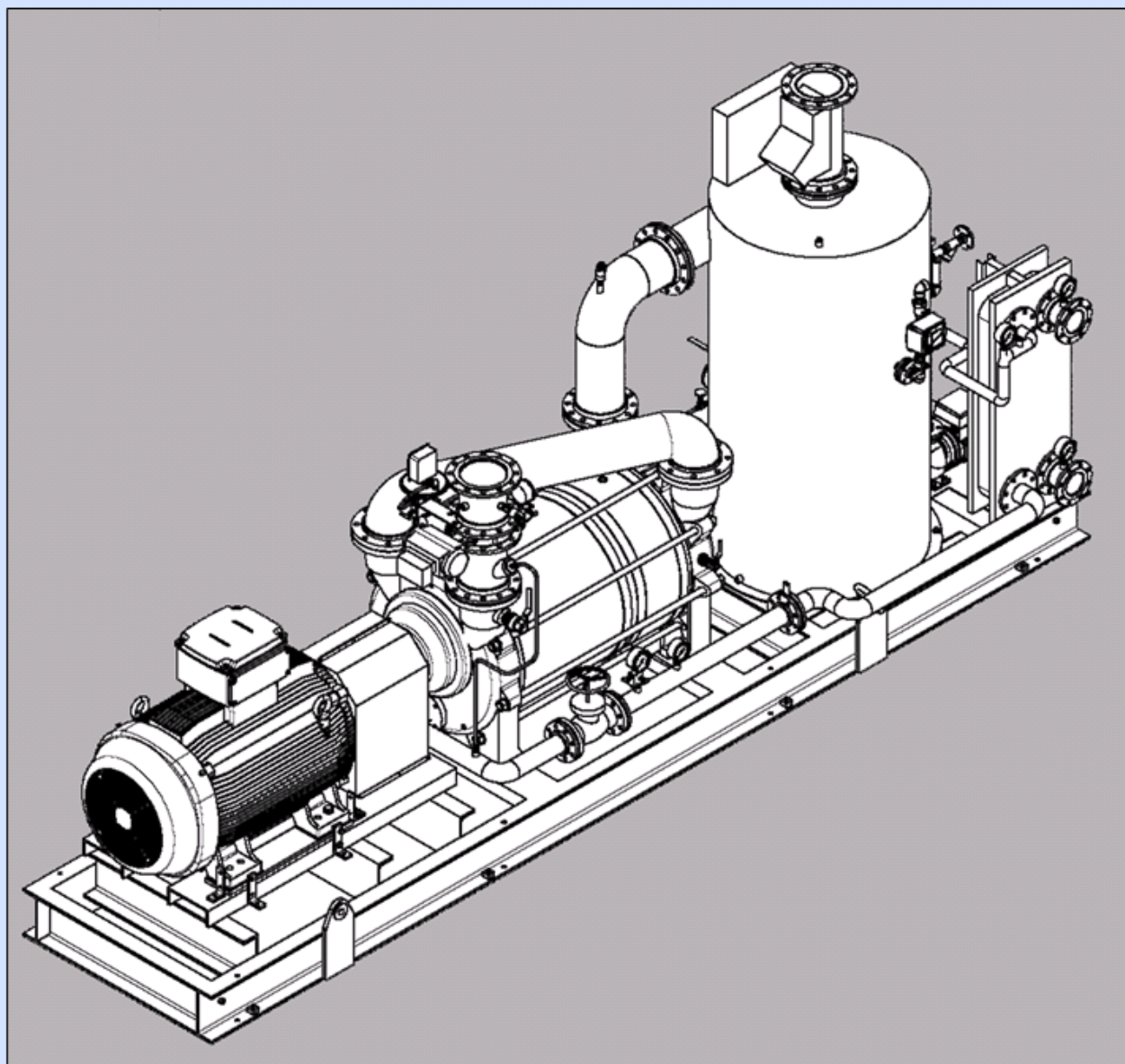


Рис. 13

ДАННЫЕ ПРОЦЕССА					
		HEI	5degC	20degC	31degC
ПОТОК:		NG	NG	NG	NG
Сухой воздух	кг/ч	71,43	71,43	71,43	71,43
Пар	кг/ч	149,17	147,95	167,16	181,85
СУММАРНЫЙ ПОТОК	кг/ч	220,60	219,38	238,59	253,28
ВПУСКНОЕ ДАВЛЕНИЕ	mbara	33,86	25,10	56,04	95,71
ВПУСКНАЯ ТЕМПЕРАТУРА	°C	21,93	17,13	30,83	40,83
ВЫПУСКНОЕ ДАВЛЕНИЕ	mbara	1013,25	1013,25	1013,25	1013,25
ОБЪЕМ СИСТЕМЫ	m ³	6400	6400	6400	6400
ВРЕМЯ НАБОРА ВАКУУМА. КОЛ-ВО НАСОСОВ: 1	мин	-	116	123	134
ВРЕМЯ НАБОРА ВАКУУМА. КОЛ-ВО НАСОСОВ: 2	мин	-	58	61	67
ХАРАКТЕРИСТИКИ (ОДНОГО НАСОСА)					
СКОРОСТЬ НАСОСА	gpm	585	585	585	585
ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ (на валу) (прим 1)	kW	85,2	85,1	87,8	93,0
УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ	kW	132	132	132	132
ТИП ПРИВОДА		Прямой	Прямой	Прямой	Прямой
ВЫПУСКНАЯ ТЕМПЕРАТУРА	°C	19,9	14,3	29,9	41,4
РАБОЧАЯ ЖИДКОСТЬ		КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ	КОНДЕНСАТ
ТЕМПЕРАТУРА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ	°C	13,5	8,0	23,0	34,0
ПОТОК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ (прим 1)	m ³ /h	24,00	24,00	24,00	24,00
ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЖИДКОСТЬ		СССВ	СССВ	СССВ	СССВ
ТЕМПЕРАТУРА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ	°C	10,50	5,00	20,00	31,00
ПОТОК ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ (прим 1)	m ³ /h	50,0	50,0	50,0	50,0
ПОТОК ПОДПИТОЧНОЙ ЖИДКОСТИ	lit/min	1,0	1,0	1,0	1,0
ОЖИДАЕМЫЙ УРОВЕНЬ ШУМА НА 1М В ОТКРЫТОМ (± 3 дБ/А')	дБ/А'	82	82	82	82

ВКВН. Принцип работы насоса

В цилиндрическом корпусе эксцентрично расположено рабочее колесо с лопатками, которые при вращении колеса отбрасывают воду к стенкам корпуса, образуя вращающееся кольцо жидкости. Между водяным кольцом и ступицей рабочего колеса образуется серповидное пространство (рабочий объем машины), которое лопатками делится на отдельные рабочие ячейки. Вверху внутренняя поверхность водяного кольца касается ступицы колеса и препятствует перетеканию воздуха с нагнетательной стороны на всасывающую.

На протяжении первого полуоборота колеса в направлении стрелки внутренняя поверхность жидкостного кольца постепенно удаляется от ступицы, при этом образуется свободный объем между лопатками колеса, который заполняется воздухом из всасывающего патрубка машины через всасывающее окно в торцевой крышке корпуса машины.

На протяжении второго полуоборота колеса внутренняя поверхность жидкостного кольца приближается к ступице, при этом воздух, находящийся между лопатками, сначала сжимается, а затем вытесняется в нагнетательный патрубок машины.

Таким образом, в водокольцевых насосах перемещение воздуха из всасывающего патрубка в нагнетательный совершается непрерывно и равномерно.

Модель насоса	SHR22500
Частота вращения	595 об/мин
Рабочая жидкость	вода
Температура рабочей жидкости (макс)	41 °С
Расход рабочей жидкости	30 м ³ /ч
Охлаждающая жидкость	вода
Температура охлаждающей жидкости	5÷31 °С
Расход охлаждающей жидкости	54 м ³ /ч
Диапазон температуры окружающего воздуха от	-20 до 40 °С
Откачиваемая среда	паровоздушная смесь
Расход откачиваемой среды	228.6 кг/ч
Расход откачиваемого водяного пара (макс)	157.2 кг/ч
Давление на входе	3,38 кПа абс.
Температура откачиваемой среды	15÷50 °С
Давление на выходе	101 кПа
Всасываемый объем	6400 м ³

В качестве вакуумного насоса используется водокольцевой насос SHR22500 фирмы Эдвардс. Представляет собой двухступенчатый насос с торцевым уплотнением, привод осуществляется от электродвигателя 132 кВт. Все оборудование установлено на общем сварном основании с подключением электрооборудования к распределительной коробке, установленной на раме.

Технологический воздух вместе с парами воды поступает в вакуумный насос через входной трубопровод, оборудованный вакуумметром для визуальной индикации и дисковым клапаном с приводом для автоматической изоляции системы от процесса.

Также на трубопровод установлена форсунка, через которую в насос подается небольшое количество рабочей жидкости для конденсации излишних паров воды, поступающих из конденсатора. Форсунки в сочетании с использованием межступенчатого воздухопровода малого сечения защищают насос от возникновения условий кавитации при недогрузке второй ступени. Это может происходить, когда большая часть паров конденсируется на первой ступени вакуумного насоса при соприкосновении с водяным кольцом и затем сжимается. В результате поток, поступающий на вторую ступень, очень мал, что приводит к работе при высоком уровне вакуума и, как следствие, к кавитации.

Межступенчатый трубопровод берет воздух с выхода первой ступени и подает на промежуточную пластину вакуумного насоса, где необходим неконденсируемый поток для поддержания корректного межступенчатого давления. В данный трубопровод встроена ограничительная насадка для поддержания фиксированного потока и байпасный вакуумный предохранительный клапан.

Технологический воздух выходит из вакуумного насоса вместе с неконденсируемыми парами и порцией рабочей жидкости. Эта смесь поступает в газожидкостный сепаратор, изготовленный из углеродистой стали, в котором под действием сил гравитации и вихревого движения газа происходит разделение газовой и жидкой фазы. Выходной сепаратор находится только под атмосферным давлением. На сепаратор устанавливается магнитный индикатор уровня с ручными изолирующими клапанами и реле низкого уровня жидкости. Данное реле посылает аварийный сигнал, информирующий о падении уровня рабочей жидкости, и возможных протечках; защищает вакуумный насос и механические уплотнения циркуляционного насоса от работы «в сухую». Работа механических уплотнений без охладителя и смазки, или работа циркуляционного насоса «в сухую» может привести к мгновенному повреждению и выходу их из строя!

К сепаратору подключена линия перелива, которая позволяет удалять лишнюю рабочую жидкость естественным образом и поддерживать корректный уровень воды в сепараторе.

Рабочая жидкость подается обратно в насос при помощи небольшого центробежного рециркуляционного насоса, оборудованного механическим уплотнением вала однокомпонентного типа.

Далее рабочая жидкость поступает в теплообменники для отвода тепла от сжатия и тепла, образующегося при конденсации паров воды, в охлаждающую воду.

После теплообменников рабочая жидкость поступает обратно в вакуумный насос по трубопроводу, оборудованному индикаторами температуры и индикатором/реле потока для визуального отображения.

Все вышеописанное оборудование устанавливается на общую раму, оборудованную монтажными проушинами и расположенными друг напротив друга по диагонали точками подключения заземления.

Система МАJ. Вентилятор КПУ. Параметры

Производительность	12,000 м ³ /ч
Температура	80°C
Скорость вращения	2955 об/мин
Давление	-0.043 Бар. изб. (всасывание)
Скорость выхлопа	27.78 м/сек
Общий вес	810 кг
Мощность двигателя	30 Вт/380В

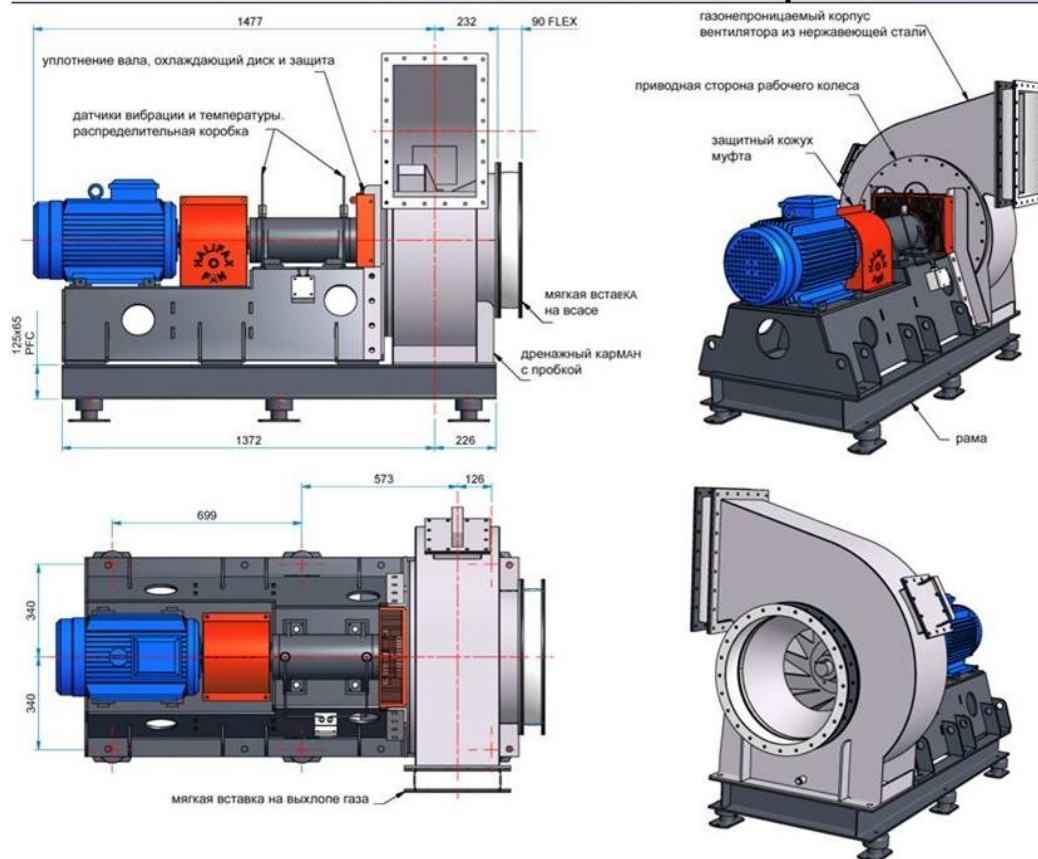


Рис. 14

Система МАЈ. Классификация по НД

По НП-001-97 (ОБ-88/97) система вакуумирования главных конденсаторов является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности, и относится к 3 классу безопасности. Классификационное обозначение 3Н. Все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости НП-031-01.

6. СИСТЕМА ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (LCC)

Система подогревателей низкого давления должна обеспечивать:

- питание паром оборотов турбины регенеративных подогревателей низкого давления и подогрев в них основного конденсата;
- отвод конденсата греющего пара из подогревателей низкого давления;
- поддержание заданного уровня конденсата греющего пара в корпусах подогревателей;
- удаление воздуха из корпусов ПНД;
- защиту турбины от попадания пароводяной среды из ПНД.

Система LCC. Влияние на КПД

Термический КПД – отношение полезной работы к подведенному теплу. Оценивает эффективность идеального цикла, когда используется весь располагаемый перепад энтальпий H_a . В реальности имеют место потери на дросселирование, протечки пара через уплотнения и т.д.

$$\eta_t = \frac{q_0 - q_k}{q_0},$$

где q_0 – количество тепла, подведенное к 1 кг пара в ПГ;

q_k – количество тепла, отведенное от 1 кг пара в конденсаторе.

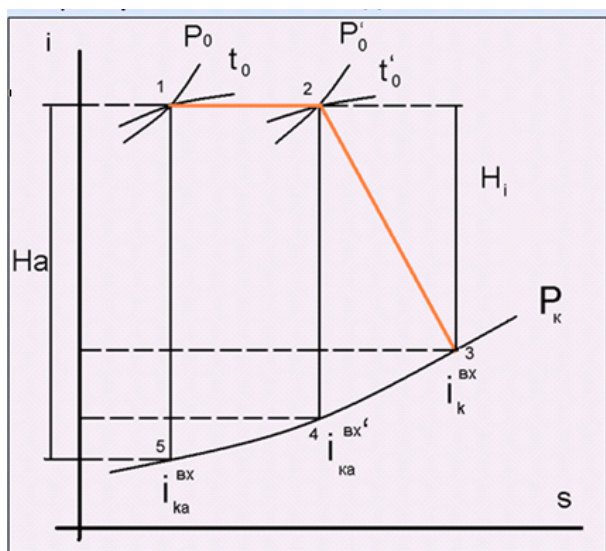


Рис. 15

$$\eta_{0i} = \frac{H_i}{H_a}$$

H_a – располагаемый перепад энтальпий

H_i – использованный перепад энтальпий

Внутренний относительный КПД характеризует совершенство проточной части турбины

Внутренний абсолютный КПД турбоустановки

$$\eta_{ip} = \eta_t \eta_{oi}$$

Для схемы с регенеративным подогревом внутренний абсолютный КПД определяется выражением:

$$\eta_{ip} = \frac{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex}) + \sum_1^z \alpha_{ip}(i_0 - i_{ip})}{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex}) + \sum_1^z \alpha_{ip}(i_0 - i_{ip})}$$

где α_k - доля общего расхода пара на турбину, поступающая в конденсатор;

α_{ip} - доля общего расхода пара на турбину отбираемая в i -й отбор;

i_0 - энтальпия свежего пара;

i_{ip} - энтальпия пара i -го отбора.

Это уравнение можно представить в виде:

$$\eta_{ip} = \frac{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex})1 + \frac{\sum_1^z \alpha_{ip}(i_0 - i_{ip})}{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex})}}{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex})1 + \frac{\sum_1^z \alpha_{ip}(i_0 - i_{ip})}{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex})}}$$

Выражение (1) представляет собой отношение работы всех потоков пара, отводимых в приборы, к работе конденсационного потока, а отношение (2) – это КПД простейшей конденсаторной установки (без регенерации).

$$\frac{\sum_1^z \alpha_{ip}(i_0 - i_{ip})}{\alpha_k(i_0 - i_k^{ex})} = A_p \quad (1)$$

$$\frac{i_0 - i_k^{ex}}{i_0 - i_k^{ex}} = \eta_{ik} \quad (2)$$

$$\eta_{ip} = \eta_{ik} \frac{1 + A_p}{1 + A_p \eta_{ik}} \quad (3)$$

$$\frac{1 + A_p}{1 + A_p \eta_{ik}} > 1 \quad (4)$$

Таким образом, наше уравнение принимает вид (3).

Очевидно, что во всех случаях (4), соответственно, КПД цикла с регенеративным подогревом всегда больше, чем КПД цикла без регенерации. Чем больше энергетический коэффициент A_p , т.е. работа потоков, пара поступающих в отборы по сравнению с работой пара, поступающего в конденсатор, тем больше эффект от применения регенеративного подогрева.

Когда оборотов на регенерацию нет ($\alpha_{ip}=0$), $i_p = i_k$. Аналогичный результат имеет место и в том случае, когда на подогрев питательной воды отводится свежий пар (из линии до турбины) так как при этом $i_0 = i_p = 0$.

Итак, регенеративный подогрев увеличивает КПД цикла.

Система ЛСС. ПНД-1

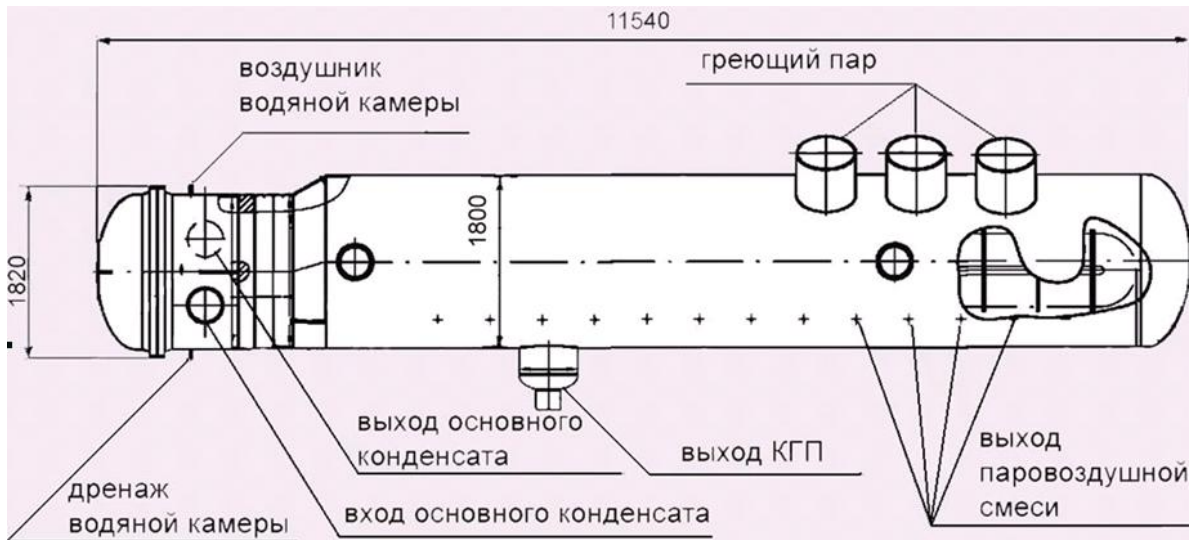


Рис. 16

ПНД-1 горизонтальные, с U-образными трубками из нержавеющей стали, 2-ходовые по основному конденсату. Встроены в паровое пространство конденсатора. КГП самотеком сливается в конденсатор через безарматурный гидрозатвор высотой 4 м. ПНД-1 выполнены неотключаемыми по пару и основному конденсатору.

Система ЛСС. ПНД-2

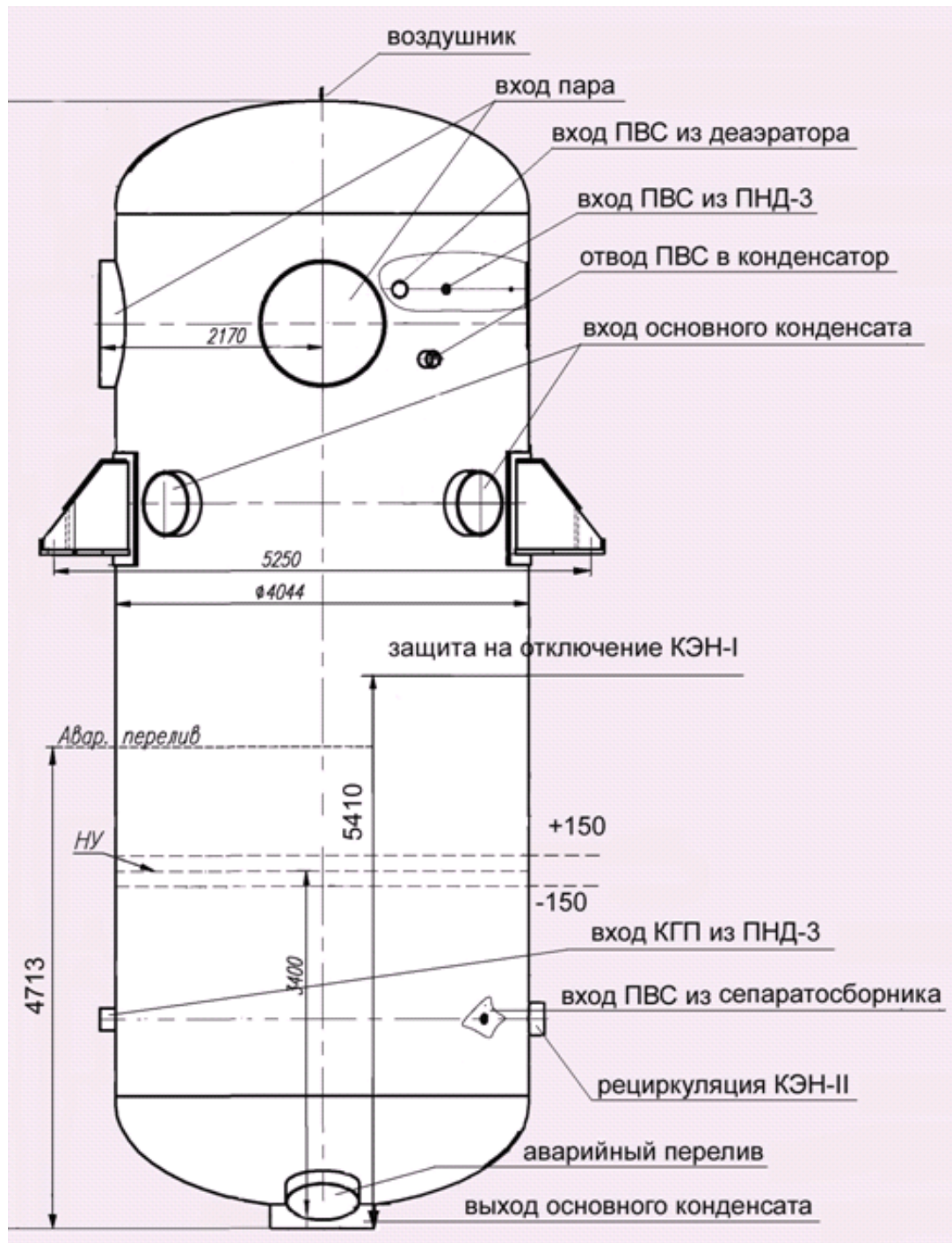


Рис. 17

ПНД-2 вертикальный, однокорпусной, смешивающего типа. Подвод пара через 2 патрубка со встроенными обратными клапанами. Подвод основного конденсата выполнен двумя линиями.

В ПНД-2 предусмотрено разделение перегородкой зоны нагрева основного конденсата и объема, заполненного конденсатом (конденсатосборника).

ПНД-2 выполнен неотключаемым по пару и основному конденсату.

ПНД-2 установлен в здании УМА на отметке 7,8 м.

Система ЛСС. ПНД-2

В ПНД-2 предусмотрен аварийный перелив в конденсатор через безарматурный гидрозатвор (труба в трубе) высотой 10 м.

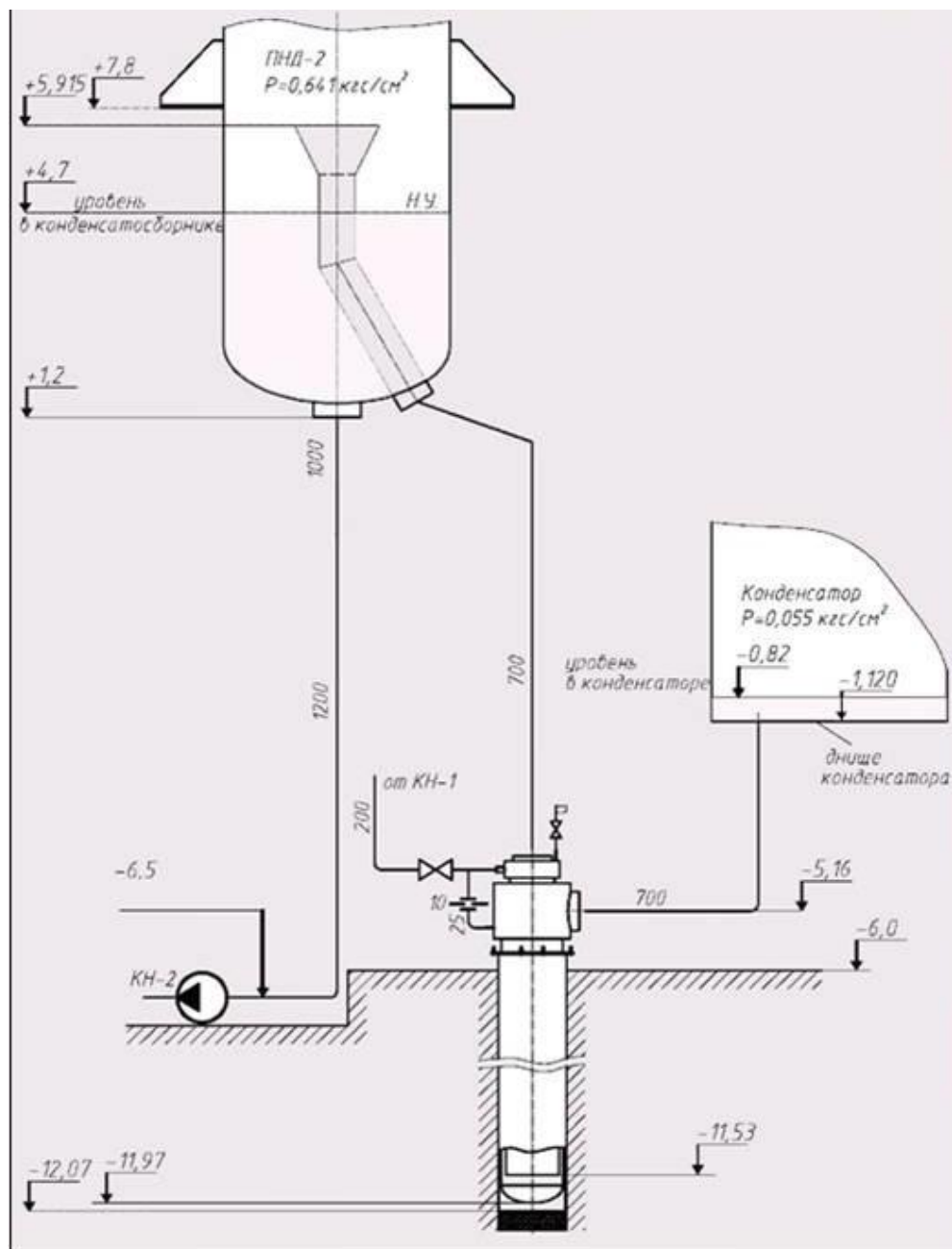


Рис. 18

Система ЛСС. ПНД-3

ПНД-3 вертикальный, поверхностного типа, однокорпусный с нижним расположением водяной камеры, двухходовой по основному конденсату. Поверхность теплообмена выполнена из «П»-образных трубок из нержавеющей стали.

ПНД-3 размещен в здании УМА на отметке 0.

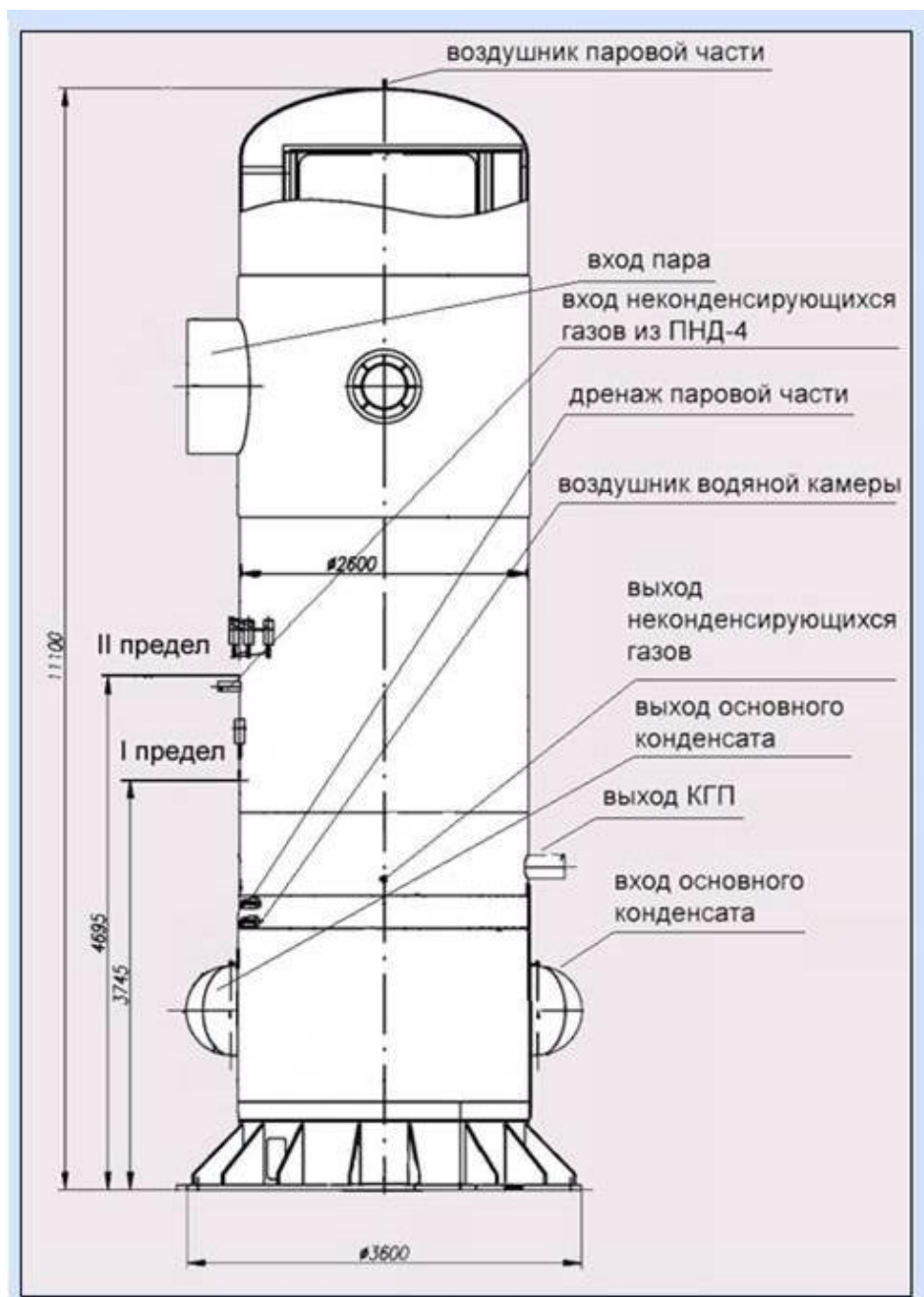


Рис. 19

Система ЛСС. ПНД-4

ПНД-4 вертикальный, поверхностного типа, однокорпусный с нижним расположением водяной камеры, двухходовой по основному конденсату. Поверхность теплообмена выполнена из «П»-образных трубок из нержавеющей стали.

ПНД-4 размещен в здании УМА на отметке 0.



Рис. 20

Система LCC. Таблица параметров

Наименование величины	ПНД-1	ПНД-2	ПНД-3	ПНД-4
Расход основного конденсата, т/ч	872,9 *4	3491,7	3793,1	3793,1
Энтальпия основного конденсата на входе в аппарат, ккал/кг	35,63	61,92	87,05	107,5
Температура основного конденсата на входе в аппарат, °С	35,6	61,9	87,0	107,0
Давление конденсата на входе, кгс/см ²	2,0	1,0	19,0	18,0
Давление греющего пара на входе в аппарат, кгс/см ² (абс.)	0,254	0,638	1,46	5,52
Поверхность теплообмена, м ²			25500	25500
Масса, т	16,5	36	61	61

Система LCC. Нарушения нормальной эксплуатации

Повышение уровня в ПНД-3 или ПНД-4

При росте уровня в ПНД-3(4) до аварийного значения закрывается арматура на подаче пара в аварийный ПНД, открывается байпас по основному конденсату, после его открытия закрывается вход-выход по основному конденсату.

Отклонение уровня в ПНД-2

При понижении уровня в ПНД-2 ниже min значения отключаются КЭН-II.

При повышении уровня в ПНД-2 включается резервный КЭН-II.

При дальнейшем повышении уровня в ПНД-2 до аварийного предела происходит, перезолив конденсата ПНД-2 через гидрозатвор в конденсатор.

При повышении уровня до аварийного предела отключаются КЭН-I.

Отключение турбины

Для предотвращения заброса пароводяной смеси из ПНД-3,4 в турбину обратным потоком при отключении турбины (закрытии стопорных клапанов) закрываются задвижки на подводе пара к указанным ПНД (дополнительно у ПНД-3 закрывается обратный клапан линии отбора пара).

Работа системы в аварийных режимах

В аварийных (в смысле ОБП-88/97) режимах система не работает.

Система LCC. Классификация по НД

По ОПБ-88/97 (НП-001-97) система основного конденсатора (1 LCC) является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности, и относится к 3 классу безопасности. Классификационное обозначение 3Н.

В соответствии с п.1.1.7 ПНАЭ Г-7-008-89 оборудование и трубопроводы системы от тракта основного конденсата, относятся к группе С.

Все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости НП-031-01.

Система LCC. Электропитание. Размещение.

Электроприводные компоненты системы 1 LCC подключены к системе электроснабжения нормальной эксплуатации во всех проектных режимах.

Все оборудование и трубопроводы системы 1 LCC размещаются в здании турбины (UMA).

Система деаэрирования питательной воды 1 LAA

Система LAA. Назначение системы

Система деаэрирования питательной воды предназначена:

- Для удаления коррозионно-агрессивных газов из питательной воды;
- Для подогрева питательной воды в номинальном, пусковых и переходных режимах работы энергоблока;
- Для создания запаса питательной воды, обеспечивающего питание парогенераторов в переходных режимах;
- Для обеспечения необходимого давления на всасе питательных насосов.

Система LAA. Требования к системе

- Деаэратор должен обеспечивать деаэрацию воды во всех режимах нормальной эксплуатации блока. Деаэратор должен обладать гидродинамической устойчивостью в пусковых, переходных и аварийных режимах работы энергоблока.
- Деаэратор должен обеспечивать деаэрацию воды при нормальном давлении, в режиме работы с частично отключенной регенерацией низкого давления, а также при переключениях в тепловой среде турбоустановки, обусловленной отказом какого-либо оборудования схемы.
- Скорость прогрева и охлаждения деаэратора должна быть равномерной и не превышать 60 °С/ч при изменении абсолютного давления в деаэраторе от атмосферного до номинального.
- Конструкция деаэратора должна обеспечивать удобство внутреннего осмотра, ремонта и совпадение сопрягаемых элементов на монтаже. Не должно быть мест, способствующих накоплению продуктов коррозии и загрязнений.
- Корпус деаэратора должен быть рассчитан на 100%-ный вакуум.

Принцип термической деаэрации

Вода способна растворять находящиеся в соприкосновении с ней газы, источником которых являются добавочная вода, поступающая в цикл, имевшие непосредственное соприкосновение с атмосферным воздухом.

Наличие коррозионно-активных газов, растворенных в воде (прежде всего, кислорода и углекислоты), вызывает коррозию внутренних поверхностей оборудования вплоть до образования сквозных отверстий – свищей. Кроме того, отложение продуктов коррозии на металле ухудшает теплообмен. Эти обстоятельства вызывают необходимость удаления из воды коррозионно-активных газов.

Растворимость газов в воде уменьшается:

- с уменьшением давления ударного газа над поверхностью воды,
- с увеличением температуры воды.

При кипении воды растворимость газов в ней равна нулю.

На этом принципе основана работа термического деаэратора.

С целью ускорения процесса нагревания воды до температуры насыщения и выделения из нее газов весь поток деаэрируемой воды до температуры насыщения и выделения из нее газов весь поток деаэрируемой воды разбивается в деаэраторе на большое количество тонких струек, которые при падении разрываются на капли, омываемые потоком пара.

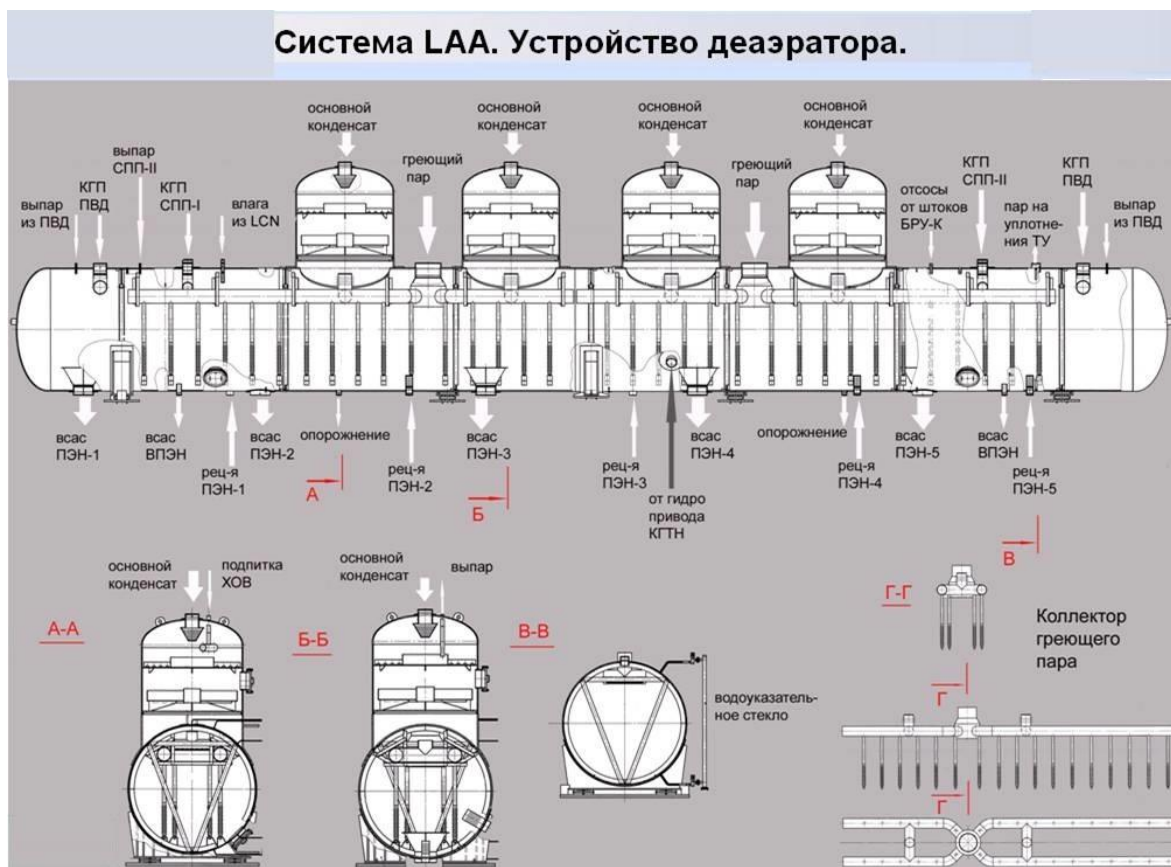


Рис. 21

7. ДЕАЭРАЦИОННАЯ СИСТЕМА (LAA)

Устройство деаэратора

Деаэратор состоит из 4 деаэраторных колонок, расположенных на аккумуляторном баке.

Деаэраторная колонка предназначена для удаления из поступающих в нее различных потоков воды (конденсат, дренажи, добавочная вода и т.п.) растворенных коррозионно-активных газов – кислорода и углекислоты. Поток воды поступающий в деаэраторную колонку, попадает на тарелки (верхнюю и нижнюю) с большим количеством отверстий, дробиться на мелкие струйки, образуя развилистую поверхность теплообмена с встречным потоком пара, и сливается в деаэраторный бак. Выделившиеся из воды газы отводятся из верхней части колонки в трубопровод выпара.

Часть греющего пара для обеспечения надежной деаэрации во всех режимах работы блока направляется в барботажное устройство, расположенное в водяном объеме аккумуляторного бака деаэратора.

Аккумуляторный бак, в который поступает прошедшая через деаэраторные колонки питательная деаэрированная вода, служит в качестве промежуточной емкости между колонкой и питательным насосом. Также в аккумуляторном баке происходит дополнительное выделение из воды некоторой части оставшихся в ней после прохождения колонки газов. Аккумуляторный бак располагается по отношению к питательным насосам на высоте, создающей дополнительный подпор при входе воды в насосы, необходимый для их устойчивой работы.

Система LAA. Технические характеристики.

Давление рабочее абсолютное	0,871 МПа (8,88 кгс/см ²)
Давление полного открытия ПК	1,023 МПа (10,44 кгс/см ²)
Температура расчетная	182 °С
Производительность номинальная (максимальная)	6300 (6462) т/ч
Нагрев воды в деаэраторе	10-50 °С
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде	менее 5 мкг/кг.
Содержание растворенного кислорода в исходной воде	менее 300 мкг/кг.
Геометрическая емкость деаэраторного бака	400 м ³
Полезная емкость деаэраторного бака	250 м ³
Диаметр бака (условный)	3800 мм
Длина	36 м

Система LAA. Нормальная эксплуатация

При питании деаэратора паром из отбора турбины при электрической мощности турбоустановки в диапазоне 100 - 55 % деаэратор работает на скользящем давлении в диапазоне от 0,871 МПа (8,88 кгс/см²) до 0,42 МПа (4,3

кгс/см²). При этом схемой турбоустановки обеспечивается температура питательной воды на входе в парогенератор не ниже 164 °С.

При нагрузках турбины ниже 55 % номинальный деаэратор переводиться на питание свежим паром через БРУ-Д с работой при постоянном абсолютном давлении 0,69 МПа (7,0 кгс/см²).

В режимах нормальной эксплуатации при работе на скользящем давлении эксплуатационный предел абсолютного давления в деаэраторе составляет 0,99 МПа абс. (10,08 кгс/см²).

Система LAA. Нарушения нормальной эксплуатации

В режимах с нарушением нормальных условий эксплуатации (кроме обесточивания) деаэратор продолжает выполнять свои функции. При обесточивании в деаэратор подается обессоленная вода расходом до 200 т/ч и деаэратор выполняет роль бака запаса деаэрированной воды.

Деаэратор должен обеспечивать устойчивую работу в режиме сброса нагрузки турбины от номинальной до уровня собственных электрических нужд блока при тепловой мощности реакторной установки 60% номинальной и подводе греющего пара в деаэратор от БРУ-Д.

В аварийных режимах эксплуатации (в трактовке ОПБ-88/97) функционирование деаэратора не требуется.

Система LAA. Возможные неполадки

Ухудшение деаэрации – повышение содержания кислорода и углекислоты после деаэратора.

Причины:

- недостаточный расход выпара;
- периодический недогрев воды, вызванный периодическим понижением давления в колонке из-за кратковременной подкачки чрезмерно больших количеств холодной воды, при которых регулятор давления не успевает своевременно подавать быстро меняющееся большое количество пара (нехватка греющего пара может быть также при низком давлении пара перед регулирующим клапаном);
- неисправность внутри колонки, при которой происходит стекание воды в колонке большими потоками с малой поверхностью контакта с паром (засорение отверстий в тарелках, вызывающее перелив воды через борта тарелок; обрыв крепления тарелок и т.п.);
- тепловая перегрузка деаэратора – поступление в колонку воды с температурой ниже расчетного значения. При этом подогрев воды до температуры насыщения может не успеть закончиться до выхода из колонки, поэтому условия для выделения газов ухудшаются;
- гидравлическая перегрузка деаэратора - значительное увеличение количества подаваемой в деаэратор воды против расчетного. Ухудшается работа деаэратора из-за перелива через борта тарелок, в силу чего вода, переливающаяся крупными потоками, не успевает в колонке нагреться до

нужной температуры и выделить газы. Причиной может явиться, например, включение дополнительного конденсаторного насоса для быстрой откачки конденсата при высоком его уровне в конденсаторе.

Система LAA. Возможные неполадки

Внезапное понижение давления (чревато вскипанием воды на всасе питательных насосов с последующим срывом).

Причины:

- неисправность регулятора или регулирующего органа (клапана, вентиля) на линии подачи греющего пара;
- снижение давления в источнике питания деаэратора паром;
- понижение температуры основного конденсата перед деаэратором (обычно бывает из-за отключения ПНД);
- появление значительной утечки пара из деаэратора из-за подрыва ПК.
- повышение давления в деаэраторе (опасно с точки зрения прочности сосуда и поэтому недопустимо).
- причины:
- неисправность регулятора или не плотность регулирующего органа на линии подачи греющего пара;
- внезапное прекращение поступления одного из холодных потоков в колонку деаэратора;
- проскок пара из ПВД.

Система LAA. Возможные неполадки

Изменение уровня в аккумуляторном баке деаэратора.

Причины:

- неисправность регулятора или регулирующего органа (клапана, вентиля) на напоре КЭН-II ступени;
- течь трубопроводов питательной воды или основного конденсата.

Гидравлические удары в колонке деаэратора.

Причины:

- тепловая или гидравлическая перегрузка деаэраторной колонки;
- разрушение внутренних устройств колонки или забивание отверстий в тарелках;
- в процессе пуска блока и при неравномерном поступлении конденсата могут наблюдаться гидравлические удары в примыкающих к деаэратору трубопроводах, так как из-за перерыва подачи по ним воды и наличия горизонтальных участков они могут частично заполняться паром из колонки. При последующей подаче воды происходит быстрая конденсация этого пара с сильными ударами в трубе.

Система LAA. Контроль

Основные контролируемые показатели при эксплуатации деаэратора:

- производительность деаэратора;
- температура основного конденсата на входе в деаэратор;
- температура деаэрированной воды на выходе из деаэратора;
- нагрев воды в деаэраторе;
- давление в корпусе деаэратора;
- температура стенок корпуса колонки и бака;
- уровень воды в деаэрированном баке;
- содержание растворенного кислорода в основном конденсате на входе в деаэратор;
- содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэратора.

Система LAA. Классификация по НД

По НП-001-97 (ОПБ-88/97) система деаэрирования питательной воды является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности и относится к 3 классу безопасности. Классификационное обозначение 3Н.

В соответствии с п. 1.1.7 ПНАЭ Г-7-008-89 оборудование и трубопроводы системы относятся к группе С.

Все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости по НП-031-01.

Система основной питательной воды (LAV)

Система питательной воды. Проектные требования.

Система должна обеспечить бесперебойную подачу питательной воды в парогенераторы во всех проектных режимах.

Система должна обеспечить регулирование уровня воды в парогенераторах во всех проектных режимах (включая режимы пуска и остановки).

Система должна обеспечить быстрое (за время не более 50 сек.) прекращение подачи питательной воды в парогенератор в случае его переполнения, а также при разрывах питательных трубопроводов, паропровода ПГ и при течи из первого контура во второй.

Система основной питательной воды. Назначение

Система 1 LAV предназначена:

- для первоначального заполнения ПГ питательной водой;
- подачи воды в ПГ для обеспечения необходимой их паропроизводительности в режимах нормальной эксплуатации и в режимах нарушений нормальной эксплуатации;
- поддержания уровня ПГ;
- исключения подачи питательной воды при переполнении ПГ;

- исключения подачи питательной воды в аварийный ПГ в случаях разрыва паропровода ПГ, питательного трубопровода или течи из первого контура во второй;
- расхолаживании блока в случае выхода из строя насоса вспомогательной питательной воды;
- усреднении температуры питательной воды после групп ПВД в условиях, когда одна группа не работает.

8. СИСТЕМА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (LAW)



Рис. 22



Рис.23

Таблица 2 – Система питательной воды. Эксплуатация – пуск

Условия	Работа оборудования при пуске блока
Разогрев 1 и 2 контуров.	Подача воды в ПГ по байпасу узла питания от вспомогательного питательного насоса системы 1 ЛАН
Разогрев 1 и 2 контуров. Неисправность насоса системы 1 ЛАН	Подача воды в ПГ по байпасу узла питания от питательного насоса системы 1 LAB
Р в ПГ номинальное, расход питательной воды в ПГ более 250 т/ч	Включается один питательный насос через пуско-остановочные регуляторы
Увеличение расхода питательной воды до 15 – 18 % от номинального (1000 - 1200 т/ч)	К пуско-остановочным регуляторам подключаются основные регуляторы узлов питания
Расход питательной воды более 20 % от номинального	Включается второй питательный насос
Расход питательной воды 40 – 50 % от номинального	Включаются в работу два оставшихся питательных насоса (Т на входе в ПГ 227 °С

Таблица 3 – Система питательной воды. Эксплуатация – остановка

Условия	Работа оборудования при остановке блока
Расход питательной воды менее 40 - 50 % от номинального	Отключаются два питательных насоса
Расход питательной воды менее 20 % от номинального	Остается в работе один питательный насос
Расход питательной воды 15 - 18 % от номинального	Питание ПГ переводится через пуско-остановочные РУПГ
При нормальном Р в ПГ, когда требуется питание ПГ расходом менее 250 т/ч	Подача воды в ПГ по байпасу узла питания от вспомогательного питательного насоса системы 1 ЛАН (расхолаживание через БРУ-К (250 т/ч))
При необходимости производить расхолаживание расходом пара до 300 т/ч	В работе остается один питательный насос
После увеличения перепада давлений на регулирующих питательных клапанах до 4,0 - 5,0 МПа	Подвод воды к ним от системы 1 ЛАН с использованием узла регулирования перепада Р 5,0 МПа и перемычки Ду 200.

Система питательной воды. Эксплуатация. Отказы

Отказ одного из питательных насосов. Предусмотрено наличие резервного насоса и взаимозаменяемость насосов.

Отказ РУПГ (механическая неисправность или неисправность в цепях управления). Приводит к отключению ГЦН по повышению уровня (+200 мм от номинального) или понижению (-500 мм от номинального).

При повреждении трубопровода, о чем свидетельствуют показания приборов, оператор изолирует поврежденный участок путем закрытия отключающей арматуры.

Ошибка оператора или неисправность оборудования регистрируются и сигнализируются контрольно-измерительной аппаратурой. При отказе оборудования системы предусмотрена возможность отключения этого элемента и включения резерва.

Система питательной воды. Эксплуатация. Нарушения

- Нарушения в системе регулирования уровня в ПГ.
- Рост уровня в ПВД до 1 верхнего предела.
- Рост уровня в ПВД до 2 верхнего предела.
- Нарушение расхода питательной воды при отключении одного питательного насоса.
- Нарушение нормального расхода питательной воды в отдельный ПГ при закрытии одной отсеченной задвижки.
- Ложное закрытие задвижки за основным питательным клапаном.
- Обесточивание АЭС.

Таблица 4 – Критерии отключения ПГ от питательной воды

Условие срабатывания в различных режимах работы	Установка	Действие защиты или блокировки	Обоснование установки
1. Совпадение следующих 3-х сигналов: • разница между температурами насыщения 1 и 2 контура; • уменьшение давления на выходе из коллектора пара ПГ; • температура теплоносителя 1 контура	$> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ $< 5,04\text{ МПа}$ $> 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Отключается ГЦНА на соответствующей петле. Закрываются задвижки по питательной воде на соответствующей питательной линии ПГ	Аварийные ПГ отсекаются по воде для исключения неконтролируемого расхолаживания 1-го контура. Установка определена расчетами РУ. Введение запрета на действия персонала исключает ошибочные действия оператора
2. Возникновение следующего условия: увеличение γ -фона в паропроводе ПГ	10^{-3} мЗв/ч	Аварийное закрытие электроприводных задвижек на подводе питательной воды в ПГ	Аварийные ПГ отсекаются по воде для исключения неконтролируемого расхолаживания 2-го контура
3. совпадение следующих 2-х сигналов: • увеличение уровня воды в ПГ до уровня N-ном. • запас кипения в любой из горячих ниток петель.	Более 300 мм Более $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Закрывается БЗОК и отсеченная электроприводная задвижка на соответствующей петле	Аварийный парогенератор отсекается по питательной воде для исключения неконтролируемого роста давления в ПГ

Система питательной воды. Насосный агрегат Тип насоса ПЭА 1840-80

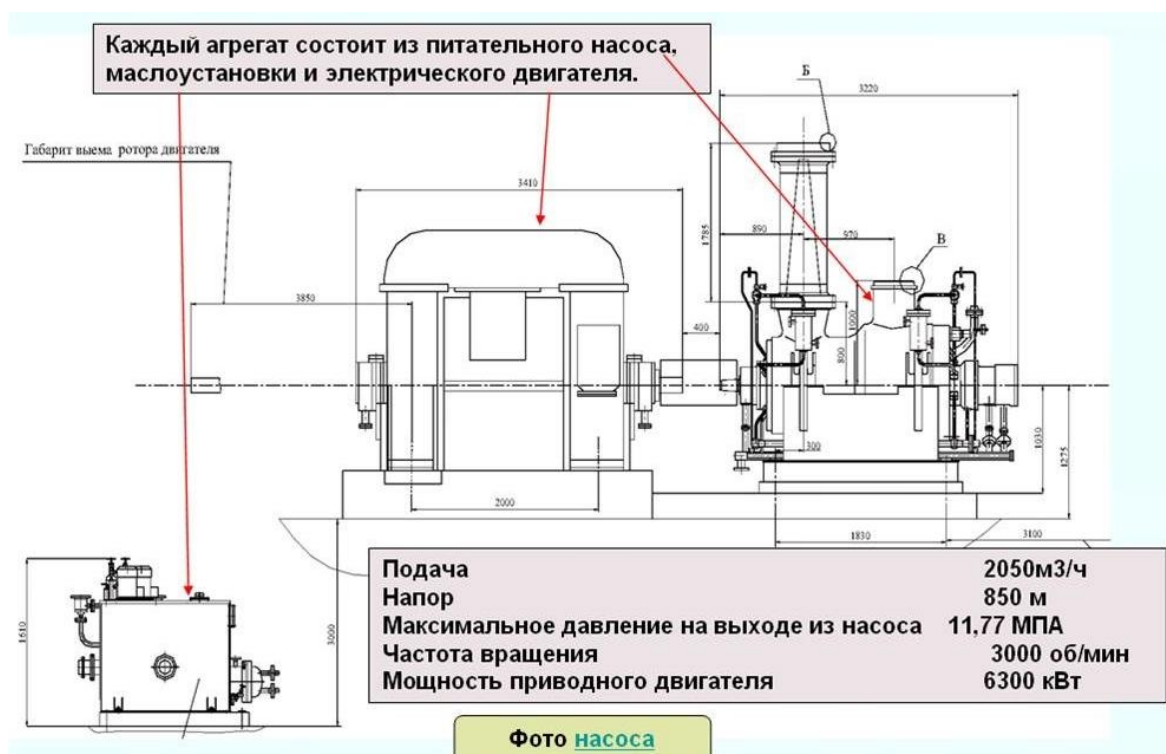


Рис. 24

Каждый агрегат состоит из питательного насоса, маслоустановки и электрического двигателя.

Подача	2050 м³/ч
Напор	850 м
Максимальное давление на выходе из насоса	11,77 МПа
Частота вращения	3000 об/мин
Мощность приводного двигателя	6300 кВт

Система питательной воды. Насосный агрегат.

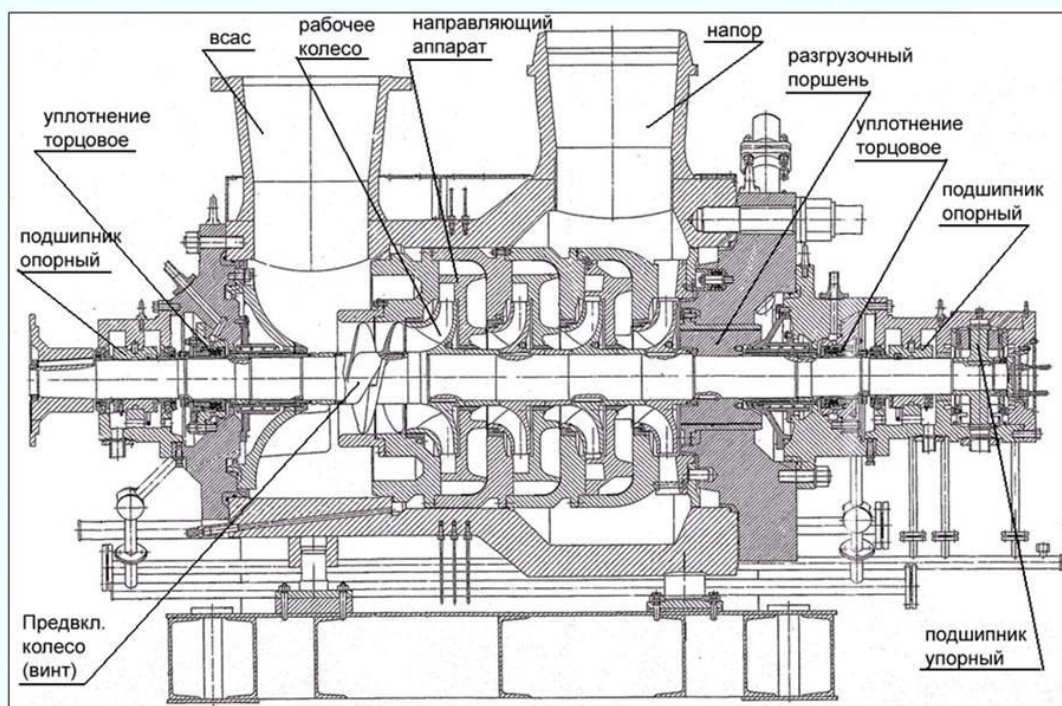


Рис. 25

Таблица 5 – Насосы питательной воды. Защиты и блокировки

Описание защит, блокировок	Обоснование
Защиты на отключение насосного агрегата: 1) понижение давления на всасе основного электронасоса $< 0,45$ МПа; замер: два из трех. 2) повышение P на напоре насосного агрегата $> 11,77$ МПа; замер: два из трех. 3) понижение P масла в системе смазки $< 0,034$ МПа. T подшипников (переднего или заднего) насоса или двигателя превышает 80°C. 5) T обмотки электродвигателя $> 115^\circ\text{C}$.	1) предупреждение кавитации. 2) предупреждение повышения давления в системе LAB (до узла питания) выше допустимого. 3) предупреждение повреждения подшипников насосного агрегата. 4) предупреждение повреждения подшипников насосного агрегата. 5) предупреждение выхода из строя электродвигателя.
Разрешается пуск насоса при соблюдении следующих условий: 1) открыта задвижка на линии рециркуляции; 2) разность T верха и низа корпуса $< 25^\circ\text{C}$; 3) давление масла в конце напорной линии $P_m > 0,069$ МПа; 4) клапан на линии прогрева питательного электронасоса закрыт; 5) отключен электронагреватель двигателя; 6) температура масла в маслобаке $> 20^\circ\text{C}$; 7) задвижка на напорном трубопроводе закрыта.	1) предупреждение попадания насоса после его запуска за пределы его рабочей характеристики; 2) предупреждение задеваний между рабочими колесами и направляющим аппаратом; 3) предупреждение повреждения подшипников; 4) предупреждение роста расхода воды через линию поддержания насоса в «горячем резерве»; 5) для предотвращения перегрева электродвигателя; 6) для запуска маслонасосов; 7) чтобы не допустить перегрузки электродвигателя.

Система питательной воды. Основной РУПГ

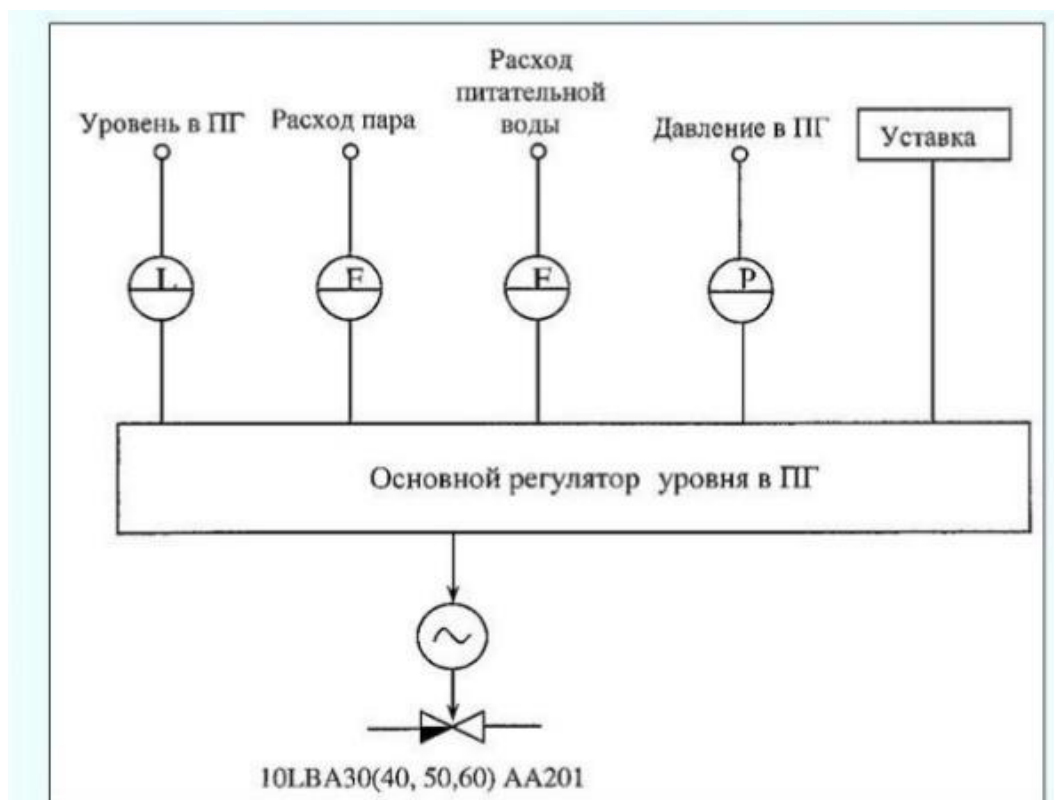


Рис. 26

Входные сигналы:

- Текущий уровень воды в ПГ;
- Заданный уровень воды в ПГ;
- Расход питательной воды;
- Расход пара из ПГ.

Закон регулирования: пропорционально-интегральный за счет реализации обратной связи по массовому балансу расхода питательной воды и расхода пара.

Система питательной воды. Пуско-остановочный РУПГ

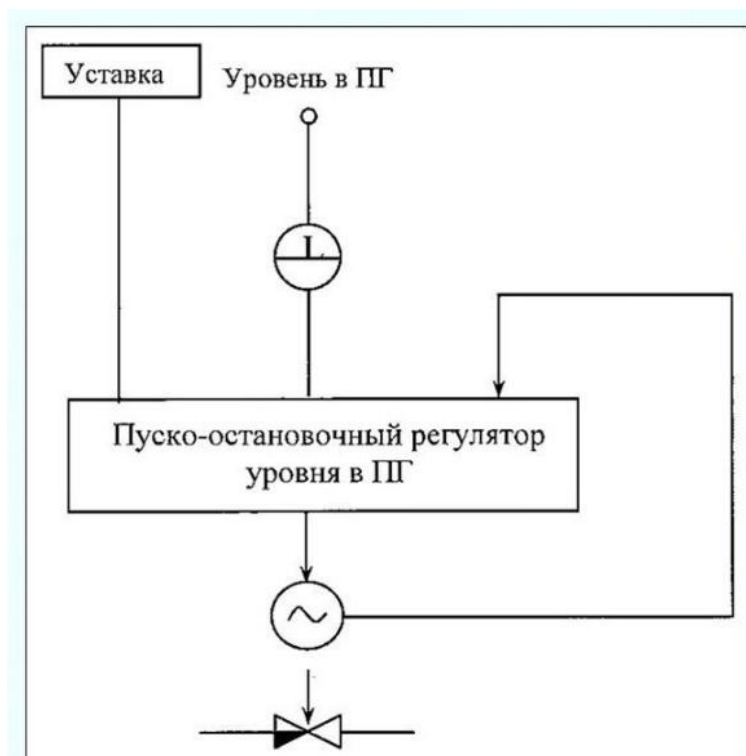


Рис. 27

Входные сигналы:

- Уровень воды в ПГ;
- Заданный уровень воды в ПГ;
- Степень открытия клапана.

Закон регулирования: пропорционально-интегральный за счет введения обратной связи по положению пуско-остановочного клапана через реально-дифференцирующее звено.

Система питательной воды. Уровень в ПГ

Исходя из условий обеспечивающих гарантированную влажность пара на выходе из ПГ (0,2 %), требуется поддержание «видимого уровня» приблизительно на 100 мм выше положения погружного дырчатого листа.

Как показал опыт эксплуатации большого числа блоков ВВЭР-1000, для разных ПГ и разных АЭС это соответствует разному весовому уровню по показаниям уровнемеров. Основной причиной этого несоответствия являются неизбежные отличия расходов ГЦН по разным петлям. Для каждого конкретного ПГ специальными испытаниями в период ПНР уточняется уставка номинального уровня, который далее должен поддерживать его регулятор уровня.

Уставка по превышению уровня в ПГ +110 мм по достижению которой прекращается питание, выбрана из условия резкого ухудшения сепарационных показателей.

Система питательной воды. Требования НД к 1 LAV

Система 1 LAV – система нормальной эксплуатации, важная для безопасности.

Согласно НП-001-97 (ОПБ-88/97) и ПНАЭ Г-7-008-89:

– Часть системы между ПГ и арматурой отсечения «аварийного» ПГ относиться ко 2 классу безопасности и к группе В соответственно.

– Остальные элементы системы трубопроводов соответствуют 3 классу безопасности и относятся к группе С соответственно.

В соответствии с НП-031-01:

– Часть системы трубопровода (в пределах зданий 10UJA и 10UJE) выполняется по I категории сейсмостойкости.

– Все элементы системы трубопроводов, расположенные в здании 10UJA выполняются по II категории сейсмостойкости.

Система питательной воды. Размещение оборудования

Система 1 LAV в основном размещена в здании турбины 10UMA. Питательные электронасосы размещаются под деаэратором на отметке 0,000 м. для обеспечения бескавитационной работы питательных насосов деаэратор установлен на отметке плюс 19,3 м, а уровень воды в нем соответственно на плюс 22,5 м.

В «паровой» камере 10UJA размещены трубопроводы с быстродействующими отсеченными задвижками, которые устанавливаются в непосредственной близости проходкам. В здании реактора 10UJA расположены трубопроводы с обратными клапанами. Из двух обратных клапанов внутри защитной оболочки один установлен недалеко от парогенератора, а второй – около проход.

СИСТЕМА ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (LAN)

Назначение

Система питательной воды 1 LAN предназначена для обеспечения парогенераторов питательной водой:

- в переходных режимах работы блока (пуск, остановка, расхолаживание);
- при потере собственных нужд электропитания АЭС.

Также система обеспечивает рециркуляцию питательной воды расходом 40 - 50 т/ч через деаэрационную колонку при разогреве деаэратора.

Система вспомогательной воды. Требования НД

Система 1 LAN является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности.

Элементы ее относятся к 3 классу безопасности по НП-001-97 (ОПБ-88/97) и группе С по ПНАЭ Г-7-008-89.

В соответствии с НП-031-01 трубопроводы и оборудование системы относятся ко II категории сейсмостойкости.

Система вспомогательной питательной воды. Технологическая схема

УТП Система всп. питательной воды. Технологическая схема.

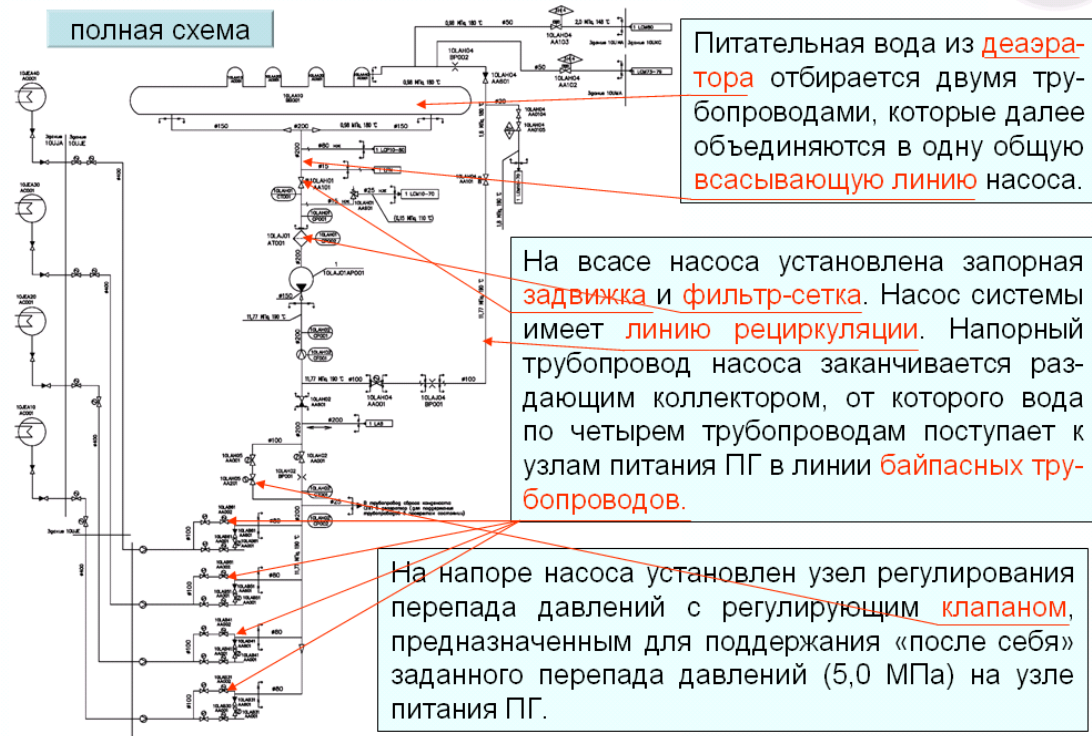


Рис. 28

Система всп. питательной воды. Технологическая схема.

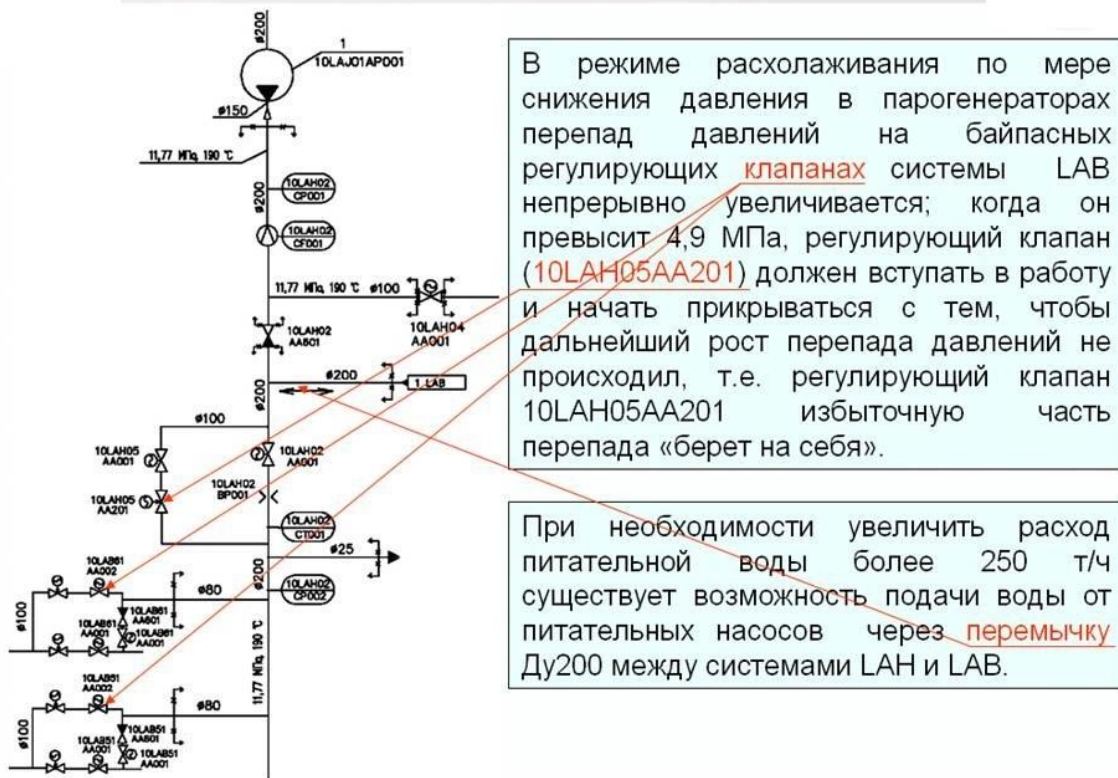


Рис. 29

Система всп. питательной воды. Насос.

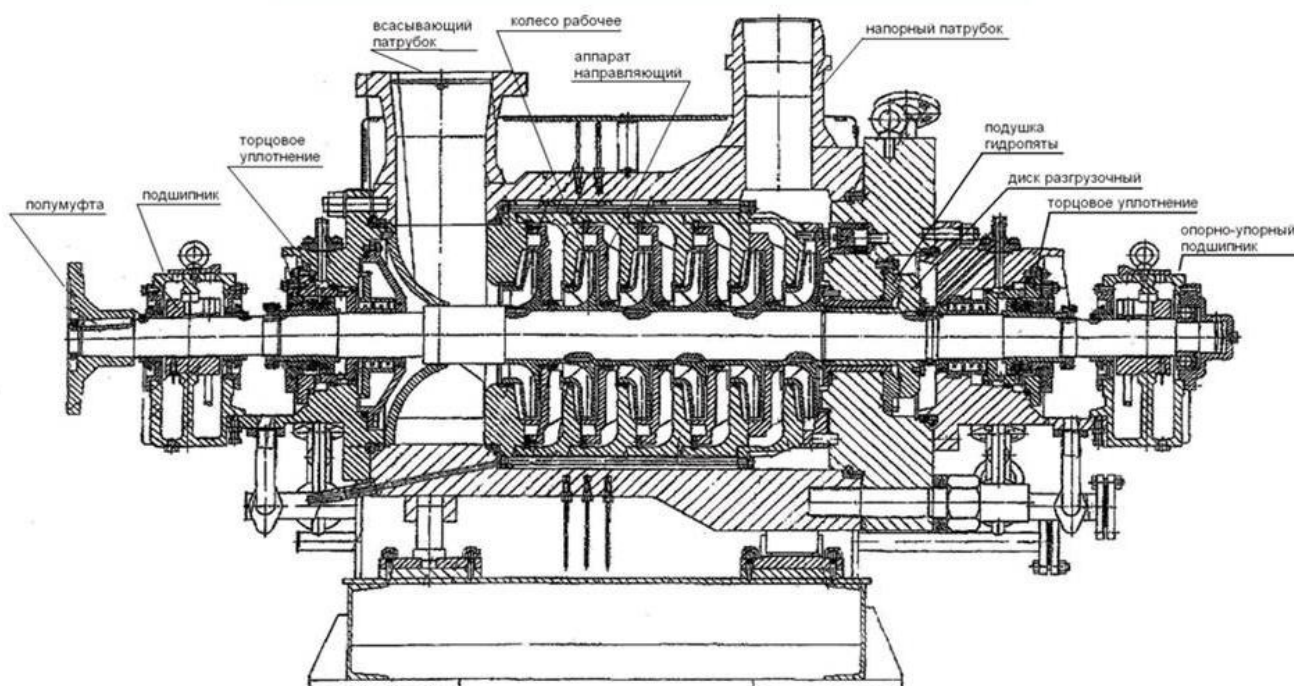


Рис. 30

Таблица 6 – Система всп. питательной воды. Насос

Подача 250 т/ч	Напор 850 м (Р max 11,77 МПа)	Частота вращения 2979 об/мин
Нэд 680 кВт	t° среды < 190 °С	Кав. Запас 9 м. вод. Ст.

Система вспомогательной питательной воды. Насос

Насос центробежный, горизонтальный, шестиступенчатый, секционного типа, двухкорпусной.

Для поддержания насосного агрегата в «горячем» состоянии периодически обеспечивается проток воды из деаэратора через насос в систему дренажей здания 10UMA (1 LCM10-70) исходя из условия поддержания разности температур «верх-низ» по корпусу насоса в диапазоне от 15 °С до 25 °С.

На охлаждение уплотнений насоса вспомогательной воды (на термобарьеры), подшипников насоса и электродвигателя предусмотрена подача воды от напора конденсаторного насоса первого подъема системы 1 LCB, резервная линия – химобессоленная вода от системы 1 LCP.

Таблица 7 – Система всп. питательной воды. Защиты и блокировки

<u>Условия, разрешающие пуск насоса:</u> 1. Разность температур между верхней и нижней частями корпуса насоса $15 < \Delta T > 25$ °C; 2. Закрытое положение задвижек на напоре насоса 10LAN02,05AA001 и открытое положение задвижек на линии рециркуляции 10LAN04AA001, 10LAN04AA101; 3. Закрытое положение клапана 10LAN03AA001 на линии прогрева корпуса насоса.	1)Предупреждение задеваний между рабочими колесами и направляющим аппаратом; 2)Предупреждение попадания насоса после его запуска за пределы его рабочей характеристики; 3)Предупреждение увеличения расхода воды через линию поддержания насоса в «горячем» резерве.
Автоматическое включение насоса: - при снижении уровня на 150 мм ниже номинального в любом ПГ; - при остановке всех питательных электронасосов при температуре I контура более 150 °C;	Обеспечение парогенераторов питательной водой в режиме перевода блока из работающего в состояние «горячего» резерва.
Остановка насоса по защите: - при температуре подшипника электродвигателя более 80 °C; - при температуре «горячего» воздуха (на выходе из воздухоохладителя) более 100 °C.	- предупреждение повреждения подшипников; - предупреждение повреждения изоляции в электродвигателе.
Блокировки линии рециркуляции: - открытие при расходе $< 40 \text{ м}^3/\text{ч}$; - закрытие при расходе $> 90 \text{ м}^3/\text{ч}$.	Предупреждение попадания насоса за пределы его рабочей характеристики.
Блокировка открывающая (закрывающая) запорный вентиль 10LAN03A001: при разности температур между верхней и нижней частями корпуса насоса > 25 °C (< 15 °C).	Предупреждение задеваний между рабочими колесами и направляющим аппаратом

Работа в режиме нормальной эксплуатации

Перед пуском блока система используется для разогрева деаэратора (работа насоса по линии рециркуляции), затем в режиме пуска (на этапе прогрева паропроводов) для поддержания уровня в парогенераторах и для прогрева трубопроводов и оборудования ПВД системы 1 LAB.

Когда расход питательной воды в парогенераторы превысит 250 т/ч, питание парогенераторов производится от системы 1 LAB, система 1 LAN переводиться в состояние резерва.

При работе блока на мощности насос 10LAJ01AP001вспомогательной питательной воды не работает и находится в «горячем» резерве (положение «готов к работе»).

При остановке блока при снижении расхода питательной воды в ПГ ниже 250 т/ч насос вводится в работу для отвода остаточного тепловыделения и планового расхолаживания.

При остановке блока в ремонт «дорасхолаживание» верхней части парогенераторов на конечной стадии расхолаживания (в условиях отсутствия в

парогенераторах избыточного давления) производиться путем заполнения их водой от насосов обессоленной воды. При этом «холодная» вода LCP подводится во всасывающий трубопровод насоса 10LAJ01AP001 и далее через трубопроводы системы 1 LAB подается в парогенераторы. После заполнения вода сливается в дренажный бак парогенераторов.

Функционирование при отказах

Отказом системы является невозможность обеспечить требуемый расход воды в парогенераторы.

Возможные причины:

- отказ насоса;
- отказ на открытие регулирующего клапана или запорной задвижки в узле регулирования перепада давлений по блокировке;
- заклинивание клапана в промежуточном положении;
- разрыв питательного трубопровода.

В системе вспомогательной питательной воды, так же как в системе основной питательной воды, имеются элементы, выход из строя которых может по общей причине вывести из работы обе системы. Таким элементом является всасывающий трубопровод насоса между деаэратором и первой по ходу воды задвижкой. Для исключения этого, указанный трубопровод выбирается на повышенное расчётное давление, а именно на условное давление 3,92 МПа, что дает достаточный запас толщины стенки по сравнению с нормативной.

Работа в режимах нарушения нормальной эксплуатации

При снижении уровня в ПГ до Нном-150 мм автоматически включается насос системы 1 LAN и производится дополнительная подпитка парогенераторов.

При отключении ПВД из-за роста уровня в его паровом пространстве до второго предела автоматически отключаются основные питательные насосы и включается насос. 10LAJ03AP001

При неисправности насоса 1 LAN расхолаживание производиться за счет работы питательных насосов системы 1 LAB. По мере снижения остаточного тепловыделения расход воды в парогенераторы и давление в них снижается. После увеличения перепада давлений на регулирующих клапанах узла питания до 4,0 – 4,5 МПа напорный коллектор основных питательных насосов через перемышку Ду 200 подключается к узлу регулирования перепада давлений системы 1 LAN, и дальнейшая подача питательной воды от питательных насосов производиться через трубопроводы системы 1 LAN.

При остановках блока со срывом вакуума расхолаживание производиться за счет сброса пара через БРУ-А, подпитка ПГ ведется насосом системы 1 LAN. Запас воды в деаэраторе и в баках запаса обессоленной воды достаточен, чтобы отводить остаточное тепло в течение 24 часов, или расхолодить блок до температуры в первом контуре 150 °С, после чего дальнейшее расхолаживание производиться через систему аварийного и планового расхолаживания первого контура и охлаждения бассейна выдержки 1 JNA.

В случае потери электроснабжения собственных нужд АЭС насос системы 1 ЛАН, а также насос обессоленной воды системы 1 LCP 10-80 включаются в работу после включения общестационарного дизель-генератора. Подпитка ПГ производится в условиях работы БРУ-А.

Работа системы в аварийных режимах

В аварийных режимах работа системы не предусматривается, однако система может при необходимости выполнять функции по подпитке водой парогенераторов при расхолаживании блока с помощью систем 1 JNB.

Электропитание оборудования, арматуры системы обеспечиваются от шин электроснабжения нормальной эксплуатации и аварийного электроснабжения от общестационарного дизель-генератора.

Оборудование системы размещается в здании турбины 10 UMA.

9. СИСТЕМА ПВД (LAD)

Проектные требования

Система должна обеспечивать:

- подогрев питательной воды с минимальным недогревом питательной воды до температуры насыщения при давлении пара, равном давлению в камере отбора турбины к соответствующему подогревателю;
- каскадный отвод конденсата греющего пара из ПВД-6 в ПВД-5 и из ПВД-5 в конденсатор или деаэратор;
- поддержание заданного уровня конденсата греющего пара в корпусах подогревателей;
- отвод неконденсируемых газов из корпусов ПВД;
- защиту турбины от попадания пароводяной среды из ПВД.

Система ПВД. Описание технологической схемы.

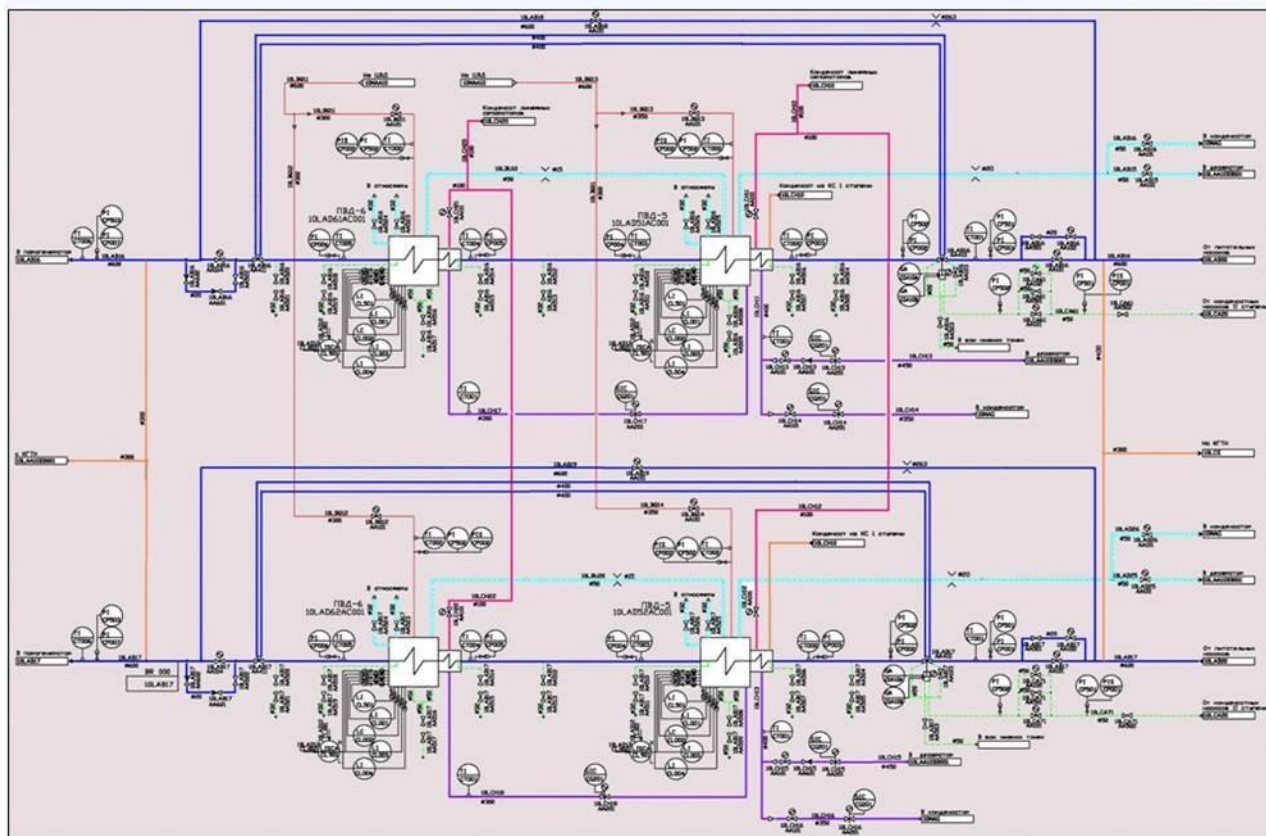
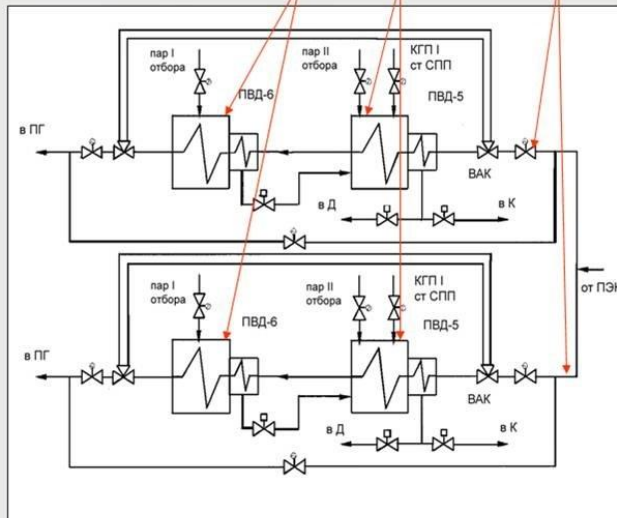


Рис. 31

Система ПВД. Описание технологической схемы.

Регенеративный подогрев питательной воды осуществляется в двух ступенях подогревателей (ПВД-6 и ПВД-5) в две нитки.



Полная схема

➔ Отбор пара в ПВД-6 выполнен из 1-го отбора ЦВД, в ПВД-5 - из 2-го отбора ЦВД.

➔ Конденсат греющего пара нормально сливается из ПВД-6 каскадно в ПВД-5. Из ПВД-5 конденсат сливается в деаэратор (или в конденсатор при малых нагрузках).

➔ В охладитель дренажа каждого ПВД сливается сепарат из линейных сепараторов соответствующих отборов. В охладитель дренажа ПВД-5 сливается КГП 1-й ступени СПП.

Рис. 32

Система ПВД. Внешний вид ПВД. Параметры

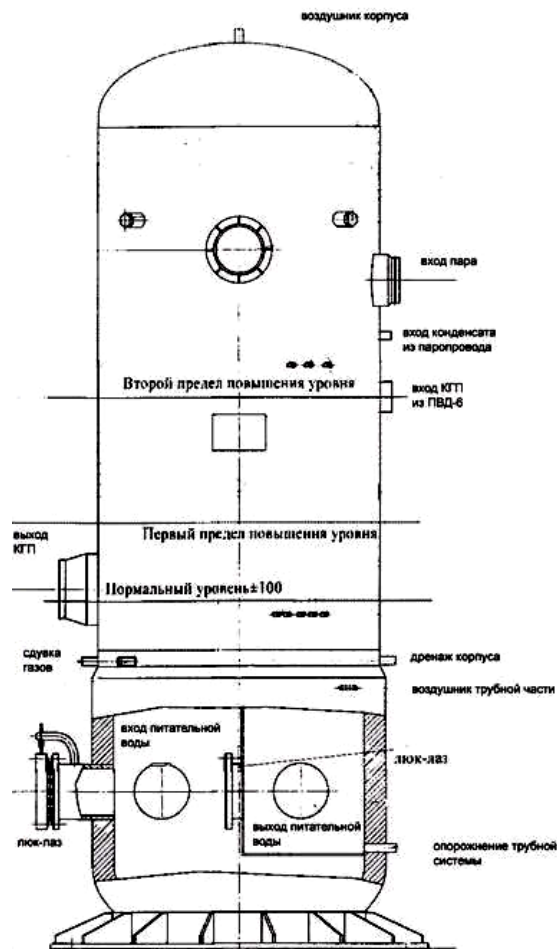


Рис. 33

Таблица 8

Параметры	ПВД-5	ПВД-6
Q питательной воды через аппарат. т/ч	3093,4	3093,4
P питательной воды, кгс/см	99,4	98,5
P _{расч} питательной воды, кгс/см	120	120
T питательной воды на входе, °C	173,1	207,5
P пара на входе, кгс/см ² (абс.)	19,24	26,69
T греющего пара, °C	209,5	226,4
Q греющего пара (справочная величина), т/ч	231,0	139,7
Q КГП из ПВД -6 в ПВД-5, т/ч	139,7	

Система ПВД. Защита от повышения уровня в корпусе

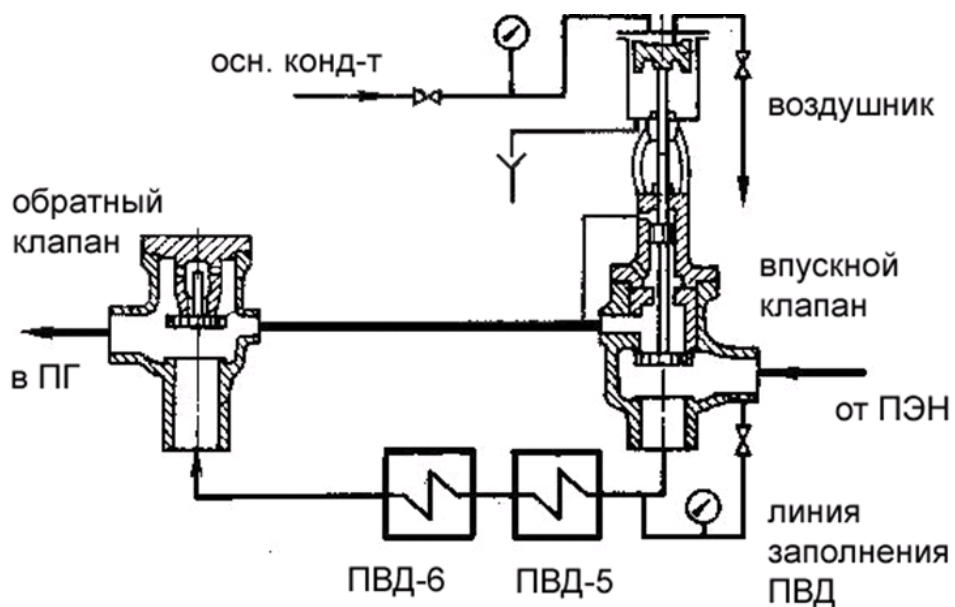


Рис. 34

Таблица 9 – Система ПВД. Перечень защит и блокировок

Оборудование	Описание защит и блокировок
Задвижки на отборах пара к ПВД (на сливах сепарата от линейных сепараторов)	Каждая из задвижек закрывается защитой при повышении уровня в любом из ПВД данной группы до II предела.
	Каждая из задвижек закрывается автоматически при закрытии более чем одного стопорного клапана.
	С БПУ вручную каждая из задвижек может быть закрыта, и может быть открыта, если нет сигнала защиты по II пределу и задвижки на входе и выходе питательной воды данной группы ПВД открыты.
Вентили и защиты ПВД	Каждый из вентилях открывается защитой при повышении уровня в любом из ПВД данной группы до I предела.
	С БПУ вручную вентили каждой группы ПВД всегда могут быть открыты и могут быть закрыты, если нет сигнала защиты по II пределу.
Задвижки на сливе из ПВД-5 в конденсатор	Задвижка открывается автоматически при понижении давления пара к ПВД-5 данной группы ПВД до I предела.
	Задвижка открывается защитой при повышении уровня в каком-либо из ПВД данной группы до II предела
	С БПУ вручную задвижка всегда может быть открыта и может быть закрыта, если этому не препятствует сигнал автоматики на открытие или закрыта задвижка на сливе из ПВД-5 данной группы ПВД выше I предела. Задвижка так же может быть закрыта, если открыты отборы пара к данной группе ПВД и закрыты задвижки на входе и выходе питательной воды к данной группе ПВД.

Система ПВД. Работа системы в различных режимах

Работа системы в режимах нормальной эксплуатации.

Нормально ПВД включены в работу при нагрузках выше 30 % от номинальной. По водяной стороне ПВД-5 и ПВД-6 (каждая нитка) могут быть отключен, и блок может работать с пропуском питательной воды по одной нитке и по байпасу другой, или только по байпасам Дуб000 обеих ниток ПВД. Блок может находиться в работе без ПВД в случае каких-либо нарушений в данной системе.

Работа системы в аварийных режимах

В аварийных (в смысле ОПБ-88/97) режимах система не работает.

Система ПВД. Работа в режимах нормальной эксплуатации

Повышение уровня в ПВД

Предусмтривается действие защиты на отключение нитки ПВД при повышении уровня в любом из ПВД данной нитки. Защита действует при повышении уровня в ПД до II предела – от трех датчиков, формирующих сигнал на отключение по схеме «два из трех».

Отключение нитки ПВД производится с помощью быстродействующего отсеченного клапана. Одновременно производится закрытие задвижек на линиях питательной воды до и после ПВД и открытие задвижки на байпасе.

Одновременно с отключением нитки ПВД по питательной воде производится отключение по пару (закрываются задвижки на отборах пара к ПВД данной нитки).

Повышение уровня в деаэраторе

При повышении уровня в деаэраторе производится переключение сливов из ПВД-5 на конденсатор. Слив на деаэратор отключается (закрывается задвижка на сливе из ПВД-5 в деаэратор).

Понижение нагрузки

При понижении нагрузки производится переключение сливов из ПВД-5 на конденсатор с последующим закрытием задвижек на сливах из ПВД-5 в деаэратор.

Электропитание

Все электроприводы переменного тока, входящие в систему 1 LAD должны иметь электропитание от системы электроснабжения нормальной эксплуатации во всех проектных режимах.

Размещение

Все оборудование системы находится в здании турбинного отделения 10 UMA.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24277 – 97. Установки паротурбинные стационарные для атомных электростанций. Общие технические условия.
2. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей. – М., 1984
3. Ермилов В.Г. Теплообменные аппараты и конденсационные установки. – Л.: Судостроение, 1969.
4. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин А.Г.М.,: Машиностроение, 1982.
5. Костюк А.Г. и др. Паровые и газовые турбины для электростанций. -М.: МЭИ, 2008.
6. Костецкий В.И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970.
7. Марцинковский Г.А. Гидродинамика и прочность насосов. – Машиностроение, 1989.
8. Моргулова Т.Х. Атомные электрические станции.- М.: Высшая школа, 1974.
9. Технические описания и инструкции по эксплуатации систем турбинного цеха АЭС 1200.
10. Филиппов Г.А. и др. Сепарация влаги в турбинах АЭС. – М.: Энергия, 1980.

У ч е б н о е и з д а н и е

СИСТЕМЫ ТУРБИННОГО ЦЕХА АЭС-1200

Учебное пособие

Составители: Глушкова Елена Владимировна, Пантель Валентин Олегович,
Чупрынин Сергей Александрович, Корнеева Надежда Константиновна

В авторской редакции

Изд. № 15/2023. Объем 5 п.л. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,9.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»