

В.П. Поваров, О.Л. Безручко,  
И.Н. Гусев, Д.Е. Усачев



**ПАРОТУРБИННАЯ  
УСТАНОВКА  
К-1200-6,8/50**



РОСАТОМ



РОСАТОМ

В.П. Поваров, О.Л. Безручко,  
И.Н. Гусев, Д.Е. Усачев

# **ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50**

**Воронеж  
2021**

УДК 621.311.25

ББК 31.47

П 42

Поваров В.П.

**П 42 Паротурбинная установка К-1200-6,8/50 / В.П. Поваров, О.Л. Безручко, И.Н. Гусев, Д.Е. Усачев. – Воронеж: Диамат, 2021. – 499 с., ил.**  
**ISBN 978-5-6045506-8-7**

Предлагаемое издание предназначено для подготовки персонала, занимающегося эксплуатацией оборудования второго контура АЭС с паровой турбиной К-1200-6,8/50. Также данная книга может быть полезна студентам профильных ВУЗов и читателям, интересующимся данной проблематикой. В одном источнике собрана и систематизирована информация об устройстве и принципах работы оборудования турбинного отделения энергоблоков проекта АЭС-2006. Книга состоит из трех частей.

В первой части содержатся материалы, касающиеся паровой турбины К-1200-6,8/50 и технологических систем, обеспечивающих ее работу. Особое внимание уделено описанию работы системы регулирования и защиты турбины. Вторая часть посвящена описанию конструкции и принципов работы технологического оборудования второго контура. В третьей части представлены сведения, связанные с системами охлаждения.

**УДК 621.311.25**

**ББК 31.47**

ISBN 978-5-6045506-8-7



© Коллектив авторов, 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>УКАЗАТЕЛЬ СОКРАЩЕННЫХ НАИМЕНОВАНИЙ</b> .....	<b>11</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>13</b>
<b>ЧАСТЬ 1. М. ПАРОВАЯ ТУРБИНА И СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЕЕ РАБОТУ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Паровая турбина МА</b> .....	<b>14</b>
1.1.1 Типы паровых турбин.....	14
1.1.2 Принцип работы лопастной приводной машины.....	17
1.1.3 Конструкция лопатки турбины .....	18
1.1.4 Турбинные решетки .....	21
1.1.5 Треугольники скоростей.....	25
1.1.6 Парораспределение.....	29
1.1.7 Многоцилиндровость .....	33
1.1.8 Цилиндр высокого давления МАА.....	35
1.1.9 Цилиндр низкого давления МАС .....	39
1.1.10 Подшипники МАД .....	43
1.1.11 Параметры тепломеханического состояния .....	52
1.1.12 Уплотнения .....	57
1.1.13 Фундамент .....	60
1.1.14 Вибрация .....	62
1.1.15 Валооборотное устройство МАК .....	67
1.1.16 Паровые опоры МАУ .....	69
1.1.17 Защита от влаги .....	70
1.1.18 Быстроходные и тихоходные турбины.....	73
1.1.19 Основные технические характеристики турбины .....	75
<b>1.2 Конденсатор МАГ</b> .....	<b>77</b>
1.2.1 Назначение.....	77
1.2.2 Принцип работы .....	77
1.2.3 Описание технологической схемы .....	78
1.2.4 Конструкция конденсатора .....	80
1.2.5 Компоновка трубного пучка .....	85
1.2.6 Соединительный патрубок .....	88
1.2.7 Технические характеристики конденсатора.....	89

<b>1.3 Система МАJ вакуумирования конденсатора .....</b>	<b>90</b>
1.3.1 Назначение .....	90
1.3.2 Обоснование необходимости системы.....	90
1.3.3 Водокольцевой вакуумный насос. Принцип работы .....	92
1.3.4 Водокольцевой вакуумный насос. Конструкция .....	94
1.3.5 Технические характеристики ВКВН .....	98
<b>1.4 Система MAN MXN байпаса турбины .....</b>	<b>99</b>
1.4.1 Назначение .....	99
1.4.2 Состав .....	99
1.4.3 Описание технологической схемы.....	99
1.4.4 Маслонасосы .....	101
1.4.5 Маслобак.....	103
1.4.6 Маслоохладители .....	104
1.4.7 Фильтр тонкой очистки .....	105
1.4.8 Насос фильтрации масла.....	106
1.4.9 Блоки управления БРУ-К МХN51, МХN61 .....	107
1.4.10 Устройство клапанов БРУ-К.....	113
1.4.11 Сервомотор клапана БРУ-К .....	115
1.4.12 Режимы работы БРУ-К .....	117
<b>1.5 Система МАХ маслоснабжения регулирования .....</b>	<b>121</b>
1.5.1 Назначение .....	121
1.5.2 Состав .....	122
1.5.3 Принцип работы сервомоторов .....	123
1.5.4 Описание технологической схемы подсистемы МАХ10 ....	124
1.5.5 Конструкция оборудования системы. ....	126
1.5.6 Пружинно-грузовые аккумуляторы .....	126
1.5.7 Описание технологической схемы подсистемы (МАХ50) ..	128
1.5.8 Гидравлическая часть системы защиты турбины .....	130
1.5.9 Электромагнитные выключатели.....	130
1.5.10 Золотники отключения турбины.....	131
1.5.11 Противоразгонная защита.....	132
1.5.12 Механизм управления .....	137
1.5.13 Блоки парораспределения высокого давления .....	139
1.5.14 Блоки парораспределения низкого давления .....	147
1.5.15 Клапан греющего пара II степени СПП.....	152
1.5.16 Сбросной клапан.....	154

<b>1.6 Система MAV смазки подшипников турбины и генератора .....</b>	<b>159</b>
1.6.1 Назначение.....	159
1.6.2 Состав.....	159
1.6.3 Описание технологической схемы .....	159
1.6.4 Главный маслобак.....	161
1.6.5 Маслонасосы.....	162
1.6.6 Очистка масла.....	165
1.6.7 Маслоохладители .....	166
1.6.8 Эксгаустер .....	167
1.6.9 Насос циркуляции масла .....	168
1.6.10 Электронагреватель масла .....	170
1.6.11 Редукционный клапан .....	171
<b>1.7 Система MKF охлаждения генератора .....</b>	<b>173</b>
1.7.1 Назначение.....	173
1.7.2 Состав.....	173
1.7.3 Описание технологической схемы системы охлаждения обмотки статора и нажимных колец генератора MKF01 .....	175
1.7.4 Описание технологической схемы системы охлаждения ротора и сердечника статора генератора MKF50 .....	176
1.7.5 Насосы .....	180
1.7.6 Теплообменники.....	182
1.7.7 Фильтр магнитно-механический .....	184
1.7.8 Ионообменный фильтр.....	186
1.7.9 Механические фильтры .....	188
<b>1.8 Система MVL гидроподъема роторов .....</b>	<b>190</b>
1.8.1 Назначение.....	190
1.8.2 Состав.....	191
1.8.3 Описание технологической схемы системы гидроподъема.....	191
1.8.4 Дозирующие устройства .....	194
1.8.5 Насос гидроподъема роторов.....	195
1.8.6 Предохранительный и пусковой клапаны.....	197
<b>ЧАСТЬ 2. ПАРОВЫЕ И ВОДЯНЫЕ КОНТУРЫ .....</b>	<b>200</b>
<b>2.1 Система LCA LCB основного конденсата .....</b>	<b>200</b>
2.1.1 Назначение.....	200

2.1.2 Состав .....	200
2.1.3 Описание технологической схемы .....	202
2.1.4 Регулирующие клапаны.....	205
2.1.5 Конденсатный насос I ступени .....	207
2.1.6 Электродвигатель КЭН- I.....	212
2.1.7 Обвязка насоса КЭН-I.....	214
2.1.8 Конденсатный насос II ступени .....	214
2.1.9 Электродвигатель КЭН- II.....	216
2.1.10 Фильтры .....	217
<b>2.2 Система LCE впрыска основного конденсата .....</b>	<b>220</b>
2.2.1 Назначение .....	220
2.2.2 Состав и принцип работы подсистемы LCE10 .....	220
2.2.3 Состав и принцип работы подсистемы LCE20 .....	222
<b>2.3 Система LCX подачи конденсата на управление КОС.....</b>	<b>224</b>
2.3.1 Назначение, конструкция и принцип действия КОС .....	224
2.3.2 Назначение системы подачи конденсата на управление КОС .....	226
2.3.3 Описание технологической схемы системы LCX .....	227
2.3.4 Назначение, конструкция и принцип действия КИС.....	228
2.3.5 Конструкция фильтра .....	230
<b>2.4 Система LCC подогревателей низкого давления .....</b>	<b>233</b>
2.4.1 Назначение .....	233
2.4.2 Состав .....	233
2.4.3 Обоснование необходимости системы регенерации ..	233
2.4.4 Описание технологической схемы .....	237
2.4.5 ПНД-1 .....	237
2.4.6 ПНД-2 .....	240
2.4.7 Гидрозатвор ПНД-2.....	243
2.4.8 ПНД-3,4 .....	245
<b>2.5 Система LAA деаэрирования питательной воды .....</b>	<b>250</b>
2.5.1 Виды деаэрации .....	250
2.5.2 Назначение .....	251
2.5.3 Деаэратор .....	252
2.5.4 ИПУ-Д.....	256
<b>2.6 Система LAB LAC основной питательной воды .....</b>	<b>263</b>
2.6.1 Назначение .....	263
2.6.2 Описание технологической схемы .....	263

2.6.3	Основной регулятор уровня в ПГ .....	267
2.6.4	Насосный агрегат ПЭН .....	269
2.6.5	Маслоустановка питательного насоса .....	275
2.7	Система LAN LAJ вспомогательной питательной воды ...	<b>282</b>
2.7.1	Назначение .....	282
2.7.2	Описание технологической схемы .....	282
2.7.3	Пускоостановочный РУПГ .....	284
2.7.4	Насос ВПЭН .....	285
2.7.5	Электродвигатель ВПЭН .....	290
2.8	Система LAD подогревателей высокого давления .....	<b>292</b>
2.8.1	Назначение .....	292
2.8.2	Описание технологической схемы .....	292
2.8.3	Конструкция подогревателей .....	293
2.8.4	Защита от повышения уровня .....	297
2.9	Система LCM дренажей здания турбины .....	<b>302</b>
2.9.1	Назначение .....	302
2.9.2	Состав .....	302
2.9.3	Описание технологической схемы .....	303
2.9.4	Расширитель дренажей .....	308
2.9.5	Охладитель конденсата .....	309
2.9.6	Дренажный бак .....	311
2.9.7	Насосный агрегат дренажного бака .....	311
2.9.8	Бак низких точек .....	312
2.9.9	Водоструйный насос (эжектор) .....	313
2.9.10	Насос бака низких точек .....	314
2.10	Система LCN дренажей паропроводов высокого давления .....	<b>317</b>
2.10.1	Назначение .....	317
2.10.2	Описание технологической схемы .....	317
2.10.3	Влагоотделитель .....	319
2.11	Система LCP обессоленной воды здания турбины .....	<b>323</b>
2.11.1	Назначение .....	323
2.11.2	Описание технологической схемы .....	324
2.11.4	Бак грязного конденсата .....	328
2.11.5	Насос подпитки деаэратора .....	329
2.11.6	Насосы подпитки конденсатора .....	332
2.11.7	Фильтр-сетка .....	334

2.11.8 Фильтры-поглотители .....	334
<b>2.12 Система LBA паропроводов свежего пара .....</b>	<b>337</b>
2.12.1 Назначение .....	337
2.12.2 Описание технологической схемы .....	337
<b>2.13 Система LBG паропроводов собственных нужд .....</b>	<b>341</b>
2.13.1 Назначение .....	341
2.13.2 Описание технологической схемы .....	341
2.13.3 Быстродействующие редуccionные установки .....	343
2.13.4 Редуccionная установка РУ-УПТ.....	347
2.13.5 Конденсатоотводчик .....	349
<b>2.14 Система LBW уплотнения турбины. Система МАМ отвода пара с уплотнений .....</b>	<b>351</b>
2.14.1 Назначение .....	351
2.14.2 Описание технологической схемы .....	351
2.14.3 Конденсатор пара уплотнений .....	354
2.14.4 Вентагрегат КПУ .....	355
<b>2.15 Система LBV сепарации и промежуточного перегрева пара .....</b>	<b>357</b>
2.15.1 Назначение .....	357
2.15.2 Обоснование необходимости системы сепарации и промежуточного перегрева пара .....	357
2.15.3 Описание технологической схемы и конструкции оборудования .....	359
2.15.4 Пленочный сепаратор.....	360
2.15.5 Линейный сепаратор.....	361
2.15.6 Разделитель фаз .....	361
2.15.7 Импульсные предохранительные устройства .....	362
2.15.8 Сепаратор-пароперегреватель.....	367
2.15.9 Сепаратор .....	367
2.15.10 Пароперегреватель .....	370
2.15.11 Разделитель СПП.....	374
2.15.12 Рециркуляторы .....	374
<b>2.16 Система LCS конденсата греющего пара СПП.....</b>	<b>379</b>
2.16.1 Назначение .....	379
2.16.2 Описание технологической схемы и конструкции оборудования .....	379
2.16.3 КГТН .....	382

<b>2.17 Система LCT сепарата СПП</b> .....	<b>390</b>
2.17.1 Назначение .....	390
2.17.2 Описание технологической схемы .....	390
2.17.3 Сепаратосборник .....	391
2.17.4 Регуляторы уровня в сепаратосборнике .....	393
2.17.5 Конденсатный бачок .....	395
2.17.6 Насосы LCT .....	396
<b>ЧАСТЬ 3. УСТАНОВКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ</b> .....	<b>405</b>
<b>3.1 Система РАВ основной охлаждающей воды</b> .....	<b>405</b>
3.1.1 Назначение .....	405
3.1.2 Состав .....	405
3.1.3 Описание технологической схемы .....	405
3.1.4 Комбинированные дисковые затворы .....	408
3.1.5 Клапаны комбинированные впуска и выпуска воздуха из конденсатора турбины .....	414
<b>3.2 Система РАА механических очистных устройств</b> .....	<b>419</b>
3.2.1 Назначение .....	419
3.2.2 Состав .....	419
3.2.3 Конструкция оборудования .....	419
<b>3.3 Циркуляционный насосный агрегат РАС</b> .....	<b>423</b>
3.3.1 Назначение .....	423
3.3.2 Состав .....	423
3.3.3 Насос .....	423
3.3.4 Электродвигатель .....	428
<b>3.4 Системы, обслуживающие циркуляционный насос</b> .....	<b>433</b>
3.4.1 Насос охлаждения электродвигателя .....	433
3.4.2 Фильтры РАС05АТ001,002 .....	434
<b>3.5 Система PAV маслохозяйства электродвигателей циркнасосов</b> .....	<b>437</b>
3.5.1 Назначение .....	437
3.5.2 Состав .....	437
3.5.3 Описание технологической схемы .....	437
<b>3.6 Насосы GMR дренажа и опорожнения здания URS</b> .....	<b>439</b>
3.6.1 Насосы дренажной галереи .....	439
3.6.2 ГНОМ .....	442
<b>3.7 Система PAD оборотной воды градирни. Башенная испарительная градирня URA</b> .....	<b>445</b>

3.7.1 Типы градирен .....	445
3.7.2 Конструкция и принцип работы градирни .....	447
3.7.3 Условия работы градирни .....	452
<b>3.8 Система РАН очистки трубок конденсатора .....</b>	<b>455</b>
3.8.1 Назначение .....	455
3.8.2 Состав .....	455
3.8.3 Загрязнение конденсаторов .....	455
3.8.4 Принцип работы системы .....	457
3.8.5 Фильтр предварительной очистки .....	459
3.8.6 Шарикоулавливающее устройство (сито) .....	460
3.8.7 Устройство ввода шариков (шлюз) .....	463
3.8.8 Насос возврата шариков .....	465
3.8.9 Устройство контроля циркуляции шариков .....	466
3.8.10 Очищающие шарики .....	468
3.8.11 Блок управления .....	469
<b>3.9 Система РС охлаждающей воды неответственных потребителей.....</b>	<b>472</b>
3.9.1 Назначение .....	472
3.9.2 Состав .....	473
3.9.3 Охлаждение потребителей машзала .....	476
3.9.4 Насосы охлаждающей воды РСС01АР001,002.....	477
3.9.5 Фильтры РСВ10АТ001,002.....	480
3.9.6 Насосы охлаждающей воды РСС03АР001,002.....	482
3.9.7 Насосы охлаждающей воды РСС04АР001,002,003,004 .....	487
3.9.8 Насосы РАС07 .....	490
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>493</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>498</b>

## УКАЗАТЕЛЬ СОКРАЩЕННЫХ НАИМЕНОВАНИЙ

АМНС	– аварийный маслonaсос
АОУ	– автономная обессоливающая установка
АРР	– абсолютное расширение ротора
АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
АХК	– автоматизированный химический контроль
АЭС	– атомная электростанция
БГК	– бак грязного конденсата
БДЗУ	– быстродействующее защитное устройство
БЗОВ	– бак запаса обессоленной воды
БЗОК	– быстродействующий запорно-отсечной клапан
БНС	– блочная насосная станция
БОУ	– блочная обессоливающая
БРУ-К	– быстродействующая редуцирующая установка со сбросом пара в конденсатор
БПВД	– блок парораспределения высокого давления
БПУ	– блочный пункт управления
ВКВН	– водокольцевой вакуумный насос
ВПУ	– валоповоротное устройство
ВПЭН	– вспомогательный питательный насос
ВХР	– воднохимический режим
ГИ	– главный инженер
ГК	– главный клапан
ГМБ	– главный маслобак
ГПК	– главный паровой коллектор
ГЧСР	– гидравлическая часть системы регулирования
ЗТ	– зимний трубопровод
ЗОР	– золотник ограничения расхода
ЗОТ	– золотник отключения турбины
ЗПМ	– золотник подачи масла
ЗРБ	– золотник регулятора безопасности
ИК	– импульсный клапан
ИПУ	– импульсное предохранительное устройство
КГП	– конденсат греющего пара
КГТН	– конденсатный насос с гидротурбиной
КИС	– клапан импульсный соленоидный
КОС	– клапан обратный с сервоприводом
КПД	– коэффициент полезного действия
КПТ	– конденсатно-питательный тракт
КПУ	– конденсатор пара уплотнений
КСН	– коллектор собственных нужд

КЭН	– конденсатный насос
ЛС	– линейный сепаратор
МНС	– насос системы смазки
МОТ	– маслоохладитель системы смазки
МОТО	– машинист-обходчик турбинного оборудования
МУ	– механизм управления
НВАЭС	– Нововоронежская атомная электростанция
НГПР	– насос системы гидроподъема роторов
НСС	– насос слива сепарата
НЦМ	– насос циркуляции масла
ОД	– ограничитель давления
ОРР	– относительное расширение ротора
ОСР	– осевой сдвиг ротора
ПГ	– парогенератор
ПНД	– подогреватель низкого давления
ППР	– планово-предупредительный ремонт
ППУ	– пароприемное устройство
ПС	– пленочный сепаратор
ПЭН	– питательный насос
РК	– регулирующий клапан
РРБ	– рычаг регулятора безопасности
РО	– реакторное отделение
РУПГ	– регулятор уровня в ПГ
РУ-УПТ	– редукционное устройство установки подпитки теплосети
РФ	– разделитель фаз
САР	– система автоматического регулирования
СБК	– сбросной клапан
СВО	– спецводоочистка
СК	– стопорный клапан
СПП	– сепаратор-пароперегреватель
ТА	– турбоагрегат
ТУ	– турбоустановка
ТФУ	– теплофикационная установка
ТЦ	– турбинный цех
ТЭН	– трубчатый электронагреватель
ТЭС	– тепловая электростанция
ТЭЦ	– теплоэлектроцентраль
ФТО	– фильтр тонкой очистки
ХВО	– химическая водоочистка
ЦВД	– цилиндр высокого давления
ЦН	– циркуляционный насос
ЦНД	– цилиндр низкого давления
ЭГП-С	– электрогидравлический преобразователь – сумматор
ЭМВ	– электромагнитный выключатель
ЭЧСР	– электронная часть системы регулирования
ЯППУ	– ядерная паропроизводящая установка

## ВВЕДЕНИЕ

---

Неотъемлемым элементом энергоблока атомной электростанции является паротурбинная установка, включающая в себя паровую турбину, технологические системы, обеспечивающие работу турбины, оборудование контура рабочего тела и системы охлаждения. Надежность, долговечность и экономичность паротурбинных установок зависят от соблюдения правил их эксплуатации и приверженности персонала культуре безопасности. Даже небольшие просчеты в эксплуатации могут привести к сокращению ресурса или повреждению оборудования, к незапланированной остановке турбины или всего энергоблока, и даже к аварии.

Знание устройства оборудования, понимание принципов его работы позволяют оперативному персоналу грамотно управлять технологическими системами, своевременно выявлять и устранять неисправности, что способствует безаварийной работе и предотвращению простоев энергоблоков из-за ошибок персонала, и является одной из составляющих культуры безопасности.

# ЧАСТЬ 1. М. ПАРОВАЯ ТУРБИНА И СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЕЕ РАБОТУ

## 1.1 Паровая турбина МА

### 1.1.1 Типы паровых турбин

Турбина (от лат. turbo – вихрь, вращение) – лопастная машина, преобразующая энергию пара в механическую энергию вращения вала.



### Классификация паровых турбин

*Энергетические* турбины используют для привода электрического генератора и отпуска теплоты потребителям. Их устанавливают на ТЭС, ТЭЦ, АЭС. Энергетические турбины характеризуются значительной мощностью, а их режим работы – постоянной частотой вращения.

*Промышленные* турбины также служат для производства теплоты и электроэнергии, однако их главной целью является обслуживание

промышленного предприятия (металлургического, химического, сахароваренного и пр.). Мощность промышленных турбин существенно меньше, чем энергетических.

*Вспомогательные* турбины применяют для обеспечения технологического процесса (например, для привода насосов).

В *конденсационных* турбинах (типа К) пар из последней ступени отводится в конденсатор. Такие турбины, как правило, имеют много нерегулируемых отборов пара для регенеративного подогрева, а иногда и для внешних тепловых потребителей. Главное назначение конденсационных турбин – обеспечивать производство электроэнергии, поэтому они являются основными агрегатами мощных ТЭС и АЭС.

*Теплофикационные* турбины имеют один или несколько регулируемых отборов пара, в которых поддерживается заданное давление. Они предназначены для выработки теплоты и электрической энергии. Теплофикационная турбина может выполняться с конденсацией пара и без нее. В первом случае она может иметь отопительный отбор пара (турбины типа Т) для отопления зданий, предприятий и т. д., или производственный отбор пара (турбины типа П) для технологических нужд промышленных предприятий, или тот и другой отборы (турбины типа ПТ). Во втором случае (без конденсации пара) турбина носит название турбины с противодавлением (турбины типа Р). В ней пар из последней ступени направляется не в конденсатор, а обычно производственному потребителю. Таким образом, главным назначением турбины с противодавлением является производство пара заданного давления (в пределах 0,3-3 МПа). Турбина с противодавлением может также иметь и регулируемый отбор пара, и тогда она относится к типу ТР или ПР.

Теплофикационные турбины с отопительным отбором пара (типа Т) спроектированы так, чтобы при максимальной теплофикационной нагрузке ступени, расположенные за зоной отбора, мощности не вырабатывали. В последние годы ряд турбин проектируются так, что даже при максимальной теплофикационной нагрузке последние ступени вырабатывают мощность. Такие турбины относятся к типу ТК.

Все турбины для ТЭС и ТЭЦ выполняют для работы на свежем *перегретом* паре, турбины для одно-двухконтурных АЭС - на *сухом насыщенном* паре или паре с очень малой степенью влажности.

По числу цилиндров различают турбины *одно-* и *многоцилиндровые*. *Одноцилиндровыми* удается выполнить турбины со значительным противодавлением, теплоперепад которых сравнительно мал,

а также турбины малой мощности (до 15 МВт тепловых). Большинство турбин выполняют *многоцилиндровыми*. Это позволяет получить более высокую мощность в одном агрегате, что удешевляет и турбину, и электростанцию.

По типу ступеней различают турбины *активные* (с малой степенью реактивности) и *реактивные* (со степенью реактивности около 0,5). Если расширение пара происходит только в неподвижных лопатках направляющего аппарата, то турбина активная. Если же пар расширяется еще и в каналах рабочих лопаток, то турбина реактивная.

Паровая турбина К-1200-6,8/50 энергетическая конденсационная быстроходная многоцилиндровая на насыщенном паре предназначена для преобразования внутренней энергии пара, генерируемого в парогенераторах, в кинетическую энергию вращения ротора (в механическую работу) для непосредственного привода электрического генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2УЗ, и отпуска пара на теплофикацию.

К – конденсационная

1200 – номинальная электрическая мощность, МВт

6,8 – номинальное давление пара перед стопорными клапанами, МПа

50 – частота вращения, сек.

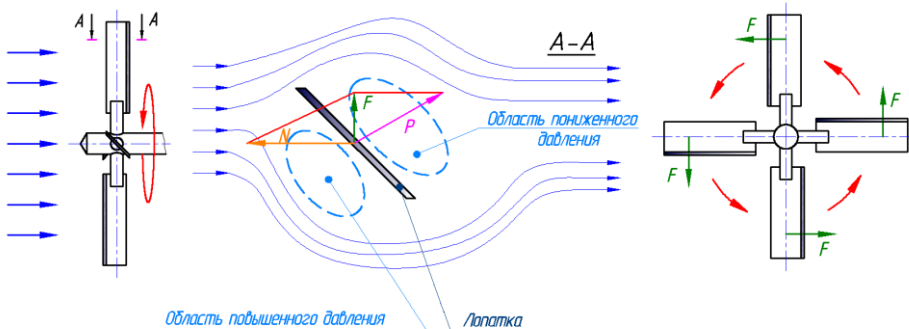


*Паровая турбина К-1200-6,8/50*

### 1.1.2 Принцип работы лопастной приводной машины

Паровые турбины относятся к лопастным приводным машинам. В общих чертах принцип работы такой машины можно описать следующим образом. Лопасты машины жёстко закреплены на роторе, представляющем собой вращающийся вал. Ротор связан с механизмом, который совершает полезную работу при вращении. Рабочим телом является поток газа. Набегающий поток движется по направлению оси вращения ротора. Лопасты машины закреплены таким образом, что их плоскость повернута относительно оси крепления на некоторый угол. Этот угол в аэродинамике называется углом атаки.

Лопасть стоит на пути движения газа. Когда поток сталкивается с ней, он тормозится и изменяет направление движения, обтекая её, как показано на рисунке. При этом около передней поверхности лопасти возникает область с повышенным давлением воздуха, а около задней поверхности возникает область с пониженным давлением. Величина разницы давлений  $dP$  зависит от многих параметров, например скорости движения газа, угла атаки, формы поверхности.



#### *Принцип работы лопастной приводной машины*

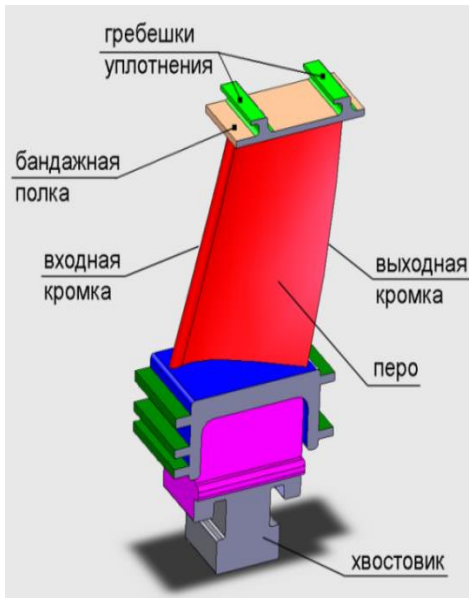
Из-за разности давлений на поверхностях на лопатку начинает действовать сила  $P$ , направленная по нормали к её плоскости. Поскольку лопатка жестко закреплена на роторе и не может совершать осевые перемещения, на неё действует сила реакции опоры  $N$ , направленная по оси ротора в сторону противоположную движению потока. Суммарной силой при сложении этих двух сил является сила  $F$ , направленная перпендикулярно оси ротора. Поскольку эта сила приложена к лопасти, то возникает крутящий момент  $M$ , который заставляет ротор вращаться. Связанный с ротором механизм выполняет полезную работу.

Способ увеличить силу  $P$ , а значит, и полезную работу всей установки, это увеличить перепад давления  $dP$ . Увеличение перепада давления на входе в лопаточный аппарат и на выходе из него требует расположения на валу нескольких лопаток, радиально расположенных в одном круговом ряду. Такой круговой ряд или диск с веерно расположенными в нём лопатками называют ступенью давления. В зависимости от величины перепада давления на валу может находиться несколько ступеней давления.

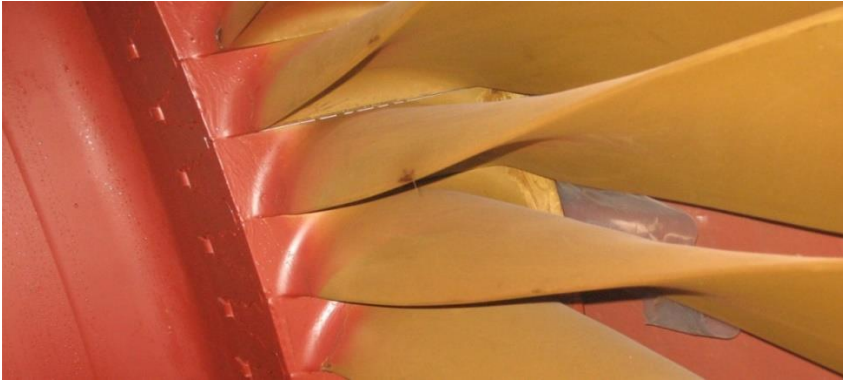
### 1.1.3 Конструкция лопатки турбины

Лопатка состоит из рабочей части (пера) и хвостовика. Рабочая часть имеет профили, установка которых с равным шагом образует рабочие каналы. Для каждой лопатки характерен собственный аэродинамический профиль. Обычно он напоминает крыло летательного аппарата.

Самое существенное отличие лопатки от крыла состоит в том, что лопатки работают в потоке, параметры которого очень сильно изменяются по высоте лопатки. Лопатки в основном изготавливаются из предварительно отштампованных заготовок. Также применяются методы изготовления лопаток точным литьём или точной штамповкой. Современные тенденции повышения мощности турбин требуют увеличения длины лопаток последних ступеней.



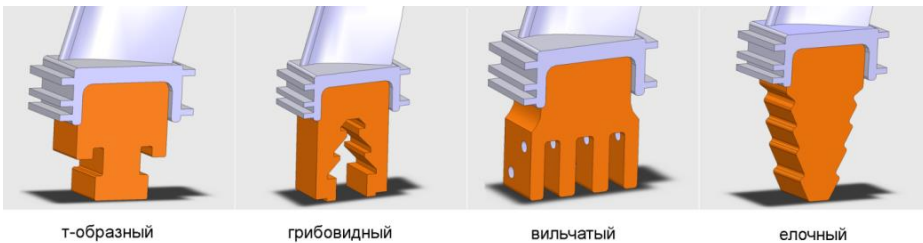
*Устройство лопатки турбины*



*Лопатки ЦНД*

Создание таких лопаток зависит от уровня научных достижений в области аэродинамики потока, статической и динамической прочности и наличия материалов с необходимыми свойствами. Современные титановые сплавы позволяют изготовить лопатки длиной до 1200 мм для быстроходных турбин и до 1800 мм для тихоходных. В этом случае ограничением является прочность ротора, диаметр которого приходится повышать, но тогда необходимо уменьшать длину лопатки для сохранения соотношения из соображений аэродинамики, иначе увеличение длины лопатки неэффективно. Поэтому существует ограничение длины лопатки, больше которой она не может эффективно работать.

Конструкции хвостовых соединений и, соответственно, хвостовиков лопатки весьма разнообразны и применяются исходя из условий обеспечения необходимой прочности с учётом освоения технологий их производства на предприятии, изготавливающем турбины. Виды хвостовиков: Т-образные, грибовидные, вильчатые, ёлочные и др.



т-образный

грибовидный

вильчатый

ёлочный

### *Типы хвостовых соединений*

Ни один вид хвостовых соединений не имеет особого преимущества над другим — у каждого есть свои преимущества и недостатки. Разными заводами изготавливаются разные типы хвостовых соединений, и каждый из них использует свои технологии изготовления.



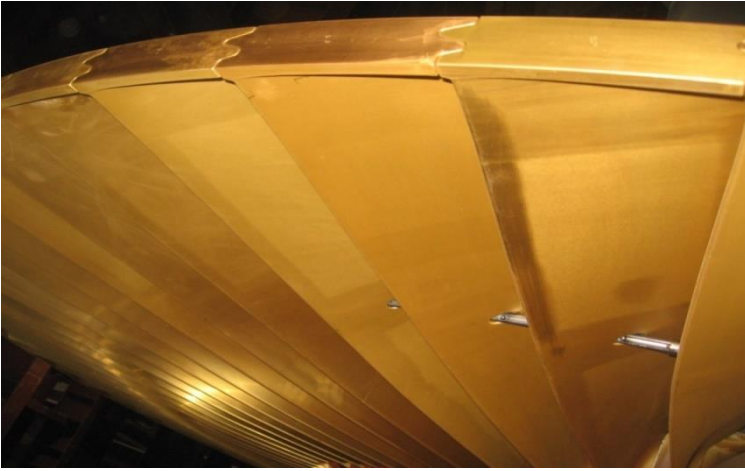
### *Типы хвостовых соединений*

Рабочие лопатки турбин соединяются в пакеты связями различной конструкции:

- бандажами, приклепанными к лопаткам или выполненными в виде полок (цельнофрезерованный бандаж);
- проволоками, припаянными к лопаткам или свободно вставленными в отверстия в профильной части лопаток, и прижимающимися к ним центробежными силами;
- с помощью специальных выступов, свариваемых друг с другом после набора лопаток на диск.

На торце пера выполняют шип. На группу лопаток надевают лопаточный бандаж, в котором выполнены отверстия с шагом и формой, соответствующим шипам на лопатках, установленных на диске. Шипы расклепывают, и в результате лопатки на диске оказываются набранными в пакеты, что увеличивает вибрационную надежность облопачивания и позволяет выполнить периферийное уплотнение ступени.

Бандажи и связи служат главным образом для повышения вибрационной надежности лопаточного аппарата. Периферийный бандаж позволяет одновременно уменьшить утечку пара и поэтому повышает КПД ступени.

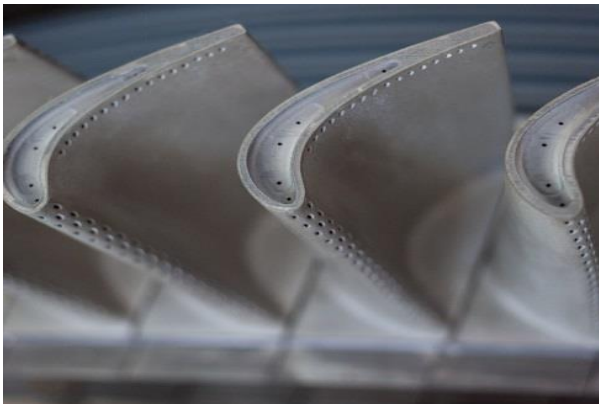


**Бандаж и проволочная связь**

На роторе лопатки расположены ступенчато, с постепенным увеличением длины и изменением формы поверхности. При прохождении через лопатки турбины рабочее тело совершает механическую работу, давление уменьшается, но увеличивается объём. Следовательно, увеличивается площадь поверхностей рабочей лопатки и, соответственно, её длина. Например, длина лопатки первой ступени составляет 97 мм, последней — 1200 мм.

#### 1.1.4 Турбинные решетки

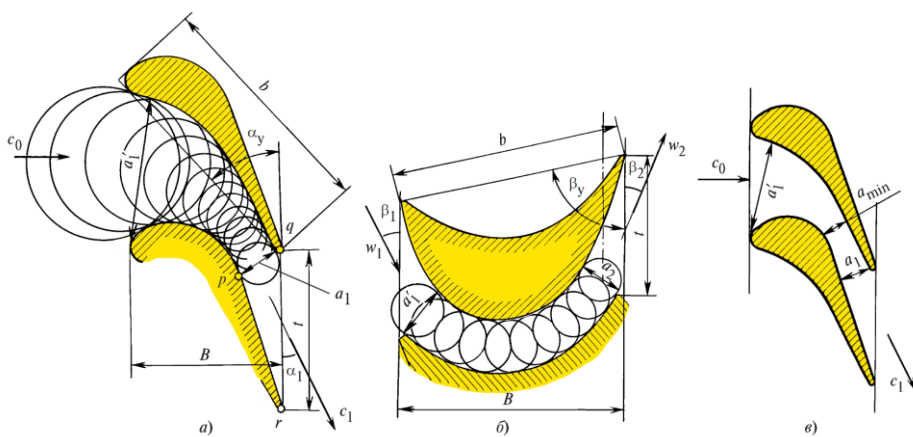
Профили рабочих лопаток, установленные вполне определенным образом, образуют *рабочую решетку*. Это система каналов, образованных одинаковыми профилями специальной формы.



**Межлопаточные каналы**

Соответствующим выбором формы профилей и их расположением в решетке можно создать каналы с требуемым законом изменения площади сечения.

Например, решетка, показанная на рис. а, имеет сильно суживающиеся каналы (от ширины  $a'$  на входе до ширины  $a_1$  на выходе) и используется для ускорения потока до скоростей, меньших скорости звука. Решетка, приведенная на рис. в, для которой  $a'_1 > a_{\text{мин}}$  и  $a_1 > a_{\text{мин}}$ , служит для получения сверхзвуковых скоростей. На рис. б показана решетка почти постоянного сечения ( $a'_1 = a_1$ ), в которой ускорения потока практически не происходит.

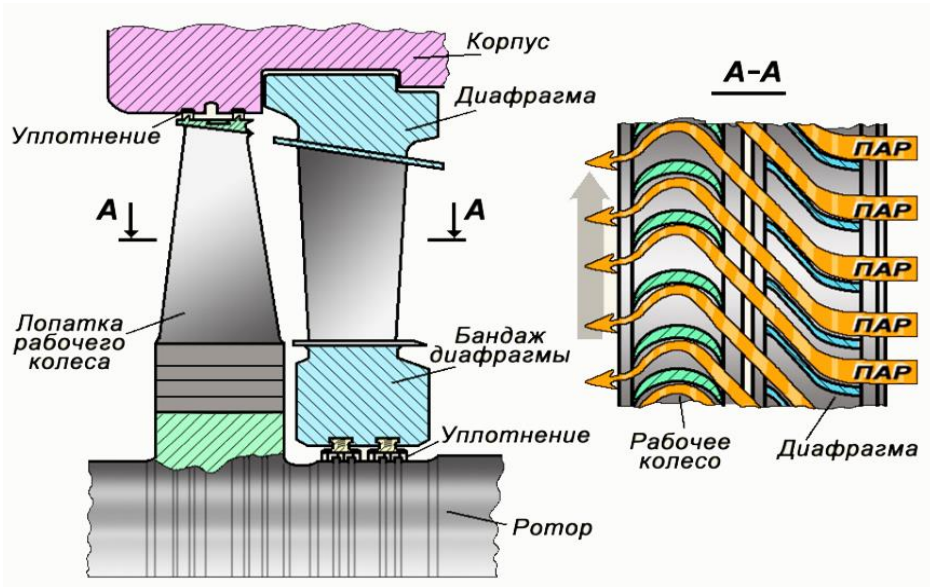


### Разновидности каналов

*Турбинной ступенью* называется совокупность неподвижной (сопловой) и вращающейся (рабочей) решеток. В ступени происходит преобразование части общего теплоперепада турбины в работу.

Назначение сопловой решетки - преобразовать с минимальными потерями внутреннюю энергию потока в кинетическую энергию кольцевых струй пара (напомним, что при протекании пара через неподвижную решетку работа не совершается). Назначение рабочей решетки – преобразовать кинетическую энергию струи пара (и частично внутреннюю энергию для реактивных турбин) в работу.

Сопловая решетка установлена в диафрагме, представляющей собой разъемное по горизонтальному диаметру кольцо.



### Турбинная ступень

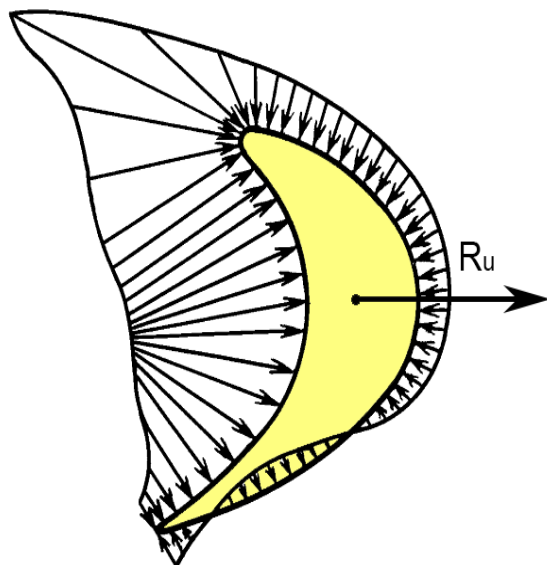


#### Диафрагма (сопловой аппарат, направляющая решетка)

Между вращающимся валом и неподвижной диафрагмой установлено уплотнение, допускающее лишь очень малую протечку пара мимо сопловой решетки. Рабочие лопатки, профили которых образуют рабочую решетку, закреплены на диске. На периферии рабочих лопаток имеется ленточный бандаж с надбандажным уплотнением, препятствующим протечке пара мимо рабочей решетки.

Качественно преобразование энергии в турбинной ступени можно объяснить следующим образом. Пар в сопловой решетке расширяется от параметров  $p_0$ ,  $h_0$  до параметров  $P_1$ ,  $h_1$ , в результате чего из сопловых каналов под малым углом к плоскости выходных кромок

выходит кольцевая струя пара большой скорости. Эта струя обтекает профили рабочей решетки, образуя на их поверхностях распределение давления.



Распределение давления по поверхности лопатки

В результате возникает окружная сила  $R_u$ , вращающая диск, закрепленный на валу. Дополнительная реактивная сила может возникать за счет расширения пара в каналах рабочей решетки при выполнении их суживающимися.

В общем случае каналы рабочих решеток выполняют суживающимися. Поэтому давление перед ними оказывается больше, чем за ними. Располагаемый теплоперепад ступени  $H$  распределяется между сопловой и рабочей решетками:

$$H = H_c + H_p$$

Отношение располагаемого теплоперепада рабочей решетки  $H_p$  к общему теплоперепаду ступени  $H$  называется *степенью реактивности* ступени:

$$\rho = H_p / H$$

Если расширение пара происходит только в сопловой решетке, то теплоперепад на рабочей решетке  $H_p = 0$ , степень реактивности  $\rho = 0$ , такая ступень называется чисто *активной*. Передача кинетической энергии рабочим лопаткам происходит только благодаря повороту струй пара в каналах рабочей решетки. Ускорения потока в рабочей решетке не происходит, и скорости пара на входе и на выходе одинаковы. Поэтому каналы рабочей решетки активной ступени имеют постоянное проходное сечение.

Активными считаются ступени с небольшой степенью реактивности ( $\rho = 0 \div 0,25$ ). Ступень, в которой степень реактивности близка к  $\rho = 0,5$  и более, называется *реактивной*. В ней происходит расширение пара и в сопловой, и в рабочей решетке примерно в равной степе-

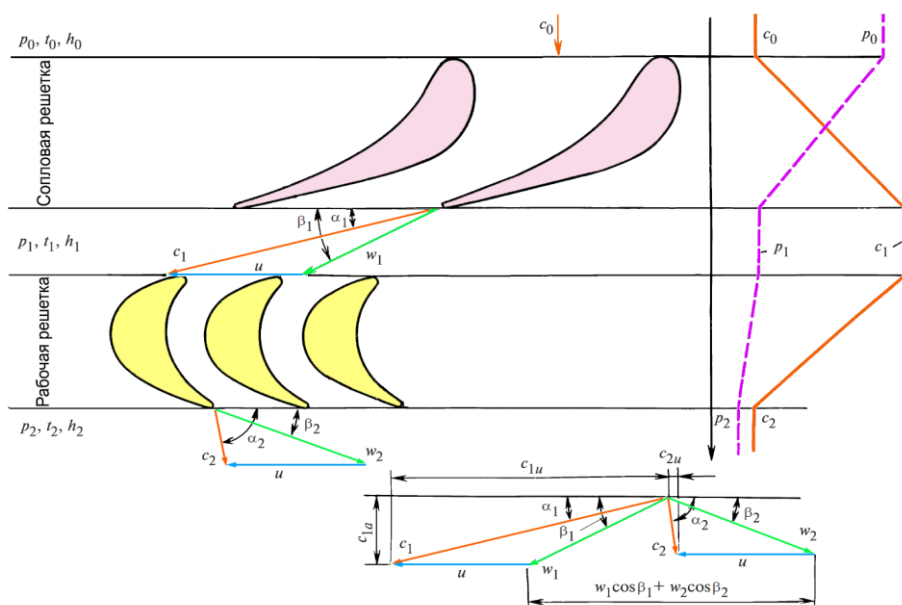
ни. Возникающее на рабочих лопатках окружное усилие определяется не только активными струями пара, выходящими из сопловой решетки, но и реактивной силой ускоряющегося в рабочей решетке пара.

### 1.1.5 Треугольники скоростей

Рассмотренная выше лопастная машина преобразовывает кинетическую энергию газа в механическую работу. В паровой турбине для совершения работы используется внутренняя энергия пара.

Ниже на рисунке схематически показано, как за счет расширения пара уменьшается его давление в сопловой решетке от  $P_0$  до  $P_1$ . При этом, если на входе скорость пара  $c_0$  была мала, то на выходе она существенно возрастает до значения  $c_1$ .

Скорость выхода пара из сопловой решетки наглядно изображается вектором  $c_1$ . Однако на профили движущейся решетки пар будет поступать не под углом  $\alpha_1$ , а под углом  $\beta_1$ , так как решетка вращается с окружной скоростью, изображаемой вектором  $u$ . В результате пар натекает на рабочие лопатки под углом  $\beta_1$  с относительной скоростью  $w_1$ , равной разности векторов  $c_1$  и  $u$ . Построенные таким образом векторы образуют треугольник, часто называемый *входным треугольником скоростей*.



Треугольники скоростей

Пар, поступив в каналы рабочей решетки, взаимодействует с ее профилями, создавая окружную силу  $R_u$ , вращающую диск. Покидает пар рабочую решетку с относительной скоростью  $w_2$ . Абсолютная скорость выхода пара  $c_2$  представляет собой сумму векторов  $w_2$  и  $u$ . Она будет составлять угол  $\alpha_2$  с плоскостью вращения. Полученный треугольник векторов скоростей называют выходным треугольником скоростей.

Входной и выходной треугольники скоростей обычно совмещают и кратко называют треугольниками скоростей. Они позволяют лучше понять, каким образом в ступени внутренняя энергия пара превращается в работу.

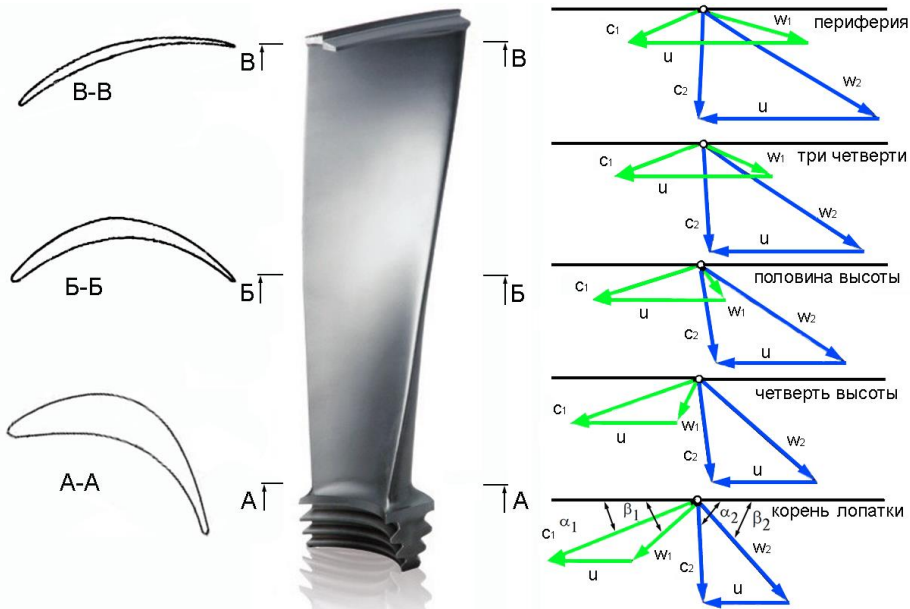
Напомним, что при протекании пара через сопловую решетку техническая работа не производится, так как решетка неподвижно закреплена в диафрагме, но зато пар разгоняется от скорости  $c_0$  до скорости  $c_1$ . В рабочей решетке скорость потока уменьшается от значения  $c_1$  до значения  $c_2$  и именно поэтому на рабочих лопатках возникает движущее окружное усилие и совершается работа.

Пар, проходя через проточную часть турбины, расширяется, и его удельный объем увеличивается. Поэтому в первой ступени турбины высота лопаток составляет около 10 см, а в последней – 1,2 м.

Все лопатки турбины совершают 50 оборотов за 1 секунду. При этом за один оборот точка у корня пера лопатки и точка на периферии пера проходят разные расстояния  $l$ , которые зависят от расстояния от данной точки до центра, т.е. от радиуса ( $l=2\pi r$ ).

Таким образом, окружная скорость рабочих лопаток возрастает в направлении от корневого сечения к периферии, а значит, треугольники скоростей изменяются вдоль радиуса. Изменяется и угол  $\beta$  входа пара на рабочую лопатку: если в корневом сечении он составляет  $\beta_1=25^\circ \div 40^\circ$ , то в периферийном сечении он может достигать  $120^\circ \div 160^\circ$ .

Поэтому, для того, чтобы пар входил в рабочую решетку под оптимальным углом (углом атаки), лопатку большой длины приходится закручивать.

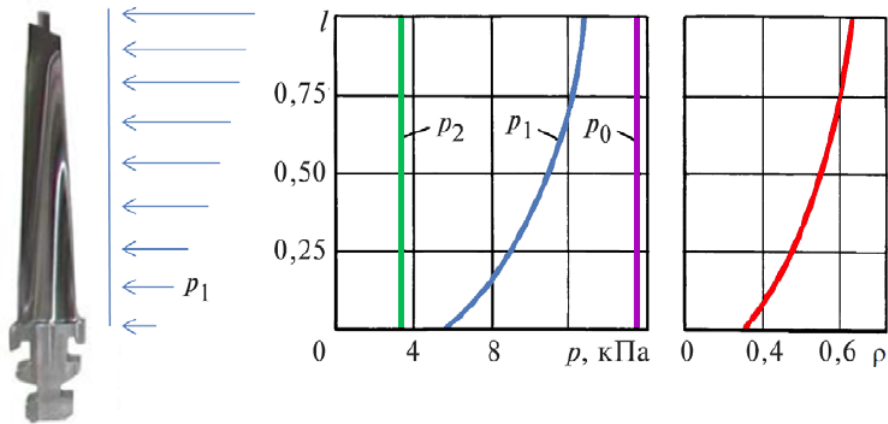


**Треугольники скоростей для ступени с длинными лопатками**

Поток пара на выходе из соплового аппарата приобретает вращательное движение вокруг оси турбины, то есть имеет закрутку. Возникающие при этом центробежные силы стремятся переместить пар к периферии в осевом зазоре между сопловыми лопатками и лопатками рабочего колеса.

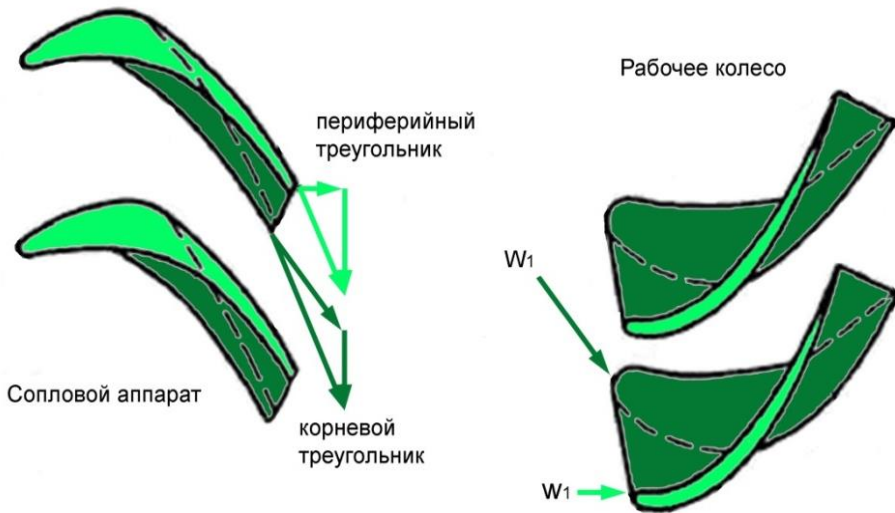
Поэтому для обеспечения радиального равновесия пара в осевом зазоре степень сужения межлопаточных каналов соплового аппарата плавно уменьшают в радиальном направлении (по высоте лопатки). То есть на периферии межлопаточные каналы выполнены менее суживающимися, а в корневом сечении – более суживающимися. Вследствие этого давление газа в зазоре между сопловым аппаратом и рабочим колесом увеличивается по высоте, а скорость истечения  $c_1$  уменьшается.

Благодаря большому давлению в периферийных сечениях предотвращается радиальное перетекание газа в зазоре между лопатками соплового аппарата и рабочего колеса.



*Изменение параметров пара по высоте длинной лопатки*

Давление за рабочими лопатками  $p_2$  (на входе в сопловой аппарат следующей ступени) должно быть постоянным вдоль радиуса. Так как давление пара перед рабочими лопатками  $p_1$  (на выходе из соплового аппарата) увеличивается в радиальном направлении (по высоте лопатки), то степень сужения межлопаточных каналов рабочего колеса увеличивается в этом же направлении, чем и обеспечивается выравнивание давления пара  $p_2$  в радиальном направлении на выходе из рабочих лопаток.



*Изменение профиля лопаток по высоте*

Таким образом, необходимость профилирования лопаток турбины по высоте (по радиусу) обусловлена двумя причинами. Во-первых, необходимо обеспечить радиальное равновесие пара, на который действуют центробежные силы, порожденные закруткой потока. Во-вторых, необходимо привести в соответствие профили рабочих лопаток в разных сечениях с их треугольниками скоростей, которые неодинаковы по высоте лопаток вследствие разных окружных скоростей этих сечений.

### 1.1.6 Парораспределение

Мощность, развиваемая турбоагрегатом, не имеющим отборов пара, определяется соотношением

$$N_3 = G \cdot H_0^T \cdot \eta_{\text{оэ}}$$

где  $G$  – расход пара через турбину,  $H_0^T$  – располагаемый теплосепад,  $\eta_{\text{оэ}}$  – относительный внутренний КПД. Из соотношения следует, что на мощность турбины принципиально можно повлиять, изменяя либо расход пара  $G$  через турбину, либо теплосепад  $H_0^T$  за счет начальных параметров пара, а также одновременно изменяя расход и теплосепад проточной части турбины.

Парораспределением называют систему подачи пара в турбину. Для современных паровых турбин в основном используются два вида парораспределения: *дроссельное* и *сопловое*.

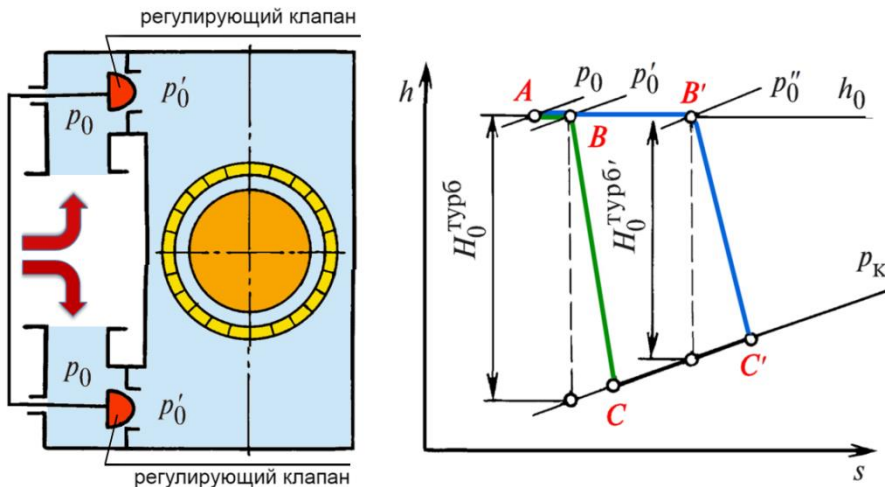
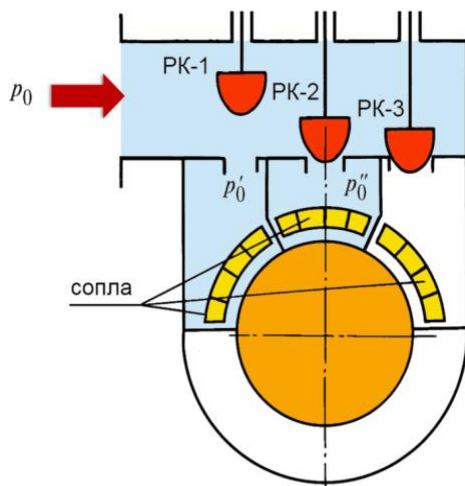


Схема дроссельного парораспределения

При *дроссельном* парораспределении весь пар, подводимый к турбине, подается в общую камеру после дросселирования в одном или нескольких одновременно открывающихся регулирующих клапанах. Из этой камеры пар поступает к сопловым (направляющим) аппаратам первой ступени по всей окружности.

При полной нагрузке, когда регулирующие клапаны полностью открыты (процесс А-В), давление  $P'_0$  за клапанами отличается от давления  $P_0$  перед ними всего на несколько процентов, и турбина имеет располагаемый перепад  $H_0^{\text{турб}}$ . При закрытии регулирующих клапанов в них происходит процесс дросселирования АВ', при котором давление за клапаном  $P''_0$  становится существенно меньше, чем давление до клапана  $P_0$ . В результате располагаемый тепलोперепад турбины станет равным  $H_0^{\text{турб}'}$  и существенно меньше  $H_0^{\text{турб}}$ . Таким образом, *при дроссельном парораспределении мощность турбины изменяется не только за счет уменьшения расхода пара, но и за счет уменьшения теплоперепада проточной части турбины.*

Важными преимуществами дроссельного парораспределения являются его простота, высокая экономичность при полном открытии клапанов и большая надежность рабочих лопаток из-за подвода пара по всей окружности.



При *сопловом* парораспределении увеличение расхода пара через турбину достигается последовательным открытием регулирующих клапанов, каждый из которых подводит пар к своей группе сопел, занимающих часть окружности.

При *сопловом* парораспределении увеличение расхода пара через турбину достигается последовательным открытием регулирующих клапанов, каждый из которых подводит пар к своей группе сопел, занимающих часть окружности.

### Схема соплового парораспределения

По мере открытия клапана РК-1 в нем происходит процесс дросселирования точно такой же, как и при дроссельном парораспределении. Однако при его полном открытии давление за ним практически совпадает с давлением до него и потери, связанные с дросселированием, исчезнут. Затем (иногда несколько раньше) начинает открываться регулирующий клапан РК-2, в нем будет происходить

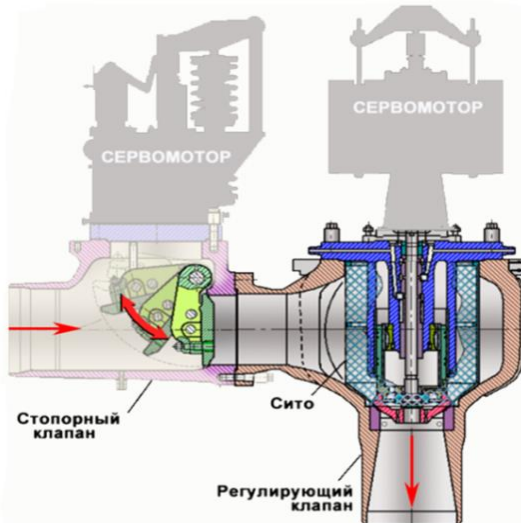
дросселирование и давление за ним  $P''_0$  будет меньше, чем давление  $P_0$  перед клапаном. Таким образом, *при сопловом парораспределении дросселированию подвергается только та часть пара, которая проходит через частично открытый клапан.*

Главное преимущества соплового парораспределения - сохранение высокой экономичности при отклонениях режима работы от номинального из-за малых потерь от дросселирования в полностью открытых регулирующих клапанах.

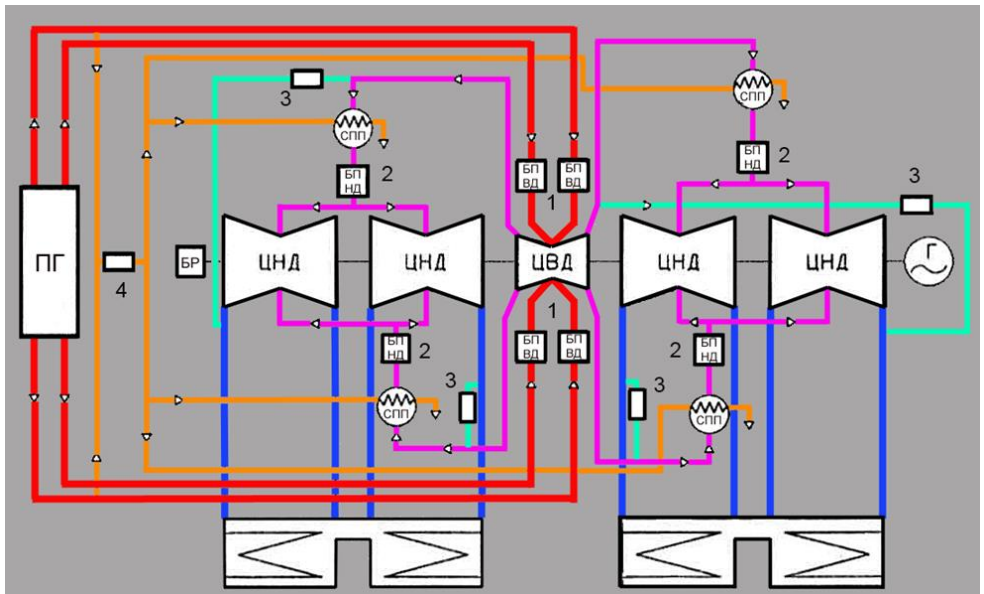
Однако сопловое парораспределение имеет и существенные недостатки. Его экономичность при полном открытии регулирующих клапанов оказывается ниже, чем при дроссельном, из-за наличия потерь, связанных с парциальным подводом пара. Парциальность создает высокий уровень переменной силы, действующей на рабочие лопатки, из-за того, что они попеременно проходят перед активными и неактивными дугами подвода пара. Это снижает вибрационную надежность рабочих лопаток.

*Турбина К-1200-6,8/50 имеет дроссельное парораспределение.*

Перед ЦВД установлено четыре блока парораспределения высокого давления (1) (БПВД), состоящих из одного стопорного клапана поворотного типа и одного регулирующего клапана разгруженного типа. Применение стопорного клапана поворотного типа позволило существенно снизить потери давления свежего пара (суммарные потери давления в блоке клапанов ВД составляют менее 3 %).

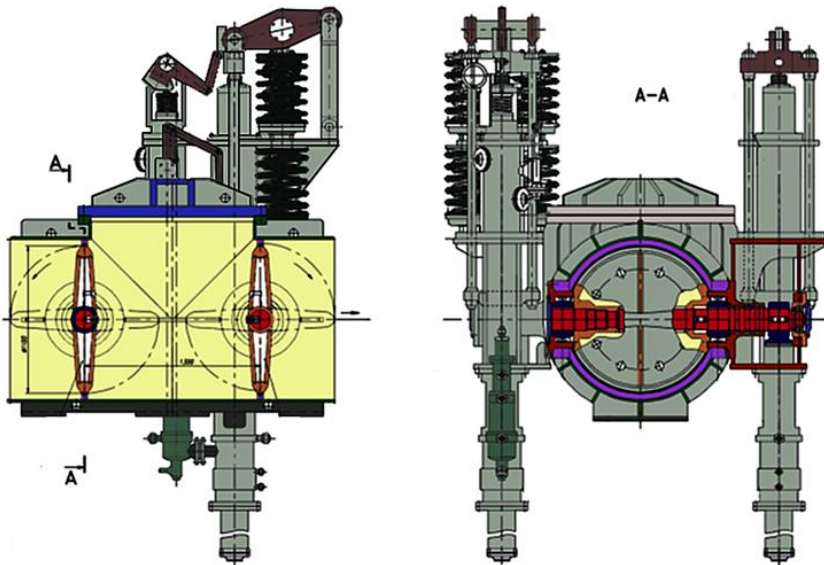


**Блок парораспределения высокого давления**



*Схема расположения узлов регулирования*

Пар по четырем паропроводам свежего пара через блоки парораспределения высокого давления (1) подводится в общую камеру паровпуска цилиндра высокого давления.



*Блок парораспределения низкого давления*

После ЦВД по четырем паропроводам («холодным» ниткам) пар направляется в четыре СПП на осушку и перегрев. Далее пар поступает к четырем блокам парораспределения низкого давления (2), каждый из которых состоит из одного стопорного клапана (заслонки) и одного регулирующего клапана (заслонки) поворотного типа.

Блоки расположены попарно справа и слева от оси турбины и подают пар на четыре цилиндра низкого давления так, что от каждого блока запитаны два соседних ЦНД. Подача пара в каждый ЦНД осуществляется в нижнюю половину средней части.

На паропроводах между ЦВД и СПП установлены сбросные клапаны (3) разгруженного типа, которые управляются пружинно-гидравлическими сервомоторами. Нормально эти клапаны находятся в закрытом положении и имеют обратную гидравлическую связь с РК НД - открываются для сброса пара в конденсаторы в случае сброса нагрузки и срабатывания защиты при закрытии РК НД.

На трубопроводе из линии свежего пара до стопорных клапанов ЦВД установлен клапан (4) греющего пара СПП, который управляет расходом греющего пара, идущего на все четыре СПП. Управление клапаном организовано от ЭЧСР.

### 1.1.7 Многоцилиндровость

Если общий теплоперепад турбины достаточно большой, то для его рационального использования потребуются много ступеней. При этом если выполнить турбину в одном цилиндре, то потребуются очень длинный ротор с большим расстоянием между опорными подшипниками. Ротор турбины будет гибким, и его вибрационные характеристики будут неудовлетворительными. Поэтому при большом теплоперепаде расширение пара осуществляют в нескольких цилиндрах, ротора которых имеют умеренную длину и опираются на свои подшипники. Другим параметром, определяющим число цилиндров, является объемный расход пара через последнюю ступень. Чем больше мощность турбины, тем больше объемный расход пара на выходе из турбины при выбранных начальных параметрах и давлении в конденсаторе. Для пропуска этого количества пара требуется кольцевая площадь выхода, определяемая допустимой по соображениям экономичности потерей с выходной скоростью за последней ступенью. С другой стороны, выполнить ступень с большим диаметром и большой высотой лопатки невозможно, так как большие центробежные силы приведут к отрыву лопатки. Поэтому по достижению паром при его расширении определенного

объема его разделяют на несколько потоков. К многоцилиндровой конструкции естественным путем приводит и использование промежуточного перегрева пара, когда пар выводится из турбины в СПП и затем возвращается в турбину. Конструктивно это проще всего осуществить, выполняя цилиндры высокого (ЦВД) и низкого давлений (ЦНД).



*Паровая турбина К-1200-6,8/50*

Турбина К-1200-6,8/50 представляет собой одновальный пятицилиндровый агрегат и состоит из двухпоточного цилиндра высокого давления (ЦВД) и четырех двухпоточных цилиндров низкого давления (ЦНД).

Конструктивная схема турбины - 2ЦНД+ЦВД+2ЦНД. Порядок отсчета ЦНД производится от переднего подшипника к генератору.



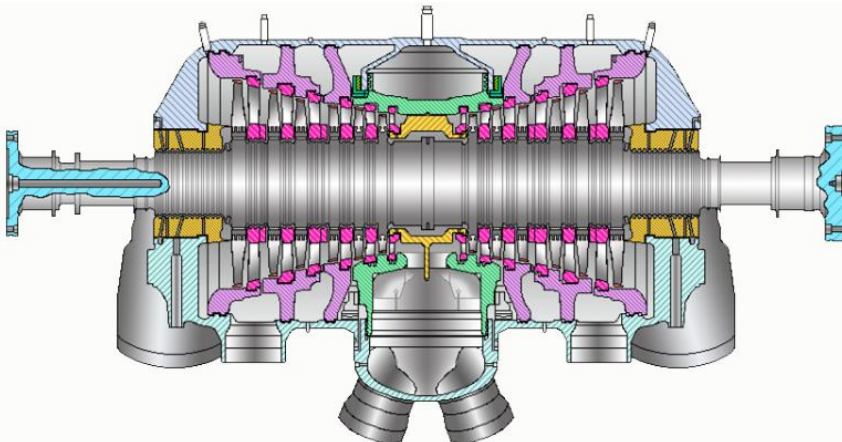
*Паровая турбина К-1200-6,8/50*

Конструктивная схема "бабочка" имеет ряд преимуществ по обвязке турбины трубопроводами и позволяет:

- выполнить симметричную обвязку всех цилиндров турбины паропроводами, что обеспечивает равномерное нагружение опор, снижение усилий, приходящихся на патрубки турбины, упрощает компенсацию тепловых расширений паропроводов;
- выполнить симметричную обвязку трубопроводами сепараторов-пароперегревателей, обеспечивающую надежную эксплуатацию этих аппаратов.

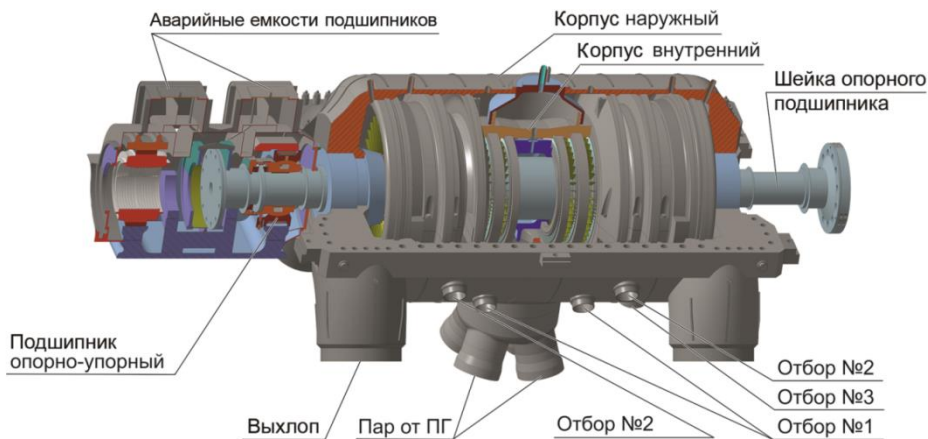
Принятое расположение ЦВД способствует снижению величин относительных осевых перемещений роторов турбины.

### 1.1.8 Цилиндр высокого давления МАА



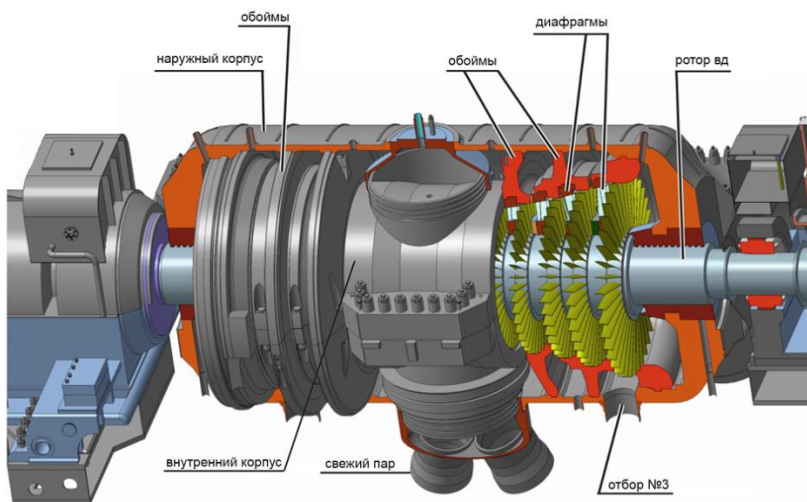
*Цилиндр высокого давления*

ЦВД турбины двухпоточный. Проточная часть каждого потока состоит из шести ступеней. ЦВД имеет наружный и внутренний корпусы сварной конструкции из углеродистой стали. Двухстенная конструкция ЦВД позволяет снизить перепады давления на стенках корпусов и статические и термические напряжения в элементах конструкции, особенно в нестационарных режимах, и значительно сокращает время пуска турбоагрегата из различных тепловых состояний.



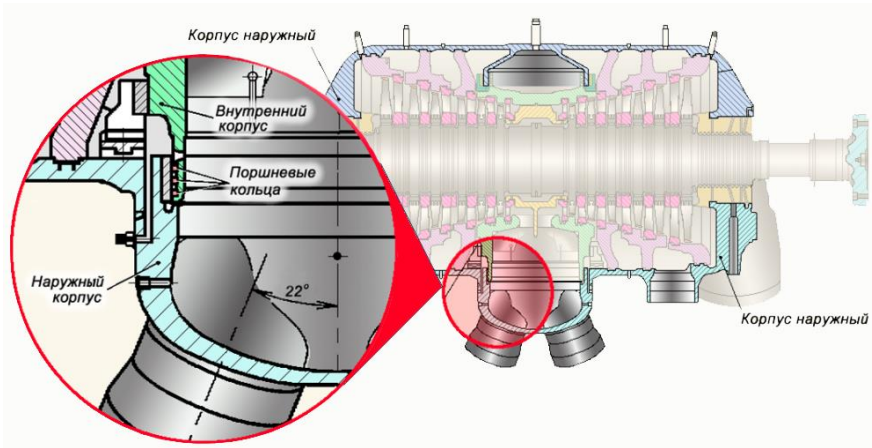
### Цилиндр высокого давления

Внутренний корпус включает в себе первые две ступени и рассчитан на давление свежего пара. Внутренний корпус устанавливается в наружном по принятой заводом схеме: нижняя половина внутреннего корпуса опирается четырьмя лапами на площадки в нижней половине наружного корпуса.



### Цилиндр высокого давления

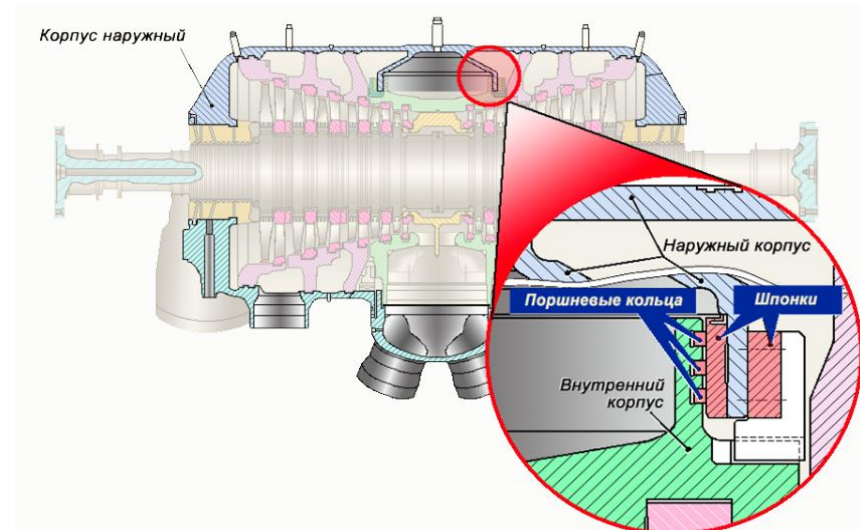
Верхняя половина внутреннего корпуса устанавливается на нижнюю, фиксируется болтами, обе половины скрепляются по горизонтальному разьему крепежом. В плоскости паровпуска внутренний корпус фиксируется упорным зубом в расточке наружного корпуса.



### Цилиндр высокого давления

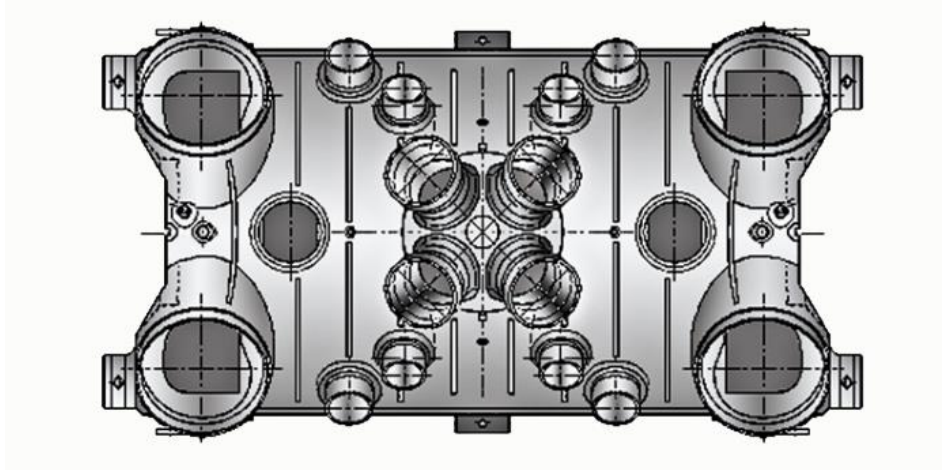
Соединение паровпускных патрубков внутреннего и наружного корпусов ЦВД - телескопического типа, уплотнение между ними осуществляется поршневыми кольцами.

Для компенсации парового усилия на внутренний корпус ЦВД от пара, поступающего из расположенных снизу впускных патрубков, предусмотрено разгрузочное устройство, выполненное в виде расположенной сверху закрытой камеры, уплотненной поршневыми кольцами, в которую подводится свежий пар для уравнивания усилий на внутренний корпус ЦВД.



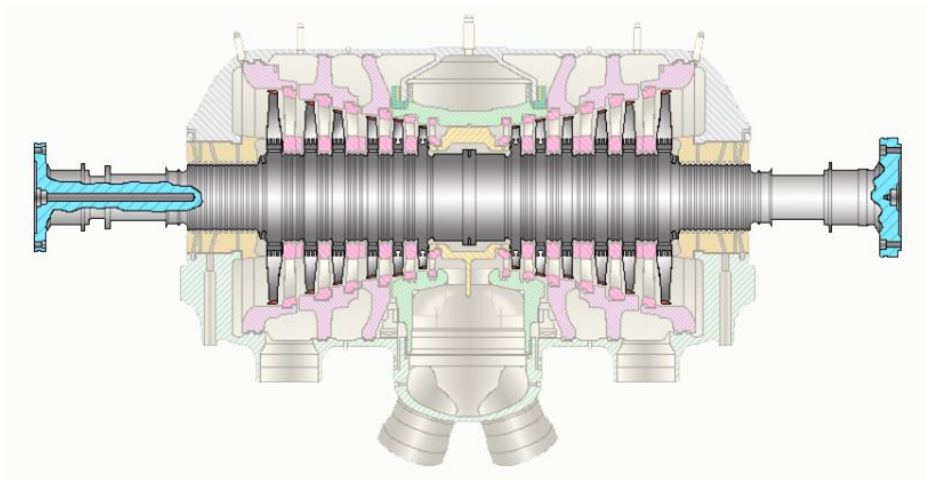
### Цилиндр высокого давления

В нижней части наружного корпуса ЦВД за диафрагмами вторых ступеней и за обоймами третьих и четвертых ступеней выполнены патрубки соответственно первого, второго и третьего отборов пара на регенеративный подогрев.



**Нижняя часть корпуса цилиндра высокого давления**

Ротор высокого давления – цельнокованный, без центрального отверстия.



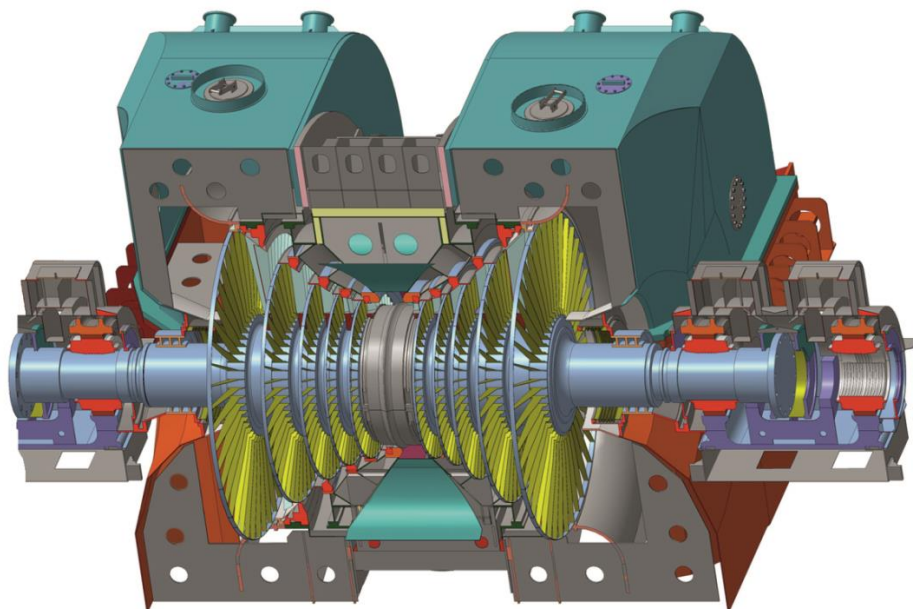
**Ротор высокого давления**

Диски рабочих колес и фланцы полумуфт откованы заодно с валом. Создание такого ротора обеспечивает повышение надежности работы по сравнению со сварным вариантом благодаря отсутствию

сварных швов, отработанной технологии изготовления и всесторонней программе контроля, высокому качеству материала поковки, дающему возможность снизить уровень напряжений и обойтись без центрального отверстия вала.

### 1.1.9 Цилиндр низкого давления МАС

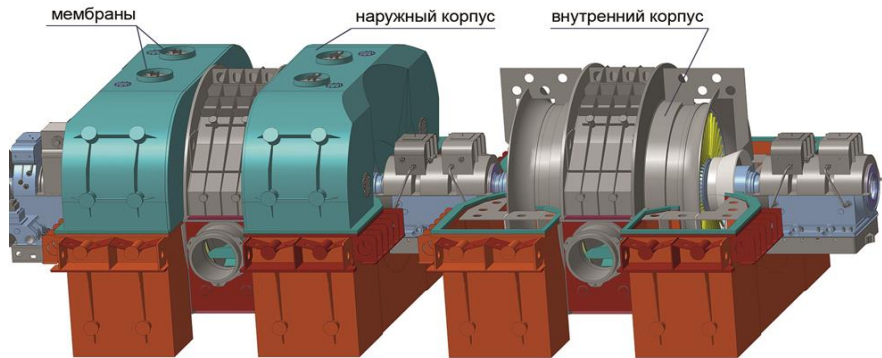
ЦНД турбины двухпоточные, двухкорпусные, пятиступенчатые. Наружный и внутренний корпуса ЦНД - сварной конструкции из углеродистой стали.



*Цилиндр низкого давления*

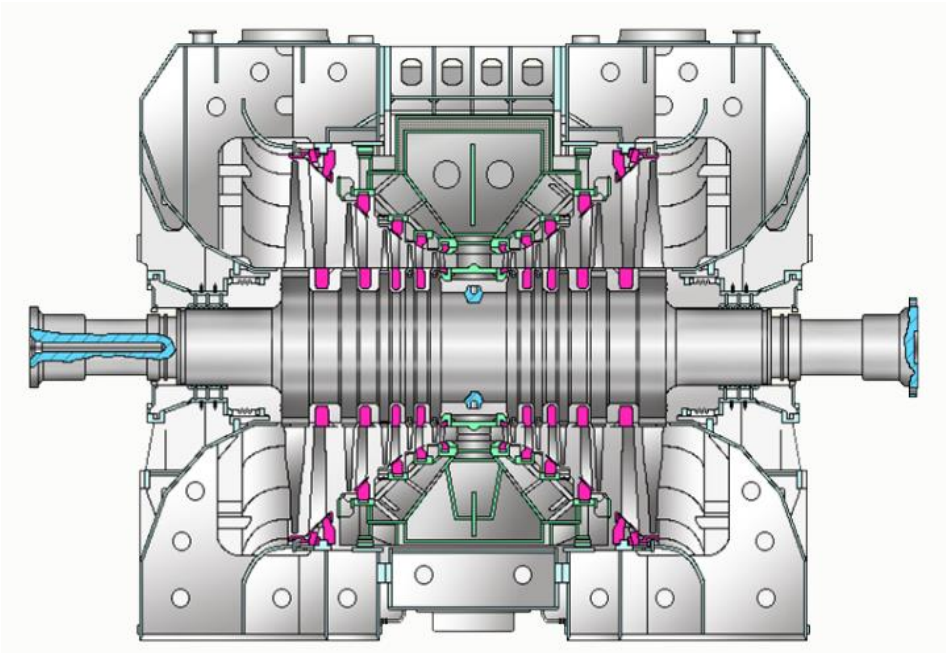
Наружный корпус состоит из трех частей: средней части и двух симметричных выхлопных частей. Внутренний корпус установлен в наружном на лапах и фиксируется системой продольных и поперечных шпонок, не препятствующих независимому тепловому расширению внутреннего корпуса.

Внутренний корпус ЦНД включает паровпускную камеру с двумя трубопроводами Ду1200, расположенными ниже горизонтального разъема, первые четыре ступени проточной части, паротборные камеры, соединяемые трубопроводами с ПНД-2,3.



### *Цилиндр низкого давления*

Все ЦНД опорными поверхностями своих выхлопных частей опираются на фундаментные рамы. Продольные и вертикальные шпонки, установленные на фундаментных рамах, фиксируют ЦНД в поперечном направлении, позволяя им при этом свободно перемещаться в продольном направлении.



### *Цилиндр низкого давления*

На верхних половинах выхлопных патрубков (крышках) ЦНД установлены предохранительные клапаны мембранного типа, которые срабатывают при повышении абсолютного давления в выхлопных патрубках до  $0,12 \div 0,135$  МПа ( $1,2 \div 1,35$  кгс/см<sup>2</sup>) абс.

Роторы ЦНД цельнокованные, без центрального отверстия, изготавливаются из слитка 235 т и в чистом виде весят 72 т, не имеют аналогов в мировом турбостроении. Создание такого ротора обеспечивает повышение надежности работы по сравнению со сварным вариантом благодаря отсутствию сварных швов, высокому качеству материала поковки.

Лопатка последней ступени с цельнофрезерованным бандажом с торцевым елочным хвостом имеет длину 1200 мм и изготовлена из титанового сплава. В настоящее время в эксплуатации это самая длинная лопатка в мире для быстроходных турбин, изготавливаемая серийно из титанового сплава.

Применение такой лопатки последней ступени позволяет в быстроходной турбине 1200 МВт реализовать глубокий вакуум.

В целях дальнейшего улучшения технических характеристик турбоустановки К-1200/6,8-50 предусмотрен ряд конструктивных мероприятий в ЦНД:

- повышена вакуумная плотность наружного корпуса за счет выполнения канавок с резиновым шнуром по всему периметру горизонтального разъема, включая концевые уплотнения;
- осуществлен переход к конструкции, обеспечивающей подвод пара только в нижнюю половину, что повышает ремонтпригодность турбины.



*Ротор низкого давления*

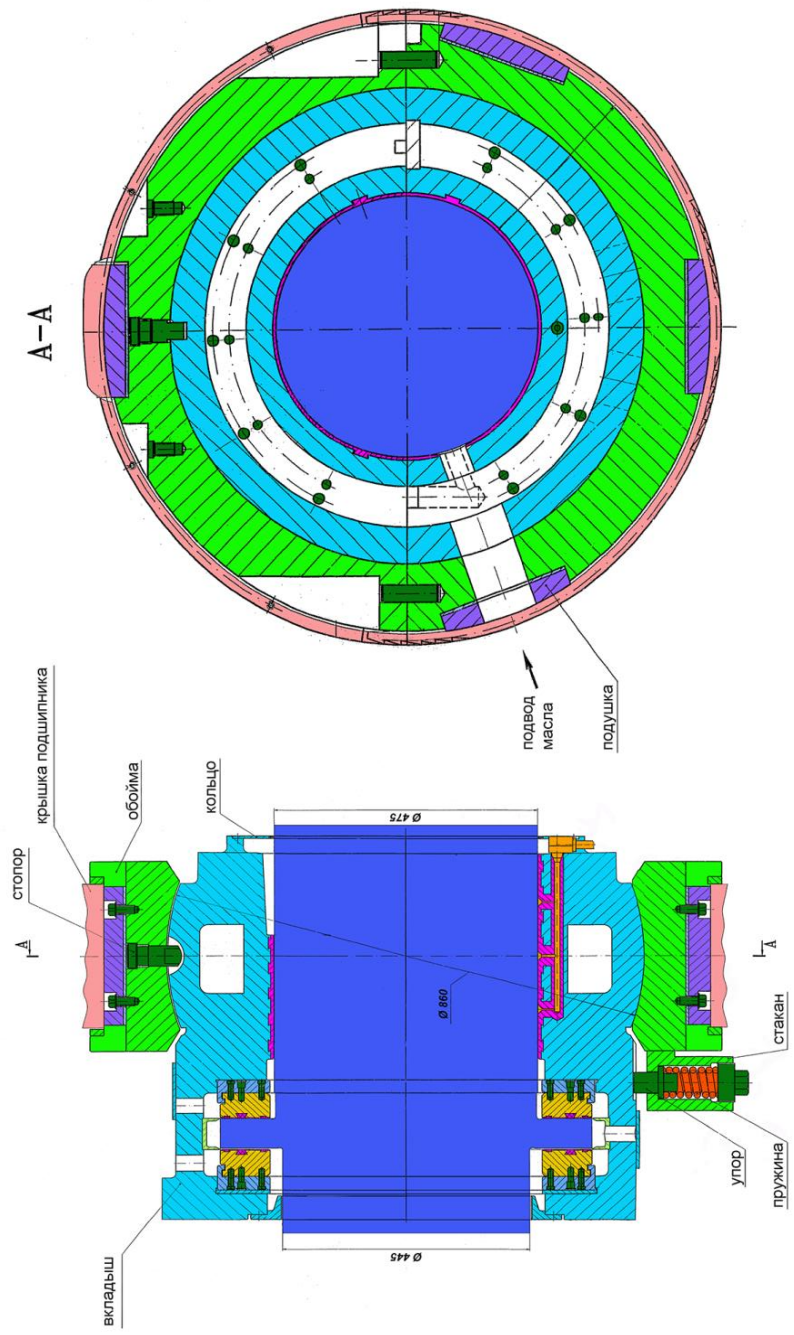
### 1.1.10 Подшипники MAD

Все роторы турбины соединены в валопровод и имеют жесткие соединительные муфты, ротор ЦНД-4 и ротор генератора также соединены жесткой муфтой. Каждый из пяти роторов турбины установлен на двух опорах, при этом все роторы имеют выносные подшипники скольжения, которые опираются на верхнюю опорную плиту фундамента. Корпусы подшипников - сварно-литые из углеродистой стали. Подшипник № 5 (MAD15) - опорно-упорный.

Подшипники служат для фиксации такого положения вращающегося валопровода в турбине, при котором обеспечивается надежная и экономичная работа. Опорные подшипники воспринимают и передают на опоры радиальные нагрузки от собственного веса валопровода, его неуравновешенных центробежных сил и расцентровок, аэродинамических сил, возникающих в проточной части турбины и уплотнениях. Конструкция опорных подшипников и их режим работы обеспечивают малые радиальные зазоры в проточной части и уплотнениях для поддержания высокой экономичности. Вместе с тем они исключают возможность радиальных задеваний в проточной части.

Упорный подшипник воспринимает результирующее осевое усилие, действующее на валопровод. Конструктивно вкладыши подшипников выполнены: опорные - с эллипсоидной расточкой, опорно-упорные - типа Mitchell. Опорные и опорно-упорные вкладыши - стальные с баббитовой заливкой. Баббит марки Б-83 содержит 83 % олова, 11 % сурьмы и 6 % меди. Оловянистая основа обеспечивает пластичность и деформируемость баббита под действием силы тяжести вала и равномерно ее распределяет по поверхности вкладыша. Кроме того, олово обеспечивает высокое сопротивление коррозии и хорошие литейные качества. Сурьма образует в олове твердые включения, придавая баббиту высокое сопротивление истиранию. Добавки меди обеспечивают однородность баббита.

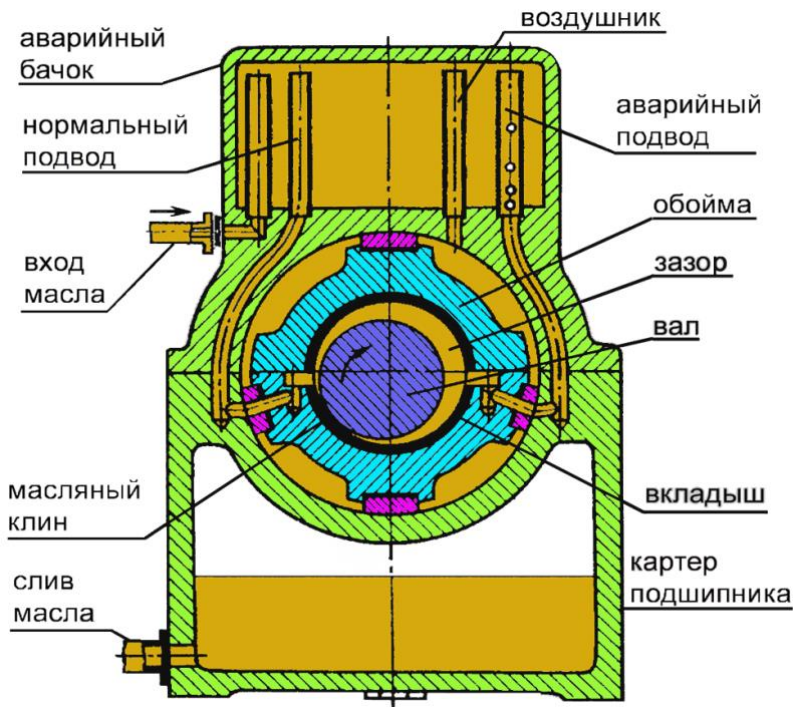
Опорный подшипник состоит из вкладыша, обоймы и корпуса. Вкладыш подшипника состоит из двух половин с горизонтальным разъемом. Нижняя половина вкладыша плотно устанавливается в нижней половине обоймы, которая, в свою очередь, с помощью расточки фиксируется в нижней половине корпуса подшипника и передает на него радиальные нагрузки от ротора турбины. Контакт вкладыша и обоймы осуществляется по сферической поверхности. Поэтому вкладыш имеет возможность небольших угловых поворотов при монтаже турбины, что уменьшает перекосы шейки вала во вкладыше и его износ во время работы.



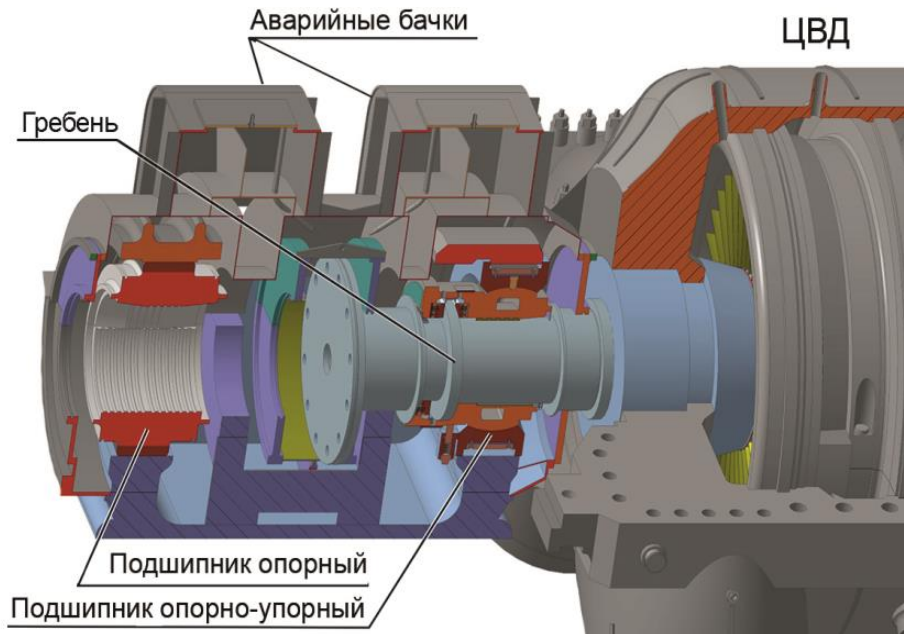
*Конструкция опорного подшипника*

На крышках подшипников установлены аварийные емкости, непрерывно заполняемые маслом системы смазки. Избыток масла по двум переливным трубкам стекает в корпус подшипника.

При прекращении подачи масла от насосов, например, из-за разрыва подающего маслопровода, система защиты отключает турбину, а смазка шейки вала в период замедления вращения осуществляется из аварийной емкости по маслопроводу через специально подобранные дозировочные отверстия, обеспечивающие уменьшение расхода масла с замедлением турбины. Аварийные индивидуальные ёмкости обеспечивают бесперебойную подачу масла на подшипники в течение 30 минут.

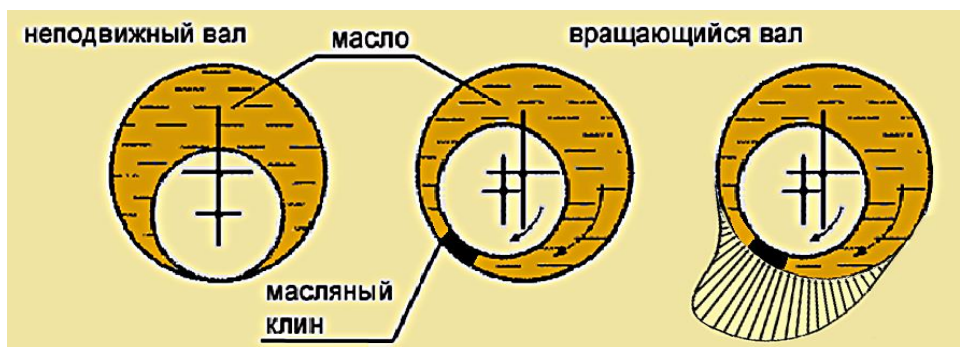


*Маслоснабжение опорного подшипника турбины*



### *Опорно-упорный подшипник турбины*

Принцип работы опорного подшипника заключается в следующем. Невращающийся валопровод лежит на нижней половине вкладыша, контактируя с ним по части поверхности вблизи нижней образующей. Если через подшипник организовать поток масла и начать вращать ротор, то масло будет прилипать к поверхности шейки вала и увлекаться ею.

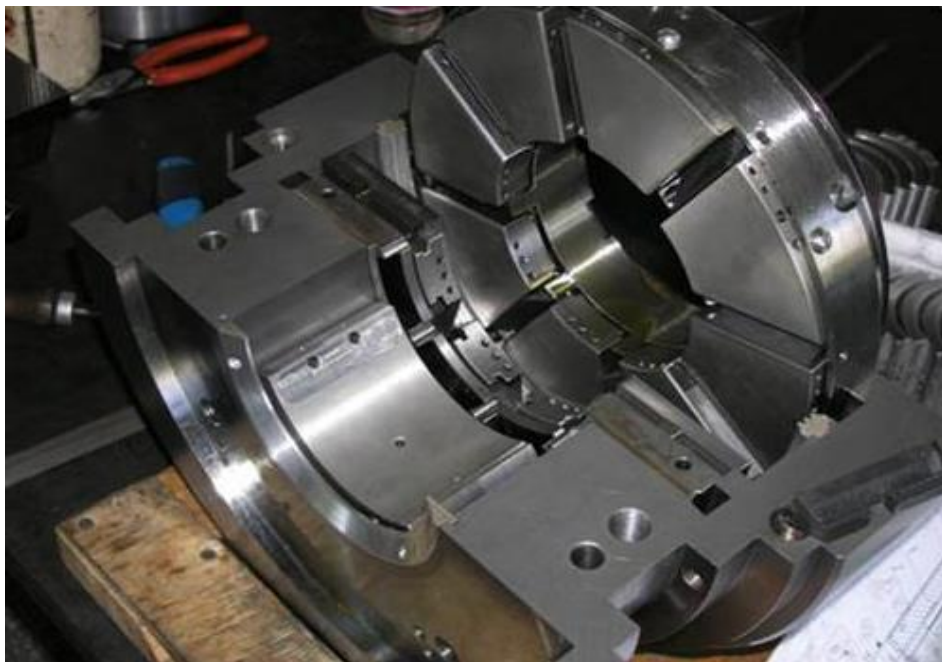


### *Принцип образования масляного клина*

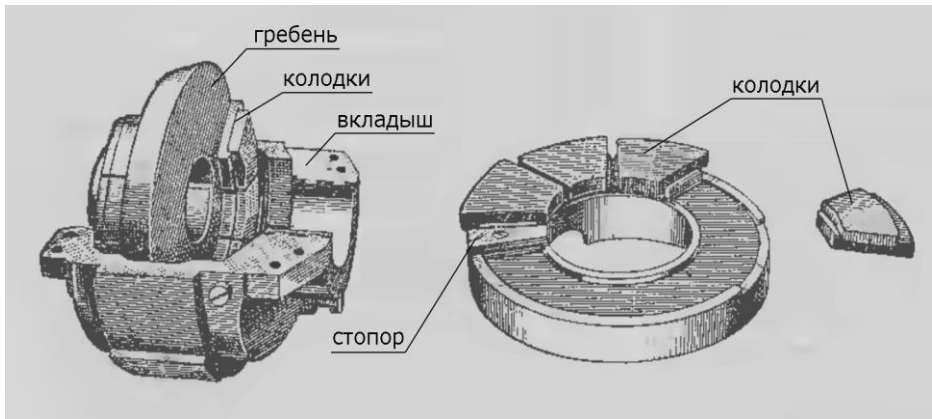
Поскольку масло обладает вязкостью, то оно слой за слоем будет увлекаться под шейку вала, и в результате при частоте вращения более 500 об/мин между ней и вкладышем появится устойчивая

масляная пленка – масляный клин. Таким образом, всплытие шейки на масляной пленке обеспечивается, во-первых, вязкостью масла и, во-вторых, вращением шейки вала. Необходимо подчеркнуть, что подъемная сила, возникающая в подшипнике, образуется не за счет давления масла на входе в подшипник, которое составляет 0,12 МПа, а за счет давления, возникающего в масляном клине. Подшипник скольжения, работающий на этом принципе, называется гидродинамическим.

**Упорный подшипник** предназначен для восприятия осевого усилия, действующего на ротор, и фиксации ротора в определенном осевом положении так, чтобы обеспечивались требуемые осевые зазоры в проточной части турбины.



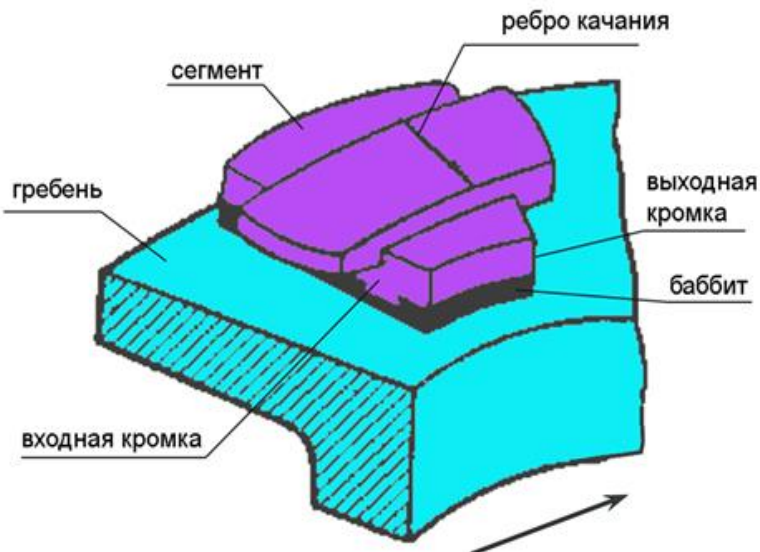
*Устройство упорного подшипника*



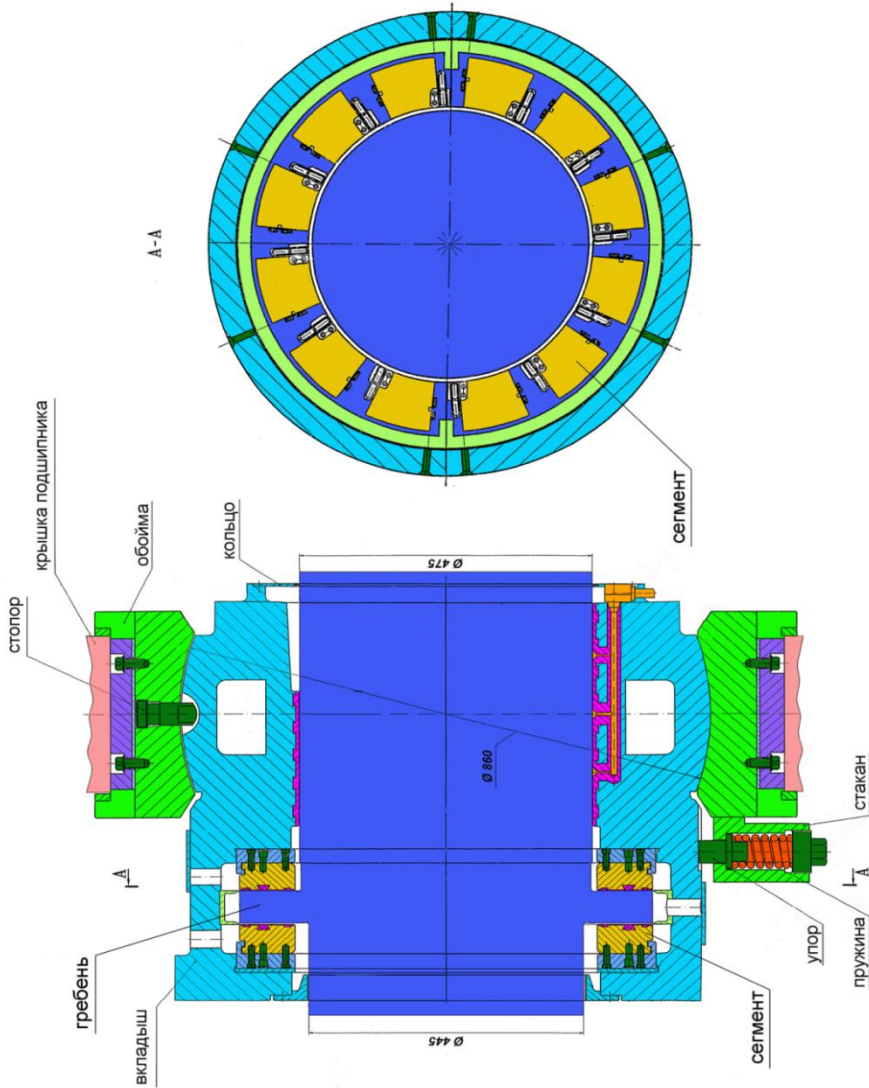
### *Устройство упорного подшипника*

Упорный подшипник установлен между ЦВД и ЦНД-2 (подшипник MAD15 - опорно-упорный).

Работа упорного подшипника основана на том же принципе, что и работа опорного: подвижная (ребень) и неподвижная (вкладыш) поверхности должны образовывать суживающийся в направлении вращения вала зазор (клин).



### *Сегмент упорного подшипника*



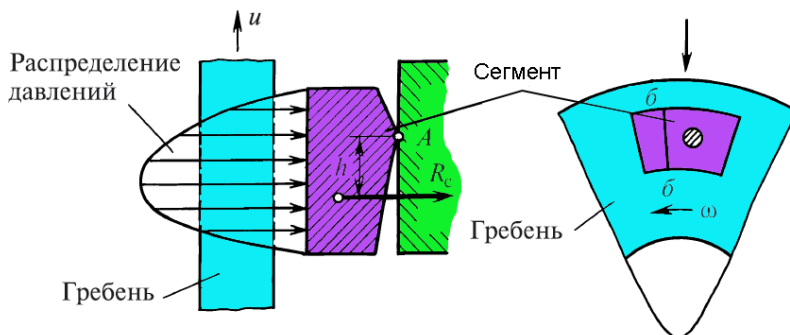
### Конструкция упорного подшипника

Это условие соблюдают, разделив вкладыш на сегменты, каждый из которых устанавливают под небольшим углом к поверхности гребня. Каждый сегмент имеет на тыльной стороне эксцентрично помещенное ребро, на котором он может качаться. Благодаря этому при вращении гребня сегмент автоматически устанавливается в положение, наиболее благоприятное для образования клиновидного зазора, куда при вращении загоняется масло.



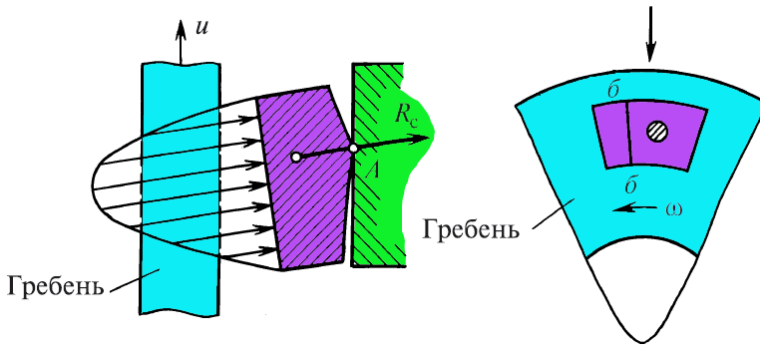
**Колодки (сегменты) упорного подшипника**

Перед началом вращения вкладыш подшипника заполнен маслом. С началом вращения масло, прилипающее к гребню подшипника, увлекается слой за слоем под сегмент и, поскольку свободному осевому смещению гребня от сегмента препятствует осевая сила  $R$ , приложенная к ротору, на поверхности сегментов возникает некоторое распределение давления. Для простоты дальнейших рассуждений его можно заменить эквивалентной силой  $R_c$ , приложенной к некоторой точке сегмента и поворачивающей его так же, как и распределенное давление. Положение сегмента будет неустойчивым, так как равнодействующая  $R_c$  будет работать как рычаг с плечом  $h$  вокруг ребра опирания сегмента  $b-b$ . Поэтому сегмент начнет поворачиваться. Распределение давления при этом будет изменяться.



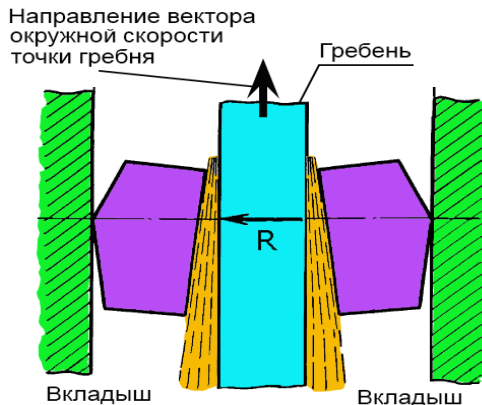
**Принцип работы упорного подшипника турбины**

В силу того, что зазор на входной части сегмента увеличится, давление здесь уменьшится; на выходной части сегмента оно, наоборот, возрастет. Ясно, что при этом сама сила  $R_c$  не изменится, поскольку не изменилось осевое усилие  $R$  и число сегментов. Сегмент будет поворачиваться до тех пор, пока сила  $R_c$  не пройдет через ребро опирания б—б и ее плечо  $h$  не станет равным нулю. Это и будет устойчивое положение сегмента, при котором между поверхностями гребня и сегмента образуется суживающийся канал – клин, по которому непрерывно проходит свежее масло.



### Принцип работы упорного подшипника турбины

Раскрытие клина автоматически изменяется с изменением осевого усилия  $R$ : чем больше осевое усилие, приложенное к ротору, тем сильнее раскрывается клин и больше равнодействующая  $R_c$  на каждом сегменте. Так как упорный подшипник имеет два ряда рабочих сегментов (с обеих сторон гребня), масляные клинья возникают на сегментах обоих рядов.



### Принцип работы упорного подшипника турбины

Величина возможного перемещения валопровода между рядами упорных сегментов называется *осевым разбегом* в упорном подшипнике. Разбег нельзя делать чрезмерно большим, так как это может привести к задеваниям в проточной части и появлению больших ударных нагрузок на сегменты при изменении знака осевого усилия (например, при резких изменениях нагрузки в многоцилиндровых турбинах с промежуточным перегревом пара). Малый осевой разбег также опасен.

При малом разбеге и требуемом в соответствии с нагрузкой повороте сегментов зазор между ними и гребнем уменьшается. Уменьшается при этом и расход масла под сегмент, и оно сильно разогревается. Вслед за маслом нагревается и сегмент, поверхность которого становится неплоской. В результате перегрева масляная пленка теряет свою несущую способность и пропадает. Гребень входит в контакт с сегментами, и за счет выделения большого количества тепла происходит мгновенное выплавление баббитовой заливки сегментов. Происходит осевой сдвиг ротора, и если он больше осевых зазоров, то возникают осевые задевания вращающихся деталей о неподвижные, что приводит к тяжелым повреждениям.

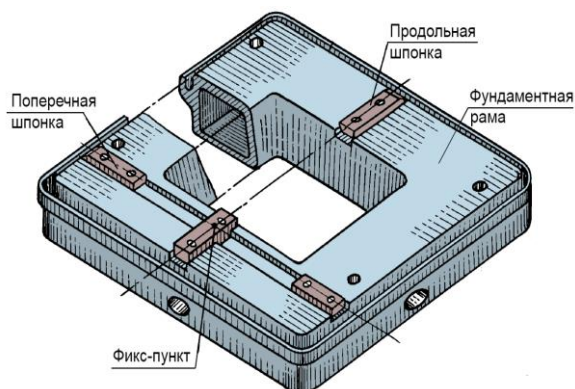
Поэтому осевой разбег в упорном подшипнике устанавливается так, чтобы толщина масляной пленки на выходе из сегментов была не меньше 40—60 мкм, среднее давление на сегмент не превышало 2—4 МПа, а температура баббитовой заливки была не больше 100°С.

### 1.1.11 Параметры тепломеханического состояния

Для предотвращения задеваний между вращающимися и неподвижными элементами турбины имеются зазоры. Радиальные зазоры составляют порядка 1÷1.5 мм, осевые - 2÷7 мм. При монтаже турбины установить даже меньшие зазоры не представляет особого труда. Однако должны быть исключены задевания при любых режимах работы, когда температуры корпусов цилиндров и роторов будут существенно отличаться от температур перед пуском. Для этого весь турбоагрегат устанавливается на фундамент вполне определенным образом, обеспечивающим его свободное, но вполне определенное тепловое расширение с помощью направляющих шпонок.

В вертикальных плоскостях всех корпусов цилиндров и подшипников между ними и фундаментными рамами установлены продольные шпонки, вдоль которых может перемещаться турбоагрегат.

Для того чтобы он не перемещался вдоль продольных шпонок произвольным образом под действием вибрации или теплового расширения присоединенных трубопроводов, на фундаментных рамах устанавливают поперечные шпонки.



Фикс-пункт цилиндра турбины

Пересечение осей продольных и поперечных шпонок образует *фикс-пункты* – неподвижные в пространстве точки, относительно которых происходит тепловое расширение и перемещение корпусов цилиндров турбоагрегата.

Схема размещения фикс-пунктов турбины К-1200-6,8/50.

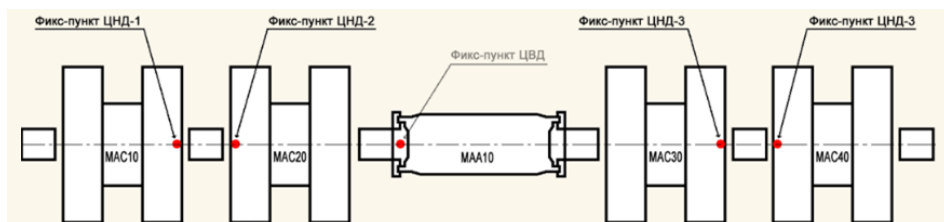
**Фикс-пункт ЦВД** расположен на корпусе подшипника со стороны ЦНД №2 и расширение корпуса ЦВД происходит в сторону ЦНД №3.

**Фикс-пункт ЦНД-1** расположен на боковых фундаментных рамах задней выхлопной части ЦНД-1 (т.е. выхлопной части со стороны ЦНД-2), вследствие чего осевое расширение ЦНД-1 происходит в сторону переднего подшипника.

**Фикс-пункт ЦНД-2** расположен на боковых фундаментных рамах передней выхлопной части ЦНД-2 (т.е. выхлопной части со стороны ЦНД-1), вследствие чего осевое расширение ЦНД-2 происходит в сторону генератора.

**Фикс-пункт ЦНД-3** расположен на боковых фундаментных рамах задней выхлопной части ЦНД-3 (т.е. выхлопной части со стороны ЦНД-4), вследствие чего осевое расширение ЦНД-3 происходит в сторону переднего подшипника.

**Фикс-пункт ЦНД-4** расположен на боковых фундаментных рамах передней выхлопной части ЦНД-4 (т.е. выхлопной части со стороны ЦНД-3), вследствие чего осевое расширение ЦНД-4 происходит в сторону генератора.



### Фикс-пункты цилиндров турбины

Ротор турбоагрегата жестко закреплен в одной точке, которой является упорный подшипник. Тепловое расширение ротора происходит в сторону переднего стула и в сторону генератора относительно упорного подшипника.

*Относительное расширение ротора (ОРР)* — расширение ротора по отношению к корпусу цилиндра. При прогреве турбины происходит относительное удлинение ротора и корпуса. Контроль за величиной этого процесса необходим для косвенного определения осевых зазоров между вращающимися и неподвижными частями турбины при всех режимах эксплуатации с целью недопущения задеваний в проточной части, сопровождающихся тяжелыми последствиями.

*Для каждого цилиндра определен свой диапазон ОРР. Допустимые значения относительных расширений роторов турбины:*

1) при частоте вращения ротора турбины менее 1000 об/мин:

- ОР РНД-1 в пределах от «минус» 5,0 мм до «плюс» 28 мм;
- ОР РНД-2 в пределах от «минус» 2,0 мм до «плюс» 20 мм;
- ОР РНД-3 в пределах от «минус» 2,0 мм до «плюс» 28 мм;
- ОР РНД-4 в пределах от «минус» 5,0 мм до «плюс» 35 мм;

2) при частоте вращения ротора турбины 3000 об/мин:

- ОР РНД-1 в пределах от «минус» 5,0 мм до «плюс» 20 мм;
- ОР РНД-2 в пределах от «минус» 2,0 мм до «плюс» 15 мм;
- ОР РНД-3 в пределах от «минус» 2,0 мм до «плюс» 20 мм;
- ОР РНД-4 в пределах от «минус» 5,0 мм до «плюс» 25 мм.

При любой частоте вращения ОР РВД должно находиться в пределах от «минус» 3,0 мм до «плюс» 3,0 мм.

Запрещается повышать частоту вращения или изменять нагрузку, если величина относительного расширения какого-либо из роторов находится на границе предельных значений. Для предотвращения выхода относительного расширения сверх допустимых значений необходимо принять следующие меры:

- 1) если ротор расширяется быстрее корпуса цилиндра, следует уменьшить темп нагружения турбины, либо прекратить нагружение турбины, либо снизить нагрузку турбины;
- 2) если ротор расширяется медленнее корпуса цилиндра, следует уменьшить темп разгрузки турбины, либо прекратить разгрузку турбины, либо увеличить нагрузку турбины;
- 3) при работе на ВПУ и холостом ходу на ОРП можно влиять изменением подачи пара на уплотнения турбины.

В случае превышения предельных значений относительных расширений ротора и цилиндра турбина должна быть остановлена и переведена на ВПУ.

*Осевой сдвиг ротора (ОСР)*. Положение вала турбины по отношению к корпусу фиксируется упорным подшипником, который воспринимает осевую нагрузку, образующуюся при работе турбины. При чрезмерном возрастании осевой нагрузки или в результате уменьшения несущей способности упорного подшипника происходит выплавление баббитовой заливки его колодок. Причинами возрастания осевой нагрузки могут быть занос проточной части турбины солями, заброс воды в проточную часть, перегрузка турбины. Уменьшение же несущей способности подшипника вызывается недостаточной подачей масла, высокой его температурой, попаданием вместе с маслом воды, воздуха или твердых частиц. Выплавление баббитового слоя колодок и осевой сдвиг ротора происходят в течение нескольких секунд. Размеры разрушения турбины из-за недопустимого осевого сдвига ротора могут быть очень большими. Поэтому требуется тщательный и надежный контроль за положением ротора в упорном подшипнике. Осевой сдвиг ротора турбины (ОСР) при любой частоте вращения должен находиться в пределах от «минус» 1,4 мм (смещение в сторону переднего стула) до «плюс» 0,6 мм (смещение в сторону генератора). При выходе ОСР за пределы диапазона

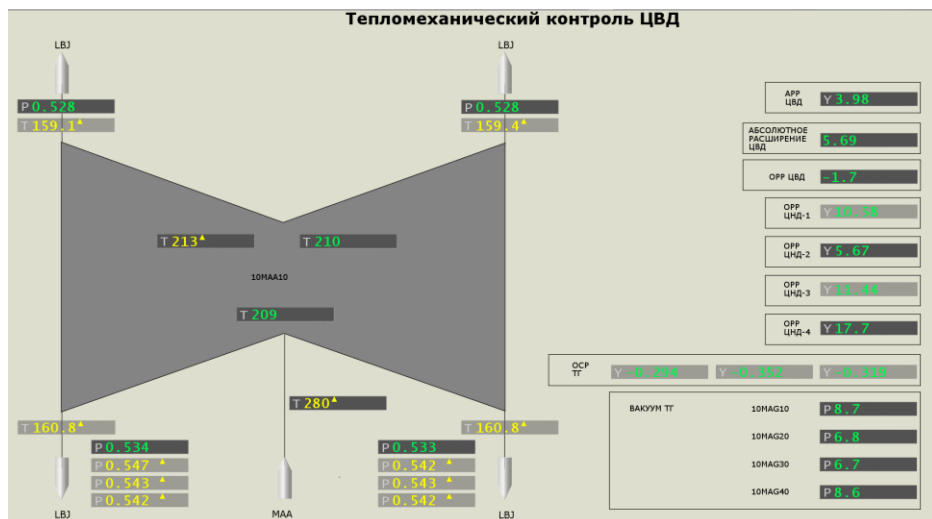
$-2,0 \div +1,2$  мм срабатывает защита турбины со срывом вакуума.

Контроль теплового состояния корпуса турбины, особенно ЦВД, а также и других частей, приобретает особую важность при нестациона-

нарных тепловых режимах работы — в период пуска, набора нагрузки и остановки турбины. В паровых турбинах необходимо контролировать температуру в определенных точках проточной части: температуру пара, идущего на обогрев фланцев и шпилек; температуру металла в характерных сечениях и точках турбоагрегата; температуру масла на входе и на сливе опорных и упорных подшипников; температуру баббита — во вкладышах и упорных подшипниках. Представляет интерес измерение не абсолютных значений температуры, а разности этих температур. Особенно важно знать разность температур металла между верхом и низом корпуса ЦВД, между фланцами ЦВД, внутренней и наружной частями фланцев, между фланцами и шпильками в характерных сечениях корпуса турбины.

Температурные перепады во вращающихся и неподвижных частях паровых турбин являются причиной относительных расширений между ротором и корпусом турбины в радиальном направлении, изгибов валов и деформаций корпуса в поперечном и продольном направлениях. Все эти относительные расширения, изгибы и деформации могут служить причиной изменения радиальных и осевых зазоров в проточной части паровой турбины вплоть до таких, при которых происходит задевание вращающихся частей турбины о неподвижные. Такое положение может привести к серьезным авариям.

Контроль параметров тепломеханического состояния турбины осуществляют с видеокadra СББУ МАА10.



*Видеокادر СББУ МАА10*

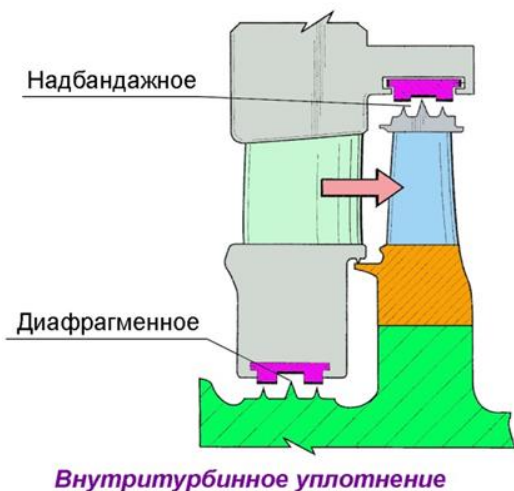
### 1.1.12 Уплотнения

В турбине К-1200-6,8/50 используются три вида уплотнений: концевые, диафрагменные и надбандажные.

*Диафрагменные* уплотнения препятствуют протечке пара между диафрагмой и валом.

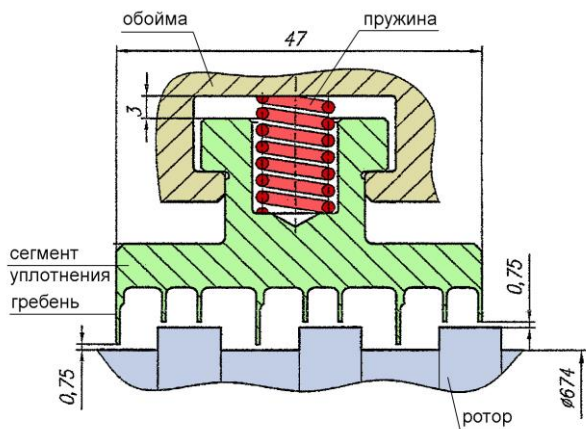
*Надбандажные* уплотнения, иногда называемые периферийными, препятствуют протечкам пара мимо рабочей решетки.

*Концевые* уплотнения предназначены для исключения присосов воздуха в вакуумную систему, предотвращения протечек пара из цилиндров в машинный зал и предупреждения обводнения масла в расположенных рядом корпусах подшипников.



Уплотнения турбины относятся к типу *лабиринтных*. Принцип их работы заключается в следующем. Вал пропущен сквозь втулку так, что соприкосновения между ними нет, но зазор очень мал. Трения в этом случае не будет, но некоторая утечка пара останется. Утечка эта будет тем меньше, чем меньше зазор и чем длиннее втулка. Втулка с внутренней стороны и вал с наружной снабжены кольцевыми гребенчатыми выступами

(гребнями), имеющими такую высоту и расположение, что выступы втулки почти касаются вала, а выступы вала почти касаются втулки. Гребни могут иметь различные профили, но выбирают их так, чтобы пар, двигаясь из области высокого давления в область меньшего давления, проходил поочередно через узкие щели и через камеры большого размера, двигаясь зигзагообразно. При этом происходит следующее явление: при проходе сквозь первую щель пар теряет часть давления и приобретает некоторую скорость (щель играет роль сопла); попадая в широкую камеру за щелью, он теряет приобретенную скорость и подходит к следующей щели с малой скоростью - в камере кинетическая энергия струи превращается в тепловую.



### Ступенчатое уплотнение

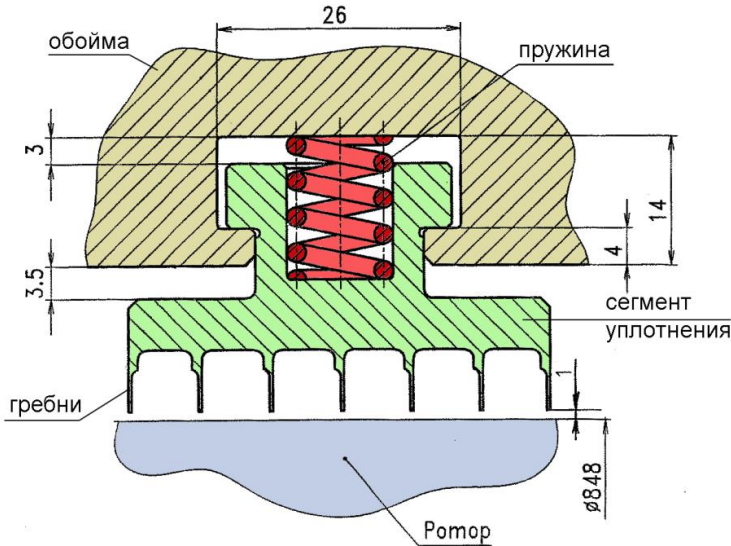
То же самое происходит и в следующих щелях лабиринта, и в конечном результате давление пара постепенно падает до наружного давления. Расход пара через лабиринтовое уплотнение определяется тем перепадом давлений, который приходится на одну щель, а он составляет небольшую долю общего перепада давлений. Это и обеспечивает небольшую утечку. С увеличением числа гребней лабиринта уменьшается утечка пара, так как перепад давлений, приходящийся на каждую щель, уменьшается, следовательно, уменьшается и скорость протекания пара. Лабиринтовое уплотнение работает без трения, так как вращающиеся и неподвижные части не касаются друг друга. При случайном соприкосновении с валом гребешки лабиринтовых выступов должны быстро срабатываться или отгибаться, не вызывая нагревания вала.

Для того чтобы при пуске обеспечить малый износ гребней при случайных задеваниях сегменты делают податливыми в радиальном направлении. Для этого устанавливают пружины, которые, с одной стороны, обеспечивают податливость сегментов в направлении от вала при задеваниях, а с другой — гарантию малых зазоров.

Лабиринтные уплотнения делят на ступенчатые и прямоточные. Если вал выполняется гладким, без канавок (ступеней), а гребни располагаются только на статоре, то такое уплотнение называют *прямоточным*.

Эффективность данного уплотнения ниже, чем ступенчатого. Прямоточные уплотнения применяют, если перемещения ротора относительно статора велики, а перепад давлений на уплотнении мал (ЦНД).

Концевые уплотнения ЦВД ступенчатые, уплотнительные сегменты установлены в обоймах уплотнений. Концевые уплотнения ЦНД – прямооточного типа, съёмные, с компенсирующими устройствами, уплотнительные сегменты установлены в обоймах концевых уплотнений.



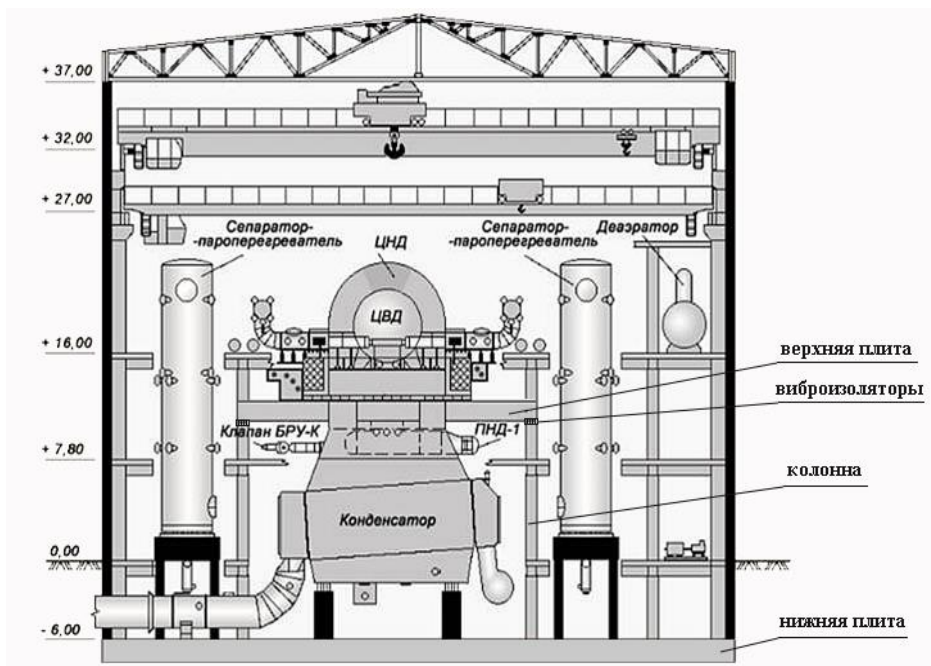
### Прямоточное уплотнение

К уплотнениям предъявляется целый ряд требований. Прежде всего, они должны обеспечивать минимум утечки пара. Для этого зазоры в уплотнениях должны быть минимально допустимыми из соображений невозможности задеваний. Радиальные зазоры в концевых уплотнениях составляют 0,75 мм. При задеваниях происходит срабатывание гребешков уплотнений с последующей потерей экономичности. Утечка пара также определяется числом гребешков: она обратно пропорциональна квадратному корню из их числа. Поэтому число уплотняющих гребешков стремятся увеличить, однако оно определяется и другими факторами. Случайные задевания, возникающие, в частности, при развороте турбины, когда ее валопровод проходит критические частоты вращения, не должны приводить к их сильному износу или сильному разогреву вала. Уплотнения должны быть ремонтпригодными и легко заменяться в условиях электростанции. Уплотнения должны быть виброустойчивыми. При протекании через них пара не должны возникать аэродинамические силы, возбуждающие колебания ротора.

### 1.1.13 Фундамент

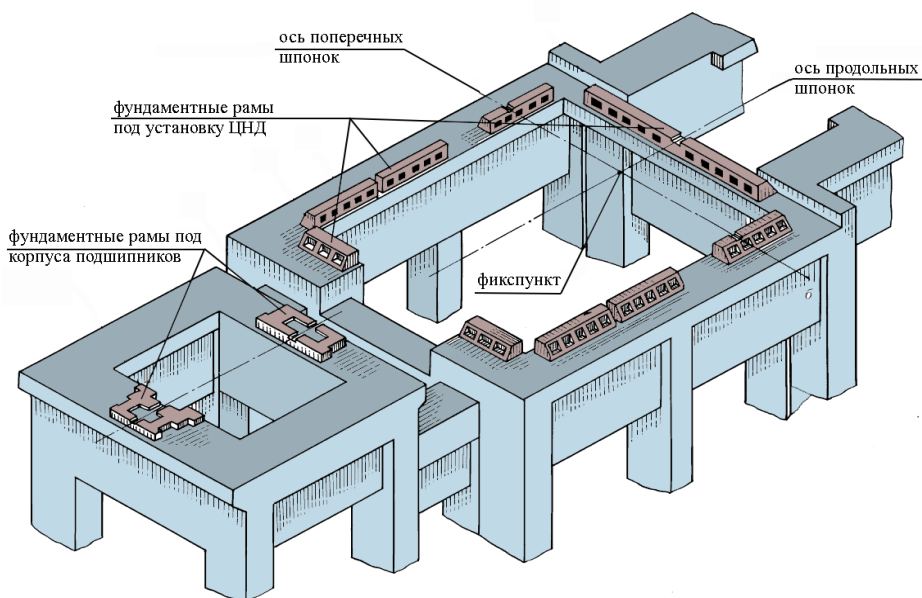
Турбоагрегат устанавливают на специальное строение, называемое фундаментом. Фундамент служит двум целям:

- обеспечить во всех режимах работы такое положение корпусов подшипников и цилиндров турбины, при котором не возникает интенсивных вибраций;
- помочь компактно разместить все основное и вспомогательное оборудование турбоустановки и сократить затраты на строительство здания электростанции.



**Устройство фундамента**

Фундамент рамной конструкции состоит из верхней и нижней фундаментных плит, связанных вертикальными колоннами. Верхняя фундаментная плита образована продольными и поперечными балками, называемыми ригелями. Нижняя фундаментная плита, достигающая толщины 3 метра, кладется на специально подготовленное грунтовое основание. Она исключает деформацию фундамента при его неравномерной осадке на грунте.



### **Верхняя фундаментная плита с колоннами и рамами**

На фундамент действуют значительные нагрузки от веса оборудования, установленного на нем, от сил трения, вызванных расширением турбины по фундаментным рамам, и от вибрации.

При достаточной жесткости всех элементов фундамента плита не будет деформироваться, исключая неоднородность смещений опор турбоагрегата и появления вибрации, и приводить к быстрому износу подшипников и уплотнений.

Турбоагрегат устанавливается на фундаментные рамы, которые с помощью подливки бетоном и специальных фундаментных болтов закрепляются в верхней фундаментной плите. Все фундаментные рамы закрепляют в верхней фундаментной плите таким образом, чтобы их верхние поверхности лежали в одной плоскости.



**Фундаментная рама**



### Виброизоляторы

Виброизолятор предназначен для восприятия статических, динамических, сейсмических и аварийных нагрузок в системе виброизоляции верхней плиты фундамента турбоагрегата. Виброизолятор состоит из пакетов пружин, установленных между двумя сварными металлическими основаниями. Рабочая грузоподъемность (нагрузка) обеспечивается набором необходимого количества пружин. Высота виброизолятора регулируется стяжными болтами, установленными по углам оснований.

Перед пуском турбоагрегата необходимо убедиться в том, что все стяжные болты предварительного натяжения находятся в свободном состоянии и фундамент полностью опирается на виброизоляторы.

#### 1.1.14 Вибрация

*Вибрацией* (колебаниями) тела называют его небольшие периодические перемещения относительно положения равновесия. Когда говорят о вибрации турбоагрегата, то имеют в виду колебания системы, состоящей из собственно турбоагрегата и его фундамента. Непосредственным источником колебаний является валопровод турбины, который, вращаясь на масляной пленке подшипников, передает через нее усилия на вкладыши подшипников и их корпуса. В свою очередь вибрирующие корпуса подшипников и связанные с ними корпуса цилиндров возбуждают вибрацию верхней фундаментной плиты, а та - вибрацию колонн и нижней фундаментной плиты.

Вибрация турбоагрегата происходит во всех трех направлениях. Поэтому ее измеряют на всех корпусах подшипников в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-

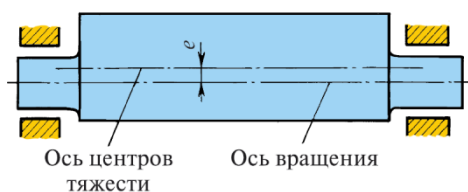
поперечном и горизонтально-осевом по отношению к оси вала турбоагрегата.

Если построить амплитудно-частотную характеристику, то выяснится, что она имеет вид синусоиды с частотой, совпадающей с частотой вращения ротора. Такую вибрацию называют *вибрацией оборотной частоты*.

Вибрация оборотной частоты возникает из-за несовпадения центров тяжести отдельных сечений валопровода с осью вращения. Такое несовпадение обычно возникает по двум основным причинам:

- из-за несовпадения линии центров тяжести отдельных сечений с линией геометрических центров этих же сечений;
- из-за смещения отдельных, даже уравновешенных сечений целиком относительно оси вращения (например, вследствие изгиба вала).

Неуравновешенность ротора является одной из основных причин вибрации. Она может возникать на стадиях изготовления, монтажа и сборки, а также в процессе эксплуатации. Небаланс, получаемый на стадии изготовления, обычно связан с недостаточной балансировкой ротора. Аналогичный небаланс возникает и при ремонтах турбины, когда замена отдельных поврежденных лопаток, бандажей и других деталей приводит к нарушению уравновешенности. Особенно часты случаи появления вибрации при недостаточно внимательной эксплуатации. Обычно причиной появления неуравновешенности на работающей турбине является обрыв рабочих лопаток, бандажей и проволок.



Неуравновешенность

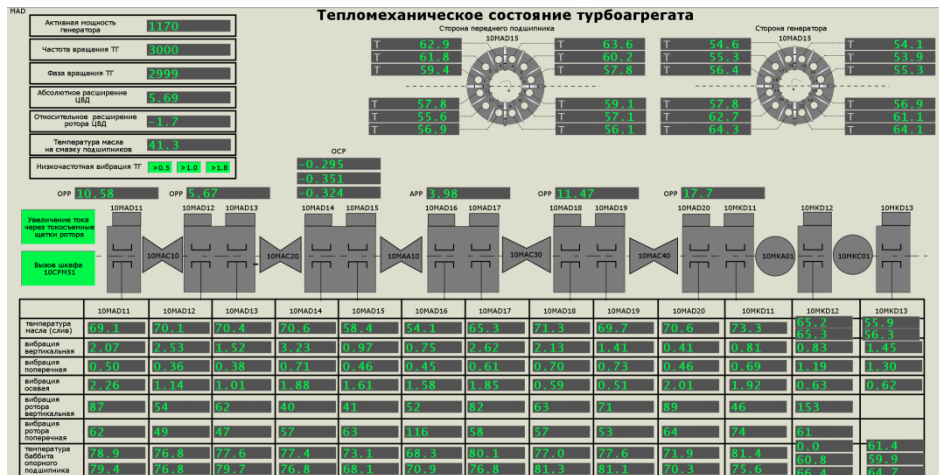
Вибрация оборотной частоты, вызванная неуравновешенностью вала, имеет характерные особенности, позволяющие отличить ее от вибрации, вызванной другими причинами. Прежде всего, она имеет синусоидальный характер, и ее интенсивность растет с увеличением частоты вращения. Для ликвидации вибрации, вызванной неуравновешенностью роторов, необходима балансировка.

При вибрации вал вращается в прогнутом состоянии и, если этот прогиб чрезмерен, возникают задевания вращающихся деталей о неподвижные. Даже при небольших задеваниях происходит износ

уплотнений, увеличение радиальных зазоров, и как следствие — снижение экономичности. Если же задевания значительны, то возникающая вибрация может потребовать аварийной остановки турбины, а в ее конструкции могут произойти остаточные изменения, например, постоянный изгиб вала. Большую опасность представляет вибрация для электрического генератора, так как она может привести к смещениям электрических обмоток, коротким замыканиям и другим повреждениям. Повышенная вибрация приводит к задеваниям шеек вала о баббитовую заливку подшипника и ее износу. При вибрации происходит ослабление связей отдельных деталей: половин вкладышей и их обойм, крышек подшипников и нижних половин их корпусов, корпусов подшипников и фундаментной плиты. Если фундамент недостаточно гасит передающиеся на него вибрации, то вибрация нижней фундаментной плиты приводит к неравномерной осадке фундамента, перекосам отдельных зон верхней фундаментной плиты, взаимному вертикальному смещению опор и как следствие — к расцентровке валопровода и прогрессирующему нарастанию вибрации.

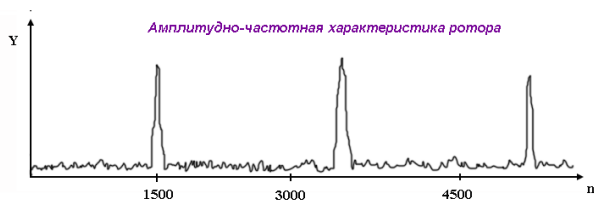
Допускается длительная работа турбоагрегата при виброскорости опор, не превышающей 4,5 мм/с. При величине вибрации подшипниковых опор в пределах от 4,5 до 7,1 мм/с допускается работа в течение не более 30 суток, при вибрации в пределах от 7,1 до 11,2 мм/с — не более 7 суток. При вибрации свыше 11,2 мм/с работа турбоагрегата не допускается.

Контроль вибрационного состояния осуществляется с видеокadra СВБУ МАД.



Видеокادر СВБУ МАД

Появляющийся при вращении прогиб валопровода зависит, прежде всего, от частоты его вращения: при постепенном и медленном увеличении частоты вращения прогиб медленно увеличивается, затем резко возрастает, достигая максимума, и снова быстро убывает практически до нуля. Частота вращения, при которой наблюдается резкий всплеск динамического прогиба вала, называется *критической*, или *резонансной*.



Теоретически ротор реального турбоагрегата имеет бесчисленное количество критических частот, с которыми не должна совпадать рабочая частота вращения.

Если в процессе выхода на рабочую частоту ротор турбоагрегата не проходит критических частот, то такой ротор называют *жестким*. Если же рабочая частота вращения больше хотя бы одной из критических скоростей, как в случае с турбиной К-1200-6,8/50, то такой ротор называют *гибким*.

Ротор	РГ	РНД1	РНД4	РНД2	РНД3	РГ	РВД	РНД1
Критические числа оборотов, об/мин	621	1368	1382	1457	1470	1716	1835	3622

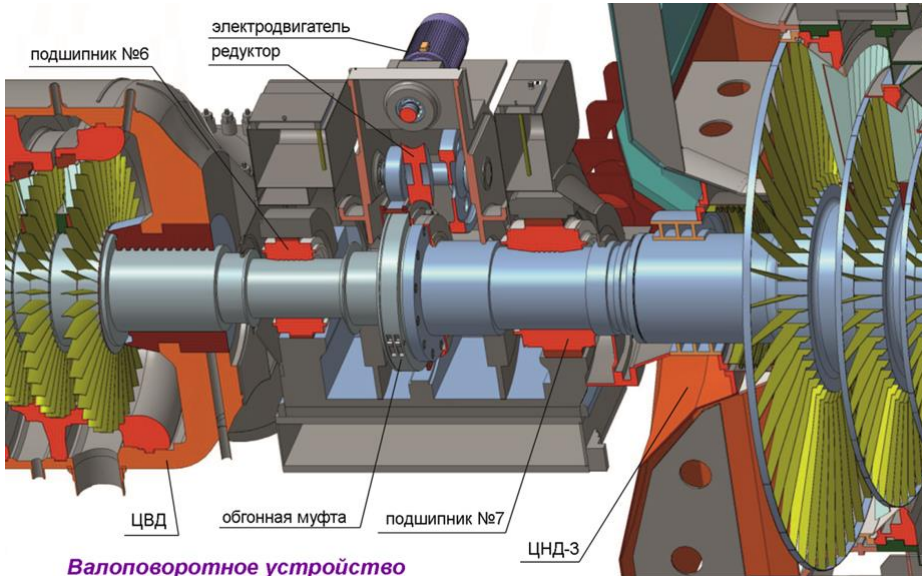
Эти названия связаны с тем, что чем выше жесткость конструкции ротора (больше диаметр его вала и меньше длина), тем большую критическую частоту вращения он имеет. Жесткий ротор, конечно, всегда предпочтительнее, но в современных конструкциях диаметр ротора и его масса (с увеличением и того, и другого критическая частота уменьшается) столь велики, что жесткие роторы мощных турбин встречаются очень редко.

*Низкочастотной* вибрацией называют вибрацию турбоагрегата с частотой, близкой к половине частоты вращения. Причина появления низкочастотной вибрации коренным образом отличается от причин вибрации оборотной частоты. Последняя возникает при появлении сил неуравновешенности и исчезает вместе с их исчезновением. *Низкочастотная вибрация возникает в случае потери устойчивости вращения вала на масляной пленке подшипника.* При низкочастотной вибрации случайно появившиеся отклонения вала от состояния устойчивого вращения вызывают появление сил, которые поддерживают эти отклонения и даже усиливают их, не-

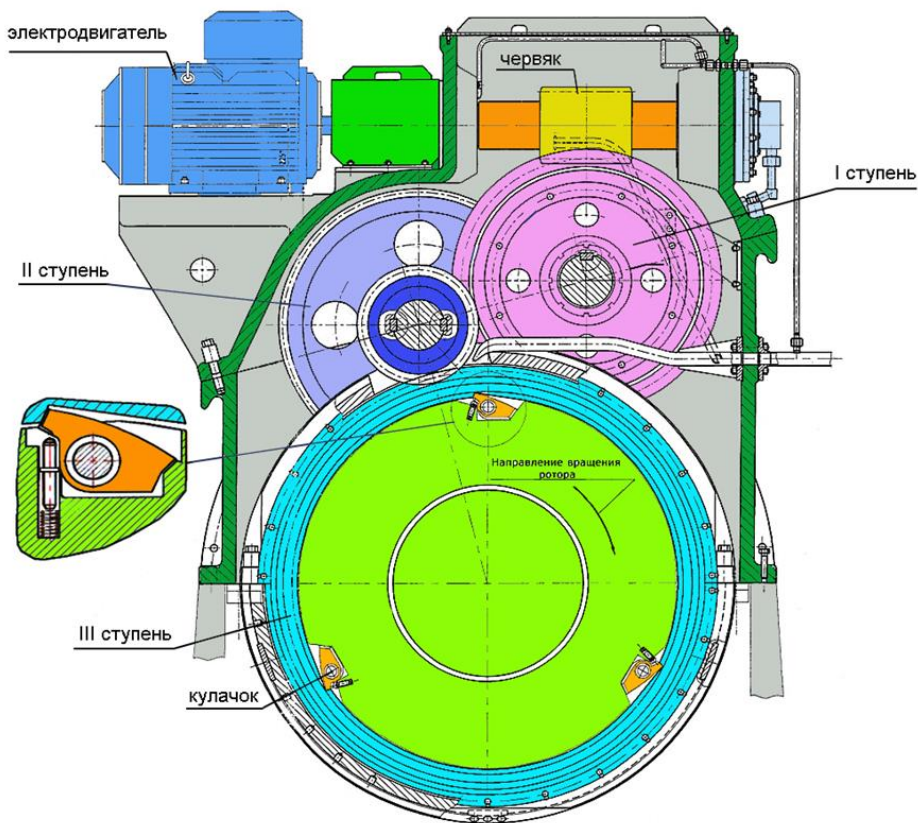
смотря на то, что случайная сила, вызвавшая отклонения от положения равновесия, исчезла. Такой вид колебаний в технике называется самоподдерживающимися колебаниями, или автоколебаниями. Таким образом, всякий конкретный уравновешенный валопровод при некоторых условиях работает спокойно, без вибрации, а при некоторых внезапно теряет устойчивость вращения с возникновением интенсивных колебаний. Возможность потери устойчивости вращения в первую очередь определяется конструкцией ротора и его вибрационными характеристиками. Жесткие роторы практически не подвержены низкочастотной вибрации. Роторы турбины К-1200-6,8/50 имеют первую критическую скорость, примерно равную половинной частоте вращения. В этом случае возникающая низкочастотная вибрация обычно весьма интенсивна.

Причиной появления сил, приводящих к низкочастотной вибрации, является различие упругих свойств масляной пленки, на которой вращается ротор, в горизонтальном и вертикальном направлениях. Неодинаковость упругих свойств масляной пленки в разных направлениях приводит к тому, что при случайных смещениях шейки вала в каком-нибудь направлении появляется самоподдерживающаяся циркуляционная сила, создающая непрерывную прецессию вала. Низкочастотная масляная вибрация возникает лишь при определенных условиях. Дело в том, что масляная пленка обладает не только упругими свойствами, которые способствуют возникновению низкочастотной вибрации, но и свойствами гашения вибрации за счет сил трения (демпфирующими свойствами), возникающих при взаимном смещении отдельных слоев масла в пленке относительно друг друга. Возникнет или не возникнет низкочастотная вибрация — зависит от конкретного сочетания упругих и демпфирующих свойств в конкретном подшипнике и при конкретных условиях работы. Заметное влияние на возникновение низкочастотной вибрации оказывает температура масла, которая определяет его вязкость. Чем ниже температура масла, тем больше его вязкость, больше всплытие шейки вала и вероятнее потеря устойчивости вращения. Поэтому, чем выше температура масла, тем это лучше с точки зрения устойчивости ротора. Однако высокая температура масла приводит к снижению несущей способности масляной пленки и ее демпфирующих свойств, вызывает износ вкладыша и приводит к преждевременному старению масла. Поэтому устанавливается узкий диапазон изменения допустимых значений температуры масла на входе в подшипник. При появлении низкочастотной вибрации с уровнем, превышающем 0,5 мм/с, должны быть приняты меры по ее устранению.

### 1.1.15 Валооборотное устройство МАК



Валооборотное устройство предназначено для медленного вращения ротора турбины, исключая его изгиб из-за температурной неравномерности по сечению, появления вибрации и задеваний вращающихся деталей о неподвижные. Необходимость в работе валооборотного устройства возникает при пуске и останове. Перед пуском турбины для создания внутри нее и в конденсаторе разрежения на концевые уплотнения подается пар и включается отсос воздуха. Если уплотняющий пар подать в турбину с неподвижным ротором, то температура его поверхности по окружности станет различной. Соответствующим образом будет изменяться температурное удлинение его отдельных продольных волокон, и в результате ротор изогнется. При вращении это может привести к вибрации, выборке радиальных зазоров и задеваниям с тяжелыми последствиями. При остановке турбины горячий ротор снизу будет остывать быстрее, чем сверху, и в результате также возникнет изгиб ротора. Для исключения этих явлений используется валооборотное устройство, представляющее собой электродвигатель и понижающий редуктор, приводящий ротор с частотой вращения 1,05 об/мин. Валооборотное устройство установлено на крышке корпуса подшипников № 6 и 7.



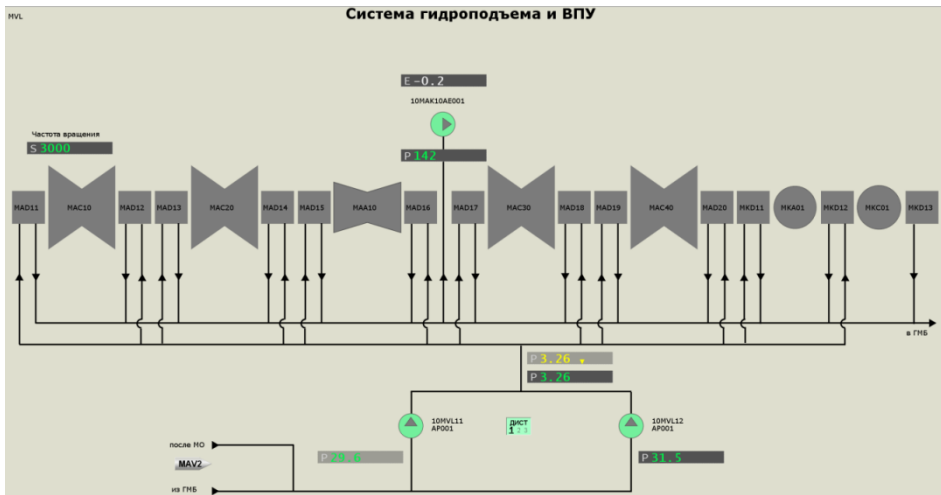
### *Валоповоротное устройство*

Для передачи крутящего момента от ВПУ к валопроводу турбины на полумуфте ротора ЦВД смонтировано храповое устройство, состоящее из подвижных кулачков. При стоящем валопроводе турбины кулачки под действием пружин отжимаются к внутренней поверхности расточки зубчатого колеса ВПУ и входят с ним в зацепление. Включение электродвигателя ВПУ приводит зубчатое колесо ВПУ и валопровод турбины во вращение. При пуске турбины, когда частота вращения ротора превысит частоту вращения зубчатого колеса ВПУ, кулачки храпового устройства вначале проскальзывают относительно зубцов зубчатого колеса, а при дальнейшем повышении частоты вращения ротора турбины кулачки под действием центробежных сил разворачиваются и утопают в своих гнездах заподлицо с наружной поверхностью полумуфты РВД.

Во время останова турбины при уменьшении частоты вращения ротора турбины кулачки выступают из своих гнезд и в тот момент, ко-

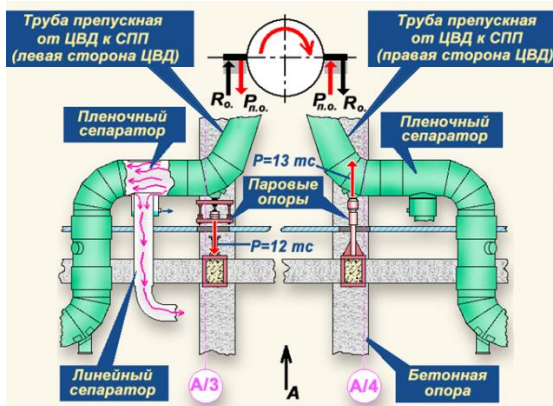
гда частоты вращений валопровода турбины и зубчатого колеса ВПУ сравниваются, т.е. при 1,05 об/мин, кулачки храпового устройства перестают проскальзывать, и фиксируются в пазах зубчатого колеса ВПУ. С этого момента ВПУ начинает вращать ротор турбины. Таким образом, сцепление и расцепление ВПУ выполнено по пассивному принципу, и не требует подачи каких-либо сигналов или источников энергии.

Контроль работы ВПУ осуществляется с видеокадра СВБУ MVL.



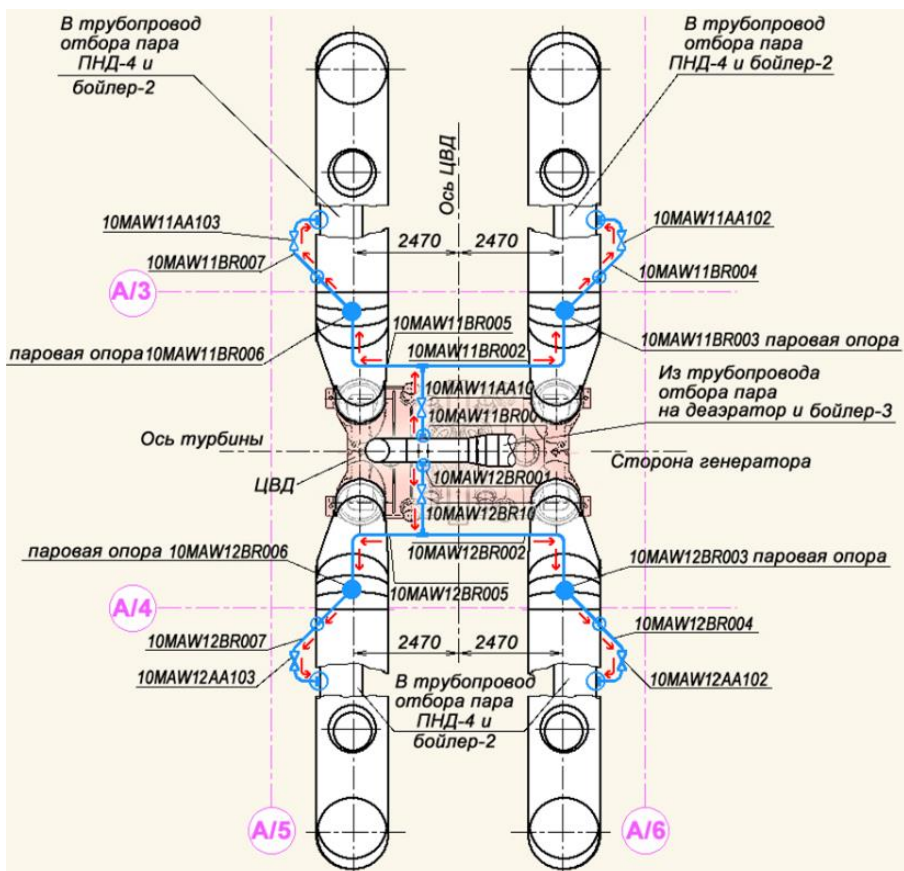
Видеокадр СВБУ MVL

### 1.1.16 Паровые опоры MAW



Паровые опоры

При вращении ротора турбоагрегата возникает реактивный момент  $R_o$ , стремящийся опрокинуть турбину. Для компенсации момента на трубопроводах перепускных труб из ЦВД в СПП установлены паровые опоры, представляющие собой поршневые устройства. В качестве рабочего тела используется пар III отбора.

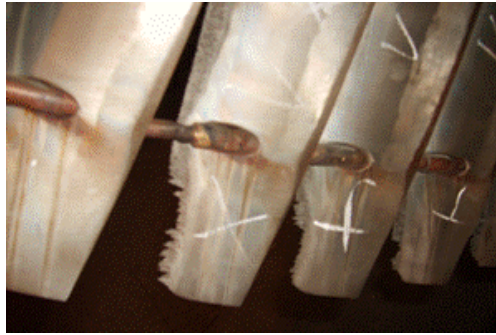
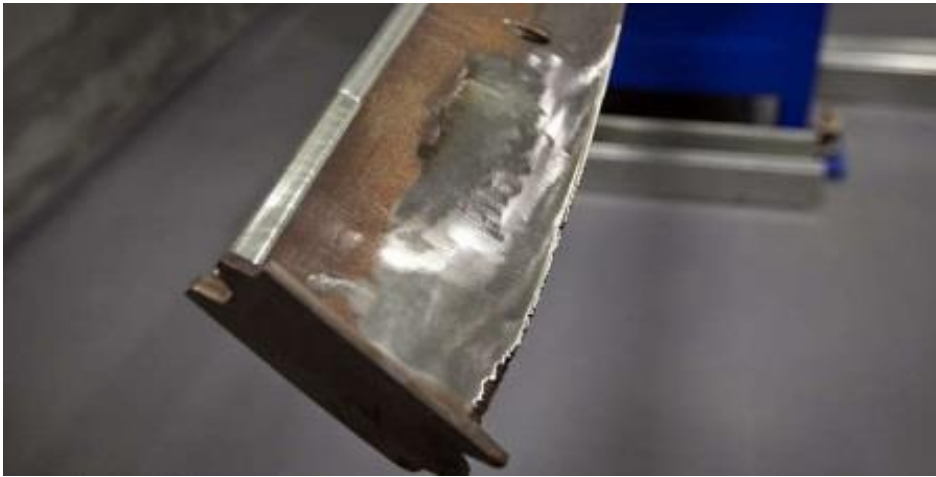


Подача пара на паровые опоры

### 1.1.17 Защита от влаги

Все ступени турбины, кроме первых двух ступеней ЦНД, работают на влажном паре. Влага присутствует в потоке пара в виде тумана, капель и пленок, движущихся по поверхностям подвижных и неподвижных элементов проточной части, и срывающихся в виде струй и капель. Капли влаги приводят к торможению потока пара, снижая внутренний относительный КПД турбины, и вызывают эрозионный износ проточной части.

Эрозионный износ рабочих лопаток при ударах капель влаги о поверхность входных кромок проявляется вначале в появлении шероховатости, затем на поверхности образуются углубления, кратеры, язвы, искажается форма профиля лопаток.

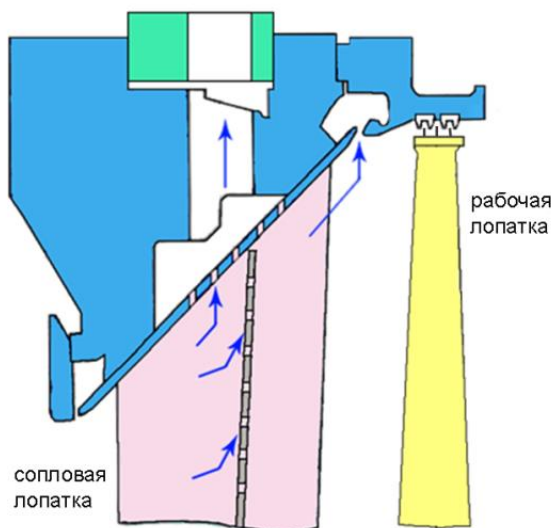


### *Эрозия входных кромок лопаток*

Механизм эрозионного износа связан в основном с усталостным разрушением материала лопаток вследствие высоких механических напряжений, которые возникают при ударе капли о поверхность лопатки. Кроме того, на эрозионный процесс могут оказывать влияние коррозия металла, кавитация и т.п.

Для защиты рабочих лопаток от эрозионного разрушения используются следующие способы:

- 1) снижение влажности пара на выходе из турбины, которое достигается применением промежуточного перегрева пара;
- 2) применение различных влагоулавливающих устройств в проточной части турбины (внутриканальная сепарация, влагоулавливающие устройства на периферии ступени и т.п.);
- 3) применение эрозионно-стойких материалов, упрочнение поверхности лопаток, использование защитных покрытий.



Внутриканальная сепарация

*Внутриканальная сепарация* – способ, при котором влага, концентрирующаяся на поверхностях лопаточного аппарата турбины за счет сепарации капель в криволинейных каналах решетки, отводится через специальные щели. Внутриканальную сепарацию выполняют в сопловых лопатках. Щели, через которые отсасывается пленка, соединяют с областью низкого давления.

В турбине влагоудаление организовано как в ЦНД, так и в ЦВД. Наибольшее распространение получили способы удаления влаги из межвенцового зазора и за рабочими лопатками. В первом случае отсос влаги происходит за счет отклонения к периферии проточной части капель, находящихся во вращающемся потоке, вследствие закрутки последнего. Влага отводится в камеру над сопловыми лопатками, а оттуда по специально организованным каналам попадает в камеры отвода влаги, в качестве которых используются камеры регенеративных отборов.

Во втором случае удаление влаги происходит под действием инерционных сил, отбрасывающих капли влаги к периферии.

Длина рабочих лопаток последней ступени ЦНД - 1200 мм. В целях дополнительного повышения эрозионной надежности упрочняется поверхность пера лопатки и бандаж методом ионной имплантации и напылением нитрида титана.

В последней ступени ЦНД реализованы повышенный теплоперепад, увеличенные осевые зазоры и внутриканальная сепарация влаги.

Для более эффективного удаления крупнодисперсной влаги из проточной части предусматривается выполнение бандажей наклонными.

### 1.1.18 Быстроходные и тихоходные турбины.

Турбины насыщенного пара для АЭС делаются по быстроходной технологии на 3000 об/мин и тихоходной на 1500 об/мин (3600 и 1800 соответственно для сетей с частотой 60 Гц). В настоящее время на АЭС доминируют тихоходные турбины. Быстроходные турбоагрегаты на атомных станциях в большей мере характерны для реакторов средней и малой мощности.

Тихоходные турбоагрегаты имеют бóльшие, чем у быстроходных, габариты, массу и, соответственно, материалоемкость. Суммарно, с учетом металлоемкости турбины, затрат на фундамент и конструктивные элементы, это ведет к увеличению стоимости машинного зала тихоходной турбины на ~ 20% по сравнению с аналогичным решением для быстроходной.

Турбина	Частота	Длина	Ширина	Масса
К-1200-6,8/50	3000	53 м	8 м	2540 т
К-1200-6,8/25	1500	42,7 м	13 м	3250 т

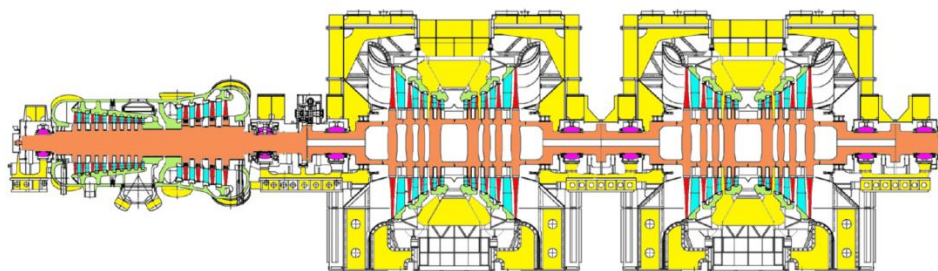
Преимущество тихоходной турбины заключается в возможности значительного увеличения торцевой площади выхлопа турбины, благодаря чему уменьшается количество ЦНД и снижаются потери с выходной скоростью. Поэтому при одинаковых значениях пара на входе в паровую турбину и значениях вакуума в конденсаторе турбины в тихоходном исполнении имеют тепловую экономичность выше, чем быстроходные.

Кроме того, тихоходная концепция упрощает задачу увеличения мощности турбины: для нее характерны меньшие нагрузки на ротор, лопатки и прочие элементы, более умеренные требования к виброустойчивости и балансированию, меньшая эрозия рабочих лопаток и так далее. По мере увеличения мощности паропроизводящих установок возникают все большие технические проблемы создания для них турбогенераторов. В частности, для получения приемлемой эффективности при возрастании мощности турбины необходимо увеличение общей площади рабочих лопаток, особенно в ЦНД, что достигается увеличением числа ступеней цилиндров низкого давления и длины лопаток последней ступени. Это приводит к увеличению габаритов турбоагрегата и усложняет обслуживание. Увеличение длины лопаток последних ступеней низкого давления ограничено возможностями материалов – их способностью выдерживать возникающие при этом линейные скорости, сопоставимые со скоростью пули (свыше 500 м/с для тихоходных и порядка 800

м/с для быстроходных турбин), в сочетании с нагрузками, колебаниями и температурой. Причем небольшая прибавка частоты вращения может дать гораздо больший прирост в технических проблемах и стоимости. Достаточно сказать, что при переходе от частоты в 3000 об/мин к 3600 об/мин центробежная нагрузка на лопатки последних венцов увеличивается при прочих равных условиях почти в 1,5 раза. С учетом нагрузок лопатки последней ступени быстроходных турбин изготавливаются из титановых сплавов, которые гораздо дороже хромистой стали и других высокопрочных сплавов, обычно используемых для изготовления лопаток тихоходных турбин.

При сегодняшнем уровне технологий турбины на 3600 об/мин имеют максимальную мощность порядка 1000 МВт (такие используются в тепловой энергетике), конструкции на 3000 об/мин – до 1200 МВт, турбины с 1800 об/мин – порядка 1550 МВт, турбины на 1500 об/мин могут достигать мощности в 1900 МВт. Крупнейшие в мире действующие паровые турбины атомных станций имеют мощность 1550 МВт (Alstom) на АЭС «Шуз» во Франции и 1500 МВт (Siemens) на АЭС «Исар» в Германии. Кроме того, для блока № 3 АЭС «Олкилуото» в Финляндии строится крупнейший из поставленных до сих пор турбоагрегатов Siemens мощностью 1720 МВт с высотой лопаток последней ступени 1830 мм.

В конце 2012 года «Силовые машины» завершили строительство под Санкт-Петербургом нового завода по производству турбин, который может выпускать разработанную компанией концептуальную тихоходную турбоустановку К-1200-6,8/25. Тепловая схема этого агрегата унифицирована с быстроходной турбиной К-1200-6,8/50.



### *Тихоходная паровая турбина К-1200-6,8/25*

Конфигурация турбины включает ЦВСД (девятиступенчатая часть высокого давления и четырехступенчатая часть среднего давления)

и два симметричных двухпоточных пятиступенчатых ЦНД с длиной лопаток 1760 мм. Сепарация и промперегрев осуществляются между частями высокого и среднего давления. Заявленный КПД превышает 37%. В проекте «Силовых машин» предусмотрена возможность создания турбины увеличенной мощностью до ~ 1700 МВт за счет добавления третьего ЦНД, аналогичного применяемым в модели на 1200 МВт.

Наибольшие экономические стимулы для развития тихоходных турбинных технологий возникают при значительном увеличении единичной мощности энергоблоков. В случаях, когда мощность составляет 1000-1200 МВт, быстроходные турбины наиболее конкурентоспособны.

### 1.1.19 Основные технические характеристики турбины

Основные технические характеристики	Значение
тип	К-1200-6,8/50
конструктивная схема турбины	ЦВД + 4 ЦНД
количество цилиндров	5
количество ступеней ЦВД	6×2
количество ступеней в каждом ЦНД	5×2
тип парораспределения	дрессельное
количество регенеративных отборов пара	7
структурная формула системы регенерации	4ПНД+Д+2ПВД
дополнительные отборы пара сверх отборов на регенерацию:	
- на ТФУ, т/ч	42
- на РУ-УПТ, т/ч	2,2
расход добавка химобессоленной воды в конденсаторы для восполнения потерь пара и конденсата, максимальный, т/ч	104,2
номинальная мощность (при номинальной тепловой мощности ЯППУ – 3212 МВт ( $N_{ру} = 100\%$ )), МВт	1195,4
номинальная частота вращения ротора турбины, об/мин	3000
направление вращения ротора турбины, если смотреть со стороны регулятора	по часовой стрелке
частота вращения ротора турбины на ВПУ, об/мин	1,05
номинальный массовый расход свежего пара, включая греущий пар СПП, т/ч	6461,5
номинальный расход свежего на турбину, т/ч	6162
номинальное давление на входе в СКВД, МПа	6,8
номинальная температура на входе в СКВД, °С	283,8

<b>Основные технические характеристики</b>	<b>Значение</b>
номинальная степень сухости (относительная влажность) пара перед СКВД	0,995 (X=0,5 %)
номинальное давление пара на выходе из ЦВД, МПа	0,58
номинальное давление пара после СПП, МПа	0,552
температура пара после СПП, °С	270,5
параметры греющего пара СПП:	
а) для 1 ступени СПП:	
- давление греющего пара, МПа	2,73
- относительная влажность, %	9,1
б) для 2 ступени СПП:	
- давление греющего пара, МПа	6,56
- относительная влажность, %	0,69
номинальная степень сухости (относительная влажность) пара после сепарационной части СПП	0,995 (X=0,5 %)
температура питательной воды после точки смешения с конденсатом греющего пара СПП:	
- при включенных ПВД, °С	227,0
- при отключенных ПВД, °С	181,0
расчетная температура охлаждающей воды, °С	20
максимальная температура охлаждающей воды, °С	33
минимальная температура охлаждающей воды, °С	5
расход охлаждающей воды на конденсаторы турбины, м <sup>3</sup> /ч	143680
расчетное абсолютное давление пара в конденсаторе при расчетной температуре охлаждающей воды (20 °С) и расходе (на обе группы конденсаторов) 143680 м <sup>3</sup> /ч, кПа:	
- в первом корпусе по ходу воды	4,31
- во втором корпусе по ходу воды	5,98
- усредненное по корпусам	5,15
нагрев охлаждающей воды в конденсаторах турбины при расчетных параметрах, °С	12
диапазон регулирования мощности при длительной работе турбоагрегата, %	20-100
масса наиболее тяжелых частей турбины:	
- верхняя половина ЦНД в собранном виде, не более, т	85
- ротор низкого давления с облопачиванием, не более, т	80
общая масса турбины (без конденсаторов, вспомогательного оборудования и трубопроводов), не более, т	2540
отметка площадки обслуживания турбоагрегата, м	16,00
срок службы турбины (за исключением быстроизнашивающихся деталей), не менее, лет	50

## 1.2 Конденсатор МАG

### 1.2.1 Назначение

Система конденсаторов турбины МАG предназначена для:

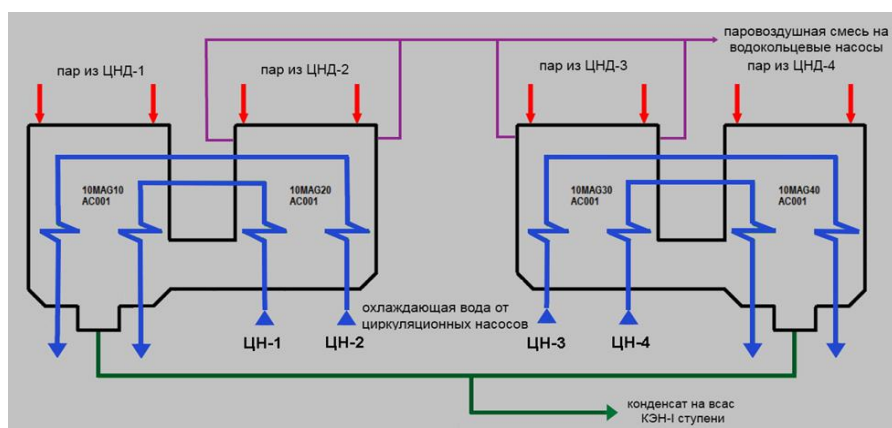
- конденсации отработавшего в турбине пара;
- приема нормального добавка подпиточной воды;
- первичной деаэрации конденсата и добавка;
- выделения зон с максимальным парциальным давлением воздуха для отсоса неконденсирующихся газов;
- приема дренажей и неконденсирующихся газов из системы регенерации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

### 1.2.2 Принцип работы

Конденсатор имеет два назначения:

- 1) создать и поддерживать определенное давление (вакуум) у выпускного патрубка турбины;
- 2) превращать в воду (конденсат) отработавший в турбине пар для дальнейшего возвращения в парогенераторы.

Термический КПД паротурбинной установки тем выше, чем выше начальные параметры пара, и чем ниже конечные. Параметры пара в парогенераторе (начальные) ограничиваются температурой I контура. Поэтому одним из основных способов достижения высокого термического КПД паротурбинной установки является понижение параметров пара за турбиной.



*Упрощенная технологическая схема конденсатора*

С понижением давления и температуры отработавшего в турбине пара уменьшается количество теплоты, передаваемой холодному источнику (циркуводе), что, как известно из термодинамики, при неизменных параметрах свежего пара повышает мощность турбины (за счет увеличения теплоперепада на ней) и экономичность цикла в целом.

Пар, отработавший в турбине, направляется в конденсатор, представляющий собой горизонтальный теплообменный аппарат поверхностного типа. Происходит конденсация за счет отвода от 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.

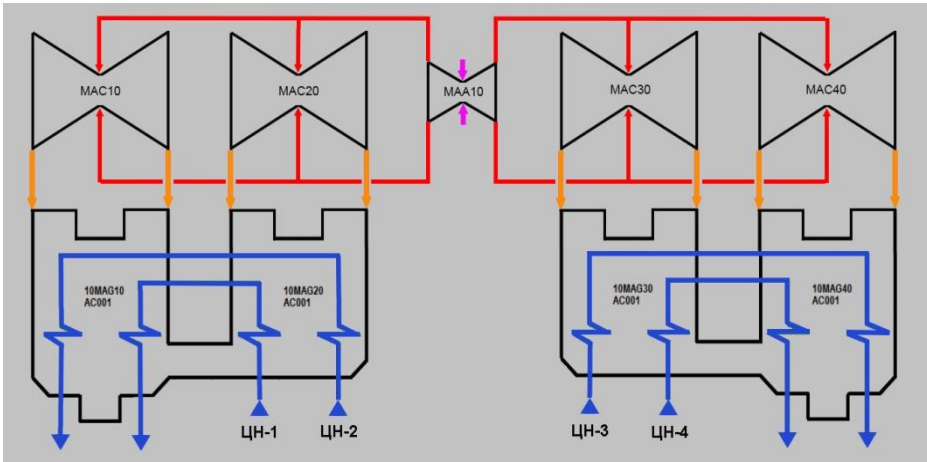
### 1.2.3 Описание технологической схемы



Конденсаторы турбины К-1200-6,6/50

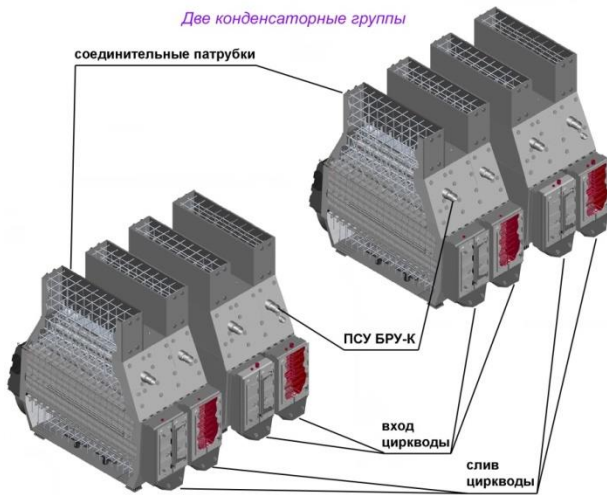
Система главных конденсаторов турбины состоит из четырех (по числу цилиндров низкого давления) двухпоточных, одноходовых по охлаждающей воде конденсаторов подвального типа с расположением конденсаторных трубок поперечно относительно оси турбины. Нумерация корпусов конденсаторов соответствует нумерации цилиндров низкого давления.

Конденсаторы объединены в две конденсаторные группы (по два конденсатора в каждой группе вдоль вала турбоагрегата - до и после ЦВД). Охлаждающая вода подводится к каждой из двух конденсаторных групп двумя трубопроводами. Отвод охлаждающей воды осуществляется также двумя трубопроводами.



**Упрощенная технологическая схема конденсатора**

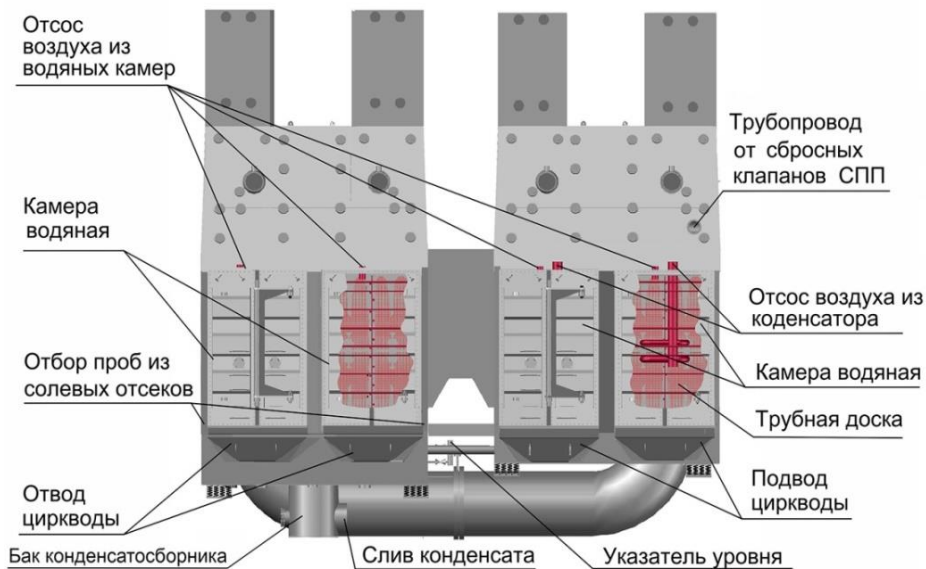
Первая конденсаторная группа включает в себя корпуса конденсаторов № 1 и 2, охлаждающая вода подается двумя циркуляционными насосами в два трубных пучка конденсатора № 2 и по перепускному патрубку и поворотной камере поступает в корпус конденсатора №1. Каждый циркуляционный насос работает на свой трубный пучок конденсаторов № 1 и 2, поэтому при отключении насоса конденсаторная группа имеет один ход охлаждающей воды в корпусах конденсаторов № 1 и 2. Вторая конденсаторная группа включает в себя конденсаторы № 3 и 4. Вход охлаждающей воды организован в конденсатор № 3.



В каждой конденсаторной группе охлаждающая вода проходит двумя потоками, позволяющими работать турбине при отключении одного из них для чистки конденсаторных трубок, то есть одновременно может быть отключено два циркуляционных насоса, по одному в каждой конденсаторной группе. При отключении одного циркуляционного насоса блок

позволяющими работать турбине при отключении одного из них для чистки конденсаторных трубок, то есть одновременно может быть отключено два циркуляционных насоса, по одному в каждой конденсаторной группе. При отключении одного циркуляционного насоса блок

автоматически разгружается до 80% от номинальной мощности, при отключении двух – до 60%. При этом нагрузка турбины определяется допустимым давлением в конденсаторе (менее 12 кПа), вторичным показателем служит температура пара на выхлопе ЦНД.

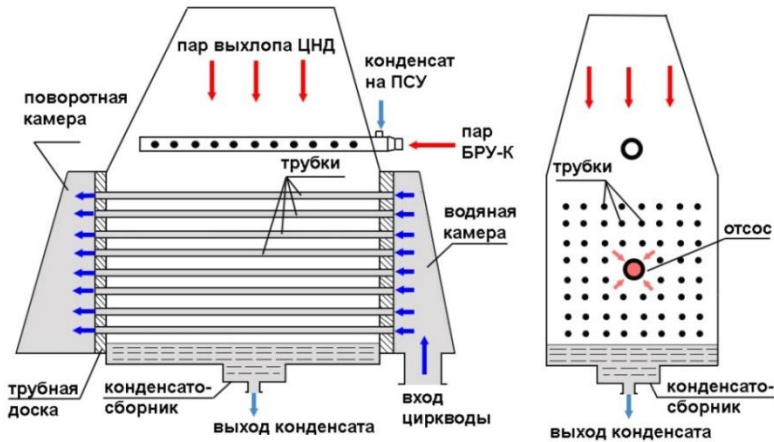


*Конденсаторная группа*

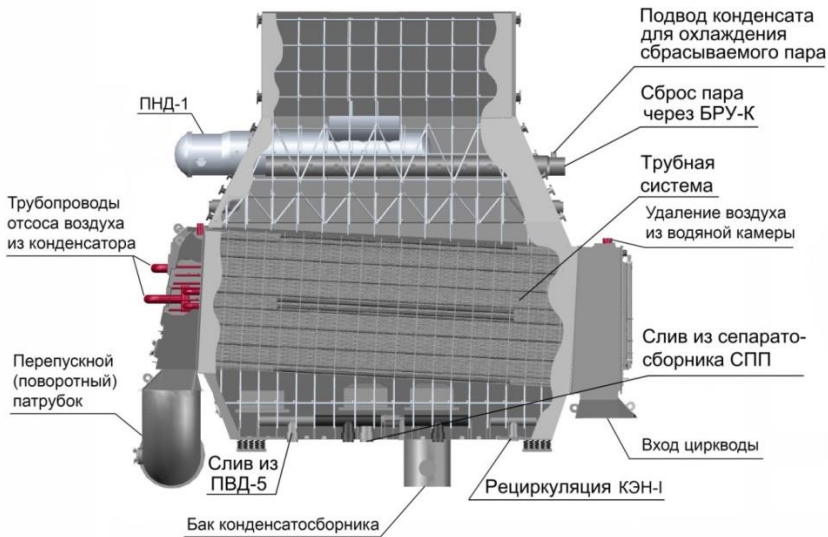
Поскольку по охлаждающей воде каждая пара конденсаторов соединена последовательно, давление в конденсаторах одной группы различное. Давление в корпусах 2, 3 ниже (~4 кПа), чем в корпусах 1, 4 (~6 кПа). Конденсаторы № 1 и 4 имеют конденсатосборники с целью обеспечения необходимого подпора на всасе конденсатных насосов I ступени.

#### 1.2.4 Конструкция конденсатора

Каждый конденсатор представляет собой теплообменный аппарат поверхностного типа. Поверхность охлаждения образуется прямыми трубками из титана  $\varnothing 28 \times 0,6$  мм в количестве 77120 и трубками  $\varnothing 28 \times 0,8$  в количестве 2880 длиной 14500 мм, расположенными в паровом пространстве, внутри которых проходит охлаждающая вода.

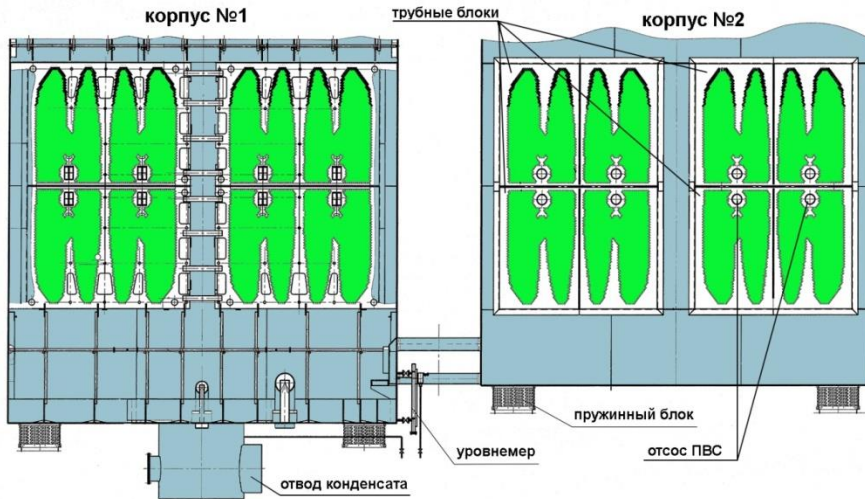


### Устройство конденсатора



### Устройство конденсатора

Пар, поступающий из турбины, соприкасается с холодной поверхностью трубок и конденсируется на них, отдавая тепло проходящей по трубкам воде. Трубная система каждого корпуса конденсатора состоит из четырех блоков.



### Трубные блоки



### Трубные пучки, доски, перегородки



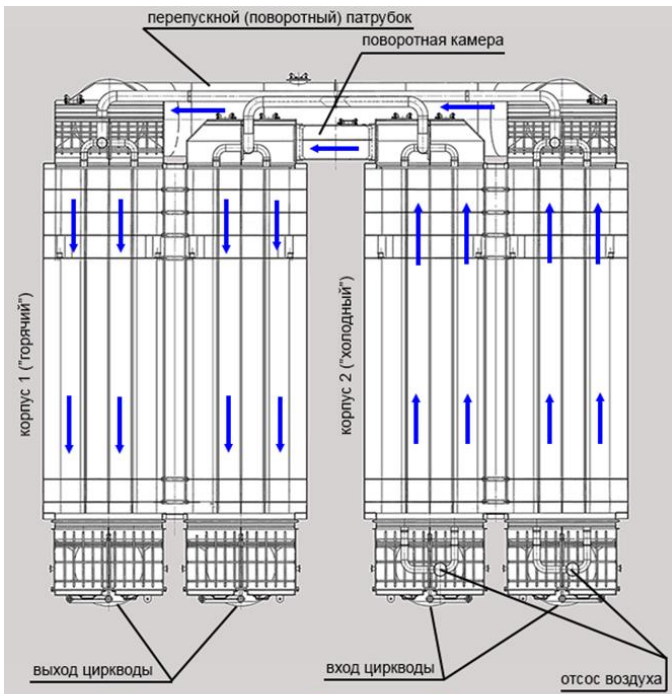
Крышки (створки) водяных камер

Титановые трубки закрепляются концами в основных трубных досках при помощи вальцовки и обварки. Кроме того, трубки опираются на промежуточные трубные перегородки, расположенные в паровом пространстве конденсатора.

Водяные камеры съемного типа закреплены болтами на фланцах основных труб-

ных досок. Доступ внутрь водяных камер обеспечивается через лазовые отверстия. Водяные камеры закрываются крышками и имеют поворотные устройства для открывания и закрывания крышек. Каждая водяная камера со стороны циркуляционных трубопроводов имеет патрубок, позволяющий выполнить сварное соединение с циркуляционными трубопроводами.

Циркуляционная вода двумя потоками поступает в напорные водяные камеры, проходит по трубам первого хода в поворотные водяные камеры и перепускные патрубки, затем по трубам второго хода в сливные водяные камеры и сливается в сливной трубопровод. Поворотные камеры съемных крышек не имеют. Доступ внутрь камер обеспечивается через лазовые отверстия, закрывающиеся дверками с быстросействующим креплением.

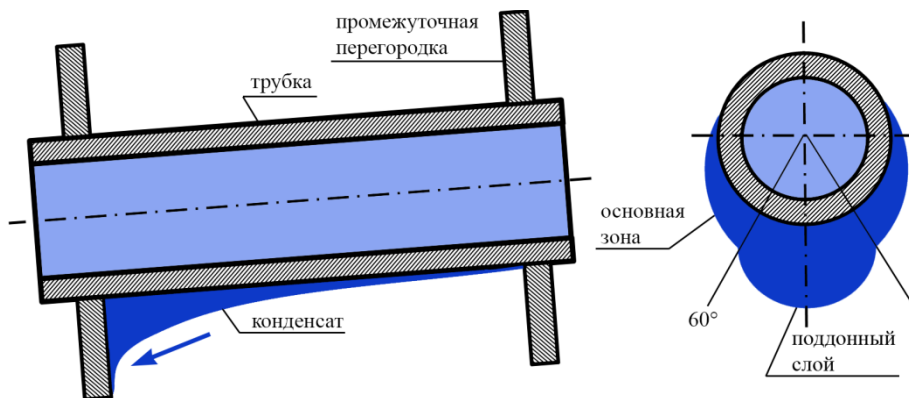


*Потоки циркуляционной воды в конденсаторе*

Конденсация пара, поступающего из турбины, происходит в «холодном» корпусе конденсатора №2 и №3 - на трубках первого хода; в «горячем» корпусе конденсатора №1 и №4 - на трубках второго хода. Поскольку температура циркуляционной воды в трубках второго хода выше, чем в трубках первого хода, давление в паровом пространстве «горячего» корпуса конденсатора выше, чем в паровом

пространстве «холодного» корпуса конденсатора, и поэтому конденсат «горячего» корпуса конденсатора имеет более высокую температуру, чем конденсат «холодного» корпуса конденсатора.

Для повышения эффективности конденсатора трубный пучок располагается под наклоном  $4^\circ$  для устранения заливания конденсатом нижележащих трубок. При наклоне трубки к горизонту происходит изменение характера течения конденсатной пленки по наружной поверхности трубок, где образуются две характерные зоны течения конденсата - основная зона и поддонный слой. В верхней части периметра слабонаклоненной к горизонту трубки (основная зона) течение пленки конденсата происходит преимущественно в поперечном к трубке направлении. Режим течения в этой зоне является ламинарным. Поддонный слой ( $\sim 60^\circ$  периметра) формируется под трубкой благодаря действию сил поверхностного натяжения.

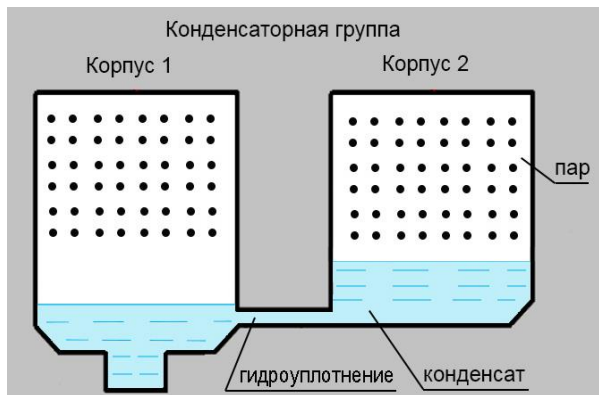


### **Конденсатная пленка на трубке конденсатора**

При отклонении трубки от горизонтального положения конденсат в зоне поддонного слоя течет вдоль трубки. В поддонном слое обеспечивается безотрывное стекание конденсата по трубкам между соседними перегородками и предотвращается заливание конденсатом нижерасположенных трубок.

Образовавшийся на трубах конденсат стекает в нижнюю часть конденсатора. В «холодном» корпусе конденсатора №2 и №3 уровень конденсата поддерживается выше, чем в «горячем» корпусе конденсатора №1 и №4. Конденсат из «холодного» корпуса (№2,3) конденсатора переливается в «горячий» корпус (№1,4) конденсатора через специальные барботажные устройства, в которых происходит его подогрев встречным потоком пара, поступающим из «горячего» корпуса конденсатора. Одновременно с подо-

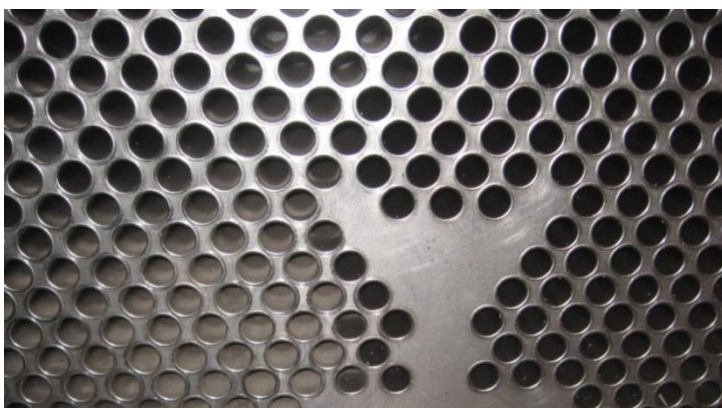
гревом происходит первичная деаэрация конденсата, что надежно обеспечивает его качество по содержанию растворенных газов.



Конденсат, расположенный над днищами конденсаторов, образует гидроуплотнение между двумя корпусами конденсаторной группы и обеспечивает поддержание в них различного давления.

### *Гидроуплотнение*

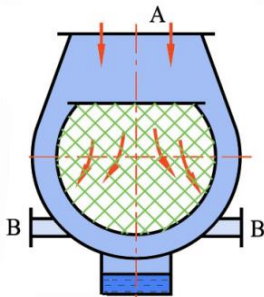
## 1.2.5 Компоновка трубного пучка



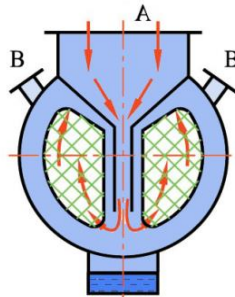
### *Трубный пучок конденсатора*

Наиболее сложные вопросы, возникающие при проектировании конденсатора, связаны с рациональным размещением трубной системы в корпусе конденсатора.

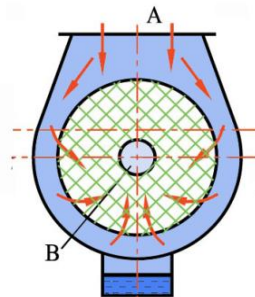
Варианты компоновки А – пар из турбины В – отсос воздуха



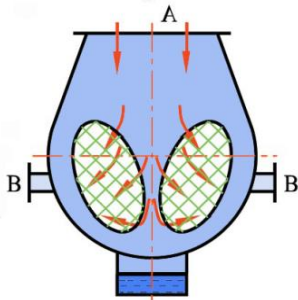
с нисходящим потоком пара



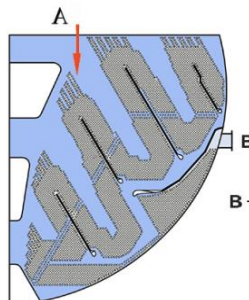
с восходящим потоком пара



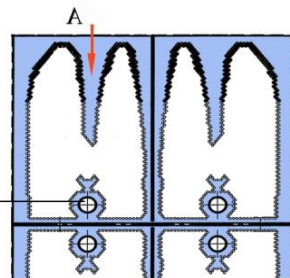
с центральным потоком пара



с боковым потоком пара



ленточная компоновка



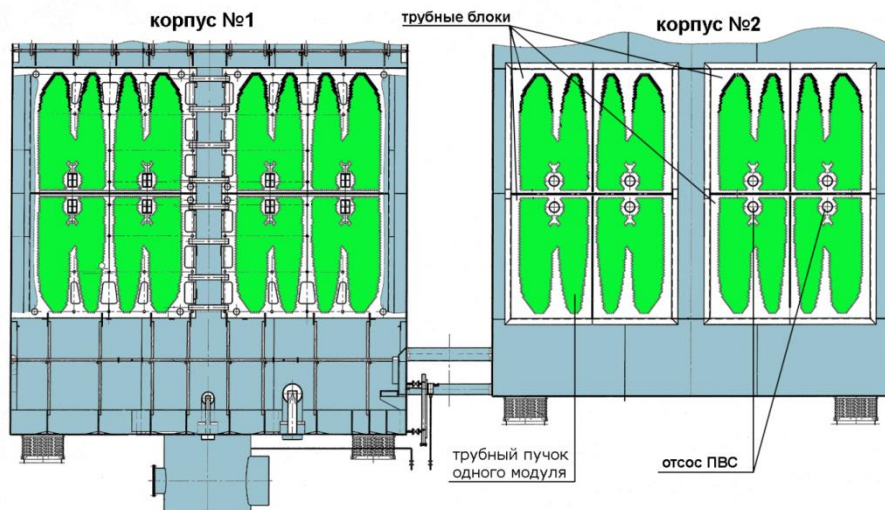
модульный принцип

Основные принципы проектирования высокоэффективных трубных пучков состоят в следующем:

- необходимо обеспечить равномерное распределение поступающего в конденсатор пара по входной части периметра трубного пучка для эффективного использования поверхности охлаждения и уменьшения парового сопротивления аппарата;
- необходимо избегать образования островных пучков трубок, в которые по всему периметру может поступать снаружи пар, а внутри образовываться застойные зоны;
- необходимо выделить часть трубок трубного пучка в конце хода пара в зоне отвода воздуха под воздухоохладитель.

Применение ленточной компоновки характерно для конденсаторов турбин большой мощности. Она позволяет создавать достаточно компактные трубные пучки с большой поверхностью теплообмена.

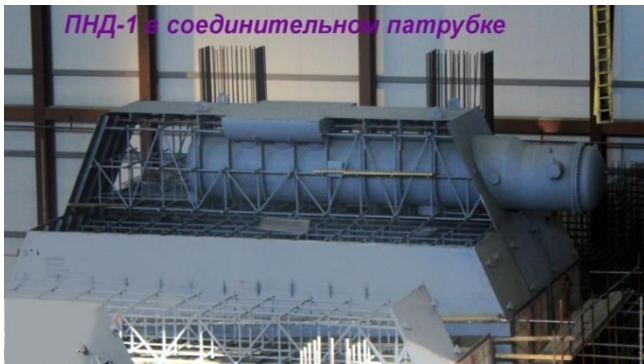
Достоинством модульного принципа является то, что модульные пучки легко типизировать и унифицировать. Это позволяет создать неограниченный ряд конденсаторов необходимых типоразмеров и характеристик, меняя количество модулей и длину трубок.



### **Ленточная компоновка, модульный принцип**

Конденсатор турбины К-1200-6,8/50 выполнен с ленточной компоновкой по модульному принципу. Трубный пучок конденсатора состоит из одинаковых модулей, разделенных проходами для пара. В пределах каждого модуля трубный пучок по конфигурации выполнен в виде замкнутой ленты, вытянутой по вертикали. Это позволяет увеличить доступный для поступающего пара суммарный периметр всех модулей и ограничить в каждом из них толщину ленты, обеспечив таким образом при очень большой общей поверхности охлаждения более равномерное распределение пара и небольшое паровое сопротивление. В средней части массива трубок образована зона отвода паровоздушной смеси. Выделенного перегородками воздухоохладителя в пучке нет, его роль играют расположенные непосредственно перед отводом охлаждающие трубки пучка.

### 1.2.6 Соединительный патрубок



внутренним оребрением и системой стержней. Патрубок служит для приема отработавшего в турбине пара и направления его к трубным пучкам.

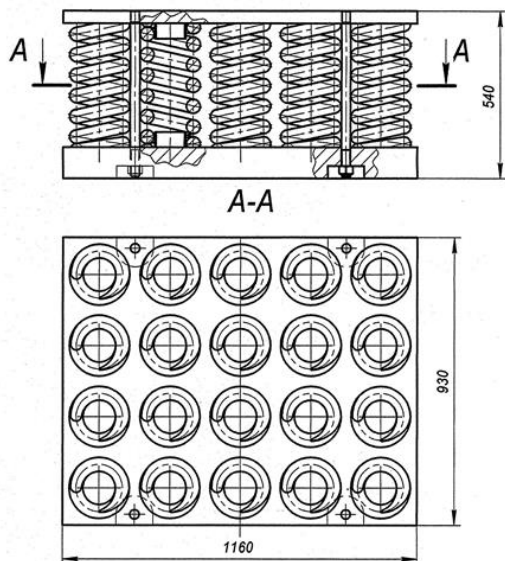


Охлаждение этого пара осуществляется за счет впрыска конденсата.

Для компенсации тепловых расширений каждый корпус конденсатора устанавливается на четырех пружинных опорах по 20 пружин в каждой. Всего с конденсатором поставляется 16 пружинных блоков. Каждая пружинная опора представляет собой комплект из 20 пружин, объединенных в один блок, и нагружена массой собранного конденсатора без воды. Масса находящейся в конденсаторах охлаждающей воды и конденсата нагружает опоры ЦНД.

Соединительный патрубок для соединения с турбиной каждого корпуса конденсатора собирается из восьми блоков и приваривается к выхлопной части ЦНД. Необходимая прочность патрубка обеспечивается

В паровом пространстве соединительного патрубка размещены подогреватели низкого давления ПНД-1 (четыре корпуса, по одному ПНД-1 в каждом патрубке), и пароприемные устройства, позволяющие принять пар от быстродействующего реду-



*Пружинные опоры*

### 1.2.7 Технические характеристики конденсатора

Технические характеристики	Значение
Площадь поверхности теплопередачи	101000 м <sup>2</sup>
Общее количество труб	80000
Трубки $\varnothing 28 \times 0,6$ мм	77120
Трубки $\varnothing 28 \times 0,8$ мм	2880
Длина труб	14,5 м
Номинальный расход циркуводы	143680 т/ч
Масса без воды корпус 1,4 корпус 2,3	520650 т *2 509100 т *2
Масса конденсата в конденсаторе	130 т
Масса циркуводы в конденсаторе	1280 т
Гидравлическое сопротивление при номинальном расходе циркуводы	56 кПа
Расчетный вакуум при t циркуводы 20°С корпус 1,4 корпус 2,3	4,31 кПа 5,98 кПа

## 1.3 Система МАЖ вакуумирования конденсатора

### 1.3.1 Назначение

Система вакуумирования конденсатора предназначена для первоначального создания вакуума в конденсаторе и поддержания его во время работы турбины путем удаления неконденсирующихся газов.

### 1.3.2 Обоснование необходимости системы

КПД турбины тем больше, чем выше начальные параметры пара (давление на входе в турбину) и ниже конечные (давление в конденсаторе). В турбине происходит расширение пара, в результате его давление снижается до величины ниже барометрического давления. Поступающий в конденсатор отработанный пар всегда содержит воздух, который попадает в турбину через концевые уплотнения ЦНД, неплотности фланцевых соединений различных элементов турбины, где давление меньше барометрического, и т. д. Часть воздуха попадает в конденсатор через неплотности соединения выходного патрубка турбины и переходного патрубка конденсатора. Если воздух не удалять, то по мере его накопления давление в конденсаторе будет расти.

В смеси газов молекулы каждого из них в среднем равномерно распределены между молекулами остальных газов. Совокупное действие всех молекул создает полное давление  $P$ . Парциальным давлением  $P_n$  некоторого газа называется такое, которое существовало бы в сосуде, если бы в нем была заключена только доля рассматриваемого газа, находящаяся в смеси. Сумма парциальных давлений отдельных компонентов смеси равна полному давлению.

В конденсаторе происходит конденсация не чистого пара, а пара, содержащего воздух. Давление в любой точке конденсатора складывается из парциальных давлений пара и воздуха и, таким образом, оказывается большим при прочих равных условиях, что приводит к снижению экономичности установки. Давление паровоздушной смеси  $P$  и парциальное давление пара  $P_n$  в ней связаны соотношением:

$$P_n = P / (1 + 0,622 \varepsilon),$$

где  $\varepsilon = G_v / G$  - относительное содержание воздуха в паровоздушной смеси.

По мере движения паровоздушной смеси от горловины конденсатора к всасывающей полости ВКВН концентрация воздуха увеличивается.

ется вследствие конденсации пара, и на входе в ВКВН доля воздуха в смеси может составлять 50-60 %.

Увеличение присосов воздуха в конденсатор не только увеличивает давление в нем, но и способствует возникновению другого отрицательного явления – *переохлаждения конденсата*, под которым понимают разность температуры конденсата  $t_k$  в конденсатосборнике и температуры насыщения  $t_s$ , соответствующей давлению в горловине конденсатора. При конденсации пара из смеси газов температура образующегося конденсата определяется не давлением смеси  $P$ , а парциальным давлением конденсирующегося пара.

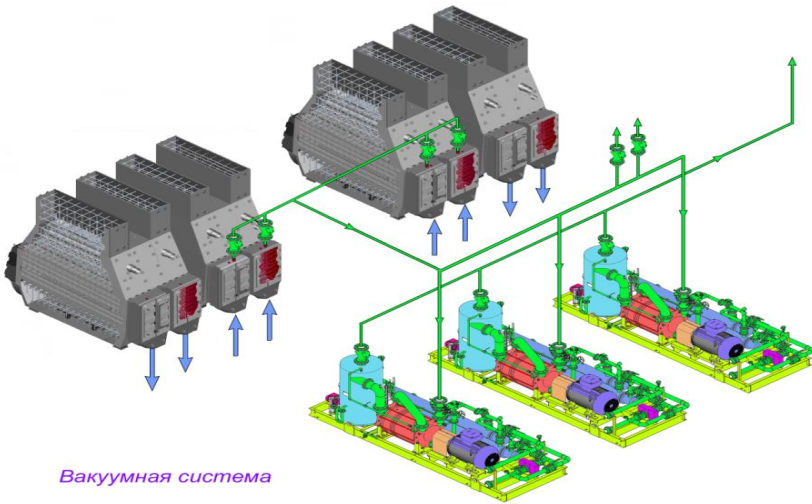
Чем выше содержание воздуха в смеси, тем меньше парциальное давление пара  $P_n$  и температура  $t_k$  образующегося конденсата. Поэтому в зоне массовой конденсации пара, где  $\varepsilon$  мало, переохлаждение ничтожно, а в зоне отвода паровоздушной смеси оно может достигать нескольких градусов.

Вследствие переохлаждения температура конденсата в конденсатосборнике оказывается ниже температуры насыщения. Поэтому деаэрация конденсата идет вяло, и кислород, захваченный падающими каплями и струями, остается в конденсате.

Таким образом, основным отрицательным последствием переохлаждения является насыщение образующегося конденсата кислородом, который вызывает коррозию тракта конденсата от конденсатора до деаэратора. Продукты коррозии выносятся в ПГ и турбину, снижая их надежность и экономичность. Поглощение конденсатом кислорода прямо пропорционально парциальному давлению кислорода.

Поэтому с увеличением парциального давления воздуха (и, следовательно, кислорода) и переохлаждения растворимость кислорода в конденсате увеличивается.

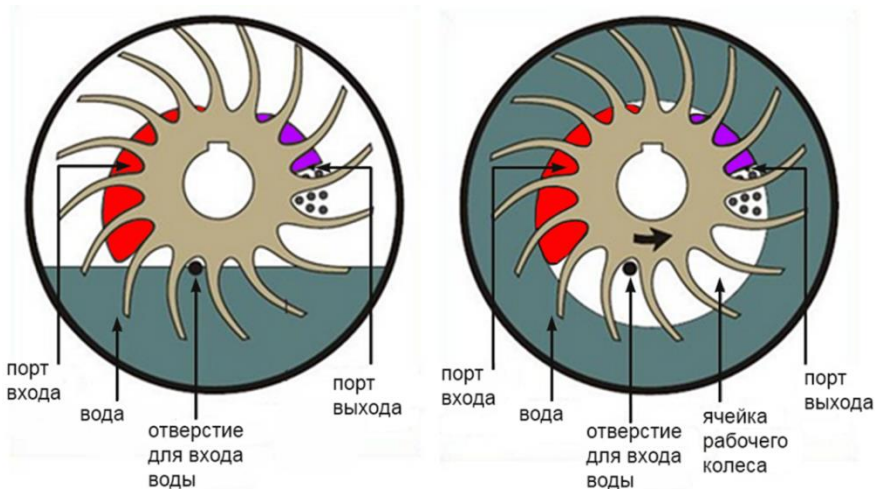
Кроме того, дополнительное снижение температуры конденсата без соответствующего снижения давления в горловине означает уменьшение энтальпии рабочего тела, поступающего в регенеративную систему, и, в конечном счете, в ПГ. Это приводит к дополнительным затратам топлива для получения номинальных параметров свежего пара.



*Вакуумная система*

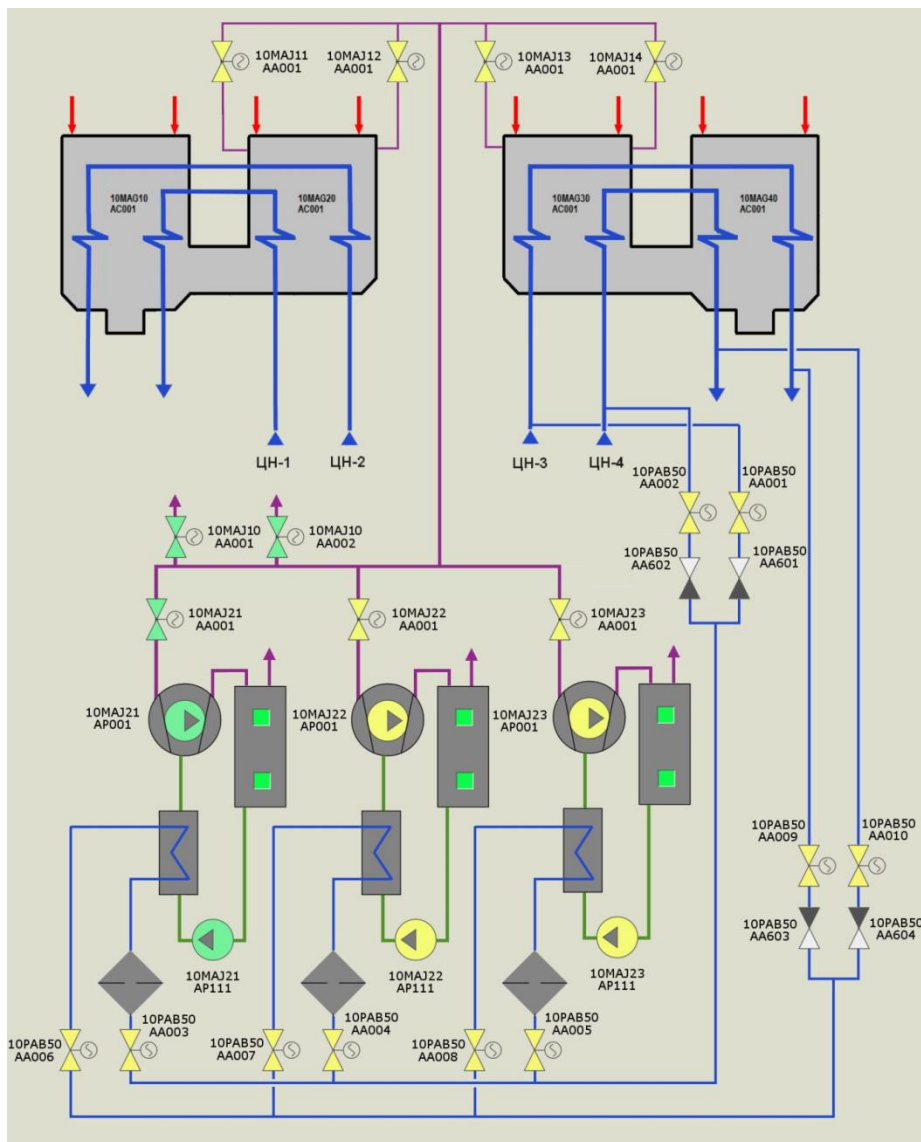
### 1.3.3 Водокольцевой вакуумный насос. Принцип работы

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.



*Водокольцевой вакуумный насос. Принцип работы*

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 через всасывающее окно в торцевой крышке корпуса насоса.



**Технологическая схема системы вакуумирования конденсатора**

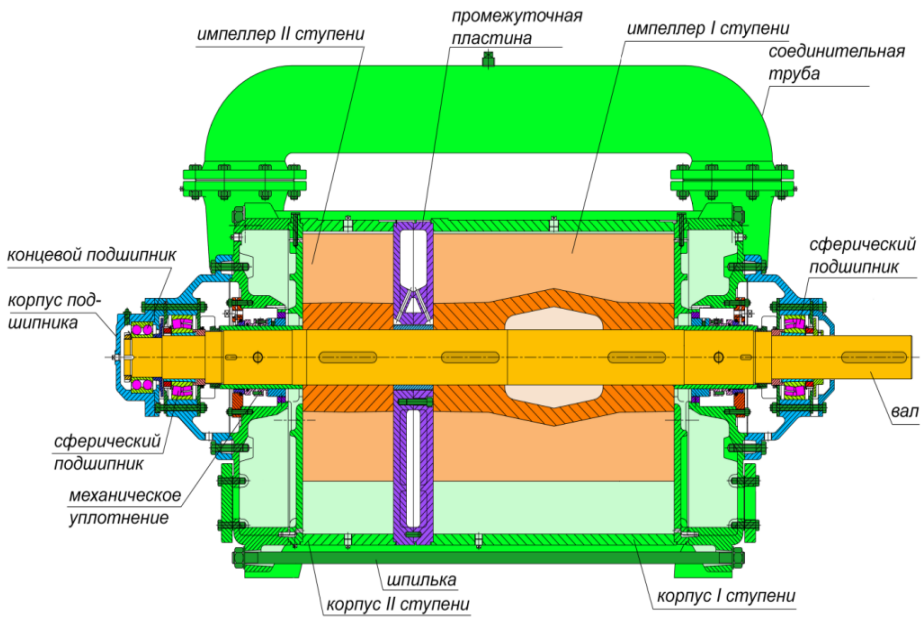
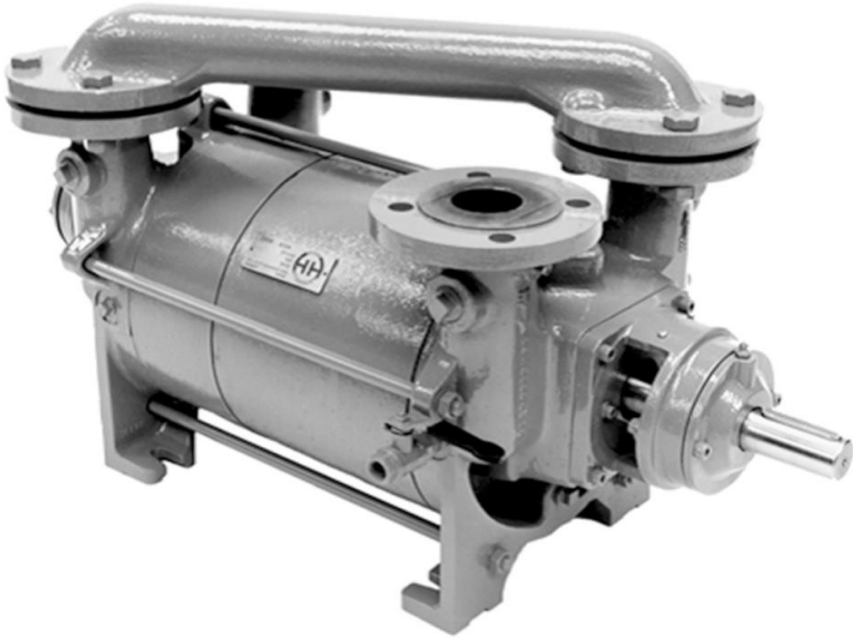
На протяжении второго полуоборота колеса внутренняя поверхность жидкостного кольца приближается к ступице, при этом воздух, находящийся между лопатками, сначала сжимается, а затем вытесняется в нагнетательный патрубок насоса. Таким образом, в водокольцевых насосах перемещение воздуха из всасывающего патрубка в нагнетательный совершается непрерывно и равномерно.

Отвод паровоздушной смеси из парового пространства конденсатора осуществляется вакуумными водокольцевыми насосами со сбросом в окружающую среду. Количество одновременно работающих устройств определяется необходимостью поддержания расчетного вакуума.

### 1.3.4 Водокольцевой вакуумный насос. Конструкция

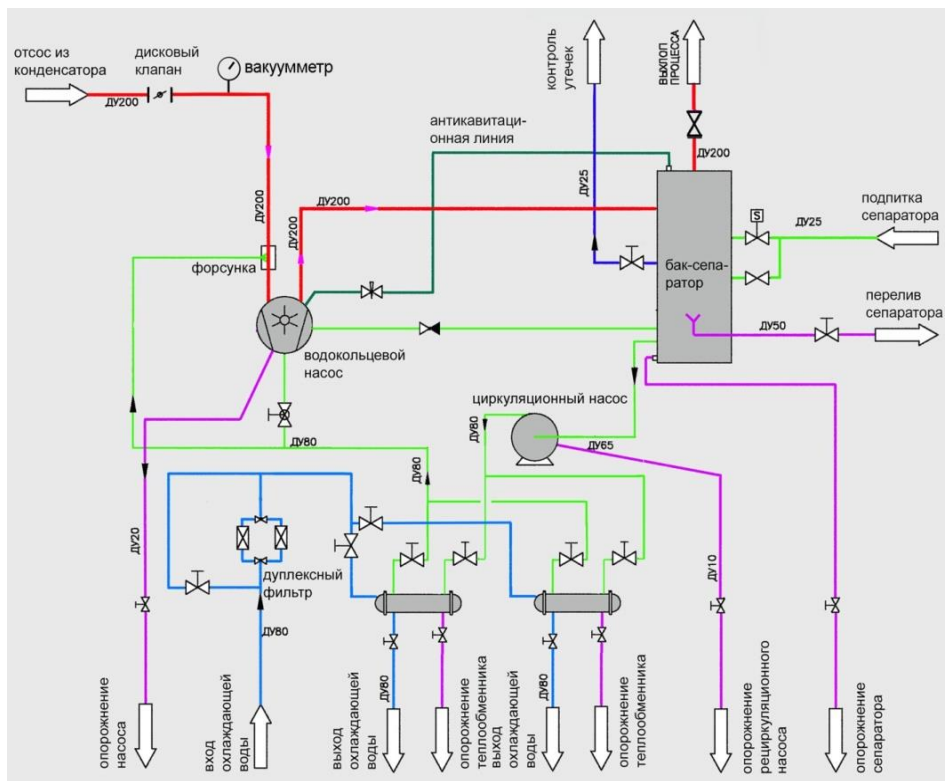
В качестве вакуумного насоса используется водокольцевой насос SHR22500 фирмы Эдвардс. Агрегат представляет собой двухступенчатый насос с торцевым уплотнением, привод осуществляется от электродвигателя 132 кВт. Все оборудование установлено на общем сварном основании с подключением электрооборудования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

Воздух из конденсатора 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 антикавитационной линии малого сечения защищают насос от возникновения условий кавитации при недогрузке второй ступени.



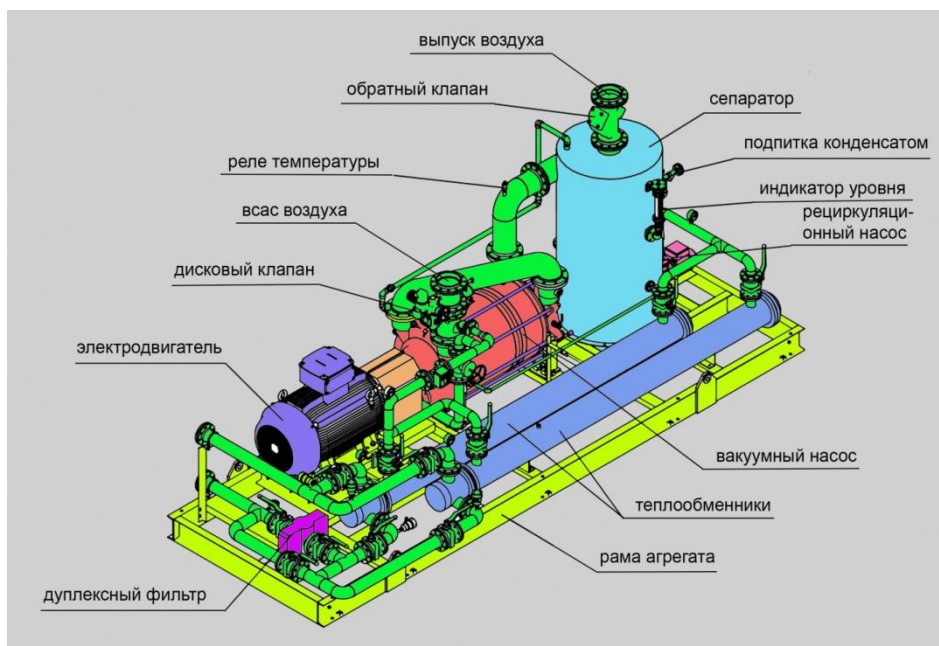
**Конструкция водокольцевого вакуумного насоса**

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.



### Технологическая схема водокольцевого насоса

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 датчики высокого и низкого уровня жидкости. Для автоматического поддержания уровня в сепараторе на линии подпитки установлен поплавковый регулятор уровня.



### *Водокольцевой насосный агрегат*

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.

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

Контроль системы осуществляется с видеокadra СВБУ МАУ.



Видеокадр СВБУ МАЖ

### 1.3.5 Технические характеристики ВКВН

Наименование показателя	Значение показателя
Откачиваемая среда	ПВС
Номинальный вакуум в конденсаторе (усредненное значение), кПа (абс.)	5,15
Номинальный вакуум в первом и четвертом («горячих») корпусах конденсатора MAG10AC001, 1MAG40AC001, кПа (абс.)	5,98
Номинальный вакуум во втором и третьем («холодных») корпусах конденсатора MAG20AC001, MAG30AC001, кПа (абс.)	4,31
Температура паровоздушной смеси, °С	15±50
Диапазон температуры окружающего воздуха, °С	от -20 до 40
Расход откачиваемой среды, кг/ч	228.6
Расход откачиваемого водяного пара (макс), кг/ч	157.2
Давление на входе, кПа абс.	3,38
Давление на выходе, кПа	101,3
Всасываемый объем, м <sup>3</sup>	6400

## 1.4 Система MAN MXN байпаса турбины

### 1.4.1 Назначение

Система предназначена для выполнения следующих функций:

- сброс пара из ГПК в конденсаторы турбины при пусках и остановках;
- сброс пара из ГПК в конденсаторы турбины при резких сбросах электрической мощности блока с целью предотвращения чрезмерного роста давления в ГПК (приводящего к срабатыванию БРУ-А или ПК);
- сброс пара из ПГ в режимах расхолаживания реактора до требуемого уровня температуры в первом контуре с заданными скоростями снижения температуры насыщения пара в ГПК.

Система обеспечивает:

- разогрев главных паропроводов со скоростью  $20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  до давления в ГПК 6,8 МПа;
- поддержание давления пара в ГПК при сбросах нагрузки и отводе тепла от реактора через ПГ в конденсатор, не допуская срабатывания БРУ-А;
- плановое расхолаживание первого контура со скоростью  $30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  ( $15^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ );
- аварийное расхолаживание первого контура со скоростью  $60^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ .

### 1.4.2 Состав

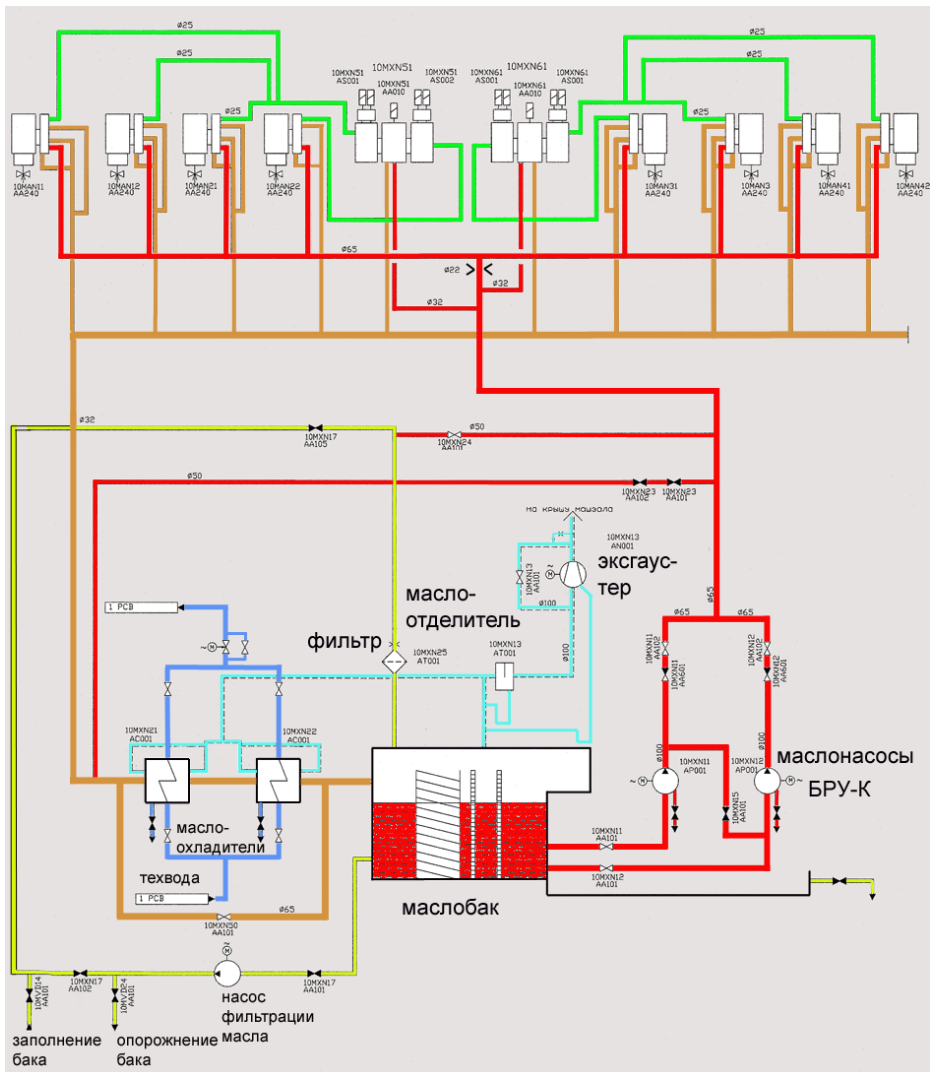
Система состоит из восьми клапанов БРУ-К с пружинно-гидравлическими сервомоторами, электрогидравлической системы управления клапанами БРУ-К и системы маслоснабжения регулирования БРУ-К. Система является первой ступенью защиты парогенераторов от повышения в них давления пара и обеспечивает поддержание заданного давления пара в ГПК.

### 1.4.3 Описание технологической схемы

Масло из маслобака насосом (одним из двух) подается в напорный коллектор, который делится на две линии: управляющую (стабилизированного давления) и силовую (нестабилизированного давления). Маслоснабжение коллектора нестабилизированного давления производится через шайбу  $\text{Ø}22$  мм, а коллектора стабилизированного давления – из напорной линии до шайбы. Из коллектора стабилизированного давления производится маслоснабжение командных органов двух блоков управления, это управляющее масло, а из коллектора нестабилизированного давления - маслоснабжение гид-

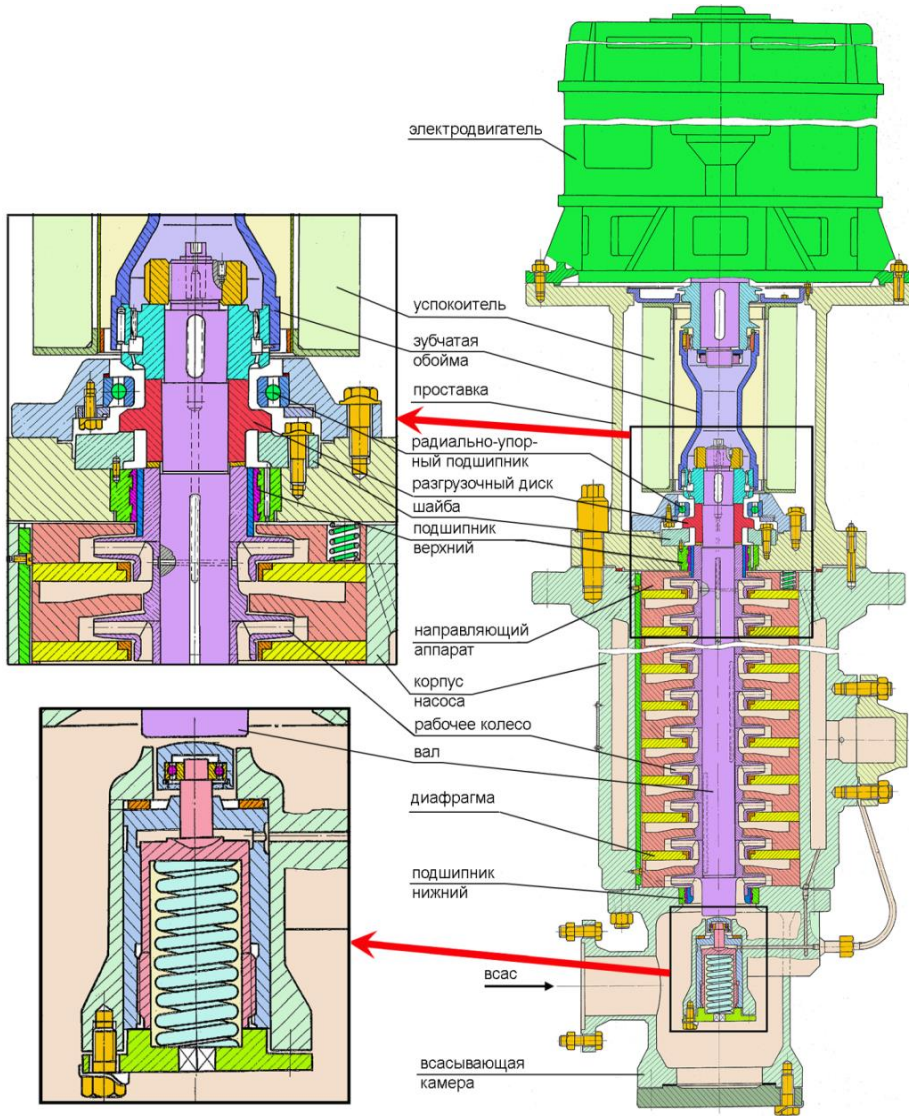
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

равлических сервомоторов клапанов БРУ-К, это силовое масло для перемещения (открытия) сервомоторов. В случае большого потребления масла сервомоторами (при движении на открытие) давление в коллекторе нестабилизированного давления может снижаться, однако это снижение за счет шайбы не затрагивает коллектор стабилизированного давления, не сказывается на работе элементов, формирующих гидравлические управляющие команды, чем исключается возможность возникновения автоколебаний.



Технологическая схема маслосистемы БРУ-К

### 1.4.4 Маслонасосы



**Конструкция маслонасоса**

Маслоснабжение САР БРУ-К производится двумя маслонасосами с рабочим давлением 5 МПа производительностью 36 м<sup>3</sup>/ч с электродвигателями переменного тока (один рабочий, второй резервный). Маслонасосы устанавливаются на раме, конструктивно связанной с баком системы регулирования.

Маслонасос регулирования типа НВР 50-36-2 центробежный, 11-ти ступенчатый, вертикальный, состоит из корпуса, ротора, проставки. Корпус насоса – сварно-кованый, двухстенный, с опорным фланцем. В нем установлены направляющие аппараты, осуществляющие отвод масла от рабочих колес, и диафрагмы, разделяющие ступени. От проворачивания они фиксируются общей продольной шпонкой. Уплотнение стыков секций осуществляется за счет металлического контакта усилием, создаваемым давлением насоса. Предварительное усилие создается специальными пружинами, установленными на стороне нагнетания. Снизу корпус закрыт всасывающей камерой с встроенным пружинно-поршневым устройством и нижним опорным подшипником скольжения, который одновременно служит передним уплотнением рабочего колеса первой ступени. К верхнему тору корпуса присоединена проставка, на которую устанавливается электродвигатель. В проставке расположен верхний опорный подшипник скольжения, служащий одновременно задним уплотнением рабочего колеса последней ступени. В проставке также расположен радиально-упорный шарикоподшипник, предназначенный для восприятия осевых усилий, действующих на ротор насоса. Ротор насоса состоит из вала и собранных на нем одиннадцати центробежных рабочих колес, установленных на вал по подвижной посадке, разгрузочного диска и зубчатой втулки.

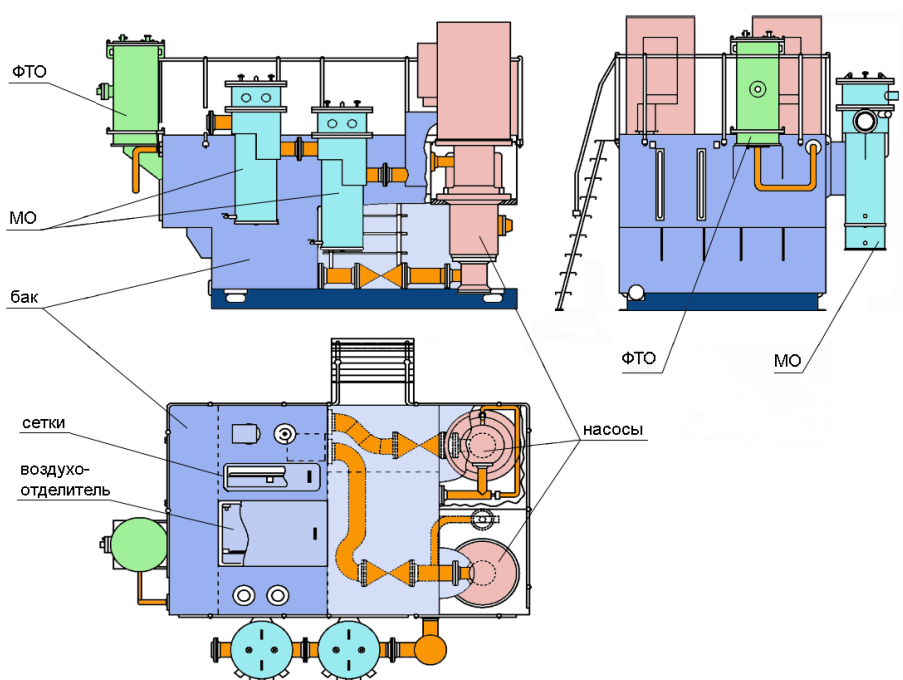
Пружинно-поршневое устройство служит опорой ротора при неработающем насосе и в момент пуска насоса. При этом между разгрузочным диском и шайбой имеется зазор, обеспечивающий отсутствие сухого трения в момент пуска. По мере увеличения числа оборотов насоса и давления нагнетания масло из напорной камеры в корпусе насоса через сверленный канал поступает в поршневое устройство и отжимает поршень. После этого в работу вступает система гидравлической разгрузки ротора, состоящая из разгрузочного диска и шайбы, с помощью которой уравнивается осевое усилие, действующее на ротор во время работы насоса.

Проставка служит опорой для электродвигателя и одновременно является сливной камерой протечек из разгрузочного устройства насоса. В целях уменьшения скопления масла в проставке за разгрузочным диском установлен импеллер, а для противодействия вращению масла - "успокоитель", представляющий собой сетчатый цилиндр с ребрами. Соединение насоса с приводным электродвигателем осуществляется посредством зубчатой муфты. Смазка зубчатого зацепления осуществляется маслом, подводимым через сверление в роторе от последнего рабочего колеса. Смазка подшипников осуществляется маслом, перекачиваемым насосом. Для

дросселирования давления в подводящем канале установлен фильтр, состоящий из нескольких дроссельных шайб. Направления вращения ротора насоса – против часовой стрелки, если смотреть на насос со стороны двигателя.

### 1.4.5 Маслобак

Масляный бак МХН10ВВ001 емкостью 4 м<sup>3</sup> предназначен для хранения, очистки, деаэрации и подачи масла в систему регулирования БРУ-К.



### *Маслостанция системы БРУ-К*

Маслобак представляет собой горизонтальный призматический сосуд с расширенной верхней частью, что обеспечивает прием масла из всей маслосистемы при отключении маслонасосов регулирования без повышения предельно допустимого уровня.

Маслобак разделен двумя последовательно установленными фильтрующими сетками на два отсека: "грязный" и "чистый". Сетки имеют размер ячеек в свету 0,25 мм. Перед сетками в маслобаке установлен воздухоотделитель, выполненный в виде двух пакетов листов из нержавеющей стали. Листы имеют двойной наклон:

по ходу масла - для улучшения выделения воздуха;

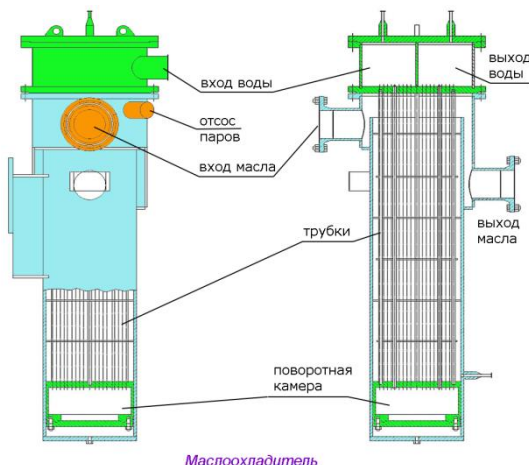
от оси пакетов к наружным стенкам бака - для обеспечения выхода выделившегося воздуха в пространство между боковыми стенками воздухоотделителя и стенками маслобака.

Для выравнивания потока масла по всему сечению маслобака перед воздухоотделителем установлен дырчатый лист. В "чистом" отсеке маслобака выгорожены отсеки всасывания МНР БРУ-К. Перепад на сетках можно визуально наблюдать по смотровым стеклам, имеющимся в грязном (до сеток) и чистом (после сеток) отсеках бака. Чистка сеток производится путем последовательной выемки рамок с сетками по мере их засорения, когда перепад уровней между грязным и чистым отсеками бака достигает 100÷150 мм. На крышке бака в чистом отсеке установлен указатель уровня жидкости. *Предельно допустимый верхний рабочий уровень 600 мм от верхней крышки (40 мм по указателю уровня).*

*Предельно допустимый нижний рабочий уровень 800 мм от верхней крышки (20 мм по указателю уровня).*

*Нормальный рабочий уровень 700 мм от верхней крышки (30 мм по указателю уровня).*

### 1.4.6 Маслоохладители



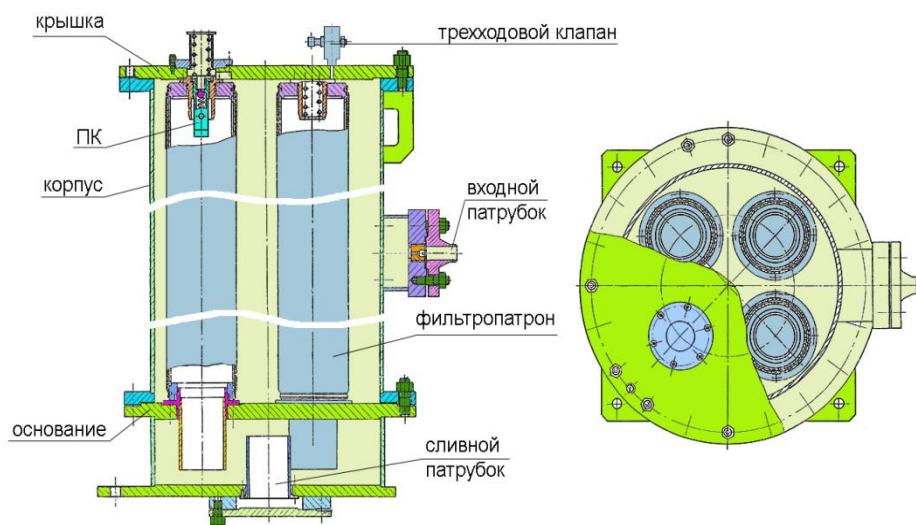
Сливаемое из системы масло проходит последовательно через два маслоохладителя, установленных на стенках маслобака. Такая схема установки (на сливе) обусловлена требованием предотвратить попадание масла в охлаждающую воду при течи трубок. Маслоохладитель представляет собой вертикальный поверхностный теплообменный аппарат.

Охлаждающая вода движется по трубкам, а масло - между трубками сверху вниз. На днище маслоохладителя имеется штуцер для опорожнения корпуса и отбора проб масла. Демонтаж трубного пучка маслоохладителя при

ремонте можно производить на работающей турбине. Для охлаждения масла до требуемого уровня (45 °С) достаточно работы одного маслоохладителя, второй является резервным – на случай необходимости чистки трубок на работающей турбине или при повышении температуры охлаждающей воды. Максимальный расход охлаждающей воды 80 м<sup>3</sup>/ч.

### 1.4.7 Фильтр тонкой очистки

При работе системы часть масла (до 18 м<sup>3</sup>/ч) из напорного трубопровода отводится на фильтр тонкой очистки ФТО, установленный на кронштейне



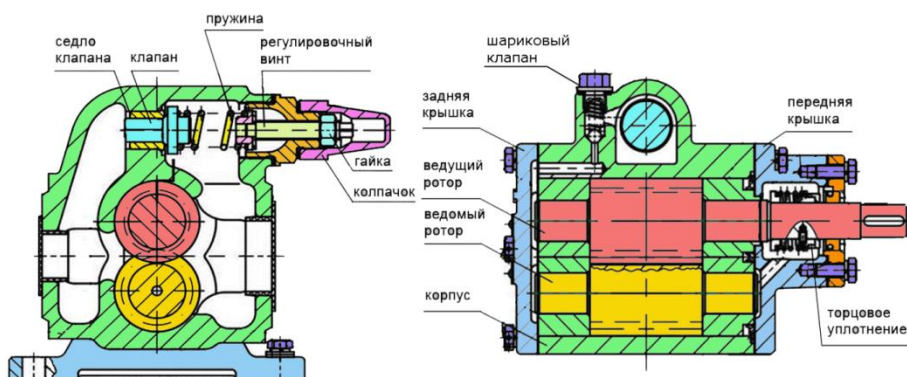
### Фильтр тонкой очистки

маслобака. ФТО состоит из корпуса, крышки, трех несущих каркасов и предохранительного клапана. На корпусе расположены штуцера входа и выхода масла и опорные лапы для установки фильтра на кронштейне маслобака. В корпусе эксцентрично установлены три несущих каркаса, на которые накладываются латунные сетки и фильтрующая ткань. Для защиты фильтрующей ткани от порыва при ее засорении сверху на внутреннем каркасе установлен шариковый предохранительный клапан, перепускающий масло помимо нее. Предохранительный клапан срабатывает при повышении давления в корпусе фильтра до 0,5 МПа. На крышке корпуса имеется трехходовой клапан для установки манометра контроля давления перед фильтрующей тканью.

Очистка жидкости происходит непрерывно за счет фильтрации ее через ткань фильтр-белтинг, закрепленную на жестких каркасах, установленных внутри корпуса фильтра, или через фильтропатроны, установленные внутри корпуса фильтра. Конструкция фильтра позволяет устанавливать и применять различные фильтроэлементы. Для промывки системы предусмотрена установка фильтроэлементов с тонкостью фильтрации 70 мкм из полутомпаковой сетки. Для нормальной работы устанавливаются фильтропатроны с фильтрующей тканью Бельтинг тонкостью фильтрации 30 мкм. Для сверхтонкой очистки устанавливаются фильтропатроны фирмы «Pall GmbH» (Германия) тонкостью фильтрации 12 мкм. Замену фильтропатронов следует производить при повышении давления в корпусе фильтра до 0,2 МПа.

#### 1.4.8 Насос фильтрации масла

Для очистки масла при остановленных маслососах регулирования БРУ-К, а так же для опорожнения бака используется шестеренчатый насос фильтрации масла МХН17АР001 рабочим давлением 2,5 МПа и расходом 4 м<sup>3</sup>/ч. Насос состоит из следующих деталей и узлов: рабочего механизма, корпуса с крышкой задней и стойкой, предохранительного и разгрузочного клапанов, торцового уплотнения. Рабочий механизм насоса состоит из двух роторов – ведущего и ведомого. При вращении ведущего и ведомого роторов на стороне входа создается разрежение, в результате чего жидкость под давлением атмосферы заполняет впадины между зубьями и в них перемещается со стороны входа на сторону выхода. На выходе при зацеплении зубьев происходит выдавливание жидкости в систему.



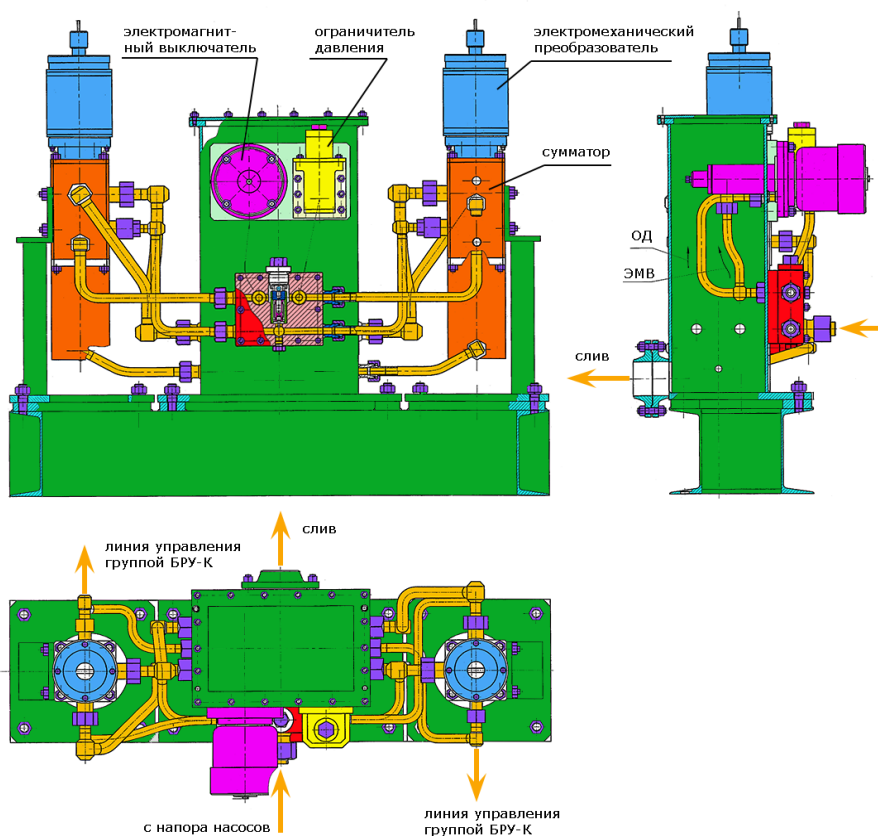
*Конструкция шестеренного насоса*

Насос оснащен перепускным устройством (клапаном), предназначенным для кратковременного перепуска перекачиваемой жидкости из полости нагнетания в полость всасывания в случае повышения давления в напорном трубопроводе выше допустимого. Настройка клапана производится регулировочным винтом, который стопорится гайкой и закрывается колпачком.

В насосе предусмотрен предохранительный шариковый клапан, который защищает насос от неконтролируемого роста давления.

#### 1.4.9 Блоки управления БРУ-К МХН51, МХН61

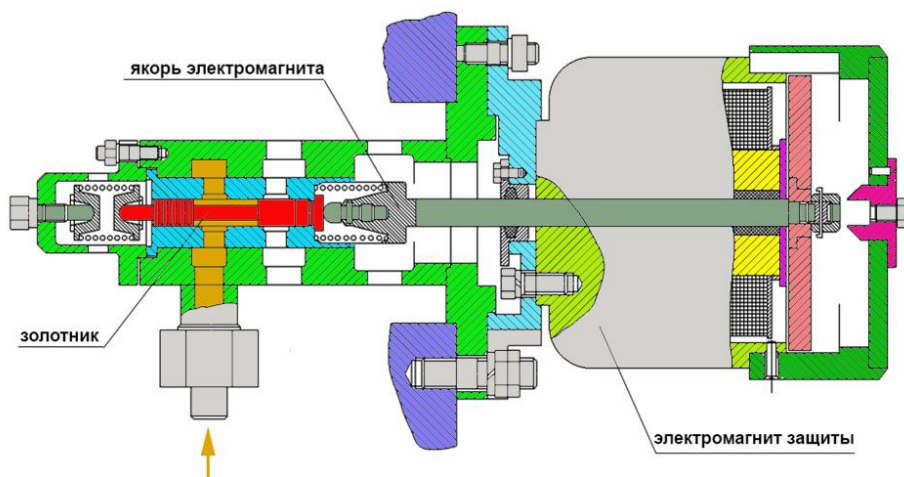
Восемь клапанов БРУ-К объединены в четыре группы: две группы по одному клапану, две группы по три клапана. Таким образом, в зависимости от расхода пара, сбрасываемого через клапаны БРУ-К, и задания по давлению в ГПК возможна работа с различным количеством клапанов БРУ-К.



**Блок управления БРУ-К**

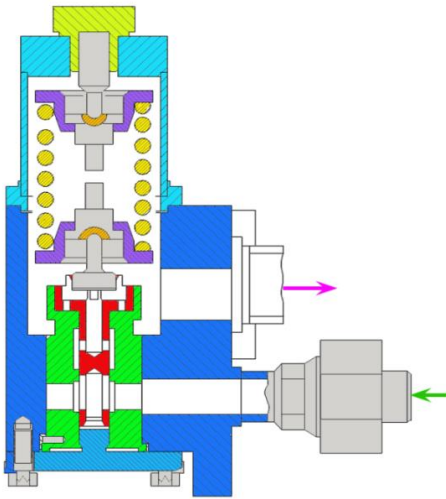
Управление группами клапанов реализовано через два блока управления. Каждый блок управляет двумя группами: одна группа из одного клапана БРУ-К, одна из трех. Каждый блок управления состоит из электромагнитного выключателя, ограничителя давления, двух электрогидравлических преобразователей – сумматоров и кронштейна, на котором смонтированы узлы.

*Электромагнитный выключатель* ЭМВ предназначен для ввода сигналов о наличии или отсутствии запрета на сброс пара в конденсаторы турбины через клапаны БРУ-К. ЭМВ представляет собой гидравлическое золотниковое устройство с электромагнитным приводом, золотник которого в зависимости от наличия или отсутствия напряжения на обмотке электромагнита может занимать два фиксированных положения: закрыт – открыт. В положении закрыт (электромагнит запитан) ЭМВ не оказывает никакого влияния на работу системы.



### **Электромагнитный выключатель**

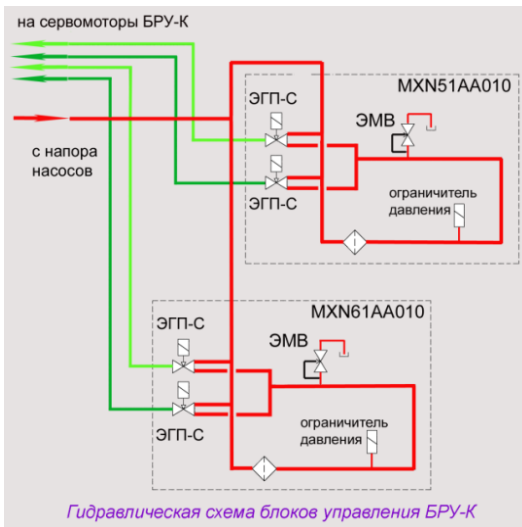
Появление сигнала о запрете работы БРУ-К приводит к снятию напряжения с электромагнита, и золотник под действием пружин перемещается и открывает слив масла из линии входного управляющего давления обоих ЭГП-С данного блока управления. При этом клапаны БРУ-К, управляемые от данного блока управления, остаются закрытыми независимо от поступающих на оба ЭГП-С сигналов от электронной части системы управления БРУ-К.



Ограничитель давления

Ограничитель давления ОД стабилизирует давление в линии входного управляющего давления обоих ЭГП-С данного блока управления на уровне  $\sim 3,5$  МПа. Ограничитель давления является, по сути, редуцирующим устройством и предохранительным клапаном, настройка которого выполняется путем изменения натяга пружины. ОД предотвращает внезапный рост давления в линии управления сумматорами, что может привести к несанкционированному открытию клапанов БРУ-К.

Каждая группа клапанов БРУ-К управляется индивидуальным *электрогидравлическим преобразователем-сумматором* ЭГП-С (всего 4 штуки). Структурно ЭГП-С состоит из электромеханического преобразователя ЭМП и гидромеханического преобразователя – сумматора.



Гидравлическая схема блоков управления БРУ-К

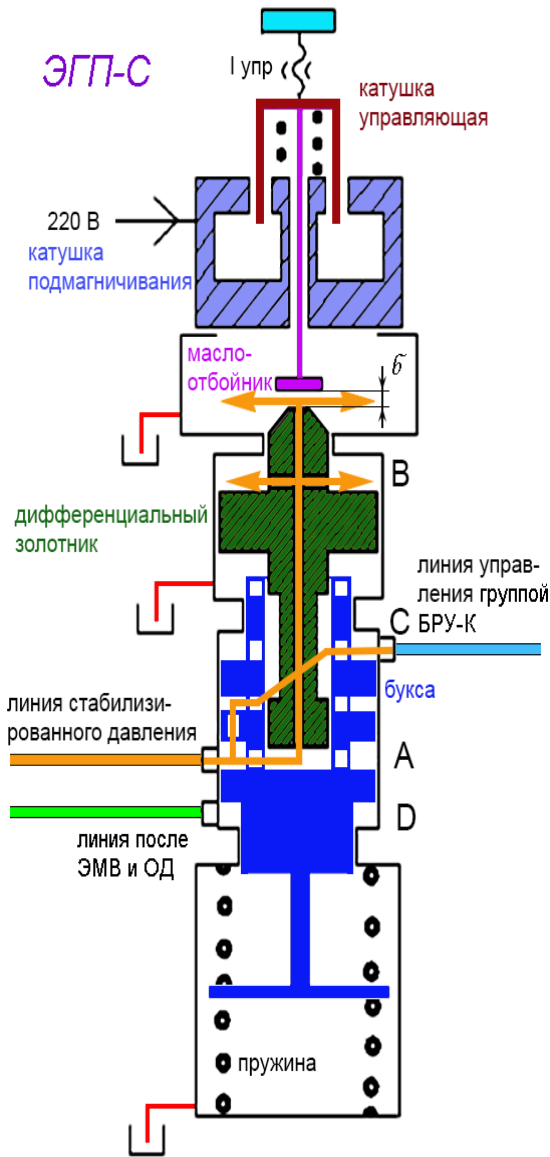
Работа ЭМП основана на взаимодействии двух катушек с током: внешней неподвижной катушки подмагничивания, запитанной постоянным током с напряжением 220 В, и внутренней подвижной управляющей катушки, имеющей пружинный подвес, на которую подается управляющий ток  $I_{упр}$  из электронной части системы управления байпасом турбины, построенной на базе ТПТС. Изменение управляющего тока в подвижной катушке приводит к изменению усилия, с которым она втягивается внутрь катушки подмагничивания.

Таким образом, происходит преобразование электрического управляющего сигнала в механическое перемещение.

ние управляющей катушки, а вместе с ней в перемещение штока и маслоотбойника на его конце. Перемещения маслоотбойника, входящего в состав ЭМП, далее бесконтактным образом вызывают перемещения подвижных элементов гидромеханического преобразователя – сумматора, которые и отвечают за формирование давления в линиях управления группами клапанов БРУ-К.

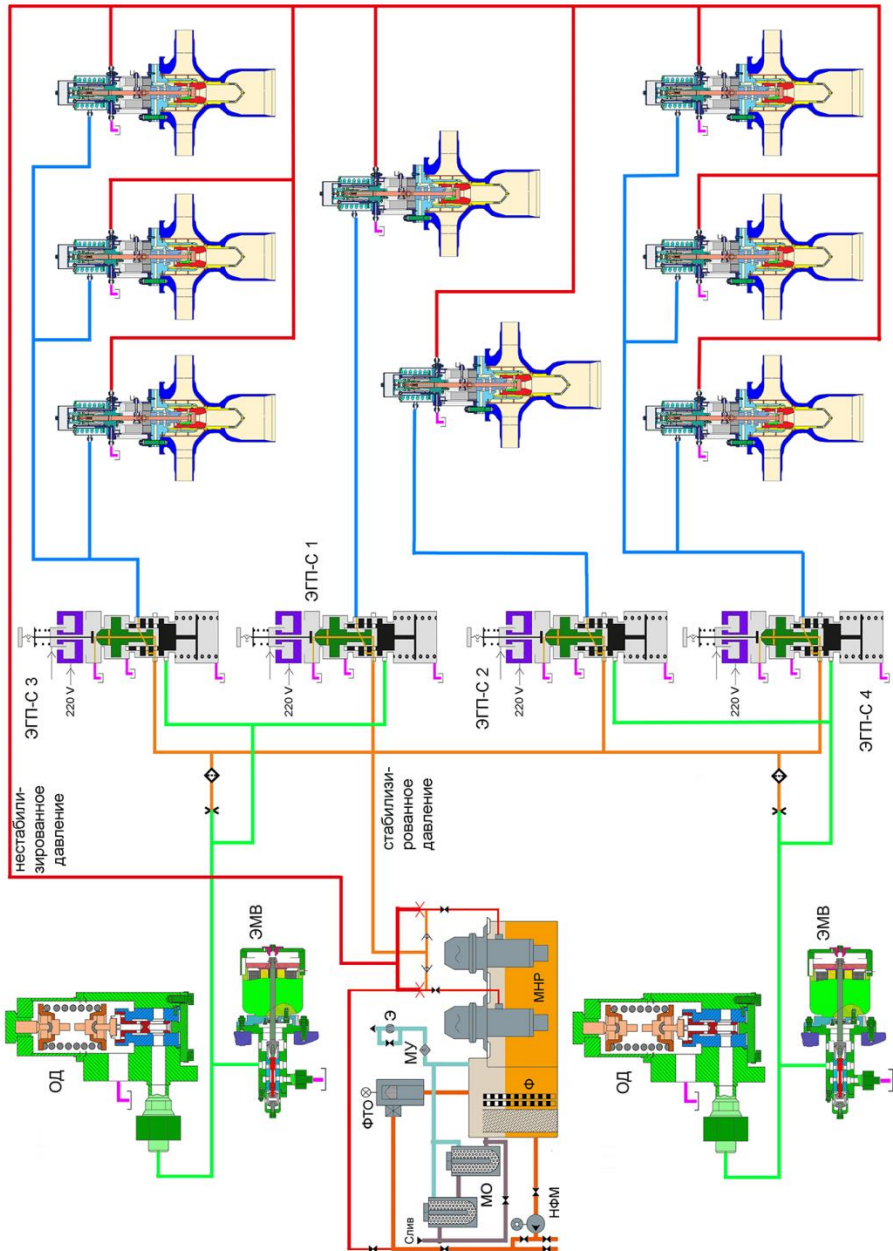
Открытию БРУ-К соответствует перемещение маслоотбойника вниз, закрытию – вверх.

В составе гидромеханического преобразователя имеются два подвижных элемента: бокса, имеющая пружинный подвес в корпусе преобразователя, и дифференциальный золотник. Изменение взаимного положения этих элементов вызывает изменение сечения прохода силового масла линии стабилизированного давления в линию управления группой БРУ-К и изменение давления в этой линии. Дифференциальный золотник может находиться в состоянии динамического равновесия или приходить в движение в зависимости от соотношения давления в двух полостях: под нижним торцом золотника (А) и в верхней кольцевой камере (В), куда силовое масло проходит через осевое и верхние радиальные сверления в золотнике. Осевое сверление золотника является сквозным. Верхний торец, таким образом, образует масляное сопло, напротив которого располагается маслоотбойник ЭМП. Изменение зазора  $\delta$  между торцом золотника и маслоотбойником приводит к изменению характера истечения масла из сопла и, следовательно, к изменению распределения давления по всему тракту движения масла, в том числе, в верхней кольцевой камере В. Например, при приближении маслоотбойника к торцу золотника (при уменьшении зазора  $\delta$  между маслоотбойником и соплом), давление в кольцевой камере В растет и, таким образом, появляется усилие, сдвигающее дифференциальный золотник вниз, в сторону восстановления первоначальной величины зазора. Пара элементов: «маслоотбойник – дифференциальный золотник» образуют так называемое «следящее звено», фактически дифференциальный золотник отслеживает положение маслоотбойника при отсутствии прямой механической связи между ними. Точное воспроизведение характера движения маслоотбойника дифференциальным золотником обусловлено тем, что существует единственное условие силового динамического равновесия и, стало быть, устойчивости положения золотника – сохранение установленного зазора  $\delta$  между соплом и маслоотбойником, при котором устанавливается равновесное распределение давлений масла.



Сдвиг дифференциального золотника вниз в первый момент приводит к раскрытию окна прохода масла линии стабилизированного давления в линию управления группой БРУ-К и к росту давления в этой линии. Однако одновременно растет давление в кольцевой камере С и появляется дополнительное усилие на буксу, сдвигающее ее вниз.

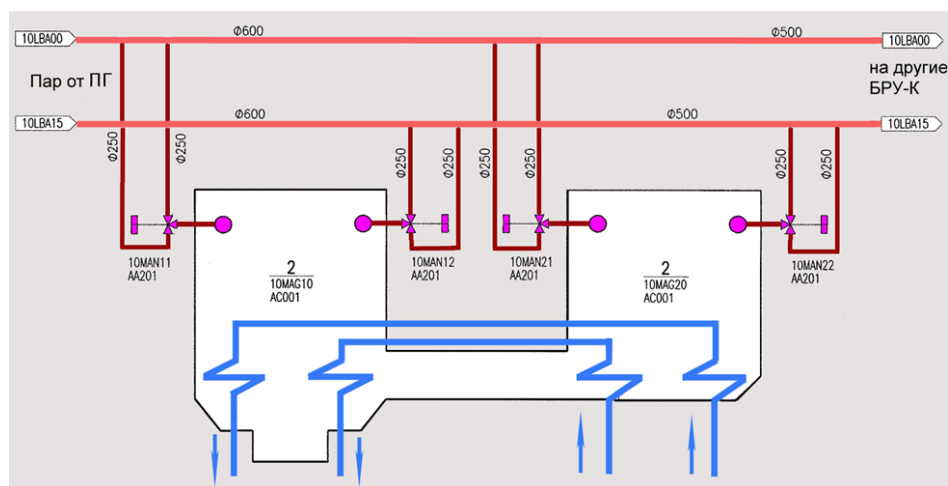
Таким образом, мы здесь видим проявление действия механизма внутренней отрицательной обратной связи: вначале происходит смещение дифференциального золотника, затем в ту же сторону по мере роста давления в управляющей линии смещается подвижная букса, производя выключающий эффект. Рост давления в линии управления группой БРУ-К будет происходить до тех пор, пока букса не совершит тот же ход, который до этого совершил дифференциальный золотник, то есть до момента закрытия питающего окна.



Движение подвижной буксы в корпусе гидромеханического преобразователя происходит под действием трех сил: давлений масла в камерах D и C и остаточного натяжения пружины. Камера D соединена с линией после ЭМВ и ОД. Появление сигнала о запрете работы БРУ-К приводит к обесточиванию электромагнита ЭМВ и почти мгновенному сбросу давления в линии после ЭМВ. Вследствие этого подвижная букса совершает большой ход вниз, одновременно блокируя подпитку управляющей линии и открывая сброс масла из этой линии в дренаж через окно в верхней части буксы, нормально прикрытое верхней широкой частью дифференциального золотника.

#### 1.4.10 Устройство клапанов БРУ-К

В состав системы входят восемь клапанов БРУ-К MAN11, 12, 21, 22, 31, 32, 41, 42AA240, установленных на боковых стенках конденсаторов в непосредственной близости от выхлопов ЦНД. С целью расширения диапазона динамических режимов (сбросов и снижений нагрузки), при которых не происходит срабатывания аварийной защиты реактора (уставка срабатывания 8,0 МПа), быстрое действие клапанов БРУ-К должно быть близким к быстрдействию системы регулирования турбины. Для достижения этого привод клапанов БРУ-К выполняется гидравлическим.



**Схема сброса пара через БРУ-К**

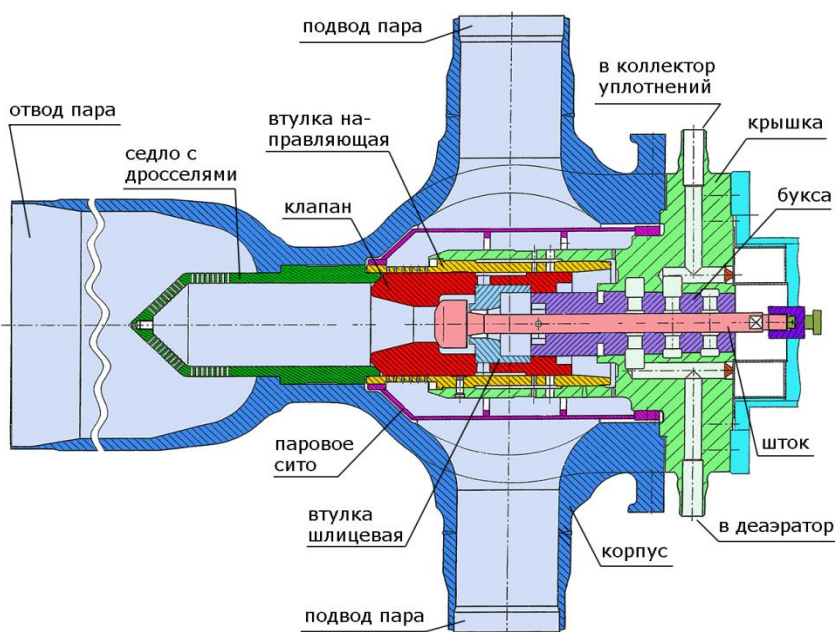
Сброс пара в конденсаторы осуществляется через встроенные пароприемные устройства (ППУ) конденсаторов. Для охлаждения пара в ППУ подводится основной конденсат от напорного коллектора

конденсатных насосов второй ступени с помощью регулирующих клапанов LCE21,22,23,24,25,26,27,28AA201, управляемых регулятором температуры выхлопных патрубков ЦНД.

Подвод пара к конденсаторам осуществляется двумя трубопроводами Ду600, от которых подвод пара к каждому клапану БРУ-К выполнен двумя трубопроводами Ду250. На каждый конденсатор устанавливается по два клапана БРУ-К.

В БРУ-К и пароприёмных устройствах конденсаторов при сбросе пара производится многоступенчатое дросселирование пара с перераспределением перепадов давления между ступенями по мере открытия клапана.

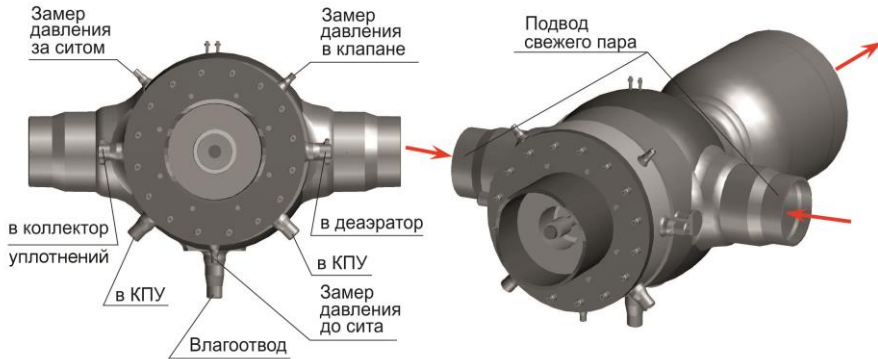
Клапаны БРУ-К располагаются внутри сварно-литых стальных корпусов, на крышках которых устанавливаются их сервомоторы. Клапаны и сервомоторы расположены горизонтально. Седло клапана запрессовано в корпус.



### Конструкция клапана БРУ-К

Седло одновременно является дроссельной решеткой. Его посадочная поверхность имеет форму тора. Чашки клапанов имеют сферическую поверхность, которая контактирует с седлами, когда клапаны закрыты. Контакт «сфера по тору» при наличии (в дополнение к силе пружин сервомотора) большого парового усилия, при-

жимающего чашку к седлу при закрытом клапане, обеспечивает плотность закрытия клапанов.



### Клапан БРУ-К

Конструкция клапана выполнена таким образом, что и в случае повреждения уплотнения "сфера по тору" протечка через клапан ограничивается радиальным уплотнением чашки клапана.

Конструкция клапана и установленное за клапаном дроссельное устройство обеспечивают эффективное снижение шума парового потока. Корпуса клапанов БРУ-К имеют двусторонний симметричный подвод пара, что обеспечивает равномерный прогрев корпусов при сбросе пара в конденсаторы. Предусмотрено удаление влаги из нижних точек корпусов во влагоотделитель LCN01BB001 системы дренажей паропроводов свежего пара.

Для предотвращения попадания грязи из трубопроводов в клапан в корпусе установлено паровое сито, которое крепится к крышке клапана. Пар, поступающий в клапан, проходит через сито, затем через направляющую втулку под тарелку клапана и поступает в седло.

В крышке клапана предусмотрена система отвода протечек пара от штока клапана. Из первой камеры по ходу пара протечки отводятся через два штуцера в деаэрактор LAA10BB001, из второй камеры - в коллектор системы уплотнений турбины (LBW), из третьей - в конденсатор пара уплотнений MAM10AC001.

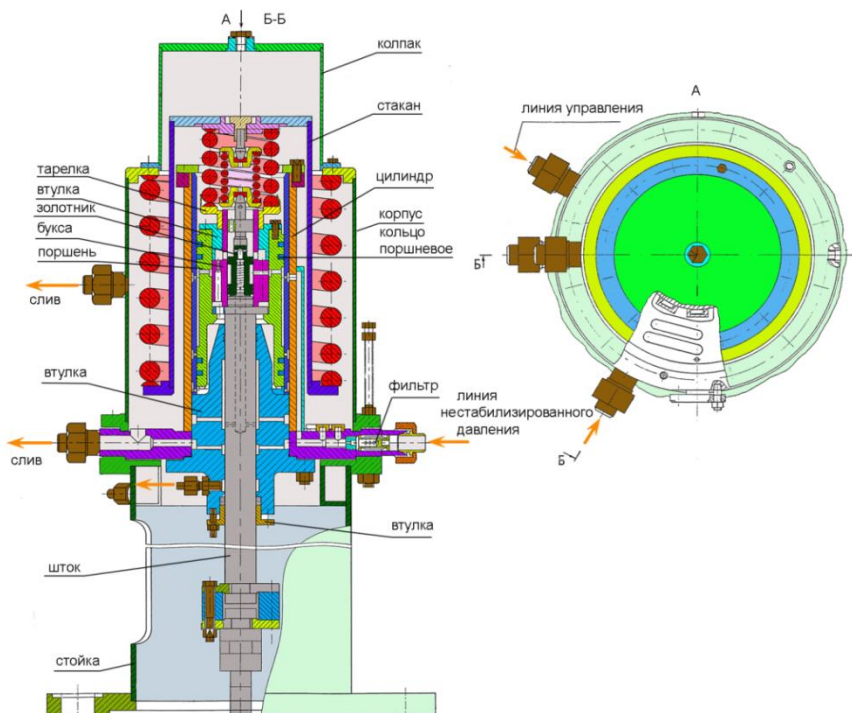
#### 1.4.11 Сервомотор клапана БРУ-К

Приводом редукционных клапанов являются индивидуальные пружинно-гидравлические сервомоторы с отсечным золотником, расположенным внутри поршня, и обратной связью. Требуемые характеристики обеспечиваются жесткостью пружин сервомотора.

Открытие клапана осуществляется подачей масла в сервомотор, закрытие - пружинами сервомотора при снижении давления масла. Шток сервомотора соединен со штоком клапана. При движении штока в сторону открытия клапана сначала открывается разгрузочный клапан, что уменьшает усилие, возникающее от перепада давления, необходимое для начала движения тарелки клапана. При ходе тарелки равном 95 мм клапан полностью открывается.

Для предотвращения нагрева рабочей жидкости в корпусе сервомотора предусмотрена камера, через которую пропускают охлажденную воду.

Масло линии управления БРУ-К по внутреннему каналу штока сервомотора БРУ-К поступает к нижнему торцу подпружиненного золотника, воздействуя на него и открывая или закрывая окно в буксе для прохода силового масла линии нестабилизированного давления во внутреннюю полость поршня. Сервомотор БРУ-К является односторонним: открытие РК БРУ-К производится за счет подачи силового масла во внутреннюю полость поршня сервомотора, закрытие – за счет действия пружин, сжимаемых при открытии клапана.



*Сервомотор клапана БРУ-К*

При увеличении управляющего давления, что происходит при выработке команды на открытие БРУ-К от электронной части регулятора БРУ-К или при наличии дистанционной команды от оператора БПУ, происходит движение золотника вверх. Золотник движется внутри буксы, которая является частью другой движущейся системы «поршень-шток-тарелка». При увеличении давления силового масла во внутренней полости поршня сервомотора происходит движение вверх (на рисунке) поршня со штоком, ведущим на открытие БРУ-К. Движение вверх поршня будет длиться до тех пор, пока окно в буксе не закроется средней бочкой золотника и не прекратится подпитка внутренней полости сервомотора силовым маслом. Таким образом, пара элементов «золотник-букса» образуют механизм отрицательной обратной связи, производящий выключающий эффект по отношению к управляющей команде и обеспечивающий пропорциональное исполнение поданной команды. При снижении управляющего давления происходит опережающее движение вниз золотника и окно в буксе открывается для выпуска силового масла из внутренней полости поршня сервомотора в дренаж (для выпуска силового масла в верхней бочке золотника имеется калиброванное отверстие). Поршень вместе с буксой и штоком движутся вниз, вдогонку за сместившимся золотником, снова приводя в действие механизм отрицательной обратной связи, который обеспечивает адекватное перемещение БРУ-К.

#### 1.4.12 Режимы работы БРУ-К

Три режима работы системы байпаса турбины.

##### **Режим «Пуск».**

Если в момент постановки системы в режим «АУ» давление в ГПК менее 6,8 МПа, БРУ-К приступают к разогреву главных паропроводов со скоростью 20°С/ч до давления в ГПК 6,8 МПа. При этом программатор отслеживает разницу между текущей температурой насыщения в главных паропроводах и заданием по температуре. Если эта разность превышает 5 °С, то программатор приостанавливает изменение заданного значения посредством установки нулевого темпа разогрева. После снижения разности между температурой насыщения в ГПК и заданным значением до 2°С программатор продолжает свою работу. При достижении значения давления величины 6,8 МПа БРУ-К переходят в режим поддержания давления.

Режим «Пуск» используется при пуске блока от этапа прогрева главных паропроводов до момента закрытия БРУ-К при нагружении турбины.

### Режим «Р<sub>ГПК</sub>».

Стерегающий режим работы, который автоматически устанавливается через 20 секунд после закрытия всех клапанов БРУ-К в процессе нагружения турбины. При этом для всех БРУ-К вводится запрет их открытия в режимах «АУ» и «ДУ» неотключаемой блокировкой. Запрет открытия БРУ-К снимается в двух случаях:

1) Повышение давления в ГПК выше 7,3 МПа. Регуляторам БРУ-К при этом устанавливается заданное значение 7,0 МПа. Через 20 секунд после закрытия БРУ-К запрет их открытия вводится вновь.

2) Сброс нагрузки. При сбросе нагрузки задание БРУ-К устанавливается равным значению давления в ГПК за 3 секунды до формирования сигнала. БРУ-К открываются пропорционально величине сброса нагрузки « $\Delta N$ ». Затем сигнал по  $\Delta N$  линейно уменьшается с темпом 30%/мин, БРУ-К закрываются, повышается давление в ГПК. АРМ по факту роста давления в ГПК на 0,25 МПа от уставки переходит в режим Т и разгружает реактор в темпе, определяемом темпом уменьшения « $\Delta N$ » (30%/мин) и настройками АРМ, до тех пор, пока мощность реактора не будет приведена в соответствие с мощностью ТГ. Если величина сброса нагрузки превышает 45%  $N_{ном}$  ТГ, то открытие БРУ-К не способно компенсировать рост давления в ГПК. В этом случае АРМ будет разгружать реактор с темпом, определяемым его настройками.

Режим «Р<sub>ГПК</sub>» используется при работе турбины на мощности с момента закрытия БРУ-К при нагружении турбины до отключения турбины (закрытия СК и РК).

### Режим «Расхолаживание».

В режиме расхолаживания БРУ-К поддерживают выбранную скорость расхолаживания:

- 30 °С/ч – номинальная скорость
- 15 °С/ч – естественная циркуляция
- 60 °С/ч – ускоренное расхолаживание при течи I контура.

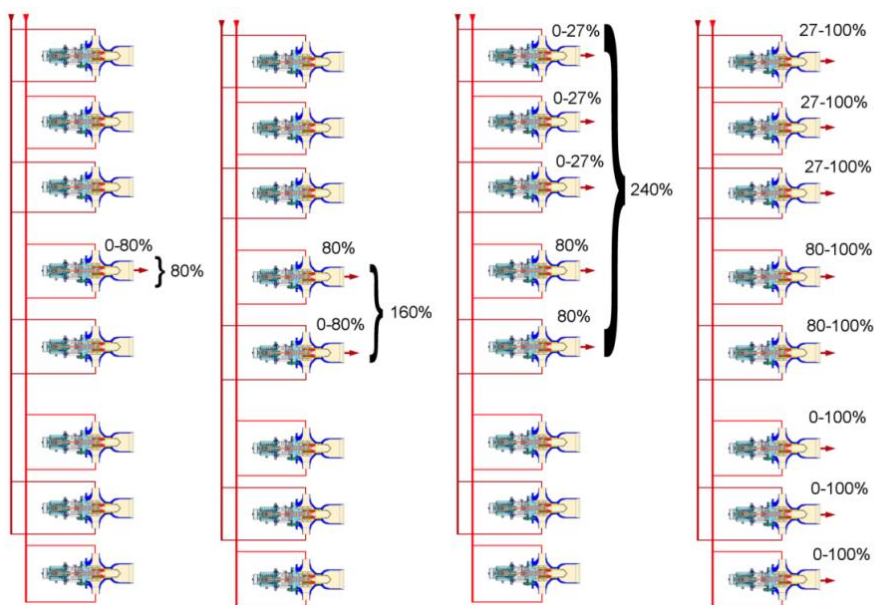
### Последовательность открытия-закрытия.

Во всех режимах работы БРУ-К реализованы алгоритмы их «дооткрытия» и «дозакрытия»:

- при поступлении команды «Открыть» или при срабатывании блокировки на открытие БРУ-К при условии, что БРУ-К по УП открыт менее чем 15%, выдается команда на «дооткрытие» БРУ-К до 15% по УП;

- при поступлении команды «Заккрыть» или при срабатывании блокировок на закрытие БРУ-К (при условии, что БРУ-К по УП открыт менее чем на 10%), выдается команда на «дозаккрытие» БРУ-К до КВ «Заккрыт».

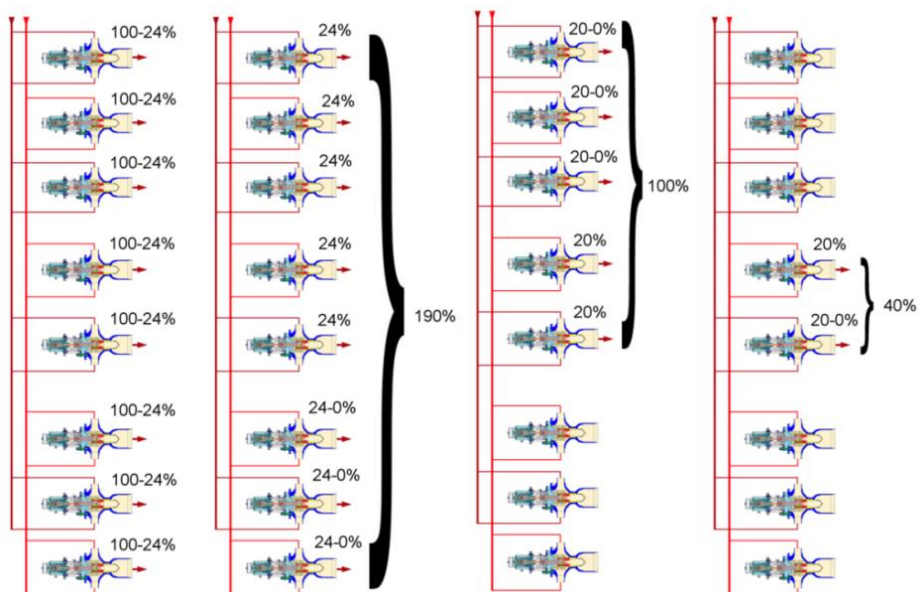
При выборе ПВР включения групп «1-2-3-4» сначала вступает в работу 1 группа, при достижении суммарного положения БРУ-К 1 группы более 80% подключается 2 группа. Когда суммарное положение УП БРУ-К 1 и 2 групп достигает 160% включается в работу 3 группа, при суммарном положении БРУ-К более 240 % начинает открываться последняя 4 группа БРУ-К.



### *Последовательность открытия клапанов БРУ-К*

При выборе ПВР включения групп «2-1-4-3» сначала вступает в работу 2 группа, затем 1 группа и затем по очереди 4 и 3 группа соответственно.

Порядок закрытия БРУ-К обратный. При выборе ПВР включения групп «1-2-3-4» сначала параллельно закрывается все четыре группы БРУ-К. При достижении суммарного положения всех УП БРУ-К менее 190% сначала полностью закрывается 4 группа. При достижении суммарного положения УП БРУ-К менее 100% по УП полностью закрывается 3 группа БРУ-К и при менее 40 % - 2 группа, последней закрывается 1 группа БРУ-К.



**Последовательность закрытия клапанов БРУ-К**

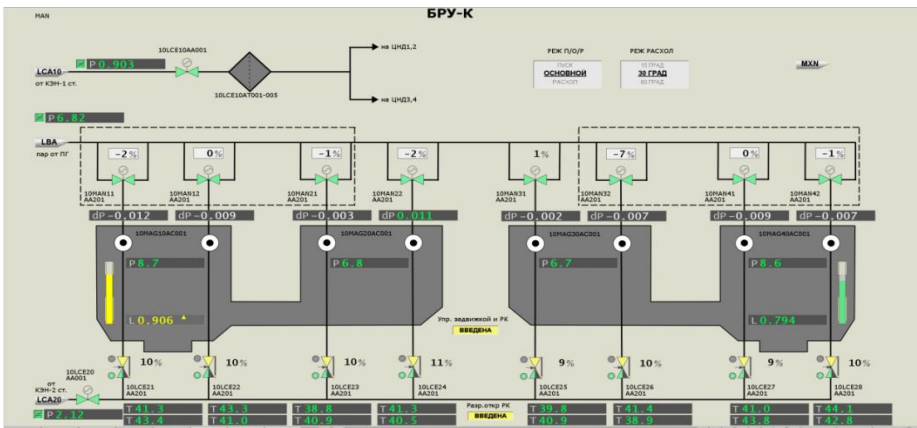
Контроль работы системы осуществляется с видеокладов СВБУ МХН, МАН и пульта БПУ.



**Видеоклад СВБУ МХН**



Пульт БПУ



Видеокадр СВБУ MAN

## 1.5 Система MAX маслоснабжения регулирования

### 1.5.1 Назначение

Автоматизированная система регулирования и защиты в целом (в комплексе с ЭЧСР) предназначена для:

- автоматического поддержания частоты вращения ротора турбоагрегата в соответствии с заданием при развороте турбоагрегата, работе на холостом ходу, синхронизации генератора с сетью и работе на изолированную от сети нагрузку;
- регулирования электрической нагрузки при работе генератора в сети в соответствии с заданием, получаемым от оператора и из системы автоматического управления энергоблока;
- участия в нормированном первичном регулировании частоты сети, согласно требованиям директивных документов энергосистемы;

- поддержания заданного давления пара перед регулирующими клапанами высокого давления;
- предотвращения недопустимого повышения частоты вращения ротора турбины при полном или частичном сбросах нагрузки;
- обеспечения работоспособности турбины в режиме нагрузки собственных нужд и холостого хода;
- защиты турбоагрегата путем прекращения подачи в него пара в случае возникновения недопустимых режимов работы (падения давления масла, повышения давления пара в конденсаторе, осевого сдвига ротора и т.п.);
- предотвращения недопустимого понижения давления свежего пара;
- быстрой кратковременной разгрузки турбины и длительного ограничения мощности по сигналам противоаварийной автоматики энергосистемы.

Система маслоснабжения регулирования предназначена для:

- подачи необходимого количества масла к узлам гидравлической части системы регулирования при подготовке блока к пуску и во время работы турбины;
- подачи масла к узлам гидравлической части системы регулирования от грузовых аккумуляторов в случае кратковременной потери напряжения собственных нужд или переключения насосов регулирования;
- поддержания температуры масла перед узлами в требуемых пределах;
- осуществления механической очистки масла, удаления растворенного в масле воздуха, испарения воды с поверхности масла в баке системы регулирования;
- предотвращения выхода масляных паров в машинный зал.

### 1.5.2 Состав

Система автоматизированного регулирования и защиты турбины выполнена электрогидравлической и структурно состоит из электронной и гидравлической части. Основными компонентами системы являются:

- система маслоснабжения регулирования (МАХ10), включающая ряд устройств для хранения, очистки и подачи огнестойкого масла в пределах данной турбоустановки;
- гидравлическая часть системы регулирования (ГЧСР), включающая электрогидравлические преобразователи-сумматоры (ЭГП-

С) (МАХ51-59AS001) сигналов от турбинного контроллера и исполнительные механизмы – гидравлические сервомоторы регулирующих и стопорных клапанов турбины, сбросных клапанов и клапана греющего пара СПП;

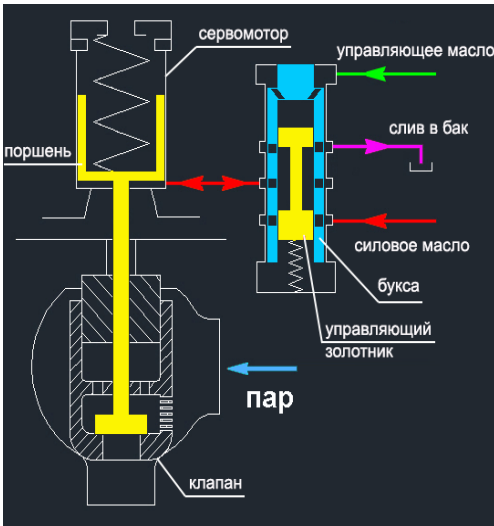
- гидравлическая часть системы защиты турбины, включающая в себя электромагнитные выключатели, золотники отключения турбины (ЗОТ), центробежные выключатели (регулятор безопасности) и устройства для передачи воздействий на исполнительные механизмы системы регулирования;
- электронная часть системы регулирования (турбинный контроллер), реализующая алгоритмы управления регулирующими и сбросными клапанами турбины во всех режимах.

В данном разделе рассматриваются вопросы устройства, принципов работы и порядка эксплуатации исполнительной части системы регулирования, в которой условно можно выделить группу элементов и оборудование подсистемы маслоснабжения регулирования (МАХ10) и подсистему распределения масла (МАХ50), включающую оборудование формирования гидравлических команд управления и защиты (задающая часть) и силовые элементы исполнительной части. В проекте НВ АЭС-2 все задачи регулирования, включая задачу регулирования частоты вращения турбины, выполняются только при совместном функционировании гидравлической и электронной частей системы регулирования ввиду отсутствия в составе гидравлической части собственного датчика частоты вращения. В составе электронной части имеется электронный датчик частоты и, соответственно, электронный регулятор частоты вращения, что позволило снизить общую нечувствительность системы регулирования.

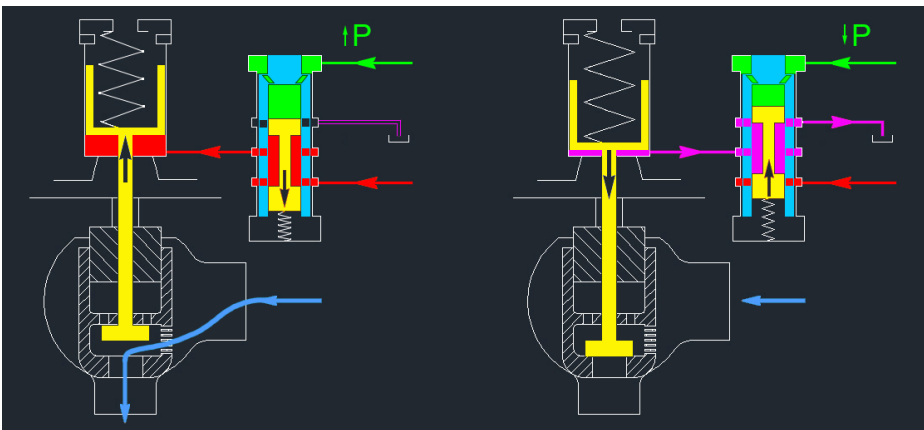
### 1.5.3 Принцип работы сервомоторов

Сервомоторы стопорных и регулирующих клапанов и заслонок, клапана греющего пара второй ступени СПП, сбросных клапанов выполнены пружинно-гидравлическими. То есть для открытия клапанов необходимо подать масло через управляющие золотники в сервомоторы, а при сливе масла произойдет закрытие клапанов под действием пружин.

Масло к золотникам подается двумя линиями: управляющая линия (зеленая) и силовое масло (красная линия). Золотник находится в положении равновесия под действием пружины с одной стороны и управляющего масла с другой. Рост давления в управляющей (зеленой) линии приводит к перемещению золотника вниз, при этом



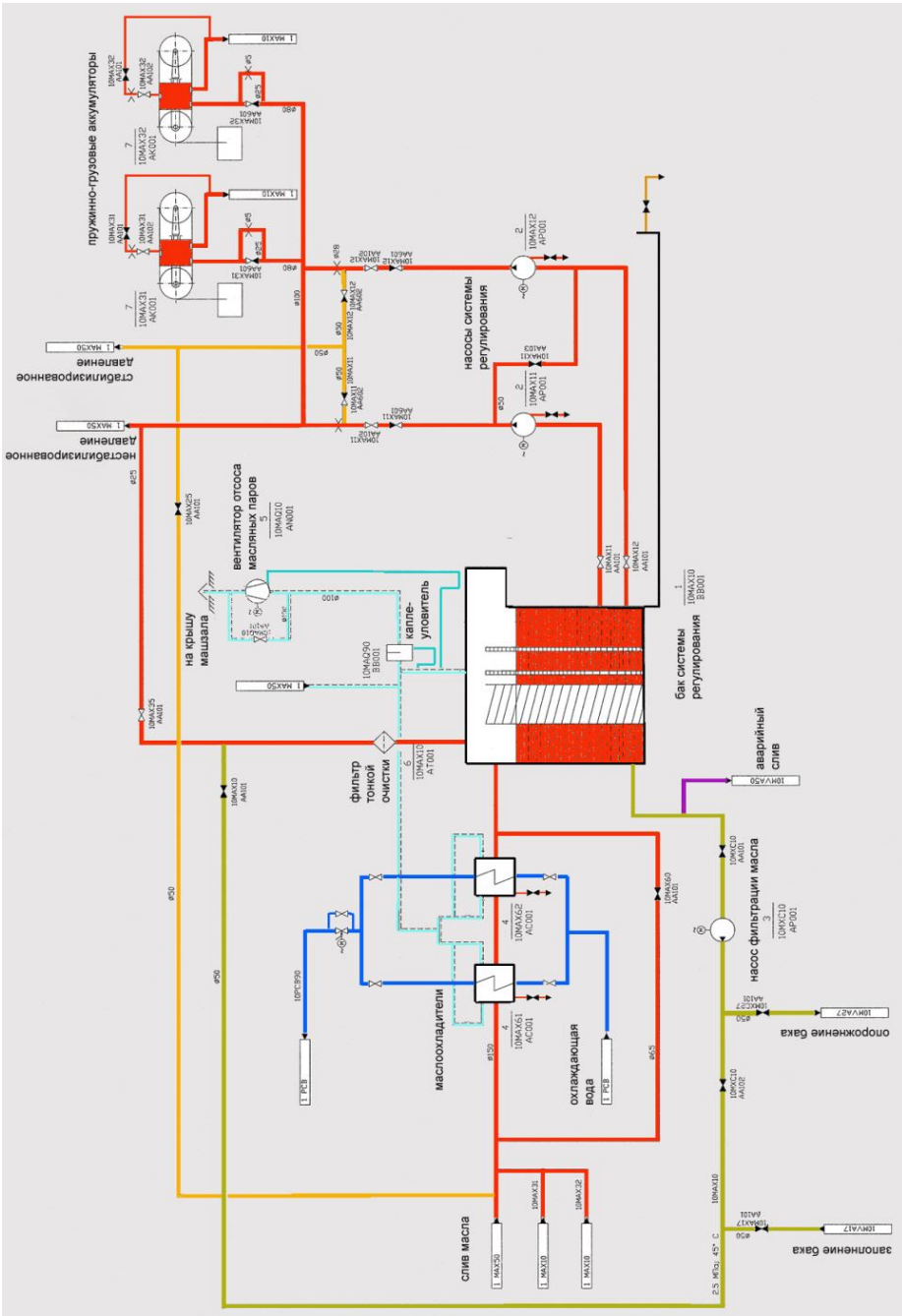
открывается окно подачи силового масла (красная линия) в поршневое пространство сервомотора. Происходит перемещение поршня вверх и открытие клапана. При сбросе давления в линии (зеленой) управление золотник перемещается вверх под действием пружины, перекрывает окно подачи силового масла в поршневое пространство сервомотора и открывает окно слива масла из сервомотора (розовая линия). Под действием пружины клапан закрывается.



*Принцип работы пружинно-гидравлического сервомотора*

#### 1.5.4 Описание технологической схемы подсистемы MAX10

Масло из маслобака насосом (одним из двух) подается в напорный коллектор, который делится на две линии: управляющую (стабилизированного давления) и силовую (нестабилизированного давления). Маслоснабжение коллектора нестабилизированного давления производится через шайбу  $\varnothing 28$  мм, а коллектора стабилизированного давления - до шайбы.



Технологическая схема подсистемы МАХ10

Из коллектора стабилизированного давления производится маслонабжение командных органов гидравлической части системы регулирования, это управляющее масло, а из коллектора нестабилизированного давления – маслоснабжение гидравлических сервомоторов стопорных, регулирующих и сбросных клапанов, это силовое масло для перемещения (открытия) сервомоторов. В случае большого потребления масла сервомоторами (при движении на открытие) давление в коллекторе нестабилизированного давления может снижаться, однако это снижение за счет шайбы не затрагивает коллектор стабилизированного давления, не сказывается на работе элементов, формирующих гидравлические управляющие команды, чем исключается возможность возникновения автоколебаний.

### 1.5.5 Конструкция оборудования системы.

Конструкция оборудования системы регулирования турбины (маслонасосы, маслобак, фильтры тонкой очистки, маслоохладители, насос фильтрации масла, электрогидравлические преобразователи-сумматоры, электромагнитные выключатели, ограничитель давления) аналогична конструкции оборудования системы регулирования БРУ-К.

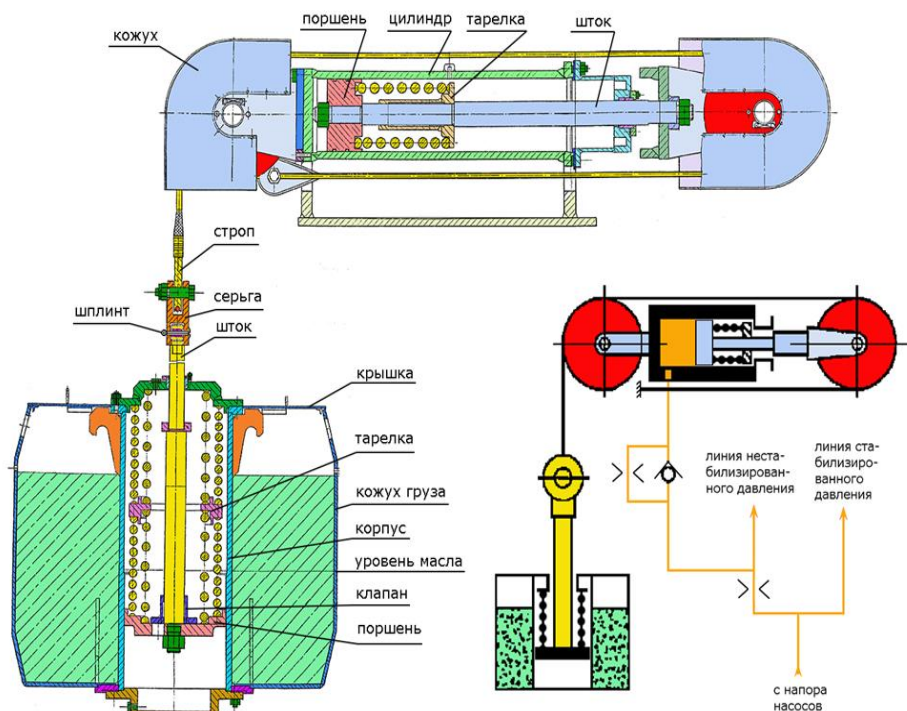
### 1.5.6 Пружинно-грузовые аккумуляторы

Для уменьшения снижения давления в коллекторе нестабилизированного давления при автоматическом переключении с основного насоса на резервный, а также при набросах электрической нагрузки предназначены грузовые аккумуляторы МАХ31АК001, МАХ32АК001. Рабочий объем аккумулятора составляет 45 л. Аккумулятор обеспечивает поддержание давления масла на допустимом уровне при аварийном исчезновении напряжения собственных нужд и отключении при этом обоих насосов регулирования.

Подача масла из аккумулятора в маслосистему производится по маслопроводу Ду50, на котором установлен обратный клапан, закрывающийся при зарядке. Зарядка аккумулятора производится через дроссельную шайбу диаметром 4,5 мм по байпасному маслопроводу обратного клапана. Аккумулятор имеет поршень, на торец которого при работе МНР воздействует масло из коллектора нестабилизированного давления. Перемещаясь вправо под воздействием давления масла, поршень аккумулятора через систему блоков поднимает груз весом около 3,5 т. Процесс зарядки аккумулятора заканчивается, когда поршень становится на правый упор.

В первый момент после падения давления масла в маслосистеме

регулируемого движения поршня аккумулятора обеспечивается за счет деформации пружин, входящих в подвеску груза аккумулятора и сжатых усилием его веса, так как груз из-за своей инерционности не способен в этот момент обеспечить натяжение троса. В последующий момент перемещающийся груз восстанавливает натяжение троса и поддерживает давление в маслосистеме регулирования на уровне не менее  $40,5 \text{ кгс/см}^2$ .



### Пружинно-грузовой аккумулятор

Для смягчения удара поршня о левый упор имеется демпфер, выполненный в виде окна, уменьшающегося по мере движения поршня к этому упору. Емкость аккумулятора 45 литров выбрана из условий обеспечения нормальной работы системы регулирования в течение примерно 10 с, т.е. времени большего, чем уставка срабатывания защит на отключение блока при аварийном исчезновении напряжения собственных нужд электростанции. Перемещение поршня между упорами 0,85 м, соответствующее ему перемещение груза 5,1 м. Диаметр поршня 265 мм. Заполнение аккумулятора происходит за 1,5 – 2 мин.

### 1.5.7 Описание технологической схемы подсистемы (МАХ50)

#### Принцип управления

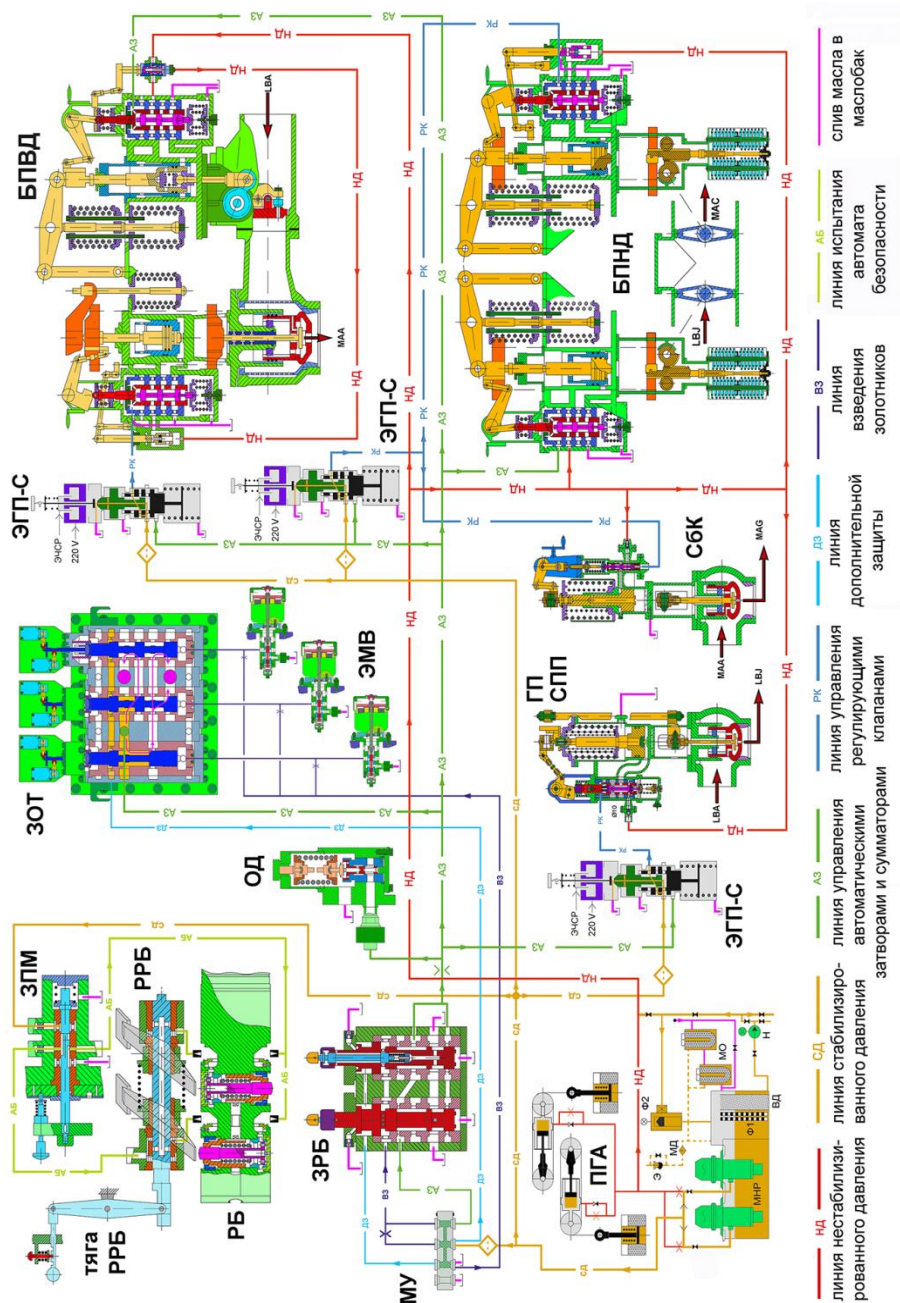
Стопорные, регулирующие клапаны турбины и клапан греющего пара СПП управляются индивидуальными пружинно-гидравлическими сервомоторами. Клапаны открываются под действием давления масла на поршень сервомотора, а закрываются под действием пружин сервомотора при снижении давления (при сливе) масла. Сбросные клапаны СПП также управляются пружинно-гидравлическими сервомоторами, но закрываются давлением масла, а открываются пружинами.

Таким образом, для взведения (открытия) *стопорных клапанов* (для преодоления усилия пружин сервомоторов) необходимо поднять давление масла в линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами более 3,5 МПа. При этом происходит перемещение управляющего золотника и открывается окно подачи силового масла (красная линия) в полость сервомотора стопорного клапана. Приводится в движение поршень сервомотора, который передает движение на шток и связанную с ним траверсу, и, далее, на горизонтальный вал, управляющий положением тарелки СК. Перемещение траверсы одновременно приводит в действие механические связи, передающие движение на промежуточный золотник. Назначение золотника состоит в организации правильной последовательности открытия СК и РК ЦВД, а именно: вначале происходит открытие СК, затем открывается подача силового масла к управляющему золотнику сервомотора РК через промежуточный золотник и становится возможным открытие РК ЦВД.

Управление *регулирующими клапанами* ВД, НД, *сбросными клапанами* и *клапаном греющего пара СПП* при пуске, синхронизации и изменении нагрузки осуществляется подачей сигнала от турбинного контроллера (управляющего вычислительного комплекса) на электрогидравлические преобразователи-сумматоры ЭГП-С, что приводит к изменению управляющего давления сервомоторов регулирующих клапанов ВД, НД, сбросных клапанов и клапана греющего пара. В отличие от механизма привода СК в приводе РК

управляющее давление меняется непрерывно в диапазоне от ~1,0 до ~ 3,3 МПа. Это приводит к постепенному перемещению золотника, управляющего подачей силового масла в сервомотор и, соответственно, к постепенному перемещению РК.

Каждый РК ВД, каждая связка РК НД - СБК и клапан греющего пара СПП управляется индивидуальным ЭГП-С (всего 9 штук).



Гидравлическая схема системы регулирования и защиты турбины

Ограничитель давления стабилизирует давление в линии управления автоматическими затворами и сумматорами на уровне ~ 3,5 МПа, примерно соответствующем уровню давления в линии управления сервомоторами в режиме номинальной мощности.

Конструкция ЭГП-С и ограничителя давления аналогичны конструкции оборудования системы регулирования БРУ-К.

### 1.5.8 Гидравлическая часть системы защиты турбины

Подсистема защиты турбины предназначена для быстрого закрытия всех стопорных и регулирующих клапанов ЦВД и ЦНД, клапана греющего пара и открытия сбросных клапанов, благодаря чему прекращается подача свежего пара в ЦВД и пара после СПП в ЦНД, а также исключается поток пара на вторую ступень СПП.

В состав гидравлической части подсистемы защит входят:

- электромагнитные выключатели;
- золотники отключения турбины;
- регулятор безопасности (защита от разгона);
- золотники регулятора безопасности;
- золотник подачи масла.

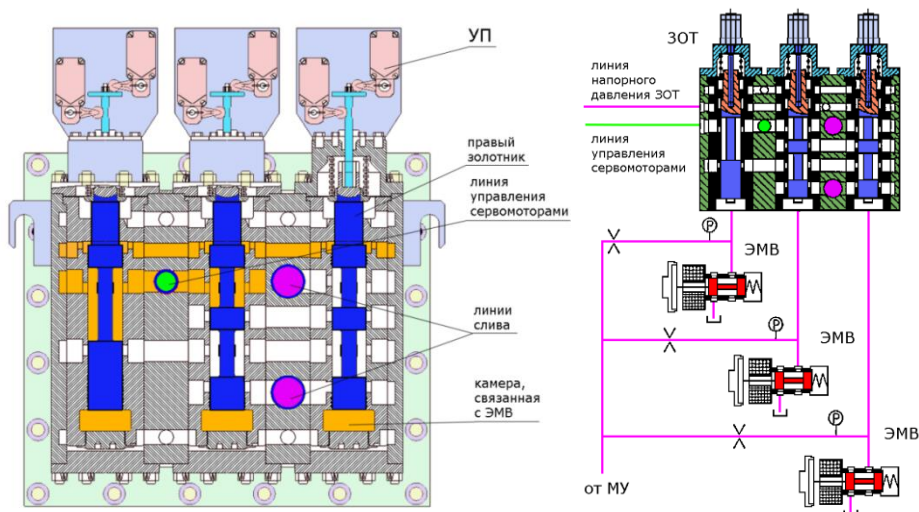
### 1.5.9 Электромагнитные выключатели

Для реализации срабатывания защиты турбины (т.е. для закрытия СК ВД, СК НД, РК ВД, РК НД, клапана греющего пара СПП и для открытия сбросных клапанов) необходимо сбросить давление в линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов. Для этой цели гидравлическая часть системы защиты турбины снабжена тремя электромагнитными выключателями.

ЭМВ представляет собой золотниковое устройство с электромагнитным приводом. Золотник имеет два положения: открыт – закрыт. Когда электромагнит запитан, золотник закрыт и ЭМВ не оказывает никакого влияния на систему. Сигнал о срабатывании любой защиты турбины приводит к обесточиванию электромагнита, открытию золотника и сливу масла из линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов. Конструкция ЭМВ аналогична конструкции оборудования системы регулирования БРУ-К.

Каждый ЭМВ связан гидравлическими линиями (линиями защиты) со своим золотником отключения турбины ЗОТ.

### 1.5.10 Золотники отключения турбины



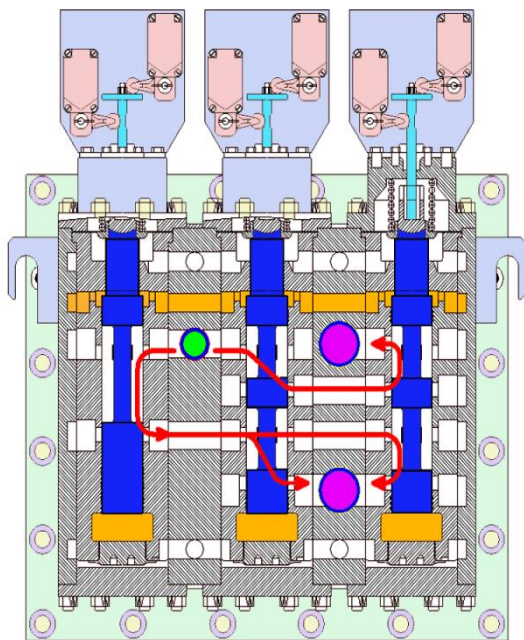
#### *Золотники отключения турбины*

Золотники отключения турбины (ЗОТ) предназначены для реализации мажоритарного (два сигнала из трех) принципа срабатывания защиты. В составе ЗОТ имеются три подвижных золотника, обеспечивающих совместно с электромагнитными выключателями ЭМВ формирование и сброс давления в линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов.

Каждый из золотников может занимать одно из двух положений: верхнее (взведенное) и нижнее (выбитое). При верхнем положении золотников (по крайней мере, двух из трех) закрываются каналы сброса давления из линии (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов и сумматорами и становится возможным открытие СК турбины и работа приводов РК. В нижнем (выбитом) положении (по крайней мере, двух из трех) золотников открываются каналы (по меньшей мере, один канал из двух) дренажа и происходит сброс давления в линии (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов и закрытие всех органов парораспределения (открытие сбросных клапанов).

Подъем (взведение) золотников отключения турбины ЗОТ в верхнее положение происходит при подаче масла от механизма управления (МУ) в линию защиты (в пространство под золотниками). Перевод золотников ЗОТ в нижнее (выбитое) положение происходит за счет пружин и давления масла, подаваемого в полости над зо-

лотниками (в линию напорного давления ЗОТ), при обесточивании ЭМВ и сливе масла из линии защиты (из пространства под золотниками).



При прохождении сигнала от системы защиты или при воздействии на кнопку отключения (на БПУ) происходит снятие напряжения с катушек ЭМВ. Обесточивание ЭМВ приводит к падению давления в линиях под золотниками (в линиях защиты), отключению и перемещению золотников на нижние упоры. Таким образом, открывается слив масла в дренаж через ЗОТ из линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами СК и сумматорами. Действие всей цепи защиты происходит при срабатывании как минимум любых двух из трех золотников.

### *Золотники отключения турбины*

Конструкция ЗОТ позволяет производить поочередное расхождение каждого золотника через взаимодействующий с ним ЭМВ на турбине, работающей под нагрузкой.

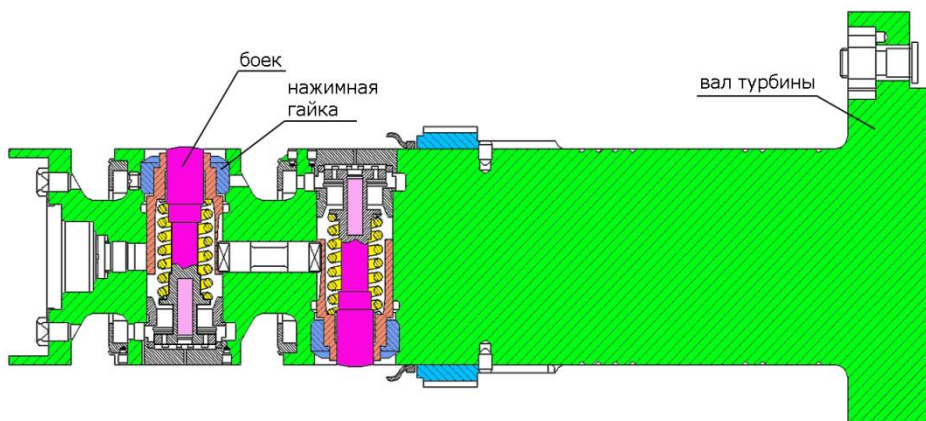
Положение каждого золотника отключения турбины фиксируется с помощью конечных выключателей.

### 1.5.11 Противоразгонная защита

Турбина снабжена механо-гидравлической системой защиты от чрезмерного повышения частоты вращения, которая быстро прекращает подачу пара в турбину при повышении частоты вращения на  $9 \div 10\%$  сверх номинальной. Эта защита осуществляется двумя центробежными выключателями бойкового типа - регуляторами безопасности (РБ). Бойки РБ выступают из корпуса на  $1 \pm 0,1$  мм.

Регуляторы безопасности работают в паре с золотниками регулято-

ра безопасности (ЗРБ). Передача воздействия от бойка на золотник регулятора безопасности осуществляется через поворотный рычаг (РРБ), один конец которого находится в контакте с верхней частью ЗРБ, а другой - с бойком при условии, что произошло смещение бойка на величину хода, превышающую установленный зазор.



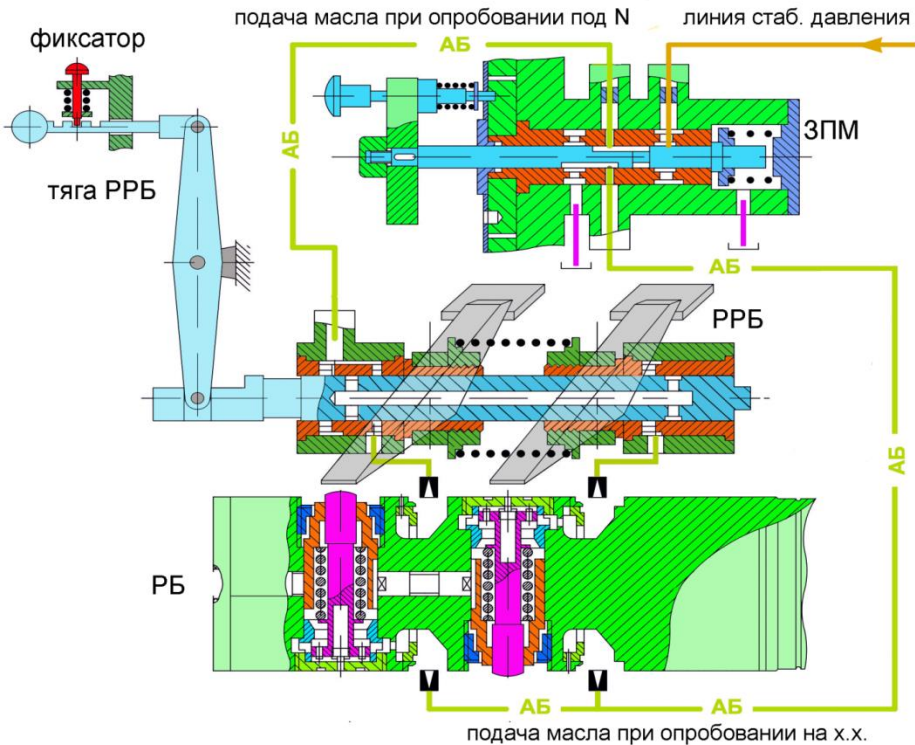
### ***Бойки регулятора безопасности на консольном валу***

Бойки располагаются внутри радиальных каналов специального консольного вала (вала РБ), соединенного с валом турбины, и имеют пружинное закрепление. Центр тяжести бойка смещен относительно геометрической оси вала, поэтому при изменении оборотов турбины меняется центробежная сила, действующая на боек.

При увеличении частоты вращения на 9 % сверх номинального значения для одного бойка и на 10% для другого смещение бойка под действием центробежной силы начинает превышать установленный зазор, и движение от бойка передается на поворотный рычаг и далее на импульсный золотник в составе ЗРБ. При этом происходит смещение вниз (выбивание) соответствующего золотника регулятора безопасности, что приводит к сливу масла из линии АЗ (зеленой) управления сервомоторами автоматических затворов и закрытию СК и РК.



Имеется возможность менять настройку срабатывания РБ, изменяя натяг пружины. Изменение уставки срабатывания производится поворотом нажимной гайки с последующей фиксацией ее положения стопорным винтом. Поворот гайки на 10 градусов соответствует изменению уставки примерно на 30 об/мин.

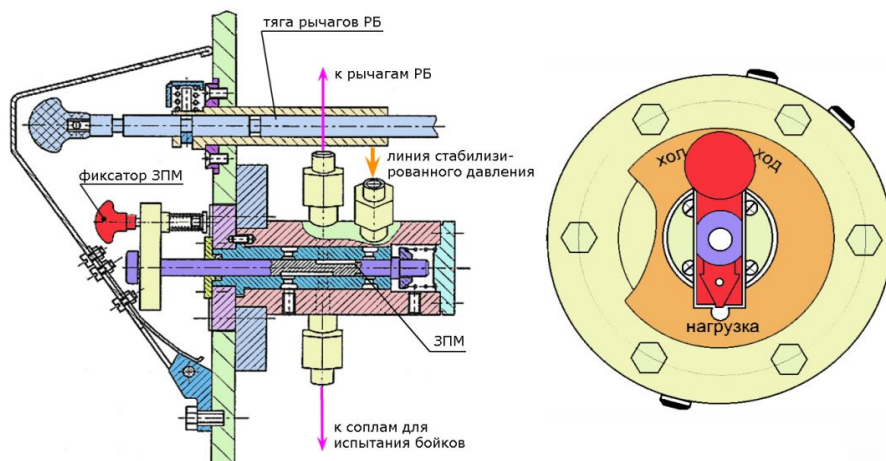


### Проверка срабатывания противозазонной защиты

Для организации периодической проверки работы, а также расхаживания подвижных элементов предусмотрена возможность срабатывания бойков без увеличения оборотов турбины. Для этого в канале под бойком организована полость, в которую во время вращения турбины может быть подано масло, создающее за счет действия центробежных сил давление в этой полости и заставляющее боек выходить из канала без увеличения частоты вращения. Для обеспечения возможности подачи масла внутрь вращающегося вала РБ напротив соответствующих входных масляных каналов расположены сопла, через которые и производится забрызгивание масла в полости под бойками. Имеется возможность одновременной и поочередной подачи масла к бойкам. Действие масла на боек

при испытании имеет кратковременный характер, и сразу после прекращения забрызгивания масло удаляется из полости под бойком через сквозное отверстие за счет все тех же центробежных сил.

Поворотные рычаги регулятора безопасности (РБ) свободно посажены на вал и имеют возможность одностороннего смещения по направлению друг к другу при воздействии на специальный тяговый рычаг (тягу). Тяга имеет три фиксированных положения: среднее, при котором оба бойка находятся напротив ударных плеч своих поворотных рычагов (рабочее состояние РБ), и два смещенных положения, при которых одно из ударных плеч выведено из зоны воздействия бойка (положение испытания бойка при работе на мощности).



### Золотник подачи масла

Конструкция тяги позволяет организовать поочередную подачу масла к бойкам при испытании РБ без увеличения оборотов. Для этого вал тяги имеет суженную и широкую часть, а также осевой и два радиальных внутренних канала. При смещении тяги в правую сторону происходит вывод левого поворотного рычага из зоны действия бойка и, одновременно, обеспечивается подвод масла к левому соплу за счет сдвига широкой части вала тяги. При нажатии на золотник подачи масла (ЗПМ) происходит забрызгивание масла в полость бойка и его выход из канала. Однако дальнейшей передачи импульса не происходит, так как ударное плечо левого поворотного рычага выведено из зоны действия бойка. Срабатывание бойка фиксируется датчиком. При смещении тяги в левую сторону масло к правому соплу попадает через осевой канал тяги, войдя в него через левый радиальный канал и выйдя из правого. При этом выведе-

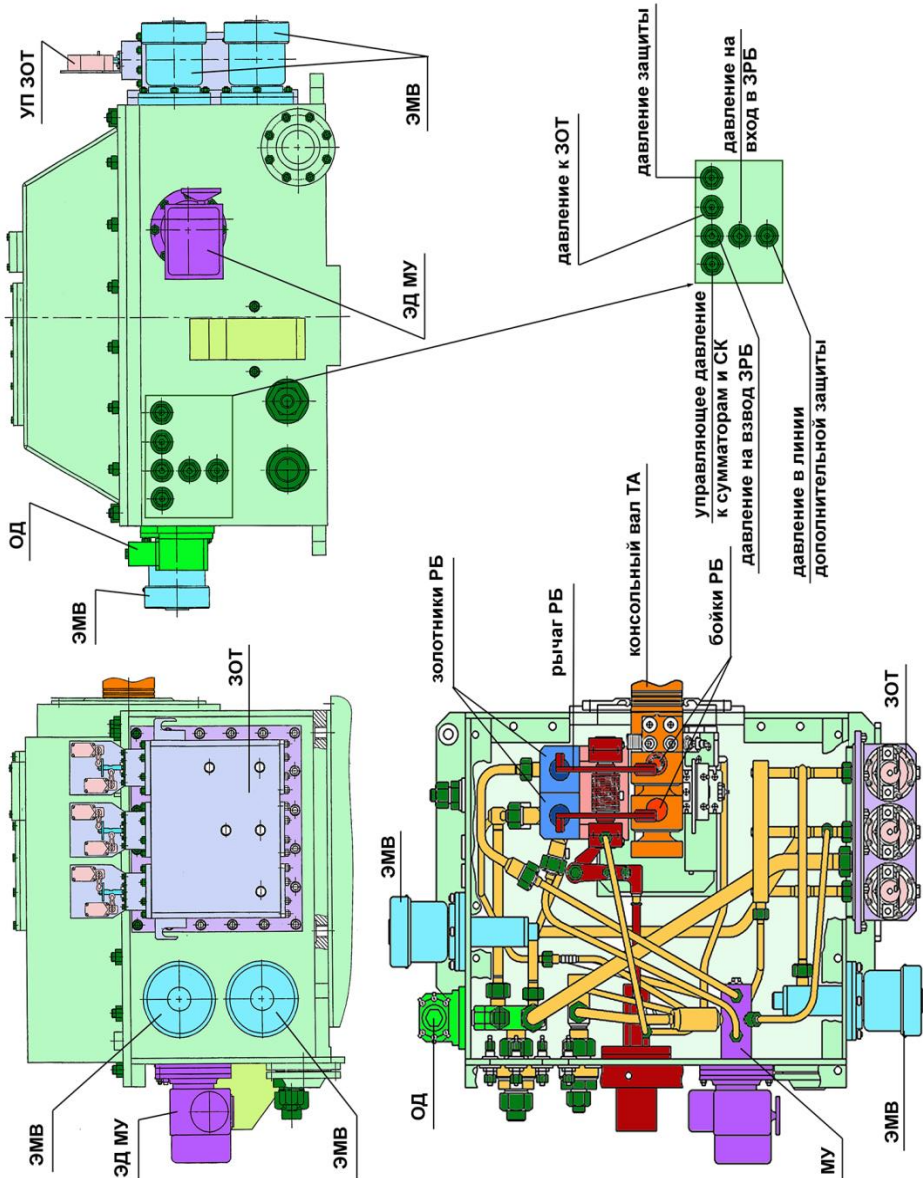
ден из зоны действия бойка правый поворотный рычаг. Другой конец поворотного рычага имеет пружинное поджатие к головке импульсного золотника ЗРБ.

Золотник подачи масла размещен в одном блоке с рычагом тяги и закрыт защитной крышкой от несанкционированного доступа. Золотник имеет фигурные вырезы в теле и может занимать два фиксированных положения относительно оси поворота: "испытание на холостом ходу" и "испытание под нагрузкой". Для подключения к линии стабилизированного давления каналов подачи масла к бойкам поворотный золотник должен быть повернут в то или иное положение, после чего следует нажать на золотник. Естественно, перед началом испытаний, связанных с подачей масла к бойкам, вал тяги рычагов РБ должен быть переведен в положение, соответствующее целям испытания: при проверке РБ на холостом ходу вал тяги занимает среднее (рабочее) положение, а при опробованиях под нагрузкой - поочередно сдвинут в крайние положения.

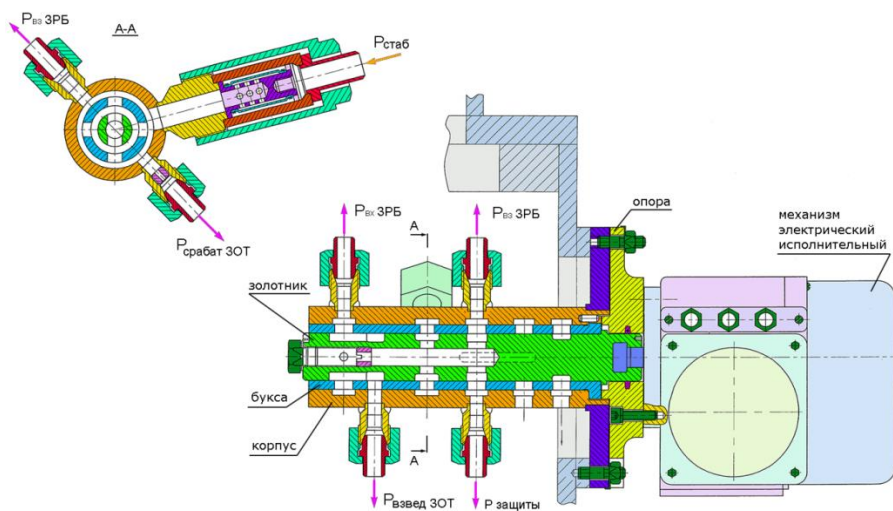
### 1.5.12 Механизм управления

Механизм управления представляет собой устройство с поворотным золотником и имеет в своем составе: корпус, буксу, поворотный золотник, приводной электродвигатель МЭО и 7 присоединенных штуцеров для приема и раздачи масла в линии управления и защиты. Имеется также маховик ручного управления положением золотника. Механизм управления (МУ) организует такую последовательность подачи масла от линии стабилизированного давления к элементам защиты и управления, которая исключает условия неконтролируемого разгона турбины при ее пуске.

Начальное положение МУ соответствует  $0^\circ$  поворота золотника. В этом положении масло подается в линии защиты и дополнительной защиты, что позволяет взвести золотники ЗРБ и ЗОТ при условии, что взведены электромагнитные выключатели (то есть нет сигналов от действующих защит турбины). Далее при повороте золотника МУ масло должно быть подано в верхние камеры ЗРБ и ЗОТ для приведения их в состояние готовности к срабатыванию. И, наконец, при дальнейшем увеличении угла поворота золотника масло поступает в линию (зеленую) управления автоматическими затворами и сумматорами и происходит открытие СК турбины. После срабатывания защит на останов турбины повторный пуск возможен только после вывода МУ в начальное положение, при котором сбрасывается давление в верхних камерах золотников ЗРБ и ЗОТ, и появляется возможность повторного их взвода.



Блок регулирования



### Механизм управления

#### 1.5.13 Блоки парораспределения высокого давления

Каждый блок состоит из одного стопорного клапана поворотного типа и одного поступательно перемещающегося регулирующего клапана, которые управляются пружинно-гидравлическими сервомоторами.

Стопорный клапан состоит из собственно клапана, пружинно-гидравлического сервомотора и управляющего золотника.

Стопорный клапан поворотного типа. Тарелка 1 клапана подвешена на двух ребрах 2 и рычаге 4 к горизонтальному валу 3. Внутренний 4 и внешний 5 рычаги жестко закреплены на валу 3 на шлицевом соединении.

Сервомотор СК расположен непосредственно на корпусе клапана. Управляется сервомотор путем изменения давления управляющего масла, подводимого на верхний торец управляющего золотника 16 от золотника механизма управления МУ. Поршень сервомотора 17 связан через шток 15 с внешним рычагом 5.

При повышении управляющего давления над верхним торцом золотника 16 он перемещается вниз, сжимая пружину 24, и открывает окно подачи силового масла линии нестабилизированного давления

в полость под поршнем 17 сервомотора. Поршень со штоком 15 перемещается вверх, поворачивает внешний рычаг 5 и внутренний рычаг 4 через вал 3. В начале поворота вала 3 происходит открытие разгрузочного клапана 6, который выравнивает давление пара до и после тарелки 1, что облегчает последующее открытие стопорного клапана.

При перемещении вверх поршень 17 со штоком 15 поворачивает рычаг 19 и через тяги 21 сжимает пружины 18. Одновременно через рычаг обратной связи 25 и эксцентриковый вал 26 опускается букса 27, которая догоняет сместившийся вниз золотник 16 и встает в среднее отсечное положение относительно него. Поршень сервомотора останавливается, заняв новое положение, соответствующее новому значению управляющего давления.

При понижении управляющего давления над верхним торцом золотника 16 он перемещается вверх под действием силы пружин 24 и открывает слив масла из полости под поршнем 17. Поршень 17 перемещается вниз (в сторону закрытия тарелки стопорного клапана) и происходит процесс, обратный описанному выше. Закрытие стопорного клапана происходит под действием пружин 18 при снижении давления масла под поршнем 17.

При закрытом стопорном клапане поршень 17 сервомотора находится внизу, при этом между днищем корпуса и нижней кромкой поршня имеется зазор 20 мм, гарантирующий упор тарелки 1 стопорного клапана в корпус. При перемещении поршня 17 сервомотора на 300 мм каждая из пружин 18 деформируется на 150 мм. Необходимая зависимость положения поршня сервомотора от управляющего давления обеспечивается натягом и жесткостью пружин 24 и передаточным отношением обратной связи.

В основании корпуса сервомотора имеется канал для пропуска охлаждающей воды, предотвращающей перегрев рабочей жидкости.

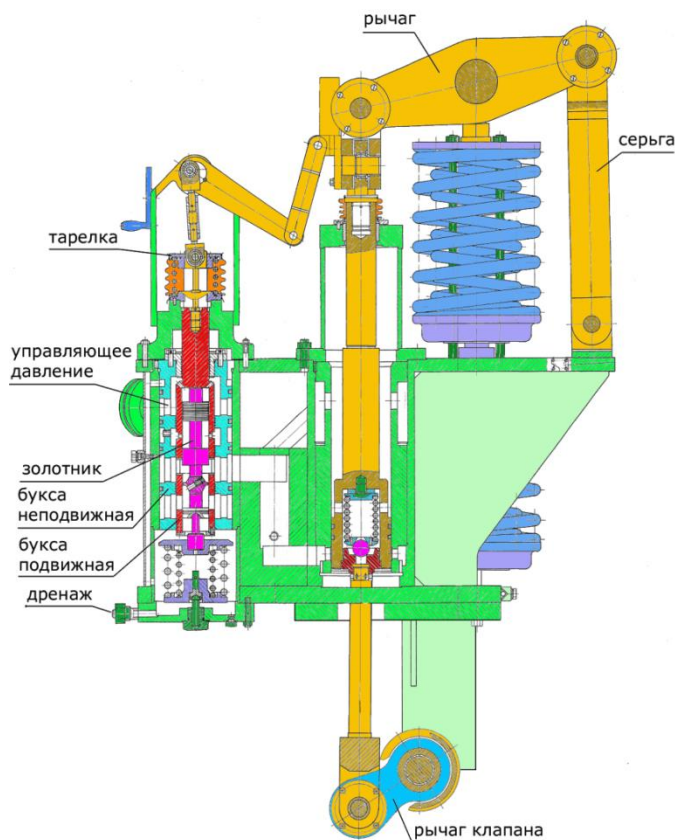
Сервомотор стопорного клапана ЦВД снабжен ручным механизмом расхаживания, с помощью которого клапан можно перевести из открытого положения в любое, вплоть до полного закрытия.

Вращение маховика 28 механизма расхаживания по часовой стрелке через червячную передачу 22 передается эксцентриковому валу 26, в котором расположена ось рычага связи. Поворот вала 26 вызывает смещение буксы 27 вниз относительно золотника 16, при этом прикрывается окно, через которое силовое масло из линии нестабилизированного давления поступает под поршень 17 сервомотора.

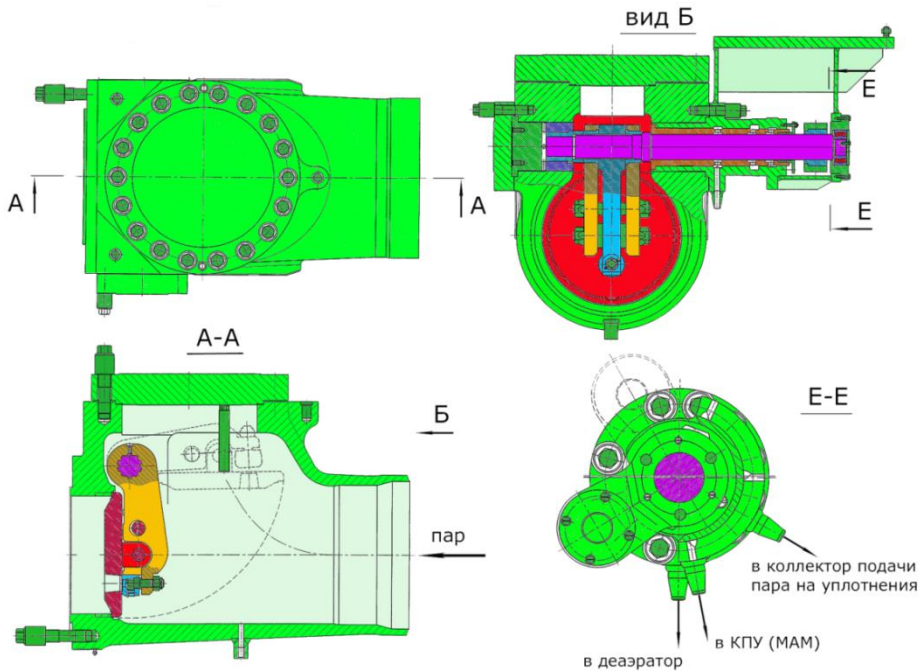


Это приводит к снижению давления под поршнем 17 и движению его вниз, в сторону закрытия стопорного клапана. По окончании расхаживания маховик следует вращать против часовой стрелки до упора, чтобы вернуть механизм расхаживания в исходное положение.

При открытии стопорного клапана через механические связи перемещается вниз промежуточный золотник 39, установленный на фланце СК. При этом открывается окно подачи силового масла через данный золотник на сервопривод регулирующего клапана. Таким образом реализована последовательность открытия клапанов: без взведения стопорных клапанов невозможно открыть регулирующие.



*Сервомотор стопорного клапана высокого давления*



### Стопорный клапан высокого давления

За стопорным клапаном по ходу пара расположен регулирующий клапан. РК ВД - разгруженный. Шток 7 клапана, соединенный с траверсой 12 сервомотора, сначала открывает разгрузочный клапан 8, а затем и чашку 9 основного клапана. При открытии разгрузочного клапана пространство за клапаном объединяется с полостью внутри клапана, благодаря чему и достигается разгрузка. Отверстия, которые соединяют полость внутри клапана с полостью до клапана и тем самым способствуют быстрому движению клапана в сторону закрытия, при открытом разгрузочном клапане закрыты его верхним торцом.

В корпусе РК ВД расположено сито 10, защищающее проточную часть турбины от попадания в нее посторонних предметов. Седло клапана 11 посажено в корпус с натягом и дополнительно защищено от осевых смещений штифтами.

Сервомотор РК ВД служит для управления регулирующим клапаном и расположен непосредственно на его корпусе. Сервомотор связан со штоком клапана траверсами 12 и тягами 13. Нижним упором является упор чашки 9 клапана в седло 11, верхним упором – упор поршня 14 в крышку сервомотора. Сервомотор РК ВД выполнен од-

носторонним с рычажной обратной связью на отсечной золотник. Управляется сервомотор путем изменения давления рабочей жидкости, подводимой на верхний торец золотника 30 от ЭГП-С.

Поршневая часть выполнена телескопической, т.е. состоит из двух поршней. Большой поршень 15 работает только в начале движения клапана (одновременно с малым поршнем 14), когда на клапан действует большие паровые усилия (большой перепад давления на закрытом клапане). После того, как поршень 15 упрется в крышку сервомотора, дальнейшее открытие осуществляется только малым поршнем 14. Так как по мере открытия регулирующего клапана перепад давления пара на нем снижается, то для дальнейшего открытия регулирующего клапана достаточно малого поршня. Малый поршень сервомотора связан со штоком клапана 7 через траверсы и тяги. При закрытом регулирующем клапане поршни сервомотора находятся в нижнем положении, указатель хода сервомотора показывает «0» по шкале, при этом зазор между малым поршнем 14 и днищем корпуса равен примерно 15 мм, что гарантирует упор чашки клапана 9 в седло 11. В полость под поршни сервомотора силовое масло поступает (или сливается) через окна в подвижной буксе 31.

На верхний торец золотника 30 действует управляющее давление масла, подводимого от ЭГП-С. Сила, возникающая от этого давления и направленная вниз, уравнивается пружинами 32. При повышении управляющего давления золотник 30 перемещается вниз, сжимая пружины 32. Масло через золотник 30 и открывшиеся окна в буксе 31 поступает в полость под поршнями 14 и 15 сервомотора, поршни поднимаются вверх, сжимая пружины 33 и поворачивая через рычаги обратной связи 34 кулак 35, и опускают подвижную буксу 31, возвращая ее в среднее положение относительно золотника. Поршни сервомотора останавливаются, заняв новое положение, соответствующее новому значению управляющего давления.

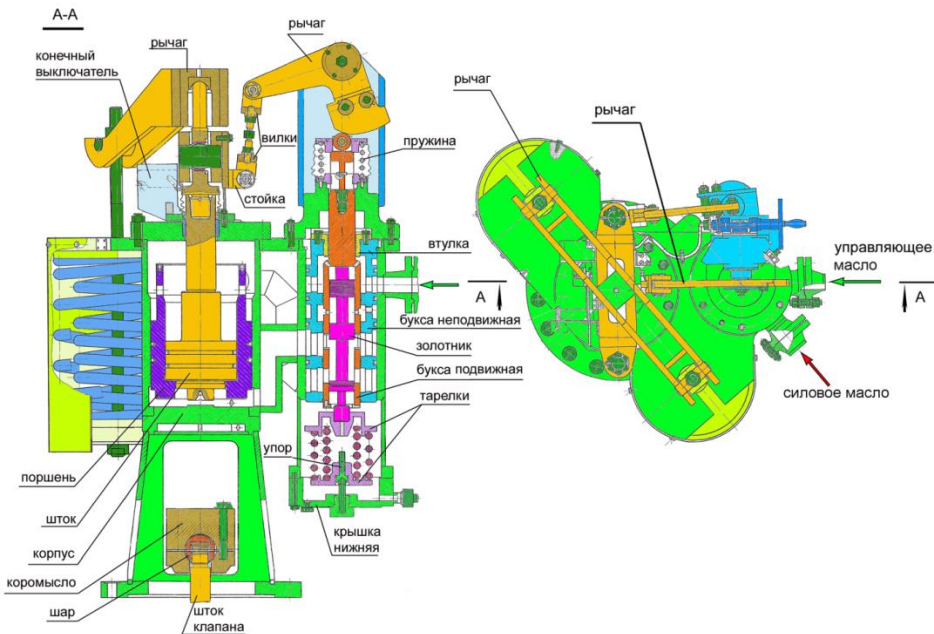
При снижении управляющего давления золотник 30 перемещается вверх под действием силы пружин 32 и открывает слив жидкости из полости под поршнями. Поршни перемещаются вниз (в сторону закрытия клапана) под действием силы пружин 33.

Подвижная букса 31 прижимается через ролик к кулаку 35 пружинной. Изменение управляющего давления на подвижную буксу практически не действует благодаря ступенчатой форме подвижной буксы 31.

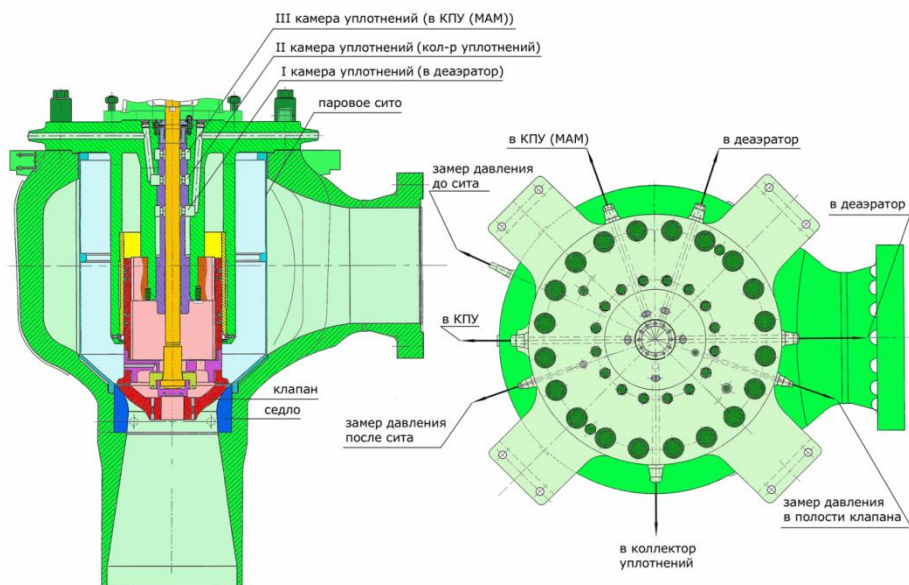
Для предотвращения перегрева рабочей жидкости под поршневой камерой сервомотора выполнена полость, через которую пропускают охлаждающую воду.

Сервомотор регулирующего клапана ЦВД снабжен ручным механизмом расхаживания, с помощью которого поршни сервомотора могут быть переведены из открытого положения клапана в любое вплоть до полного закрытия.

Вращение маховика 37 через червячную передачу 36 передается эксцентричному валу, поворот которого вызывает смещение оси поворота кулака вниз – в сторону закрытия сервомотора. Вращение маховика 37 механизма расхаживания из исходного положения (вал расположен эксцентриситетом вверх) по часовой стрелке соответствует смещению буксы вниз и, соответственно, движению сервомотора на закрытие клапана. При вращении маховика против часовой стрелки предварительно закрытый клапан открывается. По окончании расхаживания маховик следует вращать против часовой стрелки до упора, чтобы вернуть механизм расхаживания в исходное положение, т.к. в противном случае нарушается расчетная зависимость между открытием клапана и управляющим давлением.



*Сервомотор регулирующего клапана высокого давления*



### *Регулирующий клапан высокого давления*

Для уменьшения производительности насосов регулирования путем уменьшения скорости перемещения поршней пружинно-масляных сервомоторов регулирующих клапанов ВД (и НД) на режимах, где дополнительное открытие сервомоторов незначительно увеличивает мощность турбоагрегата, каждый из сервомоторов снабжен золотником ограничения расхода ЗОР.

Золотник 36 рычажной передачей 37 соединен с тягой 13 сервомотора. Сухарь рычажной передачи закреплен болтами на тяге в таком положении, что на активном участке хода сервомотора (там, где РК существенно влияет на пропуск пара в турбину) окна золотника 36 открыты, и через них рабочая жидкость поступает в камеру напорного давления сервомотора практически без ограничения. При перемещении сервомотора вверх, в зону, где дополнительное открытие сервомотора незначительно увеличивает мощность турбины, золотник 36 под воздействием рычажной передачи 37 перемещается вниз и закрывает окна. При этом рабочая жидкость поступает в полость под поршнем сервомотора через шайбу 38  $\varnothing$  5 мм, что, естественно, ограничивает скорость открытия сервомотора на этих режимах и потребляемый сервомотором расход масла от насосов.

### 1.5.14 Блоки парораспределения низкого давления

Каждый блок состоит из двух поворотных заслонок, первая из которых выполняет функции стопорного клапана низкого давления, а вторая - функции регулирующего клапана низкого давления. Блоки парораспределения низкого давления расположены попарно справа и слева от оси турбины и «питают» четыре двухпоточных ЦНД так, что от каждого блока питаются два соседних ЦНД.

Блоки предназначены для управления расходом пара от ЦВД к ЦНД.

В состав блока парораспределения низкого давления входят следующие сборочные единицы:

- поворотная заслонка стопорного клапана низкого давления;
- поворотная заслонка регулирующего клапана низкого давления;
- пружинно-масляный сервомотор стопорного клапана низкого давления со своим механизмом расхаживания;
- пружинно-масляный сервомотор регулирующего клапана низкого давления со своим механизмом расхаживания и золотником 12 ограничения расхода масла, потребляемого сервомотором.

Стопорный и регулирующий клапаны низкого давления с сервомоторами имеют идентичную конструкцию.

Первым по ходу пара в БПНД располагается стопорный клапан НД со своим сервомотором, предназначенный для быстрого прекращения расхода пара в ЦНД под воздействием сигналов защиты. Поворотная заслонка стопорного клапана сидит на горизонтальном валу. Подшипники вала закреплены в стенках корпуса блока. На наружном конце вала жестко закреплен зубчатый сектор 1.

Сервомотор стопорного клапана низкого давления своими коромыслами 2 и тягами 3 связан с зубчатой рейкой 4, которая входит в зацепление с зубчатым сектором 1. Нижнему положению сервомотора соответствует закрытая поворотная заслонка 5, повернутая своей плоскостью перпендикулярно оси паропровода. Для повышения плотности заслонки по её окружности имеются уплотнения, состоящие из набора сегментов, установленных в проточку буртика корпуса БПНД. Верхнему положению сервомотора соответствует поворотная заслонка, повернутая своей плоскостью параллельно оси паропровода. В таком положении заслонка создает минимальное сопротивление потоку пара. В открытом положении заслонка находится на упоре, благодаря чему исключается её пульсация.

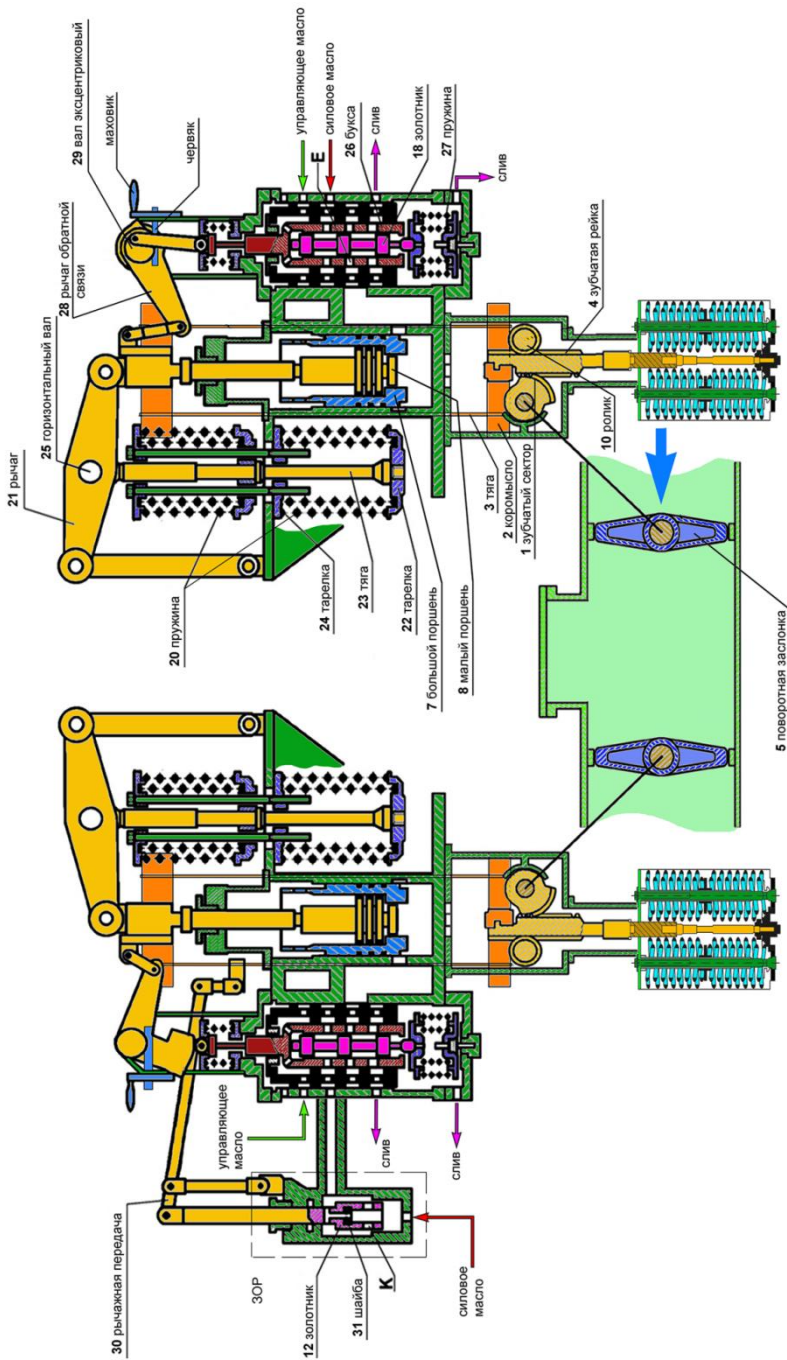
Полный ход парового сервомотора между своими упорами выбран с запасом, поэтому нижним упором является упор поршня 8 масляного сервомотора, верхним упором – упор открытой поворотной заслонки 5.

Пружинно-масляный сервомотор стопорного клапана ЦНД выполнен односторонним с рычажной обратной связью на отсечной золотник. Управляется сервомотор путем изменения давления рабочей жидкости, подводимой на верхний торец золотника 18 от золотника механизма управления МУ.

Поршневая часть выполнена телескопической, т.е. состоит из двух поршней. Большой поршень 7 работает только в нижних положениях сервомотора одновременно с малым поршнем 8, когда на заслонку действует большой перепад давления пара, вызывая большие усилия в подшипниках заслонки и соответственно, требуя для поворота заслонки больших крутящих моментов. После того, как большой поршень 7 упрется в крышку, дальнейшее открытие происходит только малым поршнем 8. Так как по мере открытия заслонки 5 паровые усилия снижаются, усилия, развиваемого одним малым поршнем, достаточно для дальнейшего открытия заслонки. Малый поршень сервомотора связан с рейкой 4 через коромысла 2 и тяги 3. При закрытой заслонке поршни сервомотора находятся в нижнем положении, указатель хода сервомотора показывает «0» по шкале.

Закрытие заслонки происходит под действием пружин 20. Пружины в виде двух комплектов расположены по обе стороны рычага 21. При перемещении поршня 8 сервомотора на 300 мм каждая из пружин деформируется на 150 мм. Нижние концы пружин опираются на тарелки 22, которые фиксируются на тяге 23 и перемещаются вместе с ней. Верхние концы пружин опираются на неподвижные тарелки 24.

В полость под поршнями 7 и 8 сервомотора рабочая жидкость попадает (или сливается) через окна «Е» в подвижной буксе 26. При повышении давления управляющего масла золотник 18 перемещается вниз, сжимая пружину 27. Рабочая жидкость из камеры напорного давления поступает в полость под поршнями 7 и 8 сервомотора через окно «Е». Поршни перемещаются вверх, поворачивают рычаг 21 и через тяги 23 сжимают пружины 20. Одновременно через рычаг обратной связи 28 и эксцентриковый вал 29 опускается подвижная букса 26, которая догоняет сместившийся вниз золотник 18. При этом букса 26 встает в среднее (отсечное) положение относительно золотника 18.



Блок парораспределения низкого давления

Поршни сервомотора останавливаются, заняв новое положение, соответствующее новому значению давления управляющего масла. При понижении давления управляющего масла золотник 18 перемещается вверх под действием силы пружины 27 и открывает слив масла из полости под поршнями через окно «Е». Поршни перемещаются вниз (в сторону закрытия поворотной заслонки) и происходит процесс, обратный процессу, описанному выше.

Необходимая зависимость положения поршней сервомотора от управляющего давления обеспечивается натягом и жесткостью пружин 27 и передаточным отношением обратной связи.

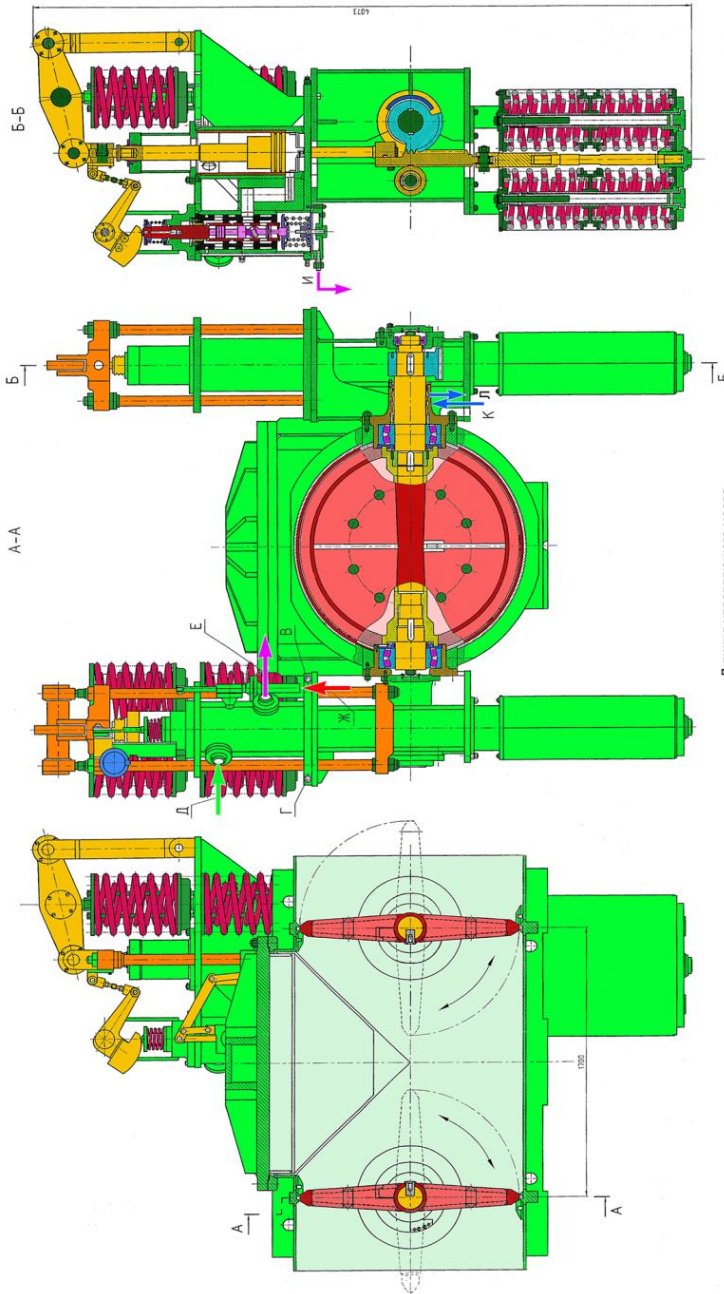
В основании корпуса сервомотора имеется канал для пропуска охлаждающей воды, предотвращающей перегрев рабочей жидкости.

Сервомотор стопорного клапана НД снабжен ручным механизмом расхаживания, с помощью которого поршень сервомотора можно перевести из положения открытой заслонки в любое другое, вплоть до полного закрытия.

Вращение маховика механизма расхаживания через червячную передачу передается втулке с эксцентрично расположенным отверстием, в котором находится ось рычага обратной связи. Поворот втулки вызывает смещение подвижной буксы относительно золотника. Вращение маховика механизма расхаживания из исходного положения (эксцентрично расположенное отверстие находится в верхнем положении) по часовой стрелке соответствует смещению буксы вниз относительно среднего положения, и соответственно движению поршня сервомотора в сторону закрытия заслонки. При вращении маховика против часовой стрелки предварительно закрытый клапан открывается. По окончании расхаживания маховик следует вращать против часовой стрелки до упора, чтобы вернуть механизм расхаживания в исходное положение, т.к. в противном случае нарушается расчетная зависимость между открытием заслонки и давлением управляющего масла.

Для восприятия усилий, действующих на рейку 4 в горизонтальной поверхности, в корпусе БПНД установлен ролик 10.

За стопорным клапаном НД по ходу пара располагается регулирующийся клапан со своим пружинно-масляным сервомотором, паровым сервомотором и его промежуточным усилителем. Клапан предназначен для прогрева металла ЦНД при пуске турбины.



Д линия управляющего масла  
 Ж линия нестабилизированного давления  
 Е слив масла  
 И слив протечек

В отвод охлаждающей воды сервомоторов  
 Г подвод охлаждающей воды сервомоторов

К подача пара на уплотнения  
 Л отвод в КТУ

Блок парораспределения низкого давления

Между регулирующим и стопорным клапаном НД над корпусом блока расположен фланец, сняв который можно осмотреть изнутри поворотные заслонки, или извлечь их для осмотра и ремонта вне корпуса БПНД.

Сервомотор регулирующего клапана НД по своей конструкции очень близок к сервомотору стопорного клапана НД. Отличие состоит в том, что сервомотор управляется путем изменения давления рабочей жидкости, подводимой от ЭГП-С. Обратная связь у сервомотора регулирующего клапана НД выполнена с использованием профильного кулака, которому через ролик пружиной прижата подвижная букса. Использование профильного кулака позволяет выполнить нелинейное передаточное отношение обратной связи.

По аналогии с регулирующими клапанами высокого давления РК НД оснащены золотниками ограничения расхода.

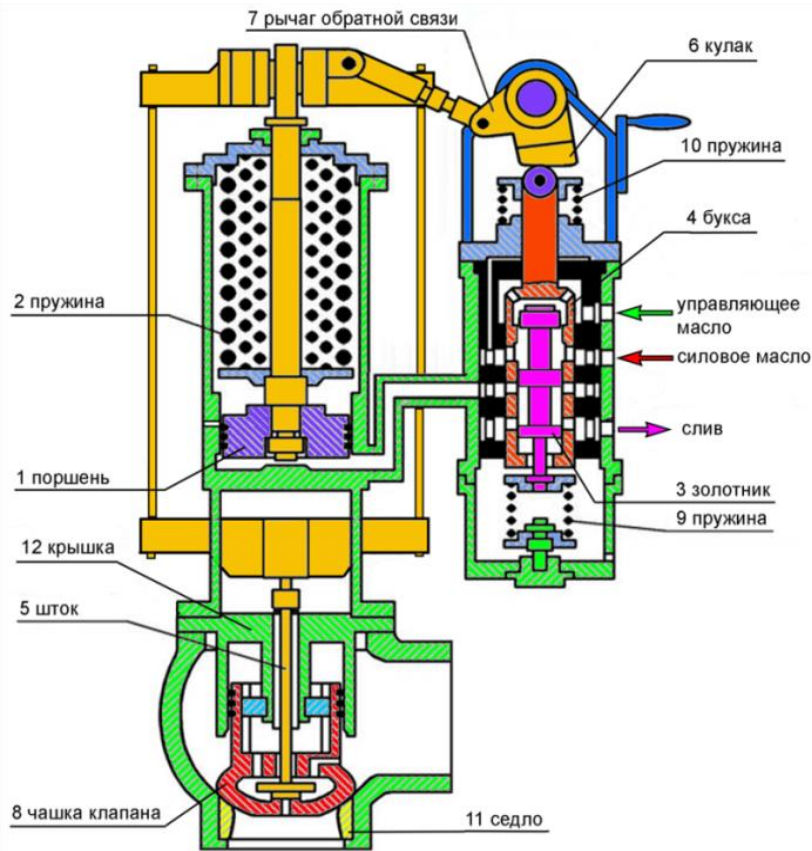
### 1.5.15 Клапан греющего пара II степени СПП

Клапан управляет расходом греющего пара, идущего на 2-ю ступень промперегрева всех четырех СПП, и предназначен для регулирования температуры пара на входе в ЦНД.

Сервомотор клапана представляет собой устройство, состоящее из поступательно движущегося поршня 1, нагруженного сверху пружинами 2, отсечного золотника 3 и рычажной обратной связи 7, воздействующей на подвижную буксу 4.

Верхним упором сервомотора является упор клапана в крышку 12. Нижним упором – упор чашки клапана 8 в седло 11. При нахождении поршня сервомотора в нижнем положении указатель хода сервомотора показывает «0» по шкале, при этом зазор между нижним концом поршня 1 и днищем корпуса равен примерно 10 мм.

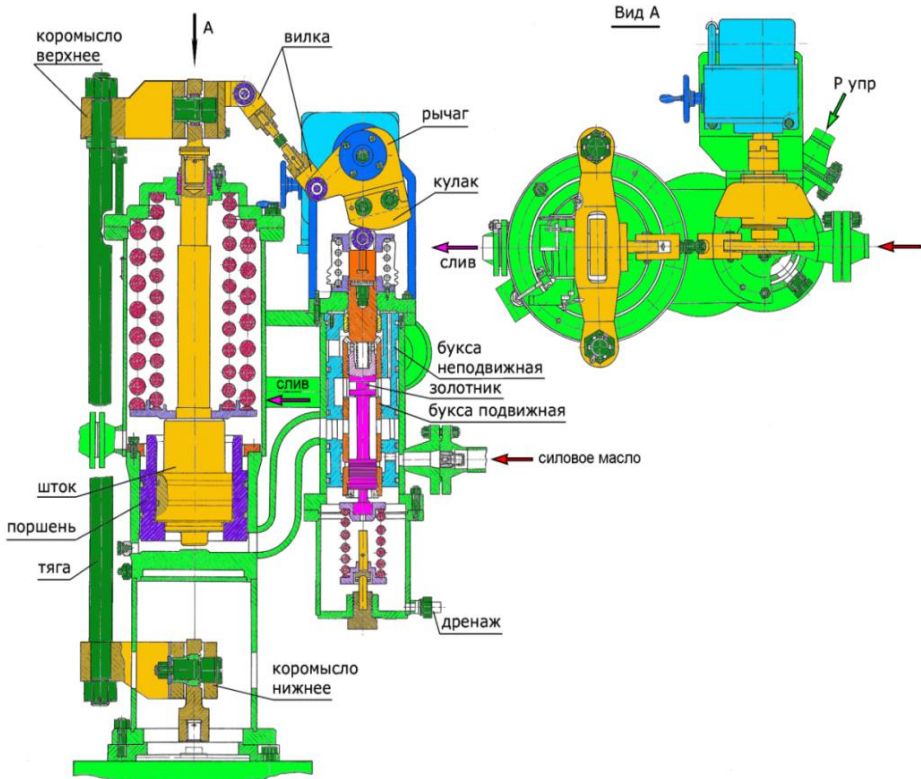
Для предотвращения нагрева рабочей жидкости от горячих частей клапана под поршнем сервомотора имеется камера, через которую пропускают холодную воду. Сервомотор оборудован дистанционным датчиком положения потенциометрического типа и концевым выключателем, сигнализирующим о почти полном закрытии сервомотора. Работа сервомотора происходит следующим образом. Полость под поршнем сервомотора соединяется с линией силового масла или сливной линией через окна подвижной буксы 4. При установившемся положении поршня сервомотора отсечные бочки золотника 3 находятся в «среднем» положении относительно окон в буксе 4 и под поршнем сервомотора устанавливается такое давление, какое требуется для уравновешивания сил пружин 2.



### Клапан греющего пара II ступени СПП

При понижении давления управляющего масла золотник 3 перемещается вверх, перекрывает подачу силового масла под поршень и соединяет полость под поршнем со сливом, давление под поршнем падает, и он под действием пружин 2 идет вниз на закрытие клапана. При движении вниз поршень через рычаг обратной связи 7 и кулак 6 перемещает подвижную буксу 4 вверх, вслед за золотником 3. Отсечные бочки золотника снова становятся в среднем положении относительно окон в буксе и движение поршня прекращается. Устанавливается новый равновесный режим. При повышении управляющего давления движение сервомотора происходит в противоположном направлении. Зависимость открытия сервомотора от управляющего давления масла обеспечивается жесткостью пружины 9, ее предварительным натягом и профилем кулака обратной связи 6.

Так же предусмотрена возможность управления положением сервомотора через механизм управления 11 от электрических воздействий.



### *Сервомотор клапана греющего пара II ступени СПП*

На сервомоторе клапана греющего пара смонтирована линия с вентилем и дроссельной шайбой, соединяющая полость под поршнем сервомотора с линией дренажа. При работе турбины, открытием вентиля производится частичное расхождение клапана подачи греющего пара на СПП.

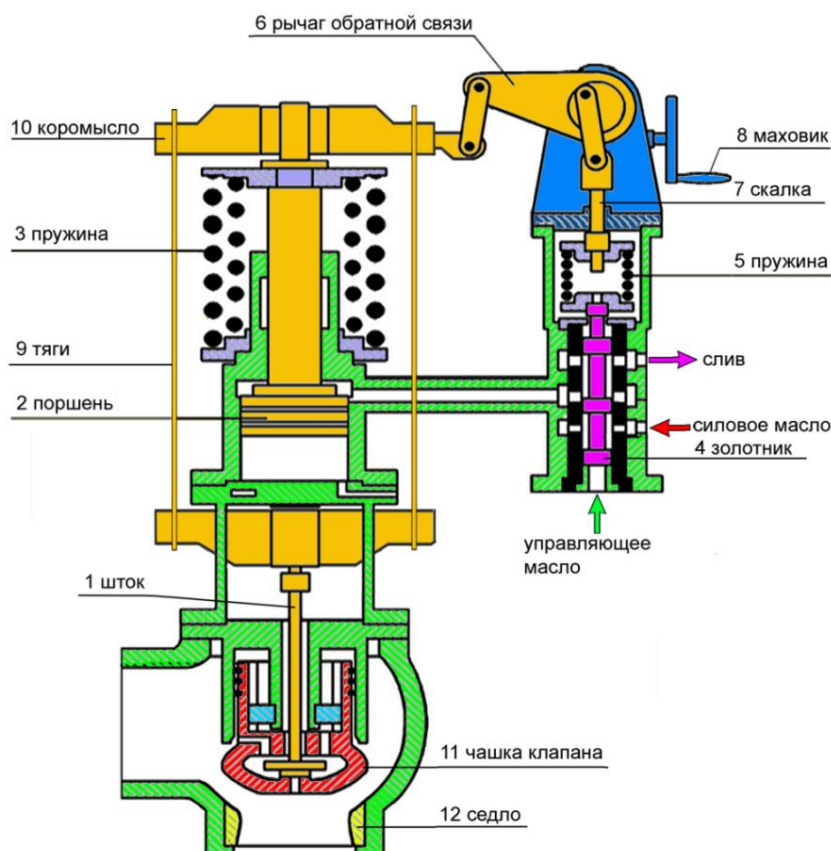
### 1.5.16 Сбросной клапан.

Сбросные клапаны установлены на «холодных» ресиверах до корпусов СПП и предназначены для быстрого опорожнения в конденсатор корпуса ЦВД, ПНД-4 и самих ресиверов при срабатывании защиты турбины или сбросе электрической нагрузки.

Сервомотор сбросного клапана установлен непосредственно на клапане и своими тягами 9 через коромысла 10 связан со штоком 1 клапана. Сервомотор сбросного клапана выполнен односторонним, с обратной рычажной связью 6 на отсечной золотник 4.

На поршень сервомотора 2 действует в сторону закрытия клапана огнестойкая жидкость, а в сторону открытия клапана – пружины 3.

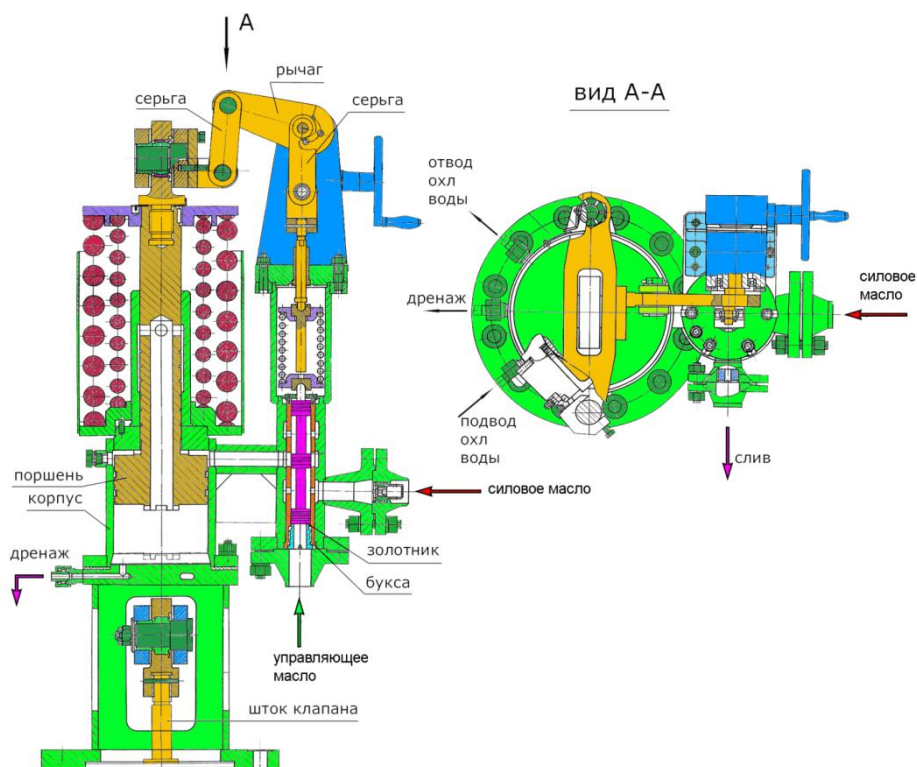
Верхним упором сервомотора является упор поршня 2 в корпус сервомотора, нижним упором – упор чашки 11 клапана в седло 12. При поршне сервомотора, находящемся в нижнем положении, указатель хода сервомотора показывает «0» по шкале, при этом зазор между нижним торцом поршня 2 и дном корпуса равен примерно 15 мм.



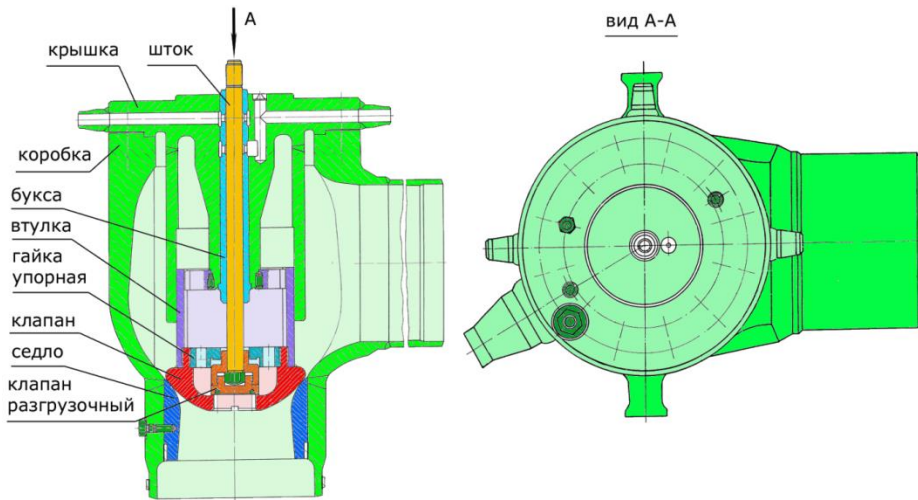
*Сбросной клапан*

Для предотвращения нагрева рабочей жидкости в корпусе сервомотора предусмотрена камера, через которую пропускают охлажденную воду. Работа сервомотора происходит следующим образом. Полость над поршнем сервомотора соединяется с напорной или сливной линией через отсечные бочки золотника 4.

Управляющее масло от ЭГП-С подводится к нижнему торцу золотника 4 сервомотора, на золотник сверху действует пружина 5. При снижении давления управляющего масла золотник 4 под действием пружины 5 перемещается вниз, сливая масло из полости над поршнем 2 через шайбу 8 мм, расположенную в сливном фланце. При этом давление над поршнем падает, и поршень под действием пружин 3 перемещается вверх – на открытие клапана. Шайба 8 мм служит для ограничения скорости перемещения поршня 2 на открытие. Одновременно через рычаги обратной связи 6 поршень перемещает вверх скалку 7, что приводит к ослаблению натяга пружины 5, и золотник сместится вверх. Отсечные бочки золотника 4 снова становятся в отсечное (среднее) положение.



*Сервомотор сбросного клапана*



### Сбросной клапан

Слив масла прекратится, и поршень сервомотора займет новое положение, соответствующее новому давлению управляющего масла. Установится новый равновесный режим. При повышении управляющего давления движение сервомотора происходит в противоположном направлении.

При работе турбины под нагрузкой давление управляющего масла таково, что золотник 4 находится на своем верхнем упоре, полость над поршнем сообщается с камерой силового масла, сбросной клапан – закрыт. На патрубке силового масла установлена шайба 4 мм, служащая для ограничения скорости перемещения поршня 2 на закрытие клапана. Шайба защищена от засорения фильтром.

Сервомотор сбросного клапана оборудован специальным устройством ручного расхаживания с маховиком 8. Вращением маховика против часовой стрелки через червячную передачу механизма эксцентриковый вал, поворачиваясь, смещает эксцентрик из верхнего положения вниз, тем самым через рычаг смещает скалку 7 вниз, сжимая пружину 5. Золотник 4 смещается вниз, сливая масло из полости над поршнем, сервомотор идет на открытие, открывая сбросной клапан.

Вращая маховик в обратную сторону, возвращают сервомотор в исходное положение. При этом характеристика сервомотора (зависимость хода сервомотора от давления управляющего масла) вернется к расчетному значению. Контроль работы системы осуществляют с видеоканалов СВБУ МАХ10, МАХ51-59, ЭЧСР.



## 1.6 Система MAV смазки подшипников турбины и генератора

### 1.6.1 Назначение

Система смазки подшипников турбины и турбогенератора (MAV) предназначена для:

- подачи необходимого количества масла к подшипникам турбины и турбогенератора как во время работы турбины под нагрузкой, так и при вращении роторов турбоагрегата в период пуска и остывания турбины после останова;
- аварийной подачи масла к подшипникам турбоагрегата в случае потери напряжения собственных нужд;
- подачи масла на всас насосов гидроподъема роторов турбоагрегата НГПР MVL11,12AP001;
- поддержания температуры и давления масла перед подшипниками в требуемых пределах;
- отвода тепла трения в подшипниках;
- осуществления очистки масла от механических примесей, удаления воздуха, растворенного в масле, и для испарения воды;
- предотвращения выхода масляных паров в машинный зал из ГМБ MAV10BB001 и картеров подшипников.

### 1.6.2 Состав

В состав системы смазки турбоустановки (MAV) входят:

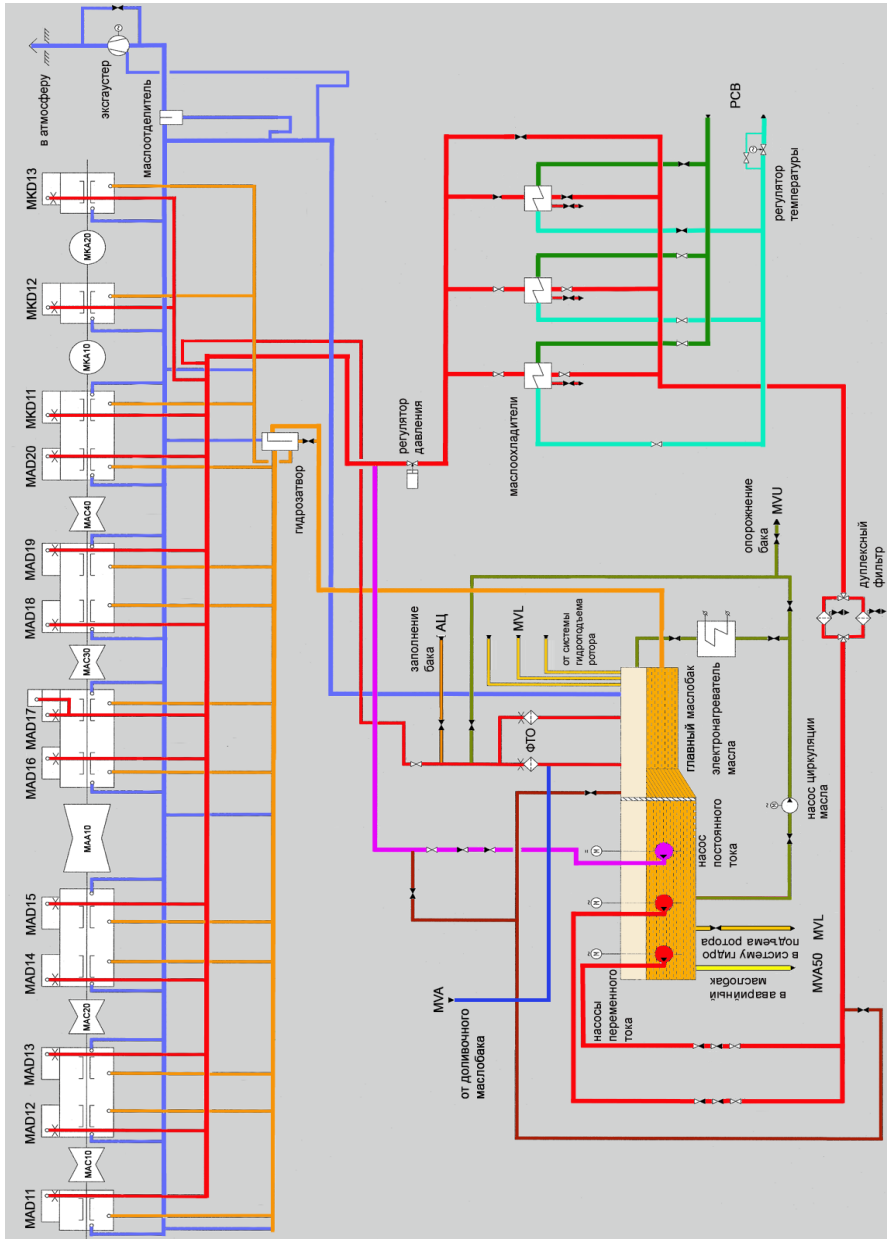
- главный маслобак смазки ГМБ MAV10BB001;
- маслонасосы переменного тока МНС MAV11,12AP001;
- аварийный маслонасос постоянного тока АМНС MAV 13AP001;
- насос циркуляции масла НЦМ MVB16AP001;
- эксгаустер MAQ90AN001;
- маслоохладители MOT MAV21AC001, MAV22AC001, MAV23AC001;
- фильтры тонкой очистки ФТО MAV50AT001, MAV50AT002;
- дуплексный фильтр ДФ MAV20AT001;
- редуцирующий клапан системы смазки (РКС) MAV25AA240;
- электронагреватель масла ЭНМ MVB17AC001;
- трубопроводы и арматура.

### 1.6.3 Описание технологической схемы

Для подачи масла на смазку подшипников ТА предусмотрена установка двух насосов переменного тока (один рабочий, один резервный).

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Для обеспечения маслом подшипников турбоагрегата на время вы бега турбины в случае потери электропитания насосов переменного тока предусмотрен аварийный насос постоянного тока.



Технологическая схема системы смазки

Масло из основного маслобака насосом переменного тока подается через маслоохладители в напорный коллектор через редукционный клапан прямого действия, поддерживающий давление масла на уровне оси турбины 0,12 МПа.

Поддержание требуемой температуры масла 42-44 °С обеспечивается регулированием расхода технической воды через маслоохладители с помощью регулирующего клапана, который управляется от электронного регулятора температуры.

Масляные пары из картеров подшипников и масляного бака удаляются с помощью эксгаустера, перед которым установлен маслоотделитель. Выхлоп эксгаустера в атмосферу осуществляется через вентиляционную трубу, что позволяет установке работать ограниченное время при отключенном эксгаустере и открытом байпасе эксгаустера.

Для предварительного разогрева масла в маслобаке смазки перед пуском турбины предусматривается электрический нагреватель. Разогрев масла в баке до требуемого значения осуществляется за счет циркуляции масла через электронагреватель при помощи насоса рециркуляции масла.

Система вводится в работу перед постановкой роторов турбоагрегата на ВПУ. Отключение маслонасосов разрешается после закрытия стопорных и регулирующих клапанов турбины, снижения температуры металла паровпуска турбины ниже 150 °С и отключения ВПУ.

#### 1.6.4 Главный маслобак

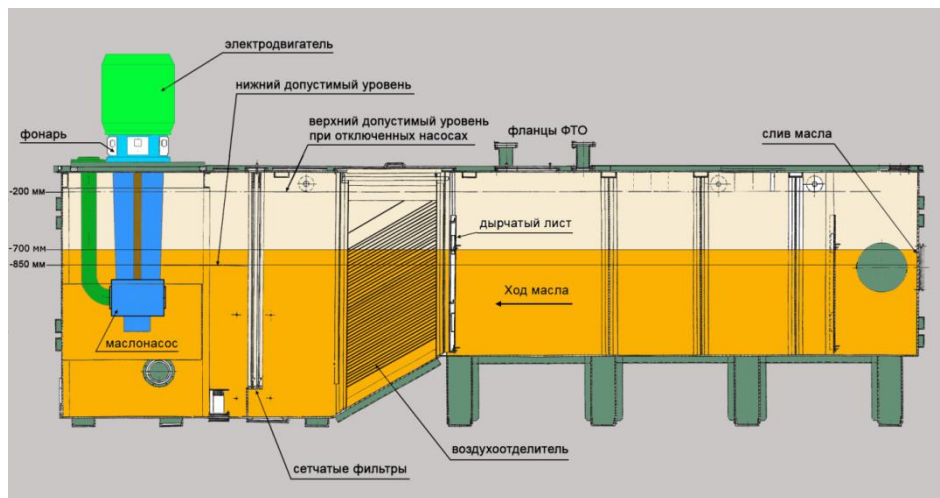
Для обеспечения пожарной безопасности в системе смазки используется огнестойкое масло.

Для приема масла, поступающего от подшипников, очистки, удаления воздуха и воды из масла предусмотрен бак емкостью 67 м<sup>3</sup>. Объем бака выбран из расчета, что масло находится в нем 8 мин, что должно быть достаточно для удаления воды и воздуха.

Дно бака имеет уклон для периодического слива отстоя.

Бак разделен съемными сетчатыми фильтрами из нержавеющей стали с размером фильтрующей ячейки 0,25 мм на два отсека: "грязный" и "чистый". Бак снабжен сигнализатором перепада уровней на сетчатых фильтрах. Допустимый перепад на сетках ГМБ - не более 150 мм (1,5 кПа). Конструкция главного маслобака позволяет производить быструю и безопасную поочередную чистку сетчатых фильтров бака при работе турбины.

Слив в бак происходит в грязный отсек под уровень масла для гашения энергии масляных потоков и предупреждения вспенивания.



### *Главный маслобак*

Внутри бака установлен дырчатый лист, который служит для равномерного распределения потока масла по всей ширине и высоте и препятствует образованию застойных зон. Далее по ходу масла расположены воздухоотделители, представляющие собой пакет наклонных перегородок, конструкция которого позволяет интенсифицировать процесс удаления воздуха, приносимого в бак потоками масла.

Предусмотрена линия аварийного слива масла из главного маслобака в систему MVA50. Время слива не превышает 15 мин.

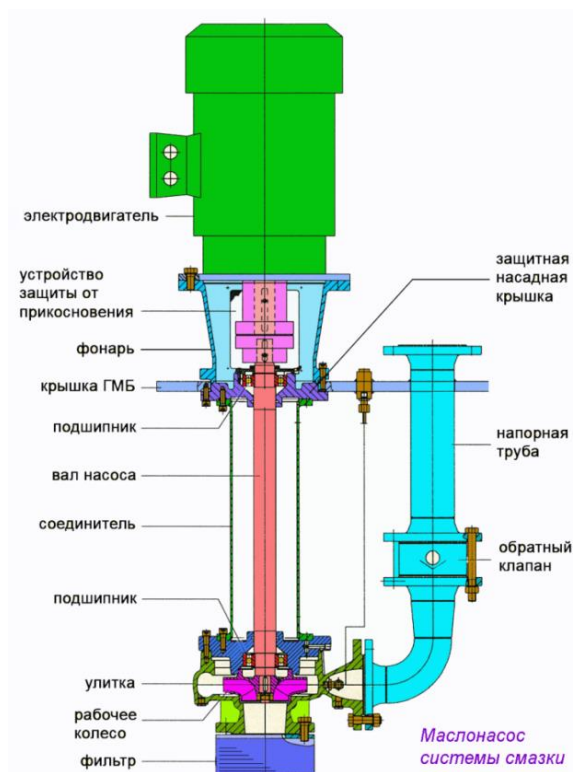
### 1.6.5 Маслонасосы

Для подачи масла на смазку подшипников турбины и турбогенератора предусмотрена установка двух насосов с электродвигателями переменного тока производительностью  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  и одного аварийного насоса с электродвигателем постоянного тока производительностью  $350 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

При нормальной эксплуатации в работе находится один насос переменного тока, другой - в резерве.

Электродвигатели насосов смазки переменного тока при потере электроснабжения нормальной эксплуатации подключаются к системе надежного электроснабжения нормальной эксплуатации (от

дизельгенератора) с подключением нагрузки в пределах одной минуты. Насос постоянного тока, запитанный от аккумуляторной батареи, предусматривается для обеспечения маслом подшипников турбоагрегата на время выбега турбины в случае потери электропитания насосов переменного тока.



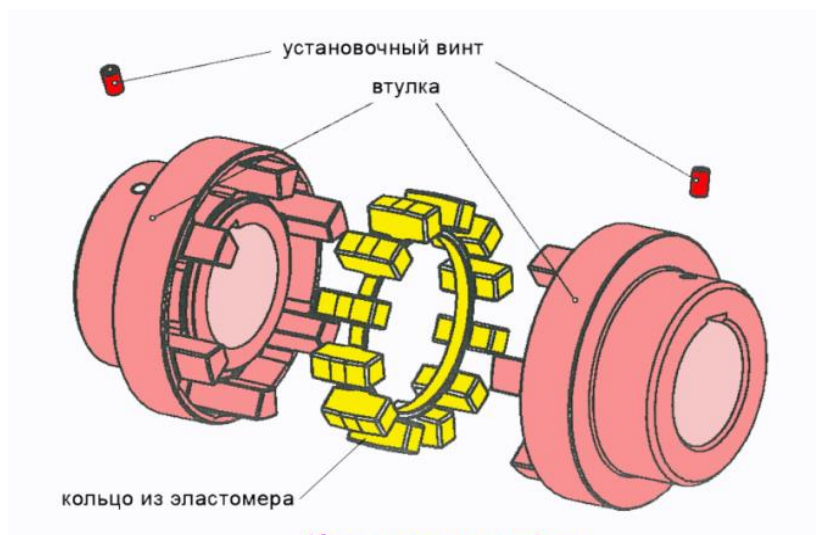
Конструктивно насосный агрегат с электродвигателем как постоянного, так и переменного тока выполнен следующим образом. Двигатель размещен на верхней крышке чистого отсека ГМБ с помощью фонаря. Верхний фланец фонаря крепится к электродвигателю, нижний через защитную насадную крышку насоса к крышке ГМБ. В защитной насадной крышке установлен верхний подшипник насоса. Внутри фонаря с помощью торсионно упругой кулачковой муфты сочленяются валы электродвигателя и насоса. На нижний конец вала насоса насажено рабо-

чее колесо. Улитка рабочего колеса вместе с нижним подшипником насоса крепятся к соединителю. Соединитель - трубная конструкция, соединяющая улитку рабочего колеса с фонарем, внутри которого вращается вал насоса. К улитке сбоку с помощью фланцевого соединения крепится вертикально расположенная напорная труба с обратным клапаном. Обратный клапан пружинного типа самоустанавливающийся вмонтирован во фланцевый разъем напорной трубы. Напорная труба проходит сквозь опорную плиту и выходит наружу маслобака.



### *Всасывающий патрубок с фильтром-сеткой*

Всасывающий патрубок расположен по оси вниз. На всасывающем патрубке дополнительно установлен фильтр-сетка для защиты от механических примесей большого размера.



### *Кулачковая муфта*

Все применяемые в насосе конструктивные и уплотнительные материалы являются устойчивыми к огнестойкому маслу на основе триксиленилфосфатов.

Вал насоса установлен в двух шарикоподшипниках. Нижний подшипник со стороны корпуса насоса смазывается перекачиваемой

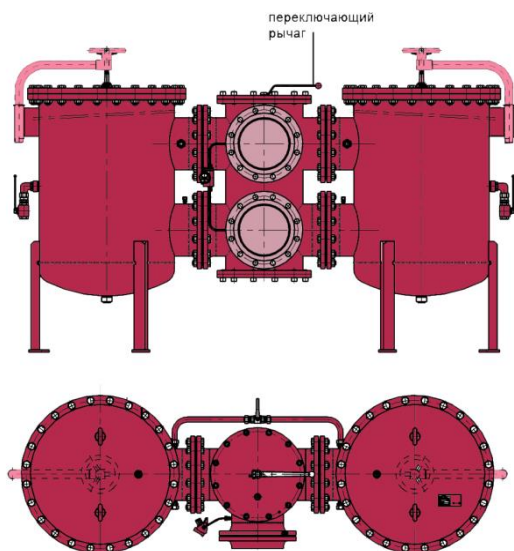
средой. Верхний подшипник со стороны привода также смазывается перекачиваемой средой при помощи маслоподводящей трубки из напорного патрубка насоса. Подшипники электродвигателя смазываются консистентной смазкой.

В конструкции насоса отсутствует уплотнение вала на входе в спиральный корпус.

### 1.6.6 Очистка масла

В системе применяется трехступенчатая очистка смазочного масла.

В качестве первой ступени выступают съемные сетчатые фильтры из нержавеющей стали с размером фильтрующей ячейки 0,25 мм, смонтированные в основном маслобаке.



Второй ступенью очистки является дуплексный фильтр тонкостью фильтрации 25 мкм. Фильтр HYDAC серии RFLD состоит из сдвоенного корпуса фильтра, в который установлены фильтроэлементы для отделения твердых частиц из жидкости, визуальнo-электрического индикатора загрязнения, кранов для слива масла из двух половин корпуса фильтра, сегментного устройства переключения потоков с основного на резервный.

#### Дуплексный фильтр

Данная конструкция позволяет при засорении одного фильтроэлемента перевести поток жидкости из одного фильтрационного контура в другой с помощью переключающей арматуры. Если перепад давления на дуплексном фильтре системы смазки повышается свыше 80 кПа, подаётся предупредительный сигнал.

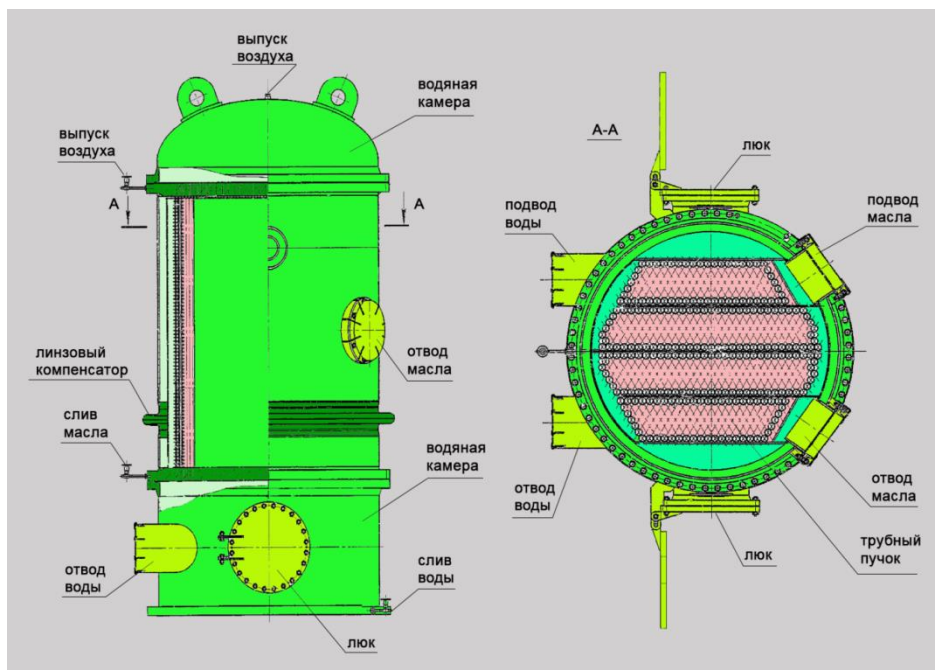
Третьей ступенью фильтрации являются смонтированные на крышке ГМБ фильтры тонкой очистки, аналогичные фильтрам системы регулирования БРУ-К.

### 1.6.7 Маслоохладители

Для охлаждения масла установлены три маслоохладителя МОТ MAV21,22,23 AC001.

Маслоохладитель представляет собой вертикальный сосуд с нижним и верхним расположением водяных камер.

Трубный пучок образован из стальных нержавеющей труб с алюминиевым оребрением, развальцованных в трубных досках. Возможность относительных расширений корпуса и труб поверхности теплообмена обеспечивается применением компенсатора линзового типа.



**Маслоохладитель системы смазки**

Охлаждающая вода из напорного трубопровода поступает в нижнюю водяную камеру, проходит по трубам первого хода в верхнюю водяную камеру и после поворота по трубам второго хода возвращается в нижнюю водяную камеру, откуда отводится в сливной трубопровод. Масло из системы смазки турбины поступает во входной патрубке, проходит в четыре хода с наружной стороны труб и отводится через выходной патрубок. Для выпуска воздуха при заполнении маслоохладителя водой, а также для слива остатков масла перед разборкой предусмотрены дренажи и воздушники.

Для промывки системы смазки выполнен байпас МОТ с задвижкой MAV24AA101, которая при эксплуатации должна быть закрыта.

Условное обозначение маслоохладителя МП-300-500-1:

МП - маслоохладитель плотный;

300 - объемный расход охлаждаемого масла, м<sup>3</sup>/ч;

500 - объемный расход охлаждающей воды, м<sup>3</sup>/ч;

1 - модификация маслоохладителя.

### 1.6.8 Эксгаустер

Эксгаустер MAQ90AN001 предназначен для отвода масляных паров из картеров подшипников и ГМБ. Разрежение в картерах подшипников и маслобаке поддерживается в пределах 5-20 кПа. Величина этого диапазона обеспечивается установкой ограничительной шайбы перед вентилятором.

Благодаря наличию вытяжной трубы после вентилятора турбина может работать до двух недель при неработающем вентиляторе за счет открытия арматуры на байпасе эксгаустера. Для предотвращения попадания капель масла на крылатку вентилятора и выброса масляных аэрозолей в атмосферу на вентиляционном трубопроводе перед вентилятором установлен маслоуловитель MAQ90AT001 со сбросом масла в ГМБ через гидрозатвор.



### Эксгаустер

Вентилятор представляет собой машину, лопаточное рабочее колесо которой навешено на вал электродвигателя и расположено в спиральном корпусе. Сборно-сварная конструкция вентилятора состоит из станины, корпуса, рабочего колеса, коллектора, электродвигателя. Опора вентилятора состоит из двутавровых балок, которые крепятся к станине болтами.

Спиральный корпус представляет собой сварную конструкцию из листов. В нижней части корпуса предусмотрен дренаж. Корпус крепится к опоре и к станине болтами.

Коллектор в виде диффузора предназначен обеспечить плавный вход среды на рабочее колесо вентилятора. Коллектор изготовлен из латуни.



Рабочее колесо вентилятора состоит из 32 лопаток, двух дисков и ступицы. Лопатки выполнены из листа и приклепываются к дискам. Рабочее колесо насаживается ступицей непосредственно на вал электродвигателя со шпонкой и фиксируется от перемещения вдоль оси вала электродвигателя болтом через шайбу торцовую и шайбу стопорную.

Электродвигатель крепится к станине четырьмя болтами.

### *Рабочее колесо эксгаустера*

Для уменьшения вибрации на фундаменте при эксплуатации вентилятора применяют виброизоляторы.

Станина является опорой всем частям вентилятора и представляет собой сборно-сварную конструкцию из профиля и листов.

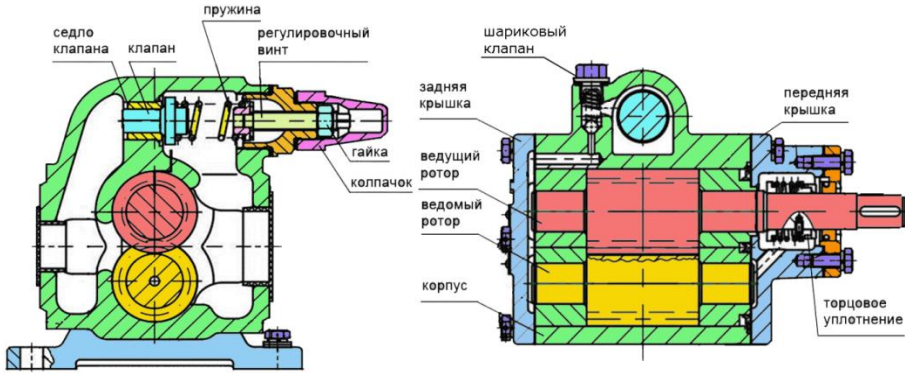
Тип эксгаустера по направлению движения потока воздуха – радиальный, по направлению вращения рабочего колеса – правый, вращение по часовой стрелке, если смотреть со стороны всасывания.

Эксгаустер включается автоматически при включении какого-либо из насосов смазки MAV11,12,13AP001 и отключается с выдержкой времени 15 минут после отключения всех маслонасосов.

### 1.6.9 Насос циркуляции масла

Насос циркуляции масла MVB16AP001 предназначен для обеспечения циркуляции масла через фильтры тонкой очистки ФТО MAV50AT001,002. Кроме того, насос обеспечивает циркуляцию масла через электронагреватель MVB17AC001 с целью нагрева масла для промывки системы, а также перед пуском турбины.

Электронасосный агрегат состоит из шестеренного насоса и электродвигателя, которые смонтированы на общей раме и соединены муфтой, защищенной кожухом.



### *Насос циркуляции масла*

Насос состоит из следующих основных деталей и узлов: рабочего механизма, корпуса с крышками, торцового уплотнения и предохранительного клапана. Рабочий механизм состоит из двух роторов – ведущего и ведомого. Ведущий ротор состоит из вала, на котором установлены по посадке с натягом две шестерни с косыми зубьями. Одна шестерня с левой, а другая с правой нарезкой. Шестерни установлены так, что образуют одну шестерню с шевронным зубом. Ведомый ротор имеет на своем валу такие же шестерни, как и ведущий ротор, но одна шестерня закреплена жестко, другая свободно. Такая установка шестерни дает ей возможность при работе насоса самоустанавливаться относительно зубьев ведущей шестерни для компенсации неточности установки шестерен на валу ведущего ротора. Роторы устанавливаются в специальные расточки корпуса. С торцов корпус закрывается задней и передней крышками.

При вращении роторов на стороне всасывания создается разрежение, в результате чего жидкость заполняет межзубьевые впадины и в них перемещается из полости всасывания в полость нагнетания (вход и выход среды указан стрелками).

Уплотнение ведущего вала насоса – одинарное торцовое, расположено в передней крышке.

Насос оснащен перепускным устройством (клапаном), предназначенным для кратковременного перепуска перекачиваемой жидкости из полости нагнетания в полость всасывания в случае повышения давления в напорном трубопроводе выше допустимого.

Настройка клапана производится регулировочным винтом, который стопорится гайкой и закрывается колпачком.

В насосе предусмотрен предохранительный шариковый клапан, который защищает насос от неконтролируемого роста давления.

Насосный агрегат имеет обозначение Ш 40-4-19,5/4-5У3, где

Ш 40-4 – обозначение насоса;

19,5 – подача насоса, м<sup>3</sup>/ч;

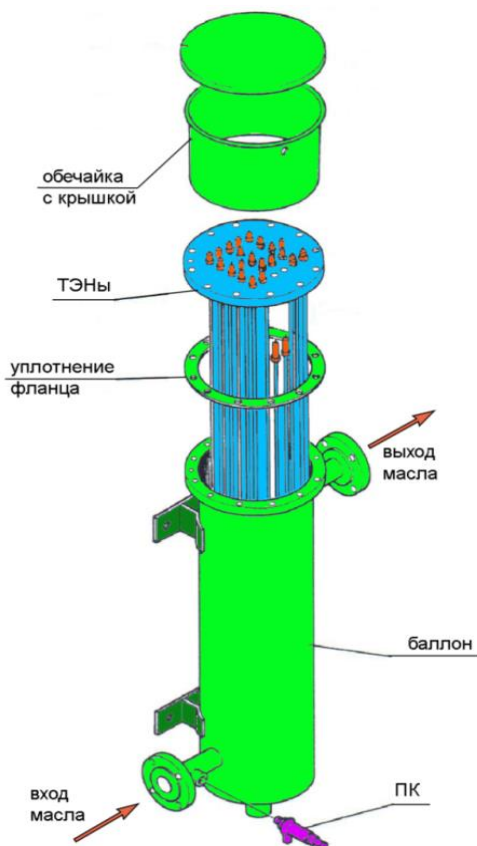
4 – давление на выходе из насоса, кгс/см<sup>2</sup>;

5 – тип электродвигателя;

У – климатическое исполнение;

3 – категория помещения по ГОСТ 15150-69.

### 1.6.10 Электронагреватель масла



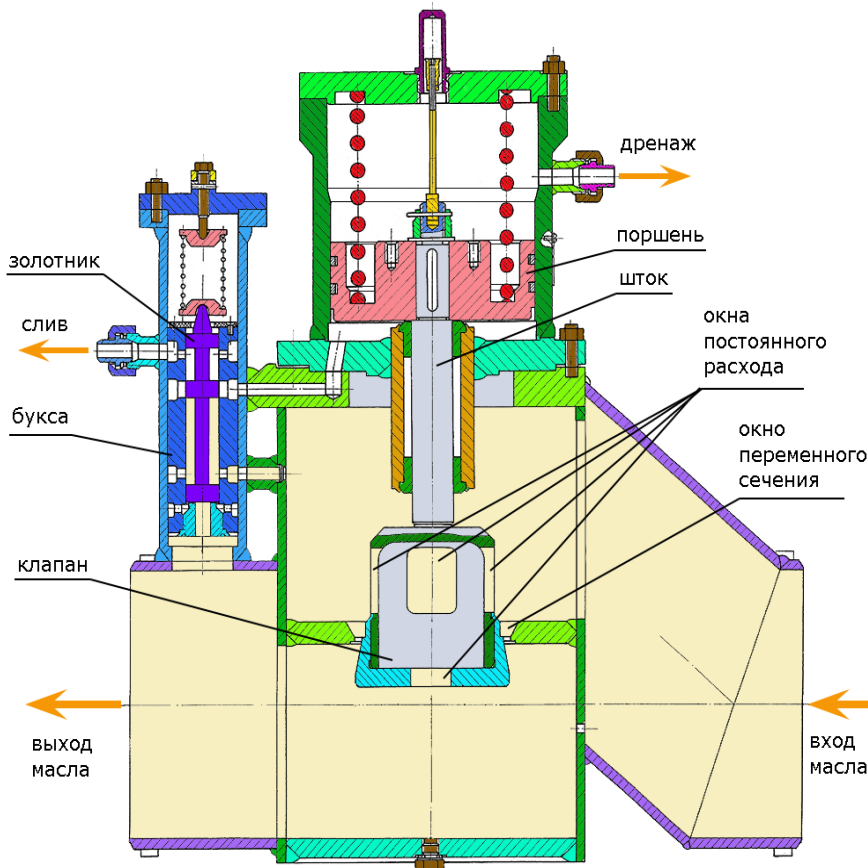
Электронагреватель ЭНМ MVB17AC001 предназначен для предварительного разогрева масла в главном маслобаке перед пуском турбины. Разогрев масла в баке от 20 до 50°C осуществляется за счет циркуляции масла через электронагреватель при помощи насоса циркуляции масла MVB16AP001. Электронагреватель MVB17AC001 автоматически выключается из режима нагрева, если отключается НЦМ MVB16AP001, а также если температура масла в корпусе электронагревателя повышается до заданного предельного значения. С БПУ вручную электронагреватель всегда может быть выключен из режима нагрева, а также может быть включен в режим нагрева, если включен насос НЦМ MVB16AP001.

### Электронагреватель масла

Электронагреватель представляет собой баллон из листовой стали, внутри которого находится нагревательная вставка (ТЭН). Сбоку монтируется клеммная коробка, в которой расположены регулятор температуры и предохранительный температурный ограничитель. Датчик температуры расположен в погружной трубе в нагревательном фланце. Электронагреватель является проточным и установлен вертикально. Вход в электронагреватель расположен снизу, выход масла – сверху.

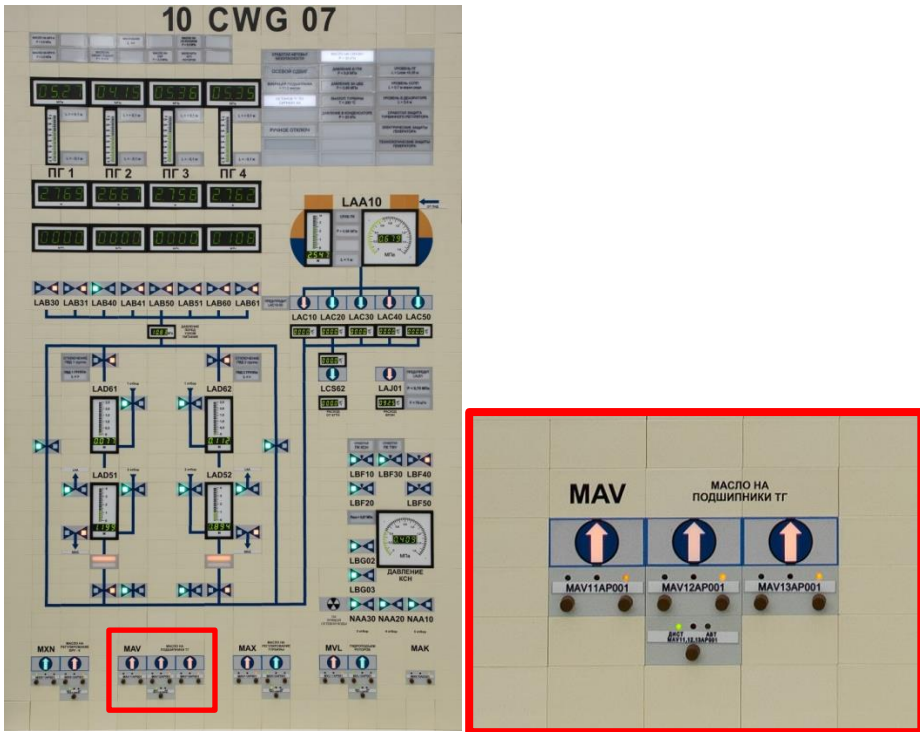
### 1.6.11 Редукционный клапан

Редукционный клапан предназначен для поддержания давления масла на оси турбоагрегата постоянным и равным  $0,12 \pm 0,01$  МПа в широком диапазоне расходов путем дросселирования.



Редукционный клапан





Панель БПУ 10CWG07

## 1.7 Система МКФ охлаждения генератора

### 1.7.1 Назначение

Система водяного охлаждения турбогенератора предназначена для отвода избыточного тепла, выделяющегося из-за электромагнитных и тепломеханических потерь при работе генератора.

### 1.7.2 Состав

Система водяного охлаждения турбогенератора ТЗВ-1200-2АУЗ состоит из двух подсистем:

- МКФ01 – охлаждение обмотки статора и нажимных колец генератора;
- МКФ50 – охлаждение ротора и сердечника статора генератора.

В состав системы МКФ01 входят:

- бак водяной МКФ01ВВ001;
- два центробежных насоса МКФ02,03АР001;

- три пластинчатых теплообменника МКФ05,06,07АС001;
- три магнитно-механических фильтра МКФ09,10,11АТ001;
- два механических фильтра МКФ20,35АТ001;
- два ионообменных фильтра МКФ21,22АТ001;
- водоструйный эжектор МКФ36ВН001;
- трубопроводы;
- арматура.

В состав системы МКФ50 входят:

- два бака водяных МКФ51ВВ001, 002;
- два центробежных насоса МКФ52,53АР001;
- три пластинчатых теплообменника МКФ55,56,57АС001;
- три магнитно-механических фильтра МКФ59,60,61АТ001;
- два механических фильтра МКФ70,90АТ001;
- два ионообменных фильтра МКФ71,72АТ001;
- трубопроводы;
- арматура.

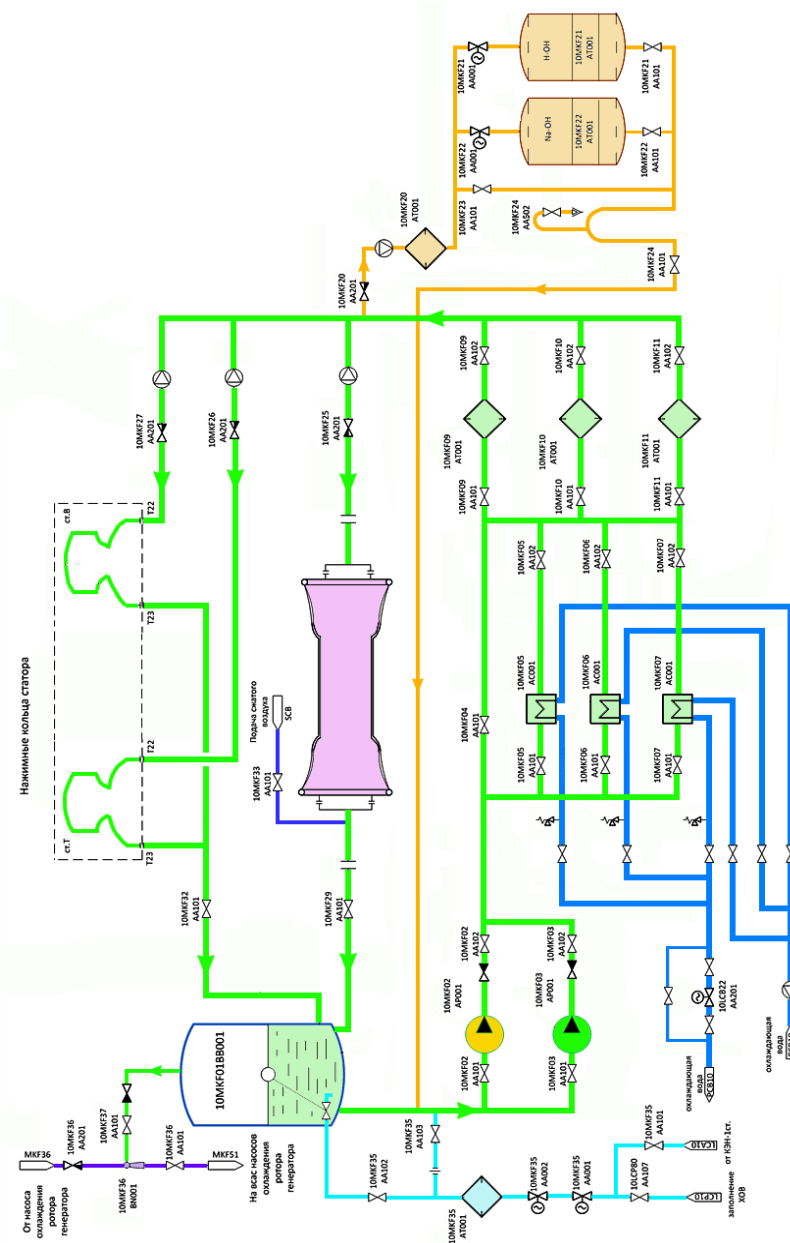
Охлаждение обмотки статора и нажимных колец осуществляется путем циркуляции дистиллята по замкнутому контуру: насос – теплообменники – фильтры – охлаждаемые элементы – бак водяной – насос.

Для первоначального заполнения системы используется химобес-солённая вода. При работе блока для восполнения потерь дистиллята в системе предусмотрена подпитка от конденсатных насосов 1-й ступени. При этом подпиточная вода проходит через фильтр механической очистки МКФ35АТ001 для исключения попадания механических частиц из контура подпитки. Для ускорения заполнения системы используется байпасная линия Ду50 с заглушкой около бака водяного, которая снимается только для заполнения бака после ППР.

Подача дистиллята в охлаждаемые элементы осуществляется центробежными насосами охлаждения обмотки статора МКФ02,03АР001 с расходом 225 м<sup>3</sup>/ч напором 80 м, один из которых в работе, второй – в резерве.

После насосов дистиллят поступает в пластинчатые теплообменники МКФ05,06,07АС001 фирмы Альфа-Лаваль, где он охлаждается до необходимой температуры. Схемой предусмотрена установка трех теплообменников, два из которых – рабочие, один - резервный. Суммарный расход охлаждающей технической воды на два рабочих теплообменника – 600 м<sup>3</sup>/ч, отводимые потери тепла – 4570 кВт.

### 1.7.3 Описание технологической схемы системы охлаждения обмотки статора и нажимных колец генератора МКФ01



Технологическая схема системы охлаждения статора генератора

После теплообменников дистиллят поступает в фильтры магнитно-механической очистки МКФ09,10,11АТ001, где он очищается от механических и случайных ферромагнитных частиц. Два фильтра – рабочие, один – резервный.

Дистиллят, циркулирующий в системе, должен обладать высокими диэлектрическими свойствами, поэтому систему заполняют обессоленной водой с удельной электрической проводимостью не более 5 мкСм/см. При работе системы в случае ухудшения показателей ВХР часть расхода (от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч) направляют на обессоливающую установку, которая состоит из двух ионообменных фильтров. Один фильтр МКФ21АТ001 содержит смесь анионита и катионита в Н-ОН форме и предназначен для снижения удельной электрической проводимости. Второй фильтр МКФ22АТ001 содержит смесь анионита и катионита в Na-ОН форме и предназначен для повышения рН до величины не ниже 6,5. Для исключения попадания механических примесей в ионообменные смолы предусмотрена установка механического фильтра МКФ20АТ001. Регулирование расхода дистиллята через фильтры устанавливается регулировочным клапаном.

После очистки на магнитно-механических фильтрах дистиллят поступает на охлаждаемые элементы. Системой регламентируется расход дистиллята на охлаждаемые элементы:

- на обмотку статора 160±5 м<sup>3</sup>/ч;
- на нажимные кольца по 20±1 м<sup>3</sup>/ч.

Давление на входе в охлаждаемые элементы не нормируется.

### 1.7.4 Описание технологической схемы системы охлаждения ротора и сердечника статора генератора МКФ50

Система водяного охлаждения ротора и сердечника статора турбогенератора предназначена для отвода тепла, возникающего из-за нагрева при работе турбогенератора ТЗВ-1200-2АУЗ, от:

- обмотки возбуждения;
- демпферной обмотки;
- сердечника статора;
- лабиринтных уплотнений генератора;
- концевых частей статора.

Охлаждение ротора и сердечника статора осуществляются путем подачи дистиллята по замкнутому контуру: насос – теплообменники – фильтры – охлаждаемые элементы – баки водяные – насос.

Для первоначального заполнения системы используется химобес-солённая вода. При работе блока для восполнения потерь дистиллята в системе предусмотрена подпитка от конденсатных насосов 1-й степени. При этом подпиточная вода проходит через фильтр механической очистки МКФ90АТ001 для исключения попадания механических частиц из контура подпитки. Для ускорения заполнения системы используется байпасная линия Ду50 с заглушкой около баков водяных, которая снимается только для заполнения баков после ППР.

Подача дистиллята в охлаждаемые элементы осуществляется центробежными насосами охлаждения ротора и сердечника статора генератора МКФ52,53АР001 расходом  $360 \text{ м}^3/\text{ч}$  напором 74 м, один из которых в работе, второй – в резерве.

После насосов дистиллят поступает в пластинчатые теплообменники 10МКФ55,56,57АС001 фирмы Альфа-Лаваль, где он охлаждается до необходимой температуры. Схемой предусмотрена установка трех теплообменников, два из которых – рабочие, один - резервный.

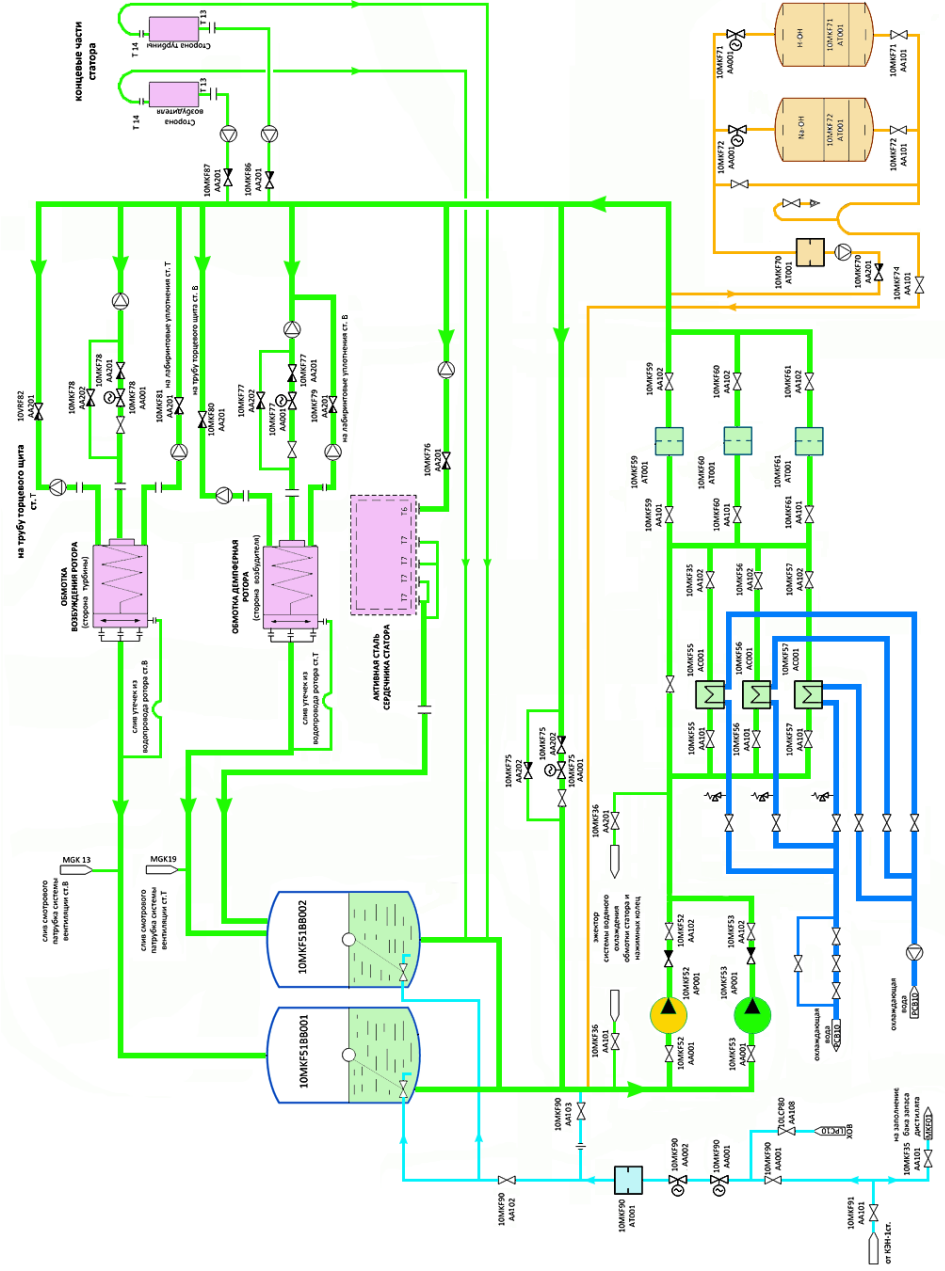
Суммарный расход охлаждающей технической воды на два рабочих теплообменника –  $900 \text{ м}^3/\text{ч}$ , отводимые потери тепла – 6984 кВт.

После теплообменников дистиллят поступает в фильтры магнитно-механической очистки МКФ59,60,61АТ001, где он очищается от механических и случайных ферромагнитных частиц. Два фильтра – рабочие, один – резервный.

После очистки на магнитно-механических фильтрах дистиллят поступает на охлаждаемые элементы. Системой регламентируется расход дистиллята на охлаждаемые элементы:

- на обмотку возбуждения не менее  $184 \pm 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- на демпферную обмотку ротора не менее  $30,5 \pm 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- на охладители активной стали статора не менее  $120 \pm 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- концевые части статора по  $5 \pm 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на каждую сторону;
- трубы торцевых щитов в пределах  $0,5 \div 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  на каждую сторону;
- лабиринтные уплотнения вала  $0,5 \div 1 \text{ м}^3/\text{ч}$  на каждую сторону.

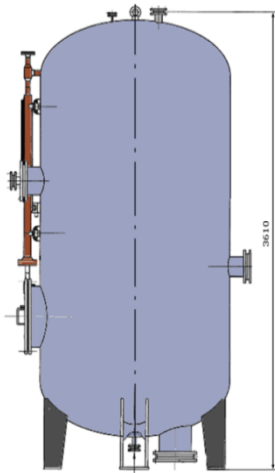
Давление дистиллята на входе в охлаждаемые элементы не нормируется.



Технологическая схема системы охлаждения ротора генератора

Дистиллят, циркулирующий в системе, должен обладать высокими диэлектрическими свойствами, поэтому систему заполняют обессоленной водой с удельной электрической проводимостью не более 1,43 мкСм/см. При работе системы в случае ухудшения показателей ВХР часть расхода (от 5 до 15 м<sup>3</sup>/ч) направляют на обессоливающую установку, которая состоит из двух ионообменных фильтров. Один фильтр МКФ71АТ001 содержит смесь анионита и катионита в Н-ОН форме и предназначен для снижения удельной электрической проводимости. Второй фильтр МКФ72АТ001 содержит смесь анионита и катионита в Na-ОН форме и предназначен для повышения рН до величины не ниже 6,5. Для исключения попадания механических примесей в ионообменные смолы предусмотрена установка механического фильтра МКФ70АТ001. Регулирование расхода дистиллята через фильтры устанавливается регулировочным клапаном МКФ70АА201.

### Баки



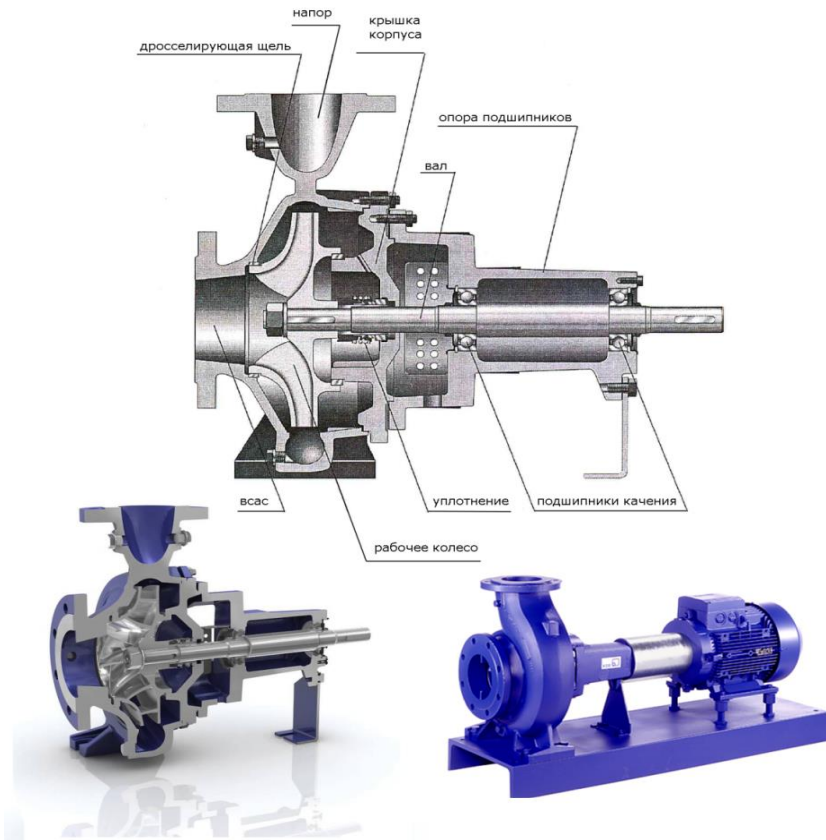
В системе охлаждения обмотки статора и нажимных колец генератора МКФ01 установлен один бак, в системе охлаждения ротора и сердечника статора генератора МКФ50 - два бака. Водяной бак обеспечивает необходимый запас дистиллята в системе. Полная емкость бака – 6 м<sup>3</sup>, рабочая - 4 м<sup>3</sup>. Уровень в баке поддерживается поплавковым регулятором.

### Баки МКФ

В системе МКФ01 применяется вакуумирование свободного объема бака для предотвращения контакта поверхности дистиллята с воздухом. Разрежение в баке создается работой водоструйного эжектора МКФ36ВН001, соединенного с верхней точкой бака. В системе МКФ50 баки находятся под атмосферным давлением.

### 1.7.5 Насосы

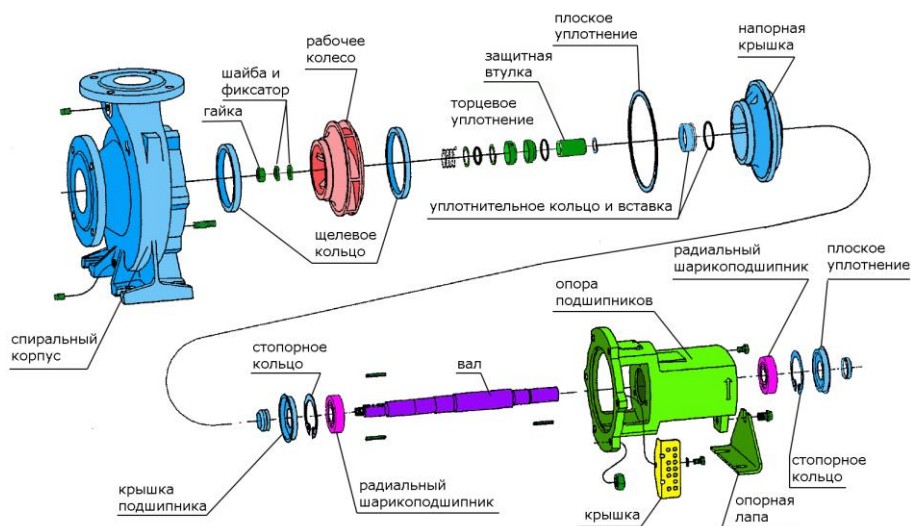
Насосы обеих подсистем имеют одинаковую конструкцию и отличаются только габаритами и характеристиками. Агрегат электронасосный на базе насоса типа ETANORM горизонтальный, центробежный, одноступенчатый, консольный. Подшипники качения с консистентной смазкой. Привод выполнен от стандартного электродвигателя через упругую муфту. Направление вращения ротора по часовой стрелке, если смотреть со стороны электродвигателя. Агрегат смонтирован с двигателем на общей фундаментной плите.



#### *Конструкция насосов системы охлаждения генератора*

Перекачиваемая жидкость поступает через всасывающий патрубок в насос в осевом направлении. В контуре канала корпуса насоса энергия скорости перекачиваемой жидкости превращается в энергию давления, и перекачиваемая жидкость направляется в напорный патрубок, через который она выходит из насоса. Дросселирую-

щяя щель предотвращает противоток перекачиваемой жидкости из корпуса во всасывающий патрубок. Гидравлика с обратной стороны рабочего колеса ограничена крышкой, через которую проходит вал. Проход вала через крышку герметизирован от окружающей среды уплотнением вала. Вал установлен в подшипниках качения, которые расположены на опоре, соединенной с крышкой корпуса.



### Устройство насосов системы охлаждения генератора

Основные технические данные	МКФ01	МКФ50
Тип	ETANORM C 080-250 C11	ETANORM C 100 - 250 C11
Перекачиваемая жидкость	вода, конденсат	вода, конденсат
Подача, м3/ч	225	360
Напор, м.вод.ст	80	74
КПД, %	75,3	77,5
Потребляемая мощность насоса, кВт	61,75	90,35
Уплотнение вала	торцевое	торцевое
Типоразмер двигателя	280S	315S
Мощность двигателя, кВт	75	110
Напряжение, В	400	400
Скорость вращения, об/мин	2975	2982

### 1.7.6 Теплообменники

Для охлаждения генератора используются пластинчатые теплообменники. В сравнении с традиционными (кожухотрубными) теплообменниками пластинчатые обладают рядом достоинств и недостатков.

*Преимущества пластинчатых теплообменников:*

- компактность
- коэффициент теплопередачи пластинчатых теплообменников больше, а соответственно площадь теплообмена меньше, чем у традиционных кожухотрубных
- меньший вес (меньшая металлоемкость)
- высокая ремонтпригодность
- легкий подбор необходимой тепловой мощности простым добавлением пластин.

*Недостатки пластинчатых теплообменников:*

- малая тепловая инерционность
- требования к чистоте сред (ставятся на химочищенную воду)
- высокая стоимость комплектующих (стоимость прокладок, требующих периодической замены, может достигать 50% стоимости теплообменника; в процессе эксплуатации уплотнения изнашиваются, трескаются или ссыхаются, они также повреждаются при очистке теплообменника)
- требуют периодической промывки специальными дорогостоящими составами для очистки отложений
- не подходят для процессов с фазовым переходом (невозможно контролировать уровень)
- более высокое гидравлическое сопротивление, что требует более мощных насосов.

*Достоинства кожухотрубных теплообменников:*

- пониженные требования к чистоте сред
- простота изготовления
- возможность контроля уровня в межтрубном пространстве
- высокие тепло аккумулирующие свойства.

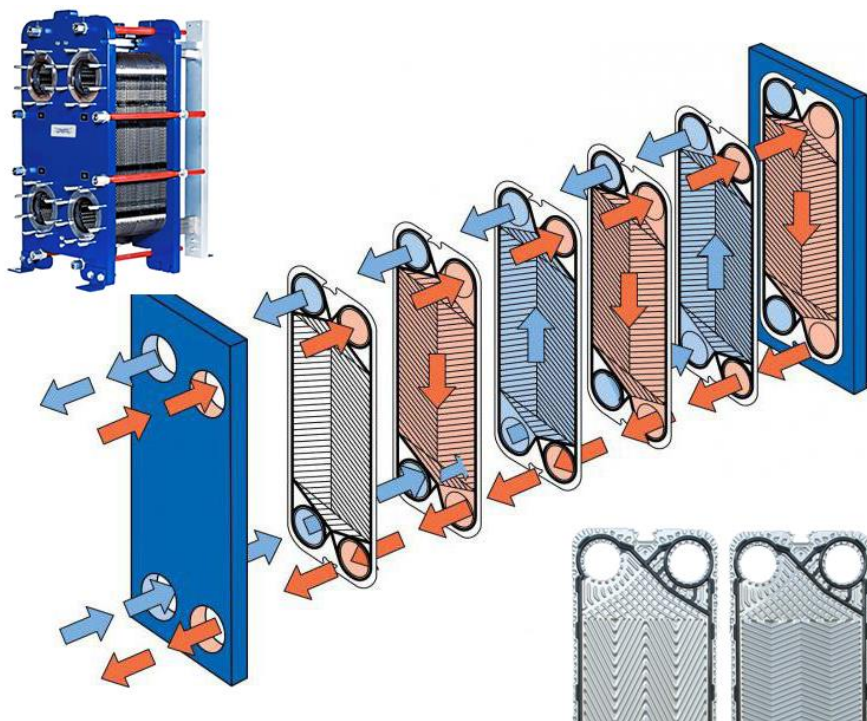
*Недостатки кожухотрубных теплообменников:*

- низкий коэффициент теплопередачи и соответственно высокие массогабаритные характеристики
- большие потери в коэффициенте теплопередачи при низких скоростях теплоносителя
- высокая стоимость в связи с высокой металлоёмкостью

- большие сложности при очистке межтрубного пространства
- дефекты трубной части требуют глушения трубок с уменьшением поверхности теплообмена.

Теплообменники обеих подсистем охлаждения генератора имеют одинаковую конструкцию и отличаются только габаритами и характеристиками.

Конструкция разборного пластинчатого теплообменника представляет набор гофрированных пластин, изготовленных из коррозионно-стойкого материала, с каналами для двух сред, участвующих в процессе теплообмена. Пакет пластин размещен между опорной и прижимной плитой и закреплен стяжными болтами. Каждая пластина снабжена прокладкой из термостойкой



### **Устройство пластинчатого теплообменника**

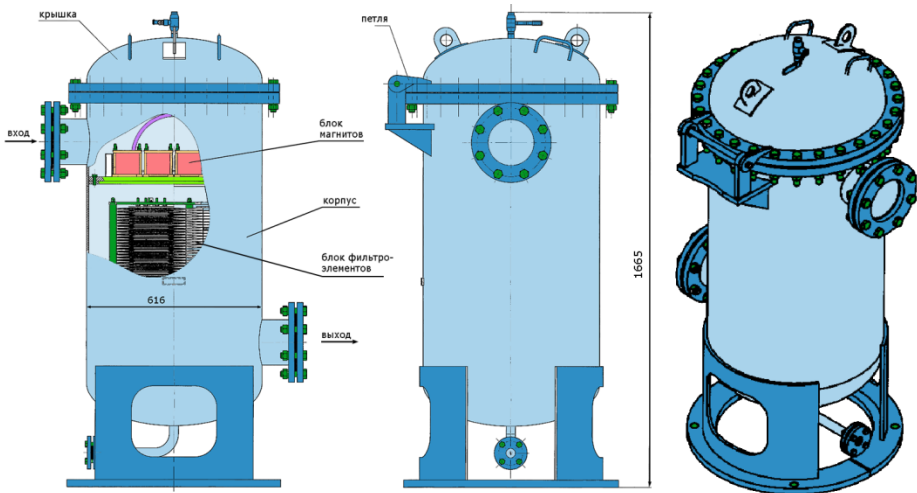
резины, уплотняющей соединение и направляющей различные потоки жидкостей в соответствующие каналы. Необходимое число пластин, их профиль и размер определяется в соответствии с расходами сред и их физико-химическими свойствами, температурной

программой и допустимой потерей напора по горячей и холодной стороне. Гофрированная поверхность пластин обеспечивает высокую степень турбулентности потоков и жесткость конструкции.

Основные технические данные	МКФ01	МКФ50
Тип	TS20-MGF	T20-MFD
Охлаждаемая среда	дистиллят	дистиллят
Охлаждающая среда	вода (PCB)	вода (PCB)
Поверхность охлаждения, м <sup>2</sup>	43	108,8
Количество пластин, шт	154	130
Расход дистиллята, м <sup>3</sup> /ч	121	180
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	450	450
Температура дистиллята (вх/вых), °С	56,2/40	56/39
Температура охлаждающей воды (вх/вых), °С	32/36,3	32/38,7

### 1.7.7 Фильтр магнитно-механический

Фильтр предназначен для улавливания механических и случайных ферромагнитных (сильно- и среднемагнитных) частиц из потока воды.

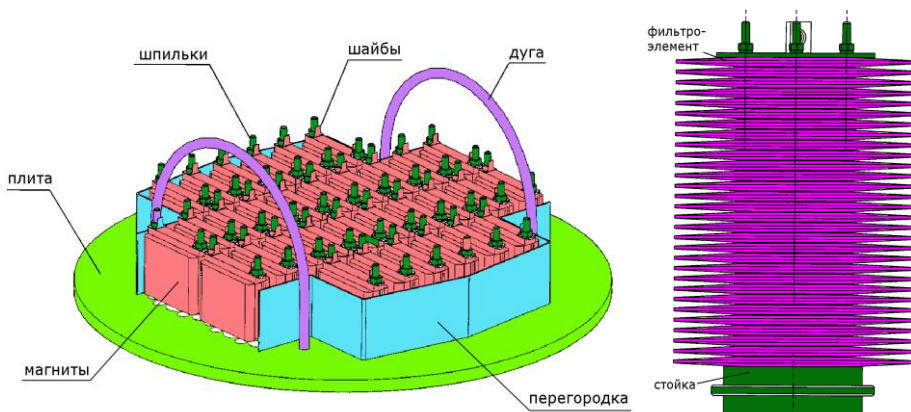


*Фильтр магнитно-механический*

Корпус имеет фланцы для присоединения фильтра к трубопроводам системы охлаждения. В верхней части корпуса на кольце приварном закреплен блок магнитов.

Блок магнитов состоит из плиты, на которой при помощи шпилек, гаек, стопорных шайб и пластин закреплены 32 магнита. На плите предусмотрены отверстия для прохода потока воды, омывающего магниты, к блокам фильтроэлементов, расположенным в корпусе фильтра.

Вода проходит сверху вниз через зазоры между магнитами, отверстия в плите и далее на блок фильтроэлементов. При прохождении через зазоры между магнитами вода фильтруется от случайных ферромагнитных частиц, так как последние притягиваются к магнитам.



**Устройство магнитно-механического фильтра**



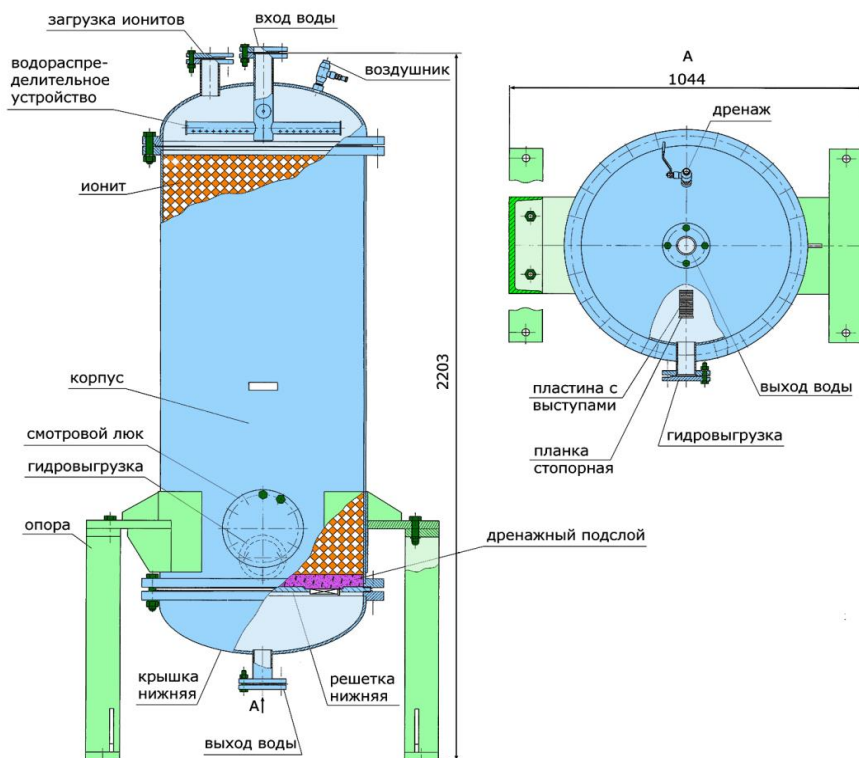
**Фильтры магнитно-механические**

В фильтре установлено три блока фильтроэлементов, которые крепятся к плите, приваренной внутри корпуса. Каждый блок состоит из стойки и набора фильтроэлементов. Стойка выполнена в виде сварной конструкции из четырех шпилек и втулки, позволяющей устанавливать блок фильтроэлементов в корпусе фильтра.

Фильтроэлемент состоит из двух фильтрующих сеток и гофрированного каркасного диска, скрепленных вместе при помощи двух внутренних и одной наружной обойм.

### 1.7.8 Ионообменный фильтр

Фильтр ионообменный предназначен для химической очистки (обессоливания) дистиллята в системе водяного охлаждения обмотки статора турбогенератора с помощью ионообменных смол (ионитов): катионита КУ-2-8 ЧС ГОСТ 20298-74 и анионита АВ-17-8 ЧС ГОСТ 20301-74 в Н-ОН форме или для поддержания pH дистиллята в норме с помощью этих же ионообменных смол в Na-OH форме.



*Конструкция ионообменного фильтра*

Фильтр выполнен в виде цилиндрического корпуса, к которому крепятся верхняя и нижняя крышки. В верхней крышке для равномерного распределения фильтруемого дистиллята по площади сечения фильтра предусмотрено водораспределительное устройство, выполненное в виде крестовины труб с отверстиями по их длине. На верхней крышке фильтра установлен кран выпуска воздуха, патрубок для входа фильтруемой воды и патрубок для гидравлической загрузки ионитов.

Между фланцами нижней крышки и корпуса установлена решетка нижняя, на которой выполнено дренажное устройство. Дренажное устройство состоит из набора пластин с выступами, которые набираются в гнезда решетки и закрепляются с помощью стопорной планки. Дренажное устройство служит для равномерного сбора воды по площади сечения фильтра, а щели между пластинами размером  $0,3 \pm 0,05$  мм предотвращают вынос из фильтра ионитов, имеющих размер зерен от 0,4 до 1,2 мм. Дренажное устройство засыпается подслоем дренажным из рубленой проволоки диаметром 2 мм для предохранения щелей от забивания мелкими зернами ионитов. Нижняя крышка имеет патрубок для выхода отфильтрованной воды и входа воды для гидравлической выгрузки ионитов, а также кран отбора проб воды для анализа и опорожнения фильтра.



На корпусе фильтра установлен люк, служащий для загрузки дренажного подслоя и осмотра дренажных устройств, а также патрубок, предназначенный для гидравлической выгрузки ионитов.

Фильтр крепится к фундаменту с помощью опор.

Фильтры ионообменные подключаются параллельно. Данная схема обеспечивает прокачку через ионообменные фильтры части общего расхода и незначительно снижает давление дистиллята на входе в обмотку статора турбогенератора

### Ионообменные фильтры

Расход дистиллята через ионообменные фильтры устанавливается регулировочным краном по показаниям расходомера. Фильтр механической очистки служит для предотвращения попадания ионообменных смол в обмотку статора турбогенератора при отключениях насосов системы охлаждения. Контроль гидравлического сопротивления фильтров осуществляется по показаниям датчиков перепада давления.

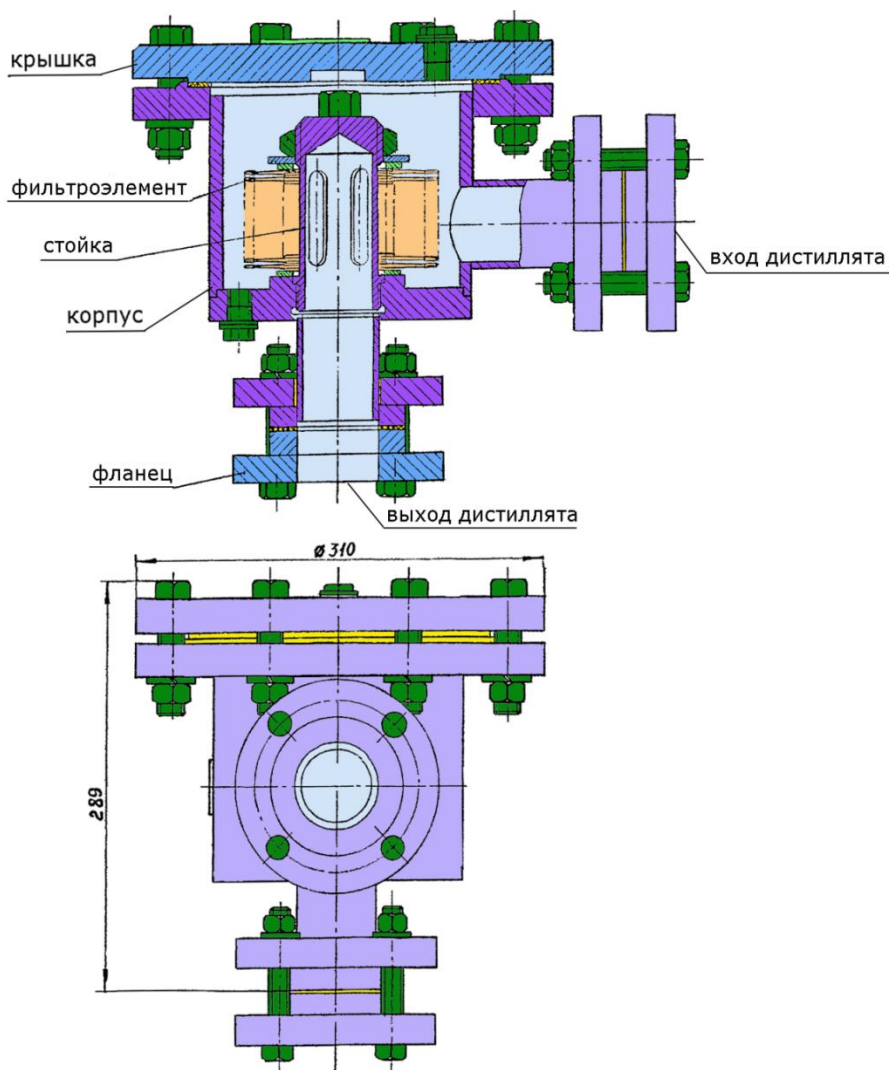
Фильтруемый дистиллят под напором насосов системы охлаждения через патрубок верхней крышки и водораспределительное устройство попадает в корпус фильтра, проходит слой фильтрующей загрузки (иониты) и дренажный подслой. Затем дистиллят через пластины дренажного устройства и патрубок нижней крышки покидает фильтр и направляется на всас насосов.

### 1.7.9 Механические фильтры

Фильтр механический предназначен для улавливания механических частиц размером более 0,02 мм в потоке воды.

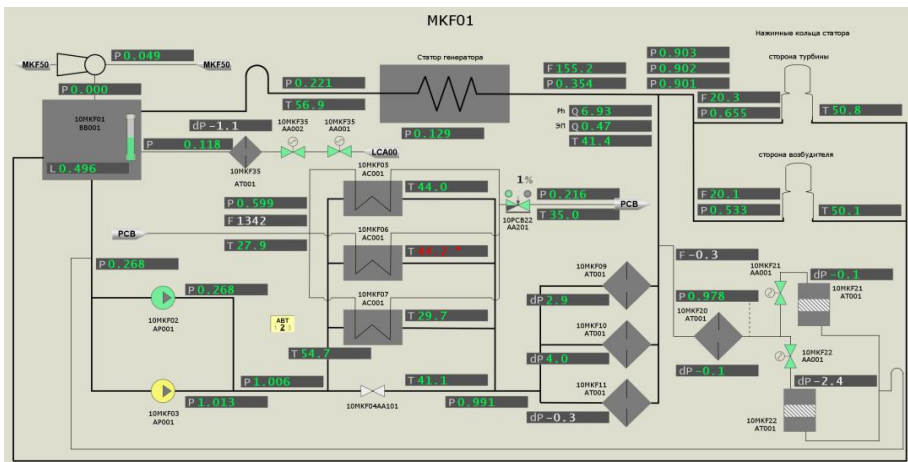
Корпус фильтра имеет форму цилиндра. Стойка выполнена в виде трубы с шестигранной наружной поверхностью и прочно ввинчена в корпус фильтра. Фильтроэлемент состоит из двух фильтрующих сеток и гофрированного каркасного диска, скрепленных вместе при помощи двух внутренних и одной наружной обойм. Необходимая плотность прилегания поверхностей фильтроэлементов друг к другу в блоке достигается соответствующим поджатием фильтроэлементов гайкой.

Пропускная способность фильтра 10 м<sup>3</sup>/ч, гидравлическое сопротивление 0,04 МПа, масса 53 кг.

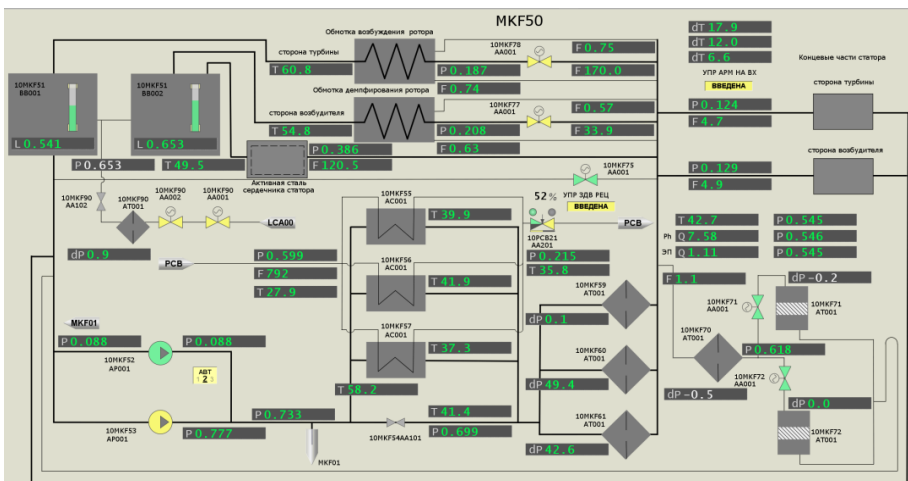


*Фильтр механический*

Контроль работы системы осуществляется с видеоканалов СВБУ МКФ01 и МКФ50.



Видеокадр СБВУ MKF01



Видеокадр СБВУ MKF50

## 1.8 Система MVL гидродоюза роторов

### 1.8.1 Назначение

Система гидростатического подъема роторов турбоагрегата MVL предназначена для гидростатического подъема шеек роторов турбины и генератора с помощью подачи масла высокого давления к вкладышам подшипников для уменьшения износа баббита при вращении валоповоротным устройством при пуске или выбеге ТА, а также для облегчения проворота валопровода при ремонтах.

### 1.8.2 Состав

В состав системы гидроподъема роторов MVL входят:

1. насосы гидроподъема роторов НГПР MVL11,12AP001;
2. пусковые клапаны MVL13(15)AA401;
3. предохранительные клапаны MVL13(15)AA402;
4. дозирующие устройства MVL 21BP001 -10 MVL 32BP001;
5. трубопроводы и арматура.

### 1.8.3 Описание технологической схемы системы гидроподъема

Для подачи масла установлены два винтовых насоса с электродвигателями переменного тока MVL11AP001, MVL12AP001. Масло из чистого отсека ГМБ MAV10BB001 подается одним рабочим насосом MVL11(12)AP001 в напорный коллектор системы гидростатического подъема роторов и далее через дозирующие устройства под шейки роторов каждого подшипника.

На напорном маслопроводе каждого НГПР MVL11(12)AP001 установлены пусковой MVL13(15)AA401, предохранительный MVL13(15)AA402 и обратный MVL11(12)AA601 клапаны.

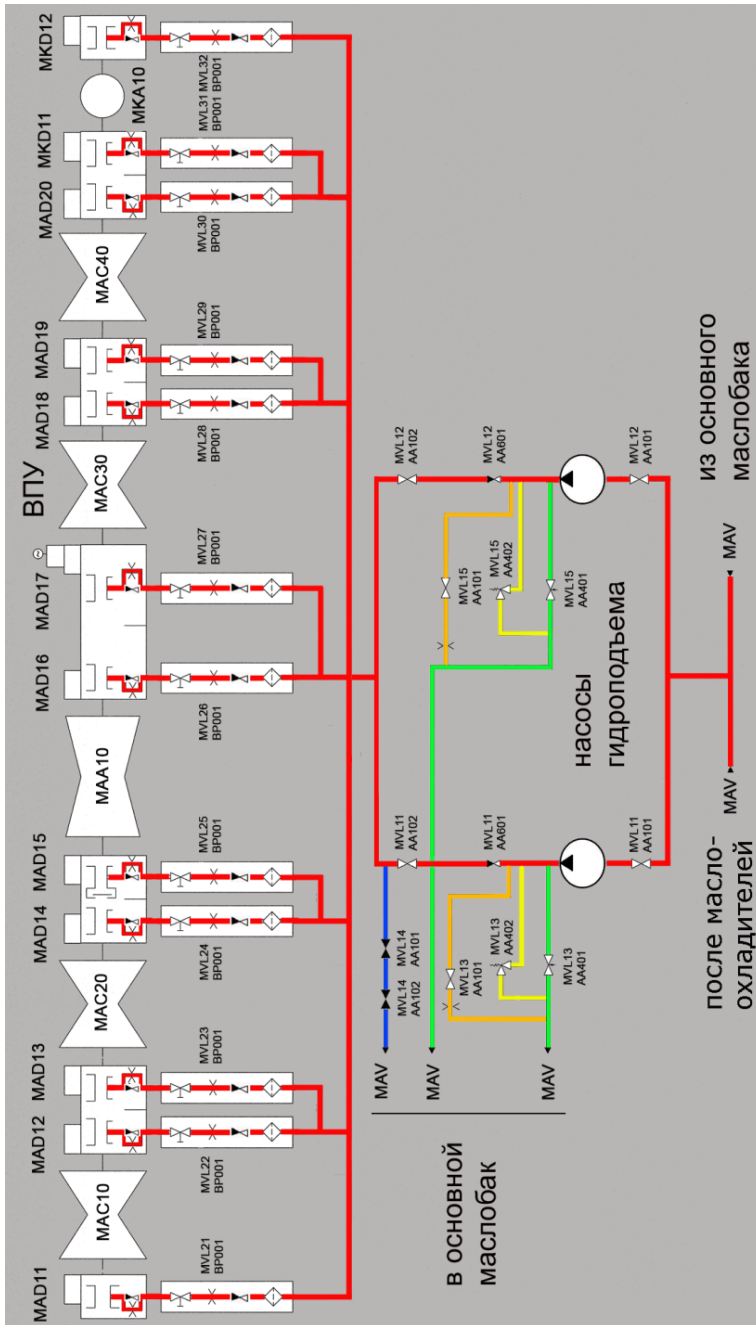
Пусковой клапан MVL13(15)AA401 предназначен для облегчения режима пуска насоса и закрывается в течение нескольких секунд по мере роста давления масла в напорном коллекторе насоса.

Предохранительный клапан MVL13(15)AA402 не допускает увеличения давления масла на напоре насоса сверх допустимого.

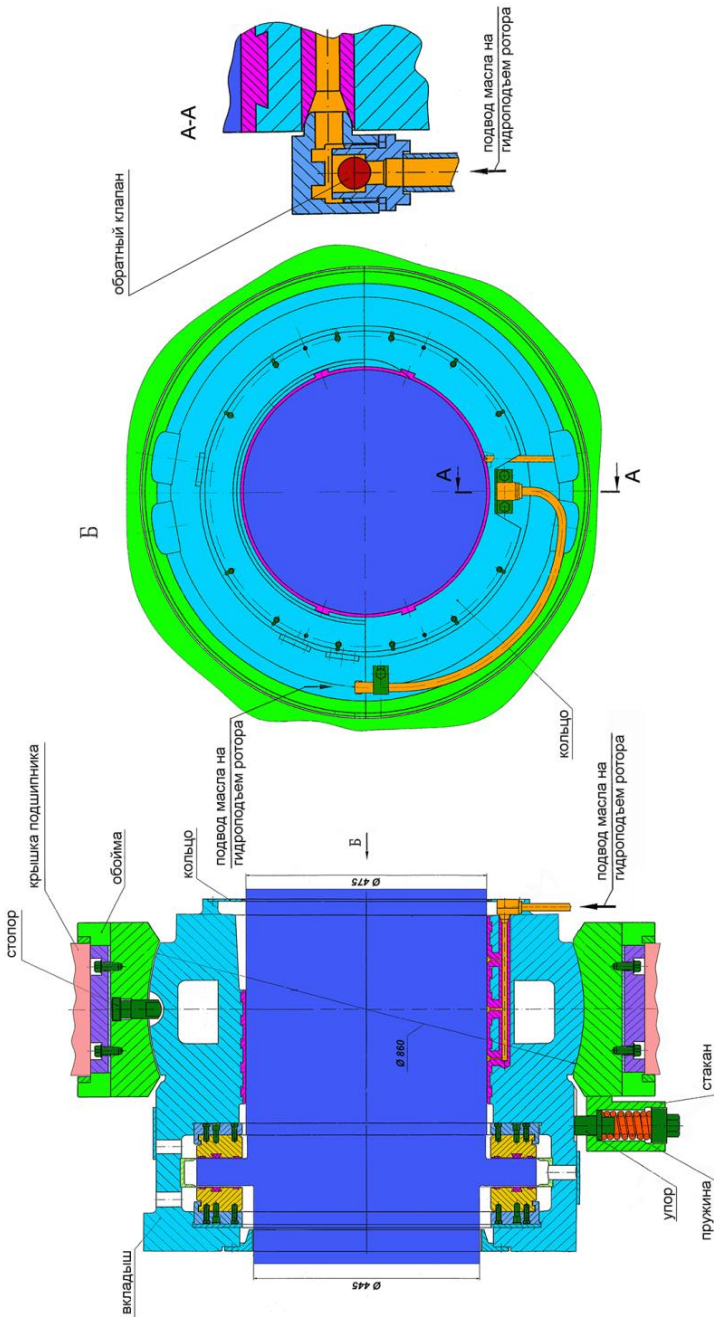
В нижних половинах вкладышей каждого из подшипников выполнена система гидроподъемных камер, обеспечивающих всплытие шейки вала. На подводе масла к вкладышу заднего подшипника генератора установлена изолирующая вставка для обеспечения подступовой изоляции.

Масло из вкладышей подшипников ТА сливается в картеры подшипников, откуда по сливным трубопроводам сливается в ГМБ MAV10BB001.

Система вводится в работу перед постановкой роторов турбоагрегата на ВПУ. Отключение насосов гидроподъема разрешается после закрытия стопорных и регулирующих клапанов турбины, снижения температуры металла паровпуска турбины ниже 150°С и отключения ВПУ.



Технологическая схема системы гидроподъема роторов

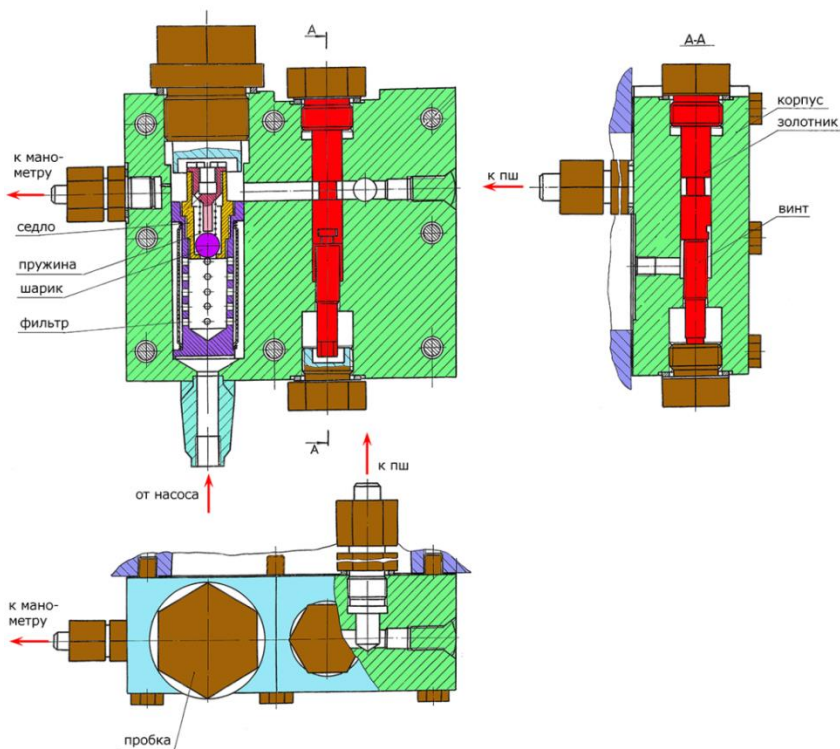


Подвод масла на гидроподъем

### 1.8.4 Дозирующие устройства

Равномерное распределение расхода масла по вкладышам осуществляется дозирующими устройствами MVL21BP001 - MVL32BP001. Дозирующие устройства выполнены отдельными блоками и состоят из неотключаемого фильтра, ограничительной (дрессельной) шайбы, шарового обратного клапана и ручного устройства золотникового типа, позволяющего при необходимости отсекать подачу масла на подшипник.

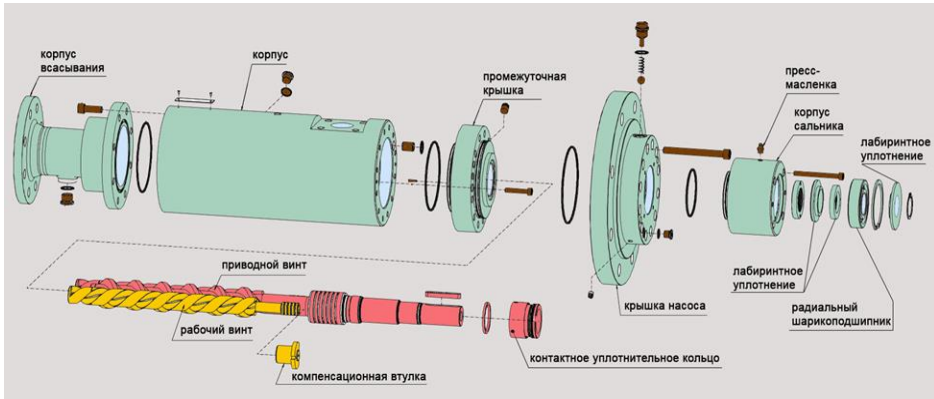
Внутри картеров непосредственно у вкладышей подшипников на трубопроводах, соединяющих дозирующие устройства с камерами гидроподъема, установлены шаровые обратные клапаны, которые предотвращают быструю утечку масла (падение давления) из масляного клина при нарушении плотности трубопровода гидроподъема внутри корпуса подшипника. Эти обратные клапаны выполнены конструктивно неплотными, что позволяет устанавливать манометры на дозирующие устройства для замера давления в масляном клине.



*Конструкция дозирующего устройства*

### 1.8.5 Насос гидроподъема роторов

Для подачи масла на гидроподъем роторов турбины и турбогенератора предусмотрена установка двух насосов с электродвигателями переменного тока производительностью 38 м<sup>3</sup>/ч. Один насос рабочий, другой - в резерве.

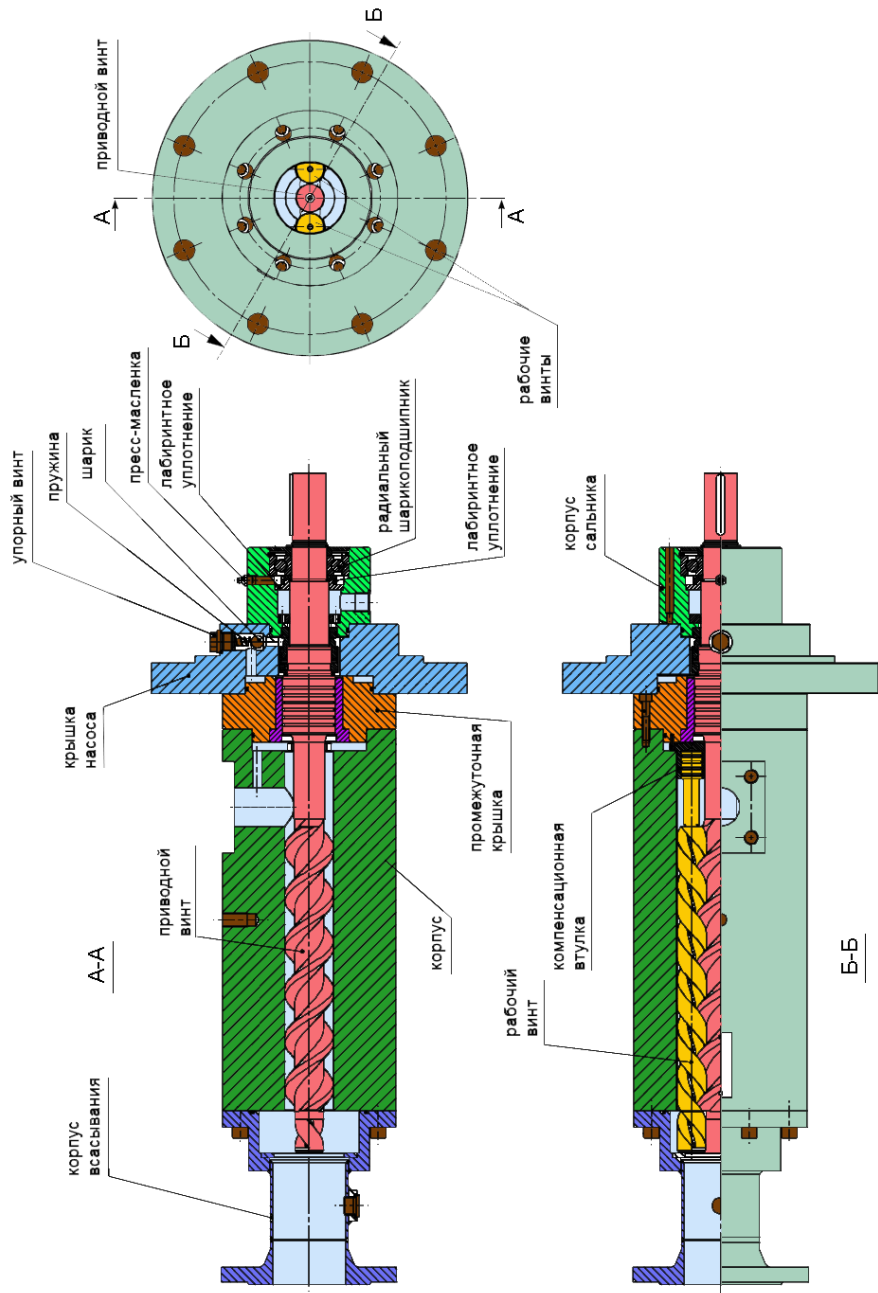


#### Конструкция насоса гидроподъема ротора

Насос горизонтальный трехвинтовой фланцевого исполнения фирмы Allweiler (Германия). В корпусе насоса расположены приводной и рабочие винты. Центральный приводной винт приводит во вращение два рабочих. Ротор насоса опирается на радиальные шариковые подшипники, смазываемые консистентной смазкой. Добивка смазки выполняется через пресс-масленку. Передача момента от электродвигателя осуществляется через эластичную муфту.

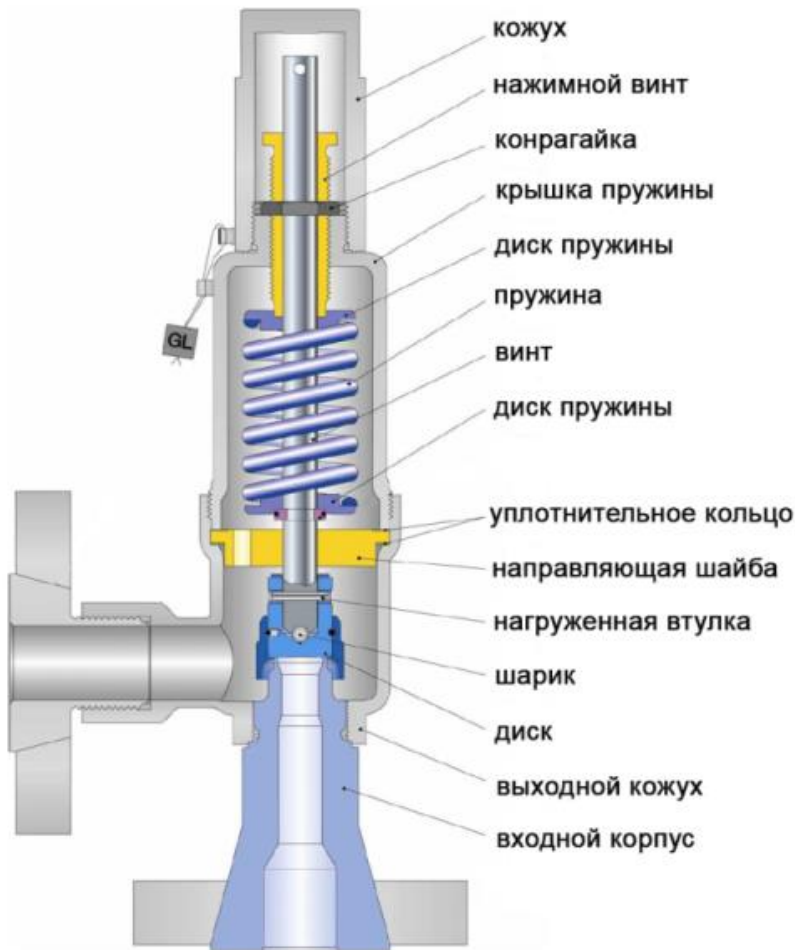
#### Технические характеристики насоса гидроподъема роторов

тип	винтовой VHF440R40E7BS-W159L
производительность, м <sup>3</sup> /ч	38
напор, МПа	12.0
число оборотов, об/мин	2900
мощность двигателя, кВт	160



Конструкция насоса гидropодъема ротора

### 1.8.6 Предохранительный и пусковой клапаны.



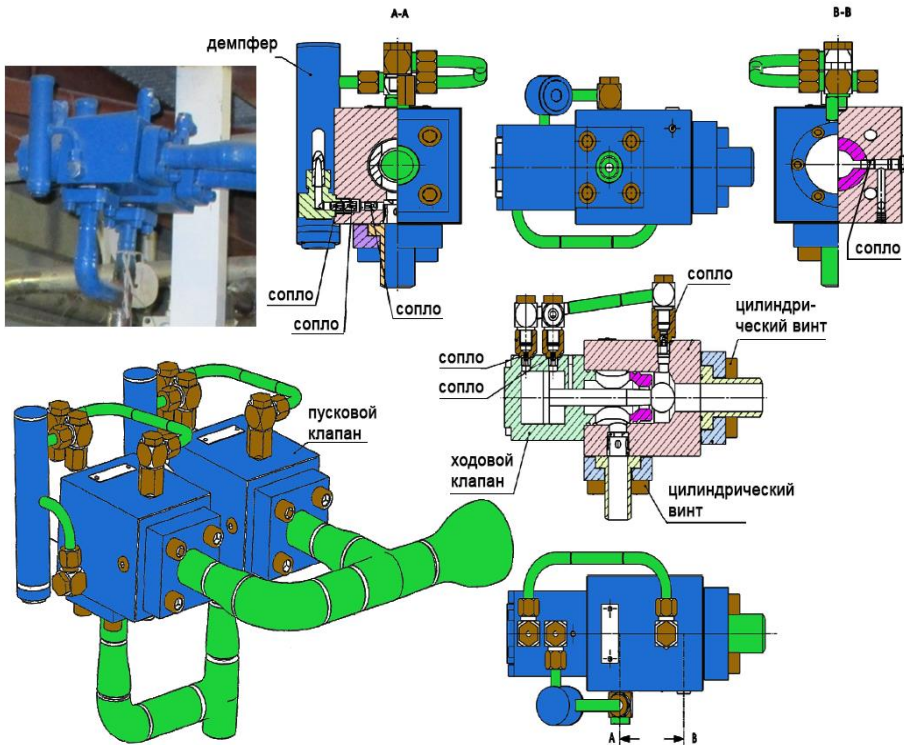
#### *Предохранительный клапан*

Предохранительный клапан MVL13(15)AA402 предназначен для предотвращения увеличения давления масла на напоре насоса сверх допустимого. Уставка срабатывания предохранительного клапана 13,2 МПа (132 кгс/см<sup>2</sup>). Настройка клапана осуществляется изменением натяжения пружины при вращении нажимного винта.

Пусковой клапан с гидравлическим управлением MVL13(15)AA401 предназначен для ограничения скачков давления при пуске винтового насоса. Пуск осуществляется в два этапа.

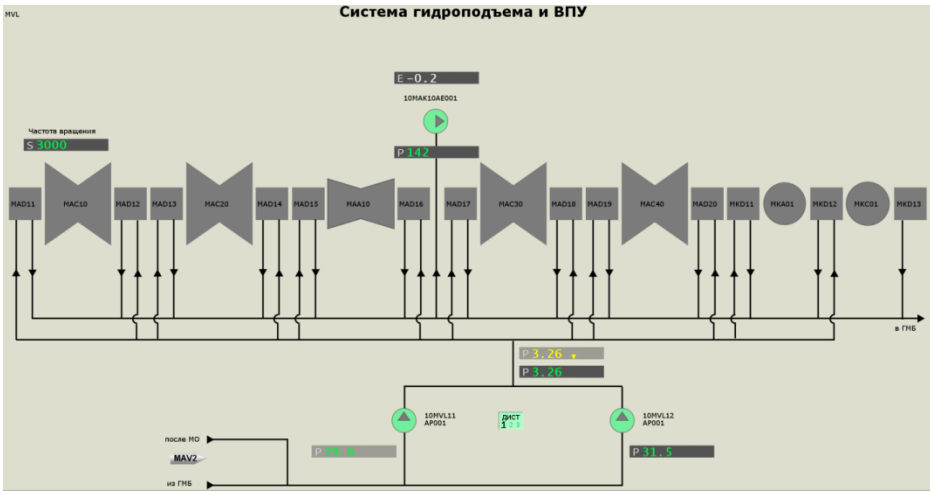
На первом давлении в клапане растет с увеличением оборотов до величины промежуточного давления, которое поддерживается регулирующим соплом в течение короткого времени.

На втором этапе пусковой клапан закрывается автоматически в течение 1 - 2 секунд, прекращается слив масла в ГМБ MAV10VB001, и устанавливается конечное давление масла в напорном коллекторе насоса.

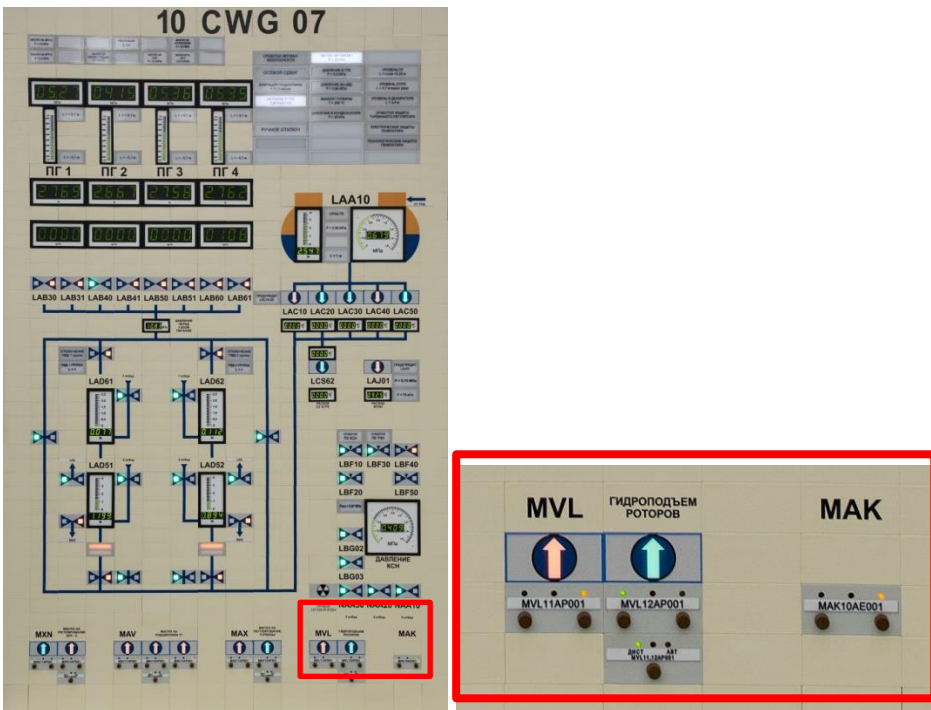


**Пусковой клапан**

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ MVL и панели БПУ 10CWG07.



Видеокадр СББУ MVL



Панель БПУ 10CWG07

## ЧАСТЬ 2. ПАРОВЫЕ И ВОДЯНЫЕ КОНТУРЫ

### 2.1 Система LCA LCB основного конденсата

#### 2.1.1 Назначение

Система основного конденсата LCA является частью второго контура от конденсатора пара турбины до деаэратора. Система предназначена для:

- подачи конденсата из конденсатора в деаэратор через блочную обессоливающую установку и систему регенерации низкого давления;
- управления расходом конденсата, откачиваемого конденсатными насосами, для поддержания уровня в деаэраторе и в ПНД-2 в заданных пределах;
- обеспечения расхода конденсата по линии рециркуляции, необходимого для нормальной работы конденсатных насосов, при работе турбины на холостом ходу и малых нагрузках;
- подачи основного конденсата в систему впрысков в пароприёмное устройство конденсатора;
- подачи конденсата на управление защитными устройствами ПВД;
- подачи конденсата на охлаждение гидрозатвора ПНД-2;
- подачи конденсата на гидроприводы обратных клапанов отборов турбины;
- подачи конденсата на уплотнение вакуумной арматуры;
- подачи конденсата на заполнение и подпитку баков системы охлаждения генератора МКФ;
- подачи конденсата на заполнение водокольцевых вакуумных насосов;
- подачи конденсата на уплотнение ПЭН, ВПЭН, КЭН-I, КЭН-II, НСС;
- подачи конденсата на охлаждение охладителя выпара системы дренажей машзала LCM;
- подачи конденсата на охлаждение сервомоторов.

#### 2.1.2 Состав

Система включает в себя элементы, необходимые для отвода конденсата из конденсатора, подачи его в цикл до деаэратора, а также для подачи конденсата в различные технологические системы.

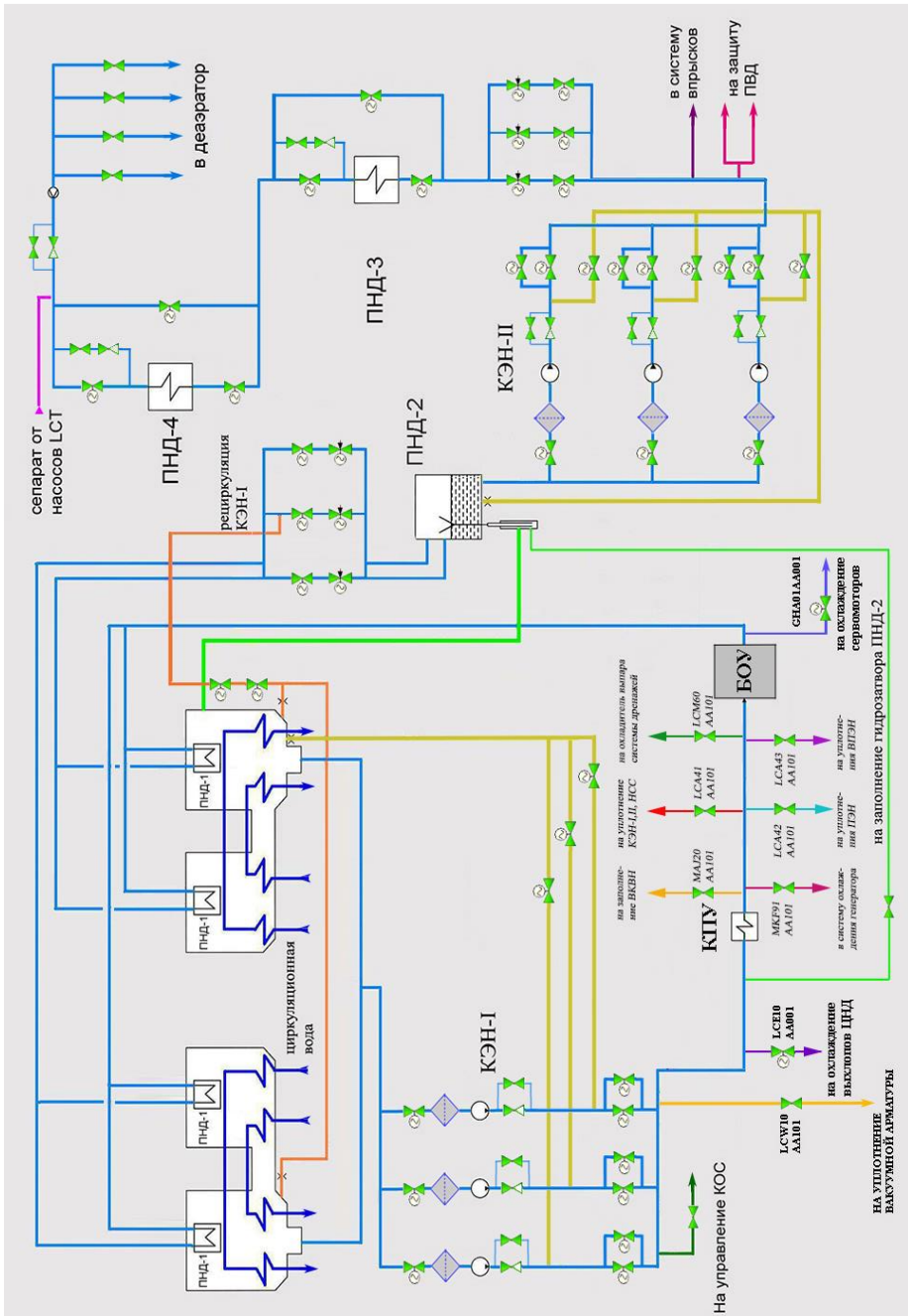
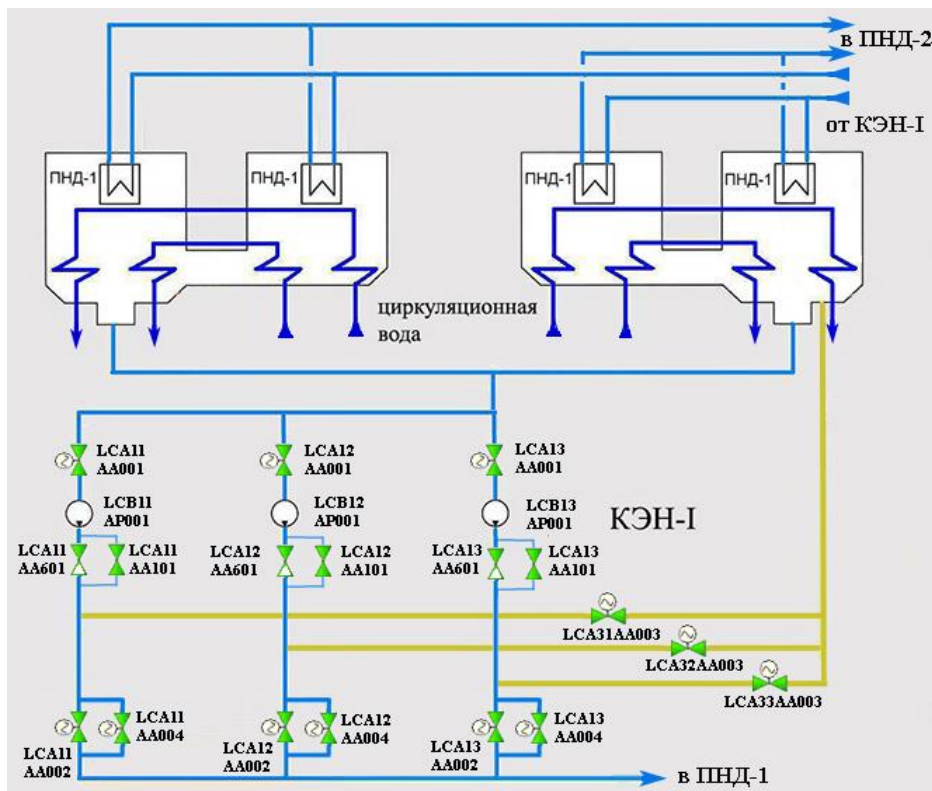


Схема системы основного конденсата

В состав системы основного конденсата входят:

- конденсатные насосы I-ой ступени (КЭН-1) LCB11AP001, LCB12AP001, LCB13AP001;
- конденсатные насосы II-ой ступени (КЭН-2) LCB21AP001, LCB22AP001, LCB23AP001;
- трубопроводы и арматура.

### 2.1.3 Описание технологической схемы



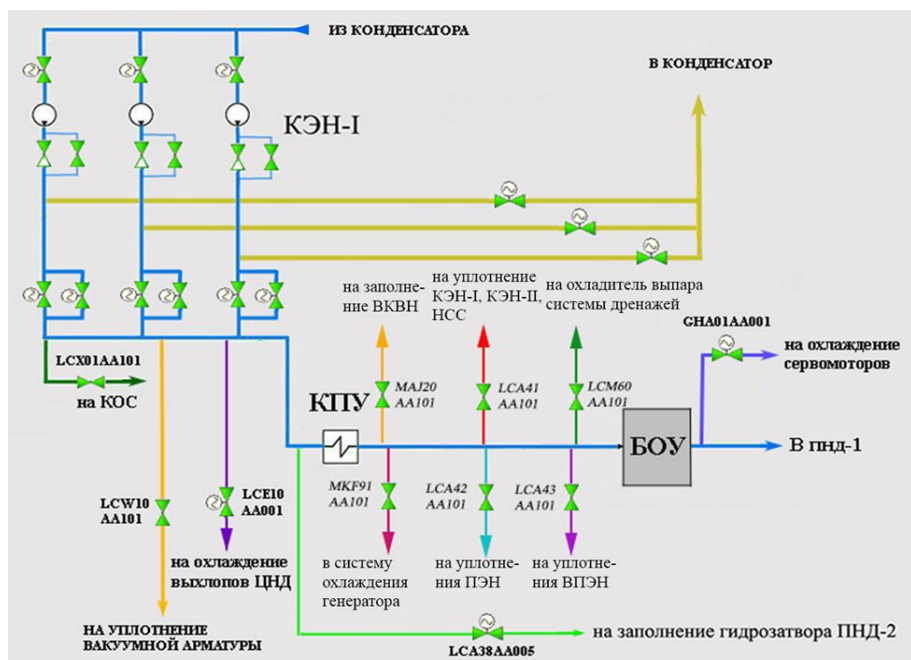
*Часть схемы от конденсатора до КЭН-I*

Конденсатор турбины состоит из четырех корпусов, объединенных в две группы. Конденсаторная группа включает в себя два секционированных двухпоточных по охлаждающей воде конденсатора.

Конденсат, образующийся в конденсаторах турбины, собирается во встроенные конденсатосборники, расположенные в корпусах №1 и 4. Конденсатосборники обоих конденсаторов соединены уравнительной линией, являющейся всасывающим коллектором конденсатных насосов.

Отвод конденсата из конденсаторов осуществляется тремя конденсатными насосами I-ой степени, каждый из которых обеспечивает 50% номинальной 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. КПУ обеспечивает охлаждение и конденсацию пара, отводимого вентиляторами из концевых уплотнений турбины и штоков клапанов, и утилизацию его тепла.



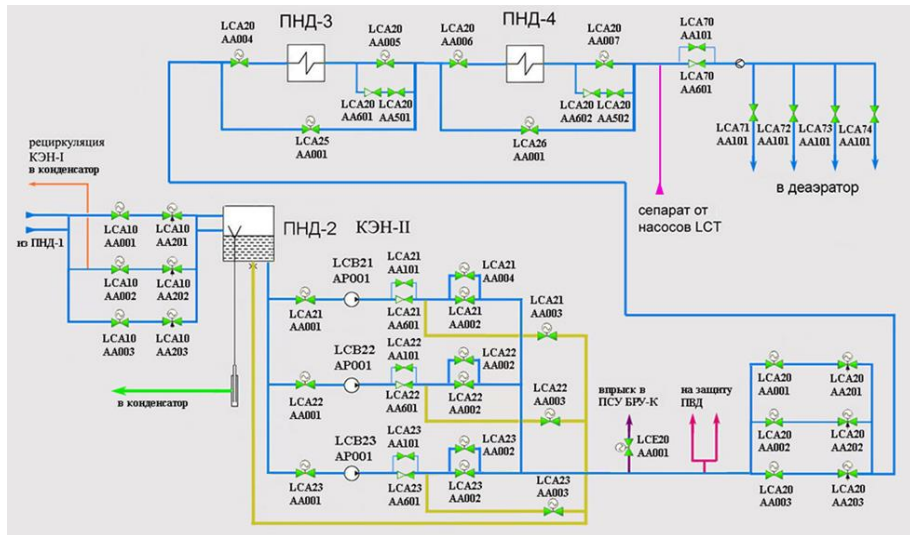
**Схема напорного трубопровода КЭН-I**

Из трубопровода напора КЭН-I конденсат подается:

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

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

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

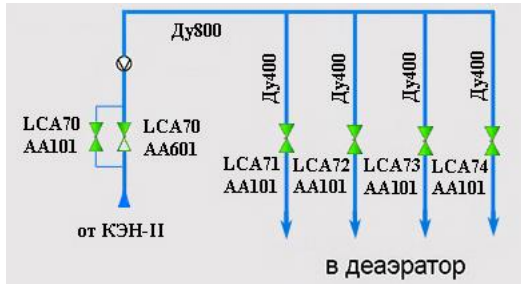


*Часть схемы от РУПНД-2 до деаэраатора*

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

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.

Основной конденсат после ПНД-4 подается коллектором Ду 800. Для равномерной раздачи этого потока в деаэрактор коллектор разделяется на 4 трубопровода Ду 400 (по числу деаэрационных колонок), на каждом из которых предусмотрены запорные задвижки.

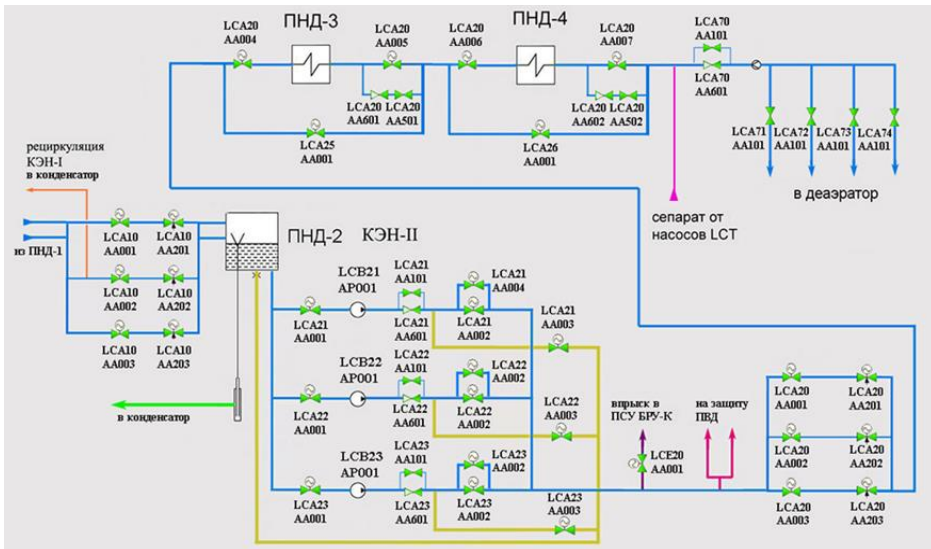


### Коллектор за ПНД-4

На случай прекращения подачи конденсата в деаэрактор для исключения попадания пара деаэрактора в конденсатопроводы и возникновения гидроударов на подъемном участке трубопровода Ду 800 мм предусмотрен обратный клапан LCA70AA601.

Байпас обратного клапана служит для дренирования трубопровода при ремонте.

### 2.1.4 Регулирующие клапаны



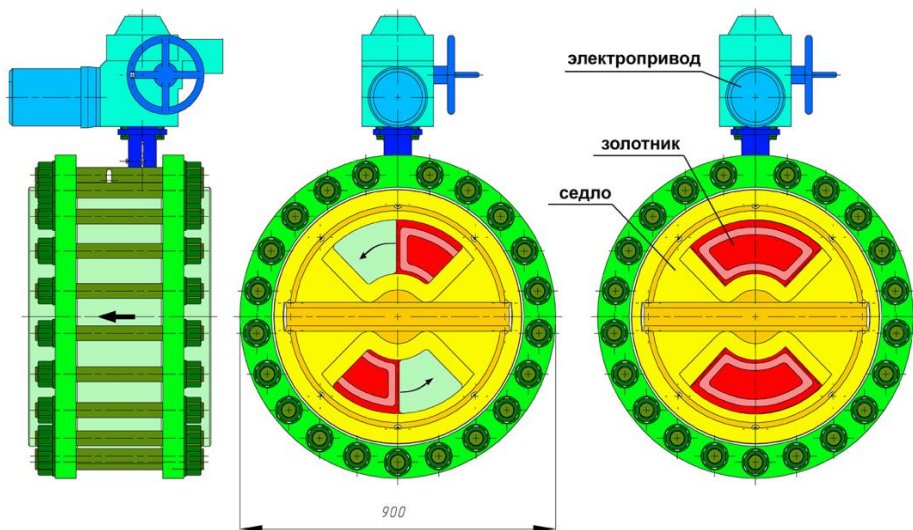
### Узлы питания ПНД-2 и деаэрактора

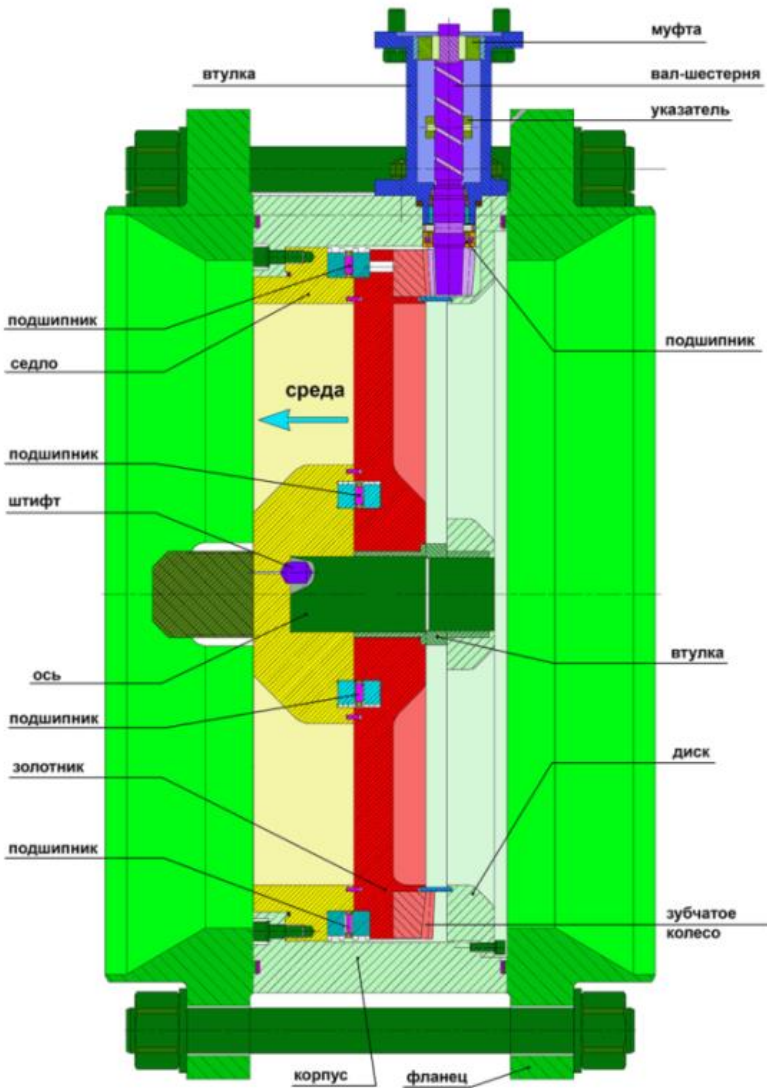
Поддержание уровня в конденсаторах осуществляется регулирующими клапанами на линии подпитки обессоленной водой, в ПНД-2 - регулирующими клапанами, установленными за конденсатными насосами 1-ой степени, в деаэракторе - регулирующими клапанами, установленными за конденсатными насосами 2-й степени.

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.

Принцип работы клапана заключается в следующем: при поступлении управляющего сигнала включается в работу электропривод. Выходной вал электропривода через муфту приводит во вращение вал-шестерню, которая кинематически связана с венцом зубчатого колеса, прикрепленного к золотнику. Золотник, вращаясь вокруг оси, перекрывает профильное проходное сечение седла клапана, что обеспечивает процесс регулирования расхода среды.

При вращении вала-шестерни указатель перемещается вверх-вниз и показывает положение золотника. Подшипники качения, выполненные в виде колец и сепараторов с роликами, воспринимают усилие от давления рабочей среды и облегчают вращение золотника. Подшипник качения, выполненный в виде колец и сепаратора с шариками, воспринимает усилие от давления рабочей среды и облегчает вращения вала-шестерни.





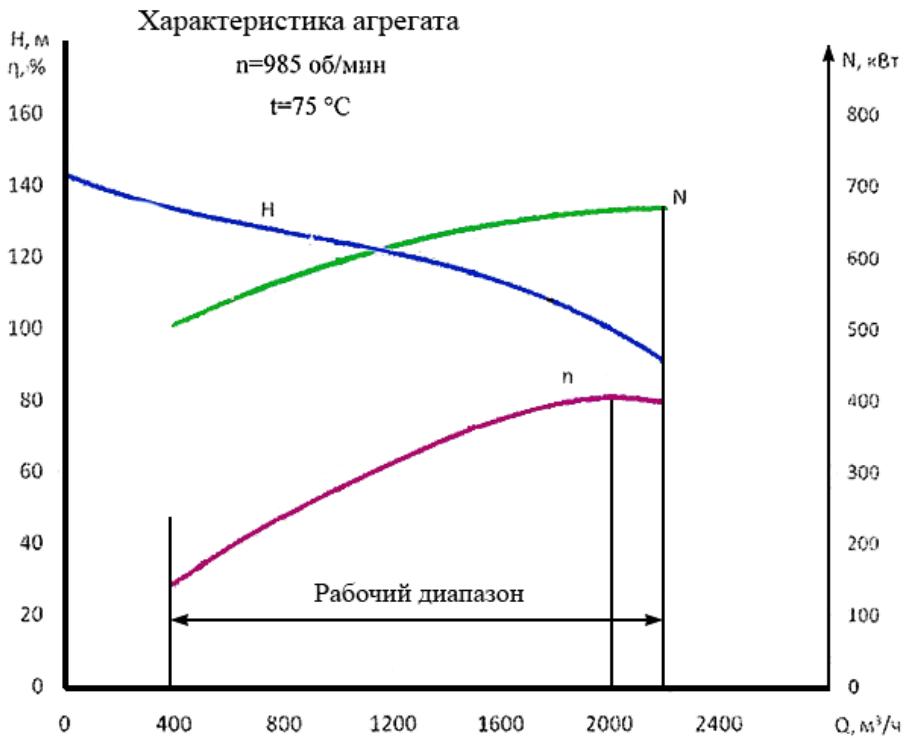
*Конструкция регулирующего клапана*

### 2.1.5 Конденсатный насос I ступени

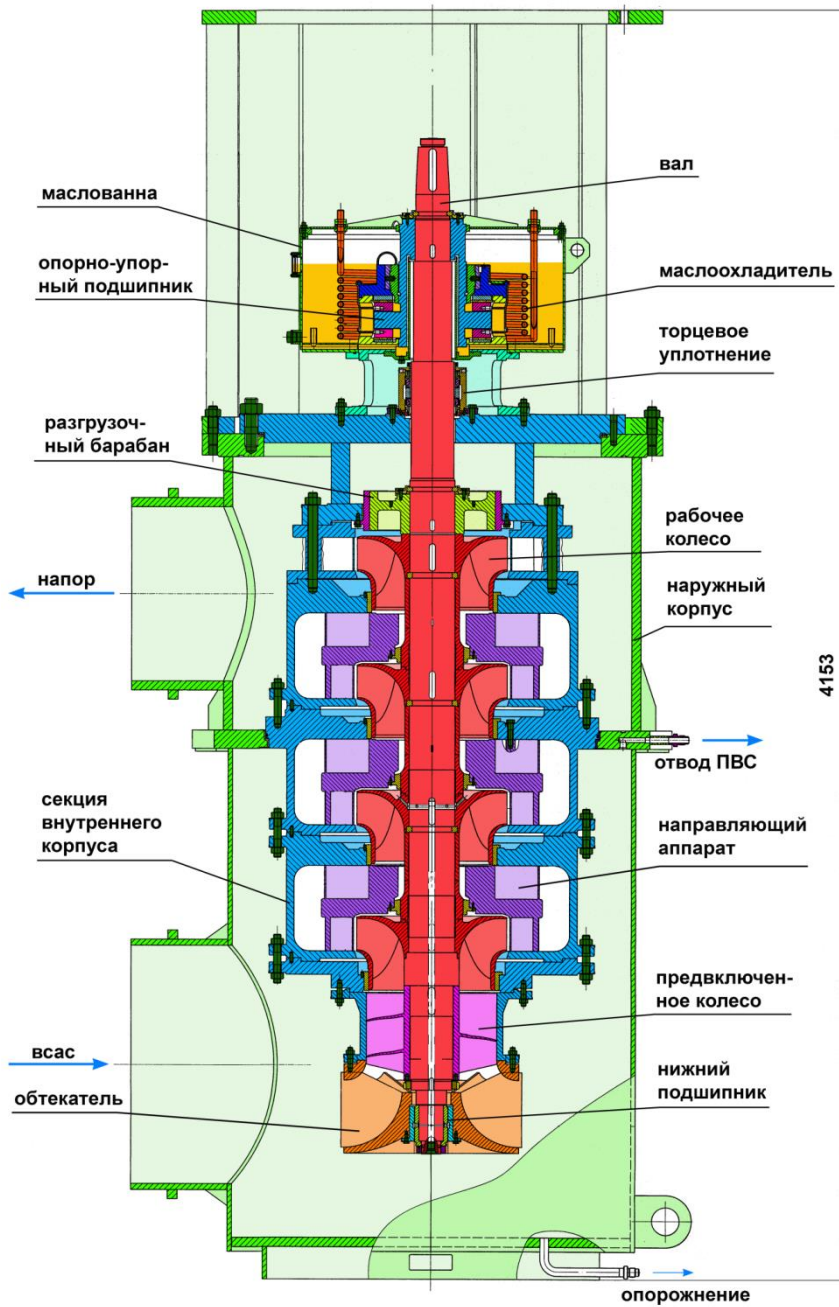
Электронасосный агрегат КЭНА 2000-100 состоит из насоса производства ОАО «Пролетарский завод», электродвигателя АВ5А-800Д-6УХЛ4 производства ЗАО «Завод крупных электрических машин» и фонаря. Передача крутящего момента от двигателя к насосу осуществляется через упругую пластинчатую муфту.

**Технические характеристики**

Подача	2000 м <sup>3</sup> /ч
Напор	100 м
Частота вращения	985 об/мин
Мощность приводного двигателя	0,8 МВт
Температура рабочей среды	до 75 °С
Допустимый кавитационный запас	2,8 м водяного столба



Агрегат вертикального исполнения, центробежный, четырехступенчатый, двухкорпусной.



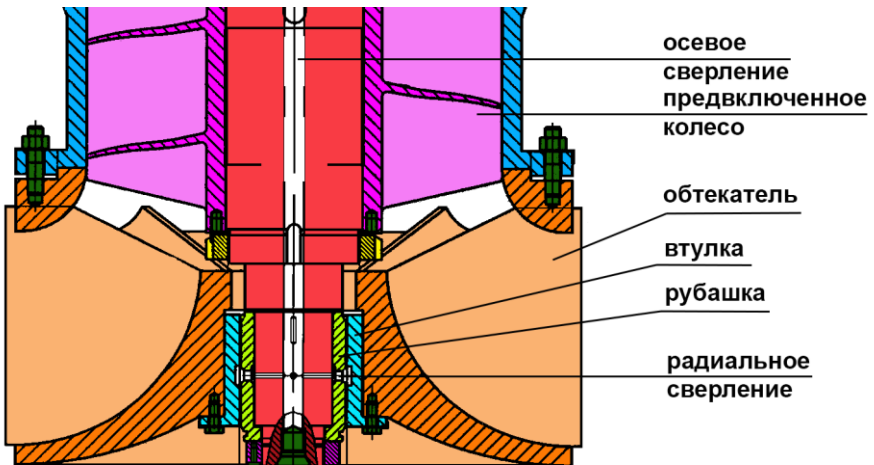
Конструкция КЭН-1

Наружный корпус насоса – сварная конструкция. Патрубки всасывания и нагнетания находятся с одной стороны. Края патрубков изготовлены с разделкой под приварку трубопроводов. На верхней части корпуса выполнен фланец, служащий опорной крышкой насоса. Проточная часть насоса состоит из статорной и роторной частей.

Статорная часть образована обтекателем, корпусом, фланцем, тремя секциями, тремя направляющими аппаратами, крышкой, торцовым уплотнением, подшипником масляным. Направляющие аппараты установлены во внутренней полости секций и крепятся болтами. Секции стягиваются между собой шпильками с гайками. Положение секций относительно друг друга определяется штифтами.

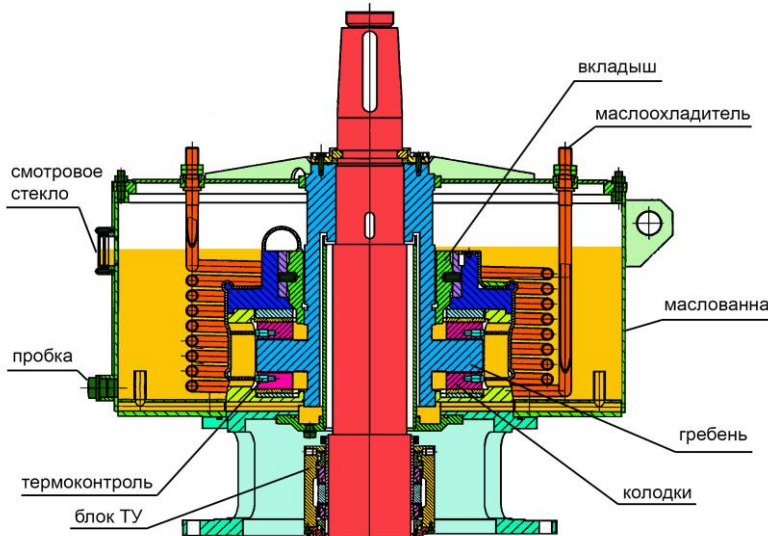
Ротор насоса состоит из вала, диска. Для восприятия осевого усилия на валу устанавливается разгрузочный барабан.

Нижний подшипник насоса - подшипник скольжения. Смазывается перекачиваемой жидкостью. Ротором подшипника является рубашка с нанесенной на нее углепластиковой композицией. Статорная часть подшипника - втулка, установленная в обтекателе. Перекачиваемый насосом конденсат подается через сверления в ступице рабочего колеса второй ступени в осевое сверление вала, по которому далее поступает к рубашке подшипника, где через радиальные сверления поступает в зазор подшипника.



*Конструкция нижнего подшипника КЭН-I*

Верхний подшипник насоса - опорно-упорный подшипник скольжения. Подшипник располагается в маслованне, заполненной огнестойкой жидкостью в количестве 115 литров. Для охлаждения масла подается техническая вода системы РСВ10-90.



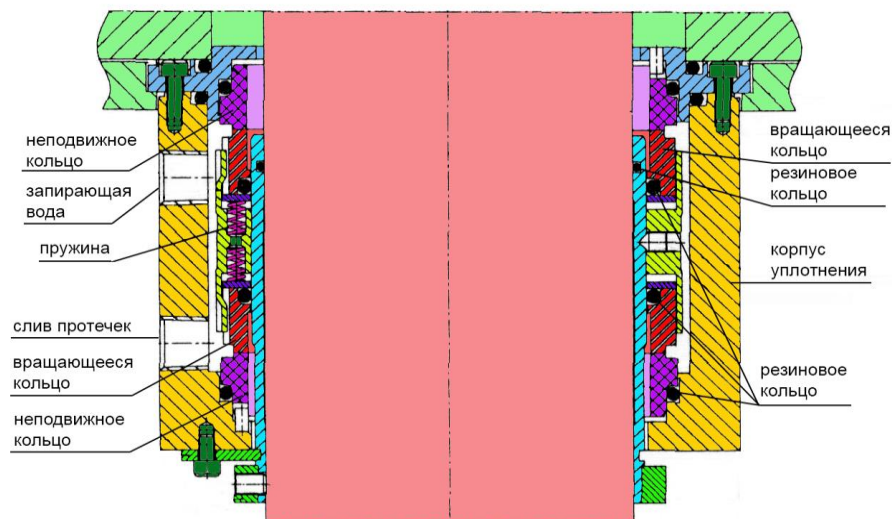
### *Конструкция верхнего подшипника КЭН-I*

Уплотнение ротора насоса двойное торцевое.

Торцевое уплотнение конструктивно содержит два кольца пары трения, выполненные в виде поверхностей вращения, расположенных соосно и перпендикулярно оси вращающегося вала. Одно из колец пары трения неподвижно и закреплено в корпусе. Второе кольцо подвижное в осевом направлении, статически закреплено на валу и вращается вместе с ним. Кольца пары трения изготавливаются из специальных твердых износостойких материалов, обладающих высокой теплопроводностью и низким коэффициентом трения.

Герметичность в паре трения обеспечивается за счёт создания контактного давления. При отсутствии вращения вала рабочие поверхности колец пары трения прижаты друг к другу усилием упругого элемента - пружины сжатия. В процессе работы оборудования кольца пары трения дополнительно прижаты друг к другу гидравлическим усилием, создаваемым положительным перепадом давления рабочей среды. Для обеспечения герметичности между неподвижным кольцом и корпусом (фланцем) оборудования, а также подвижным кольцом и валом используются вторичные уплотнения:

резиновые кольца круглого сечения (либо сильфоны, манжеты и т.п. детали, изготавливаемые из эластомеров). При вращении вала тепловая энергия трения частично отводится в рабочую среду, другая её часть расходуется на повышение температуры колец пары трения, поэтому обеспечение необходимого и надежного отвода тепла в значительной мере влияет на надежность работы всего уплотнительного узла.



### *Конструкция торцевого уплотнения КЭН-I*

Двойное торцевое уплотнение КЭН-I выполнено по схеме "спина к спине". Данная схема расположения является наиболее распространенной и простой по конструкции и использует два одинарных торцевых уплотнения, которые находятся в камере с запирающей жидкостью. Нижнее (основное) торцевое уплотнение разделяет рабочую среду и запирающую жидкость, а верхнее (вспомогательное) разделяет запирающую жидкость и атмосферу. Температура и расход запирающей жидкости через уплотнительную камеру обеспечивают необходимый теплоотвод от колец пар трения обоих уплотнений для надежной работы уплотнительного узла.

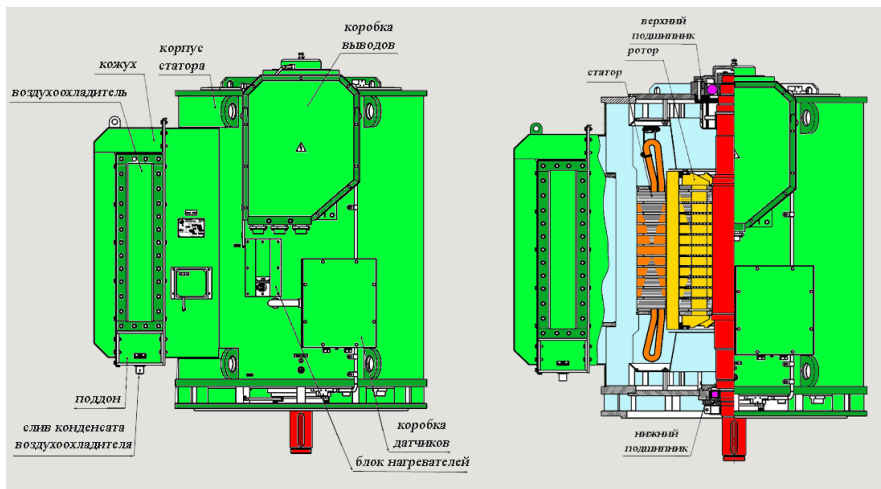
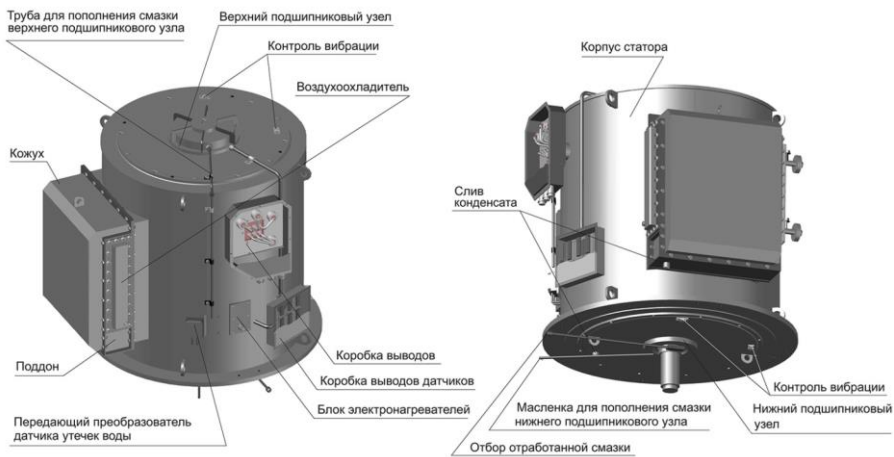
#### 2.1.6 Электродвигатель КЭН- I

Корпус статора стальной сварной. К корпусу крепится коробка выводов. В нижней плите корпуса имеются отверстия для крепления корпуса к фонарю. Сердечник статора с обмоткой запрессован в корпус статора. Схема соединения фаз – звезда.

Ротор состоит из сердечника, насаженного на вал, обмотки и вентиляционных элементов. Опорами ротора служат верхний радиально-упорный шариковый подшипник и нижний радиальный роликовый подшипник с консистентной смазкой.

Электродвигатель агрегата оснащен электронагревателем, работающим по алгоритму:

- включение электронагревателя двигателя при температуре обмотки 25 °С;
- отключение электронагревателя двигателя при температуре обмотки 30 °С.



**Конструкция электродвигателя КЭН-1**

### 2.1.7 Обвязка насоса КЭН-I

На воздухоохладитель электродвигателя, на маслоохладитель маслованны верхнего подшипника насоса предусмотрена подача воды от системы РСВ10-90 охлаждения потребителей здания УМА.

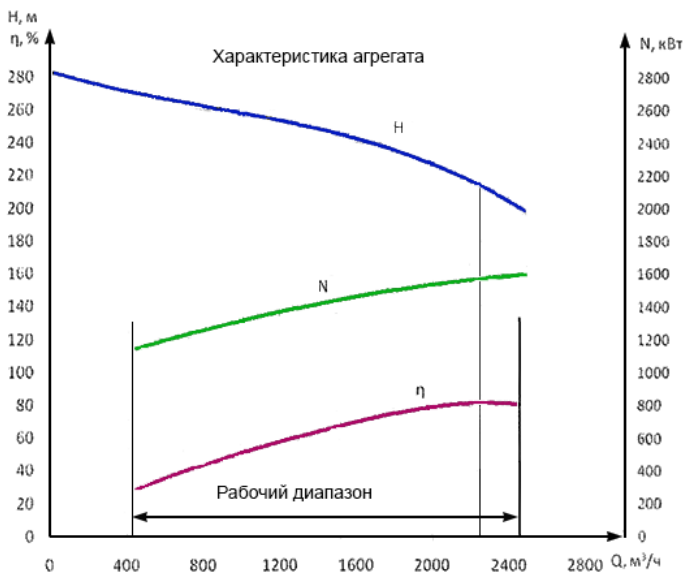
С напорного коллектора конденсатных насосов I ступени выполнена подача запирающей воды к торцевым уплотнениям с последующим сливом протечек в систему LCM сбора дренажей и конденсата.

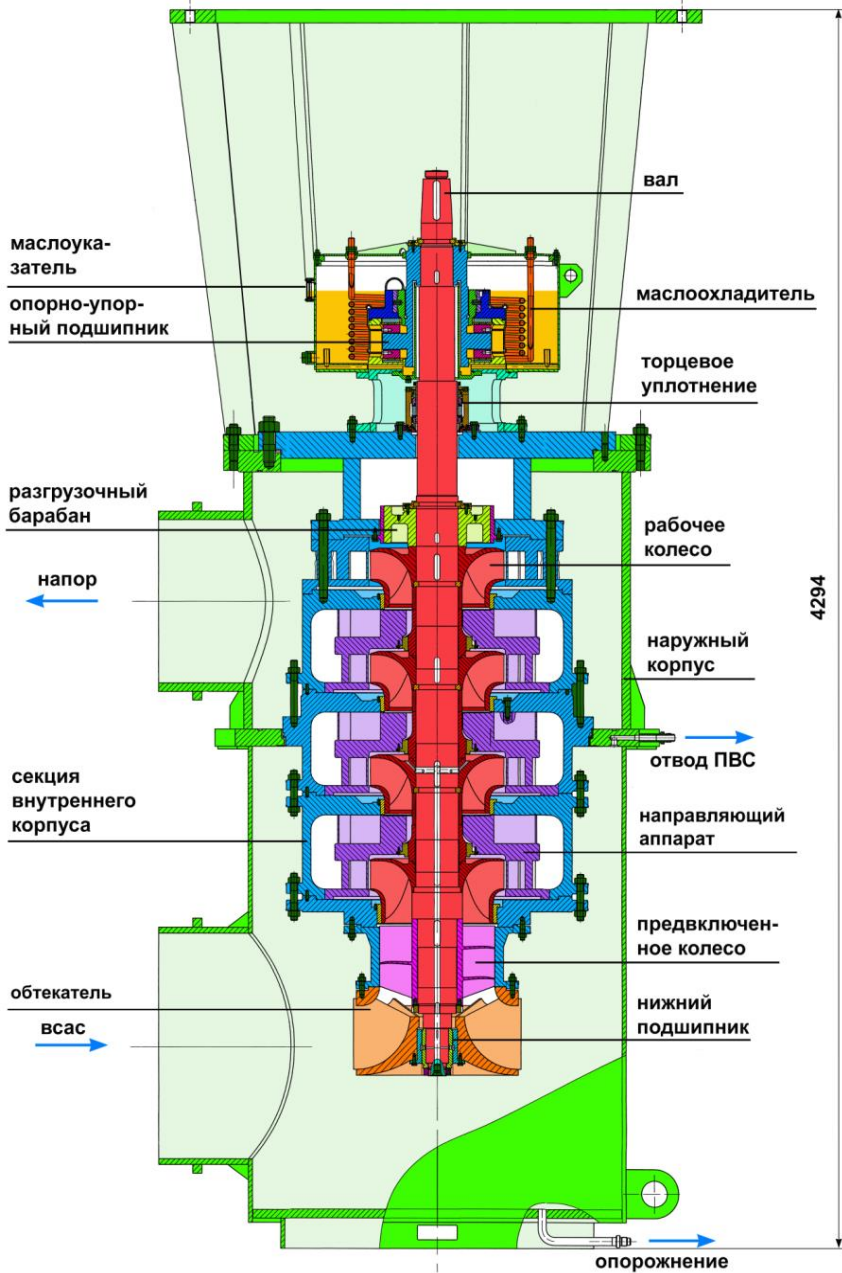
### 2.1.8 Конденсатный насос II ступени

Электронасосный агрегат КЭНА 2245-220 состоит из насоса производства ОАО «Пролетарский завод», электродвигателя АВ5А-2000Д-4УХЛ4 производства ЗАО «Завод крупных электрических машин», и фонаря. Передача крутящего момента от двигателя к насосу осуществляется через упругую пластинчатую муфту.

#### Технические характеристики

Подача	2245 м <sup>3</sup> /ч
Напор	220 м
Частота вращения	1485 об/мин
Мощность приводного двигателя	2,0 МВт
Температура рабочей среды	до 125 °С
Допустимый кавитационный запас	4,7 м водяного столба

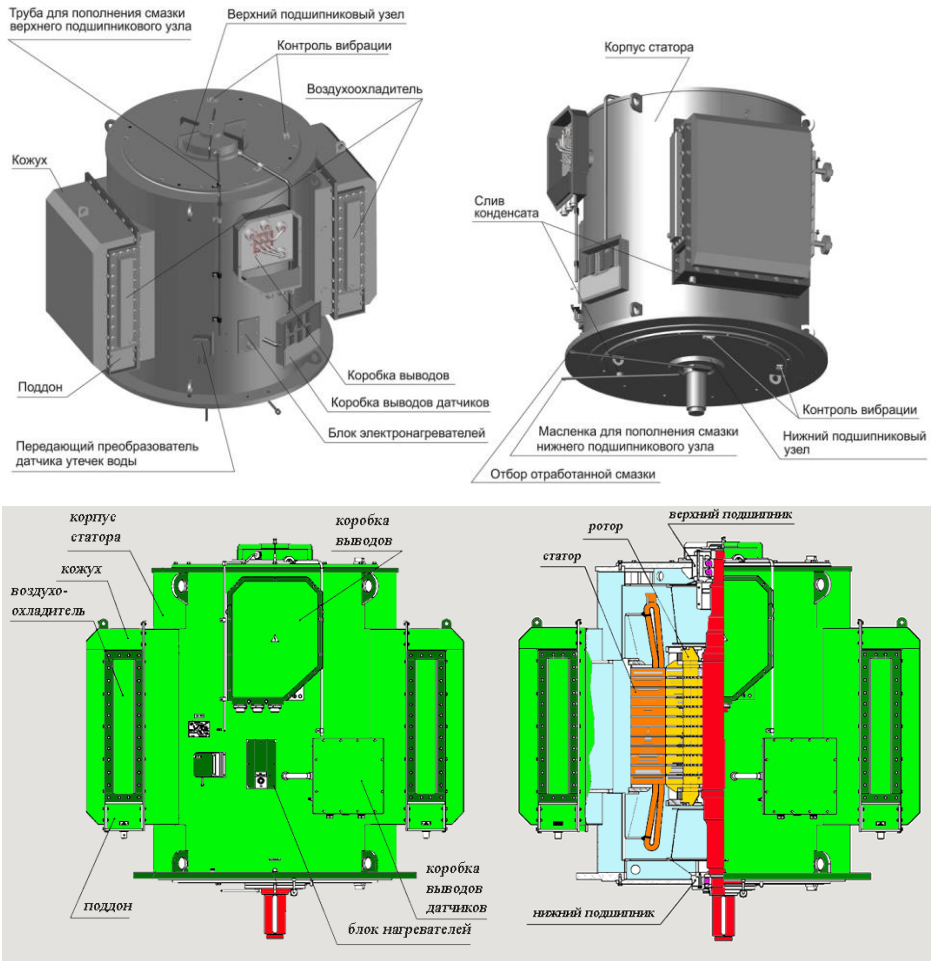




Конструкция насоса КЭН-II

Конструктивно насосы КЭН-I и КЭН-II выполнены аналогично.

### 2.1.9 Электродвигатель КЭН- II



#### *Конструкция электродвигателя КЭН-II*

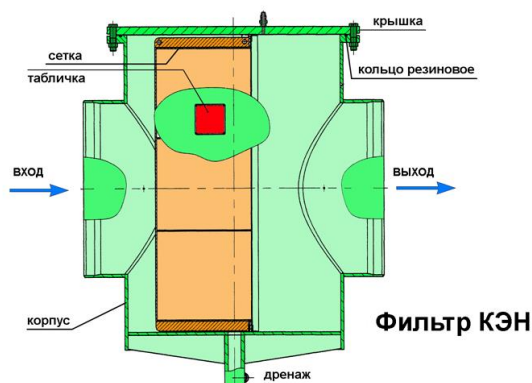
Конструктивно электродвигатели насосов КЭН-I и КЭН-II выполнены аналогично. В отличие от двигателя КЭН-I, опорами ротора двигателя КЭН-II служат 2 верхних радиально-упорных шариковых подшипника и нижний радиальный роликовый подшипник с консистентной смазкой. Кроме того, используются два воздухоохладителя.

### 2.1.10 Фильтры

Фильтр предназначен для очистки конденсата, поступающего в насос, от твердых частиц. Фильтр устанавливается на входном трубопроводе конденсатного электронасосного агрегата.

#### Технические характеристики фильтра

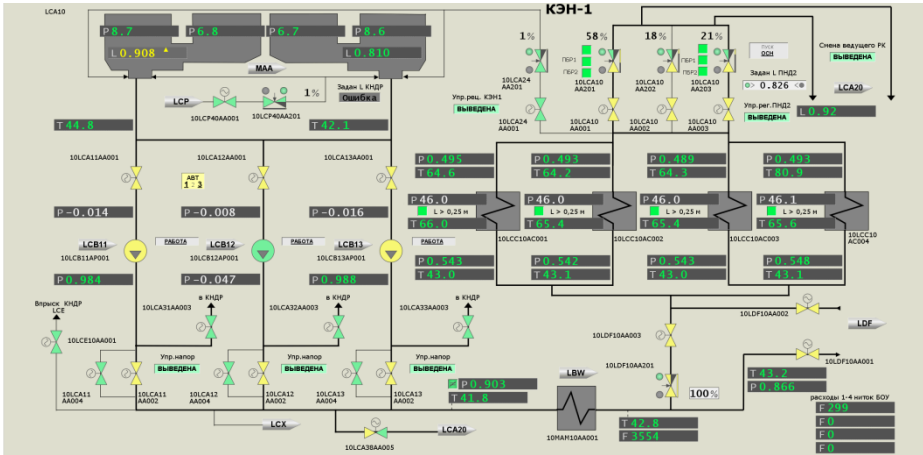
- максимальное давление на входе в фильтр не более 0,2 МПа;
- диапазон рабочих температур на входе в фильтр, 15-125 °С
- расчетная температура стенок 125 °С;
- толщина фильтрации 0,1 мм;
- расчетное давление 0,2 МПа;
- диаметр входного патрубка 800 мм;
- диаметр выходного патрубка 800 мм;
- масса фильтра 1230 кг;
- срок службы корпусных деталей не менее 50 лет.



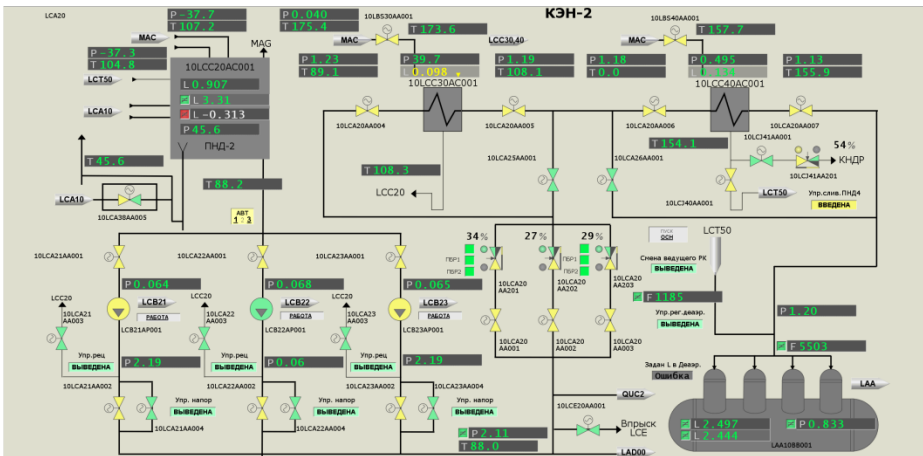
Фильтр состоит из корпуса, крышки и фильтроэлемента, изготовленного из сварной конструкции, обтянутой провололочной тканой сеткой. Корпус фильтра представляет собой сварную конструкцию. К корпусу приварены входной и выходной патрубки, направленные в противоположные стороны.

В нижней части приварено дно с воронкой и штуцером для слива. Для жесткости ко дну приварено 8 ребер. К верхнему фланцу корпуса крепится крышка фильтра. Уплотнением между крышкой фильтра и корпусом служит резиновое кольцо. Внутри корпуса приварены направляющие планки, по которым устанавливается сетка. На входном и выходном патрубках приварены штуцера для отбора давления, по которым можно судить о состоянии сетки. Патрубки выполнены под приварку. Для жесткости к патрубкам приварены ребра. К крышке фильтра приварен штуцер для выпуска воздуха. Увеличение перепада давления на фильтре более 0,5 кгс/см<sup>2</sup> характеризует засорение сетки.

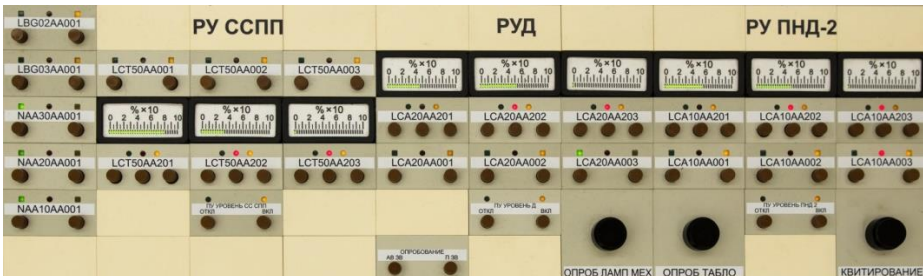
Контроль работы системы осуществляется с видеоканалов СВБУ LCA10, LCA20, LCB11,12,13, LCB21,22,23, панели БПУ 10CWG08, пульта.



Видеокадр СВБУ LCA10

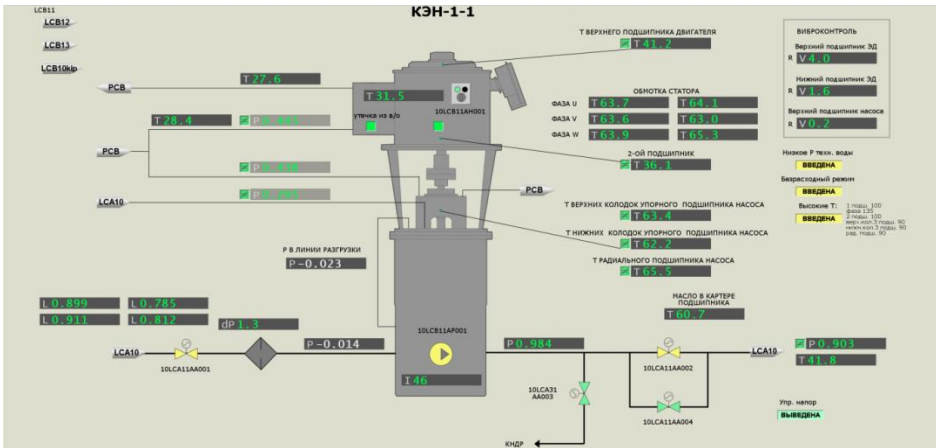


Видеокадр СВБУ LCA20

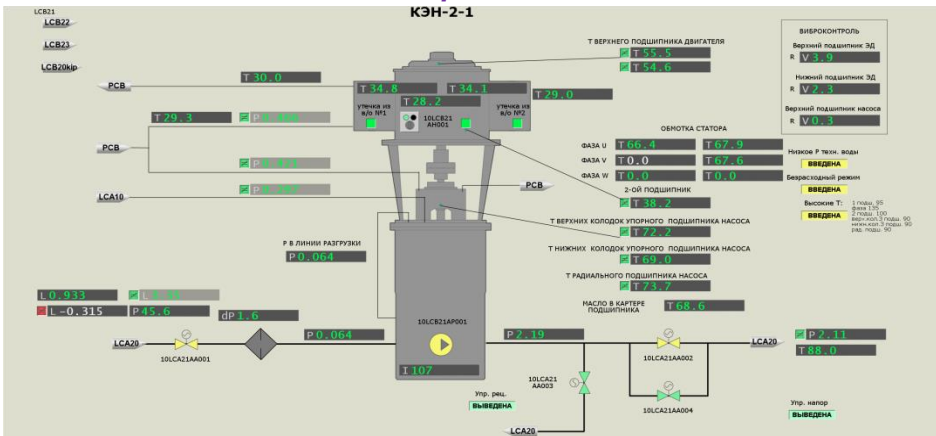


Пульт управления регулирующими клапанами

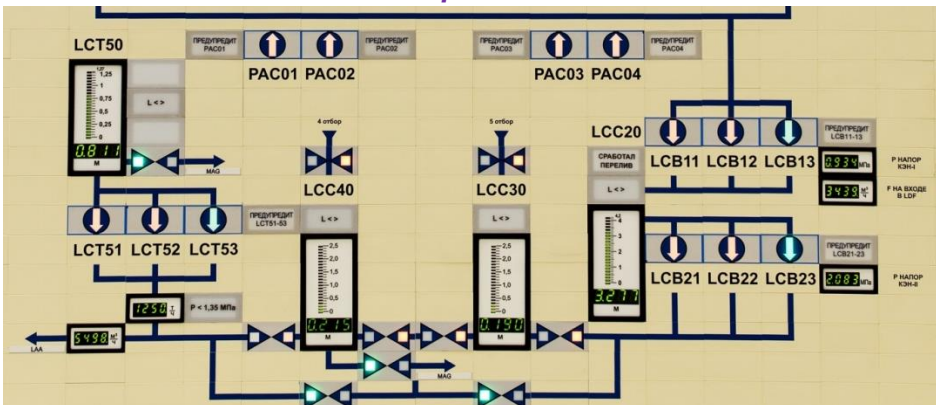
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



**Видеокадр СБУ LCB11**



**Видеокадр СБУ LCB21**



**Панель СБУ 10CWG08**

## 2.2 Система LCE впрыска основного конденсата

### 2.2.1 Назначение

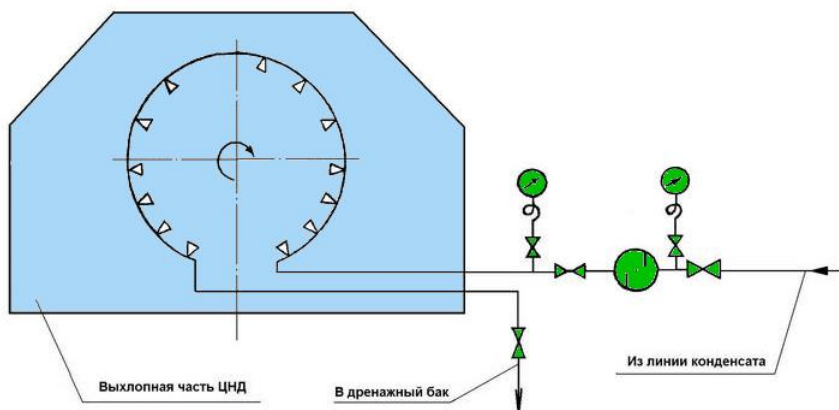
Система впрыска основного конденсата функционально разделяется на две подсистемы: LCE10 (впрыск на охлаждение выхлопов ЦНД) и LCE20 (впрыск в пароприемные устройства БРУ-К).

Система впрыска LCE10 предназначена для подачи основного конденсата в кольцевые форсуночные системы для охлаждения выхлопных патрубков ЦНД при малорасходных режимах работы цилиндров (при температуре выхлопов ЦНД выше 180 °С).

Система впрыска LCE20 предназначена для подачи основного конденсата в пароприемные устройства БРУ-К для охлаждения пара, поступающего в конденсатор от БРУ-К, с целью снижения температуры выхлопных патрубков ЦНД.

### 2.2.2 Состав и принцип работы подсистемы LCE10

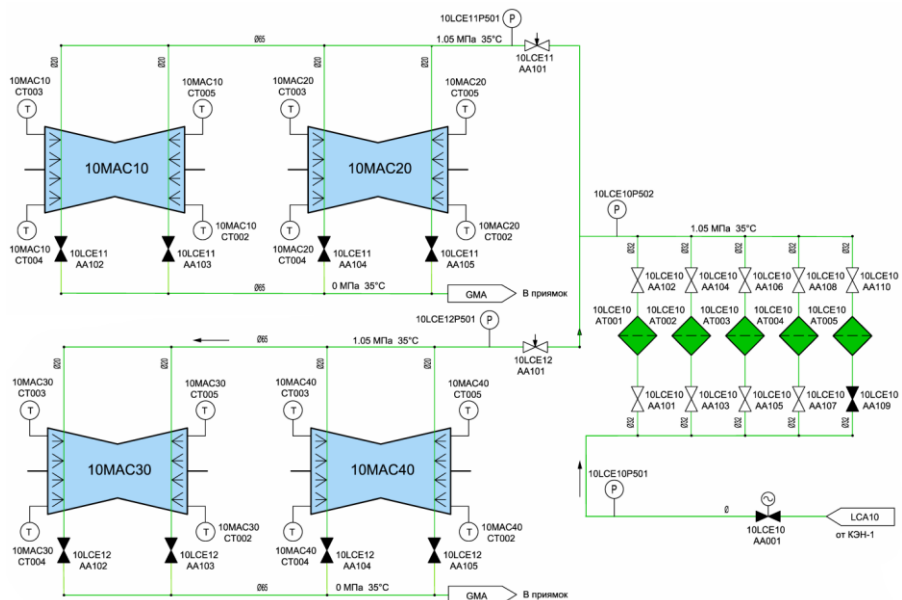
Конденсат на охлаждение выхлопных частей ЦНД подается из напорного коллектора конденсатных насосов первой ступени.



### Охлаждение выхлопов

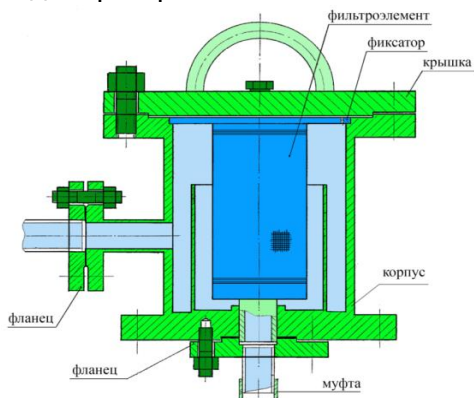
На трубопроводе, подающем конденсат в форсуночную систему ЦНД, последовательно установлены: электроприводная запорная задвижка, пять параллельно включенных фильтров, обеспечивающих очистку конденсата для исключения засорения сопел форсунок, и ручной регулирующий вентиль. До и после каждого из фильтров установлены ручные вентили для отключения фильтра. С помощью регулирующего вентиля устанавливается необходимое давление конденсата перед форсунками системы охлаждения. Охла-

Ждение выхлопного патрубка производится путем разбрызгивания конденсата форсунками. При этом происходит испарение разбрызгиваемого конденсата и осуществляется отбор тепла от среды, находящейся в выхлопном патрубке.



### Схема подачи конденсата на охлаждение выхлопов ЦНД

Предусматривается также сливной трубопровод из форсуночной системы с запорной арматурой, который используется для слива воды при промывке системы охлаждения, а также при проведении гидроиспытаний.



### Фильтр подачи конденсата на охлаждение выхлопов ЦНД

Фильтры очистки конденсата LCE10AT001, LCE10AT002, LCE10AT003, LCE10AT004, LCE10AT005.

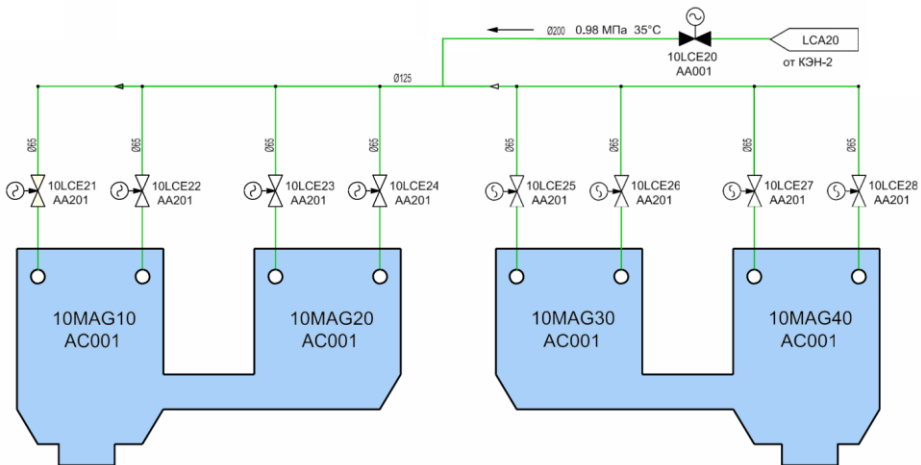
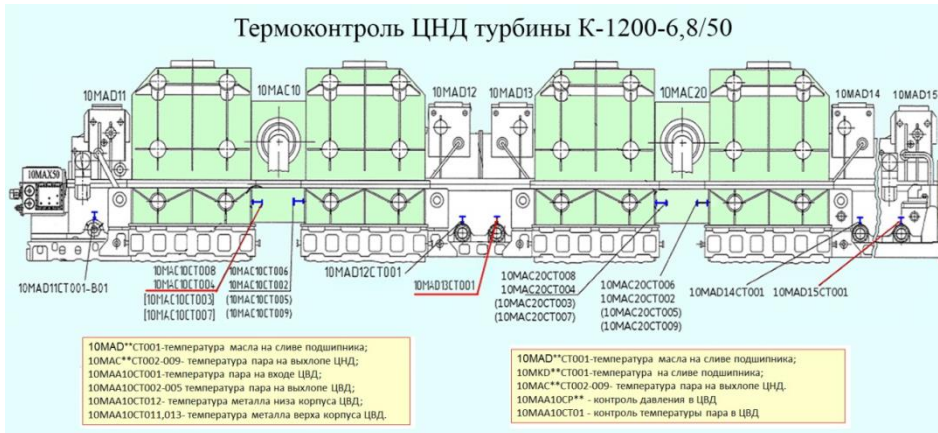
Максимальное рабочее давление 2,5 МПа

Вес фильтра 91 кг

Расчетное давление всех трубопроводов системы 1,6 МПа, расчетная температура 60 °С.

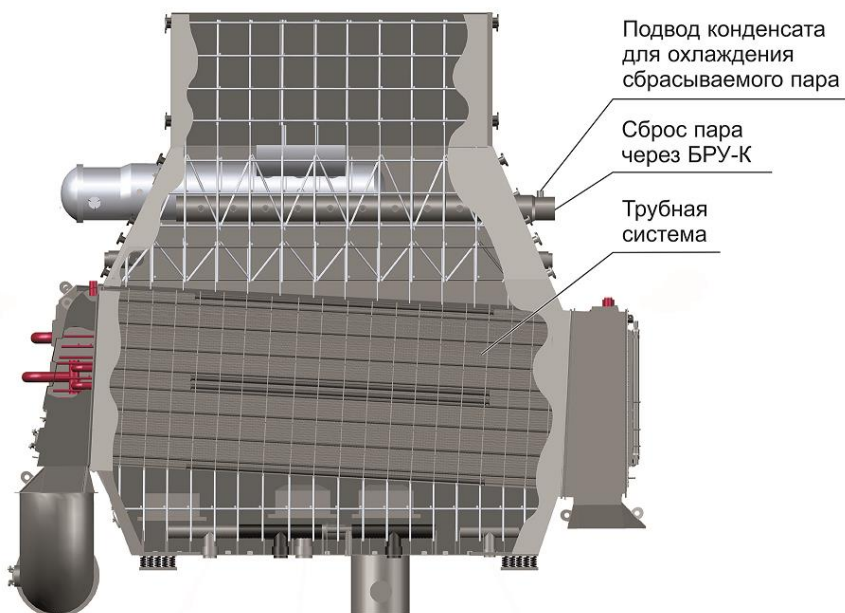
### 2.2.3 Состав и принцип работы подсистемы LCE20

Сброс пара в конденсаторы от БРУ-К осуществляется через встроенные пароприемные устройства (ППУ) конденсаторов. Для охлаждения пара в ППУ подводится конденсат от напорного коллектора конденсатных насосов второй ступени с помощью регулирующих клапанов LCE21,22,23,24,25,26,27,28AA201, управляемых регулятором температуры выхлопных патрубков ЦНД.



**Схема подачи конденсата на впрыск БРУ-К**

Вода на ППУ подается в количестве, предотвращающем повышение температуры пара в выхлопной части ЦНД более 140 °С. При достижении температуры металла выхлопной части ЦНД значения 200 °С турбина отключается защитой.

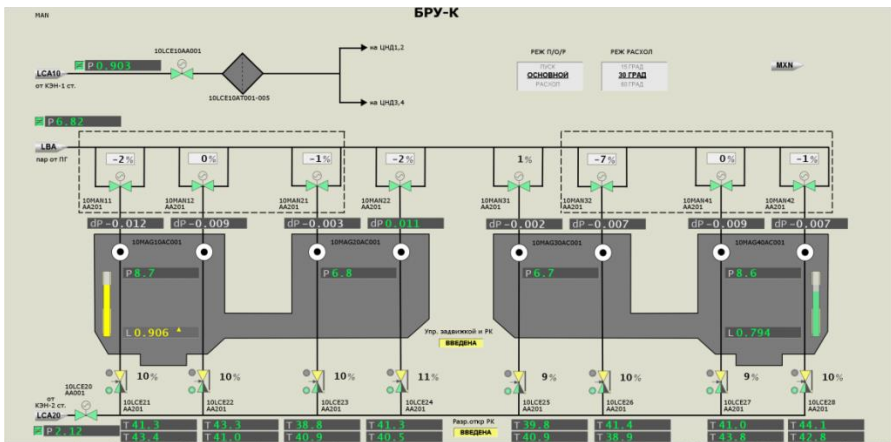


**Разрез конденсатора**



**Переходной патрубков конденсатора с паросбросным устройством БРУ-К**

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ MAN.



Видеокادر СВБУ MAN

## 2.3 Система LCX подачи конденсата на управление КОС

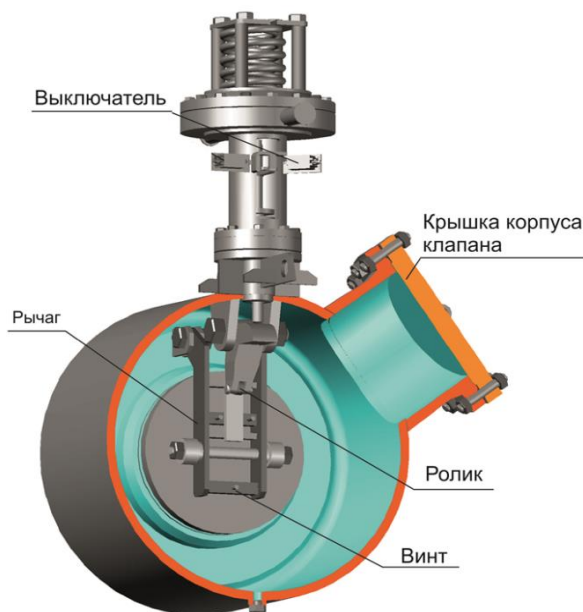
### 2.3.1 Назначение, конструкция и принцип действия КОС

КОСы (клапаны обратные с сервоприводом) устанавливаются на трубопроводах отбора пара с целью недопущения возникновения обратного тока пара из подогревателя в турбину при сбросе нагрузки. При закрытии СК и РК быстро падает давление в турбине и в регенеративных подогревателях, и конденсат греющего пара в подогревателях низкого и высокого давлений, имеющий температуру насыщения при давлении, которое было перед сбросом нагрузки, вскипает. Образующийся пар устремляется в турбину и может привести к ее разгону. С началом истечения пара из подогревателя давление в нем продолжает падать, и образуется уже «вторичный» пар, который поддерживает обратный поток. Разгон турбоагрегата может привести к исключительно тяжелым последствиям, вплоть до его полного разрушения. Поэтому на трубопроводах отборов устанавливают обратные клапаны КОС.

Обратные клапаны КОС имеют корпус с рычагом, установленным внутри корпуса на оси, и тарелкой, подвижно подвешенной к рычагу для обеспечения правильной посадки ее на седло. Тарелка свободно отклоняется под воздействием прямого потока пара на угол до 30 градусов от вертикального положения. Тарелка клапана открывается потоком пара из отбора турбины, а закрывается собственным весом при отсутствии потока пара. Корпуса обратных клапанов КОС выполнены сварными из листовой стали.

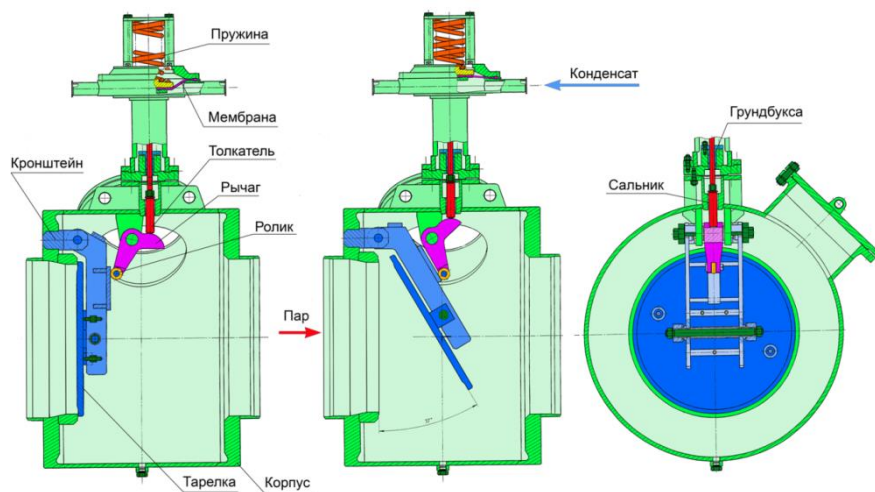
Чтобы увеличить быстродействие и гарантировать полную посадку тарелки обратные клапаны отборов снабжают устройствами для их принудительного закрытия - гидравлическими сервомоторами. Сервомотор мембранный пружинного действия состоит из сварного корпуса и крышки, между фланцами которых установлена мембрана. Мембрана плоская состоит из двух слоев резины, разделенных двумя капроновыми кордами. Мембрана обжата по краям корпусом сервомотора. Центральная часть мембраны зажата между двумя дисками. На верхнем диске размещены две силовые пружины. Во втулке нижнего диска находится закрепление штока сервомотора, проходящего через сальниковые уплотнения сервомотора и крышки клапана. Шток сервомотора не имеет жёсткого соединения с тарелкой клапана и работает по принципу толкателя.

На сервомоторе установлены два конечных выключателя для подачи сигнала о срабатывании (движении сервомотора на закрытие) и о полном закрытии клапана и указатель положения (шкала и стрелка). Конечный выключатель, сигнализирующий при замыкании о срабатывании, также сигнализирует при размыкании о приведении сервомотора в исходное состояние. Определить, находится ли сервомотор в рабочем положении, можно по стрелке на корпусе сервомотора.



*Устройство клапана обратного с сервоприводом*

Усилие, развиваемое сервомоторами, ограничено и при работе турбины на мощности может вызывать лишь частичное прикрытие тарелки и дросселирование отбираемого пара. По этой причине обратные клапаны не могут служить запорным устройством при прямом потоке пара. Время закрытия КОС, исчисляемое от поступления электрического сигнала на открытие КИС до появления сигнала о посадке клапанов, не более трёх секунд.



### *Конструкция клапана обратного с сервоприводом*

Сервомоторы размещаются сверху, на крышке. Усилие сервомотора передается тарелке клапана непосредственно через шток.

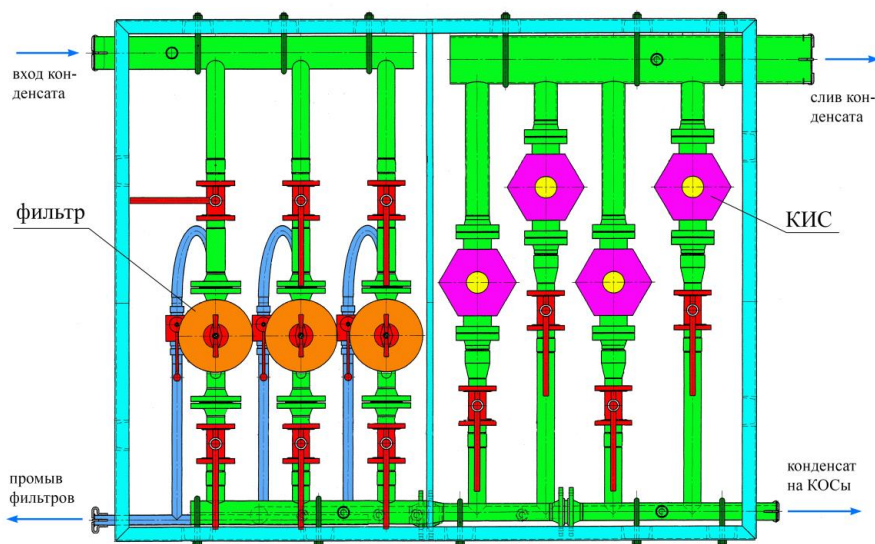
### 2.3.2 Назначение системы подачи конденсата на управление КОС

Система подачи конденсата на управление клапанами КОС предназначена для управления расходом конденсата, подаваемого к сервомоторам обратных клапанов КОС, с целью закрытия обратных клапанов при сбросах нагрузки или отключениях турбины для обеспечения защиты турбины от обратного потока отбираемого пара. Система подачи конденсата на управление клапанами КОС должна обеспечивать:

- очистку конденсата, подаваемого на управление сервомоторами обратных клапанов КОС;
- распределение конденсата между группами обратных клапанов и обеспечение постоянного протока с целью удаления воздуха из

системы и охлаждения сервомоторов обратных клапанов во время работы турбины;

- снижение давления конденсата, поступающего на сервомоторы обратных клапанов, с целью их закрытия по сигналам автоматики при отключении турбины и при сбросах нагрузки.



*Рампа с фильтрами и КИСами*

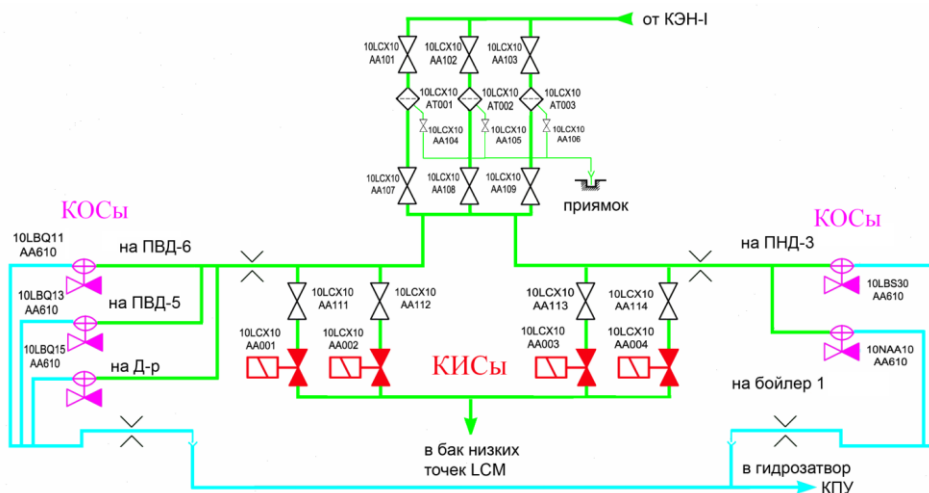
### 2.3.3 Описание технологической схемы системы LCX

Система LCX использует конденсат из напорной линии КЭН I ступени. На подаче конденсата к сервомоторам установлена группа параллельно включенных фильтров для очистки конденсата. На каждом фильтре предусмотрены дренажные линии, позволяющие производить очистку фильтров обратным потоком во время работы установки.

После фильтров конденсат подается к двум группам управления КОС:

- на отборах к ПВД-6, ПВД-5 и деаэратору;
- на отборах к ПНД-3 и бойлеру №1 (ПСВ).

К каждой группе сервомоторов конденсат подается через шайбы для обеспечения постоянного расхода конденсата для охлаждения сервомоторов и вытеснения воздуха из системы. Размеры шайб обеспечивают необходимое давление конденсата на сервомоторы для удержания их во взведённом (открытом) положении.



**Схема подачи конденсата на КОС**

На линии, подающей конденсат к каждой из групп сервомоторов, предусматриваются сливные линии Ду 65 с клапанами КИС (клапан импульсный соленоидный), имеющими электромагнитный привод. При открытии любого из соответствующей пары электромагнитных клапанов происходит падение давления конденсата, подаваемого на сервомотор, и закрытие обратного клапана КОС под действием пружины, установленной на этом сервомоторе.

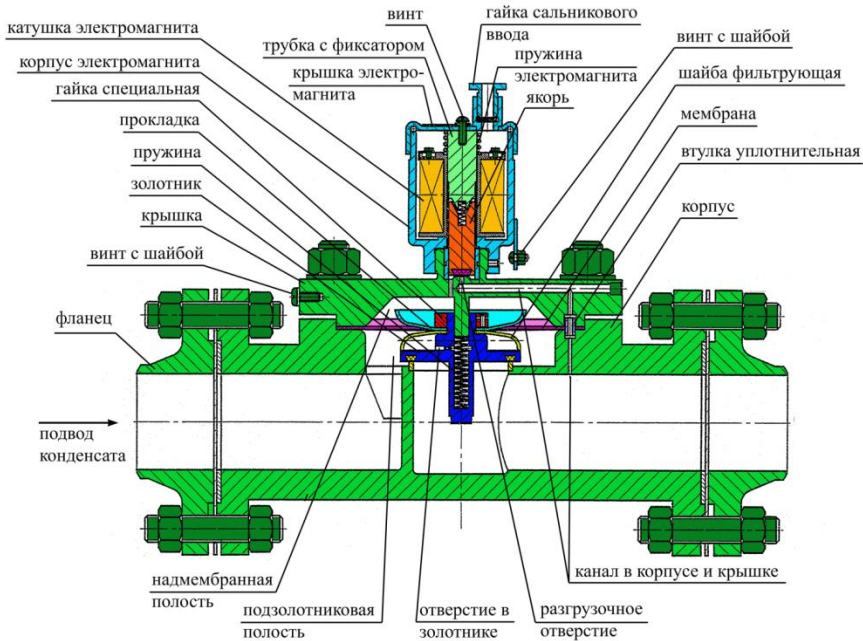
Импульс на открытие КИС длится 20 сек. После закрытия электромагнитных вентилей сервомоторы КОС приводятся во взведенное состояние давлением конденсата.

### 2.3.4 Назначение, конструкция и принцип действия КИС

Вентиль мембранный с электромагнитным приводом ВМЭ-65-4,0-2 (клапан импульсный соленоидный - КИС) устанавливается на трубопроводе слива конденсата из системы питания сервомоторов обратных клапанов КОС.

КИС предназначен для быстрого слива конденсата, подающегося в гидравлический сервомотор КОС, при срабатывании системы защиты турбины. Вентиль состоит из корпуса, крышки, запорного механизма с мембраной и электромагнитного привода. Запорный механизм вентиля состоит из золотника с резиновым вкладышем, на который одевается прокладка, фильтрующая шайба с мембраной из мембранного полотна и тарелка, прижимающая мембрану

к фильтрующей шайбе с помощью гайки специальной. Внутри золотника имеется пружина.



### Конструкция КИС

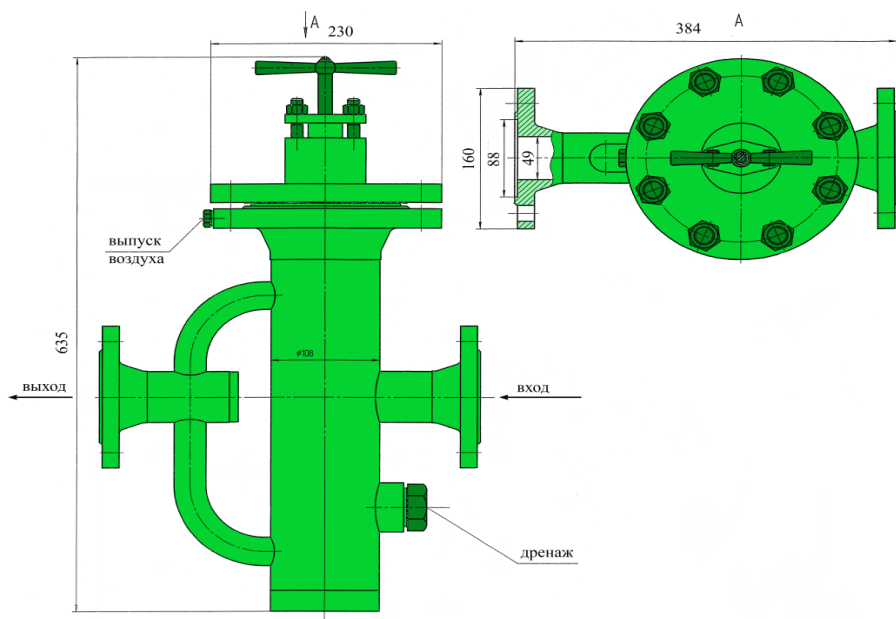
По наружному диаметру мембрана зажата между крышкой и корпусом. Крышка крепится на корпусе с помощью шпилек. В крышке и корпусе имеются каналы для отвода рабочей среды при срабатывании вентиля. Каналы крышки и корпуса стыкуются друг с другом. В месте соединения каналов установлена уплотнительная втулка. В крышке имеется также специальная поверхность (седло), к которой прилегает уплотнение якоря электромагнита. Электромагнитный привод состоит из катушки, корпуса с крышкой и гайкой сальникового ввода, подвижного якоря с резиновым вкладышем и трубки с фиксатором, жестко соединенной со стаканом с помощью винта. Якорь перемещается внутри трубки, открывая или закрывая отверстие для слива рабочей среды в седле крышки. Пружина, установленная между якорем и фиксатором в трубке, обеспечивает зазор между ними. На корпусе вентиля и на электромагнитном приводе имеются винт с шайбой для заземления.

В исходном положении электромагнит обесточен, разгрузочное отверстие, находящееся в седле крышки, перекрыто уплотнением в якоря электромагнита. Среда проходит через кольцевую щель меж-

ду золотником и фильтрующей шайбой и затем через отверстие в золотнике попадает в надмембранную полость. Мембрана при этом испытывает одинаковое давление сверху и снизу, т.е. перепад давления на мембране отсутствует. Площадь тарелки больше, чем площадь фильтрующей шайбы, и разность этих площадей создаёт усилие, постоянно действующее на золотник, что обеспечивает герметичность затвора. Подача напряжения на электромагнит вызывает движение якоря вверх, разгрузочное отверстие в седле крышки открывается, и давление из надмембранной полости через канал в корпусе и крышке сбрасывается в сливной трубопровод. В результате этого на мембране возникает перепад давления, который поднимает ее вместе с запорным механизмом вверх до упора, открывая основной проход.

При обесточивании электромагнита якорь, опускаясь под действием пружины и собственного веса, перекрывает разгрузочное отверстие, выход рабочей среды из надмембранной полости прекращается, перепад давления исчезает, и под действием веса запорного механизма и пружины основной проход закрывается.

### 2.3.5 Конструкция фильтра

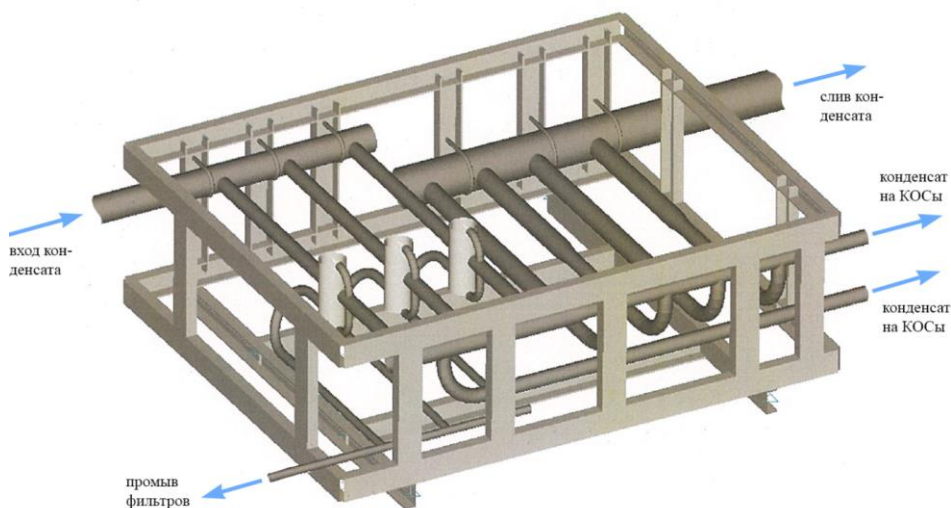


#### *Фильтр системы подачи конденсата на КОСы*

Фильтр конденсатный ФК-50 устанавливается на трубопроводе подвода рабочего конденсата к сервомоторам обратных клапанов и

предназначен для очистки конденсата. Фильтр состоит из корпуса, в котором установлена фильтрующая система. Фильтрующая система состоит из плотно пригнанных друг к другу подвижных и неподвижных тонких пластин и неподвижных ножей. Подвижные и неподвижные пластины чередуются между собой, ножи также чередуются с неподвижными пластинами. Пластины и ножи выполнены из нержавеющей стали аустенитного класса. Конденсат под действием давления от конденсатных насосов проходит между пластинами, которые задерживают инородные тела более одного миллиметра в диаметре. Сверху на корпусе у фильтра имеется ручка, соединённая с подвижными пластинами, вращая которую можно посредством ножей очистить пластины и пространство между ними от накопившейся грязи. По бокам корпуса расположены патрубки подвода и отвода конденсата.

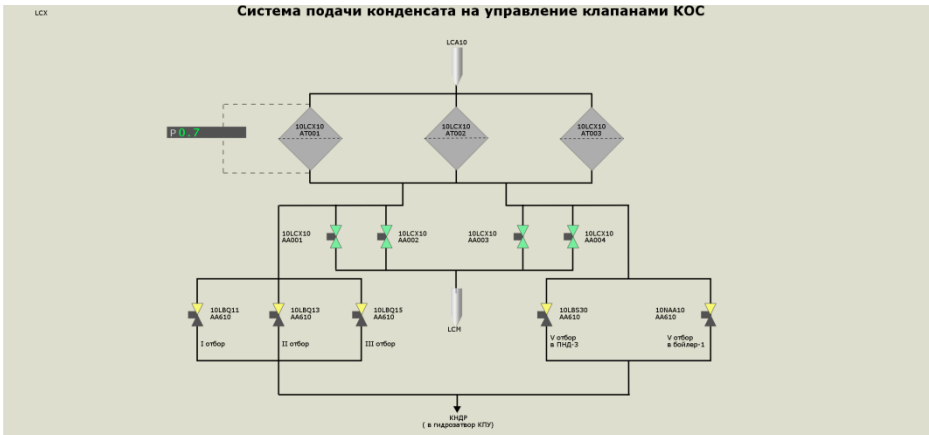
При перепаде давления на фильтре более 30 кПа необходимо выполнить промывку фильтра. Для промывки нужно перекрыть вентиль на трубопроводе подвода фильтруемого конденсата и открыть вентиль на трубопроводе отвода дренажа, затем необходимо поворачивать ручку до тех пор, пока перепад давлений не установится менее 20 кПа.



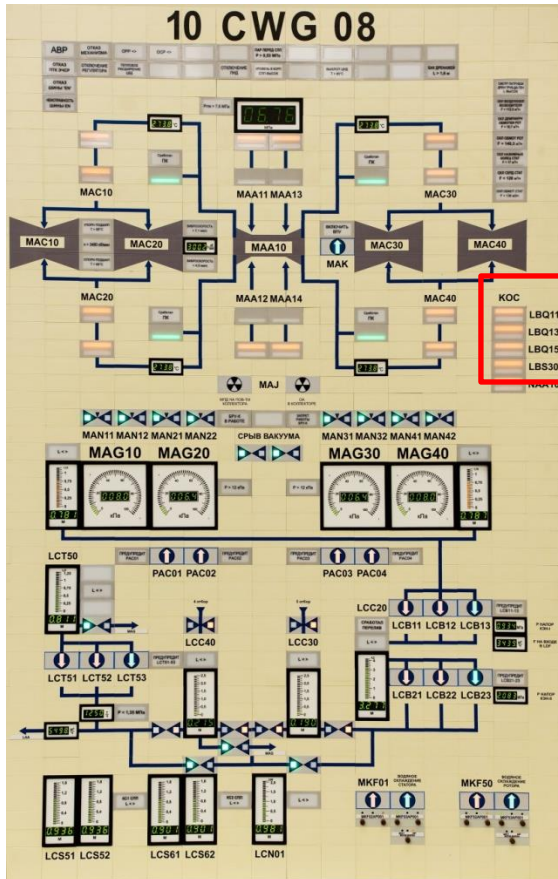
### *Рампа с фильтрами и КИСами*

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LCX и панели БПУ 10CWG08.

# ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



Видеокадр СББУ LCX



Панель БПУ 10CWG08

## 2.4 Система ЛСС подогревателей низкого давления

### 2.4.1 Назначение

Система регенерации низкого давления ЛСС предназначена для:

- повышения КПД цикла путем регенеративного подогрева основного конденсата в подогревателях низкого давления (ПНД-1,2,3,4) паром из отборов турбины с минимальным недогревом основного конденсата до температуры насыщения при давлении пара, равном давлению в камере отбора турбины к соответствующему подогревателю;
- отвода конденсата греющего пара из корпусов ПНД-3,4 и поддержание заданного уровня конденсата греющего пара в корпусах;
- отвода неконденсирующихся газов в процессе работы из парового пространства корпусов подогревателей.

### 2.4.2 Состав

В состав системы ЛСС входят:

- четыре поверхностных подогревателя низкого давления ПНД-1 LCC10AC001,002,003,004;
- один подогреватель низкого давления смешивающего типа ПНД-2 LCC20AC001;
- один поверхностный подогреватель низкого давления ПНД-3 LCC30AC001;
- один поверхностный подогреватель низкого давления ПНД-4 LCC40AC001;
- безарматурный гидрозатвор ПНД-2 LCJ20BN001;
- трубопроводы и арматура;
- КИП, устройства сигнализаций, блокировок и защит.

### 2.4.3 Обоснование необходимости системы регенерации

Термический КПД – отношение полезной работы к подведенному теплу.

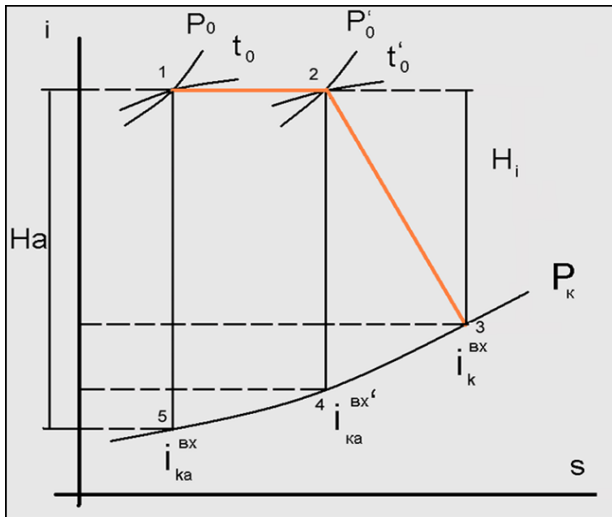
$$\eta_t = \frac{q_0 - q_k}{q_0}$$

$q_0$  - количество тепла, подведенного к 1 кг пара в ПГ

$q_k$  - количество тепла, отведенного от 1 кг пара в конденсаторе

Термический КПД 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.

Внутренний относительный КПД характеризует совершенство прочной части турбины.



$$\eta_{oi} = \frac{H_i}{H_a}$$

$H_a$  – располагаемый перепад энтальпий  
 $H_i$  – использованный перепад энтальпий

Внутренний абсолютный КПД турбоустановки  $\eta_{ip} = \eta_t \eta_{oi}$

Для схемы с регенеративным подогревом внутренний абсолютный КПД определяется выражением:

$$\eta_{ip} = \frac{\alpha_k (i_0 - i_k^{6x}) + \sum_1^z \alpha_{ip} (i_0 - i_{ip})}{\alpha_k (i_0 - i_k^{6blx}) + \sum_1^z \alpha_{ip} (i_0 - i_{ip})}$$

$\alpha_k$  – доля общего расхода пара на турбину, поступающая в конденсатор;

$\alpha_{ip}$  – доля общего расхода пара на турбину, отбираемая в  $i$ -тый отбор,

$i_0$  – энтальпия свежего пара

$i_{ip}$  – энтальпия пара  $i$ -го отбора.

Это уравнение можно представить в виде:

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

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

Выражение представляет собой отношение работы всех потоков пара, отводимых в отборы, к работе конденсационного потока, а отношение

$$\frac{i_0 - i_k^{ex}}{i_0 - i_k^{blx}} = \eta_{ik}$$

это КПД простейшей конденсационной установки (без регенерации).

Таким образом, наше уравнение принимает вид:

$$\eta_{ip} = \eta_{ik} \frac{1 + A_p}{1 + A_p \eta_{ik}}$$

Очевидно, что во всех случаях  $\frac{1 + A_p}{1 + A_p \eta_{ik}} > 1$ , соответственно, КПД

цикла с регенеративным подогревом  $\eta_{ip}$  всегда больше, чем КПД цикла без регенерации  $\eta_{ik}$ . Чем больше энергетический коэффициент  $A_p$ , т. е. работа потоков пара, поступающих в отборы, по сравнению с работой потока пара, поступающего в конденсатор, тем больше эффект от применения регенеративного подогрева. Когда отборов на регенерацию нет ( $\alpha_{ip}=0$ ),  $\eta_{ip} = \eta_{ik}$ . Аналогичный результат имеет место и в том случае, когда на подогрев питательной воды отводится свежий пар (из линии до турбины), так как при этом  $i_0 - i_{ip} = 0$ .

*Итак, регенеративный подогрев увеличивает КПД цикла.*



## 2.4.4 Описание технологической схемы

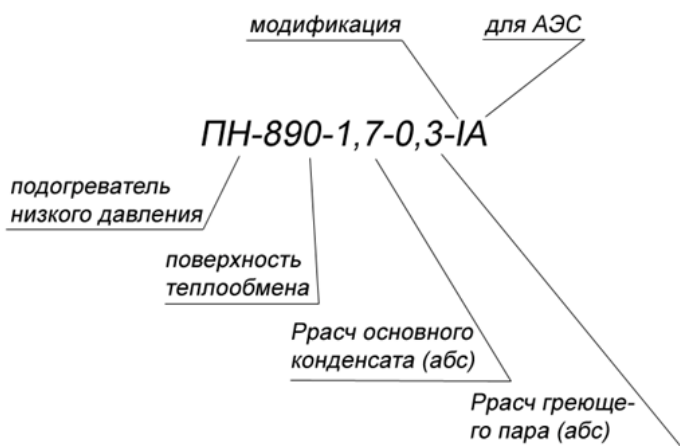
Система регенеративного подогрева низкого давления представляет собой четыре последовательные ступени нагрева основного конденсата в подогревателях низкого давления.

Греющий пар регенеративных отборов турбины подается:

- на ПНД-1 из седьмого отбора (за 4-й ступенью) каждого из ЦНД;
- на ПНД-2 из шестого отбора (за 3-й ступенью) каждого из ЦНД;
- на ПНД-3 из пятого отбора (за 2-й ступенью) каждого из ЦНД;
- на ПНД-4 из выхлопа ЦВД.

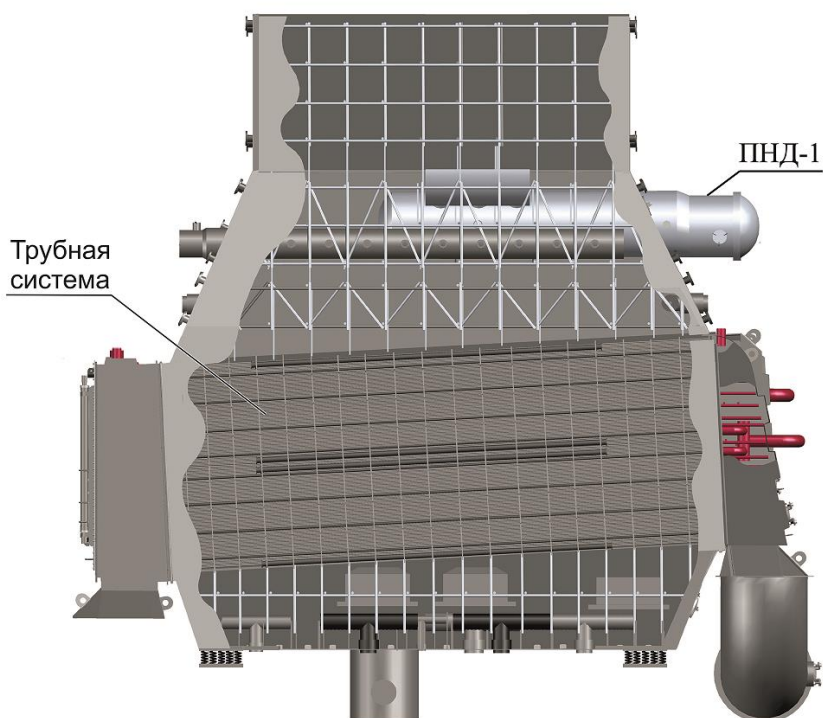
## 2.4.5 ПНД-1

Первая ступень регенеративного подогрева основного конденсата состоит из четырех подогревателей поверхностного типа, встроенных в переходные патрубки конденсатора и подключенных параллельно по пару и основному конденсату. Таким образом, исключается несимметричное распределение потоков пара в ЦНД и разогрев выхлопных частей ЦНД. ПНД-1 горизонтальные, с U-образными трубками, двухходовые по основному конденсату. Греющим паром ПНД-1 является пар седьмого отбора турбины за 4-й ступенью в каждом ЦНД. Конденсат греющего пара сливается из каждого ПНД-1 в свой конденсатор через гидрозатвор высотой 4 м. Трубная система ПНД-1 выполнена из нержавеющей стали, что обеспечивает высокую надежность подогревателей и выполнение их неотключаемыми по конденсату.

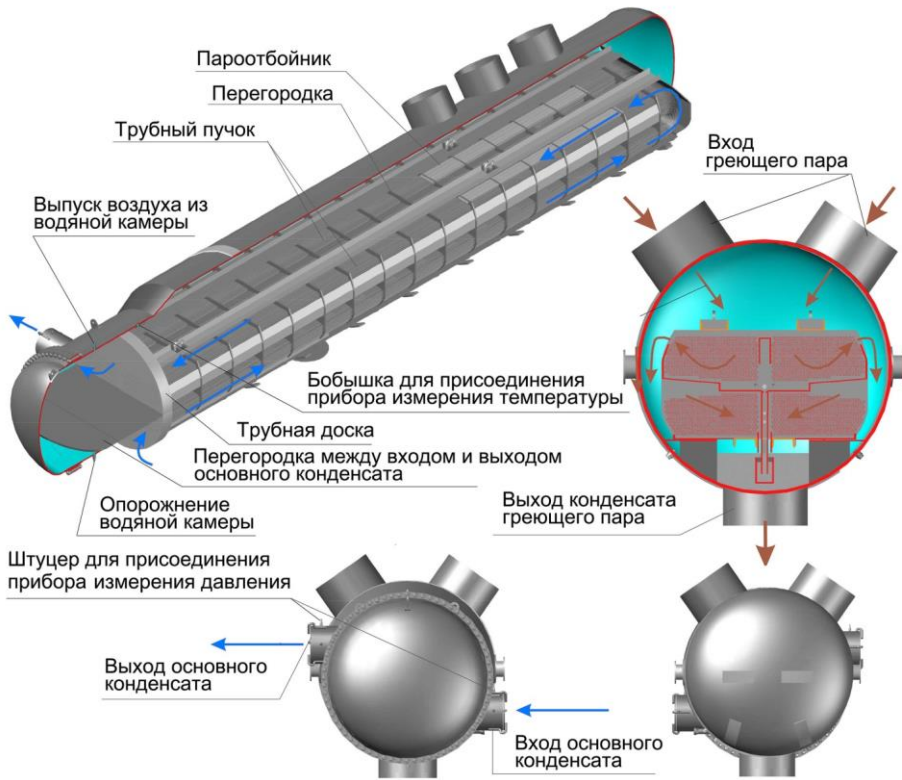




*ПНД-1 в переходном патрубке конденсатора*



*ПНД-1 в переходном патрубке конденсатора*



### Конструкция ПНД-1

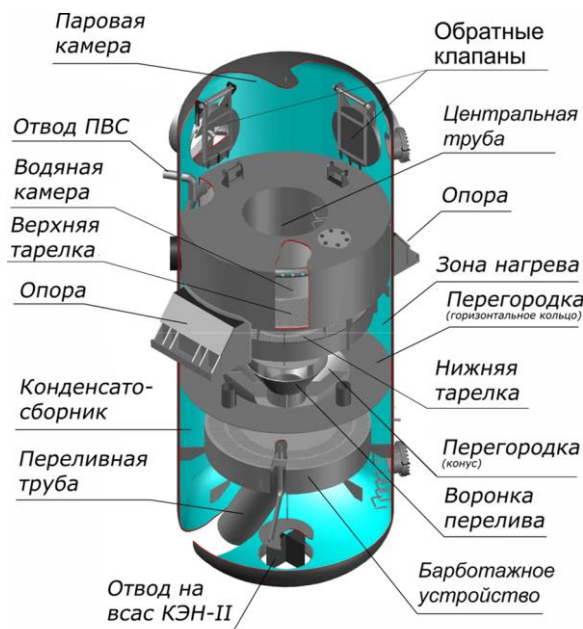
### Технические характеристики

Полная поверхность теплообмена расчетная/конструктивная	м <sup>2</sup>	783.6/888
Рабочий расход основного конденсата	т/ч	868.5
Расчетное давление греющего пара в корпусе (изб.)	МПа	0.2
Расчетное давление основного конденсата (изб.)	МПа	1.6
Рабочий расход греющего пара (справочная величина)	т/ч	42.0
Расчетная температура греющего пара	°С	110.0
Тепловой поток	МВт	26.0
Скорость основного конденсата в трубах поверхности теплообмена	м/с	1.57
Гидравлическое сопротивление при рабочем расходе основного конденсата	МПа	0.064
Число ходов основного конденсата	шт.	2
Диаметр/ толщина стенки теплообменных труб	мм	16/0.8
Количество труб поверхности теплообмена в одном ходе	шт.	948
Сухая масса аппарата	т	24.3
Масса аппарата, полностью заполненного водой	т	50.0
Масса аппарата в рабочем состоянии	т	30.0

### 2.4.6 ПНД-2

ПНД-2 вертикальный, однокорпусной, смешивающего типа. Подвод пара осуществляется через 2 патрубка со встроенными обратными клапанами. Подвод основного конденсата также выполнен двумя линиями. Конденсат греющего пара ПНД-2 в смеси с основным конденсатом откачивается КЭН-2 к ПНД-3, при повышении уровня в ПНД-2 конденсат сливается в конденсатор через безарматурный гидрозатвор LCJ20BN001 высотой 10 м. ПНД-2 является неотключаемым по пару и основному конденсату.

Подогреватель представляет собой вертикальный цельносварной сосуд, разделенный внутри перегородкой на собственно подогреватель и конденсатосборник.



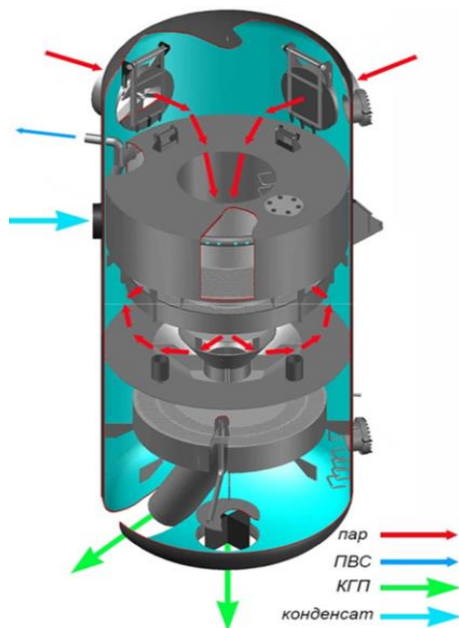
#### Конструкция ПНД-2

В верхней части аппарата расположена паровая камера, имеющая два патрубка подвода пара и коллектор отвода паровоздушной смеси. На внутренних концах каждого патрубка подвода пара (внутри аппарата) расположены встроенные обратные клапаны, предназначенные для защиты турбины от обратного потока пара. Паровая камера соединена с зоной нагрева конденсата центральной трубой, на нижнем конце которой закреплена перфорированная тарелка (нижняя тарелка).

Ниже паровой камеры расположена кольцевая водяная камера с двумя патрубками подвода основного конденсата. Патрубки оборудованы встроенными обратными клапанами. Днище водяной камеры имеет кольцевую перфорацию (верхняя тарелка).

Перегородка, разделяющая собственно подогреватель и конденсатосборник, состоит из горизонтального кольца и сопряженного с ним конуса. На перегородке установлена воронка аварийного перелива конденсата. Между воронкой аварийного перелива и конусом перегородки имеется кольцевой сужающийся канал для слива конденсата в конденсатосборник. Для обеспечения деаэрации воды аппарат снабжен барботажным устройством затопленного типа, расположенным в средней части конденсатосборника.

Основной конденсат поступает в водяную камеру. Через перфорацию верхней тарелки он сливается на нижнюю тарелку, образуя верхний струйный каскад. Через перфорацию нижней тарелки основной конденсат сливается на разделительную перегородку, образуя нижний струйный каскад. Через кольцевой канал в разделительной перегородке основной конденсат сливается в конденсатосборник, и после обработки в барботажном устройстве отводится из аппарата.



Греющий пар поступает из VI отбора турбины за третьей ступенью каждого ЦНД в паровую камеру через паровые патрубки и встроенные обратные клапаны. Далее пар через центральную трубу поступает к нижнему струйному каскаду. Паровой поток пересекает струйный каскад от центра к периферии и частично конденсируется, нагревая воду до температуры насыщения.

После нижнего струйного каскада пар поступает к верхнему струйному каскаду. Пересекая струи верхнего струйного каскада, пар движется от периферии к центру, где и заканчивается конденсация его основной массы.

### Распределение потоков в ПНД-2

Несконденсированная часть пара вместе с воздухом поступает в паровое пространство водяной камеры, где происходит его частичная конденсация. Паровоздушная смесь отводится в конденсатор через сборный коллектор, соединенный с водяной камерой.

С помощью регулирующих клапанов, установленных на напоре конденсатных насосов первой ступени КЭН-1, в конденсатосборнике поддерживается постоянный уровень конденсата. При повышении уровня конденсата в ПНД-2 конденсат через гидрозатвор сливается в конденсатор. Неконденсирующиеся газы из ПНД-3 отводятся в ПНД-2, из ПНД-2 в конденсатор.

Конденсатосборник и паровая камера снабжены лазами для осмотра, чистки и ремонта внутренних узлов аппарата.

В корпусе имеются штуцеры для присоединения первичных датчиков уровнемеров, регуляторов уровней и мановакуумметра.

Кроме указанных в подогреватель вводятся следующие потоки:

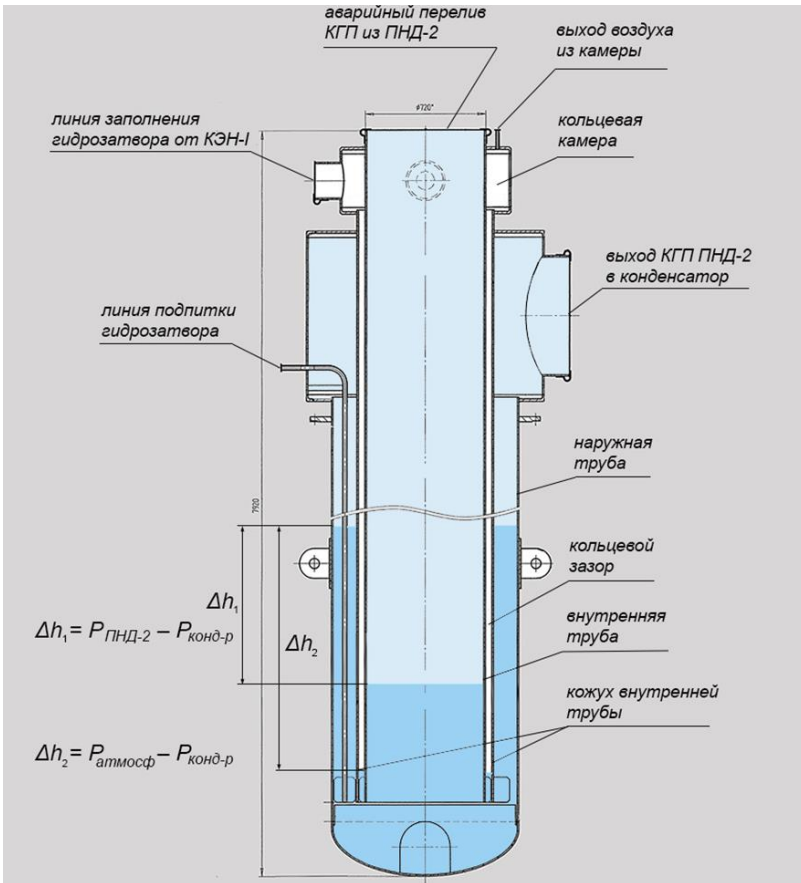
- паровоздушная смесь от сепаратосборника и деаэратора;
- воздух от КЭН-2 ступени;
- рециркуляция КЭН-2 ступени;
- конденсат греющего пара от ПНД-3.

**Технические характеристики.**

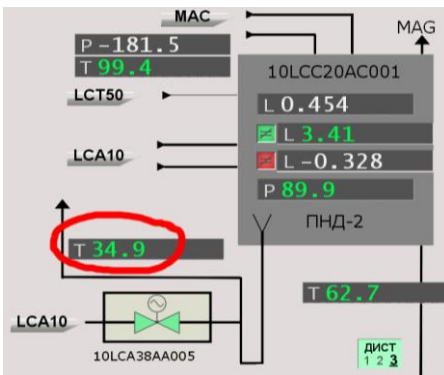
Расход конденсата,	3474,3 т/ч
Расход пара	152,4 т/ч
Подогрев	25 °С
Температура конденсата на входе	62,7 °С
Температура конденсата на выходе	87/110°С
Давление пара	0,064 МПа
Температура пара	87 °С
Масса сухая	40000 кг







### Конструкция гидрозатвора ПНД-2



которого выше температуры насыщения при давлении в конденсаторе. Поэтому при росте уровня в ПНД-2 более 0,3 м или росте температуры конденсата в переливной трубе более 70 °С производится подача конденсата от КЭН-I ступени на заполнение и охлаждение гидрозатвора, которая прекращается при снижении температуры до 60 °С.

### Температура в переливной трубе

### 2.4.8 ПНД-3,4

ПНД-3 поверхностного типа, вертикальный, с П-образными трубками, имеет отключение по водяной стороне и по пару. При этом энергоблок может оставаться в работе с пропуском конденсата по байпасу отключенного ПНД.

Греющим паром ПНД-3 является пар V-го отбора турбины за 2-й ступенью в каждом ЦНД. На линии отбора установлен обратный клапан типа КОС, а также запорная задвижка. Конденсат греющего пара ПНД-3 каскадно сливается в ПНД-2 через гидрозатвор 9 м.

Для периодического отвода неконденсирующихся газов из корпуса ПНД-3 предусмотрены линии отвода ПВС в ПНД-2, из ПНД-2 - в конденсатор турбины.

ПНД-4 поверхностного типа, вертикальный, с П-образными трубками, имеет отключение по водяной стороне и по пару. При этом энергоблок может оставаться в работе с пропуском конденсата по байпасу отключенного ПНД.

Греющим паром ПНД-4 является пар из выхлопа ЦВД. Конденсат греющего пара ПНД-4 направляется в сепаратосборник СПП через гидрозатвор 7 м, затем насосами слива сепарата подается в линию основного конденсата.

При работе блока на малых нагрузках (менее 15 %) и при пуске предусмотрен резервный слив в конденсатор, в этих режимах уровень конденсата в ПНД-4 поддерживается регулирующим клапаном LCJ41AA201.

Для периодического отвода неконденсирующихся газов из корпуса ПНД-4 предусмотрены линии отвода ПВС в ПНД-2, из ПНД-2 - в конденсатор турбины.

Оба подогревателя имеют идентичную конструкцию.

К трубной доске при помощи сварки крепится водяная камера. Осмотр вальцовочных соединений концов «П»-образных труб поверхности теплообмена осуществляется через люка, установленные на водяной камере.

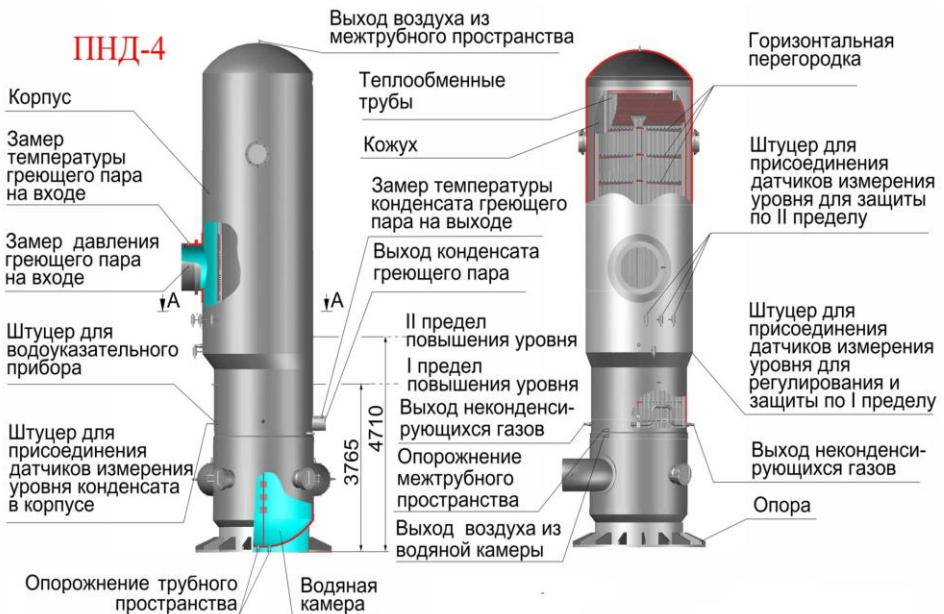
Трубные системы ПНД-3 и ПНД-4 максимально унифицированы и размещены в плотно облегающем их кожухе с вертикальным по всей высоте трубного пучка «окном» для входа пара на трубы второго хода основного конденсата. Перегородки делят весь трубный пучок на отсеки, в которых устанавливается смешивающий воздухоохладитель. Для этого в зоне труб первого хода основного кон-

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

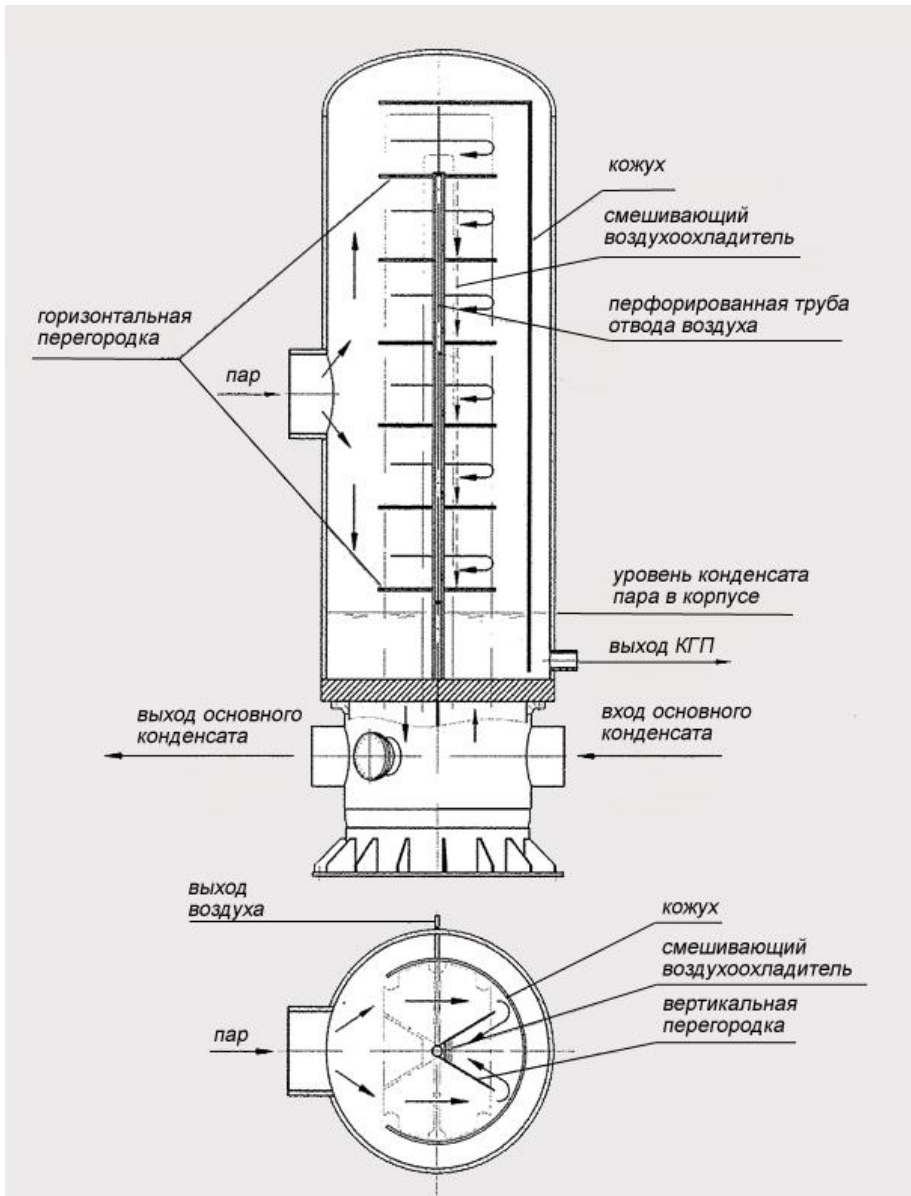
денсата устанавливаются две вертикальные перегородки под углом друг к другу.



### Конструкция ПНД-3



### Конструкция ПНД-4



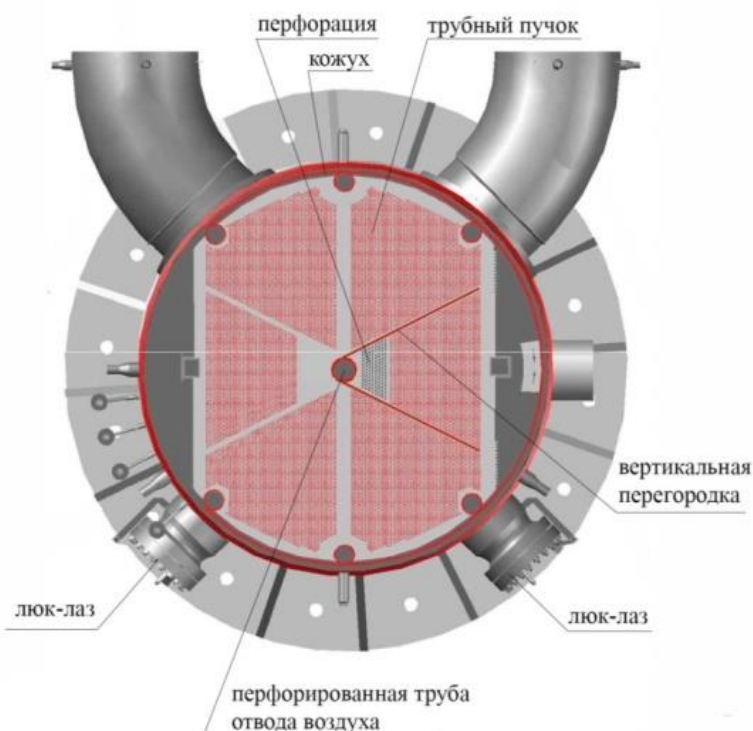
### Направление потоков в ПНД-3,4

В вершине этого угла расположена перфорированная вертикальная труба, а на участке горизонтальной перегородки, заключенной между вертикальными, перед центральной трубой, выполнена перфорация. Через эту перфорацию стекает каскад струй конденсата, пе-

реохлажденного при конденсации пара на трубах первого хода. На этих струях конденсируется пар, прошедший с повышенными скоростями весь трубный пучок - вначале трубы второго, а затем трубы первого хода.

Повышенная скорость пара в трубном пучке обеспечивается тем, что по мере конденсации пара при его движении в трубной системе уменьшается сечение для его прохода. Увеличение скорости парового потока обеспечивается и за счет пара, который конденсируется в смешивающем воздухоохладителе и транзитом проходит весь трубный пучок. При таком движении пара устраняется возможность образования застойных, плохо вентилируемых потоком пара областей в трубном пучке.

После конденсации пара на струях переохлажденного конденсата концентрация воздуха в нем возрастает, что позволяет осуществить эффективный его отвод через вертикальную перфорированную трубу, из нижней части которой двумя трубами Ду50 воздух отводится из подогревателя.



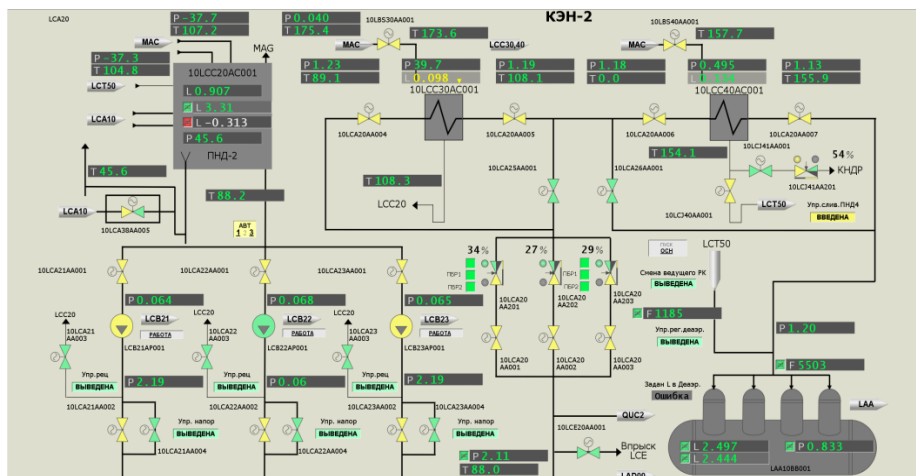
*ПНД-3,4 вид сверху (разрез)*

Для организации отвода конденсата с горизонтальных перегородок под ними установлены лотки, в которые через отверстия, расположенные в центральной части перегородок, стекает конденсат пара. Из лотков конденсат поступает в две вертикальные трубы каркаса, в нижней части которых предусмотрены отверстия для выхода конденсата под его уровень на трубной доске.

### Технические характеристики ПНД-3,4

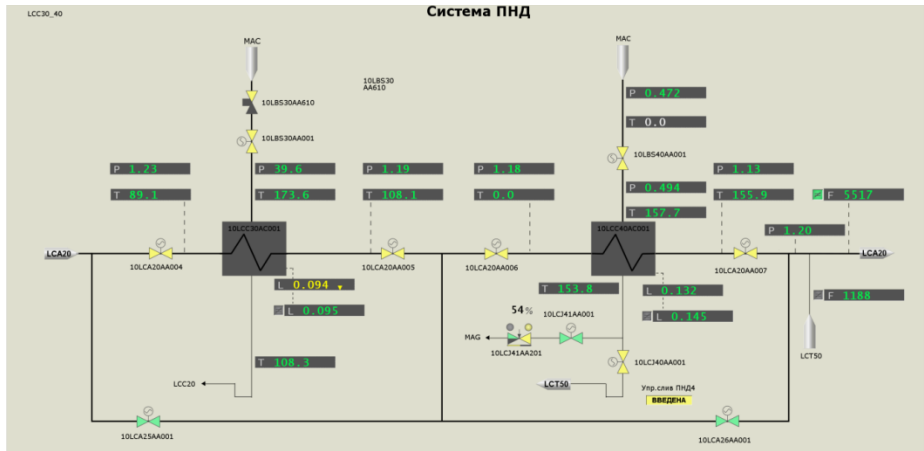
Параметр	ПНД-3	ПНД-4
Поверхность теплообмена м2	2800	3920
Расход конденсата т/ч	3766	3766
Расход пара т/ч	139	420
Подогрев °С	20	45
Температура конденсата на входе °С	87	107
Температура конденсата на выходе °С	107	153
Давление конденсата (абс) МПа	1,86	1,77
Давление пара (абс) МПа	0,14	0,54
Температура пара °С	112	160
Гидравлическое сопротивление не более МПа	0,08	0,06
Количество и длина трубков	3621шт x 17436 мм	4552шт x 17436 мм
Масса сухая т	54	81,4

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LCA20 и панели БПУ 10CWG08.

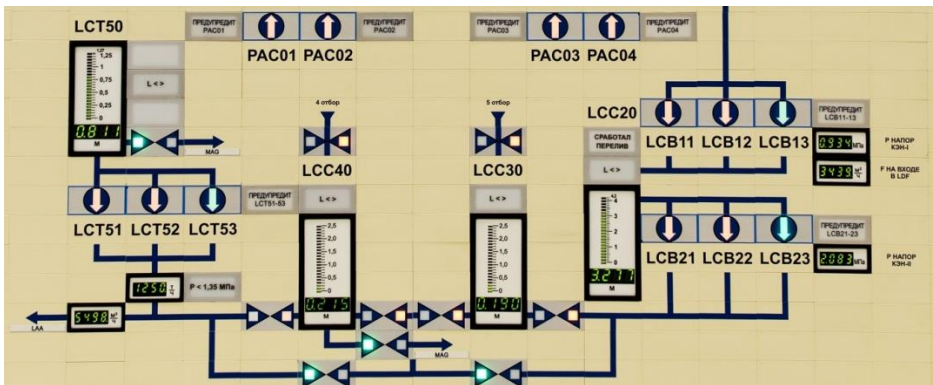


Видеокadp СВБУ LCA20

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



Видеокадр СВБУ LCC30-40



Панель БПУ 10CWG08

## 2.5 Система LAA деаэрирования питательной воды

### 2.5.1 Виды деаэрации

Деаэрация (дегазация) – процесс удаления из воды растворенных газов. Вода способна растворять находящиеся в соприкосновении с ней газы, источником которых являются добавочная вода, поступающая в цикл для восполнения потерь, и всякого рода дренажи, возвращаемые 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 от-

верстий - свищей. Кроме того, отложение продуктов коррозии на металле ухудшает теплообмен. Эти обстоятельства вызывают необходимость удаления из воды коррозионно-активных газов.

Деаэрация воды может осуществляться термическим, химическим, мембранным и другими методами.

*Мембранная деаэрация* – процесс удаления газов из воды с помощью специальной пористой мембраны, проницаемой для газов, но непроницаемой для воды.

*Химические методы* удаления из воды растворенных газов заключаются в связывании их в новые химические соединения. Еще одним методом обескислороживания воды является применение сталестружечных фильтров. Принцип действия заключается в том, что деаэрируемая вода пропускается через резервуар, наполненный стальной стружкой, которая, окисляясь, поглощает из воды значительную часть растворенного в ней кислорода.

Метод *термической деаэрации* основан на том, что растворимость газов в воде уменьшается с уменьшением парциального давления данного газа над поверхностью воды и с увеличением температуры воды. При кипении воды растворимость газов в ней равна нулю. Таким образом, для деаэрации необходимо нагреть воду до температуры насыщения и обеспечить отвод выделяемых газов.

## 2.5.2 Назначение

Система деаэрирования питательной воды LAA предназначена для:

- удаления из питательной воды коррозионно-активных и неконденсирующихся газов: кислорода, двуокиси углерода и других газов;
- создания запаса питательной воды в баке-аккумуляторе деаэратора LAA10BB001 для компенсации разбаланса между расходом питательной воды, подаваемой питательными насосами в ПГ, и количеством основного конденсата турбины, подаваемого в деаэратор, а также на время переходных процессов, связанных с увеличением расхода на парогенераторы;
- подогрева питательной воды в регенеративном цикле турбоустановки;
- приема и охлаждения (конденсации) перегретых потоков конденсата, пара и паровоздушных смесей;
- приема ХОВ с целью восполнения потерь теплоносителя второго контура при пуско-остановочных операциях на блоке и в режимах нарушения нормальной эксплуатации;

- подачи пара на уплотнения турбоустановки при работе на номинальных параметрах;
- создания подпора на всасах ПЭН и ВПЭН для обеспечения кавитационного запаса насосных агрегатов.

### 2.5.3 Деаэратор

Деаэратор LAA10BV001 термический повышенного давления ДП-6400(4x1600)/250-А производительностью 6300 т/ч предназначен для применения в составе энергоблоков 4 очереди НВАЭС.

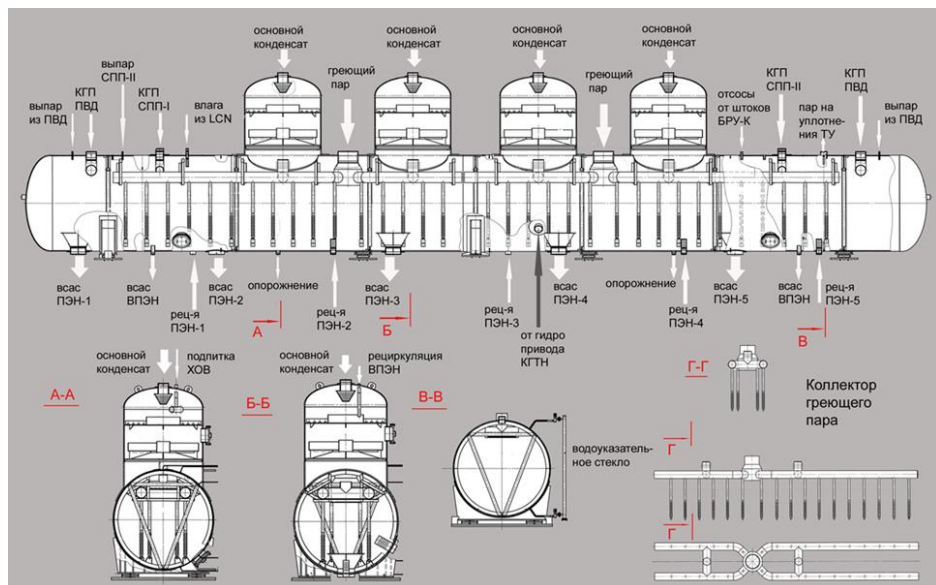
Деаэратор состоит из четырех вертикальных деаэрационных колонок условным диаметром 3,0 м, установленных на деаэраторном баке геометрической ёмкостью 400 м<sup>3</sup>.



*Деаэраторный бак*

Основной конденсат и другие потоки, подлежащие деаэрации и имеющие температуру ниже температуры насыщения при рабочем давлении в деаэраторе, подаются в верхнюю часть деаэрационных колонок через низконапорные водораспределительные устройства, представляющие собой струйные форсунки. Вода, вытекая из отверстий форсунки, дробится на струи и капли и сливается на верхнюю перфорированную тарелку, образуя верхний каскад. Через отверстия верхней тарелки вода струями стекает на нижнюю перфорированную тарелку, образуя средний каскад. Затем вода сливается в деаэраторный бак (нижний каскад).

Из бака деаэрированная вода после выдержки и обработки в барботажном устройстве отводится на всас питательных насосов.



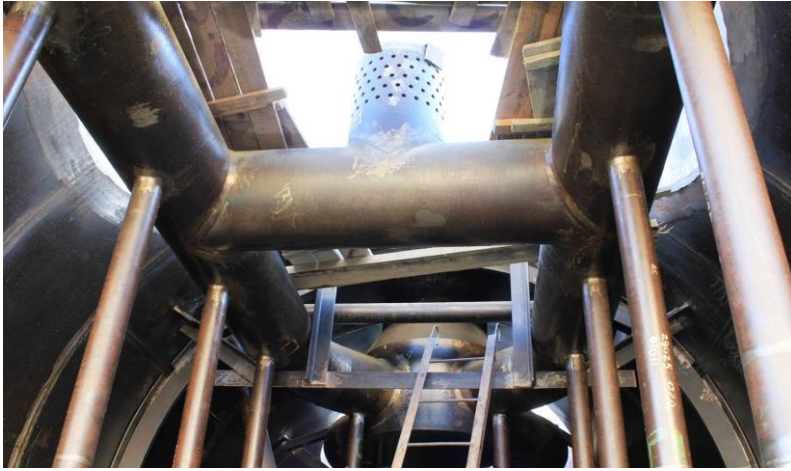
### Конструкция деаэратора

Потоки воды, имеющие температуру выше температуры насыщения (конденсат ПВД, конденсат греющего пара СПП и др.), подаются в паровой объём деаэраторного бака.

Греющий пар подается в парораспределительные коллекторы деаэратора и распределяется на две части. Устройство подвода греющего пара в деаэратор состоит из конструктивных элементов, обеспечивающих необходимое распределение греющего пара в деаэраторе и его надежную работу во всех эксплуатационных режимах. Устройство включает в себя: два штуцера подвода греющего пара в деаэратор, систему парораспределительных коллекторов, 4 перфорированных патрубка подачи греющего пара в паровое пространство бака, 66 вертикальных перфорированных барботажных труб.

Часть пара через патрубки поступает в паровое пространство бака. Там греющий пар смешивается с паром, образующимся при поступлении в бак потоков с температурой выше температуры насыщения в деаэраторе, которые, попадая в область более низкого давления, вскипают в деаэраторе (конденсат греющего пара ПВД и СПП и др.). Весь этот пар направляется в деаэрационные колонки под нижние тарелки.





**Паровые коллекторы в деаэрационном баке**

Другая часть пара из парораспределительных коллекторов для обеспечения надежной деаэрации во всех режимах работы блока направляется в барботажное устройство, расположенное в водяном объеме бака деаэратора. Барботажное устройство состоит из 66-ти вертикальных перфорированных труб. Пар, выходя из отверстий барботажных труб, проходит через слой воды в баке, обрабатывая и догревая воду до температуры насыщения.

Выпар деаэратора (отвод выделяющихся газов) направляется в атмосферу (при давлении в деаэраторе менее 0,3 МПа) или в корпус ПНД-2 (при давлении в деаэраторе более 0,3 МПа).



**Барботажные трубы в деаэрационном баке**

### Технические характеристики

Производительность деаэрата максимальная, т/ч	6462
Производительность деаэрата номинальная, т/ч	6300
Давление рабочее номинальное, МПа	0,77
Давление полного открытия предохранительных клапанов, МПа	1,023
Температура рабочая номинальная питательной воды, °С	174
Нагрев воды в деаэраторе при номинальной производительности, °С	10-56
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из деаэрата, мкг/кг, не более	5
Содержание, растворенного кислорода в исходной воде на входе в деаэратор, мкг/кг, не более	30
Геометрическая ёмкость деаэраторного бака, м <sup>3</sup>	400
Полезная ёмкость деаэраторного бака, расчётная, м <sup>3</sup>	250
Диаметр бака (условный), мм	3800
Срок службы деаэрата, лет	50
Давление гидроиспытаний, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,043
Температура воды при гидроиспытаниях, минимально допустимая, °С	5

Разница между температурой металла нижней образующей корпуса ПГ и температурой питательной воды не должна превышать 120 °С. Таким образом, существует ограничение по минимальной температуре воды в деаэраторе 164 °С, а значит, по минимальному давлению в деаэраторе 0,59 МПа.

При эксплуатации турбоустановки в регулировочном диапазоне нагрузок от 100% до 80% от номинальной питание деаэрата производится греющим паром третьего отбора турбины. При этом деаэратор работает на скользящем рабочем давлении в корпусе, которое меняется в пределах 0,771±0,6 МПа в соответствии с давлением в третьем отборе турбины.

При эксплуатации турбоустановки в регулировочном диапазоне нагрузок ниже 80% от номинальной деаэратор работает при постоянном избыточном давлении в корпусе 0,71 МПа. При этом питание деаэрата паром осуществляется от БРУ-Д.

#### 2.5.4 ИПУ-Д

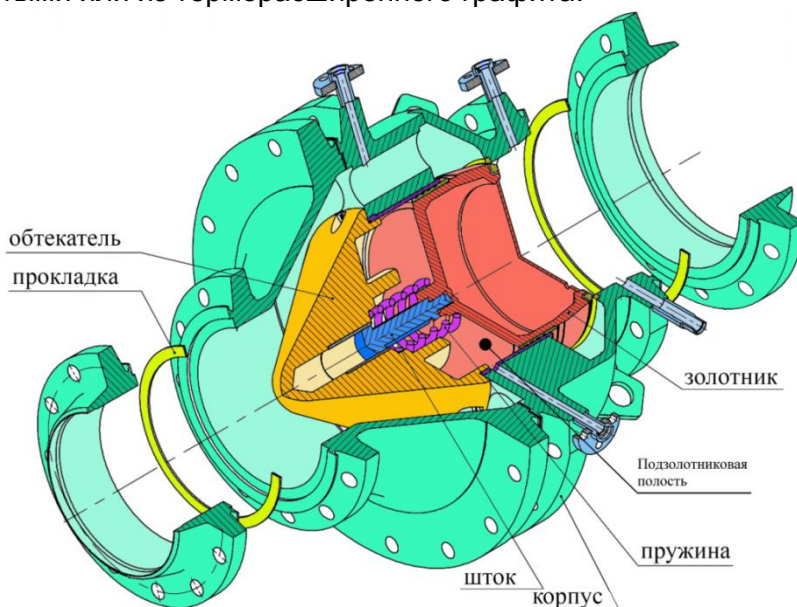
Для защиты деаэрата от повышения давления установлены пять импульсно-предохранительных устройств (ИПУ-Д). Каждое ИПУ состоит из главного предохранительного клапана и импульсного кла-

пана. Главные предохранительные клапаны управляются импульсными клапанами.

Главный клапан ПТ59003-250/300 состоит из следующих основных узлов и деталей:

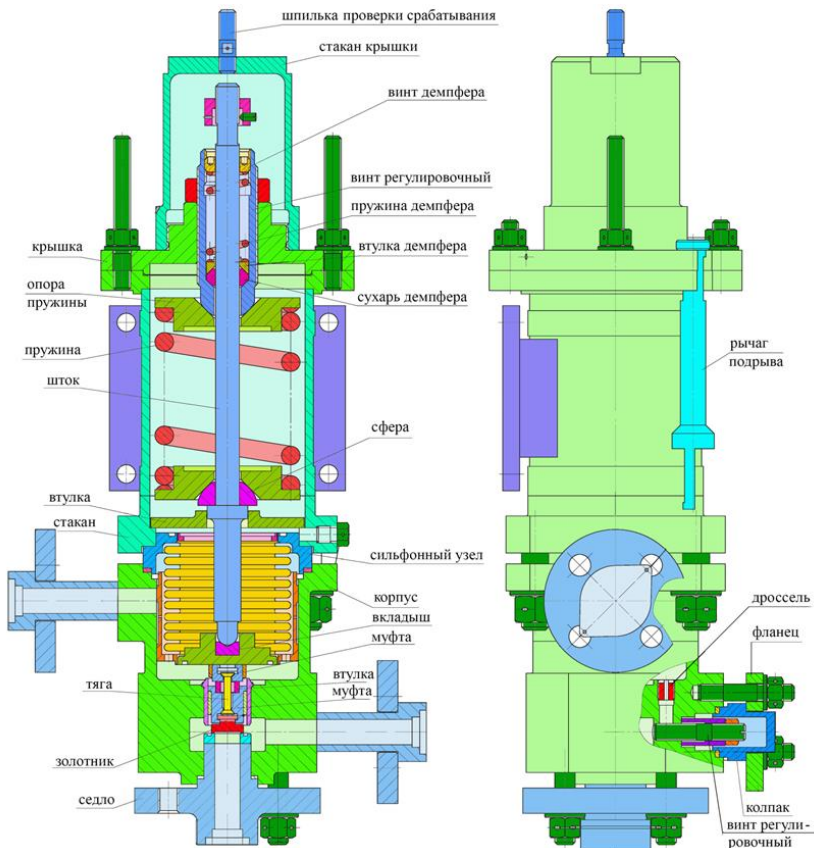
- корпуса с входным и выходным патрубками и патрубками «№1», «№2», «№3», «№4»;
- затвора, обеспечивающего герметичное перекрытие проходного сечения клапана и состоящего из седла в корпусе и золотника с поршневыми кольцами;
- пружины, обеспечивающей необходимое усилие для предварительного поджатия золотника к седлу;
- обтекателя, служащего для направления движения и ограничения хода золотника.

В корпус установлен золотник с поршневыми кольцами и пружина, обеспечивающая предварительное поджатие золотника к седлу корпуса. Золотник удерживается в корпусе за счет обтекателя, крепящегося к корпусу шпильками и гайками. Обтекатель, кроме того, служит для направления движения и ограничения хода золотника. Присоединение к трубопроводу осуществляется при помощи фланцев. Для соединения с ИК используются трубы, присоединение осуществляется через стяжные фланцы гайками и шпильками, а герметичность соединения добиваются прокладками спирально-навитыми или из терморасширенного графита.



**ИПУ-Д. Главный клапан**

Клапан импульсный предназначен для формирования команд на открытие и закрытие главного клапана путем разгрузки подзолотниковой полости ГК от рабочей среды или подачи в нее рабочей среды.



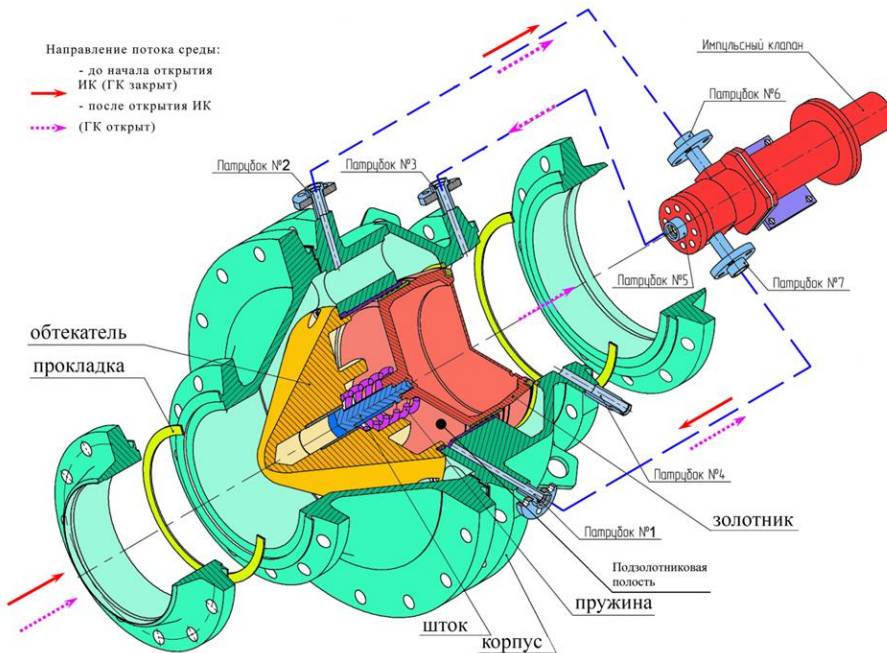
### **ИПУ-Д. Импульсный клапан**

Импульсный клапан представляет собой предохранительный клапан с подачей давления на золотник, чувствительный элемент клапана – сильфон. ИК состоит из следующих основных узлов и деталей:

- пружины, обеспечивающей необходимое усилие для состояния герметичности затвора и работоспособности клапана;
- винта регулировочного, обеспечивающего регулировку усилия пружины;
- сильфонного узла, обеспечивающего герметичность по штоку;

- дросселя и винта, обеспечивающих быстродействие при срабатывании ИПУ;
- рычага, обеспечивающего срабатывание клапана ручным принудительным подрывом;
- шпильки проверки срабатывания, позволяющей производить гидроопрессовку клапана и системы без срабатывания клапана.

В корпус клапана снизу вставлено седло, стянутое при помощи шпилек и гаек через прокладку с корпусом. Сверху в корпус вставлен сильфон в сборе и золотник. На втулку сильфона в сборе установлен стакан со штоком, пружиной, опорами пружины и сферой. Крышка установлена на стакан сверху. В крышку ввернут винт регулировочный, который законтрен гайкой. Внутри винта регулировочного находится демпфирующее устройство, состоящее из винта, который поджимает пружину, действующую через втулку на сухарь. На крышку установлен стакан, в который ввёрнута шпилька проверки срабатывания. К стакану крепится рычаг для принудительного подрыва клапана. Необходимое быстродействие ИПУ обеспечивается подбором дросселя и регулировкой винта, осуществляемой на заводе-изготовителе ИК.

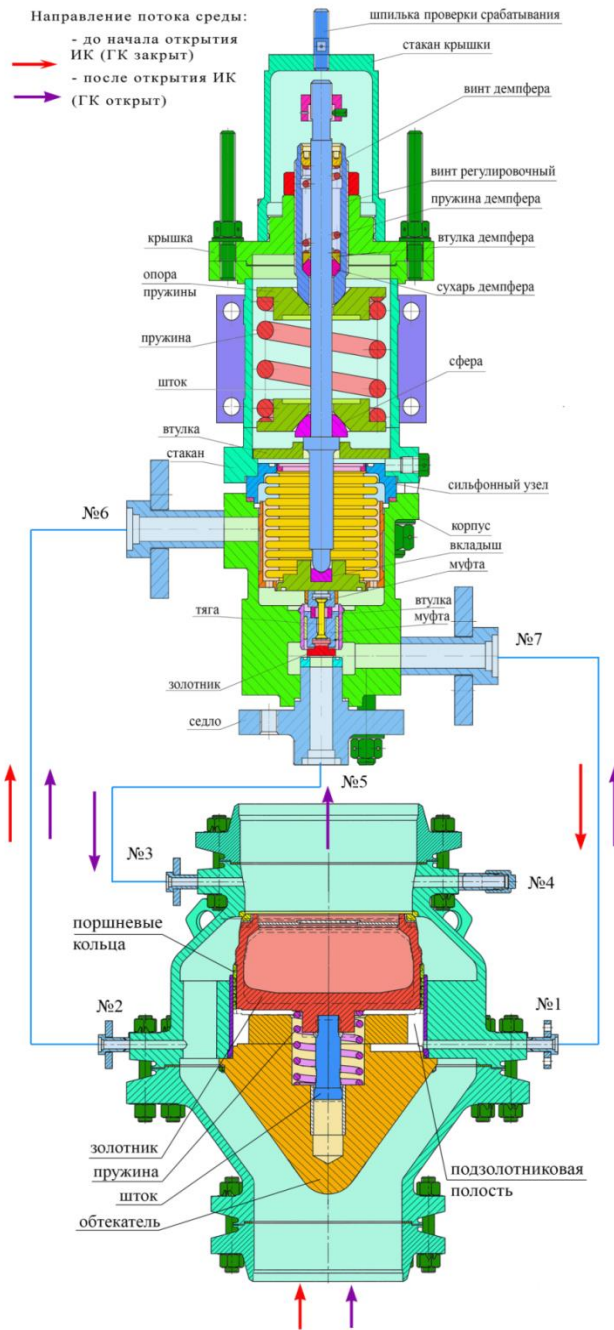


Конструкция ИПУ-Д

При отсутствии давления среды в системе золотники ГК и ИК находятся в закрытом положении за счет прижатия к седлам корпуса пружинами. Давление среды поступает из входной полости ГК через патрубок «№2» во входной патрубок «№6» ИК и воздействует на чувствительный элемент – сильфон, а также через дроссель в корпусе и отверстие в ползуне сильфона в сборе поступает в подзолотниковую полость ИК, из которой через патрубок «№7» поступает в подзолотниковую полость ГК через патрубок «№1». При этом усилие от давления среды, действующее на сильфон, уравновешивается пружиной импульсного клапана, а усилие, действующее на золотник ГК из подзолотниковой полости совместно с усилием от пружины, превышает усилие, действующее на золотник ГК из входной полости. При давлении  $P_p$  ИК закрыт, ГК закрыт, система ИК – ГК находится в равновесии.

При повышении давления среды в системе выше уставки срабатывания усилие от действия среды на сильфон преодолевает установочное усилие пружины. При этом сильфон сжимается и при помощи разъемных муфт через тягу отрывает золотник от седла. ИК начинает постепенно (т.к. ИК является клапаном пропорционального действия, и степень его открытия зависит от величины действующего на золотник ИК давления) открываться и из надзолотниковой полости ИК сбрасывается излишек среды, т.к. она через патрубок ИК «№5» и патрубок ГК «№3» соединена со сбросным патрубком ГК. Одновременно надзолотниковая полость через патрубок ИК «№7» и патрубок ГК «№1» соединена с подзолотниковой полостью ГК, из которой также начинает происходить сброс давления через трубопровод в надзолотниковую полость ИК и через трубопровод в выходной патрубок ГК.

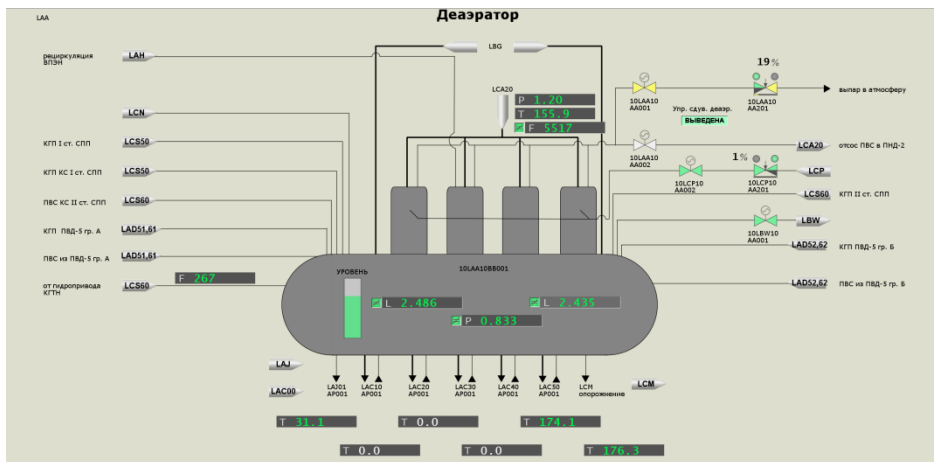
Давление в подзолотниковой полости ГК уменьшается, и скорость его снижения зависит от степени открытия ИК. При повышении давления до величины давления полного открытия золотник ИК открывается полностью, что приводит к окончательному сбросу давления среды из подзолотниковой полости ГК и, соответственно, к открытию затвора ГК, происходит аварийный сброс среды. После снижения давления среды в системе до давления обратной посадки пружина ИК возвращает сильфон в начальное состояние и прижимает золотник к седлу. ИК перекрывает сброс среды через патрубок «№5» в выходной патрубок ГК и через патрубок «№7» через патрубок «№1» подает давление в подзолотниковую полость ГК, вследствие чего, а также вследствие «натекания» среды через поршневые кольца давление в подзолотниковой полости ГК повышается и превышает давление на золотник ГК. От давления среды в подзолотниковой полости и усилия пружины ГК закрывается.



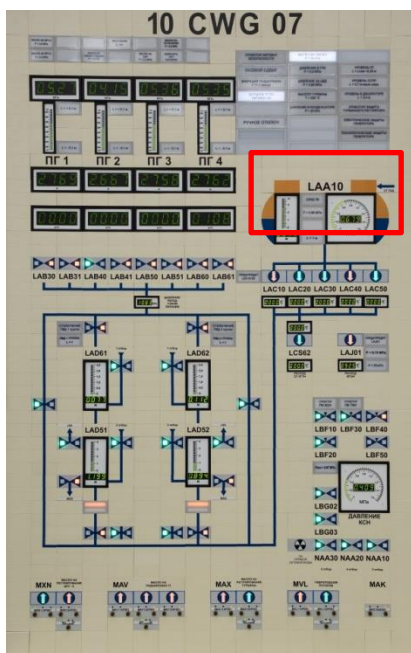
Конструкция ИПУ-Д

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Контроль работы системы осуществляется с видеокадра СББУ LAA и панели БПУ 10CWG07.



Видеокادر СББУ LAA



Панель БПУ 10CWG07

## 2.6 Система LAB LAC основной питательной воды

### 2.6.1 Назначение

Система основной питательной воды LAB предназначена для:

- первоначального заполнения ПГ питательной водой;
- подачи воды из деаэратора в ПГ в режимах нормальной эксплуатации;
- поддержания уровня в ПГ;
- исключения подачи питательной воды в случае переполнения ПГ;
- исключения подачи питательной воды в аварийный ПГ в случае разрыва паропровода ПГ в неотключаемой части, разрыва питательного трубопровода или течи из первого контура во второй;
- расхолаживания блока в случае выхода из строя насоса вспомогательной питательной воды (ВПЭН) LAJ01AP001;
- усреднения температуры питательной воды после групп А,Б ПВД в условиях, когда одна группа не работает.

### 2.6.2 Описание технологической схемы

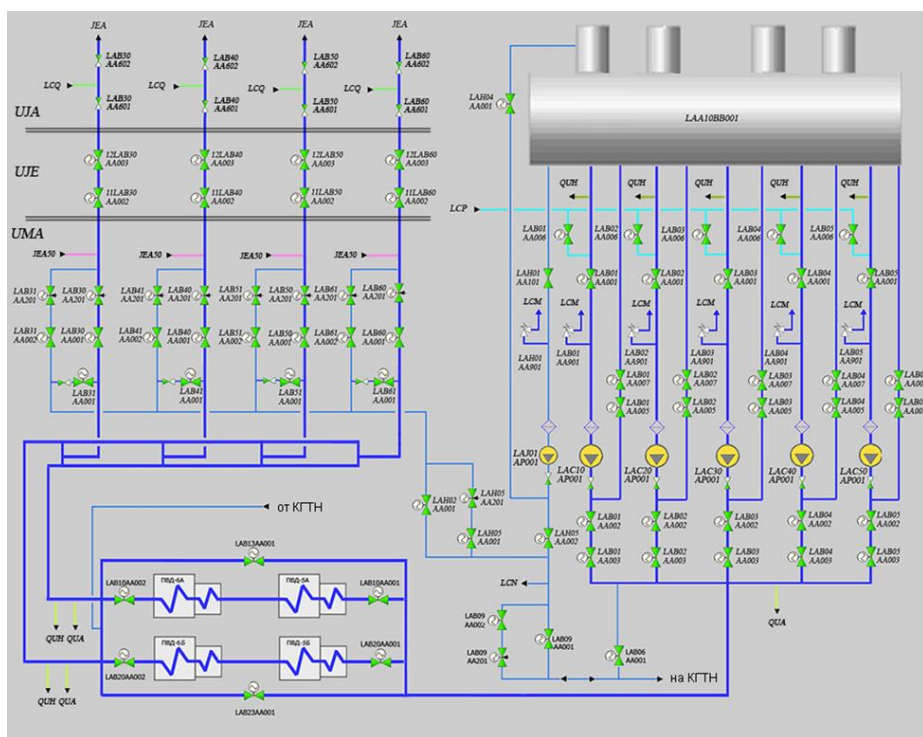
Система основной питательной воды является частью второго контура от деаэратора до парогенераторов.

Питательная вода из деаэратора LAA10BB001 четырьмя питательными насосами ПЭН из пяти по четырем индивидуальным трубопроводам всаса и напора подается в общий коллектор перед ПВД. Далее питательная вода следует через две параллельные нитки ПВД и поступает во второй общий коллектор за ПВД, предназначенный для выравнивания температуры питательной воды перед парогенераторами. Из второго коллектора питательная вода по четырем трубопроводам с узлами питания направляется к парогенераторам.

На каждой линии питательной воды установлен узел питания, состоящий из основного Ду 400 и байпасного Ду 100 трубопроводов. На каждом из основных трубопроводов Ду 400 установлено по одной запорной задвижке LAB30,40,50,60AA001 и по одному основному регулирующему клапану LAB30,40,50,60AA201. На каждом из байпасных трубопроводов Ду 100 установлено по одной запорной задвижке LAB31,41,51,61AA002 и по одному пускоостановочному регулирующему клапану LAB31,41,51,61AA201.

На каждом трубопроводе после узла питания в «паровой» камере (здание UJE) установлено по две быстродействующие отсечные

затворами 11LAB30AA002, 12LAB30AA003, 11LAB40AA002, 12LAB40AA003, 11LAB50AA002, 12LAB50AA003, 11LAB60AA002, 12LAB60AA003. Далее по ходу среды (в здании реактора UJA) последовательно установлено по два обратных клапана LAB30,40,50,60AA601,602, после которых питательная вода по индивидуальным трубопроводам поступает в парогенераторы.



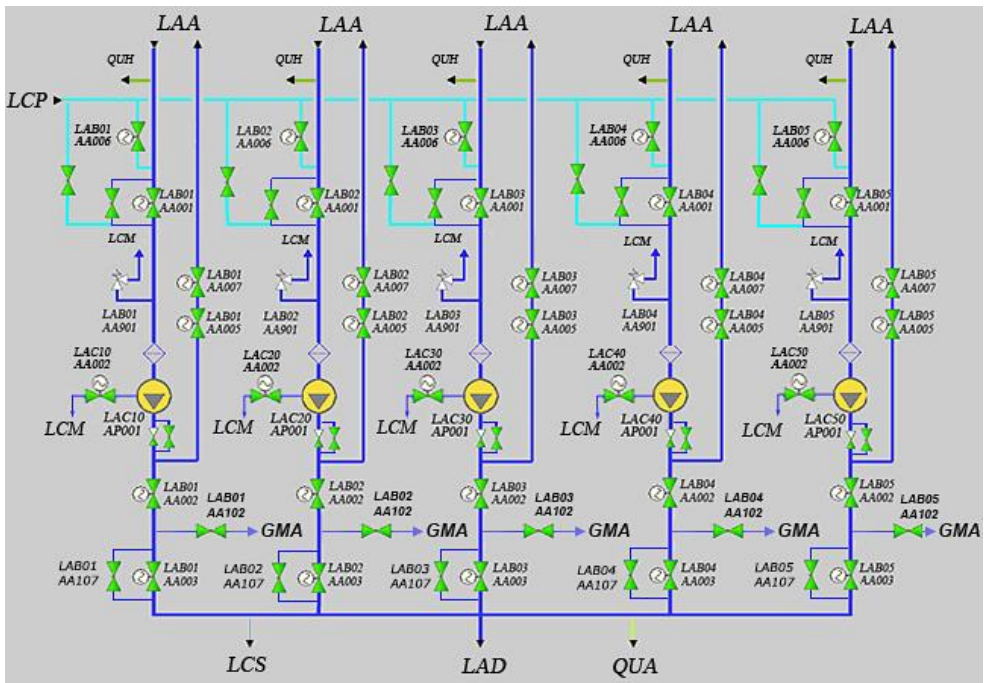
**Схема системы основной питательной воды**

Дублирование отсекающих затворами и обратных клапанов предусмотрено для надежного отключения ПГ от питательных трубопроводов.

На всасывающем трубопроводе каждого ПЭН установлена запорная затворка LAB01,02,03,04,05AA001 с байпасом и предохранительный клапан LAB01,02,03,04,05AA901, который защищает всас насоса от превышения давления сверх допустимого в случае ошибочного закрытия этой затворки и пропуска обратного клапана на напоре. Пропускная способность предохранительного клапана на всасе ПЭН выбрана с запасом на максимальную протечку обратного клапана LAB01,02,03,04,05AA601 на напоре насоса.

На всасывающих трубопроводах ПЭН предусмотрены фильтр – сетки для предотвращения повреждения насосного агрегата в случае возможного попадания постороннего предмета со стороны деаэратора в проточную часть насоса ПЭН.

Для повышения противокавитационной устойчивости в условиях сброса нагрузки блоком, для ускоренного расхолаживания ПЭН при выводе в ре монт, а также для заполнения питательных насосов водой перед пуском на всас насосов подведена «холодная» обес-солённая вода с запорной арматурой



**Схема обвязки питательных насосов**

LAB01,02,03,04,05AA006; LAB01,02,03,04,05AA105 от насосов обес-солённой воды LCP10AP001 системы LCP10-80.

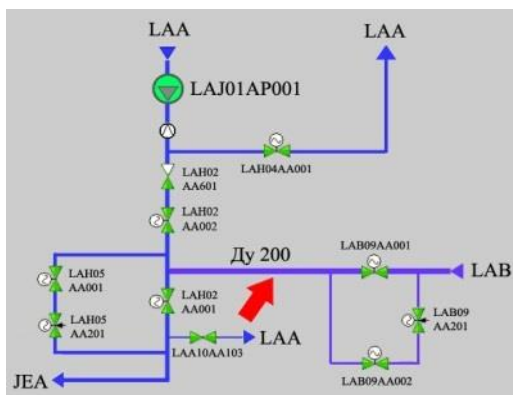
Каждый агрегат оснащен линией рециркуляции в деаэратор для исключения работы насоса в безрасходном режиме. Открытие арматуры на линии рециркуляции ПЭН при расходе на напоре насоса менее 500 м<sup>3</sup>/ч, закрытие при расходе на напоре насоса более 1000 м<sup>3</sup>/ч.

Для поддержания резервного агрегата в «горячем» состоянии периодически через него обеспечивается проток воды из деаэратора в

систему дренажей LCM через линию прогрева. Открытие арматуры LAC10(20,30,40,50)AA002 на линии прогрева ПЭН производится при разнице температур «верх-низ» корпуса насоса более 25 °С, закрытие при разнице температур менее 15 °С.

На случай выполнения ремонтных работ схема позволяет двумя последовательно установленными на напоре запорными задвижками и дренажом между ними надежно отключить насос от трубопроводов высокого давления.

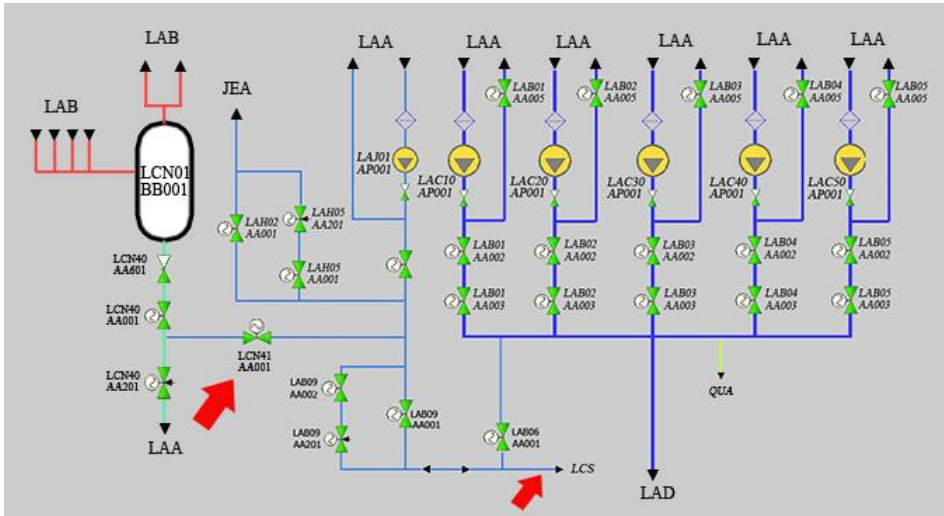
В случае неисправности ВПЭН при разогреве или расхолаживании блока существует возможность подачи воды в ПГ от питательных насосов через перемычку Ду200 между системами LAB и LAN и узел регулирования перепада давлений на РУПГ с регулирующим клапаном LAN05AA201, предназначенным для поддержания заданного перепада давлений 5,0 МПа на узле питания ПГ. В режиме расхолаживания по мере снижения давления в парогенераторах перепад давлений на байпасных регулирующих клапанах LAB31-61AA201 непрерывно увеличивается. Когда он превысит 4,9 МПа, регулирующий клапан LAN05AA201 вступает в работу и начинает прикрываться с тем, чтобы дальнейший рост перепада давлений не происходил.



На байпасе Ду50 задвижки LAB09AA001 предусмотрен регулирующий клапан LAB09AA201 для того, чтобы при пуске на этапе прогрева паропроводов свежего пара можно было перед включением основных питательных насосов предварительно прогреть тракт питательной воды и ПВД водой из деаэратора от ВПЭН.

### Перемычка Ду 200

С напора питательных насосов при работе блока на мощности отбирается часть питательной воды (до 340 м<sup>3</sup>/ч) на гидропривод (гидротурбину) насоса КГТН LCS62AP001, возвращающего конденсат греющего пара 2-ой ступени СПП в тракт питательной воды после ПВД.



### Подача с напора ПЭН на КГТН и в линию слива из влагоотделителя LCN

При работе блока на мощности с напора питательных насосов трубопроводом Ду32 с шайбой подается охлаждающая вода в линию сброса конденсата дренажей паропроводов свежего пара в деаэра- тор для обеспечения условий работы регулирующего клапана LCN40AA201. Попадание питательной воды во влагоотделитель LCN01BB001 предотвращается обратным клапаном LCN40AA601 перед узлом смешения.

### 2.6.3 Основной регулятор уровня в ПГ

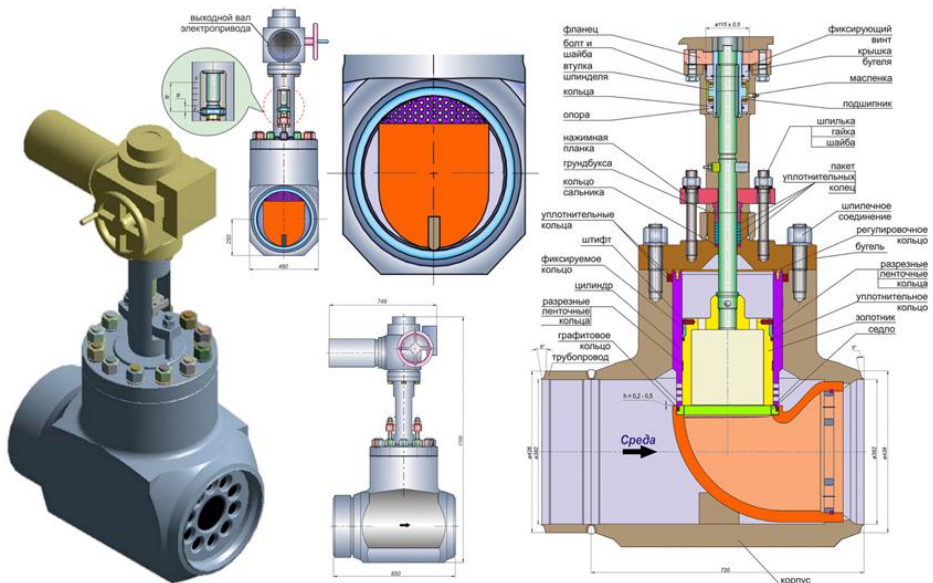
В состав клапана входят следующие основные части:

- корпус в сборе проходного типа, внутри которого к выходному патрубку приварен стакан (колено);
- бугель с крышкой корпуса, внутри которой размещена сальниковая камера;
- затвор, включающий в себя золотник, седло и цилиндр (клетку). При перемещении золотника осуществляется изменение площади проходного сечения в затворе. Золотник соединен со шпинделем резьбовым хвостовиком. Седло установлено в проточку на стакане (колене) и уплотнено относительно стакана графитовым кольцом с помощью цилиндра. На боковой поверхности цилиндра выполнены отверстия для регулируемого прохода среды;

г) сальниковое уплотнение шпинделя в виде пакета уплотнительных колец, установленного на кольцо сальника. Сжатие пакета осуществляется посредством грундбоксы и нажимной планки при затяжке шпилек с гайками и шайбами;

д) ходовой узел, включающий в себя втулку шпинделя и подшипники, расположен между опорой, которая опирается на внутренний бурт в бугеле, и резьбовой крышкой бугеля, фиксируемой винтами;

е) электропривод.



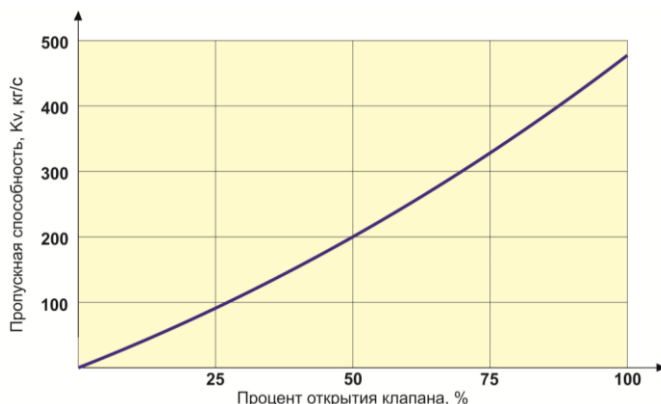
**Конструкция регулирующего клапана уровня в парогенераторе**

При эксплуатации клапан может управляться дистанционно или автоматически с помощью электропривода. Принцип работы клапана заключается в следующем. При поступлении управляющего сигнала включается в работу электропривод. В результате вращательное движение сопряженной с электроприводом втулки шпинделя преобразуется в поступательное движение шпинделя и золотника клапана. Золотник при своем перемещении увеличивает или уменьшает проходное сечение в цилиндре (клетке), обеспечивая регулирование количества протекающей через клапан рабочей среды.

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

Для поддержания уровня воды в ПГ основной РУ ПГ не только сравнивает текущее значение уровня с заданным, но учитывает еще и материальный баланс. При возникновении расхождений в значениях расхода питательной воды и пара РУПГ изменяет расход питательной воды, чтобы не допустить отклонения уровня в ПГ от номинального.

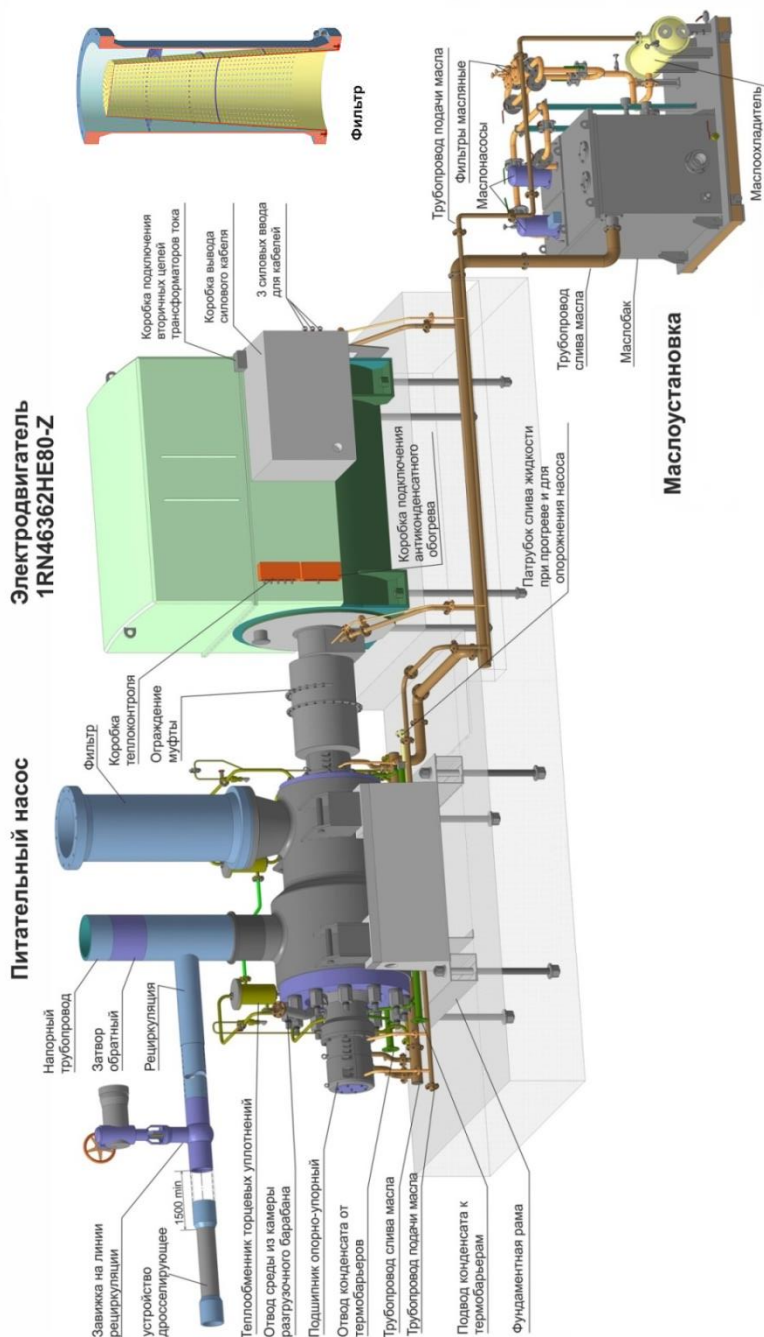
**ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ  
ЗАВИСИМОСТЬ  
РАСХОДА  
ПИТАТЕЛЬНОЙ  
ВОДЫ ОТ  
СТЕПЕНИ  
ОТКРЫТИЯ  
КЛАПАНА**



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.

#### 2.6.4 Насосный агрегат ПЭН

Электронасосный агрегат АПЭА 1840-80 состоит из насоса ПЭА 1840-80 производства АО «Сумский завод «Насосэнергомаш», трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором 1RN46362HE80Z фирмы «SIEMENS», упругой пластинчатой муфты, фильтра-сетки, дросселирующего устройства, фундаментной рамы, маслоустановки, обратного клапана, клапана запорного электромагнитного на линии прогрева, задвижки на линии рециркуляции, теплоизоляции, звукоизолирующего кожуха.



Конструкция питательного насосного агрегата

## Основные технические характеристики ПЭН

Подача– 1840 м<sup>3</sup>/ч

Напор – 910 м

Частота вращения– 2989 об/мин

Температура рабочей среды – до 175 °С

Максимальное давление на выходе из насоса – 11,77 МПа

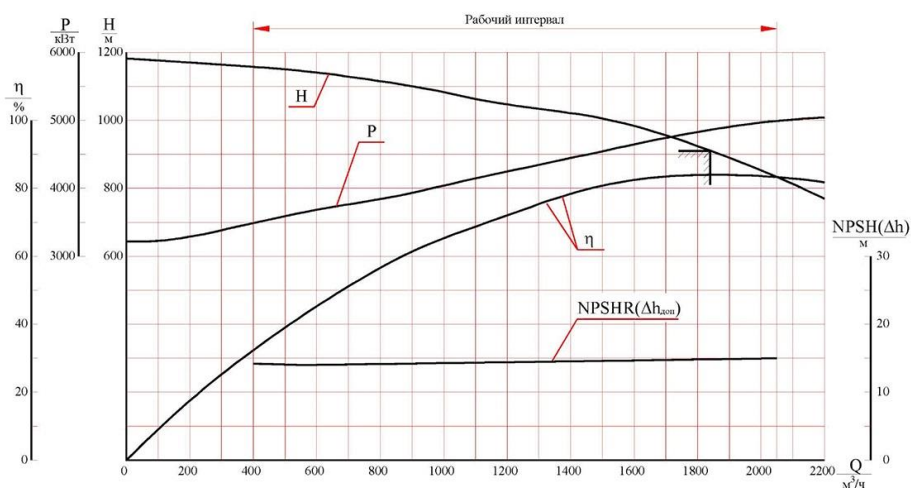
Допустимый кавитационный запас– 15 м. в.ст.

Мощность приводного двигателя – 6,3 МВт

Напряжение приводного двигателя - 10 кВ

КПД насоса - 84%

КПД агрегата - 82%



Насос в составе агрегата - центробежный, горизонтальный, двух-корпусной с выемной частью «патронного» типа, четырехступенчатый.

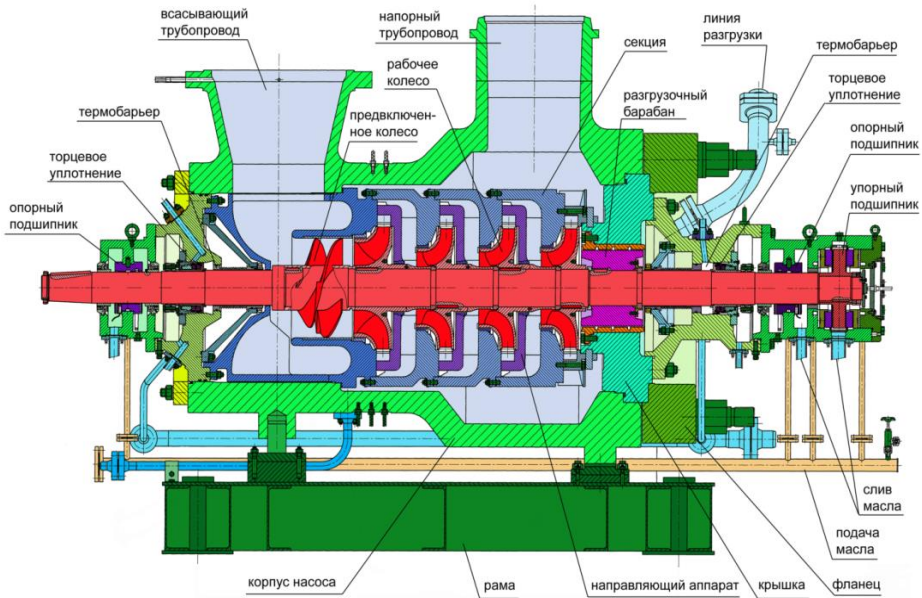
Патрубки насоса направлены вертикально вверх. Входной патрубок фланцевый, напорный - выполнен под приварку трубопровода.

Опорами ротора служат подшипники скольжения с принудительной смазкой.

Концевые уплотнения - механические торцового типа.

Разгрузка ротора от осевых усилий выполнена при помощи барабана разгрузочного, который входит в состав ротора; остаточное осевое усилие воспринимается упорным подшипником.

Принцип работы насоса заключается в преобразовании подводимой к нему механической энергии от внешнего источника (двигателя) в гидравлическую энергию потока жидкости.

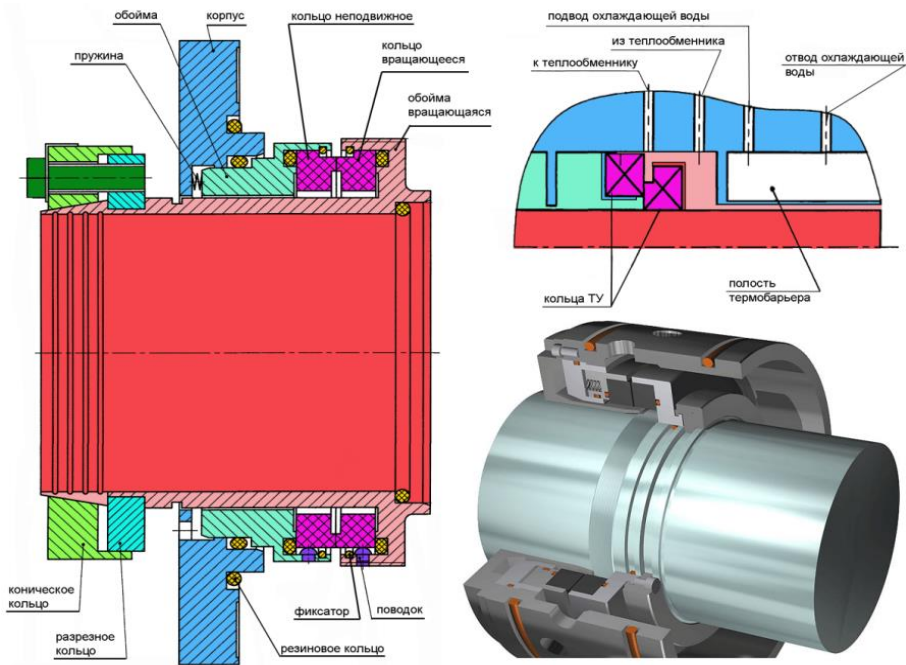


### Конструкция питательного насоса

Концевые уплотнения состоят из торцовых уплотнений, встроенных теплообменников (термобарьеров), внешних теплообменников.

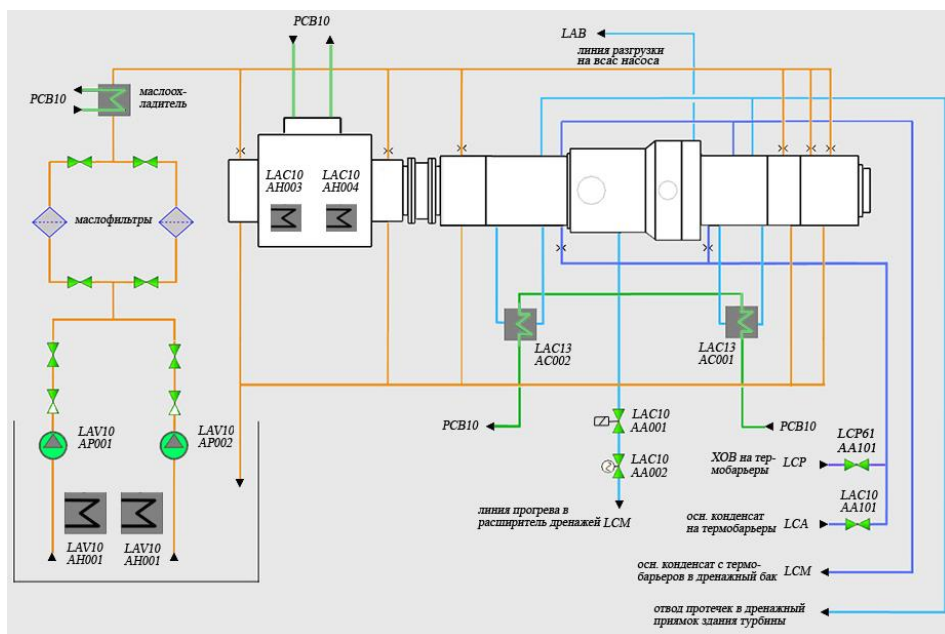
Торцовое уплотнение состоит из корпуса в сборе с вращающимися и аксиально-подвижными элементами, которые зафиксированы монтажными скобами, что позволяет торцовое уплотнение устанавливать в насос в со-бранном виде.

Торцовое уплотнение конструктивно содержит два кольца пары трения. Одно из колец пары трения неподвижно и закреплено в корпусе. Второе кольцо подвижно в осевом направлении, статически закреплено на валу и вращается вместе с ним.



### Конструкция торцевого уплотнения ПЭН

Герметичность в паре трения обеспечивается за счёт создания контактного давления. При отсутствии вращения вала рабочие поверхности колец пары трения прижаты друг к другу усилием упругого элемента - пружины сжатия. В процессе работы оборудования кольца пары трения дополнительно прижаты друг к другу гидравлическим усилием, создаваемым положительным перепадом давления рабочей среды. Для обеспечения герметичности между неподвижным кольцом и корпусом (фланцем) оборудования, а также подвижным кольцом и валом используются резиновые кольца круглого сечения. При вращении вала тепловая энергия трения частично отводится в рабочую среду, другая её часть расходуется на повышение температуры колец пары трения, поэтому обеспечение необходимого и надежного отвода тепла в значительной мере влияет на надежность работы всего уплотнительного узла.



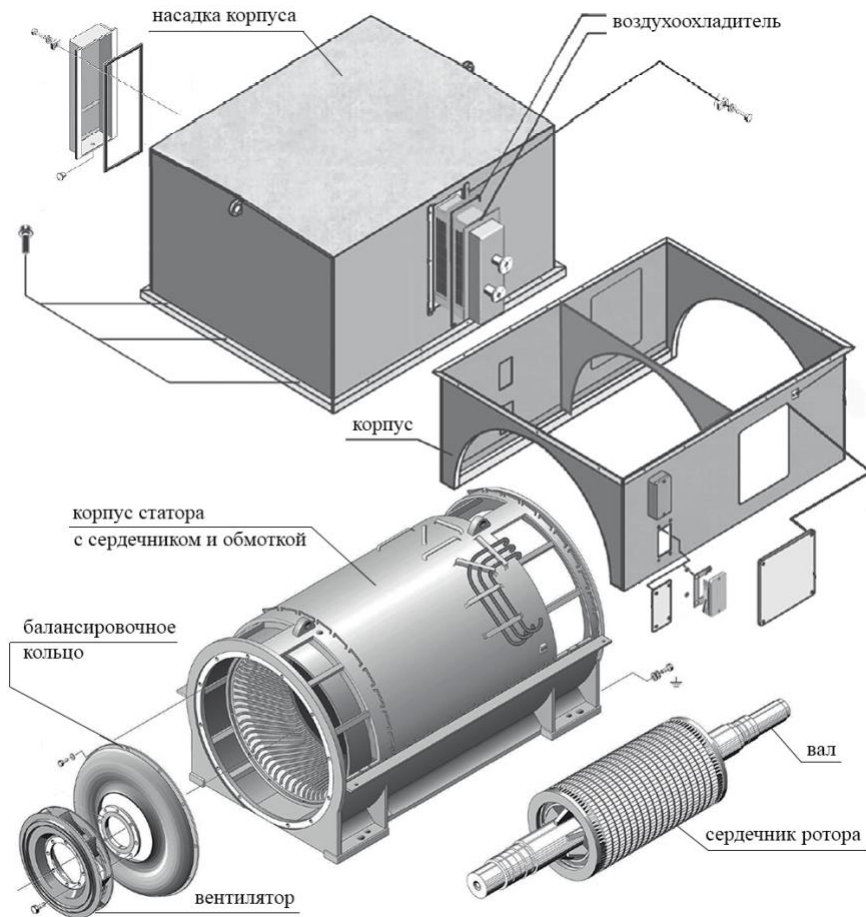
**Схема обвязки питательного насоса**

На воздухоохладитель электродвигателя, на маслоохладитель, на внешние теплообменники торцевых уплотнений насоса предусмотрена подача технической воды от системы PCVB10-90 охлаждения потребителей здания UMA.

На охлаждение термобарьеров концевых уплотнений насоса подается основной конденсат с напора КЭН-I ступени перед БОУ, резервная линия – обессоленная вода с напора насоса LCP10AP001. Слив охлаждающей воды выполнен в коллектор холодных дренажей дренажных баков LCM01BB01,02.

Протечки с уплотнений насосов отводятся в дренажный приемок здания турбины.

Для исключения образования влаги на обмотках электродвигатели ПЭН оснащены электронагревателями, которые включаются при температуре обмотки менее 25 °С, отключаются при температуре обмотки более 30 °С.



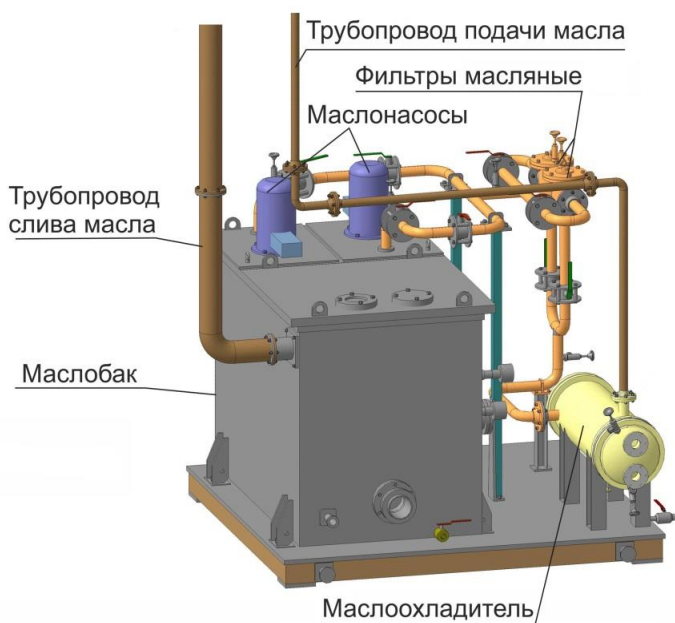
### **Конструкция электродвигателя ПЭН**

Электродвигатель 1RN46362HE80Z фирмы «SIEMENS» трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором. Система охлаждения состоит из вентилятора и воздушно-водяного теплообменника. Вал ротора опирается на подшипники скольжения с принудительной смазкой.

### **2.6.5 Маслоустановка питательного насоса**

В каждом ПЭН для подачи огнестойкой жидкости типа «ОМТИ» к подшипникам скольжения с принудительной смазкой насоса и двигателя применена система подачи масла, которая состоит из маслоустановки и системы трубопроводов подвода и отвода масла. Оборудование маслоустановки смонтировано на единой раме и состоит из:

- масляного бака с установленными маслососами;
- маслоохладителя;
- двух фильтров масляных;
- системы трубопроводов с арматурой.



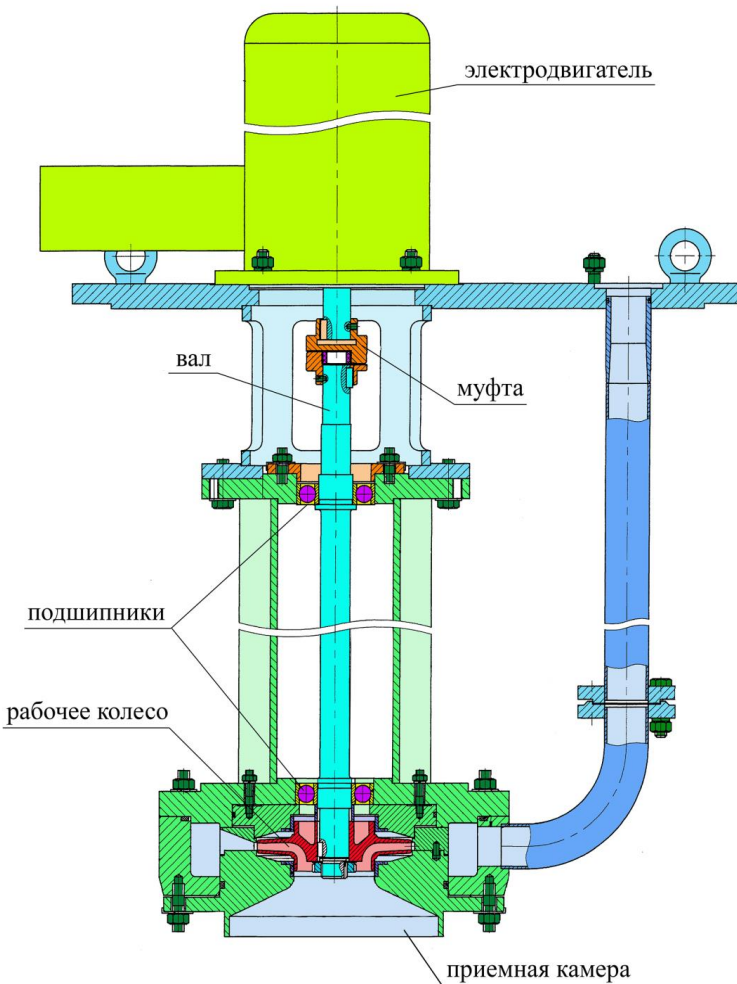
### *Общий вид маслоустановки ПЭН*

Бак масляный представляет собой безнапорную емкость сварной конструкции. На корпусе бака установлены два электронасосных агрегата ЦНВ 10-30. На стенках бака установлены: два электронагревателя мощностью 10 кВт для подогрева масла, два датчика замера уровня масла, вмонтировано смотровое окно для контроля верхнего и нижнего уровней масла в баке, термопреобразователь для контроля за температурой масла, фланцы для слива масла с агрегата и из бака, кран для отбора проб масла. Включение электронагревателей производится с помощью системы автоматики при температуре масла ниже 30 °С и отключение при температуре масла 35 °С. На крышке расположены фланцы для заполнения бака и выпуска воздуха. Внутри бака установлены перегородки для стабилизации потока масла и интенсификации удаления воздуха из масла.

## Маслонасос

Агрегат электронасосный ЦНВ 10-30 предназначен для подачи масла в систему маслоснабжения и состоит из насоса, двигателя и фланца. Подача масла при работе агрегата обеспечивается одним из маслонасосов, второй насос - в резерве. При работе маслонасос подает масло через маслофильтр и маслоохладитель к подшипникам агрегата.

Насос центробежный вертикальный одноступенчатый с рабочим колесом одностороннего входа, установленным на валу консольно.



**Конструкция маслонасоса**

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

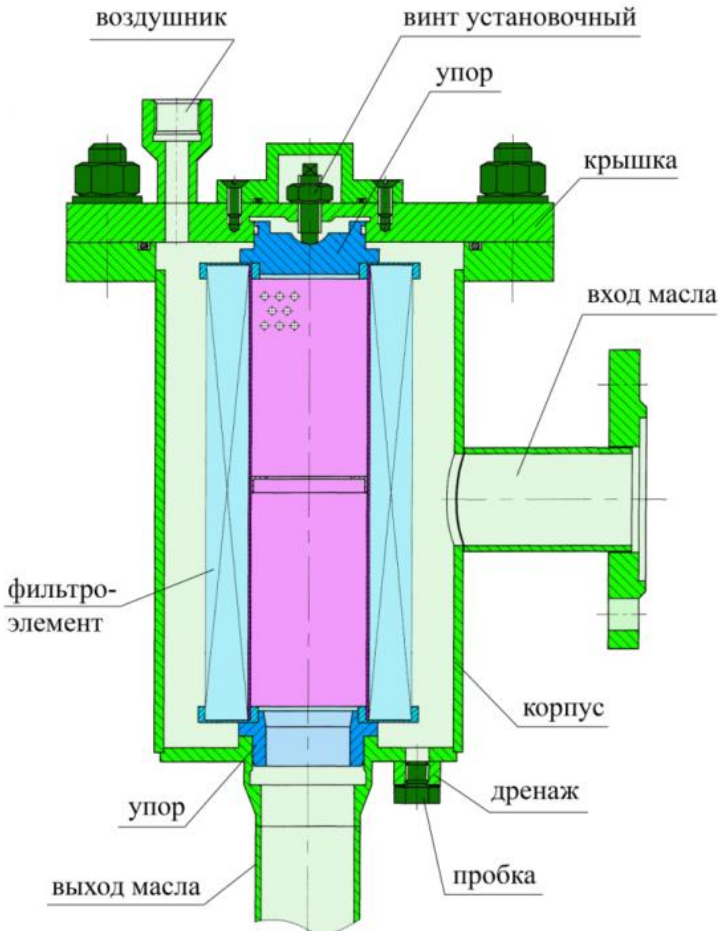
Поддача насоса 8,72 м<sup>3</sup>/ч

Напор насоса 30м

Частота вращения ротора насоса 2814 об/мин

Мощность ЭД 3,7 кВт, КПД 23 %

### Фильтр

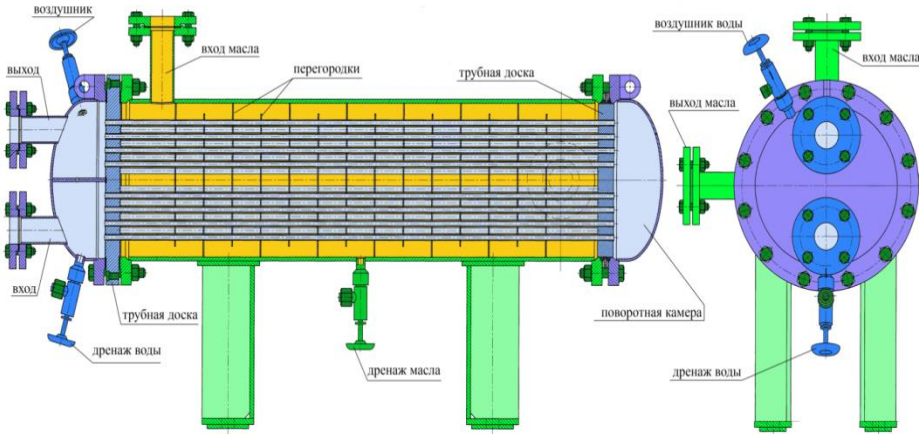


### Конструкция маслофильтра

Фильтр масляный предназначен для механической очистки масла от загрязнений. В корпусе фильтра установлен фильтрующий патрон, состоящий из сетчатых фильтрующих элементов с размером ячейки сетки 40 мкм.

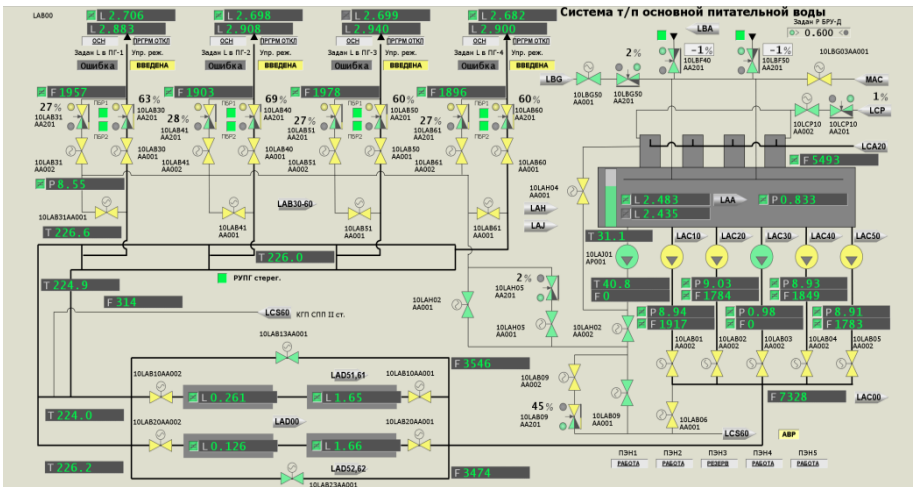
## Маслоохладитель

Маслоохладитель предназначен для поддержания температуры масла в диапазоне 30 - 45°С. Маслоохладитель прямоточный горизонтальный, состоит из корпуса, камеры водяной, крышки и трубного пучка с трубными досками, перегородками и трубками. Маслоохладитель имеет краны для слива воды, масла и выпуска воздуха из водяной камеры.

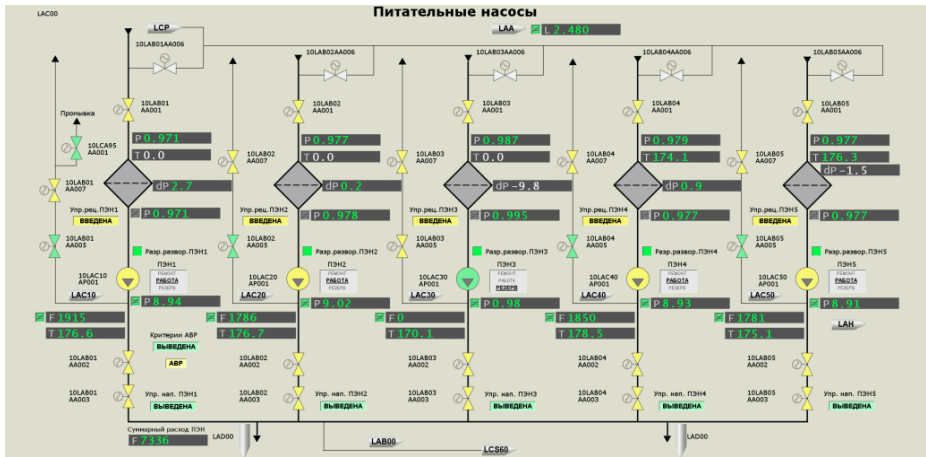


*Конструкция маслоохладителя*

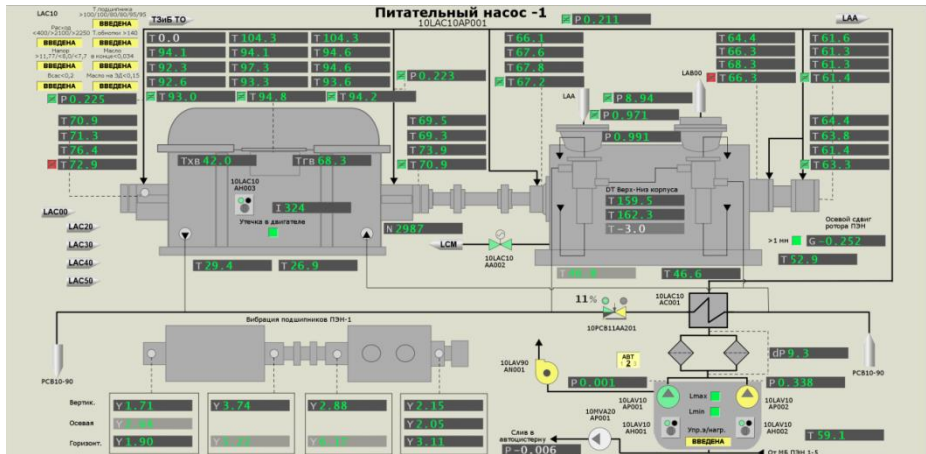
Контроль работы системы осуществляется с видеокладов СВБУ LAB00, LAC00, LAC10-50 и панели БПУ 10CWG07.



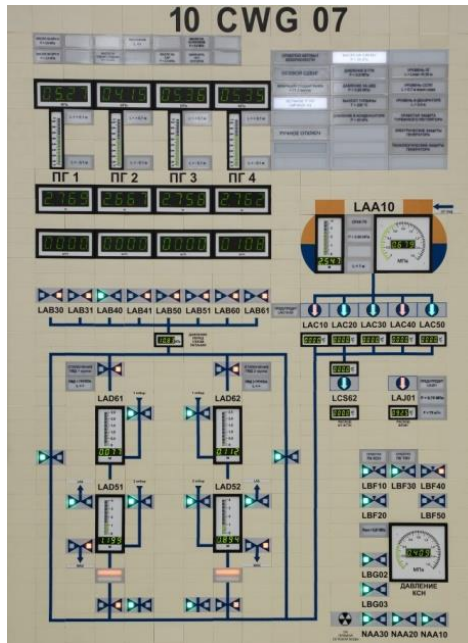
*Видеоклад СВБУ LAB00*



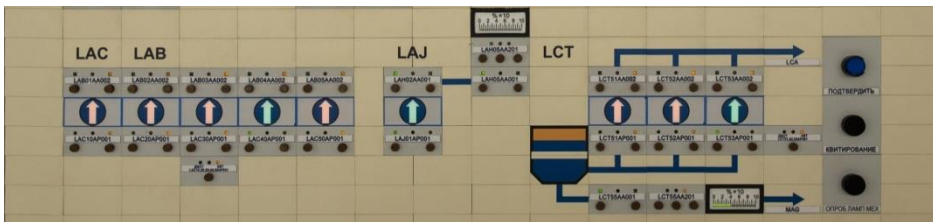
Видеокадр СБДУ LAC00



Видеокадр СБДУ LAC10



Панель БПУ 10CWG07



Пульт управления ПЭН



Пульт управления РУПГ

## 2.7 Система ЛАН LAJ вспомогательной питательной воды

### 2.7.1 Назначение

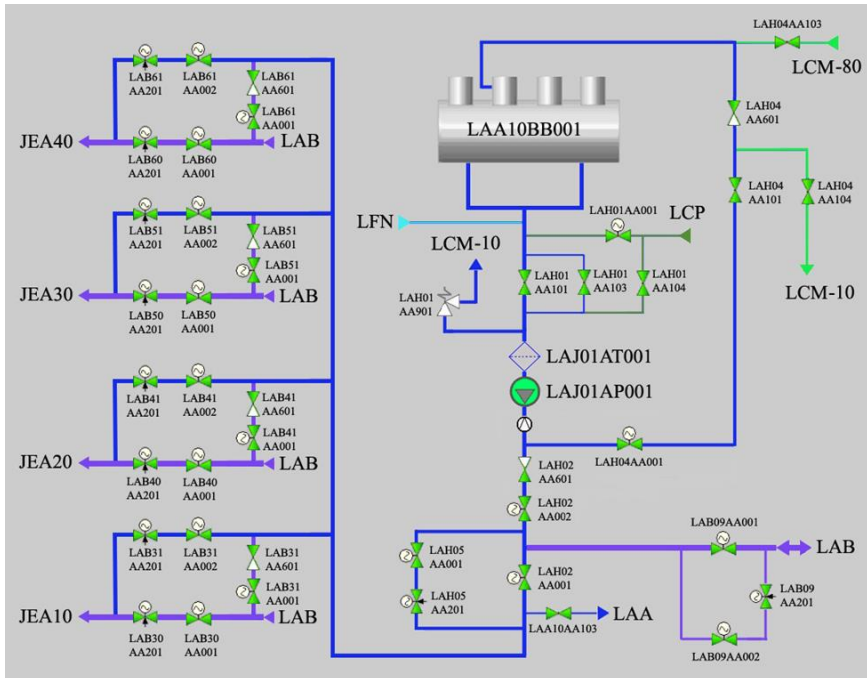
Система вспомогательной питательной воды предназначена для подачи питательной воды из деаэратора в парогенераторы в следующих случаях:

- в переходных режимах работы блока (пуск, останов, расхолаживание);
- при отказах, сопровождающихся ограничениями в подаче воды от системы основных питательных насосов при работе блока на мощности;
- при потере собственных нужд электропитания АЭС.

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

### 2.7.2 Описание технологической схемы

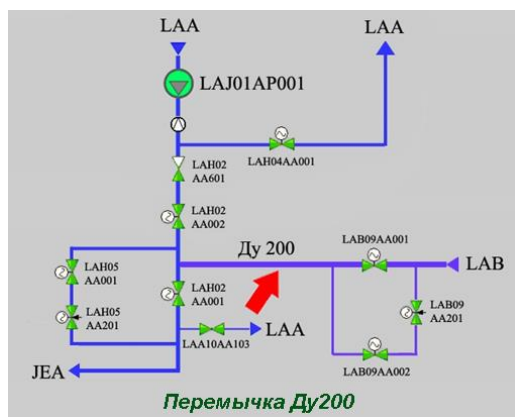
Система вспомогательной питательной воды состоит из насоса вспомогательной питательной воды, трубопроводов и арматуры.



*Схема системы вспомогательной питательной воды*

Питательная вода из торцевых частей деаэрата на всас ВПЭН отбирается двумя трубопроводами для снижения разности температур «верх-низ» по деаэрату в режиме предпусковой деаэрации.

На всасывающем трубопроводе насоса установлена запорная задвижка ЛАН01АА101 с байпасом ЛАН01АА103 для заполнения насоса и фильтр LAJ01АТ001. Насос системы имеет линию рециркуляции, которая заведена во вторую колонку деаэрата.



насоса системы имеет линию рециркуляции, которая заведена во вторую колонку деаэрата. Напорный трубопровод насоса заканчивается разводящим коллектором, от которого вода по четырем трубопроводам поступает к узлам питания парогенераторов. При этом присоединения трубопроводов к узлам питания предусмотрены в линии байпасных трубопроводов.

На напоре насоса установлен узел регулирования перепада давления с регулирующим клапаном ЛАН05АА201, предназначенным для поддержания «после себя» заданного перепада давлений 5,0 МПа на узле питания ПГ. В режиме расхолаживания по мере снижения давления в парогенераторах перепад давлений на байпасных регулирующих клапанах LAB31-61АА201 непрерывно увеличивается. Когда перепад превысит 4,9 МПа, регулирующий клапан ЛАН05АА201 должен вступать в работу и начать прикрываться с тем, чтобы дальнейший рост перепада давлений не происходил, т.е. регулирующий клапан ЛАН05АА201 избыточную часть перепада «берет на себя».

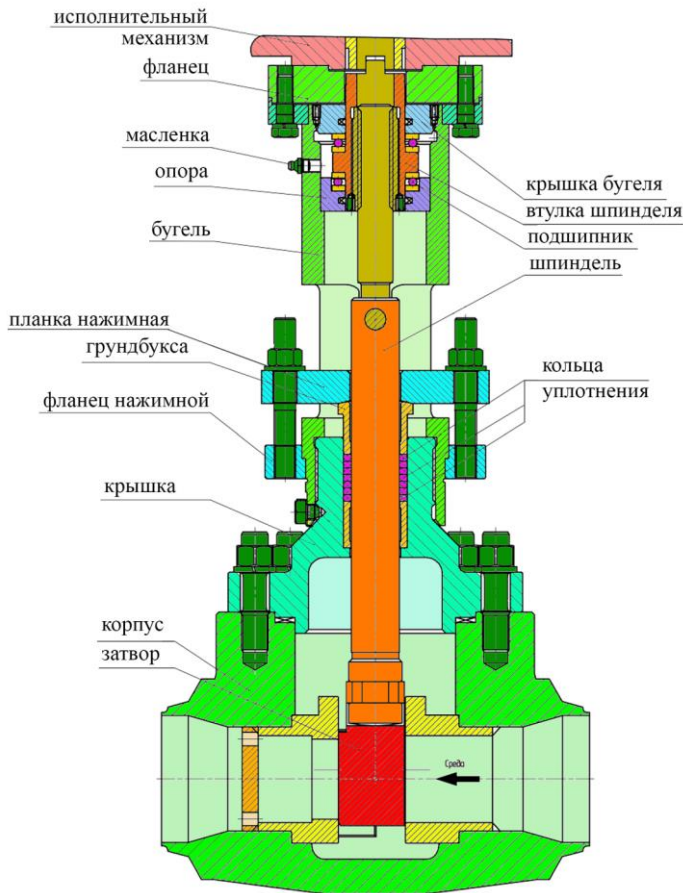
При необходимости увеличить расход питательной воды более 250 т/ч существует возможность подачи воды от питательных насосов через перемычку Ду200 между системами LAB и ЛАН.

На байпасе Ду50 задвижки LAB09АА001 предусмотрен регулирующий клапан LAB09АА201 для того, чтобы при пуске на этапе прогрева паропроводов свежего пара можно было перед включением основных питательных насосов подать горячую воду из деаэрата от ВПЭНа в трубопроводы питательной воды для прогрева.

На всасывающем трубопроводе насоса между задвижкой ЛАН01АА101 и корпусом насоса установлен предохранительный

клапан ЛАН01АА901. Он предназначен для предотвращения опресовки всасывающего трубопровода давлением питательной воды в случае пропуска обратного клапана при нахождении насоса в отключенном состоянии и закрытой задвижке ЛАН01АА101.

### 2.7.3 Пускоостановочный РУПГ



#### *Конструкция пускоостановочного РУПГ*

В состав клапана входят следующие основные части:

- а) корпус прямооточного типа. В корпус сварены седла, одно из которых выполнено с наплавкой уплотнительной поверхности.
- б) стойка, закрепленная на горловине крышки с помощью резьбового соединения;

в) ходовой узел, включающий в себя втулку ходовую, подшипники упорные, расположенные между внутренним буртом в голове стойки и кольцом упорным, фиксируемым винтами.

г) шпindel с закрепленным на нем посредством Т-образного паза затвором, контактирующим с наплавленной поверхностью выходного седла в закрытом положении. Верхний конец шпинделя имеет резьбовое окончание, сопрягаемое с втулкой резьбовой посредством трапецеидальной резьбы;

д) крышка с расположенным в ней узлом сальникового уплотнения «крышка – шпindel». Уплотнение происходит при натяжке пакета графитовых колец грундбуксой и планкой нажимной посредством гаек с шайбами, накрученных на шпильки, которые вкручены в отверстия стойки. Уплотнение крышки относительно корпуса происходит прокладкой посредством гаек, шайб и шпилек, вкрученных в корпус;

е) электропривод.

При поступлении управляющего сигнала включается в работу электропривод. Вращательное движение сопряженной с электроприводом втулки ходовой преобразуется в поступательное движение шпинделя с затвором. Затвор при своем перемещении открывает, либо закрывает проходное сечение в седле клапана, обеспечивая необходимый расход протекающей через клапан рабочей среды.

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

## 2.7.4 Насос ВПЭН

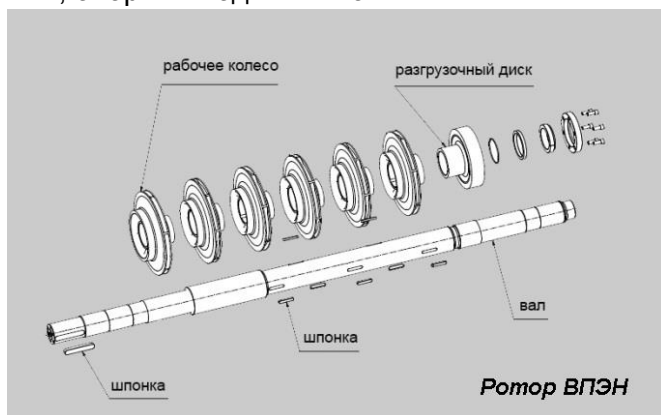


ВПЭН. Общий вид

Электронасосный агрегат KNX4-10.1-150-6-000 состоит из насоса фирмы «Sigma Group» (Чешская республика) и электродвигателя 1.KV 10450-2. Электродвигатель трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором фирмы «ATB SEVER doo» (Сербия). Передача крутящего момента от двигателя к насосу осуществляется через упругую пластинчатую муфту.

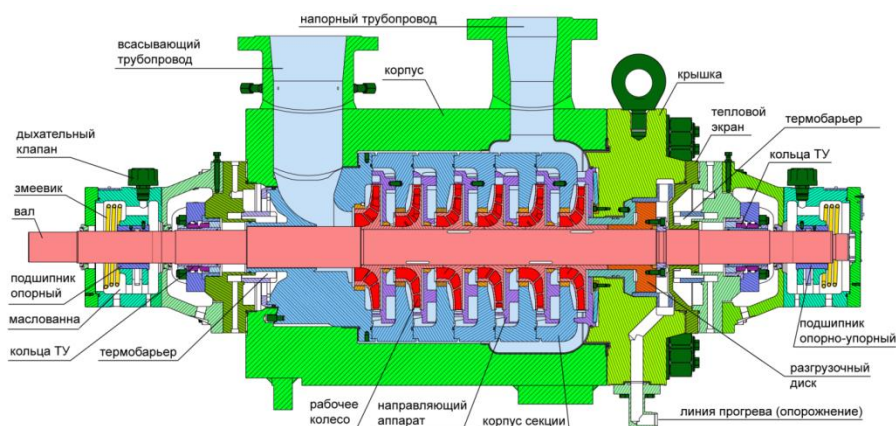
Насос в составе агрегата – центробежный, горизонтальный, двух-корпусной с выемной частью «патронного» типа, шестиступенчатый. Патрубки насоса направлены вертикально вверх. Входной и напорный патрубки – фланцевые. Базовой деталью насоса является наружный корпус, опирающийся на плиту четырьмя лапами, опорные поверхности которых расположены в горизонтальной плоскости, проходящей через ось насоса, и закрепленный к плите шпильками, гайками, шайбами.

Выемная часть состоит из ротора, секций с направляющими аппаратами, входной крышки, корпуса уплотнения, уплотнений торцовых, опорных подшипников.



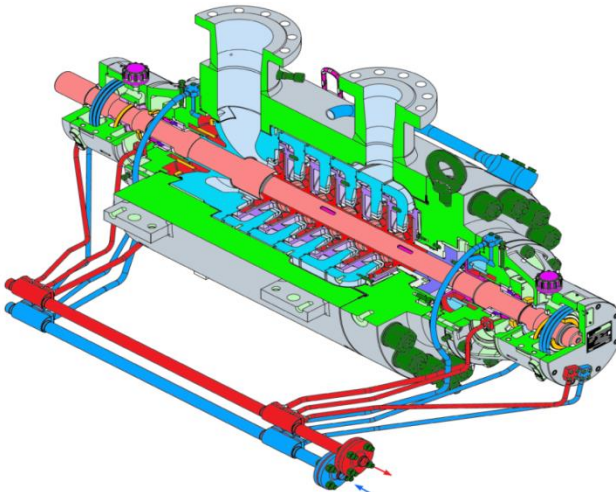
Ротор состоит из вала, колес рабочих, разгрузочного диска, колец, деталей уплотнений и крепежных деталей. Ротор опирается на подшипники скольжения с кольцевой смазкой. Осевое усилие, действующее на ротор,

воспринимается разгрузочным диском. Вал ротора уплотнен одинарными торцовыми уплотнениями с охлаждением и отмывкой камеры торцового уплотнения собственной перекачиваемой средой.

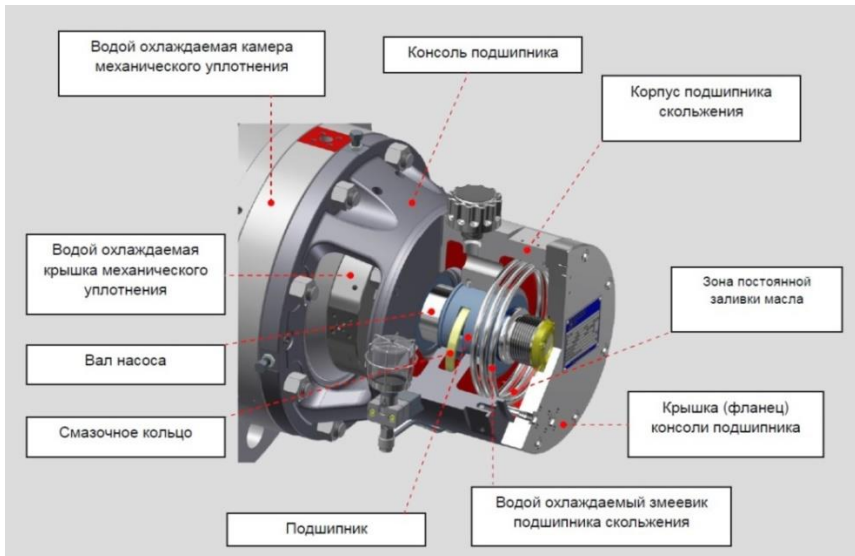


**Конструкция ВПЭН**

Питательная вода через входной патрубок поступает к рабочим колесам и направляющим аппаратам. В результате взаимодействия лопастей рабочего колеса с потоком жидкости происходит преобразование механической энергии привода в гидравлическую энергию потока жидкости. Из направляющего аппарата жидкость поступает в камеру отвода и напорный патрубок и далее в напорный трубопровод.



**ВПЭН. Разрез**



**Конструкция подшипника ВПЭН**

На охлаждение подшипников и уплотнений (на термобарьеры) агрегата предусмотрена подача воды от напора конденсатных насосов первой ступени. На охлаждение воздухоохладителя электродвигателя подается техническая вода системы РСВ. При останове всех конденсатных насосов, а также в случае потери электроснабжения собственных нужд для обеспечения этих функций подается обессоленная вода системы LCP10-80.

### Основные технические характеристики ВПЭН

Подача – 250 м<sup>3</sup>/ч

Напор – 920 м

Частота вращения – 2982 об/мин

Мощность приводного двигателя - 0,8 МВт

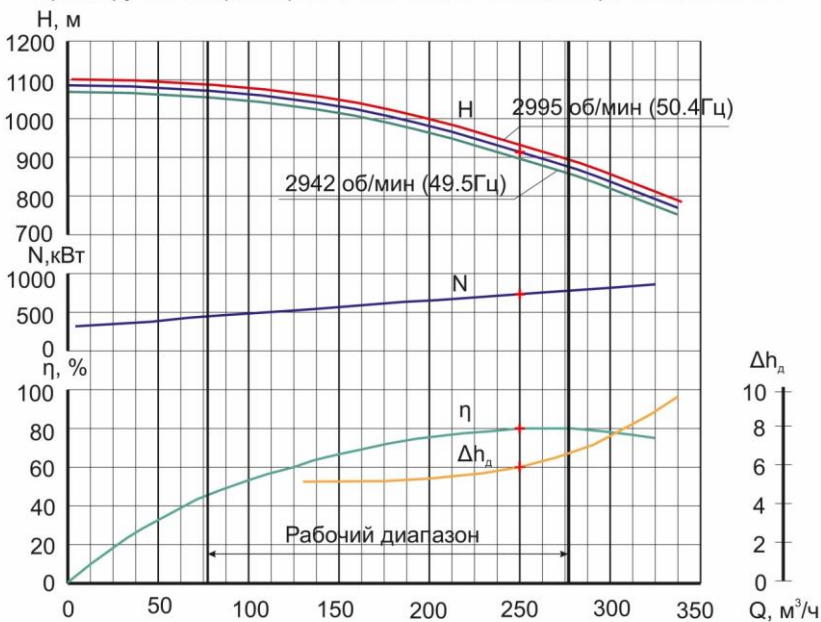
Температура рабочей среды – до 190 °С

Максимальное давление на выходе из насоса – 11,77 МПа

Допустимый кавитационный запас – 9 м в.ст.

### Характеристики насоса

Гарантируемые параметры: Q=250 м<sup>3</sup>/ч, H=920 м, обороты 2972 об/мин



Q - подача; H - напор; η - коэффициент полезного действия насоса;  
 N - мощность насоса, потребляемая;  
 Δh<sub>д</sub> - допустимый кавитационный запас;

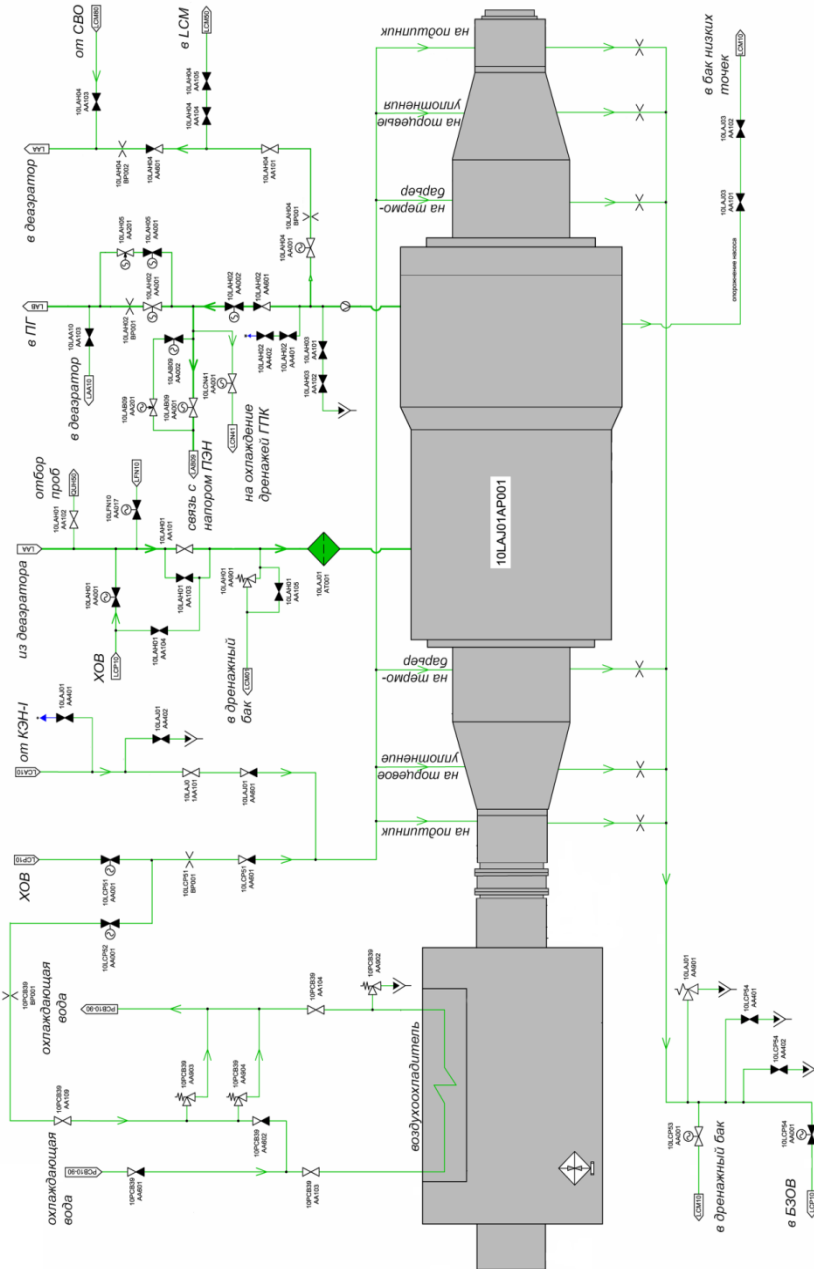
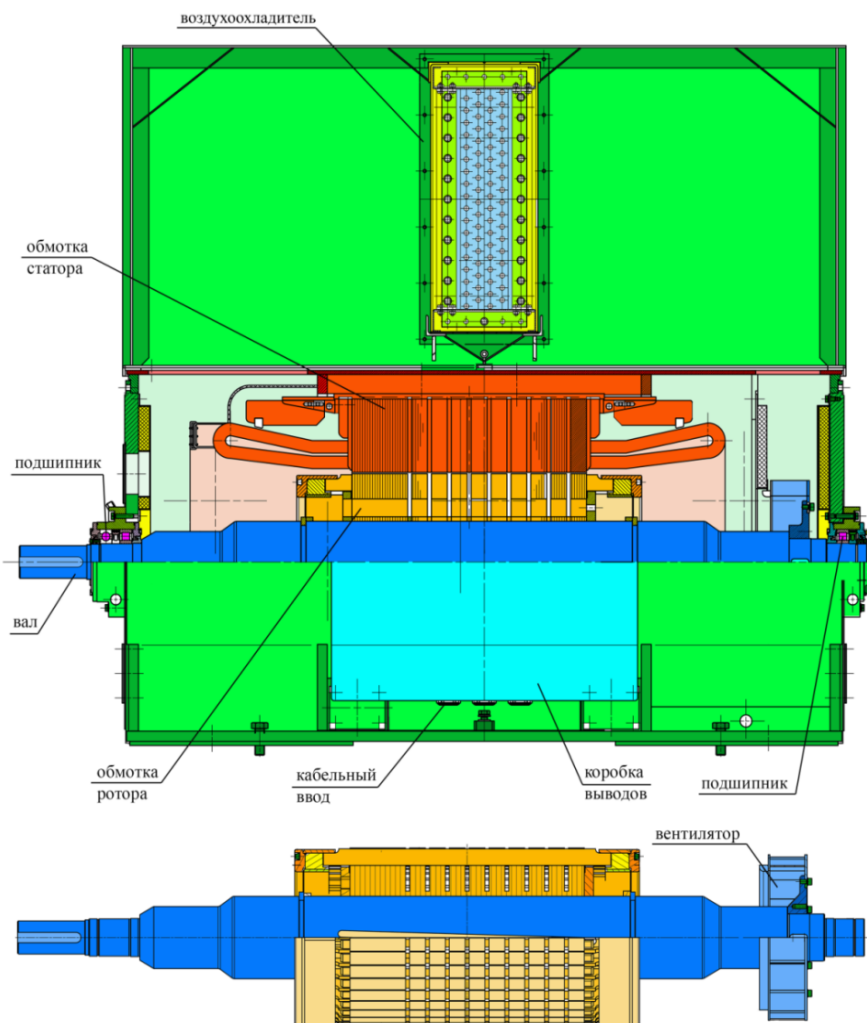


Схема обвязки ВПЭН

## 2.7.5 Электродвигатель ВПЭН



### *Конструкция электродвигателя ВПЭН*

Электродвигатель 1.KV 10450-2 – трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Обмотка статора электродвигателя изготавливается из электролитической профилированной меди путем укладки в два слоя.

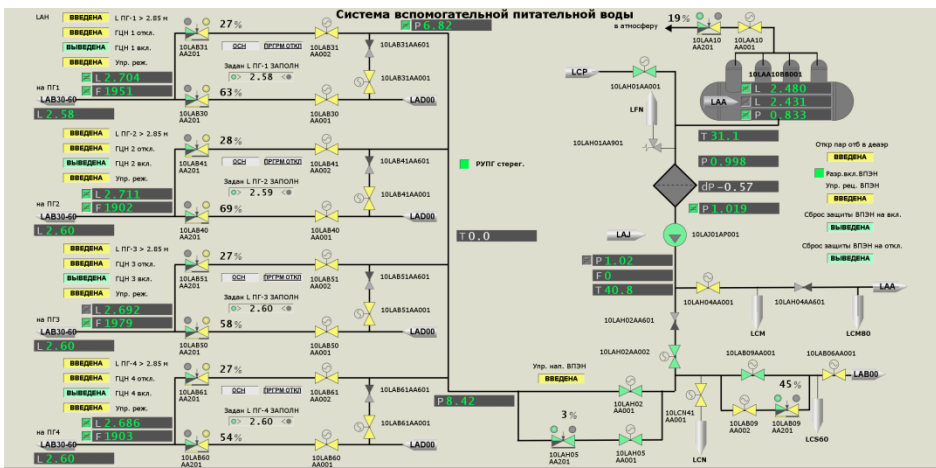
Ротор состоит из вала, сердечника, вентилятора электродвигателя. Вал опирается на подшипники качения с консистентной смазкой.

Электродвигатель имеет систему охлаждения, которая состоит из вентилятора и воздушно-водяного теплообменника.

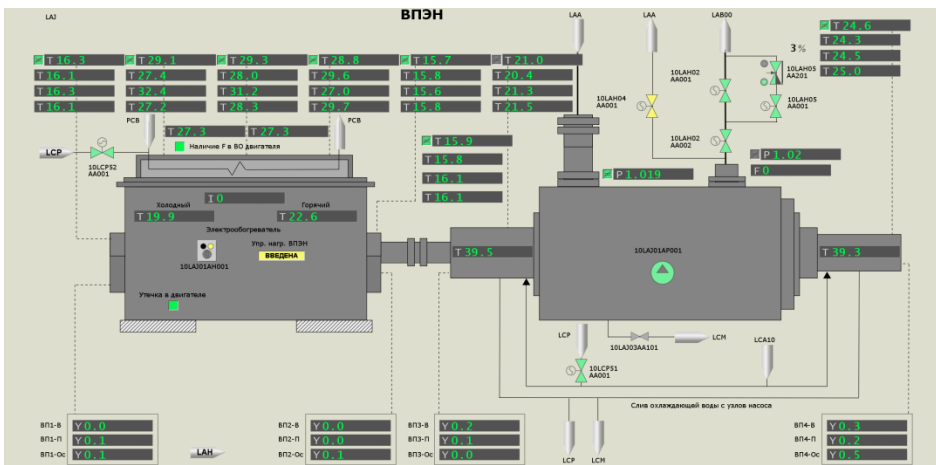
Электродвигатель рассчитан на кратковременную (до 60 с) работу с номинальной нагрузкой при снижении напряжения до 80% от номинальной величины и при номинальной частоте тока сети.

Электродвигатель обеспечивает два пуска подряд из холодного состояния, один пуск из горячего состояния, рассчитан на обеспечение 10000 пусков за весь срок эксплуатации.

Контроль работы системы осуществляется с видеокэдров СВБУ LAH, LAJ и панели БПУ 10CWG07.



Видеокэдр СВБУ LAH



Видеокэдр СВБУ LAJ



*Элементы панели и пульта управления*

## 2.8 Система LAD подогревателей высокого давления

### 2.8.1 Назначение

Система подогревателей высокого давления предназначена для:

- повышения КПД цикла путем подогрева питательной воды в подогревателях высокого давления паром из отборов турбины с минимальным недогревом до температуры насыщения при давлении пара, равном давлению в камере отбора турбины к соответствующему подогревателю;
- отвода конденсата греющего пара из корпусов подогревателей и поддержание заданного уровня КГП в корпусах;
- отвода воздуха при пуске блока, а также неконденсирующихся газов в процессе работы из парового пространства корпусов подогревателей.

### 2.8.2 Описание технологической схемы

Система регенерации высокого давления представляет собой две ступени подогрева питательной воды в поверхностных подогревателях высокого давления камерного типа. Подогреватели устанавливаются параллельно в две группы по два аппарата. В каждой группе по ходу питательной воды устанавливается ПВД-5, за ним ПВД-6.

Отбор пара в ПВД-6 выполнен из 1-го отбора за 2-й ступенью ЦВД, в ПВД-5 - из 2-го отбора за 3-й ступенью ЦВД. На линиях отборов установлены обратные клапаны типа КОС, а также запорные задвижки перед каждым из ПВД.

По водяной стороне ПВД-5 и ПВД-6 (каждая группа) могут быть отключены, и блок может работать с пропуском питательной воды по одной группе и по байпасу другой, или только по байпасам Ду600 обеих групп ПВД.

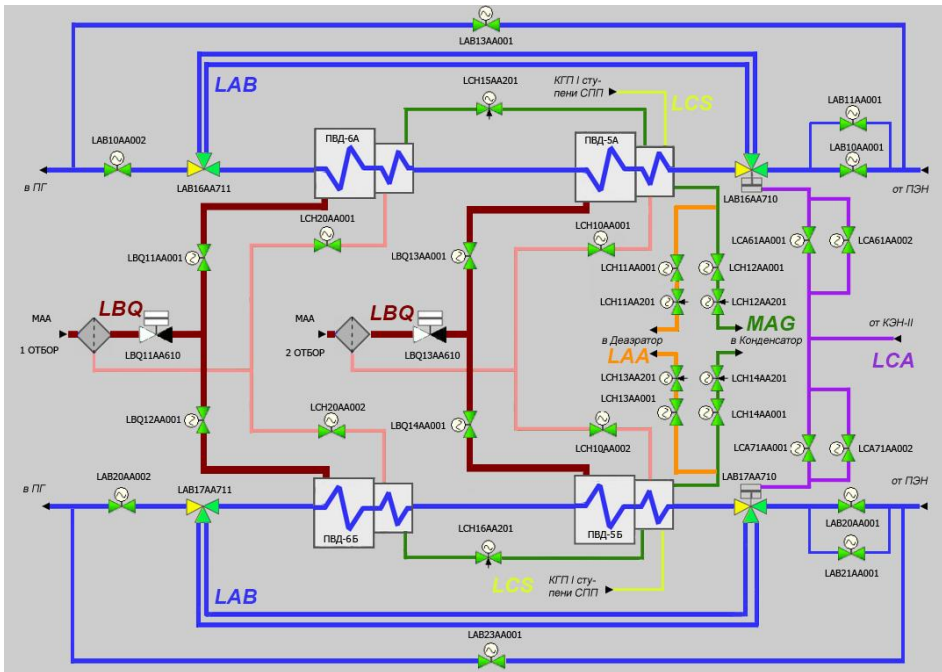


Схема ПВД

В охладитель дренажа каждого из ПВД сливается сепарат греющего пара из линейных сепараторов, установленных в соответствующих отборах. Помимо того, в охладитель дренажа ПВД-5 сливается конденсат греющего пара 1-й степени перегрева СПП (из конденсатосборников первой степени).

Конденсат греющего пара сливается из ПВД-6 каскадно в ПВД-5. Из ПВД-5 конденсат отводится в деаэрактор или в конденсатор (в пусковых режимах и режимах малых нагрузок). ПВД-5 и ПВД-6 имеют устройства для отвода воздуха в деаэрактор и конденсатор.

### 2.8.3 Конструкция подогревателей

ПВД-5 представляет собой вертикальный кожухотрубчатый теплообменный аппарат с нижним расположением трубной доски и поверхностью теплообмена, выполненной из П-образных труб. Подогреватель состоит из трех основных узлов: трубная система, камера водяная, корпус. Трубная система состоит из:

- трубной доски;
- П-образных теплообменных труб, закрепленных в трубной доске вальцовкой и сваркой;

- каркаса, выполненного из труб, и приваренных к ним поперечных дистанционирующих перегородок.

Трубная система конструктивно разделена на две зоны: зону конденсации пара и зону охлаждения конденсата. Под зону охлаждения конденсата (ОК) выделена часть теплообменных труб первого хода по питательной воде. Внутри «корпуса» ОК установлены десять параллельных перегородок, обеспечивающих десять ходов конденсата в охладителе конденсата.

Трубная система размещена в облегающем ее кожухе, имеющем «окно» по всей высоте подогревателя для входа пара на трубы второго хода поверхности нагрева. Для организации движения потока пара и его конденсата в трубной системе предусмотрены горизонтальные дистанционирующие перегородки, разделяющие всю трубную систему на отсеки. На поверхности трубной доски установлены:

- штуцер для опорожнения корпуса;
- штуцер для выхода неконденсирующихся газов;
- штуцер для выхода воздуха из трубного пространства;
- штуцер под водоуказательный прибор.

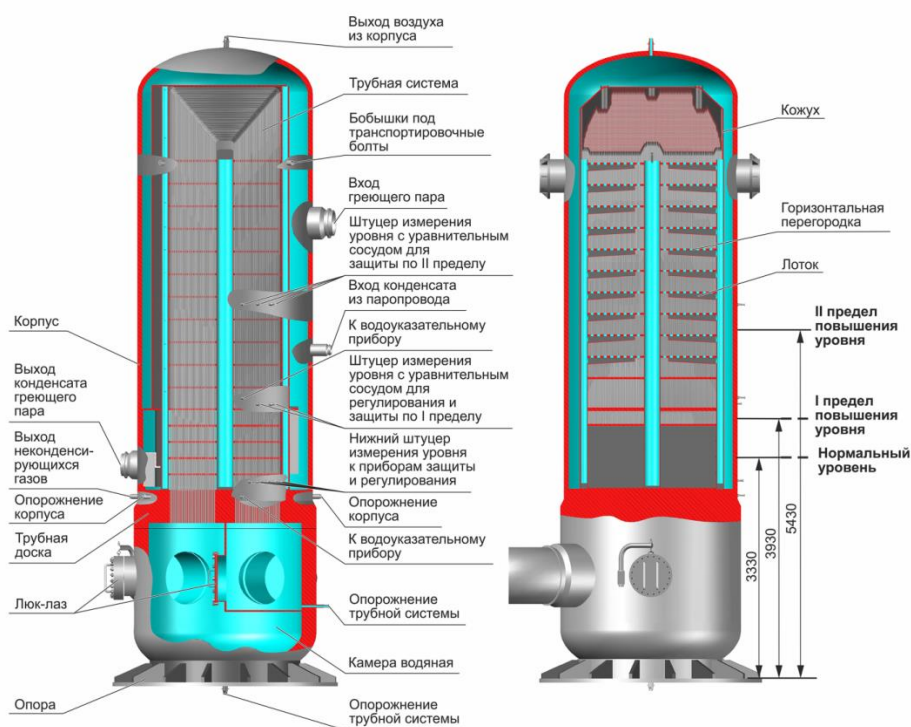
Камера водяная расположена в нижней части подогревателя и включает в себя цилиндрическую обечайку и эллиптическое днище.

На водяной камере, разделенной внутренней перегородкой, установлены патрубки входа и выхода питательной воды, люк-лаз для внутреннего осмотра водяной камеры. На обечайке камеры и эллиптическом днище установлены штуцера для опорожнения трубной системы. На внутренней вертикальной перегородке, разделяющей водяную камеру по питательной воде на входную и выходную, установлен технологический люк-лаз.

Корпус подогревателя представляет собой сварную конструкцию из цилиндрических обечаек и эллиптического днища. На поверхности корпуса установлены:

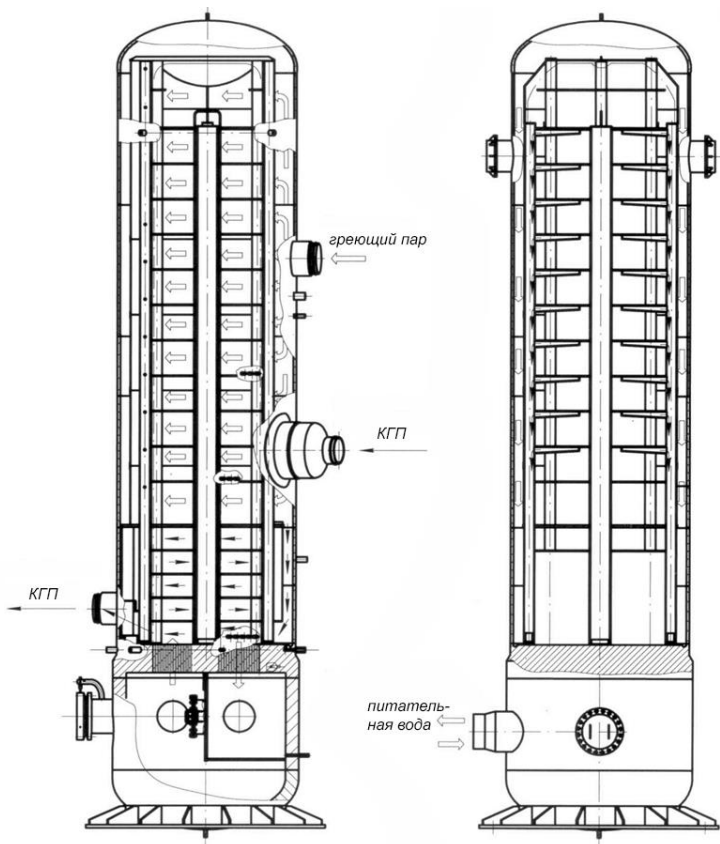
- патрубок для входа греющего пара;
- патрубок для выхода конденсата греющего пара;
- патрубок для входа конденсата греющего пара I ступени СПП (ПВД-5);
- патрубок для входа конденсата греющего пара из ПВД-6 (ПВД-5);
- патрубок для входа конденсата из паропровода;

- штуцер для выхода воздуха из корпуса;
- штуцер для входа неконденсирующихся газов из ПВД-6 (ПВД-5);
- штуцера под водоуказательный прибор;
- штуцера к приборам защиты и регулирования;
- четыре бобышки под раскрепляющие болты, обеспечивающие жесткость трубной системы при транспортировке подогревателя;
- транспортировочные цапфы.



### Конструкция ПВД

При работе питательная вода поступает через патрубок во входную часть камеры, а из неё в трубы поверхности теплообмена, в которых совершает два хода и выводится из подогревателя через патрубок. При своем движении в трубах питательная вода нагревается за счет конденсации пара и переохлаждения конденсата.



### Направления потоков ПВД-5,6

Поток греющего пара поступает в зазор между корпусом подогревателя и кожухом трубной системы. Равномерно распределяясь по высоте в этом зазоре, греющий пар через «окно» в кожухе поступает в трубную систему, где происходит его конденсация.

Конденсат греющего пара через зазор, имеющийся между кожухом и кромкой горизонтальных перегородок, стекает в зону охлаждения конденсата.

В центральной части горизонтальных перегородок предусмотрены отверстия, под которыми установлены лотки с наклонными днищами. По этим элементам, соединенным с каркасными трубами, также осуществляется отвод конденсата с перегородок в зону охлаждения конденсата. В охладителе конденсата конденсат охлаждается до расчетной температуры. Неконденсирующиеся газы отводятся из подогревателя через штуцер специальным устройством, состоящим

из вертикальной перфорированной трубы, установленной на периферии трубного пучка.

Отвод воздуха при заполнении или впуск воздуха при опорожнении трубной системы и корпуса подогревателя осуществляется через соответствующие воздушники.

Опорожнение корпуса и трубной системы осуществляется через соответствующие дренажи.

#### Технические характеристики

Параметр	ПВД-5	ПВД-6
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	3460	2360
Расход питательной воды, т/ч	3100	3100
Расход пара, т/ч	231	139,7
Давление пара, МПа	1,887	2,617
Температура питательной воды на входе, °С	173,1	207,5
Температура питательной воды на выходе, °С	207,5	224,5
Подогрев, °С	35	17
Масса сухая, т	140,5	119,75

#### 2.8.4 Защита от повышения уровня

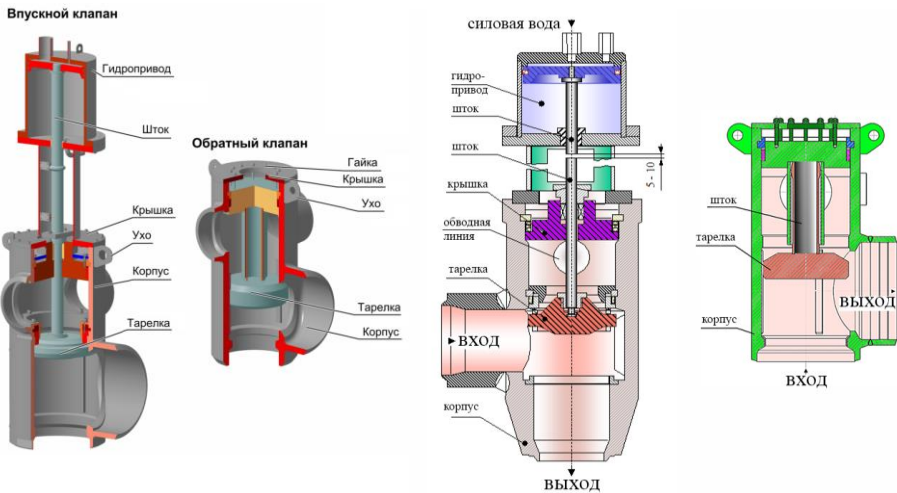
Защита ПВД от повышения уровня воды в корпусах для каждой из групп ПВД обеспечивается обводом с быстродействующим защитным устройством (БДЗУ). БДЗУ состоит из отсечного (впускного) клапана на входе в группу ПВД, обратного клапана на выходе из группы и двух параллельных обводных трубопроводов. Управление быстродействующими клапанами осуществляется путем подачи конденсата к гидроприводу соответствующего клапана.

При нормальной работе питательная вода поступает через впускной клапан в трубную систему подогревателей и, пройдя обратный клапан, направляется в ПГ.

При повышении уровня в паровом пространстве ПВД открывается арматура на линии подачи основного конденсата к поршню гидропривода впускного клапана. Сервомотор перемещает тарелку клапана, закрывая тем самым подвод питательной воды в подогреватели и направляя ее по обводной линии. Тарелка обратного клапана при этом опускается из-за отсутствия поддерживающего ее тока воды, и группа подогревателей оказывается отключенной от линии питательной воды. Одновременно с этим закрывается арматура на

входе-выходе питательной воды в аварийную группу, открывается байпас по питательной воде, закрывается арматура на паропроводах к ПВД.

Для заполнения трубной системы ПВД перед включением их в работу открывают воздушники по питательной воде и арматуру на линии заполнения. После появления сплошной струи воды воздушники закрывают.

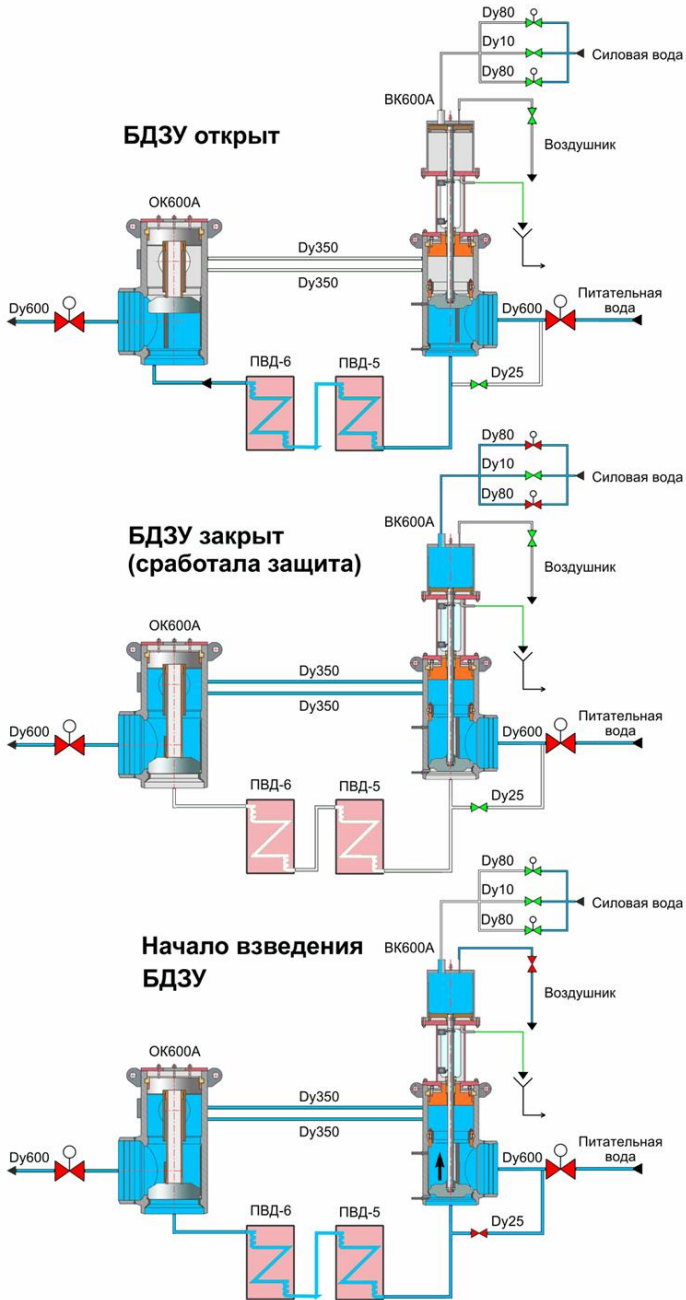


### Конструкция БДЗУ



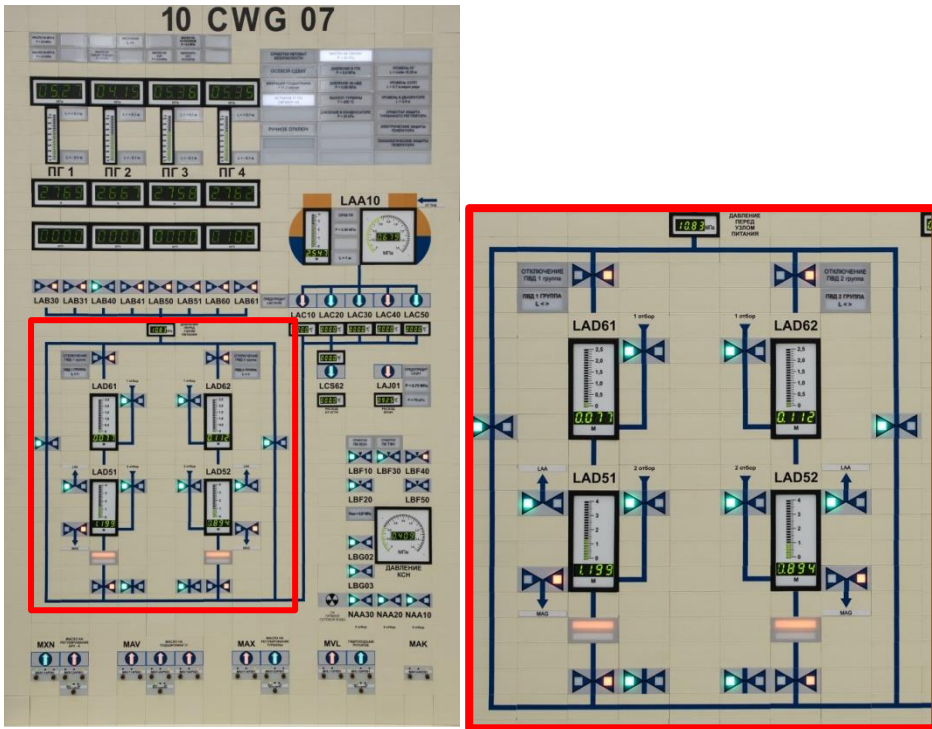
### Впускной и обратный клапаны БДЗУ

Для взведения впускного клапана открывают воздушник сервомотора. Происходит всплытие тарелки впускного клапана из-за разности сил, действующих на тарелку, вследствие разности площадей под тарелкой и над ней ( $S_1 > S_2$ ).

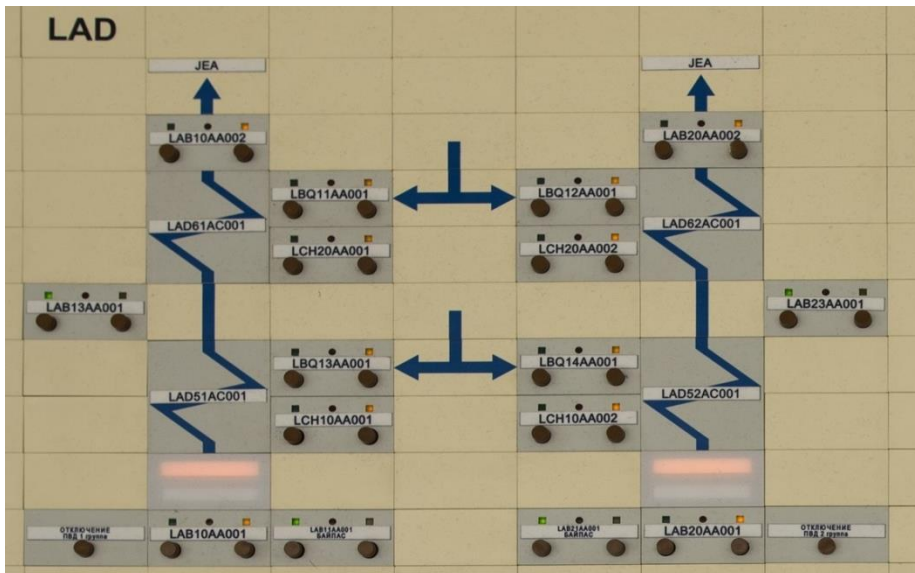


Принцип работы БДЗУ





Панель БПУ 10CWG07



Пульт

## 2.9 Система LCM дренажей здания турбины

### 2.9.1 Назначение

Система дренажей здания турбины LCM10-70 предназначена для:

- сбора дренажей 2-го контура в дренажные баки с последующим возвратом их в контур;
- снижения параметров «горячих» дренажей (дренажей высокого и низкого давления), для выделения из них паровой составляющей и последующей конденсации ее, для доохлаждения конденсата пара перед поступлением его в дренажные баки;
- минимизации потерь тепла и конденсата в условиях работы блока на мощности;
- вывода «грязного» конденсата из цикла 2-го контура при пуске блока;
- опорожнения 2-го контура, включая межтрубные пространства ПГ, при выводе блока в ремонт.

Основные задачи системы LCM10-70:

- полная конденсация паровой составляющей «горячих» дренажей в условиях работы блока на мощности и пуска блок;
- автоматическое поддержание уровня в дренажных баках в условиях широкого диапазона изменения расхода воды, поступающей в баки;
- охлаждение конденсата дренажей перед поступлением его в дренажные баки до температуры не более 80 °С;
- периодическая подпитка гидрозатвора на выхлопном трубопроводе расширителя продувки конденсатом турбины (при работе блока на мощности) или обессоленной водой (при пуске);
- исключение потерь конденсата, связанных с поверхностным испарением воды в дренажных баках и уносом пара в атмосферу.

### 2.9.2 Состав

В состав системы входят:

- три дренажных насоса LCM10,20,30AP001;
- два дренажных бака LCM01BB001,002;
- расширитель дренажей LCM50BB001;
- охладитель выпара расширителя дренажей LCM52AC001;
- два охладителя конденсата LCM51AC001,002;
- бак «низких» точек LCM03BB001;
- насос бака «низких» точек LCM04AP001;
- водоструйный эжектор LCM05BN001;

- арматура и трубопроводы.

### 2.9.3 Описание технологической схемы

Дренажи здания турбины в зависимости от параметров сбрасываемой среды разделены на четыре группы. Первую группу составляют «горячие» дренажи высокого давления (дренажи паропроводов свежего пара):

- отвод конденсата от влагоотделителя LCN;
- дренажи с трубопроводов сброса КГП КС-1,2 ступеней СПП в деаэратор;
- дренажи с трубопроводов отвода неконденсирующихся газов из КС-1,2 ступеней СПП в деаэратор 10LAA10BV001.

Вторая группа – это «горячие» дренажи низкого давления (не более 1,3 МПа):

- дренаж с рециркуляции ВПЭН;
- с трубопроводов прогрева ПЭН;
- дренаж с трубопровода предпусковой промывки КПТ;
- дренаж от деаэратора продувки РО;
- дренажи с КСН;
- дренажи с трубопровода подачи пара на ТФУ;
- дренаж с трубопровода подачи пара на уплотнения турбины;
- опорожнение деаэратора;
- дренаж трубопровода подачи пара на уплотнения турбины;
- дренажи с трубопровода III отбора на деаэратор;
- дренаж с трубопровода подачи пара в спецкорпус и на БЗОК;
- дренаж с трубопровода подачи пара на ТФУ.

Дренажи первой и второй групп заведены в расширитель.

В третью группу объединены «холодные» дренажи, имеющие температуру ниже 100 °С, которые заведены непосредственно в дренажный бак:

- дренажи с всасывающих трубопроводов ПЭН;
- с выхлопов ПК всасывающих трубопроводов ПЭН;
- дренажи с всасывающего трубопровода ВПЭН;
- с выхлопа ПК всасывающего трубопровода ВПЭН;
- слив охлаждающей воды с сервомоторов клапанов турбины;
- слив охлаждающей воды с узлов ВПЭН;
- дренажи с корпусов ПНД-1, ПНД-3, ПНД-4;

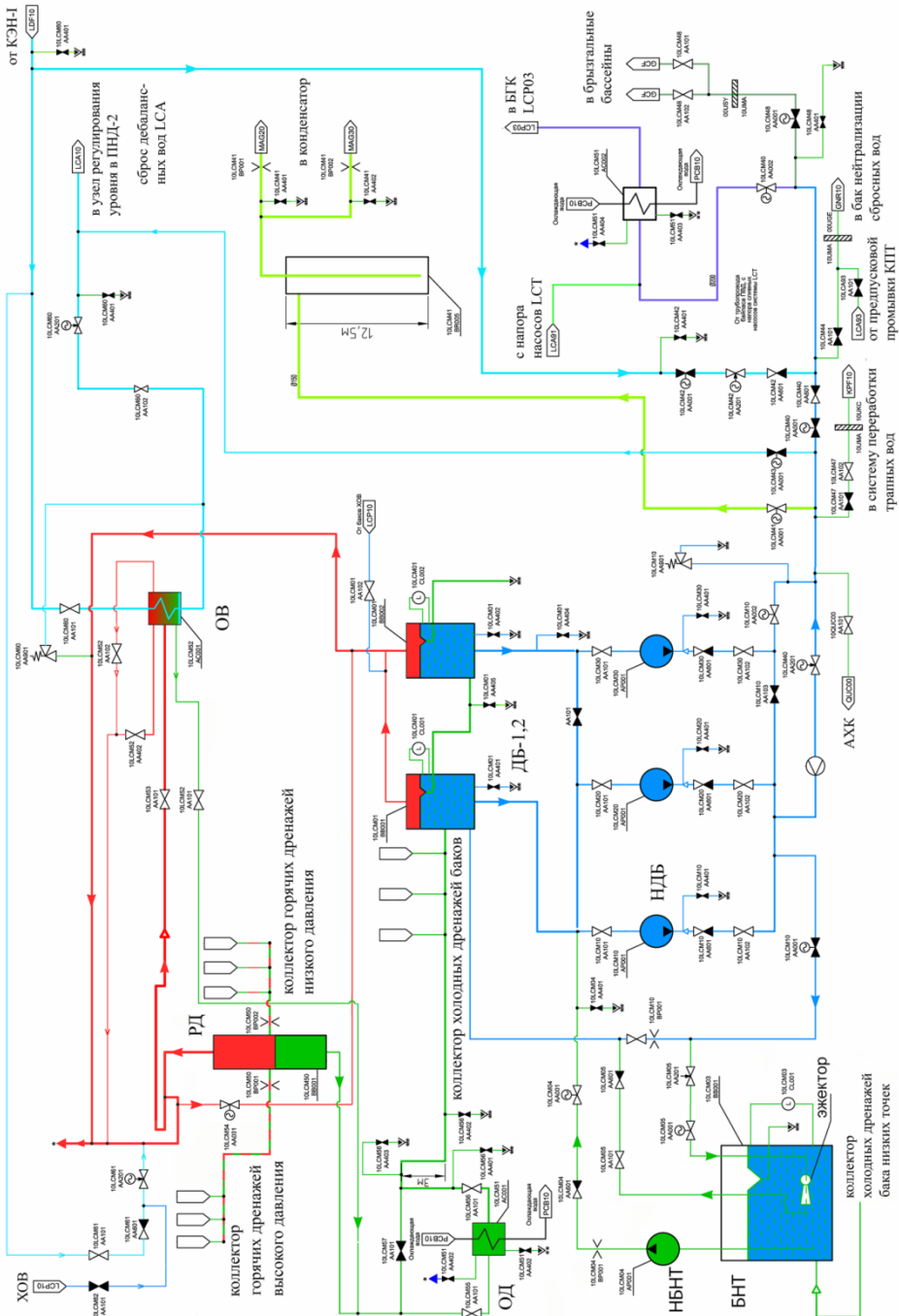
- дренажи с трубопроводов основного конденсата ПНД-3, ПНД-4;
- опорожнение корпусов СПП;
- дренажи с ПВД (по пару и по питательной воде);
- отвод воды от термобарьеров ПЭН;
- дренажи с трубопроводов основного конденсата на всасе КЭН-1 и КЭН-2;
- дренажи ВКВН.

Наконец, четвертую группу составляют «холодные» дренажи низкого давления с температурой до 80 °С, прием которых в дренажные баки невозможен из-за условия высотного расположения:

- дренажи с трубопроводов прогрева ПЭН;
- с трубопроводов системы отбора проб 2-го контура и БОУ (QUH);
- с трубопроводов АХК системы продувки ПГ (QUK);
- с трубопроводов АХК питательной воды (QUA);
- с трубопроводов АХК основного конденсата (QUC);
- дренажи цилиндров гидроприводов впускных клапанов БДЗУ;
- слив воды с уплотнений насосов LCT;
- слив воды с уплотнений КЭН-1,2 ступеней;
- с вентиляторов КПУ;
- с трубопровода отсоса после КПУ;
- с систем охлаждения генератора (МКФ01,51);
- дренажи с узлов регулирования уровня в ПНД-2 и деаэраторе;
- дренаж с трубопровода слива КГП с ПНД-3 в ПНД-2;
- слив с трубопроводов питания мембранных сервоприводов КОС;
- дренаж с системы уплотнений турбины.

Данные потоки заведены в бак низких точек.

Для конденсации пара, образующегося в расширителе, предусмотрен охладитель выпара, рассчитанный на конденсацию максимально возможного поступления пара в него при пуске блока (~ 40 т/ч).



Технологическая схема системы дренажей машзала

Поскольку в условиях работы блока на мощности количество образующегося в расширителе дренажей пара не превышает 5 т/ч, на стороне охлаждающей среды (основной конденсат турбины) предусмотрен регулирующий клапан LCM52AA201 для соответствующего снижения расхода, а также для поддержания давления в расширителе дренажей не более 0,07 МПа. Расширитель дренажей и охладитель выпара имеют общий трубопровод Ду400 выпара в атмосферу, который оснащен гидрозатвором высотой 2,9 м. Гидрозатвор заполняется основным конденсатом или обессоленной водой и предотвращает выход пара в атмосферу. Для удаления неконденсирующихся газов из охладителя выпара предусмотрена линия Ду15, соединяющая его с атмосферой через выхлопной трубопровод после гидрозатвора.

Вода из расширителя и конденсат из охладителя выпара после объединения в общий трубопровод Ду200 направляются в дренажные баки через охладитель конденсата LCM51AC001, в котором в качестве охлаждающей жидкости используется вода системы охлаждения потребителей здания UMA PCB10-90. Основная задача охладителя конденсата LCM51AC001 исключить на входе в дренажный бак образование двухфазной среды и связанные с ней вибрацию трубопроводов и гидроудары. Охладитель конденсата установлен ниже дренажных баков, чтобы на пути жидкости образовался гидрозатвор высотой 3,0 м. Все охладители со стороны выхода охлаждающей среды оснащены предохранительными клапанами для предотвращения их термоопрессовки.

К дренажному трубопроводу после охладителя конденсата LCM51AC001 подсоединены трубопроводы «холодных» дренажей. После смешения потоков охлажденная вода поступает в дренажный бак LCM01BV001 под уровень воды. В дренажный бак LCM01BV002 вода может поступать только из дренажного бака LCM01BV001 через его переливной трубопровод при закрытой задвижке LCM01AA101 на всасывающем коллекторе дренажных насосов.

Для снижения потерь конденсата с выпаром из дренажных баков их «дыхательные» линии отделены от атмосферы гидрозатвором высотой 2,9 м, т.е. они присоединены к выхлопной линии расширителя продувки до его гидрозатвора. Для надежного отключения дренажных баков от атмосферы в переливном трубопроводе предусмотрен гидрозатвор высотой в 5 м. Такое техническое решение в условиях работы блока ставит бак под незначительное избыточное давление (1-2 м.вод.ст.).

В схеме предусмотрено три однотипных дренажных насоса, два из них LCM10,20AP001 предназначены для откачки воды из дренажного бака LCM01BB001, третий насос LCM30AP001 – для откачки из дренажного бака LCM01BB002. В стационарном режиме работы блока постоянно в работе находится один дренажный насос LCM10AP001 или LCM20AP001, второй – в резерве. На общем напорном трубопроводе этих насосов установлен регулирующий клапан LCM40AA201, предназначенный для регулирования уровня в дренажном баке LCM01BB001. К общему напорному трубопроводу насосов LCM10,20AP001 присоединена линия рециркуляции. Насос LCM30AP001 работает периодически, когда происходят сбои в системе регулирования уровня в дренажном баке LCM01BB001.

Дренажные насосы LCM10,20AP001 могут работать как в режиме аналогового регулирования уровня, т.е. в режиме поддержания постоянного уровня в баке (большие расходы), так и в режиме дискретного регулирования, т.е. в режиме «включения - выключения» (малые расходы). В первом случае, при уменьшении расхода воды регулирующим клапаном до минимально допустимого по условиям работы насоса, автоматически открывается линия рециркуляции, во втором случае РК LCM40AA201 открыт полностью. Дренажный насос LCM30AP001, откачивающий воду из дренажного бака LCM01BB002, предусмотрен для работы только в режиме дискретного регулирования уровня в баке LCM01BB002.

В случае потери электроснабжения собственных нужд АЭС дренажные насосы обесточиваются, но вследствие срабатывания блокировок практически прекращаются также и потоки пароводяной среды в расширитель дренажей, и потоки воды в дренажные баки.

В случае выхода из строя обоих насосов LCM10,20AP001, откачивающих воду из дренажного бака LCM01BB001, последний переходит в режим работы с переливом в дренажный бак LCM01BB002, и функцию возврата дренажей выполняет третий насос LCM30AP001.

Вода из дренажных баков может быть возвращена во второй контур (в ПНД-2 или в конденсатор) при удовлетворительных химических анализах ее качества, либо направлена через охладитель конденсата LCM51AC002 в бак «грязного» конденсата системы LCP10-80. На трубопроводе возврата воды в конденсатор турбины предусмотрен гидрозатвор высотой 12 м, предотвращающий ухудшение вакуума в конденсаторе турбины в случае отключения дренажных насосов. Охлаждение воды перед поступлением ее в бак «грязного» конденсата предусмотрено для того, чтобы температура воды не

препятствовала последующей ее очистке на фильтрах автономной обессоливающей установки системы LDB.

В схеме предусмотрены дополнительные линии для вывода «грязного» конденсата из второго контура:

- линия Ду150 мм в систему нейтрализации сбросных вод после химических промывок и консервации оборудования (GNR10-40), необходимая для вывода из второго контура промывочных и консервирующих растворов;
- линия Ду80 мм в систему переработки трапных вод KPF10-60 для вывода среды в случае попадания во второй контур радиоактивности.

Для сброса дебалансных вод из второго контура под напором КЭН 1 ступени имеется линия Ду125 в бак «грязного» конденсата LCP03BB001 с электроприводной арматурой LCM42AA001 и регулирующей арматурой LCM42AA201. В случае невозможности принять весь объем дебалансных вод в БГК LCP03BB001, конденсат сбрасывается в брызгальные бассейны 11-12URR.

### 2.9.4 Расширитель дренажей

Расширитель дренажей представляет собой сварной вертикальный цилиндрический сосуд, состоящий из двух обечаек с приваренными к ним эллиптическими днищами. На верхней обечайке установлен люк и технологические патрубки. Расширитель устанавливается на четырех лапах. Внутри расширителя расположен завихритель для отделения пара от воды.

Объем – 5,5 м<sup>3</sup>.

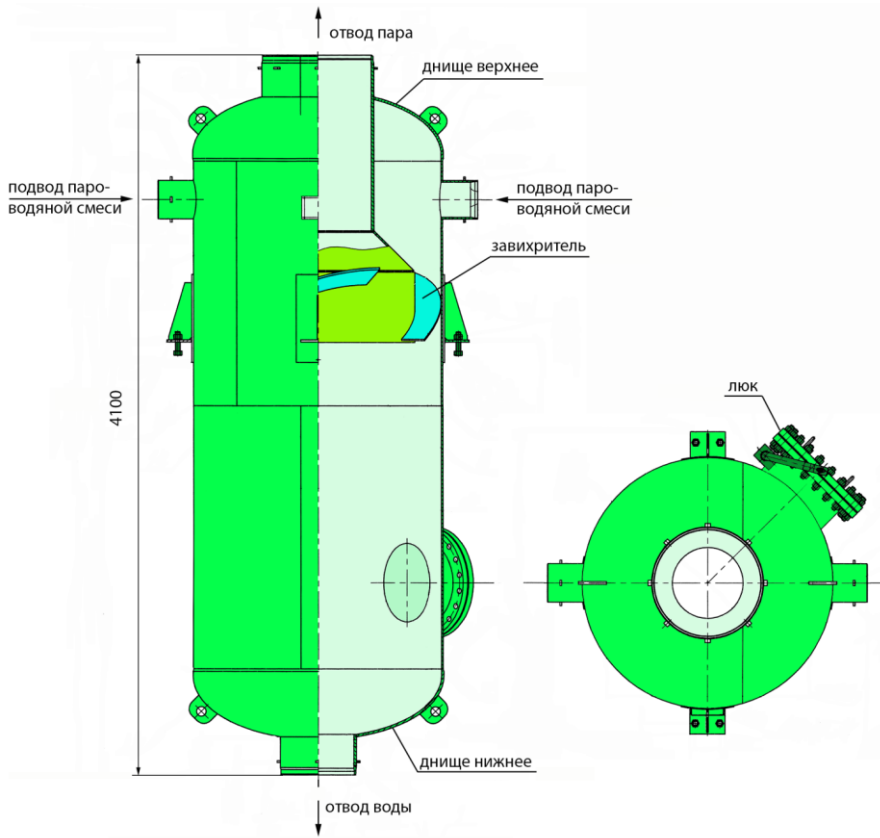
Давление рабочее – 0,07 МПа.

Давление расчетное – 0,8 МПа.

Температура рабочая – 115 °С.

Температура расчетная – 170 °С.

Разработчик – ООО «Полесье».



### *Конструкция расширителя дренажей машзала*

#### 2.9.5 Охладитель конденсата

Охладитель конденсата представляет собой кожухотрубный теплообменник. В трубках течет охлаждающая вода системы охлаждения потребителей здания UMA РСВ10-90, в межтрубном пространстве – конденсат после расширителя дренажей.

Поверхность нагрева – 16,2 м<sup>2</sup>.

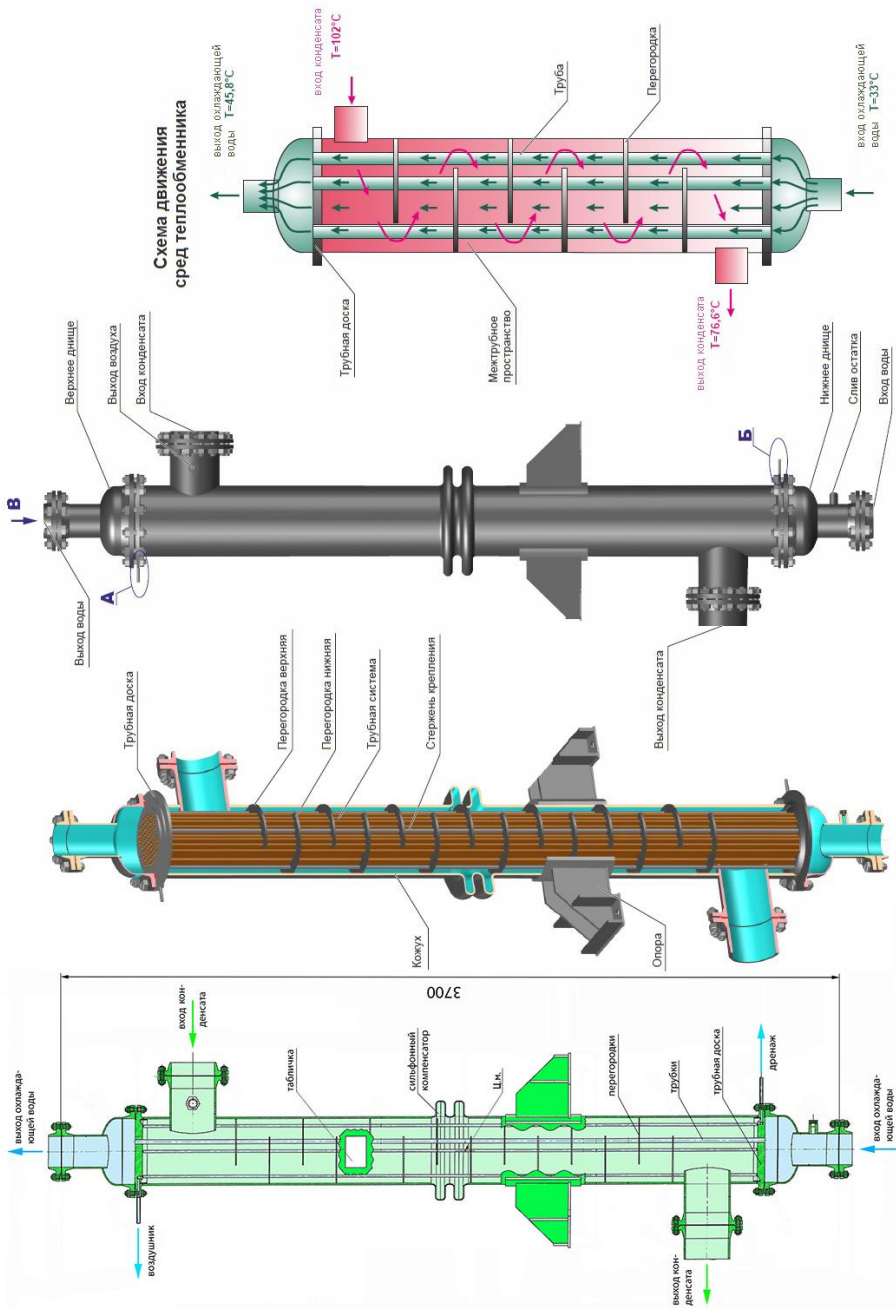
Рабочее давление трубное/межтрубное пространство – 0,5/0,17 МПа.

Расчетное давление – 1,0 МПа.

Расчетная температура – 102 °С.

Максимальный расход конденсата/охлаждающей техводы – 50/100 т/ч.

Разработчик – ООО «Бормаш».



Конструкция охладителя конденсата

### 2.9.6 Дренажный бак

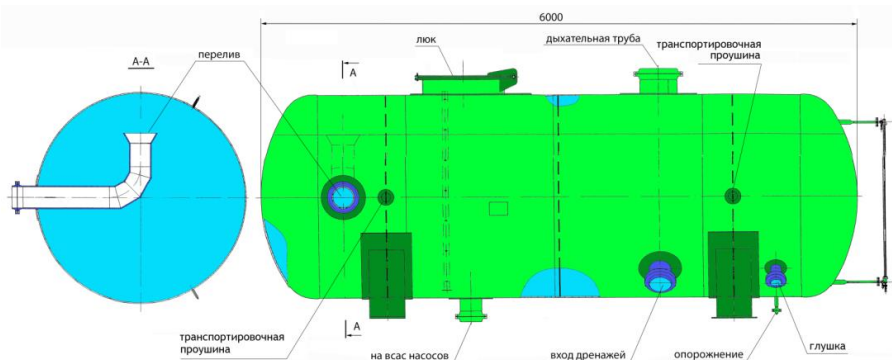
Дренажный бак представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд сварной конструкции с эллиптическими днищами.

Емкость полезная (геометрическая) – 15 (17,5) м<sup>3</sup>.

Рабочее давление – 0,07 МПа.

Температура рабочей среды – 115 °С.

Разработчик – ОАО «Тамбовский завод «Комсомолец».



### Конструкция дренажного бака

### 2.9.7 Насосный агрегат дренажного бака

Насосный агрегат дренажного бака состоит из центробежного насоса и электродвигателя переменного тока, смонтированных на общей раме. Привод насоса осуществляется через соединительную муфту, закрытую кожухом. Корпус насоса лапами крепится к раме. Корпус подшипников, в котором размещен ротор насоса, крепится к корпусу насоса и имеет дополнительную опору-подставку. Ротор насоса состоит из вала, насаженной на него втулки, рабочего колеса, которое с помощью гайки рабочего колеса и шайбы стопорной крепится на валу. Направление вращения - по часовой стрелке, если смотреть со стороны двигателя. Смазка подшипников производится консистентной смазкой.

Уплотнение вала торцовое. Для охлаждения и смазки торцовых уплотнений подается перекачиваемая жидкость из напорной полости насоса.

Тип Х-А-Ж 10-65-200-К.

Подача – 100 м<sup>3</sup>/ч.

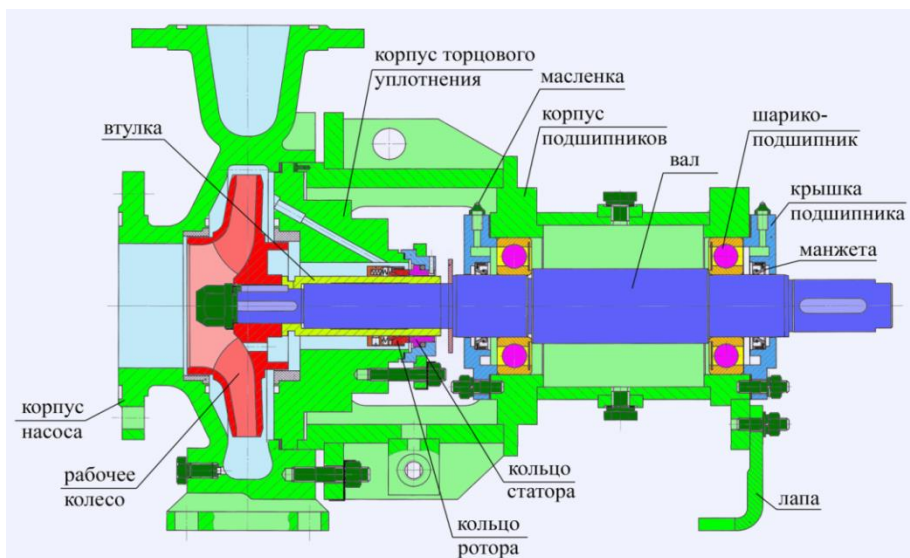
Напор – 50 м.

Частота вращения – 3000 об/мин. Разработчик – ОАО «ЭНА».

Мощность двигателя – 30 кВт.

Температура рабочей среды – до 80 °С.

Кавитационный запас – 5,0 м вод.ст.



*Конструкция насоса дренажного бака*

### 2.9.8 Бак низких точек

Бак выполняет функцию сбора протечек, которые не могут быть приняты в дренажные баки системы LCM по причине недостаточности гарантированного нивелирного напора. Кроме того, бак низких точек используется при останове блока в ППР для дренирования тех участков трубопроводов второго контура, которые по компоновке не могут быть сдренированы в дренажные баки. Бак низких точек устанавливается в здании турбины УМА в приемке глубиной 2300 мм на отметке минус 6,0 м.

Бак состоит из вертикального цилиндрического корпуса с плоским днищем и плоской крышкой. На крышке имеется смотровой люк, штуцер для подачи силовой среды к насосу, штуцер напорного трубопровода, штуцера для сигнализаторов уровня и отверстие под полупогружной насос. На боковой поверхности корпуса имеются штуцер подвода воды и штуцер перелива. На боковой поверхности корпуса закреплено опорное кольцо, усиленное ребрами. Под опорным кольцом через резиновую прокладку установлен фланец для установки бака на фундамент. Фланец крепится к кольцу с помощью четырёх шпилек. Материал бака - углеродистая сталь.

Объем полезный – 5 м<sup>3</sup>.

Объем геометрический – 5,6 м<sup>3</sup>.

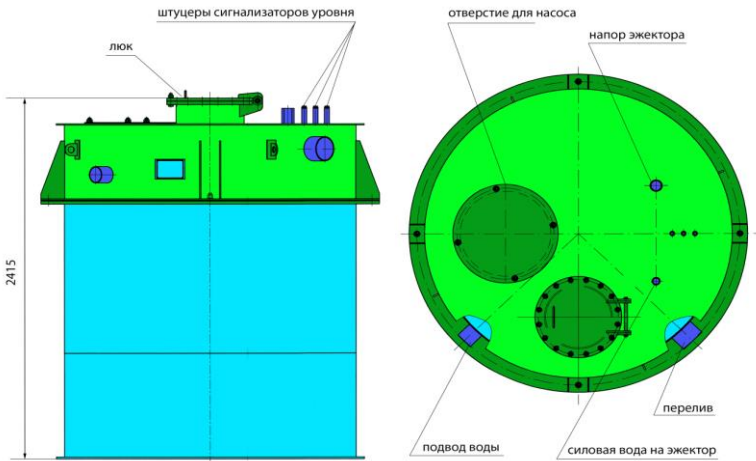
Диаметр бака – 1800 мм.

Высота бака – 2415 мм.

Температура номинальная – 20-80 °С. Температура расчетная – 100 °С.

Давление номинальное – 0,02 МПа.

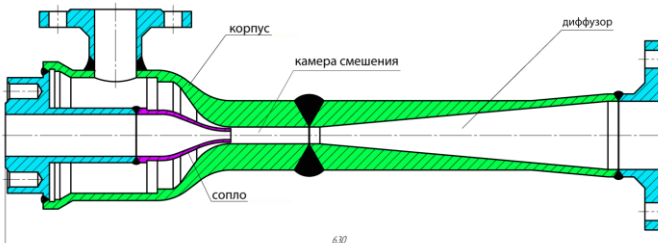
Разработчик – ООО «Полесье».



### Конструкция бака низких точек

#### 2.9.9 Водоструйный насос (эжектор)

Водоструйный насос представляет собой аппарат, предназначенный для откачки среды (пассивного потока) путем подачи на вход насоса рабочей среды (активного потока). В процессе работы активный поток подается в насос, где его потенциальная энергия (давление) в сужающемся сопле преобразуется в кинетическую энергию, и за счет падения давления в сопле создается разрежение, обеспечивающее подсосывание в камеру смешения пассивного потока. Затем, перемешиваясь с пассивным потоком в камере смешения, активный поток отдает ему свою энергию. После камеры смешения жидкость попадает в диффузор, где кинетическая энергия смешавшихся активного и пассивного потоков преобразуется в потенциальную энергию. Насос не имеет движущихся частей и уплотнений, полностью герметичен. Рабочая точка насоса зависит от давления и подачи рабочей и перекачиваемой среды, а также от давления на выходе из насоса.



### Конструкция эжектора

Подвод рабочей жидкости к насосу осуществляется по оси насоса, подвод перекачиваемой жидкости - перпендикулярно оси насоса, отвод перекачиваемой жидкости - по оси насоса.

СН-А-2,5/4К.

Давление на входе в насос номинальное/рабочее – 0,55/1,0 МПа.

Давление перекачиваемой среды (избыточное) – 0,003 МПа.

Давление на выходе (избыточное) – 0,042 МПа.

Температура рабочая/расчетная перекачиваемой жидкости – 20-80/100 °С.

Расход рабочей жидкости – 3,6-4,4 м<sup>3</sup>/ч.

Расход перекачиваемой жидкости – 2,5 м<sup>3</sup>/ч.

Поставщик – компания «ВТА».

### 2.9.10 Насос бака низких точек

Агрегат состоит из насоса, электродвигателя, опорной плиты и упругой муфты. Насос центробежный полупогружной имеет два подшипника скольжения, которые смазываются перекачиваемой жидкостью, проходящей через фильтрующие сетки, и шарикоподшипник с консистентной смазкой. Колесо рабочее открытого типа.

АХП-А-Ж 50-32-200а-2,0-К

Напор насоса – 40 м.

Давление на входе (изб.) – 0 МПа.

Температура –20-80 °С.

Расход – 12,5 м<sup>3</sup>/ч.

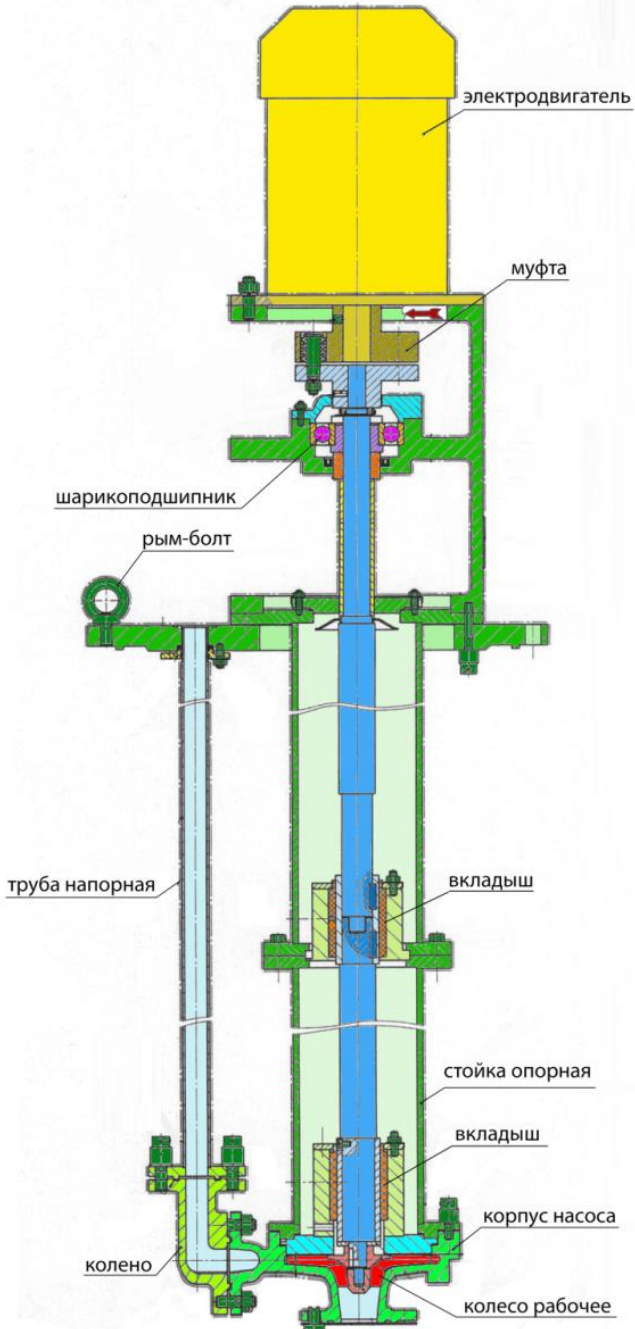
Допустимый кавитационный запас, не более –3,0 м.

Мощность агрегата – 5,2 кВт.

Частота вращения – 2900 об/мин.

КПД агрегата – 26%.

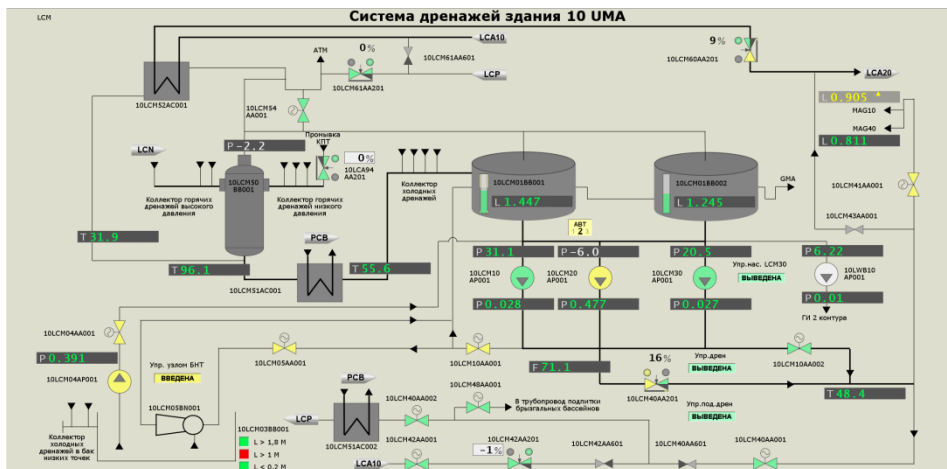
Разработчик – ОАО «ЭНА».



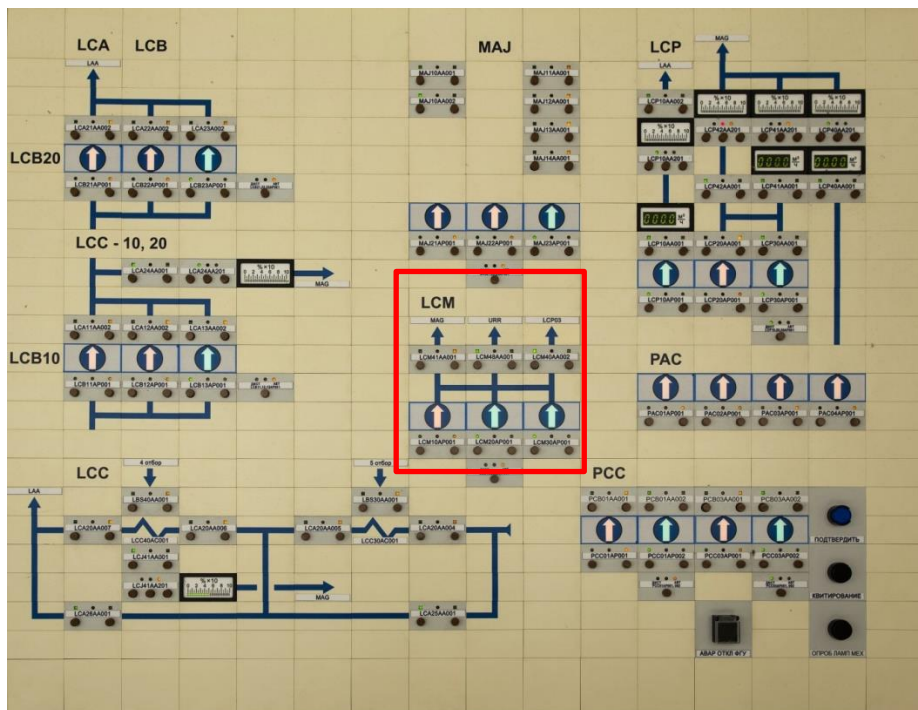
*Конструкция насоса бака низких точек*

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LCM и пульта БПУ.



Видеокadpa СВБУ LCM



Панель БПУ

## 2.10 Система LCN дренажей паропроводов высокого давления

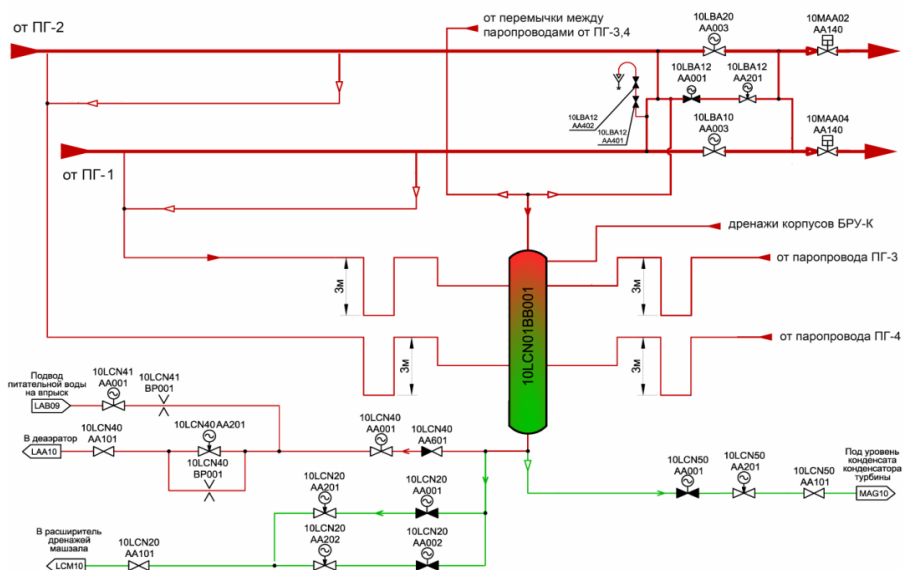
### 2.10.1 Назначение

Система LCN дренажей паропроводов высокого давления предназначена для:

- прогрева паропроводов высокого давления в режиме подготовки к пуску блока;
- поддержания номинального давления в паропроводах высокого давления до вступления в работу БРУ-К в режиме подготовки к пуску блока;
- отвода дренажей из главных паропроводов в режимах пуска, останова и в режимах нормальной эксплуатации;
- сбора дренажей из паропроводов высокого давления;
- разделения пароводяной смеси на пар и конденсат во влагоотделителе;
- отвода конденсата из влагоотделителя и поддержание в нем уровня.

### 2.10.2 Описание технологической схемы

В состав системы LCN дренажей паропроводов высокого давления входят влагоотделитель, трубопроводы и арматура.

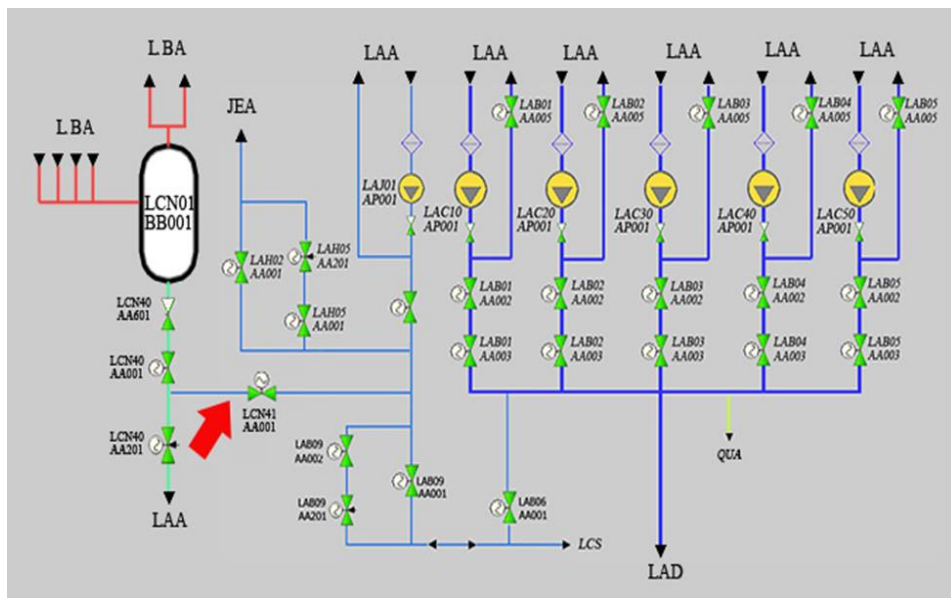


**Технологическая схема системы дренажей паропроводов свежего пара**

В корпус влагоотделителя заведены четыре дренажных трубопровода Ду 57, по одному с каждого паропровода свежего пара системы LBA. Каждый такой дренажный трубопровод оснащен гидрозапором 3м для исключения проскока пара во влагоотделитель. Также в корпус влагоотделителя заведен коллектор дренажей корпусов клапанов БРУ-К. Верхняя часть корпуса влагоотделителя с помощью двух трубопроводов Ду 108 соединена с перемычками между паропроводами от ПГ-1,2 и ПГ-3,4 перед соответствующими ГПЗ LBA10,20AA003 и LBA30,40AA003.

В зависимости от режима работы сброс среды из влагоотделителя направляется в расширитель дренажей машзала LCM50BB001, либо в деаэратор (конденсатор).

Предусмотрены два режима работы системы: пусковой и номинальный.



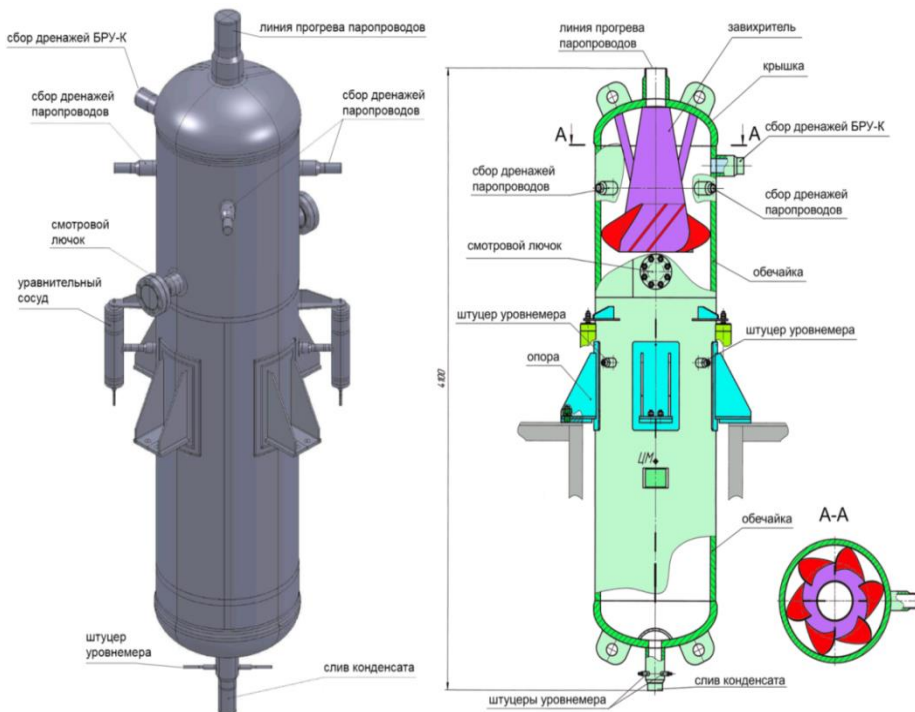
### Подача с напора ПЭН в линию слива из влагоотделителя LCN

В режиме пуска блока прогрев паропроводов свежего пара со скоростью 20 °С/час до включения в работу БРУ-К осуществляется регулирующими клапанами LCN20AA201,201 на линии сброса дренажа из влагоотделителя в расширитель дренажей машзала. Разогрев паропроводов идет за счет разогрева I контура и кипения воды в парогенераторах. Пар движется по паропроводам от парогенераторов до закрытых ГПЗ, и по линиям Ду 159, переходящим в Ду 108,

попадает в верхнюю часть влагоотделителя и далее сбрасывается в расширитель дренажей системы LCM. После того, как давление в паропроводах свежего пара достигнет номинального значения 6,8 МПа, регулирующие клапаны LCN20AA201,201 переходят в режим поддержания давления. В пусковом режиме уровня во влагоотделителе нет.

При открытии любого клапана БРУ-К или переводе БРУ-К из пускового режима в основной система LCN переходит в номинальный режим. Отключается линия сброса среды из влагоотделителя в расширитель дренажей LCM (переходят в дистанционный режим РК LCN20AA201,202 и закрываются задвижки LCN20AA001,002), открывается задвижка LCN40AA001 на сливе из влагоотделителя в деаэрактор, РК LCN40AA201 поддерживает уровень во влагоотделителе 0,8 м. В этом режиме влагоотделитель работает как гидрозатвор, предотвращающий прорыв пара из паропроводов в деаэрактор.

### 2.10.3 Влагоотделитель

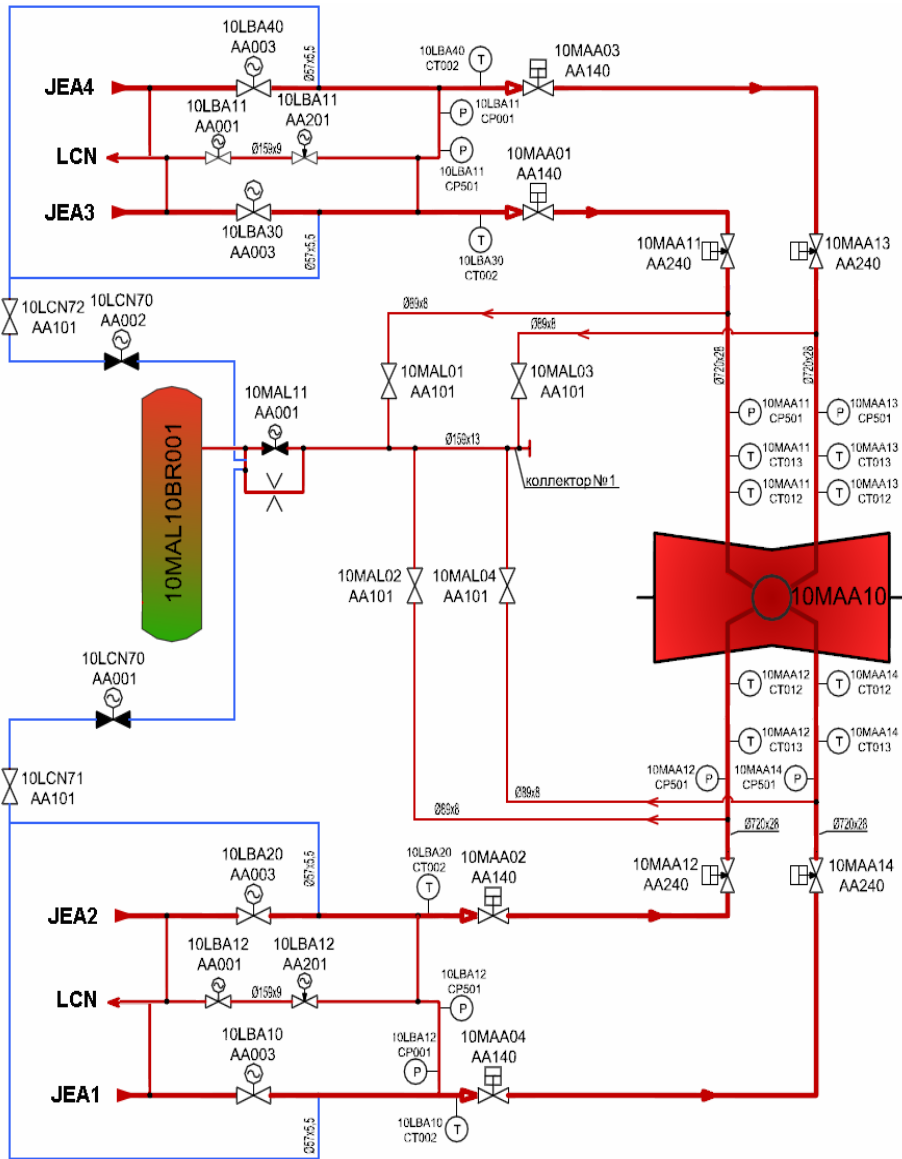


**Конструкция влагоотделителя LCN**

Для обеспечения условий работы регулирующего клапана LCN40AA201 в трубопровод сброса среды в деаэратор подается охлаждающая вода от питательных насосов. С целью снижения давления охлаждающей воды на линии подвода питательной воды Ду25 устанавливается ограничительная шайба. Попадание питательной воды во влагоотделитель предотвращается обратным клапаном LCN40AA601. Байпас регулирующего клапана LCN40AA201 с шайбой предусмотрен для защиты трубопровода от повышения давления при подаче питательной воды с большим рабочим давлением.

При росте уровня во влагоотделителе более 1,5 м или при уровне в деаэраторе более 2,8 м подключается линия сброса среды в конденсатор: открывается задвижка LCN50AA001 и переходит в автоматический режим РК LCN50AA201. При снижении уровня во влагоотделителе менее 0,8 м линия сброса среды в конденсатор отключается.

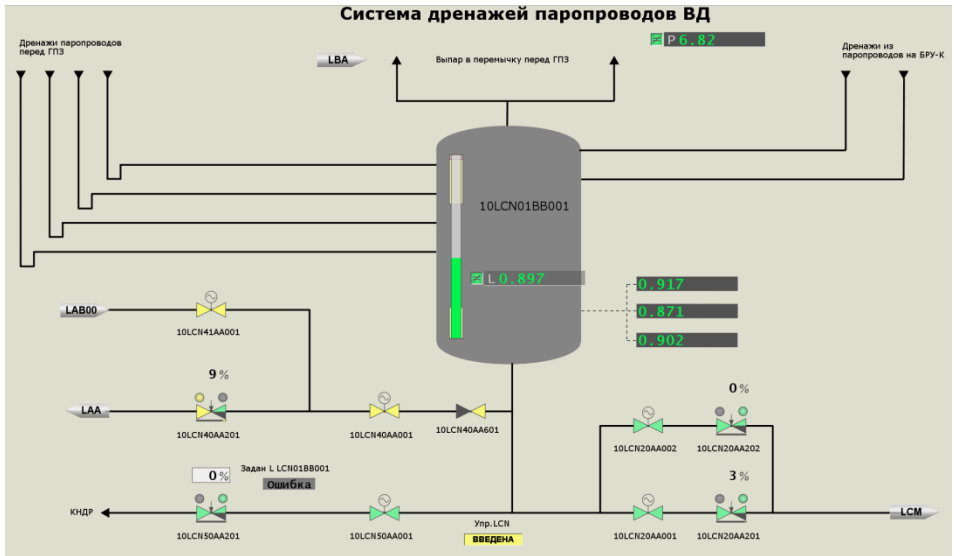
Влагоотделитель представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд цельносварной конструкции со встроенным завихрителем, имеющий эллиптические днища, лючки для осмотра, ряд штуцеров технологического назначения. Завихритель предназначен для отделения влаги из паровоздушной смеси, подаваемой под высоким давлением во влагоотделитель, и выполнен в виде конуса с приваренными к нему лопастями, установленного в верхней части влагоотделителя. Влагоотделитель снабжен опорами, двумя смотровыми лючками, тремя уравнительными сосудами, ушками для строповки. Уравнительные сосуды предназначены для подключения датчиков контроля уровня конденсата. Опорожнение влагоотделителя производится через штуцер слива конденсата, расположенный в днище влагоотделителя. Штуцер слива конденсата снабжен патрубками для подключения датчиков контроля уровня. Конструкция влагоотделителя обеспечивает свободный сток сред и опорожнение полости, возможность полного удаления воздуха, газов и воды, отсутствие мест, способствующих накоплению загрязнений, выполнение защитных покрытий, удобство осуществления технического освидетельствования и обслуживания во время работы, а также удобство осуществления ремонтных операций.



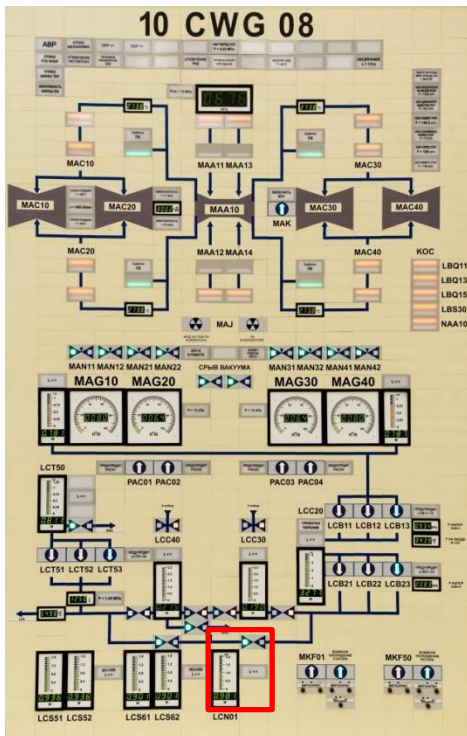
**Дренажи за ГПЗ в MAL**

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LCN и панели БПУ 10CWG08.

# ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



Видеокадр СББУ LCN



Панель БПУ 10CWG08

## 2.11 Система LCP обессоленной воды здания турбины

### 2.11.1 Назначение

Система обессоленной воды здания UMA LCP10-80 предназначена для:

- 1) приема в здание UMA обессоленной воды от насосов системы ионообменной очистки исходной воды GCF, раздачи ее потребителям;
- 2) поддержания уровня в конденсаторе турбины в условиях нормальной эксплуатации с компенсацией потерь пара и конденсата в технологических системах блока;
- 3) хранения оперативного запаса обессоленной воды;
- 4) подачи «холодной» воды на всас ВПЭН LAJ01AP001 с целью «дорасхолаживания» парогенераторов при останове блока в ремонт;
- 5) приема «грязного» конденсата из системы дренажей здания UMA LCM10-70 и хранения его перед очисткой в системе автономной химводоочистки (LDB);
- 6) приема воды после очистки ее на автономной обессоливающей установке LDB (пуск блока, опорожнение ПГ перед их ремонтом);
- 7) снабжения водой систем второго контура для их промывки, для опробования питательных насосов;
- 8) подачи обессоленной воды в деаэратор при снижении в нем уровня ниже предельного допустимого для режима нарушений нормальной эксплуатации;
- 9) подачи обессоленной воды в деаэратор при останове блока с запретом использования БРУ-К, включая режимы с потерей электроснабжения собственных нужд АЭС и внешней электрической нагрузки;
- 10) подачи «холодной» воды на всас основных питательных насосов с целью повышения противокавитационного запаса в режимах сброса нагрузки до холостого хода или величины собственных электрических нужд блока (дополнительное, резервное средство);
- 11) снабжения системы уплотнений ВПЭН LAJ01AP001 и охлаждения его электродвигателя в режимах с потерей электроснабжения собственных нужд АЭС и внешней электрической нагрузки АЭС.

В условиях нормальной эксплуатации система выполняет функции от 1) до 7), при нарушениях нормальной эксплуатации функции от 8) до 11).

## 2.11.2 Описание технологической схемы

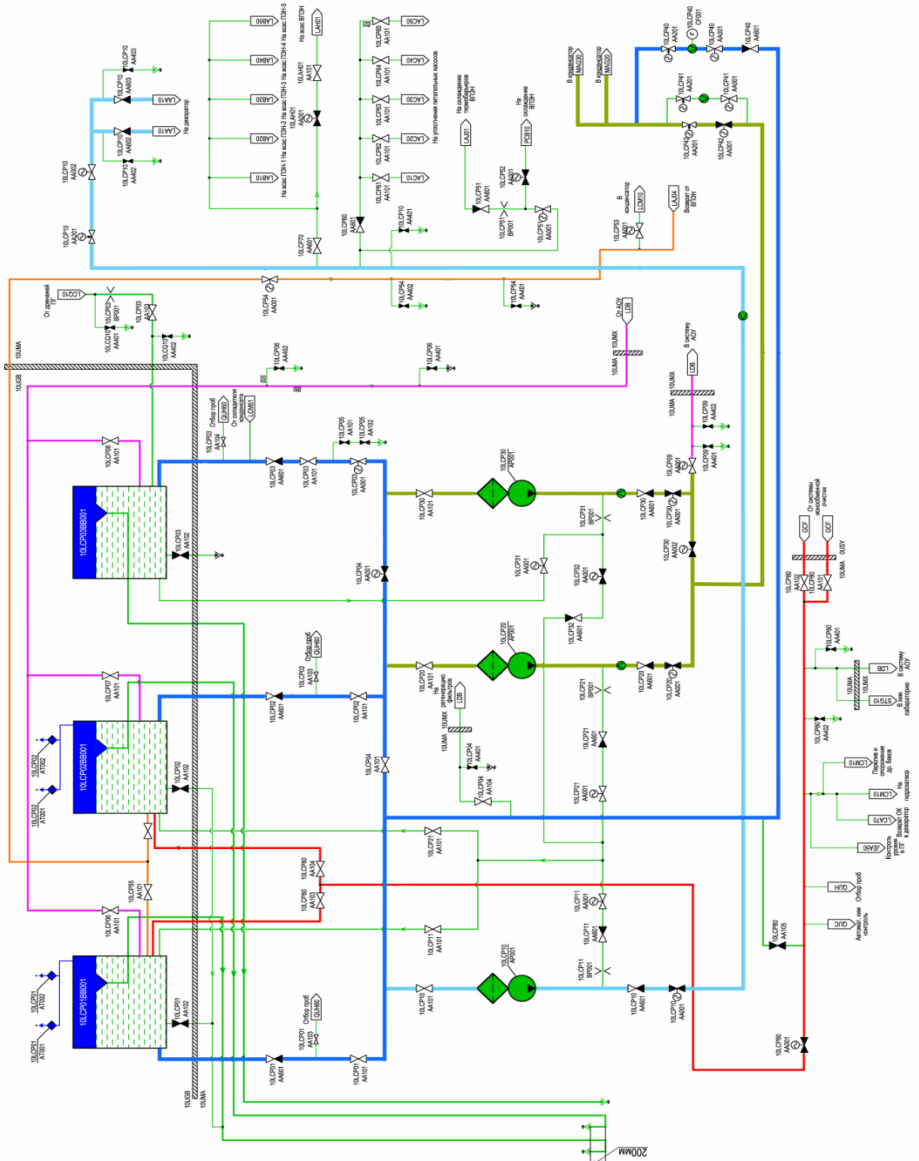


Схема системы обессоленной воды

Система обессоленной воды LCP10-80 состоит из двух баков запаса обессоленной воды (БЗОВ) LCP01,02BV001, бака «грязного» конденсата (БГК) LCP03BV001, насоса подпитки деаэрата LCP10AP001 и двух насосов подпитки конденсаторов турбины LCP20,30AP001, арматуры и трубопроводов.

Запас воды в баках, требуемый для останова блока, составляет 1260 м<sup>3</sup> (два бака БЗОВ LCP01,02BV001 по 630 м<sup>3</sup> каждый), из них не менее 900 м<sup>3</sup> для отвода остаточного тепловыделения в течение 24 ч и оперативный запас в условиях пуска блока не менее 300 м<sup>3</sup>.

Обессоленная вода поступает в здание турбины по двум трубопроводам Ду 150 мм с арматурой LCP80AA101,102 (один из которых резервный, с пропускной способностью не менее 70 % требуемой) под напором насосов системы ионообменной очистки исходной воды GCF. В здании турбины эти трубопроводы объединяются в один общий трубопровод Ду 150 мм, из которого производится заполнение баков запаса обессоленной воды.

Основным и постоянным потребителем обессоленной воды является конденсатор турбоустановки. Предусмотрено три линии подачи обессоленной воды в конденсатор турбоустановки.

Трубопровод безнасосной подпитки (синий цвет на схеме) с регулирующим клапаном Ду 150 мм LCP40AA201 рассчитан на подпитку конденсатора расходом до 30 т/ч.

С помощью насосов LCP20(30)AP001 можно подать воду в конденсатор по линии нормальной подпитки (оливковый цвет на схеме) с регулирующим клапаном Ду 100 мм LCP41AA201 расходом до 1 % от номинальной паропроизводительности блока, т.е. ~ 65 т/ч, или по линии максимальной подпитки с регулирующим клапаном Ду 150 мм LCP42AA201, рассчитанной на максимальный расход до 200 т/ч.

При нарушении условий нормальной эксплуатации (потеря собственных электрических нужд АЭС, потеря внешней электрической нагрузки, потеря нормального теплоотвода со стороны второго контура, течи второго контура, нарушение материального баланса деаэрата) восполнение потерь воды в деаэраторе производится за счет включения насоса LCP10AP001 и подачи обессоленной воды в деаэратор из БЗОВ LCP01,02BV001. Расход воды в деаэратор второго контура регулируется регулирующим клапаном LCP10AA201. Одновременно вода подается на охлаждение узлов (термобарьеров торцевых уплотнений, контрколец торцевых уплотнений, подшипни-

ков) и двигателя ВПЭН LAJ01AP001. Также с напора насоса LCP10AP001 отбирается обессоленная вода на всас ПЭН LAC10,20,30,40,50AP001 (для первоначального заполнения насосов перед пуском блока, для ускоренного расхолаживания насоса при выводе в ремонт).

В период простоя блока обессоленная вода от насоса LCP10AP001 может быть подана на охлаждение термобарьеров ПЭН LAC10(20,30,40,50)AP001 от трубопровода с арматурой LCP61(62,63,64,65)AA101 с целью их опробования (при работе блока охлаждение уплотнений ПЭН LAC10,20,30,40,50AP001 производится основным конденсатом с напора КЭН-1ступени LCB11,12,13AP001 и охлаждение электродвигателей производится системой охлаждения потребителей здания турбины РСВ10-90).

Максимальная подпитка второго контура в деаэратор и в конденсатор составляет 4÷6 % от номинальной производительности парогенераторов (до 400 т/ч).

С напора насосов обессоленной воды LCP20,30AP001 предусмотрена подача воды в систему автономной обессоливающей установки (АОУ) LDB. После АОУ очищенная обессоленная вода может быть возвращена в любой из баков системы обессоленной воды здания UMA. Если исходная вода в баке «грязного» конденсата низкого качества, то схема позволяет производить двукратную очистку воды, т.е. бак LCP02BB001 используется для приема воды после однократной очистки, затем всас насоса АОУ переключается на бак LCP02BB001 и вода после повторной очистки перекачивается уже в бак LCP01BB001.

Насосы LCP20,30AP001, выполняющие функцию подпитки конденсатора, имеют функцию автоматического включения резерва. Насос LCP10AP001, выполняющий функцию подпитки деаэратора, не имеет резерва.

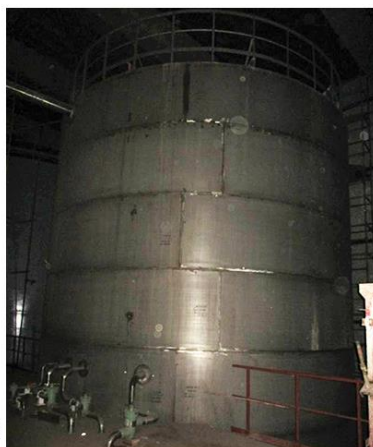
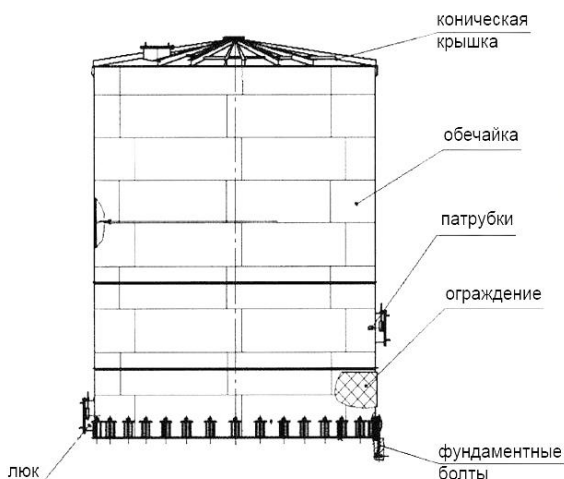
Электроснабжение элементов системы LCP10-80 осуществляется от системы нормальной эксплуатации собственных нужд АЭС здания UBA. Резервное электроснабжение насосного агрегата LCP10AP001, а также арматуры LCP10AA201,002 выполнено от общестанционного дизельгенератора систем нормальной эксплуатации 13UBN.

### 2.11.3 Баки запаса обессоленной воды

Основные технические характеристики	Значение
тип бака	цилиндрический, вертикальный
материал	нержавеющая сталь 08X18H10T
рабочая среда	обессоленная вода
давление рабочее	атмосферное
давление расчетное с учетом гидростатического, МПа	0,11
температура рабочей среды, °С, min/max	+4/+40
температура стенок расчетная, °С	+60
объем внутренний (полный), м <sup>3</sup> , не более	655
объем полезный, м <sup>3</sup> , не более	630
высота бака, мм	10300
диаметр бака, мм	9000
масса бака без рабочей среды, кг	28503

Баки запаса обессоленной воды (БЗОВ) LCP01,02BV001 предназначены для:

- приема в здание UMA обессоленной воды от насосов системы ионообменной очистки воды (GCF);
- приема воды после очистки ее на автономной обессоливающей установке (LDB);
- хранения оперативного запаса обессоленной воды



**Бак запаса обессоленной воды**

### 2.11.4 Бак грязного конденсата

Основные технические характеристики	Значение
тип бака	цилиндрический, вертикальный
материал	сталь СтЗсп5
рабочая среда	обессоленная вода или конденсат с продуктами коррозии
давление рабочее (расчетное)	атмосферное
температура рабочей среды, °С, min/max	+4/+60
температура стенок расчетная, °С	+90
объем внутренний (полный), м <sup>3</sup> , не более	976
объем полезный, м <sup>3</sup> , не более	928
высота бака, мм	12660
диаметр бака, мм	10400
масса бака без рабочей среды, кг	39890



*Бак грязного конденсата*

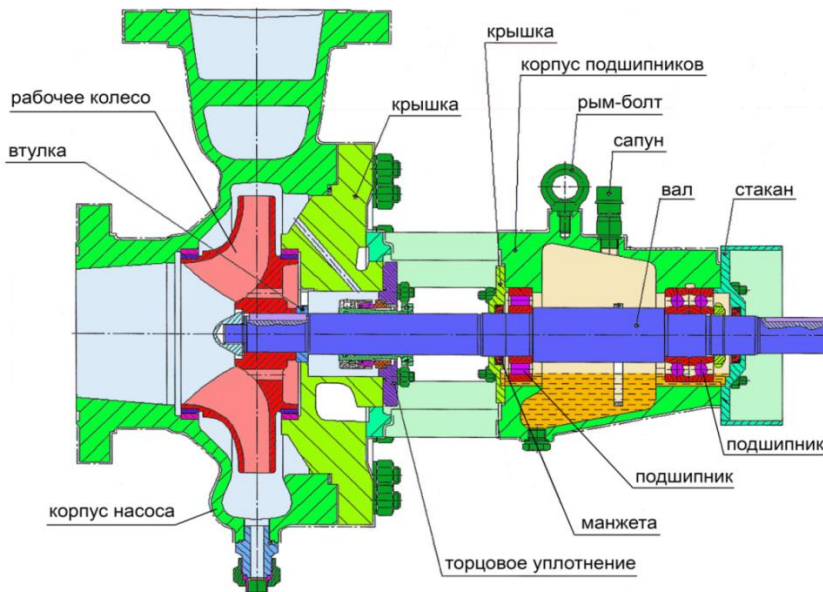
Бак грязного конденсата LCP03BB001 предназначен для:

- приема грязного конденсата из II контура при предпусковой промывке конденсатно-питательного тракта;
- опорожнения II контура, включая межтрубные пространства ПГ, при выводе блока в ремонт;
- хранения грязного конденсата перед его очисткой в системе автономной обессоливающей установки (LDB);
- хранения обессоленной воды после очистки ее в системе автономной обессоливающей установки (LDB).

### 2.11.5 Насос подпитки деаэратора

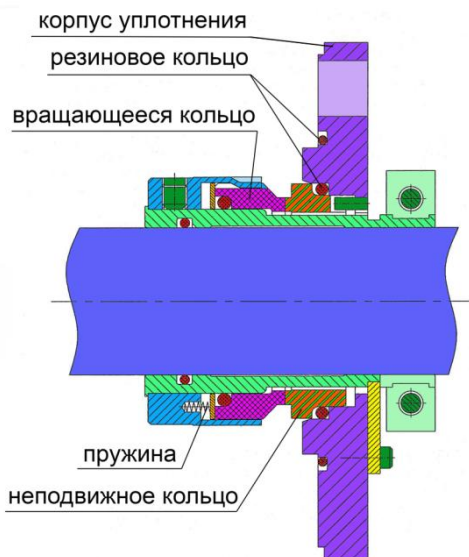
Насос LCP10AP001 предназначен для подпитки второго контура через деаэратор из баков запаса обессоленной воды LCP01,02BB001 в режимах нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации.

Электронасосный агрегат представляет собой горизонтальный одноступенчатый центробежный насос типа «АКА(-Ж)», смонтированный на раме совместно с электроприводом. Вращающий момент от привода к насосу передается с помощью втулочно-пальцевой муфты с монтажным проставком. Сбор утечек из насоса осуществляется через отверстия в раме.



*Конструкция насоса подпитки деаэратора*

Всасывающий патрубок насоса расположен горизонтально по оси вращения ротора, напорный – вертикально. Колесо рабочее центробежного типа с шестью пространственными лопатками. Для снижения осевой силы, действующей на ротор, и обеспечения циркуляции жидкости в камере торцевого уплотнения в ступице колеса выполнены разгрузочные отверстия. Колесо закреплено консольно на валу и вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны электродвигателя. Вращающий момент от вала ротора к колесу передается через шпонку.



### Конструкция торцевого уплотнения

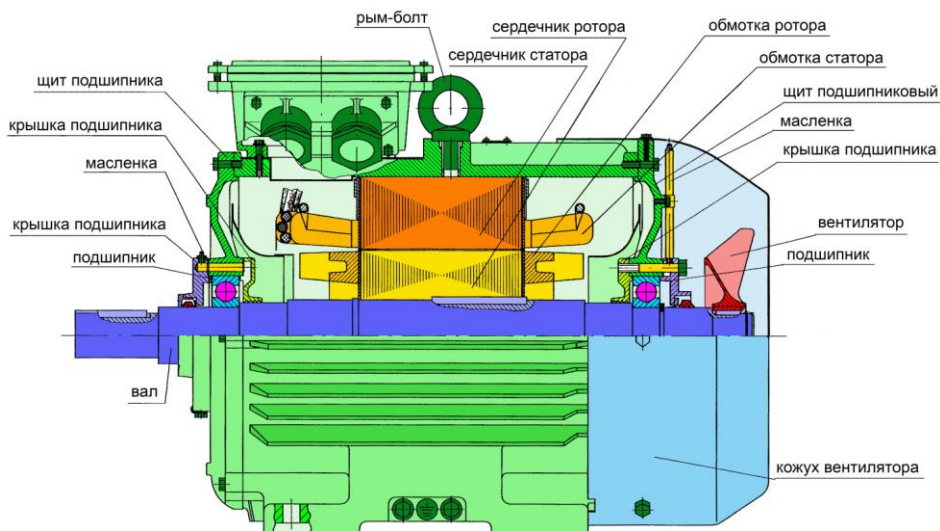
Опорами ротора служат подшипники качения: опорный роликовый, воспринимающий радиальные нагрузки от рабочего колеса, и сдвоенный опорно-упорный шариковый, который воспринимает радиальные и осевые нагрузки ротора. Смазка подшипников осуществляется маслом Тп-22. Циркуляция масла в полости корпуса подшипников обеспечивается маслоразбрызгивающим кольцом. Протечкам масла по валу препятствуют манжетные уплотнения. Давление в масляной камере уравнивается с давлением окружающей среды с помощью сапуна.

Уплотнением вала служит механическое одинарное торцевое уплотнение. Оно состоит из неподвижной части, жестко закрепленной на крышке насоса и вращающейся части, зафиксированной на валу. Для обеспечения смазывания пар трения в крышке насоса выполнено отверстие, через которое происходит перетекание жид-

кости из области повышенного давления в полость камеры торцового уплотнения.

Для опорожнения насоса в нижней точке корпуса предусмотрено штуцерное соединение под приварку трубопровода.

**Электродвигатель** асинхронный трехфазный с короткозамкнутым ротором состоит из станины, сердечника статорного обмотанного, ротора, подшипниковых узлов, узла вентиляции, вводного устройства.



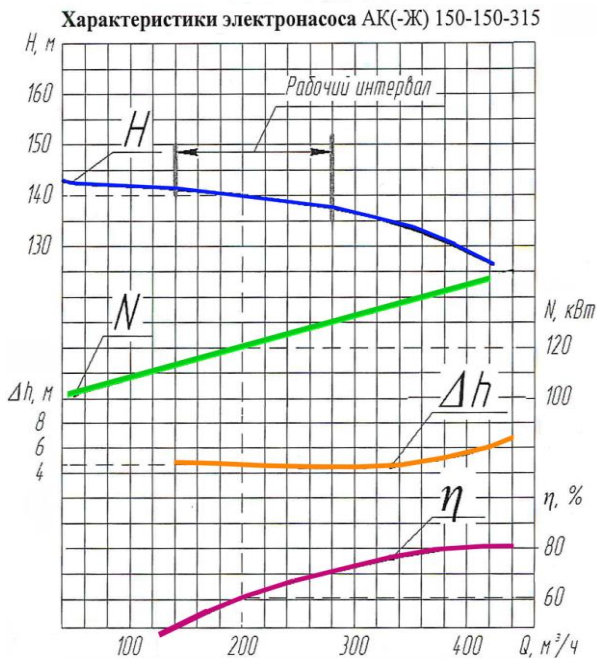
### *Конструкция электродвигателя насоса подпитки деаэратора*

Станина двигателя оребренная литая выполнена из чугуна. На опорной части станины имеются четыре отверстия для крепления двигателя в составе насосного агрегата и два отверстия для установки болтов заземления. В верхней части станины ввернут рым – болт для подъема двигателя, и установлено вводное устройство. К торцам станины с помощью болтов крепятся подшипниковые узлы двигателя.

Статор двигателя состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали. В полузакрытые пазы, выштампованные в листах, уложена обмотка из провода.

Ротор состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали, и короткозамкнутой обмотки. Ротор напрессован на вал.

В состав подшипниковых узлов входят подшипники, подшипниковые щиты, подшипниковые крышки, уплотнители резиновые. Наружные обоймы подшипников закреплены в подшипниковых щитах посредством двух крышек, закрепленных болтами. Внутренние обоймы подшипников закреплены на валу посредством запорного кольца.



Тип АКА-Ж 150-150-315-К-5-УХЛ3

Расход номинальный – 200 м<sup>3</sup>/ч

Диапазон подач рабочий – от 140 до 280 м<sup>3</sup>/ч

Напор – 140 м.

Температура рабочей среды – до 80 °С.

Кавитационный запас – 5,0 м вод.ст.

Частота вращения – 2950 об/мин

Мощность двигателя – 132 кВт

Масса агрегата в сборе 1,82 т

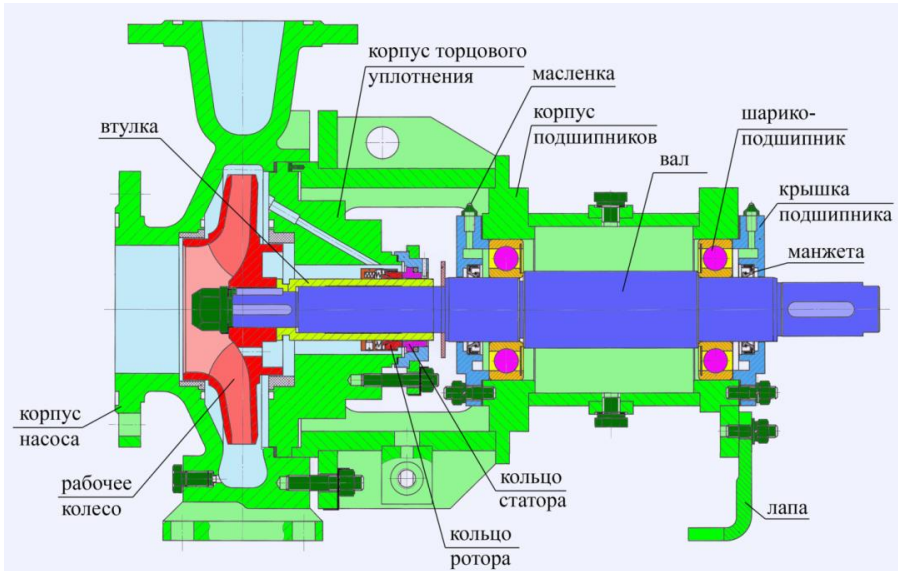
### 2.11.6 Насосы подпитки конденсатора

Насосы LCP20(30)AP001 предназначены для подпитки второго контура через конденсатор из баков запаса обессоленной воды LCP01,02BV001 в режимах нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации.

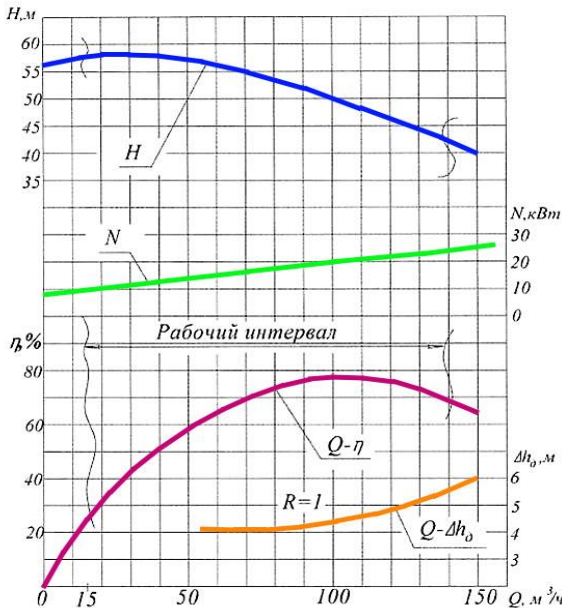
Агрегат электронасосный состоит из центробежного насоса и электродвигателя переменного тока, смонтированных на общей раме. Привод насоса осуществляется через соединительную муфту, закрытую кожухом.

Насос состоит из корпуса, который лапами крепится к раме. Корпус подшипников, в котором размещен ротор насоса, крепится к корпусу насоса и имеет дополнительную опору - подставку.

Всасывающий патрубок насоса расположен горизонтально по оси вращения ротора, напорный - вертикально, рабочее колесо центробежного типа. Для снижения осевой силы, действующей на ротор, и обеспечения циркуляции жидкости в камере торцового уплотнения в ступице колеса выполнены разгрузочные отверстия.



Конструкция насоса подпитки конденсатора



Тип Х-А-Ж 10-65-200-К.

Номинальная подача – 100 м<sup>3</sup>/ч.

Диапазон рабочий – 20-130 м<sup>3</sup>/ч.

Напор – 50 м.

Температура рабочей среды – до 80 °С.

Кавитационный запас – 5,0 м вод.ст.

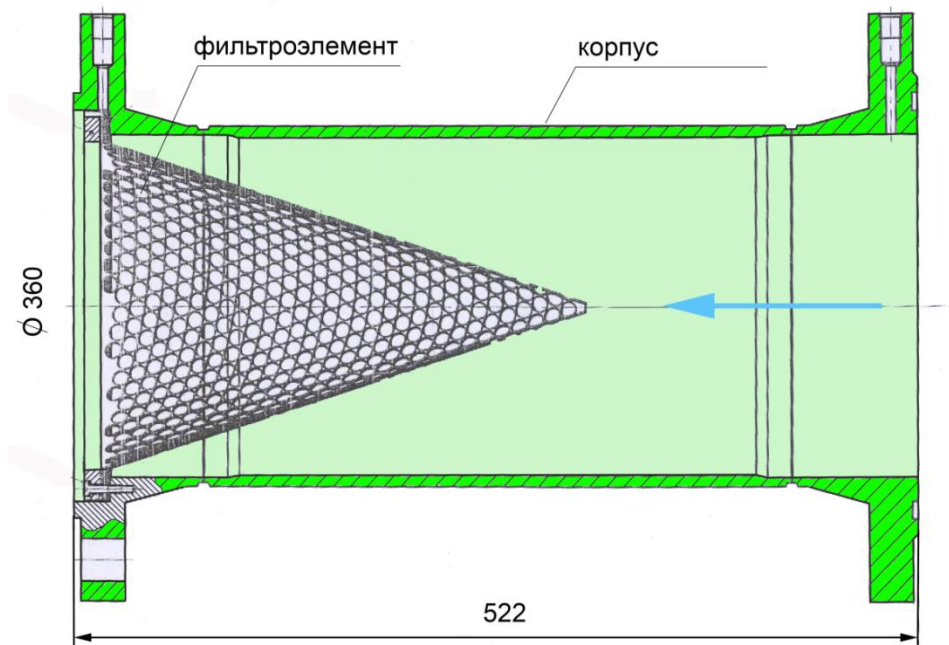
Частота вращения – 3000 об/мин.

Мощность двигателя – 30 кВт.

Ротор насоса состоит из вала, насаженной на него втулки, рабочего колеса, которое с помощью гайки рабочего колеса и шайбы стопорной крепится на валу. Ротор вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны электродвигателя. Опорами ротора служат подшипники качения на консистентной смазке. Уплотнением вала служит механическое одинарное торцовое уплотнение.

Для опорожнения насоса в нижней точке корпуса предусмотрена пробка.

### 2.11.7 Фильтр-сетка



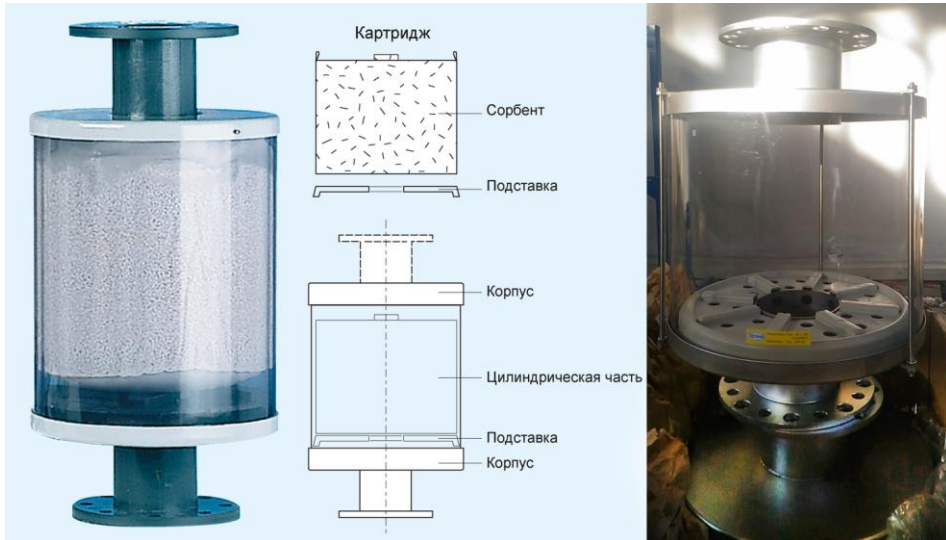
#### *Конструкция фильтра-сетки*

**Фильтр-сетка** LCP10,20,30AT001 предназначена для предотвращения попадания в проточную часть насосов LCP10,20,30AP001 механических частиц размером более 0,9 мм.

### 2.11.8 Фильтры-поглотители

**Фильтры-поглотители** LCP01,02AT001,002 предназначены для предотвращения попадания углекислого газа, имеющегося в атмосферном воздухе, в баки запаса обессоленной воды LCP01,02BB001. Принцип действия фильтров-поглотителей основан на процессе фильтрования паро-газо-воздушных сред через

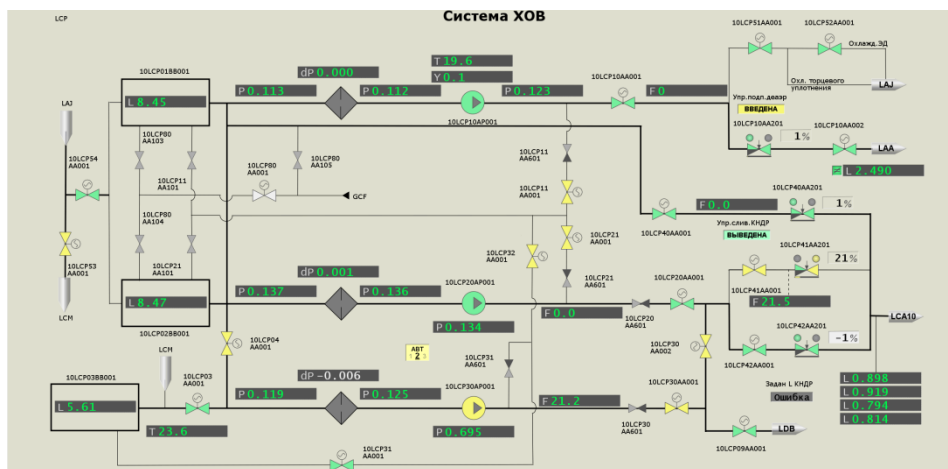
зернистую загрузку, обладающую сорбционной активностью. Сорбент аккумулирует на своей поверхности (поглощает) химикалии, вступая с ними в химическую реакцию.



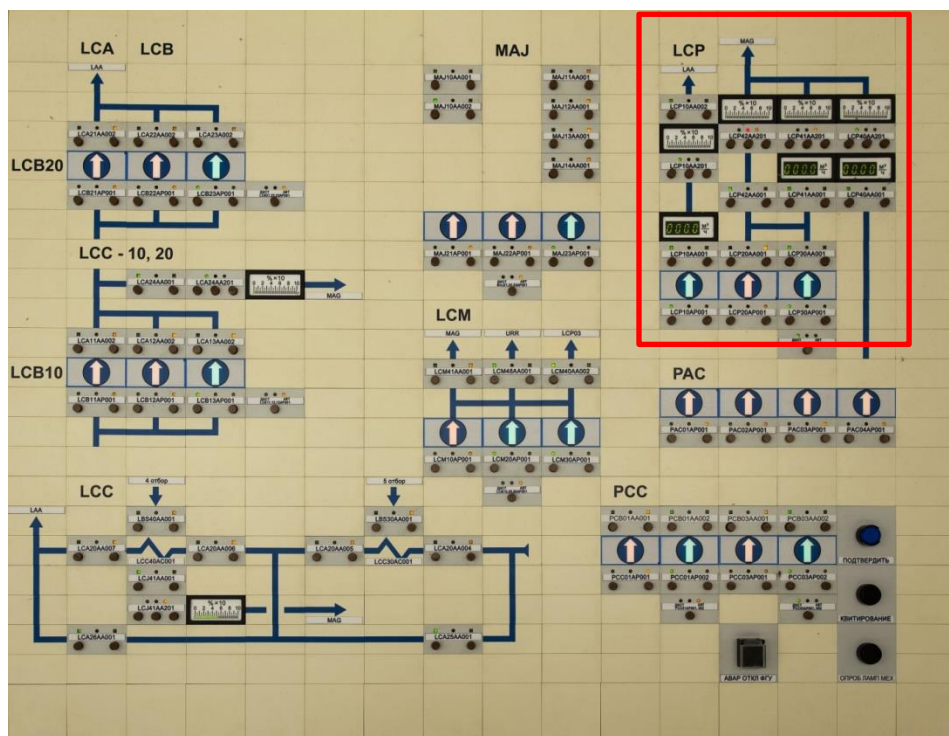
### *Конструкция фильтра-поглотителя*

Сорбент находится в фильтровальном мешке с тонкостью очистки 1 мкм. Этот фильтровальный мешок утилизируется вместе с сорбентом при замене. В процессе эксплуатации фильтров-поглотителей необходимо производить периодическую замену картриджей не реже 1 раза в год или по факту цветоиндикации. Замену сорбента нужно производить при выцветании 70 % всего объема. Не изменивший цвет сорбент может использоваться дальше.

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LCP и пульта БПУ.



Видеокадр СББУ LCP



Пульт БПУ

## 2.12 Система LBA паропроводов свежего пара

### 2.12.1 Назначение

Система паропроводов свежего пара LBA предназначена для выполнения следующих функций:

- подача свежего пара от парогенераторов к стопорно-регулирующим клапанам ЦВД;
- подача свежего пара к коллектору собственных нужд через БРУ-СН (в режиме резервирования отбора турбины);
- подача свежего пара на деаэратор через БРУ-Д (в режиме резервирования отбора турбины);
- подача свежего пара на теплофикационную установку через БРУ-ТФУ (в режиме резервирования отборов турбины);
- при необходимости сброс пара по байпасу турбины через БРУ-К в конденсаторы;
- подача свежего пара на вторую ступень СПП.

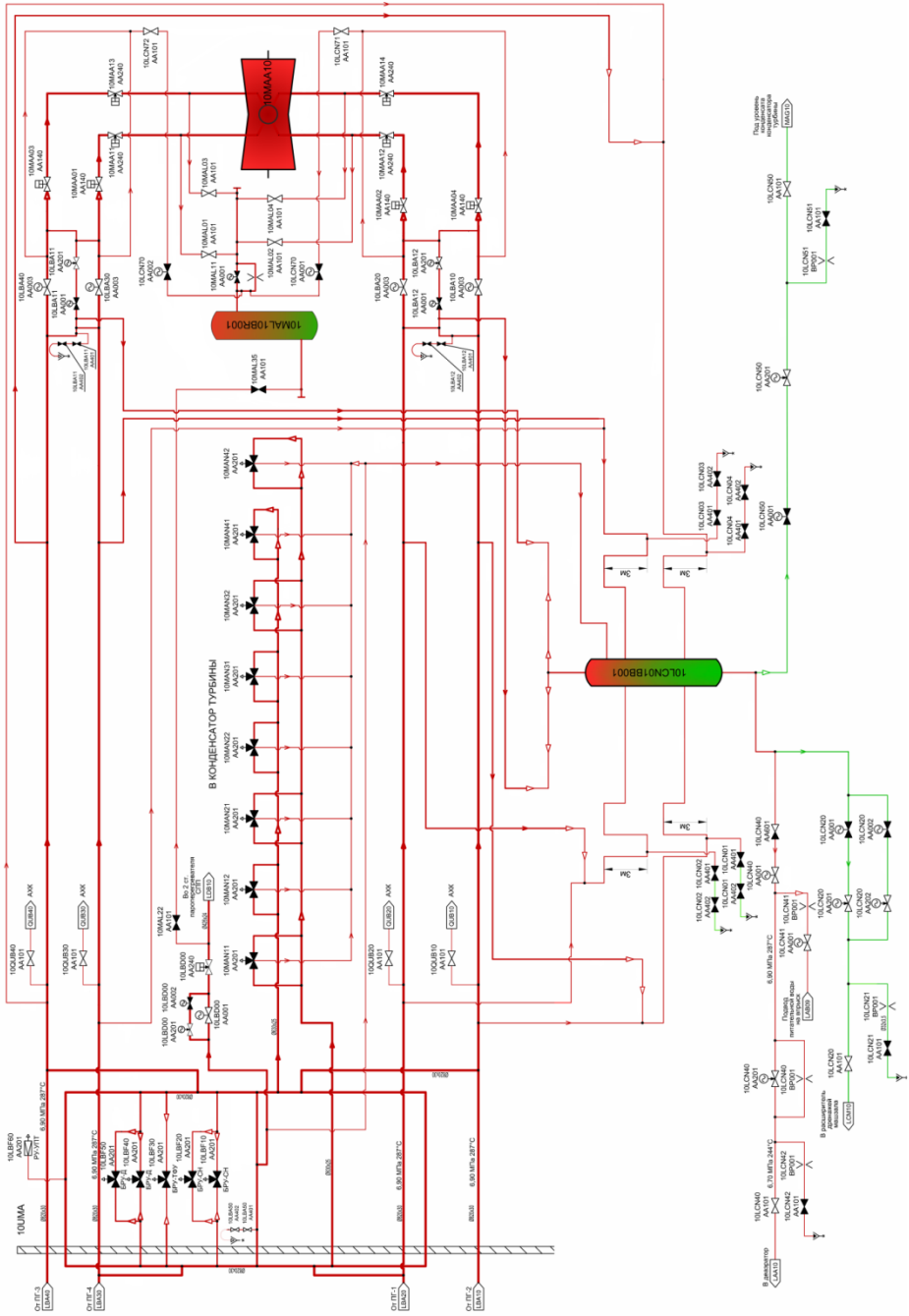
### 2.12.2 Описание технологической схемы

Система состоит из трубопроводов свежего пара и арматуры. Свежий пар давлением 6,9 МПа от парогенераторов поступает по четырем главным паропроводам Ду820 мм до главной паровой задвижки ГПЗ LBA10,20,30,40AA003 с переходом на Ду720 мм за ГПЗ. Подвод пара к турбине выполнен через четыре группы стопорных и регулирующих клапанов.

Между главными паропроводами выполнены паровые переключки (главный паровой коллектор ГПК) для выравнивания давления перед турбиной. К переключкам подключены трубопровод подачи пара на вторую ступень промежуточного перегрева, а также следующие паросбросные устройства:

- быстродействующие редуцирующие установки сброса пара в конденсатор турбины (БРУ-К);
- быстродействующие редуцирующие установки подачи пара в деаэратор (БРУ-Д);
- быстродействующие редуцирующие установки подачи пара в коллектор собственных нужд (БРУ-СН);
- быстродействующая редуцирующая установка подачи пара на теплофикационную установку (БРУ-ТФУ);
- редуцирующая установка подачи пара на установку подпитки теплосети (РУ-УПТ).

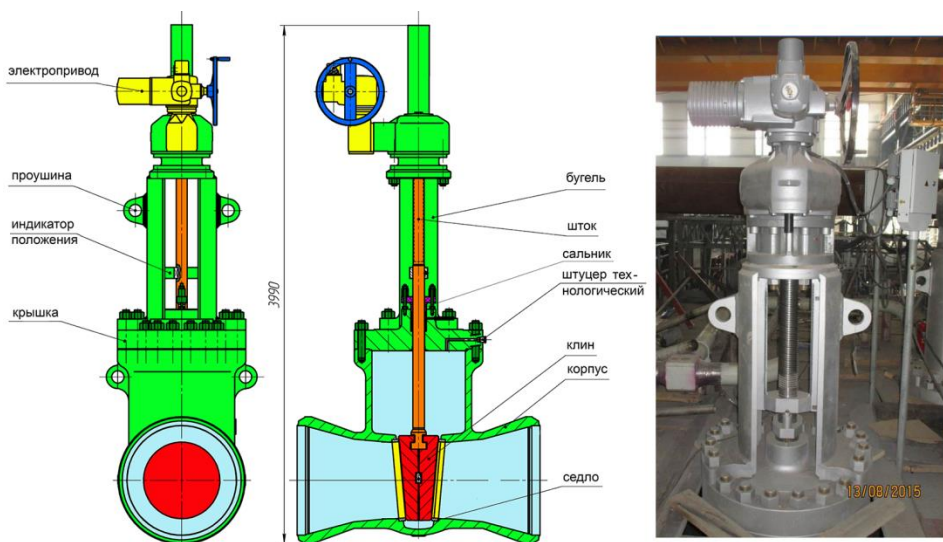
Для прогрева паропроводов в режимах пуска блока, отвода дренажей в режимах нормальной эксплуатации блока и останова выполнена система дренажей паропроводов высокого давления LCN.



Технологическая схема главных паропроводов

Система паропроводов свежего пара функционирует во всех режимах нормальной эксплуатации блока, включая пуск и останов, в режимах нарушения нормальных условий эксплуатации, в аварийных режимах.

В режиме пуска блока разогрев паропроводов свежего пара идет за счет разогрева I контура и кипения воды в парогенераторах. Прогрев паропроводов ведется в два этапа: сначала до номинальных параметров (6,9 МПа) греют участок до закрытых ГПЗ путем сброса пара через постоянно действующие дренажи во влагоотделитель системы LCN и далее в расширитель дренажей машзала LCM. Скорость прогрева 20 °С/час. Затем взводят стопорные клапаны высокого давления и по байпасам закрытых ГПЗ прогревают паровпуск турбины до выравнивания давления до и после ГПЗ. Такой метод прогрева связан с тем, что стопорные и регулирующие клапаны имеют пропуск в закрытом положении. Если при прогреве турбина выйдет на значительные обороты, то для прекращения подачи пара нужно закрыть арматуру на байпасе ГПЗ с временем полного хода 45 сек. Время закрытия самих ГПЗ составляет 140 сек.

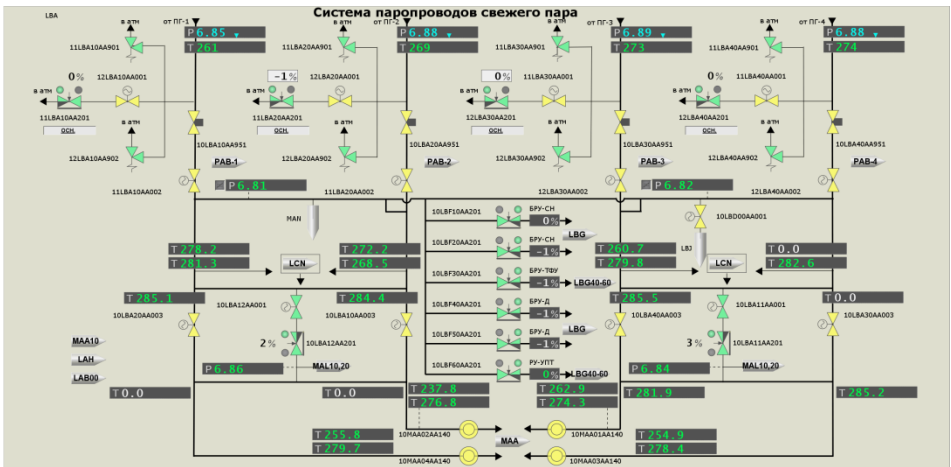


### Конструкция главной паровой задвижки

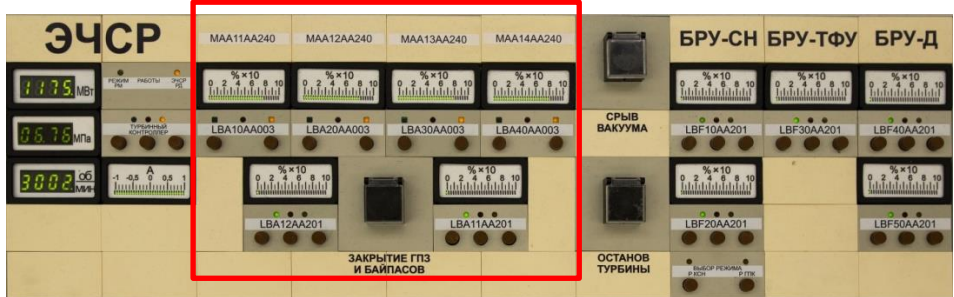
ГПЗ предназначены для отсечения турбины от главных паропроводов при закрытии стопорных и регулирующих клапанов. Задвижка состоит из корпуса и крышки, которые соединены между собой резьбовыми шпильками и гайками. Узел затвора состоит из клина и

седел. Клин обеспечивает герметичное перекрытие проходного сечения задвижки. Клин перемещается между седлами и соединен со шпинделем Т-образным (тавровым) соединением. Два седла расположены в корпусе задвижки, по одному с каждой стороны. Шпиндель двигается вертикально поступательно: вниз – при закрытии задвижки и вверх – при открытии. Уплотнение шпинделя сальниковое, состоящее из двух комплектов графитовых колец, поджатых грундбуксой и фланцем сальника.

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LBA и пульта БПУ.



Видеокادر СВБУ LBA



Пульт БПУ

## 2.13 Система LBG паропроводов собственных нужд

### 2.13.1 Назначение

Система LBG10-70 предназначена для снабжения паром требуемых параметров следующих потребителей:

- деаэратор второго контура LAA10BB001;
- система уплотнений LBW;
- потребители спецводоочистки (СВО);
- потребители помещений транспортной шахты здания УКС;
- БЗОКи;
- деаэратор системы подпитки-продувки первого контура;
- потребители реакторного отделения;
- потребители центральных мастерских зоны «строгого» режима;
- потребители «грязного» и «чистого» отделений спецпрачечной;
- выпарной аппарат системы SRP50;
- система приготовления и подачи реагентов в спецпрачечную.
- установка сжигания ТРО;
- трубопровод от межблочного коллектора НВАЭС-2 до арматуры LBG21AA108,109 включительно;
- трубопровод байпаса КСН от арматуры LBG24AA001,101 включительно до арматуры LBG27AA001, LBG26AA001 с дренажами и воздушниками включительно;
- трубопровод от арматуры LBG13,27AA001 включительно до эстакады УСУ с дренажами и воздушниками;
- трубопровод на уплотнения турбины от арматуры LBG11,23AA001 с дренажами включительно;
- трубопровод на БЗОК и на потребители зданий УКС, УА от арматуры LBG25,26AA001 с дренажами и воздушниками включительно;
- выхлопные трубопроводы после ИПУ LBG10AA901,902,903, LBG30AA901÷905 с дренажами и воздушниками;
- трубопроводы всех дренажей и воздушников системы LBG10-70 после первых по ходу среды вентиляей.

### 2.13.2 Описание технологической схемы

Система паропроводов собственных нужд состоит из трубопроводов и арматуры. Основными паропроводами являются коллектор собственных нужд КСН (красный цвет на схеме) и коллектор питания деаэратора (розовый цвет на схеме).

# ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

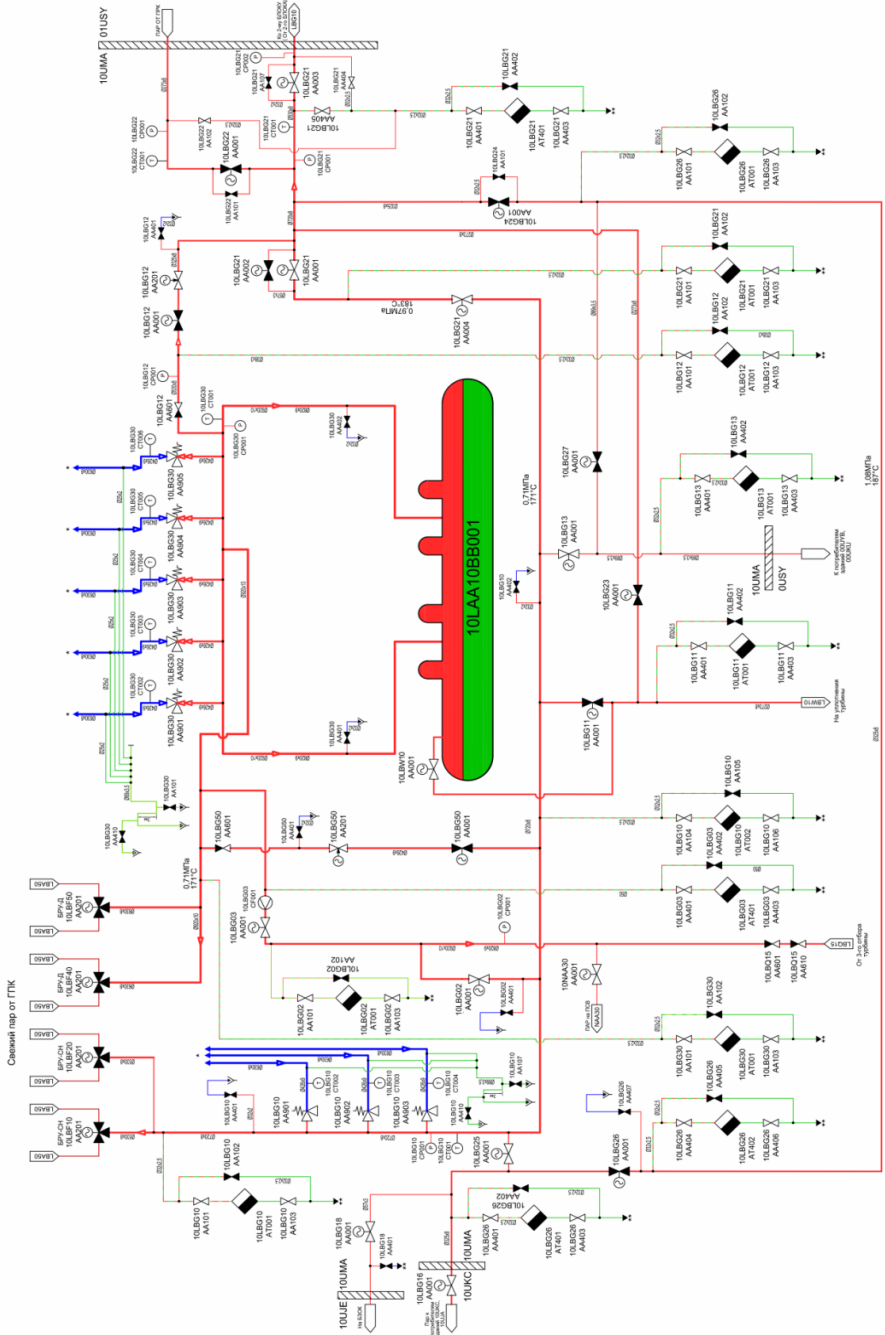


Схема системы паропроводов собственных нужд

Нормально КСН и коллектор питания деаэратора запитаны от III отбора (черная линия на схеме), давление в котором зависит от мощности турбины. При снижении давления в КСН менее 0,5 МПа (в деаэраторе менее 0,6 МПа) питание переводится от ГПК через БРУ-СН (БРУ-Д). При снижении давления в ГПК менее 5,9 МПа пар в КСН и деаэратор подают от стороннего источника (пускорезервной котельной или паропровода связи с соседним блоком).

### 2.13.3 Быстродействующие редукционные установки

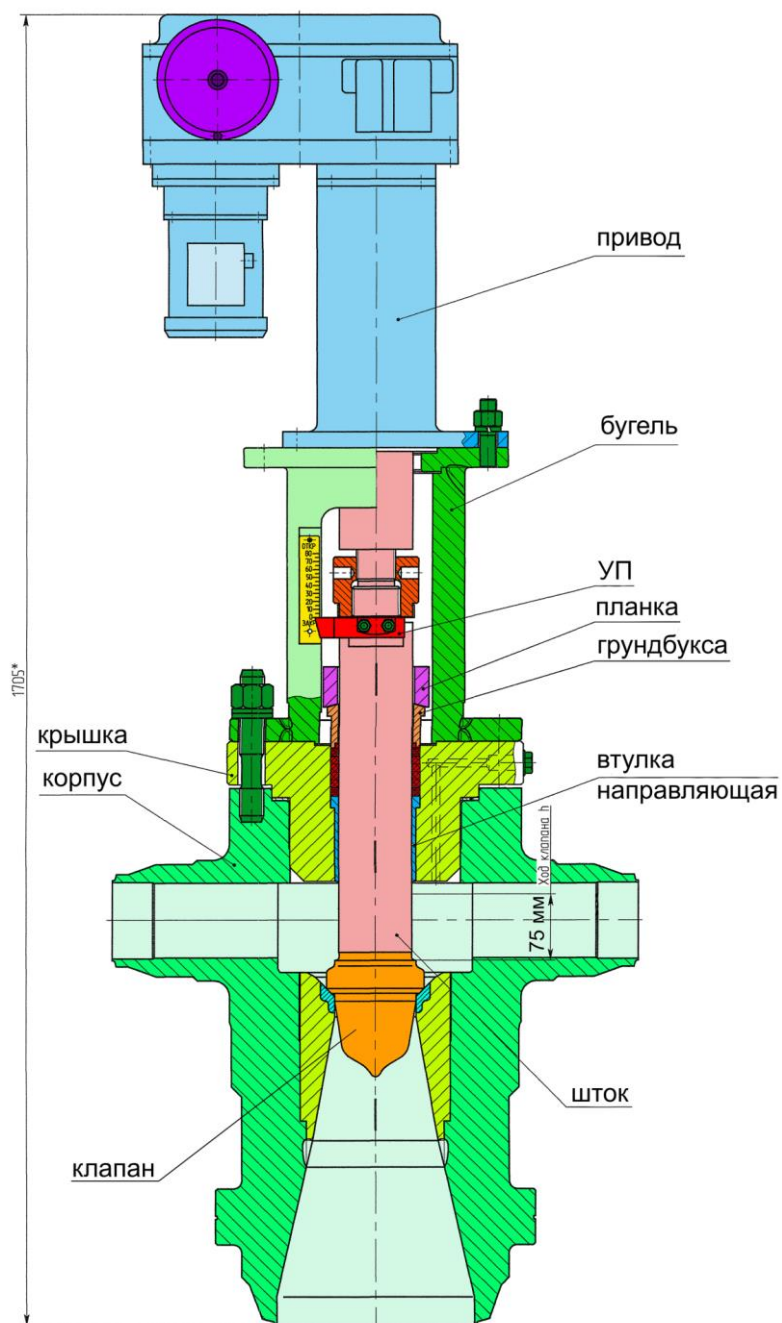
Быстродействующая редукционная установка БРУ-СН LBF10,20AA201 предназначена для обеспечения паром коллектора собственных нужд в режимах пуска, останова блока и при работе ТА с давлением в III отборе менее 0,5 МПа.

Быстродействующая редукционная установка БРУ-Д LBF40,50AA201 предназначена для обеспечения паром деаэратора в режимах пуска, останова блока и при работе ТА с давлением в III отборе менее 0,6 МПа.

Быстродействующая редукционная установка БРУ-ТФУ LBF30AA201 предназначена для обеспечения паром пикового бойлера в режимах пуска, останова блока и при работе ТА с давлением в III отборе менее 0,51 МПа.

В состав быстродействующих редукционных установок входят:

- клапан запорно-дроссельный DN100/250 (2 шт для БРУ-СН и 1 шт для БРУ-ТФУ) и DN150/250 (2 шт для БРУ-Д);
- дросселирующее устройство с четырьмя шумоглушителями DN 250/500 (2 шт для БРУ-СН и 1 шт для БРУ-ТФУ) и DN250/600 (2 шт для БРУ-Д);
- импульсные предохранительные устройства типа ПТ57001-250/300-02 (по 3 шт для БРУ-СН и БРУ-ТФУ) и типа ПТ57001-250/300-03 (5 шт для деаэратора).

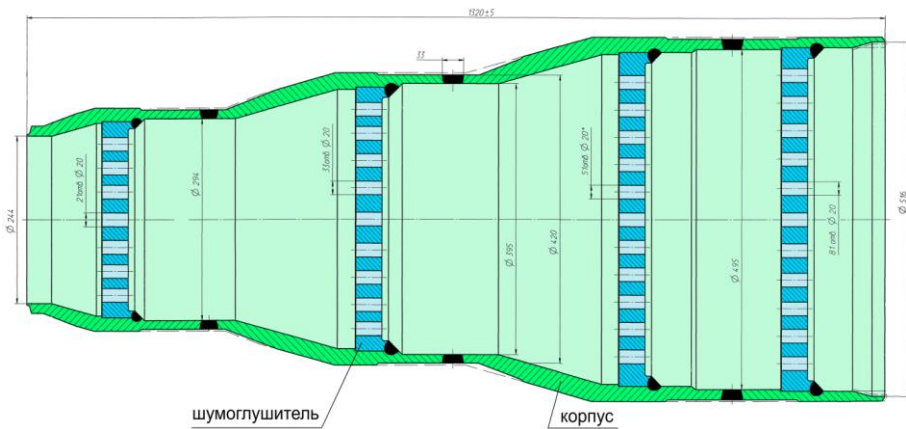


Конструкция БРУ-СН

Конструкция всех запорно-дроссельных клапанов идентична.

Устройства дроселирующие предназначены для снижения давления рабочей среды в быстродействующих редукционных установках (БРУ-СН, БРУ-Д и БРУ-ТФУ). В состав устройства дроселирующего входят следующие основные части: корпус, сваренный из переходов и патрубка выходного, и шумоглушители, приваренные к переходам и патрубку выходному.

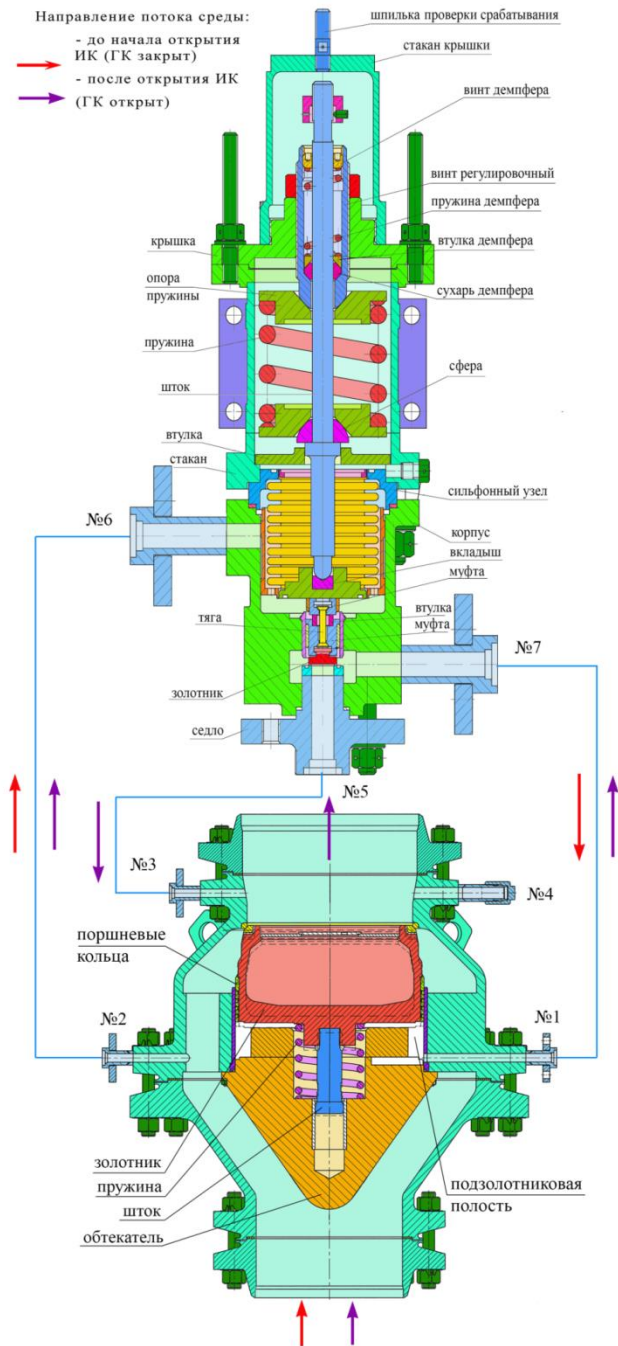
Принцип работы устройства дроселирующего заключается в следующем: среда, проходя через шумоглушители, создающие местное гидравлическое сопротивление, дроселируется до необходимого давления. Кроме того шумоглушители способствуют снижению уровня шума.



### Конструкция дроселирующего устройства

**ИПУ** защищают КСН и оборудование (деаэратор, пиковый бойлер, установку подпитки теплосети) от повышения давления при ложном открытии соответствующего редукционного устройства. Конструкция всех ИПУ идентична (см описание ИПУ деаэратора).

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



Конструкция ИПУ

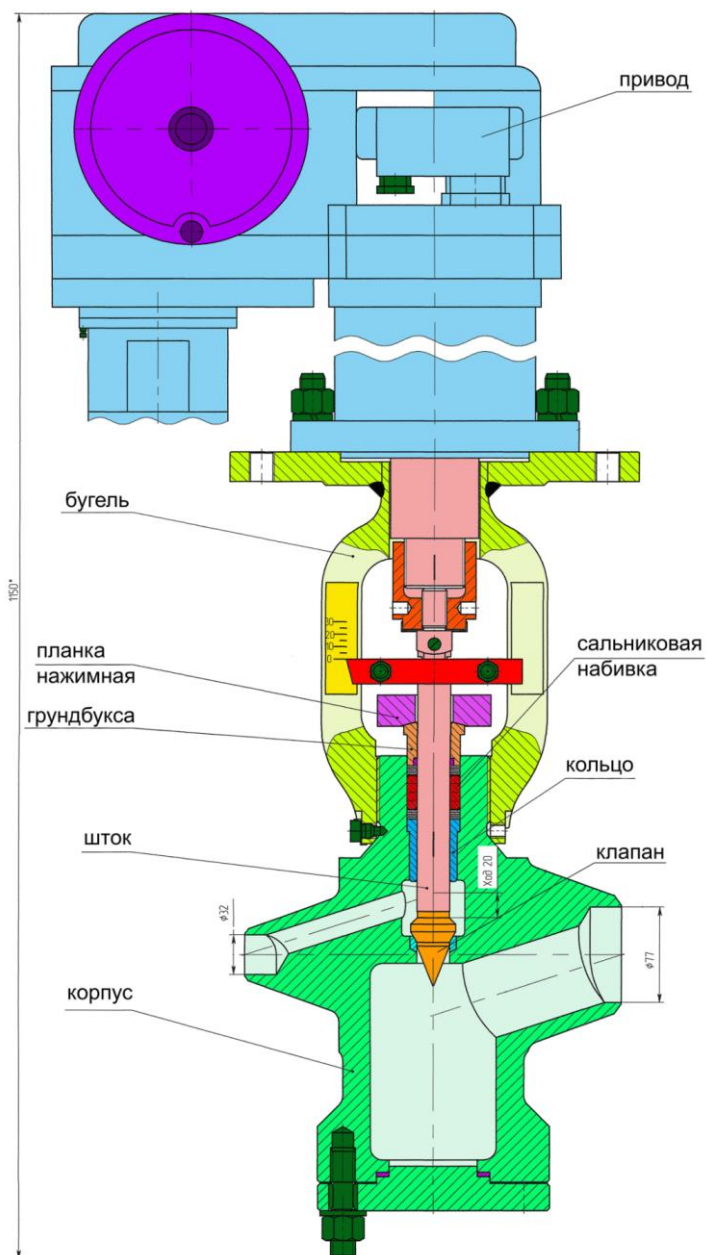
Основные технические характеристики	БРУ-Д	БРУ-СН, БРУ-ТФУ
тип	936-150/250-Э-01	936-100/250-Э
Ду, на вх/ вых	150/250	100/250
давление до клапана, МПа	6,9	6,9
давление после клапана, МПа	0,71	0,71
расход тах, т/час	270	100
электропривод: - тип	ЭП-100000/25-100У-11А-УХЛ3.1	ЭП-100000/25-100У-11А-УХЛ3.1
- мощность номинальная, кВт	2,94	2,94
время полного хода, сек	20±2	20±2
ход клапана, мм	75	75
рабочий перепад давлений, МПа	2,5-2,7	2,5-2,7
расходная характеристика	близкая к линейной	близкая к линейной
масса, кг, не более	800	780

Основные технические характеристики	ИПУ-Д, ИПУ-КСН	ИПУ-ТФУ
тип	ПТ57001-250/300-03	ПТ57001-250/300-02
давление полного открытия, МПа	1,023	0,81
давление обратной посадки, МПа	0,8	0,63
расход тах, т/час	220	32
время полного хода, сек	3	3
масса, кг, не более	615	615

### 2.13.4 Редукционная установка РУ-УПТ

Редукционная установка РУ-УПТ LBF60AA201 предназначена для подачи пара в устройство подпитки теплосети при давлении во II отборе ниже 1,08 МПа.

параметр	давление до клапана, МПа	давление после клапана, МПа	расход тах, т/час	время полного хода, сек	ход клапана, мм
значение	6,9	1,08	2,2	9	20



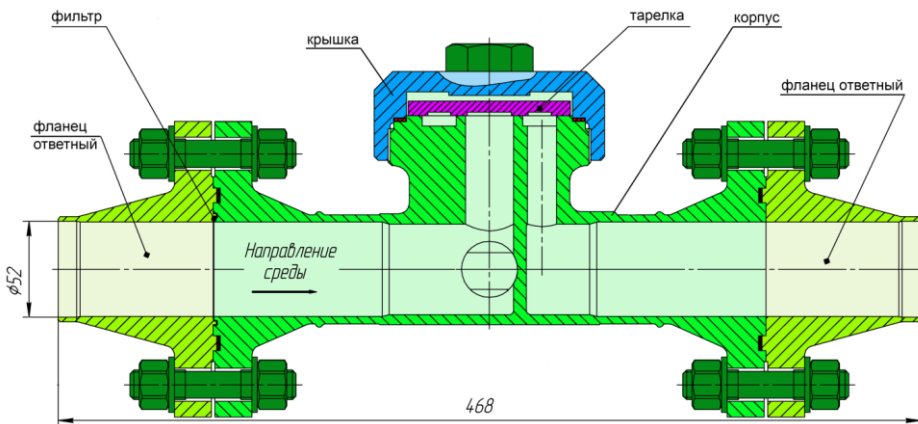
Конструкция РУ-УПТ

### 2.13.5 Конденсатоотводчик

Конденсатоотводчики Ду50 предназначены для автоматического отвода конденсата и перекрытия прохода при поступлении пара.

В состав конденсатоотводчика С.КО 50-Ф1 СБ входят следующие основные части:

- корпус;
- резьбовая крышка с шестигранной головкой, уплотняемая относительно корпуса с помощью фторопластовой прокладки;
- тарелка, расположенная в камере между корпусом и крышкой с опорой на корпус в виде кольцевых выступов, которая вместе с корпусом образует затвор термодинамического типа;
- ответные фланцы Ду50, уплотняемые относительно корпуса с помощью спирально-навитых прокладок, скреплённые с корпусом с помощью шпилек, шайб и гаек;
- сетчатый фильтр, расположенный между входным ответным фланцем и корпусом.



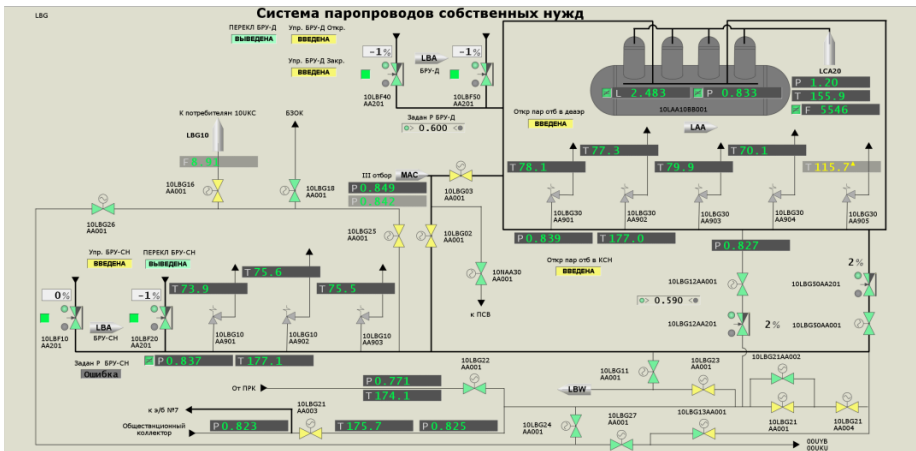
**Конструкция конденсатоотводчика**

Термодинамический конденсатоотводчик работает по принципу аэродинамического эффекта на основе термодинамических свойств пара. При поступлении конденсата тарелка под действием перепада давления отжимается от корпуса, и конденсат поступает в кольцевой паз корпуса и затем в выходной ответный фланец. В это время тарелка находится во взвешенном состоянии. При поступлении пара в щели между тарелкой и корпусом скорость пара значительно повышается с одновременным снижением статического давления. Тарелка под действием разности давлений прижимается к корпусу так, что между корпусом и тарелкой остается минималь-

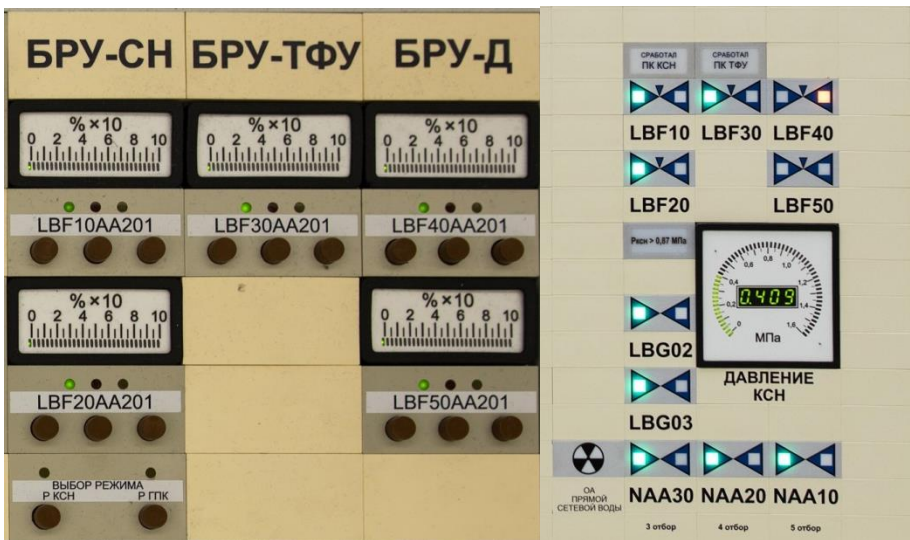
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

ный зазор. Затем пар, заполнивший камеру над тарелкой, вследствие разности площадей тарелки и центрального входного канала прижимает тарелку к корпусу. Протечка пара прекращается. При поступлении конденсата температура и давление в камере над тарелкой понижаются, тарелка поднимается, и конденсат свободно протекает до тех пор, пока не поступит пар, вызывающий перекрытие прохода в корпус тарелкой.

Контроль работы системы осуществляется с видеокадра СВБУ LBG и пульта БПУ и панели 10CWG07.



Видеокадр СВБУ LBG



Фрагмент пульта

Фрагмент панели 10CWG07

## 2.14 Система LBW уплотнения турбины. Система МАМ отвода пара с уплотнений

### 2.14.1 Назначение

Система уплотнения турбины LBW предназначена для подачи пара:

- на концевые уплотнения турбины с целью предотвращения пропуска пара в машзал через зазоры в концевых уплотнениях ЦВД (при избыточном давлении на выхлопе ЦВД), или предотвращения пропуска воздуха через зазоры в концевых уплотнениях ЦВД и ЦНД при наличии в них разрежения (для ЦВД это пуск и работа с малой нагрузкой);
- на уплотнения штоков клапанов турбины для предотвращения протечек пара в машзал, если клапаны находятся под избыточным давлением, и для предотвращения присосов воздуха через штоки клапанов турбины, находящихся под разрежением.

Система МАМ отвода пара из уплотнений предназначена для отвода и утилизации протечек паровоздушной смеси с концевых уплотнений турбины и штоков клапанов турбины.

### 2.14.2 Описание технологической схемы

Уплотнение самой турбины и ее клапанов обеспечивается работой двух контуров: контура подачи пара на уплотнения (система LBW) и контура отвода паровоздушной смеси с уплотнений (система МАМ).

Концевые уплотнения ЦВД и ЦНД выполнены двухкамерными. В первую по ходу протечек камеру подается запирающий пар с давлением 20 кПа (изб), во второй камере создается разрежение – 5 кПа (95 кПа абс) работой вентиляторов.

При пуске турбины пар в коллектор уплотнений подается из коллектора собственных нужд системы LBG. Во время работы турбины подача пара на уплотнения производится из парового пространства бака деаэратора. Подача осуществляется через регулирующий клапан, с помощью которого поддерживается давление пара 20 кПа. При работе турбины под нагрузкой, когда давление в ЦВД избыточное, турбина переходит на самоуплотнение: протечек пара в первую камеру из ЦВД достаточно для поддержания давления в коллекторе подачи пара на уплотнения.

Клапаны турбины высокого давления (СК и РК высокого давления, БРУ-К) имеют трехкамерные уплотнения: протечки из первой камеры отводятся в деаэратор (зеленая линия на схеме), во вторую камеру подводится пар

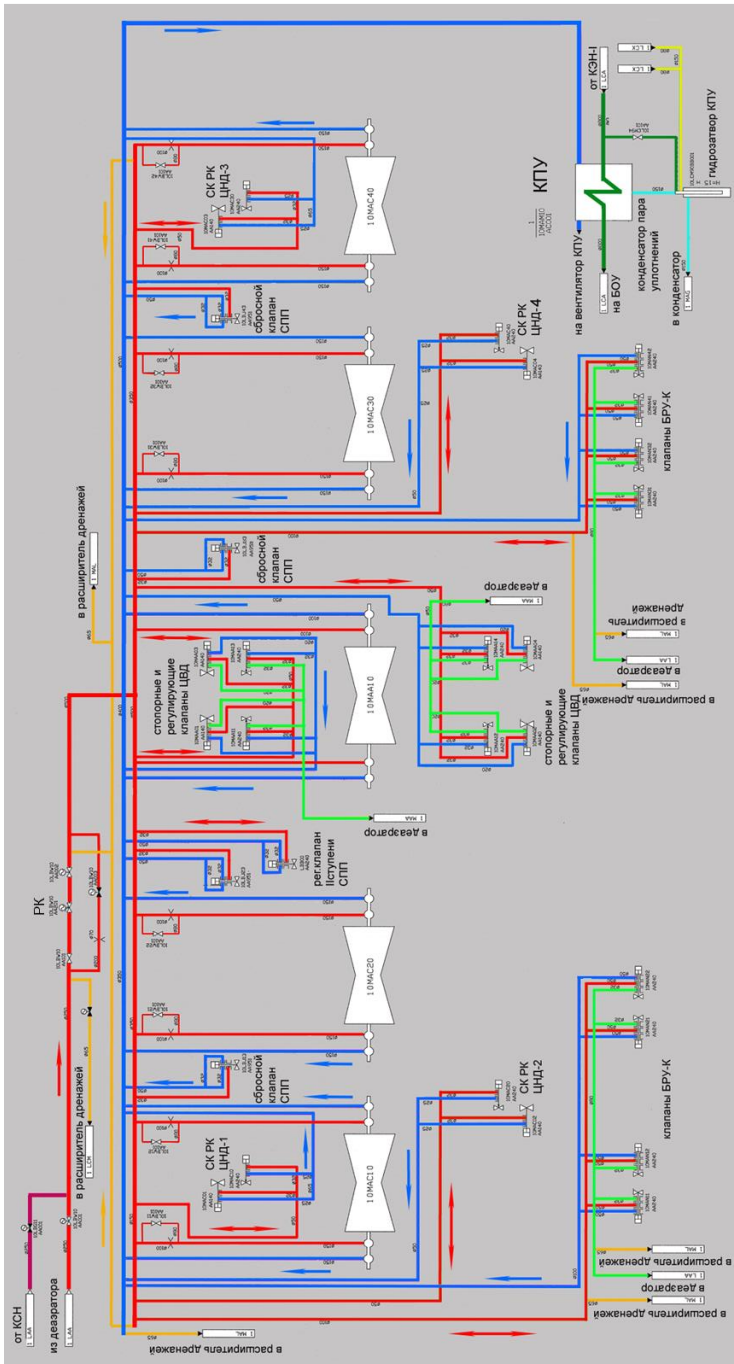
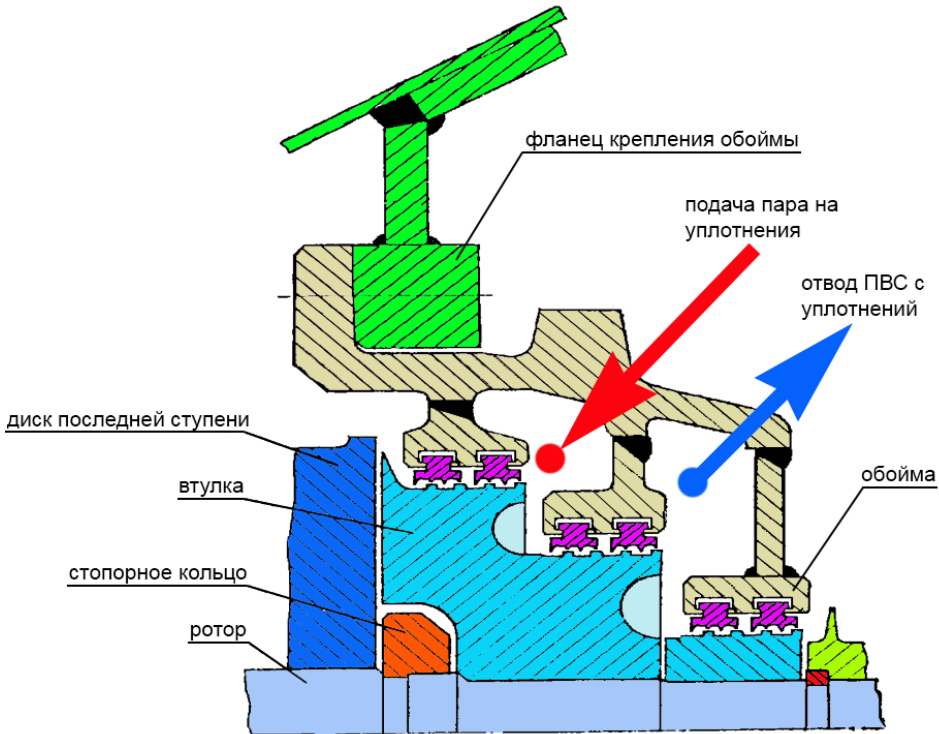


Схема системы уплотнений турбины

из коллектора уплотнений, из третьей камеры отводится паровоздушная смесь на всас вентиляторов системы МАМ. Уплотнения остальных клапанов двухкамерные (СК и РК низкого давления, сбросные клапаны, клапан подачи пара на II ступень СПП).

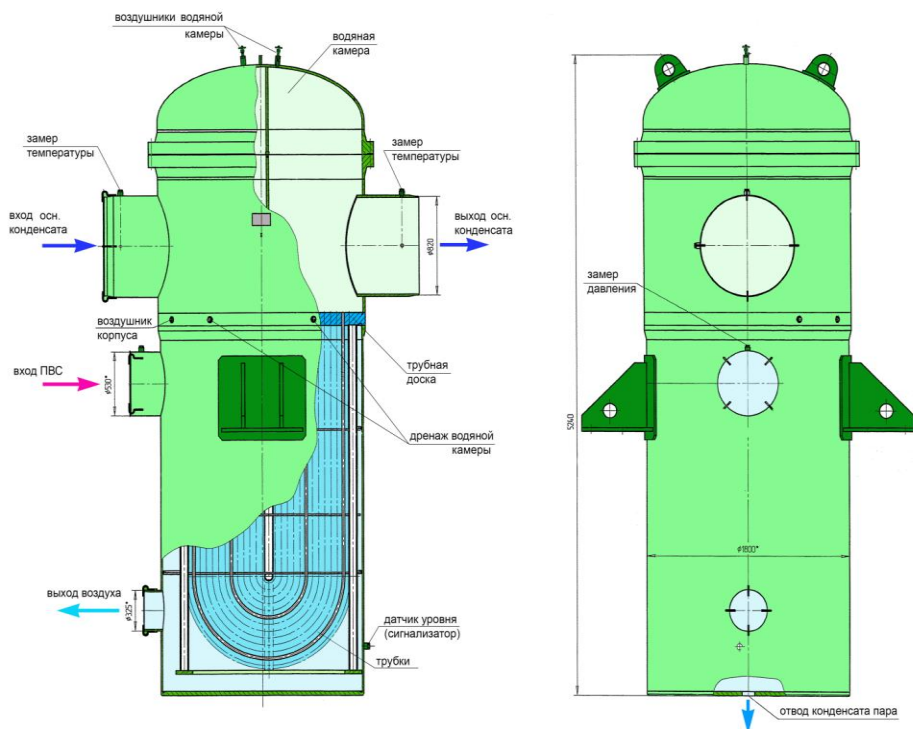


### Устройство двухкамерного концевое уплотнения

Для предотвращения утечки пара из уплотнений цилиндров турбины, из уплотнений штоков стопорных и регулирующих клапанов турбины, паромасляных сервомоторов, сбросных клапанов промпрегрева, клапана греющего пара и клапанов БРУ-К крайние камеры уплотнений перечисленного оборудования соединены общим коллектором через конденсатор пара уплотнений с всасом вентиляторов. Конденсат, образующийся в конденсаторе пара уплотнений, сливается в конденсатор через гидрозатвор высотой 15 м.

Для удаления конденсата, образующегося при прогреве трубопроводов системы паровых уплотнений турбины, предусмотрены дренажные линии в расширитель дренажей турбины НД.

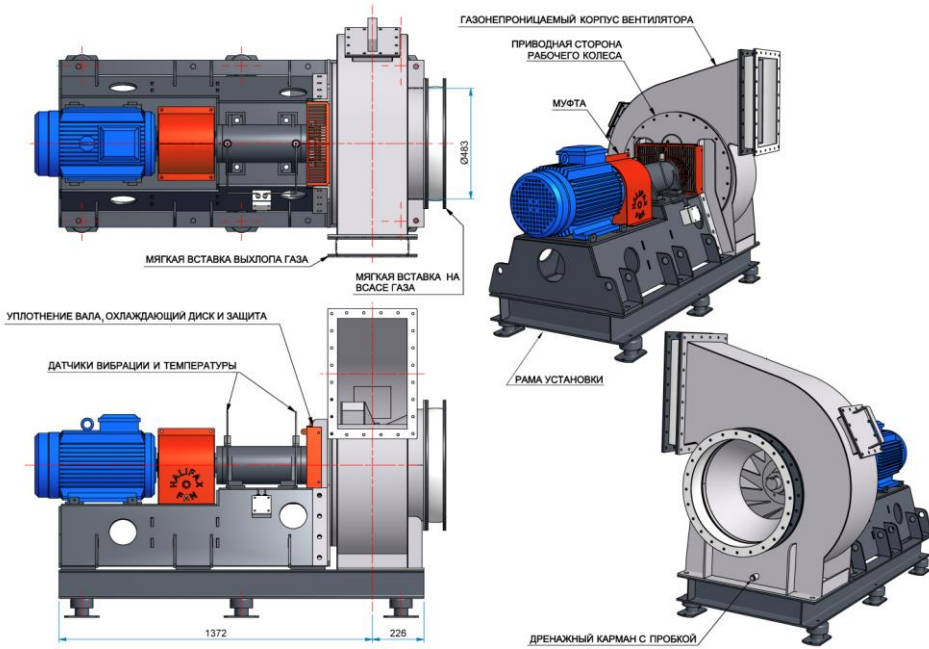
### 2.14.3 Конденсатор пара уплотнений



#### **Конструкция конденсатора пара уплотнений**

Конденсатор пара уплотнений представляет собой вертикальный поверхностный пароводяной теплообменный аппарат с верхним расположением водяной камеры. Площадь поверхности теплообмена 340 м<sup>2</sup> образована 791 трубкой Ø25x1 мм. Трубки развальцованы в трубной доске и опираются на промежуточные трубные перегородки, установленные таким образом, чтобы исключить опасные формы колебаний при вибрации. Возможность относительных расширений корпуса и трубок поверхности теплообмена обеспечивается применением U-образных труб. На линии отсоса воздуха из КПУ стоит вентилятор, который создает разрежение в паровом корпусе конденсатора. Паровоздушная смесь отводится из уплотнений турбины в корпус КПУ за счет разности давлений и, конденсируясь на трубном пучке, отдает тепло проходящему по трубкам основному конденсату. Пуск КПУ осуществляется включением в работу вентилятора КПУ. Ввиду отсутствия арматуры, никаких дополнительных действий не требуется.

### 2.14.4 Вентагрегат КПУ



#### Конструкция вентагрегата КПУ

Вентагрегат КПУ представляет собой центробежный вентилятор одностороннего всасывания правого направления вращения с углом разворота спирального корпуса  $180^\circ$ . Скомпонован в едином агрегате с приводным электродвигателем, направляющим аппаратом, предназначенным для регулирования производительности и давления, и электроисполнительным механизмом привода направляющего аппарата.

Ходовая часть вентагрегата состоит из вала, подшипников качения, расположенных в общем корпусе, имеющем горизонтальный разъем, крыльчатки воздушного охлаждения и упругой втулочно-пальцевой муфты, соединяющей вал с электродвигателем. Подшипник, расположенный со стороны электродвигателя, является опорно-упорным, с противоположной стороны – опорным.

Охлаждение ходовой части – воздушное. Крыльчатка охлаждения, установленная на валу между стенкой спирального корпуса и корпусом ходовой части, предназначена поддержания температурного режима работы подшипников за счет интенсификации теплообмена между корпусом ходовой части и окружающей средой.

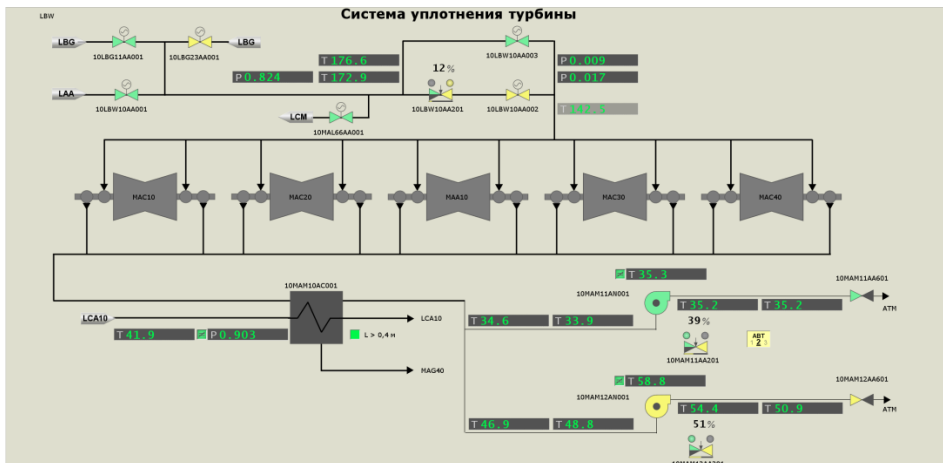
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Смазка подшипников ходовой части жидкая типа «масляная ванна». Объем огнестойкого масла, заливаемого в ходовую часть, 13 л. Контроль уровня масла в масляной ванне производится с помощью маслоуказателя, установленного на корпусе ходовой части.



*Конструкция вентилятора КПУ*

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LBW.



*Видеокadra СВБУ LBW*

## 2.15 Система LBJ сепарации и промежуточного перегрева пара

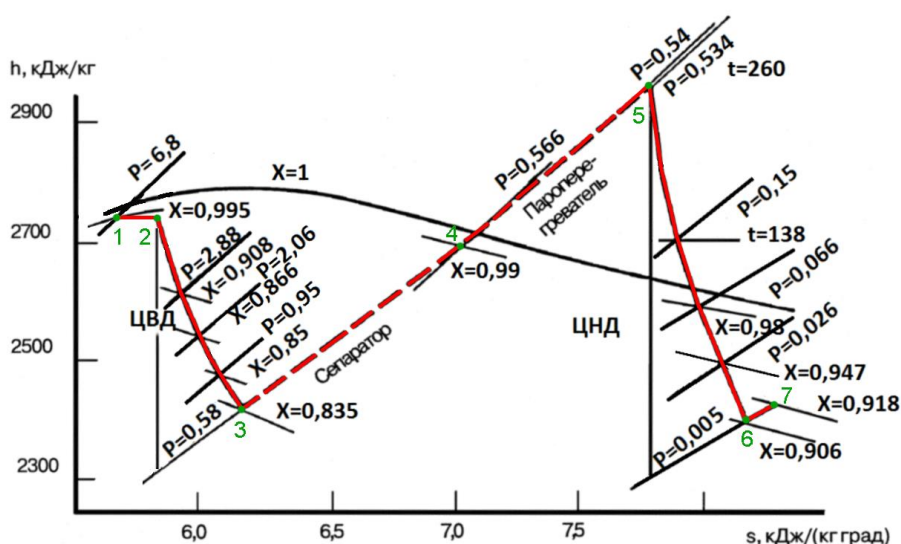
### 2.15.1 Назначение

Система сепарации и промежуточного перегрева пара предназначена для осушки и последующего двухступенчатого перегрева пара, поступающего после ЦВД.

### 2.15.2 Обоснование необходимости системы сепарации и промежуточного перегрева пара

Пар, поступающий из парогенераторов в турбину К-1200-6,8/50, имеет степень сухости 0,995 (точка 1 на h-s диаграмме), то есть содержит 0,5% влаги. В процессе расширения насыщенного пара в турбине его влажность непрерывно увеличивается.

Влажность пара снижает внутренний относительный КПД турбины и вызывает эрозионный износ проточной части.



1-2 – дросселирование на СК и РК, 2-3 – расширение в ЦВД, 3-4 – сепарация, 4-5 – перегрев, 5-6 – расширение в ЦНД, 6-7 – потери с выходной скоростью.

### Расширение пара в турбине на h-s диаграмме

Влияние влажности на КПД обусловлено неизбежными затратами энергии на разгон и отбрасывание капель влаги, на трение потока пара о капли и о пленки влаги, а также увеличением конечных по-

терь и тормозящим воздействием ударов капель, срывающихся пленок и т.д.

Влияние влажности пара на надежность турбоагрегата обусловлено интенсификацией процессов коррозии и эрозии. В потоке пара образуются капли влаги разных размеров, обладающих большими скоростями. На входной кромке профиля лопаток повреждения возникают в виде мелких вмятин и постепенно к середине профиля переходят в нерегулярные шероховатости. В такой же последовательности происходит развитие эрозии:

*образование мелких оспин => появление шероховатости => выламывание отдельных зазубрин => образование крупных оспин с рваными кромками => выкрашивание все более крупных частиц металла.*

Выкрашивания на поверхности разрушаемого эрозией металла ориентированы по отношению к направлению движения капель. Причинами эрозии являются:

- остронаправленные импульсные воздействия капель;
- накопление деформаций;
- импульсные всплески давления при конденсации пузырьков пара на поверхности;
- возникновение и схлопывание кавитационных пузырьков на поверхностях и шероховатостях поверхностей лопаток.

Все эти явления дополняют друг друга и все более развиваются по мере увеличения неравномерности геометрических характеристик поверхности. То есть начавшийся процесс эрозии стимулирует его дальнейшее развитие. Возникает целый комплекс взаимодействия механических, тепловых, химических и электрических явлений. Например, пик давления, возникающий при разрыве парового пузырька на поверхности, в течение долей миллисекунды вызывает резкий скачок температуры, вследствие чего возникают электростатические процессы, которые оказывают влияние на протекание химической реакции на поверхности лопатки.

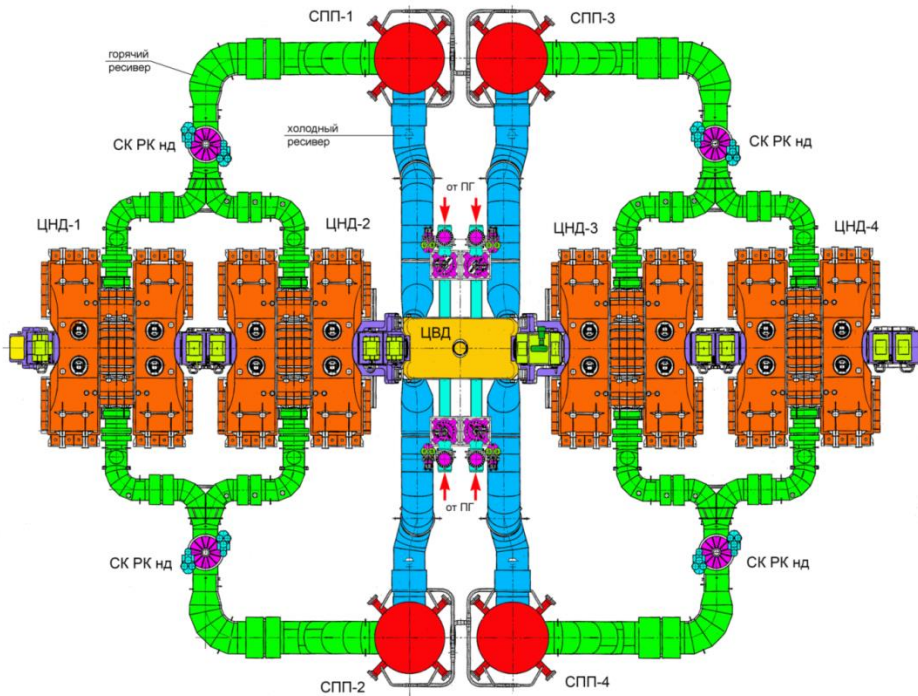
Степень сухости пара на выходе из ЦВД составляет 0,835 (точка 3 на рисунке). То есть пар содержит 16,5% влаги. Если этот пар далее подать в ЦНД (точку 5 на рисунке перенести в точку 3), то пар на выходе из турбины будет иметь значение влажности, неприемлемое с точки зрения работоспособности лопаток ЦНД.

Применение сепарации и промежуточного перегрева позволяет получить степень сухости на выходе из ЦНД 0,906 (точка 6 на h-s диаграмме), то есть даже больше, чем на выходе из ЦВД.

С разрешения ГИ допускается работа турбины с отключенной 1-ой или 2-ой ступенью СПП на срок, определяемый ГИ. При этом нагрузка турбины ограничивается температурой пара за СПП (не менее 250°C).

### 2.15.3 Описание технологической схемы и конструкции оборудования

Из выхлопов ЦВД пар отводится четырьмя паропроводами Ду 1800 (их называют холодными ресиверами).



*Холодные и горячие ресиверы*

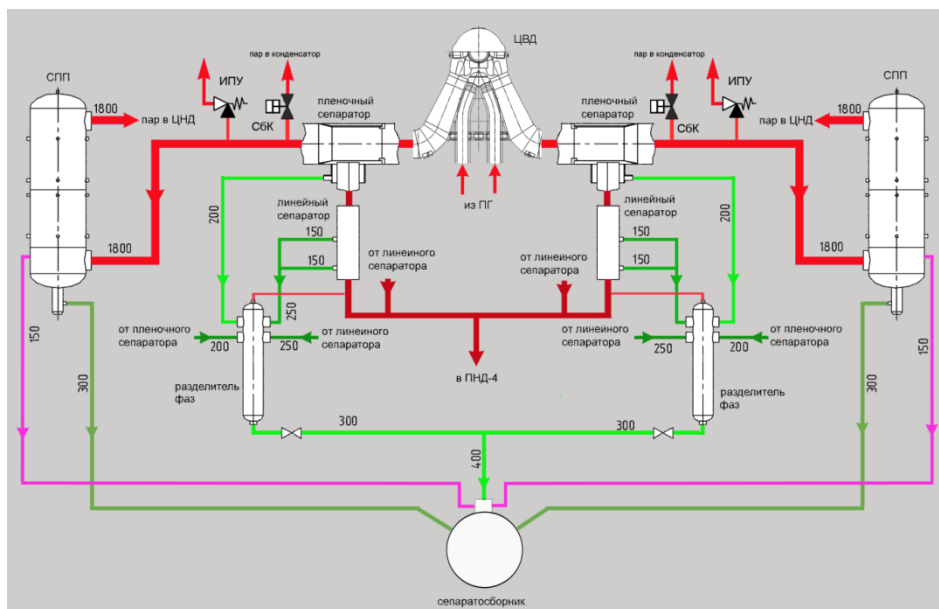
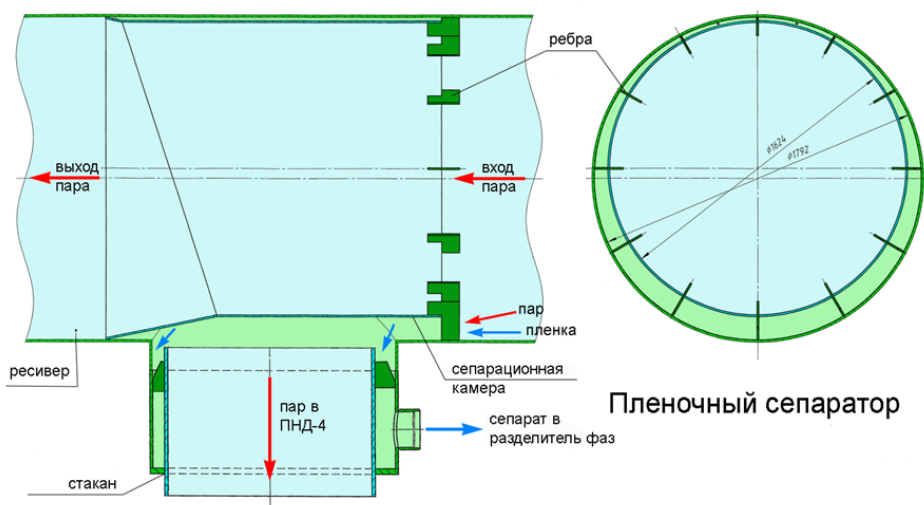


Схема сепарации

### 2.15.4 Пленочный сепаратор

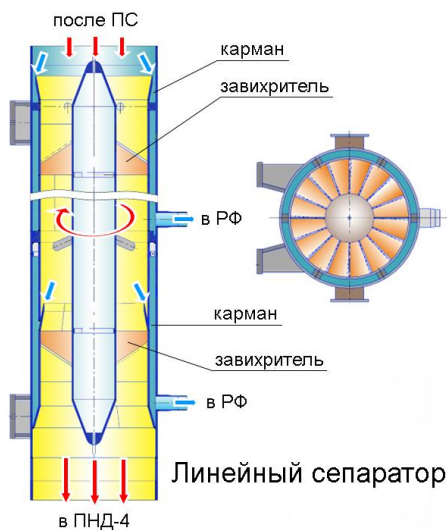
На каждом таком паропроводе установлен пленочный сепаратор, который представляет собой размещённую в корпусе холодного ресивера сепарационную камеру, выполненную в виде прямой трубы.



Пленочный сепаратор

Пленка воды попадает в зазор между стенками ресивера и сепарационной камеры, и направляется в «стакан», из которого сепарат отводится в разделитель фаз патрубком Ду 200. Из каждого холодного ресивера производится отбор пара паропроводами Ду 1000 (4 штуки), которые объединяются в коллектор Ду 1400 отбора пара на ПНД-4.

### 2.15.5 Линейный сепаратор

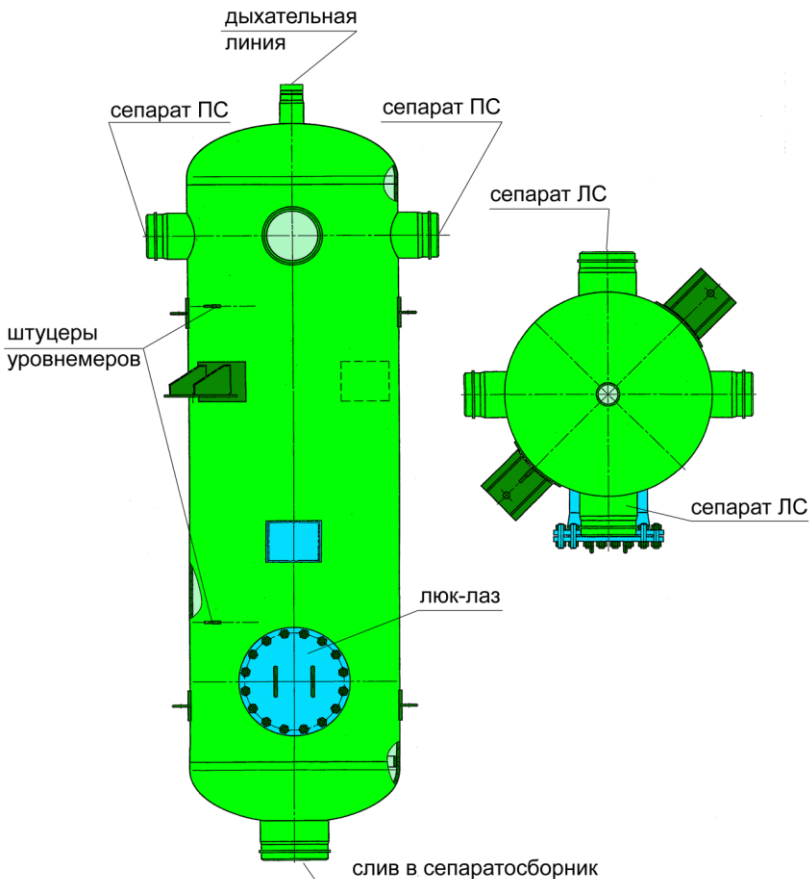


На каждом паропроводе Ду 1000 за стаканом пленочного сепаратора установлен линейный сепаратор, встроенный в трубопровод в вертикальном положении. Работа сепаратора основана на использовании завихрителя, который приводит к закручиванию потока пара. Под действием центробежной силы влага отбрасывается на стенки, собирается в карманы и отводится в разделитель фаз. Линейный сепаратор характеризуется высокой эффективностью (удаляет из потока влажного пара 80÷95% влаги).

### 2.15.6 Разделитель фаз

Разделитель фаз является промежуточной емкостью и служит для приема сепарата от пленочных и линейных сепараторов, расположенных по одному борту турбоустановки. С каждого борта турбоустановки устанавливается по одному разделителю (всего два сосуда, по одному на два пленочных и два линейных сепаратора).

Разделитель фаз выполнен в виде вертикальной цилиндрической емкости с приваренными эллиптическими днищами. В верхней части разделителя предусмотрены два патрубка подвода сепарата от двух пленочных сепараторов, два патрубка подвода сепарата от двух линейных сепараторов и дыхательная линия. В нижней части предусмотрен патрубок отвода сепарата в сепаратосборник.



### Разделитель фаз

На каждом холодном ресивере за пленочным сепаратором установлено по одному сбросному клапану и по одному импульсному предохранительному устройству.

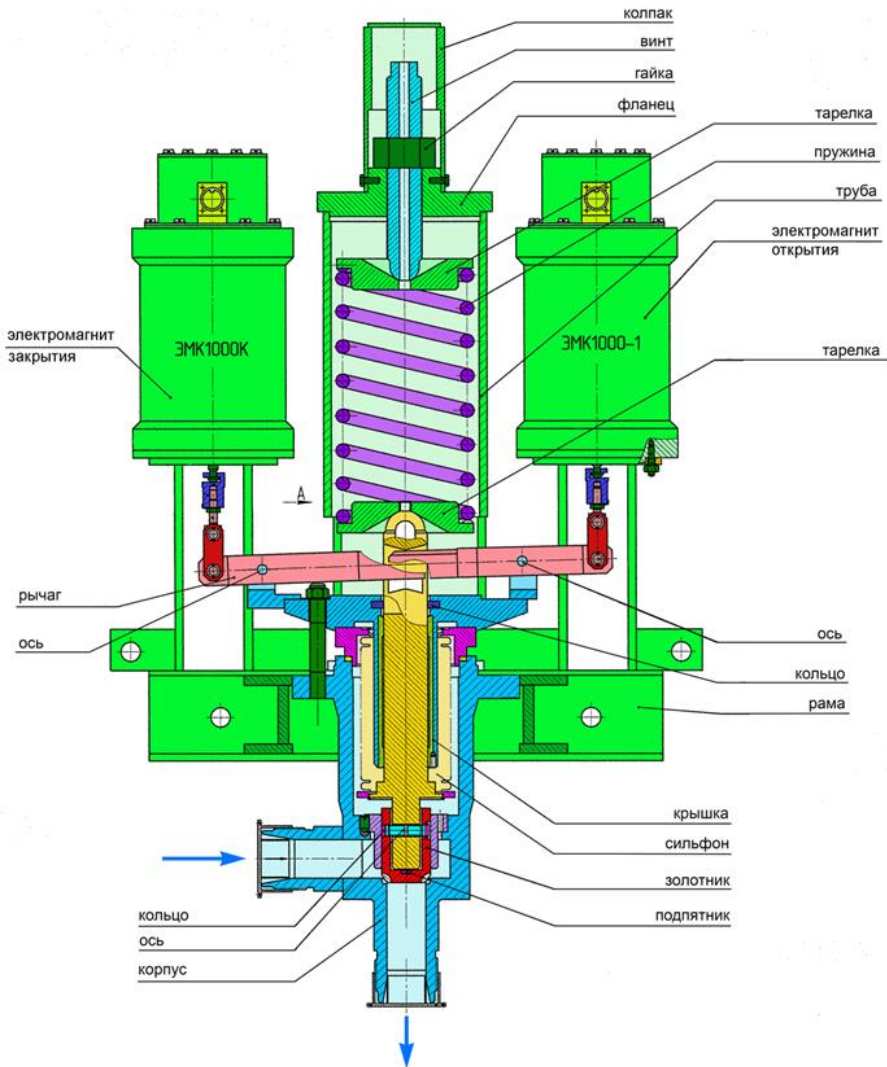
**Сбросные клапаны** являются элементами системы защиты, управляются от турбинного контроллера командами ЭЧСР и предназначены для быстрого сброса давления из холодных ресиверов, корпусов СПП и ПНД-4 в конденсатор при срабатывании защит турбины или сбросе электрической нагрузки, чтобы предотвратить разгон турбины аккумулялированным паром.

#### 2.15.7 Импульсные предохранительные устройства

ИПУ предназначены для предотвращения возможного повышения давления пара в корпусе СПП сверх расчетного (в случае повре-

ждения трубок пароперегревателя СПП или в случае закрытия стопорных регулирующих клапанов низкого давления перед ЦНД при открытых клапанах высокого давления) путем сброса рабочей среды в атмосферу. Каждое ИПУ имеет в своем составе главный клапан и импульсный клапан.

**Импульсный клапан ИК** предназначен для управления главным клапаном.



*Конструкция импульсного клапана ИПУ СПП*

Импульсный клапан состоит из следующих основных узлов и деталей:

- корпуса, через который при открытом затворе проходит рабочая среда;
- золотника, обеспечивающего герметичное перекрытие проходного сечения клапана;
- пружины, обеспечивающей необходимое усилие для создания герметичности затвора и работоспособность клапана;
- сиффона, обеспечивающего герметичность по штоку относительно внешней среды;
- электромагнитов, обеспечивающих принудительное открытие и закрытие клапана.

ИК является клапаном прямого действия с пружинной нагрузкой. Рабочая среда подается в боковой патрубков, и ее давление уравнивается пружиной. При повышении давления среды до значения открытия (0,95 МПа) золотник перемещается вверх, сжимает пружину и открывает проходное сечение проточной части клапана. Происходит сброс среды.

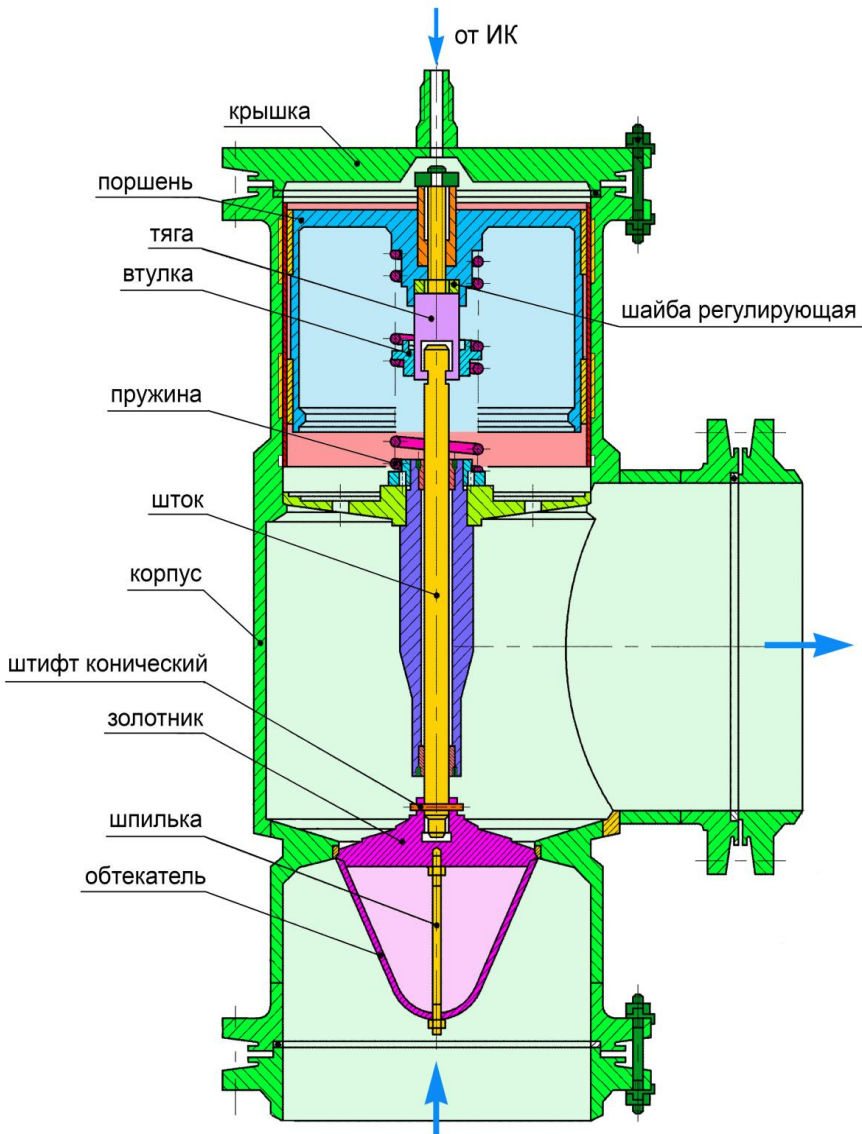
При снижении давления перед ИК до значения закрытия (0,73 МПа) золотник под действием усилия пружины перемещается, закрывая проходное сечение, и сброс среды прекращается.

С целью повышения надежности срабатывания ИК и обеспечения его герметичности применены электромагниты, осуществляющие принудительное открытие и закрытие клапана. При повышении давления обесточивается электромагнит закрытия и запитывается электромагнит открытия, который открывает клапан, воздействуя на рычаг. При снижении давления происходит обратное переключение, и клапан закрывается.

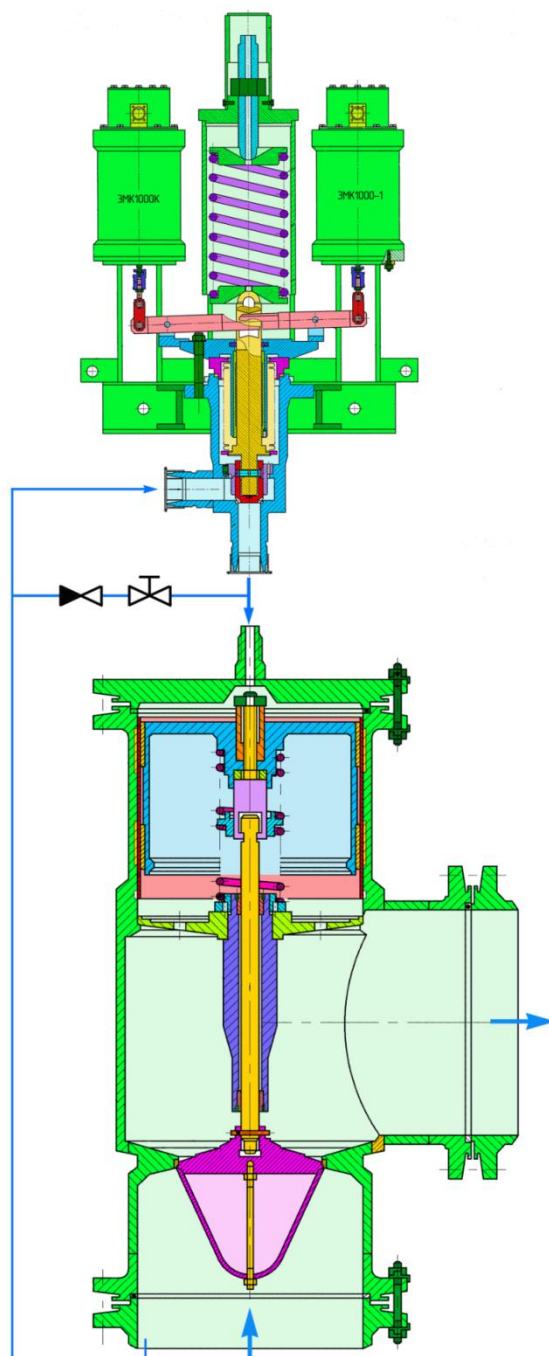
**Главный клапан ГК** состоит из следующих основных деталей и узлов:

- углового сварного корпуса, через который при открытом затворе сбрасывается рабочая среда;
- золотника с обтекателем, обеспечивающего перекрытие проходного сечения клапана и соединенного на резьбе со штоком, застопоренным от саморазвинчивания разводным коническим штифтом;
- поршневого привода, состоящего из поршня, связанного тягой со штоком, и двух возвратных пружин, осуществляющих возврат золотника в положение «закрыто» при падении давления до клапана;

– крышки со штуцером для подвода управляющего давления.  
 При увеличении рабочего давления среды в системе до клапана срабатывает импульсный клапан и пар поступает в цилиндр поршневого привода главного клапана.



*Конструкция главного клапана ИПУ СПП*



Конструкция ИПУ СПП

Так как диаметр поршня больше диаметра золотника, усилие от давления среды на поршень превышает усилие от давления среды на золотник и усилие пружины, клапан открывается и сбрасывает среду из системы.

При снижении давления импульсный клапан закрывается, прекращается подача пара в надпоршневую полость, главный клапан закрывается и сброс среды прекращается.

Для предотвращения резкого удара золотника о седло корпуса предусмотрена проточка в седле, создающая демпфирующий эффект.

Ручная арматура с обратным клапаном на байпасе импульсного клапана предназначена для предотвращения открытия главного клапана в случае, когда холодные ресиверы находятся под разрежением (когда в конденсаторе вакуум, а стопорные и регулирующие клапаны турбины закрыты).

#### 2.15.8 Сепаратор-пароперегреватель

Сепарация и перегрев пара после ЦВД осуществляется в четырех сепараторах-пароперегревателях. СПП представляет собой вертикальный сосуд, состоящий из четырех частей, соединенных в единый аппарат:

- сепаратор;
- пароперегреватель 1 ступени;
- пароперегреватель 2 ступени;
- разделитель СПП;

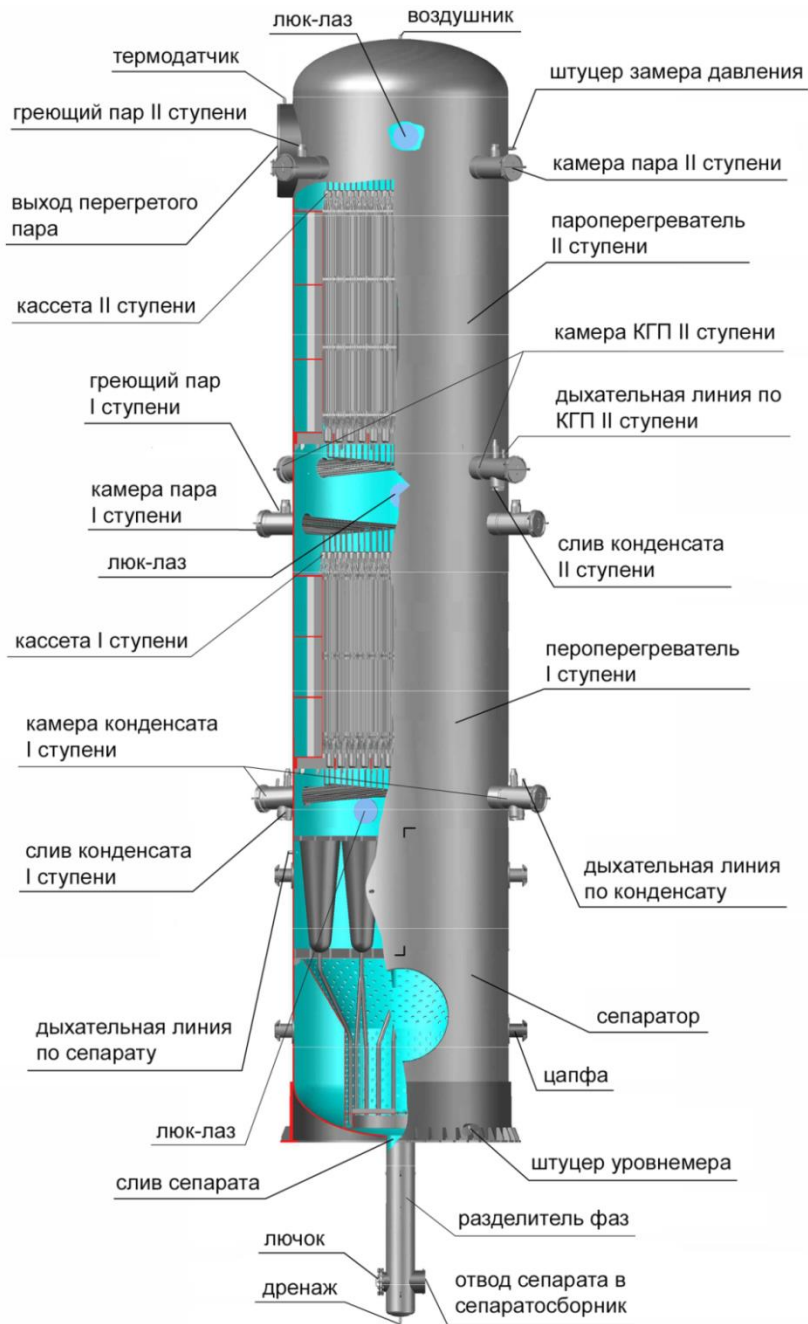
Сепаратор с разделителем СПП расположен снизу, пароперегреватели 1 и 2 ступеней – сверху.

#### 2.15.9 Сепаратор

Сепаратор представляет собой цилиндрический корпус с приваренным внизу эллиптическим днищем.

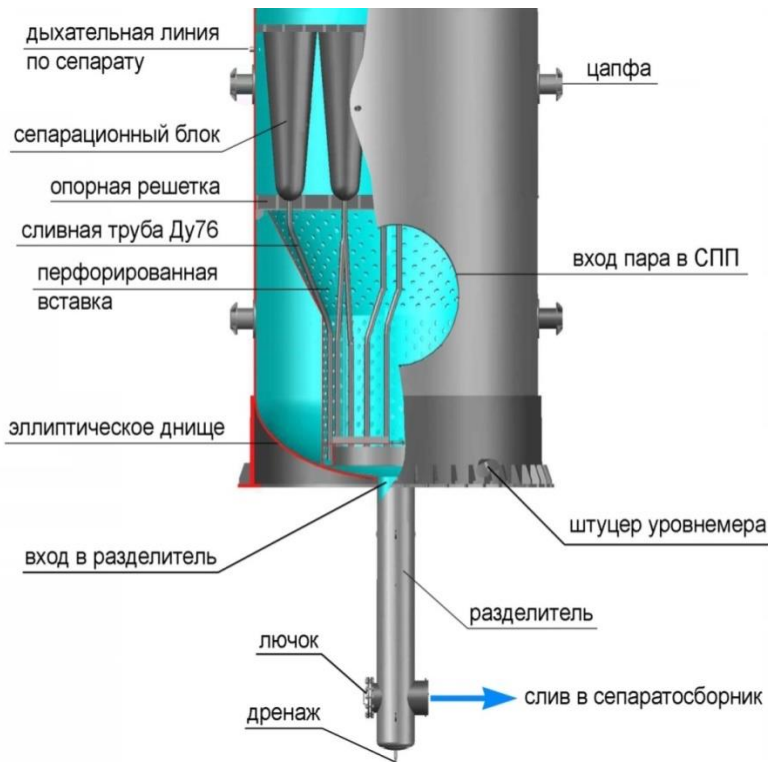
В нижней части корпуса предусмотрена входная камера, которая представляет собой полость, ограниченную сверху опорной решеткой, снизу – эллиптическим днищем. По внутренней поверхности корпуса пространство входной камеры облицовано листом из хромистой стали для защиты корпуса от эрозионного износа. Пространство входной камеры разгорожено специальной перфорированной вставкой, которая предназначена для выравнивания потока влажного пара на входе в сепарационные боки. Влажный пар подводится в сепаратор через патрубок (Dy 1800).

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

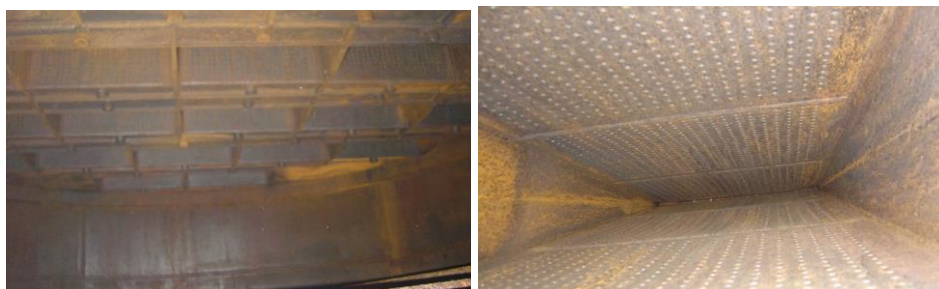
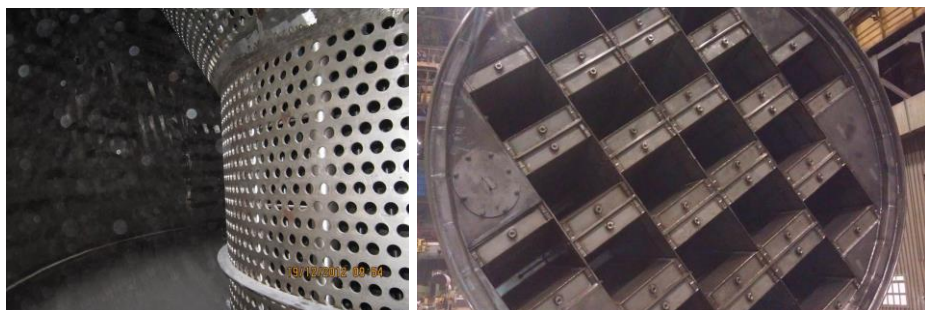


*Конструкция сепаратора-пароперегревателя*

В средней части корпуса расположена опорная решетка, на которой установлены и приварены к ней 20 сепарационных блоков. Сепарационный блок состоит из двух полублоков, соединенных сваркой. Каждый полублок состоит из рамы, двух пакетов жалюзи и дырчатых листов на входе и выходе. Отсепарированная в сепарационных блоках влага удаляется по сливным трубам 76x4,5 мм в патрубок Ду 500 на нижнем днище и далее направляется в разделитель СПП.



**Конструкция сепаратора СПП**



*Сепарационные блоки сепаратора СПП*

### 2.15.10 Пароперегреватель

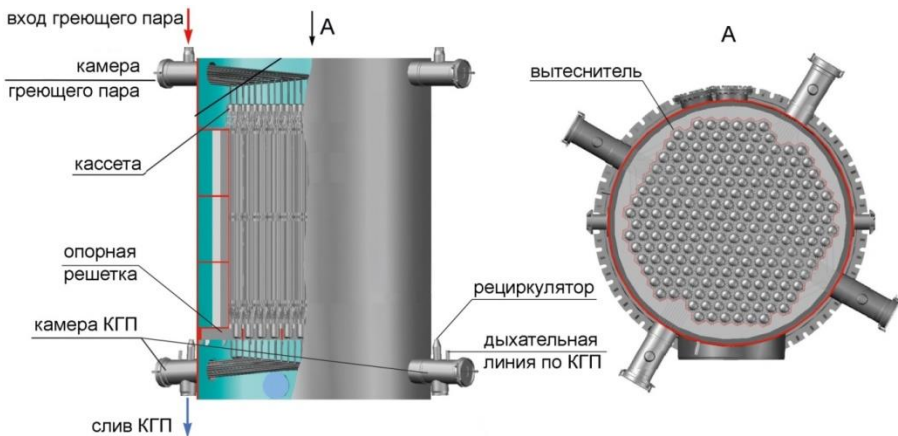
Пароперегреватель представляет собой цилиндрический корпус с приваренным сверху эллиптическим днищем. Пароперегреватель состоит из двух ступеней перегрева, которые расположены одна над другой. Каждая ступень пароперегревателя представляет собой трубный пучок, установленный на опорную решетку внутри корпуса СПП.

Каждый трубный пучок пароперегревателя выполнен из 222 кассет. Каждая кассета представляет собой паро-паровой теплообменник поверхностного типа. Кассета выполнена из 37 продольно-орбренных труб, расположенных по треугольной разбивке с шагом 36 мм. Концевые участки труб (без орбрения) закреплены в трубных досках при помощи вальцевания и сварки. К трубным доскам приварены эллиптические донышки, имеющие в центральной части отверстия. К верхнему донышку кассеты непосредственно приваривается труба 32х3 мм подвода греющего пара, а к нижнему через штуцер - труба 32х3 мм отвода конденсата греющего пара.



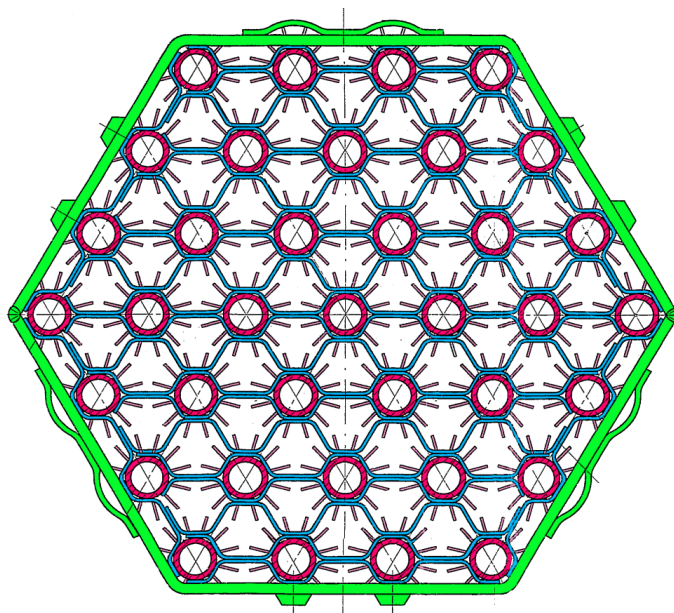
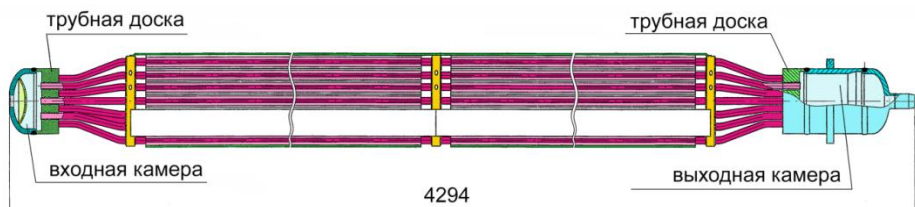
### Пароперегреватель СПП

Трубы подвода греющего пара и отвода конденсата противоположным концом закреплены в трубных досках камер греющего пара посредством вальцевания. Трубные доски камер греющего пара приварены к корпусу пароперегревателя. Камеры греющего пара и камеры слива конденсата приварены к трубным доскам. Камеры имеют отводящиеся в сторону крышки, что позволяет производить осмотр и ремонт мест вальцевания труб разводки.



### Конструкция пароперегревателя СПП

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



*Конструкция кассеты пароперегревателя*



*Кассеты пароперегревателя СПП*



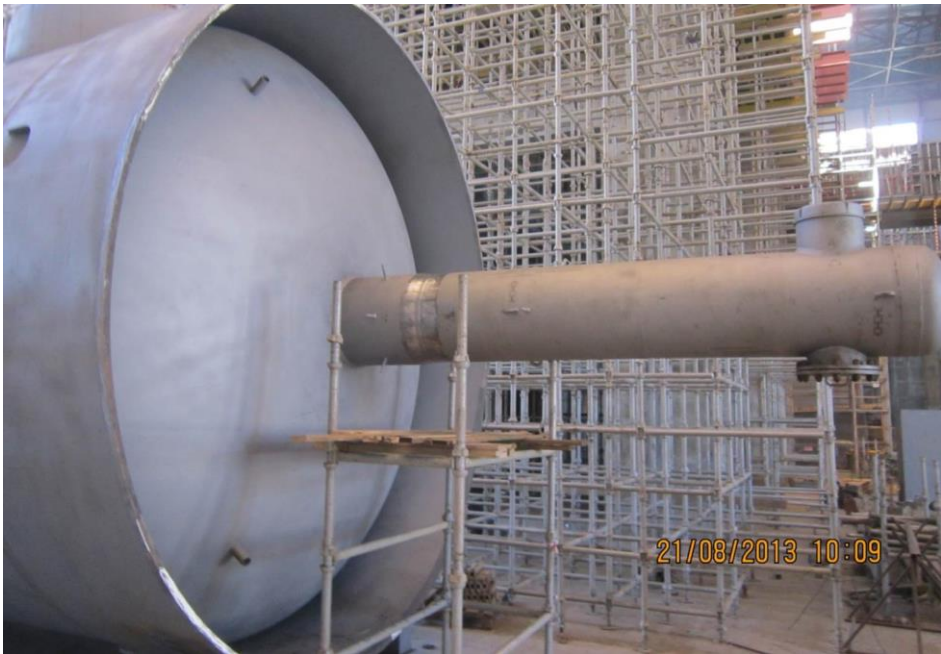
*Камеры греющего пара (КГП)*

Внутри корпуса пароперегревателя расположен вытеснитель, установленный на опорную решетку, который описывает конфигурацию периферийных кассет и закрывает проход пару в зазоры между корпусом и кассетами. В верхней части корпуса расположен патрубок Ду 1800 выхода перегретого пара.

### 2.15.11 Разделитель СПП

Разделитель СПП является промежуточной ёмкостью, предотвращает просок пара из корпуса СПП в сепараторосборник во всех режимах работы турбоустановки.

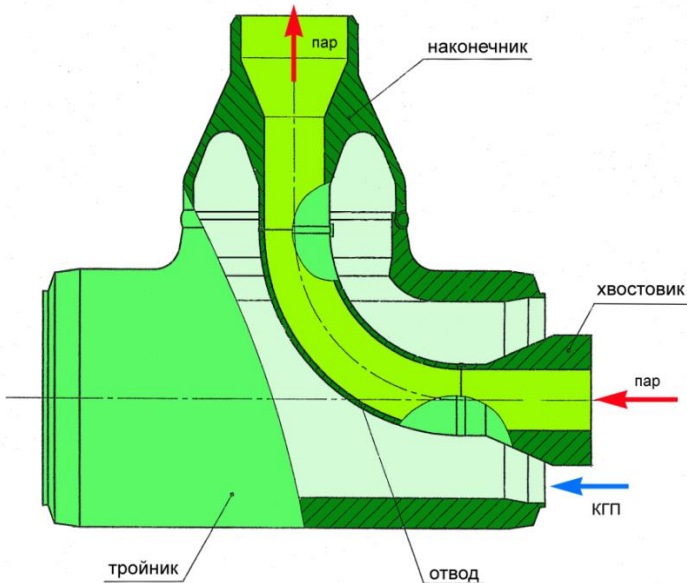
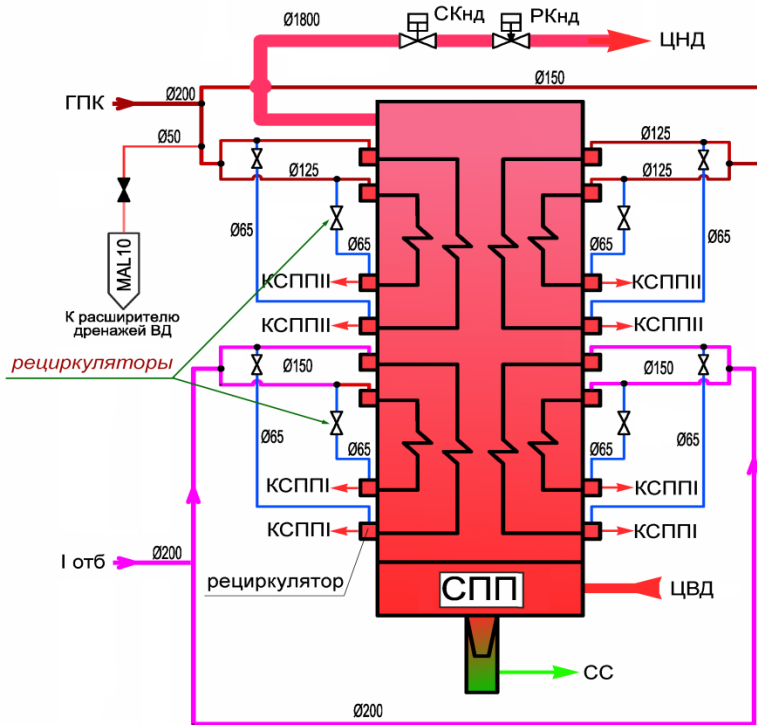
Разделитель СПП представляет собой цилиндрический сосуд, приваренный к выходному патрубку, с отводящим патрубком Ду 300.



*Разделитель СПП*

### 2.15.12 Рециркуляторы

Рециркуляторы 1 и 2 степени предназначены для организации сдувки пара из камер КГП в трубопроводы подвода греющего пара к СПП. На трубопроводе рециркуляции устанавливается запорная арматура, которая во время эксплуатации должна быть открыта. Рециркулятор представляет собой тройник с подведенной трубой сдувки через боковой проход тройника. Свободный торец трубы сдувки расположен на оси трубопровода отвода КГП и направлен по потоку среды.



Устройство рециркулятора

Влажный пар из цилиндра высокого давления поступает во входную камеру сепаратора СПП, где с помощью перфорированной вставки осуществляется его равномерная раздача по входным клиновым коробам сепарационных блоков. Далее на поверхности жалюзи происходит отделение влаги. Отсепарированная влага через разделитель удаляется из сепаратора в сепаратосборник. Для обеспечения устойчивого отвода сепарата предусмотрен уравнильный трубопровод из парового пространства сепаратосборника без запорной арматуры, прокладываемый с непрерывным уклоном от СПП к сепаратосборнику. Осушенный пар через выходной клиновой короб сепарационных блоков поступает в межтрубное пространство пароперегревателя I ступени, где происходит окончательная осушка и промежуточный перегрев. Дальнейший перегрев пара осуществляется во II ступени пароперегревателя. Выйдя из межтрубного пространства кассет пароперегревателя II ступени, перегретый пар через по горячему ресиверу направляется в цилиндры низкого давления турбинной установки. Греющей средой СПП служит: для пароперегревателя I ступени - пар 1 отбора после второй ступени ЦВД; для пароперегревателя II ступени - свежий пар из ГПК. Греющий пар каждой ступени перегрева подводится к верхним камерам, расположенным на корпусе СПП, из которых трубами 32х3 мм, завальцованными и обваренными в трубных досках, раздается по кассетам своей ступени, где конденсируется, отдавая тепло перегреваемому пару. Конденсат из кассет каждой ступени сливается по трубам 32х3 мм и собирается в нижние камеры, из которых отводится в конденсатосборники своей ступени.

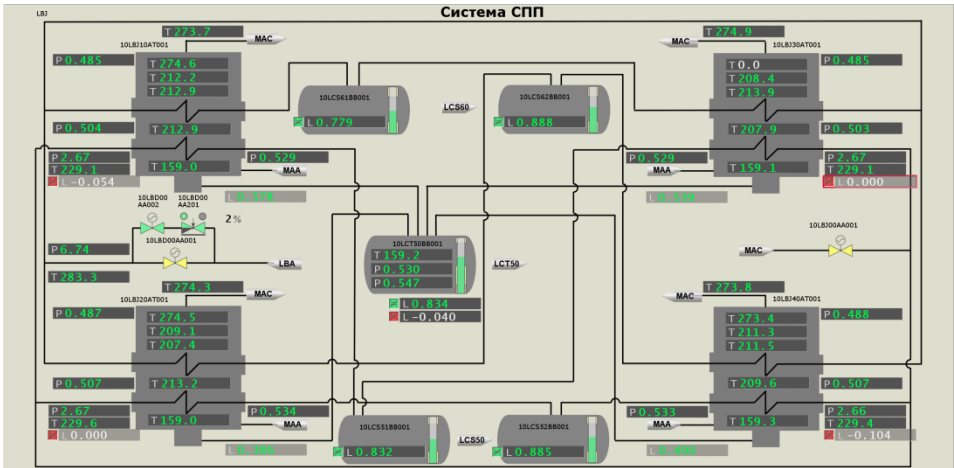
#### Основные технические характеристики СПП

Основные технические характеристики	Значение параметра
Высота, м	21,452
Номинальный наружный диаметр, м	4,060
Масса сепаратора, т	40,860
Масса пароперегревателя 1 ступени, т	72,340
Масса пароперегревателя 2 ступени, т	96,484
Масса в сухом виде, т	221
Количество сепарационных блоков, шт	20
Количество кассет 1 ступень, шт	222
Количество кассет 2 ступень, шт	222
Количество труб в кассете 1/2 ступени	37/37
Длина орбренной части одной трубы (1 ступень), м	3,3

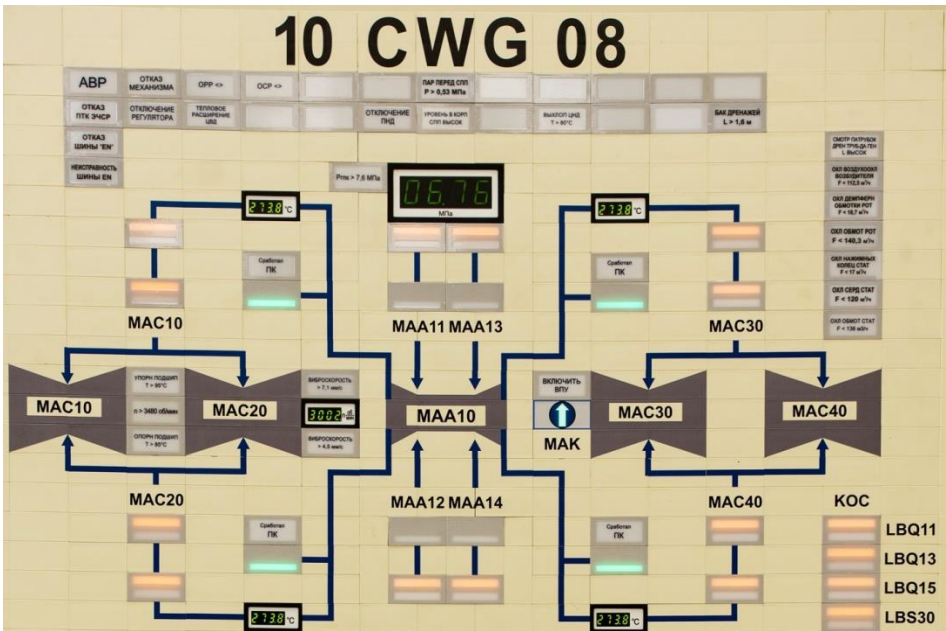
Основные технические характеристики	Значение параметра
Длина оребренной части одной трубы (2 ступень), м	3,9
Материал корпуса, днищ и трубных досок	Сталь 22К
Материал корпусных патрубков	Сталь 20
Материал труб поверхности нагрева	08X14МФ
<b>Нагреваемый пар</b>	
<b>Сепаратор</b>	
Расход влажного пара на входе в СПП, м <sup>3</sup> /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 сепаратора СПП, %	0,2
Расход пара после сепаратора, м <sup>3</sup> /ч	938,07
Давление на выходе из сепаратора, МПа	0,474
Энтальпия пара на выходе из сепаратора, кДж/кг	2743,6
<b>Пароперегреватель 1 ступени</b>	
Давление пара на выходе из ПП1, МПа	0,471
Энтальпия пара на выходе из ПП1, кДж/кг	2880,0
Температура пара на выходе, °С	213,1
<b>Пароперегреватель 2 ступени</b>	
Давление пара на выходе из ПП2, МПа	0,467
Энтальпия пара на выходе из ПП1, кДж/кг	3001,0
Температура пара на выходе, °С	260
<b>Греющий пар</b>	
<b>Пароперегреватель 1 ступени</b>	
Расход пара (1 отбор), м <sup>3</sup> /ч	79,90
Давление пара на входе в ПП1, МПа	2,618
Энтальпия пара на входе в ПП1, кДж/кг	2639,78
Температура пара на входе в ПП1, °С	228,4
<b>Пароперегреватель 2 ступени</b>	
Расход пара (свежий пар), м <sup>3</sup> /ч	74,88
Давление 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

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ LBJ и панели БПУ 10CWG08.



Видеокaдр СВБУ LBJ



Панель БПУ 10CWG08

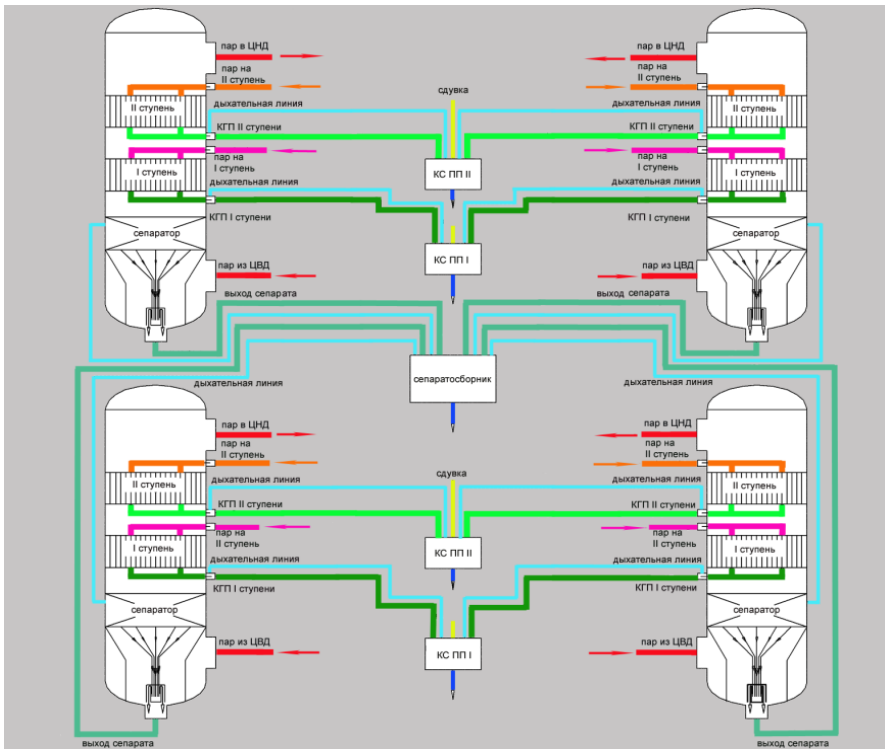
## 2.16 Система LCS конденсата греющего пара СПП

### 2.16.1 Назначение

Система конденсата греющего пара СПП предназначена для сбора конденсата греющего пара I и II ступеней СПП и возврата его в контур рабочего тела.

### 2.16.2 Описание технологической схемы и конструкции оборудования

Функционально система делится на две подсистемы: LCS50 (конденсат греющего пара I ступени) и LCS60 (конденсат греющего пара II ступени).



*Схема слива КГП и сепарата*

**LCS50.** Из перегревателя I ступени СПП конденсат греющего пара сливается в два конденсатосборника I ступени (по одному с каждой стороны турбины) и далее в зависимости от давления в I отборе, которое зависит от нагрузки, направляется либо в охладитель дренажа ПВД-5, либо в деаэратор, или в конденсатор. Каждая из трех

линий оснащена клапаном, регулирующим уровень в конденсато-сборниках.

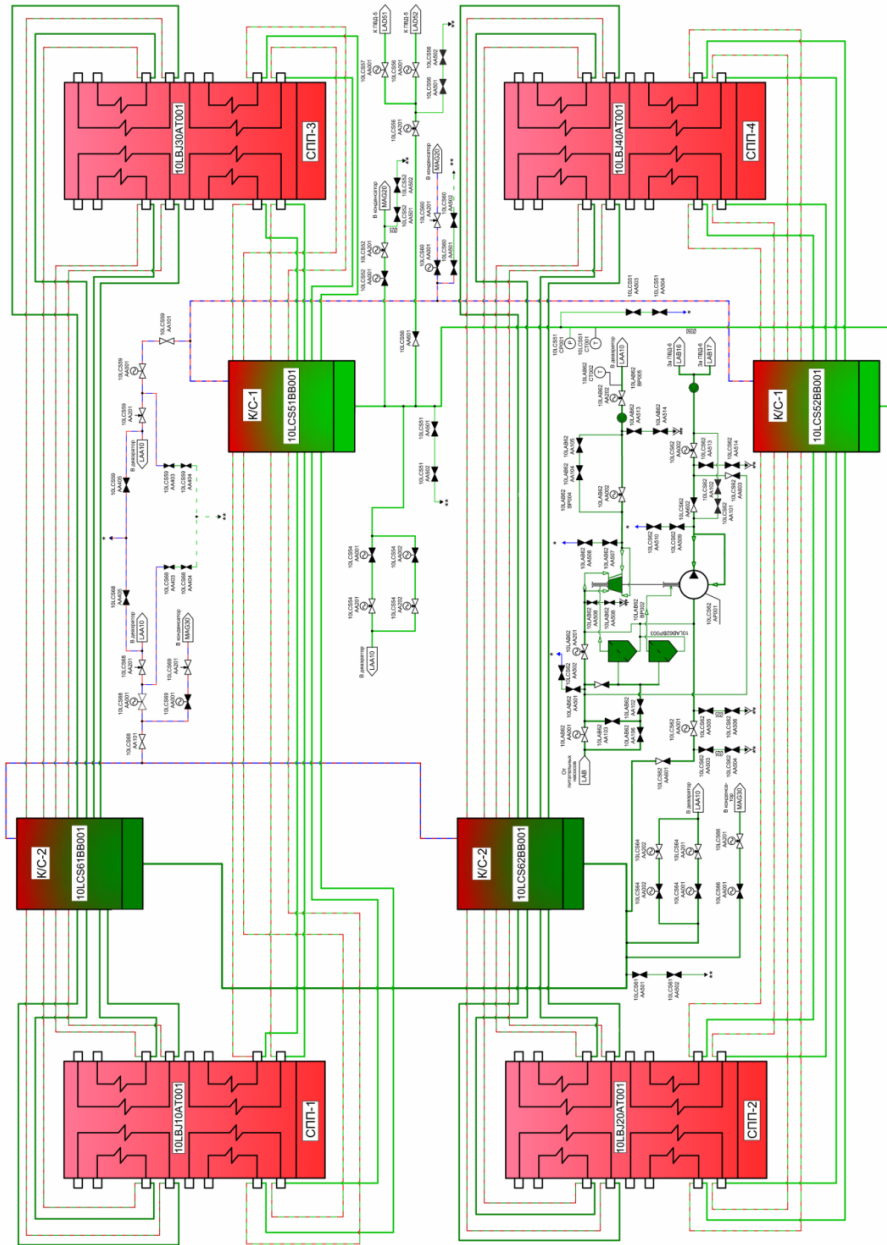
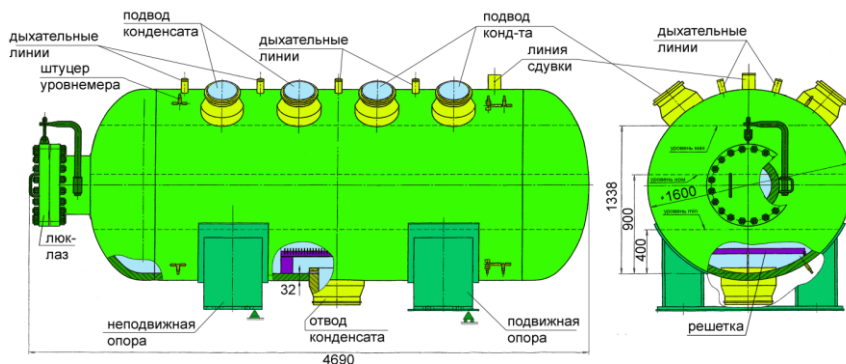


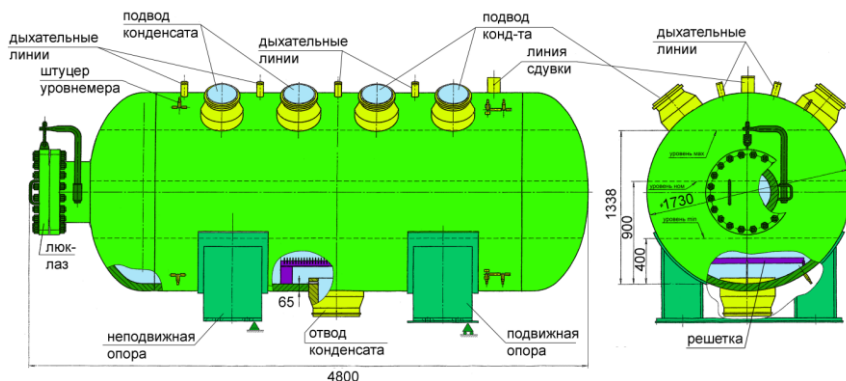
Схема слива КГП I и II ступени СПП

Конденсатосборники I степени представляют собой горизонтальные цилиндрические сосуды с приваренными с обоих торцов эллиптическими днищами, на одном из днищ расположен люк-лаз для осмотра. На корпусе конденсатосборников предусмотрены патрубки подвода и отвода конденсата и другие патрубки, подкладные листы и опоры, одна из которых подвижная, а другая неподвижная. Материал корпуса конденсатосборников и его основных узлов - углеродистая сталь. В конденсатосборниках поддерживается уровень конденсата с помощью регулятора уровня.



**Конденсатосборник I степени**

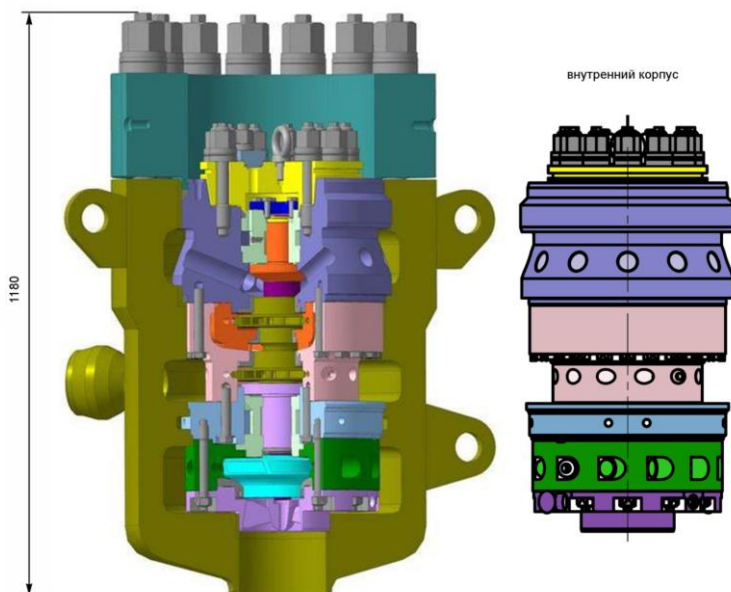
**LCS60.** Из перегревателя II степени СПП конденсат греющего пара сливается в два конденсатосборника II степени (по одному с каждой стороны турбины) и далее нормально откачивается конденсатным гидротурбинным насосом (КГТН) в трубопровод питательной воды за группами ПВД. Резервный отвод конденсата в деаэратор или в конденсатор. Каждая из трех линий оснащена клапаном, регулирующим уровень в конденсатосборниках.



**Конденсатосборник II степени**

### 2.16.3 КГТН

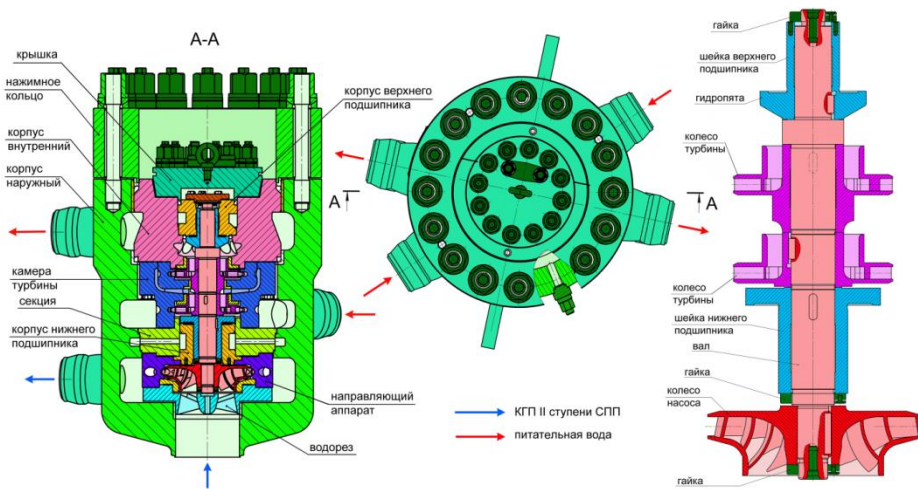
Агрегат предназначен для откачивания конденсата греющего пара из конденсатосборников пароперегревателя II ступени СПП в коллектор питательной воды за подогревателями высокого давления в диапазоне мощностей турбоустановки от 20% до номинальной (включая режимы с отключенными ПВД). Источником рабочей среды для гидротурбины является питательная вода, отбираемая из напорного коллектора питательных насосов. Агрегат монтируется на трубопроводах обвязки и не имеет фундамента.



#### Конструкция КГТН

Агрегат состоит из наружного ковано-сварного корпуса с приваренными к нему насосными и турбинными патрубками, нажимного кольца, внутреннего корпуса, ротора.

Внутренний корпус состоит из корпуса турбины, камеры турбины, секции, направляющего аппарата насоса, водореза и крышки, которые с установленными в них корпусами подшипников, уплотнительными кольцами и ротором собираются в самостоятельную монтажную единицу. Ротор агрегата состоит из вала, рабочего колеса насоса, колес турбины первой и второй ступеней, гидропята, втулки подшипника. Колесо насоса, гидропята, колеса гидротурбины и втулка подшипника установлены на вал на шпонках и закреплены в осевом направлении гайками, зафиксированными винтами.



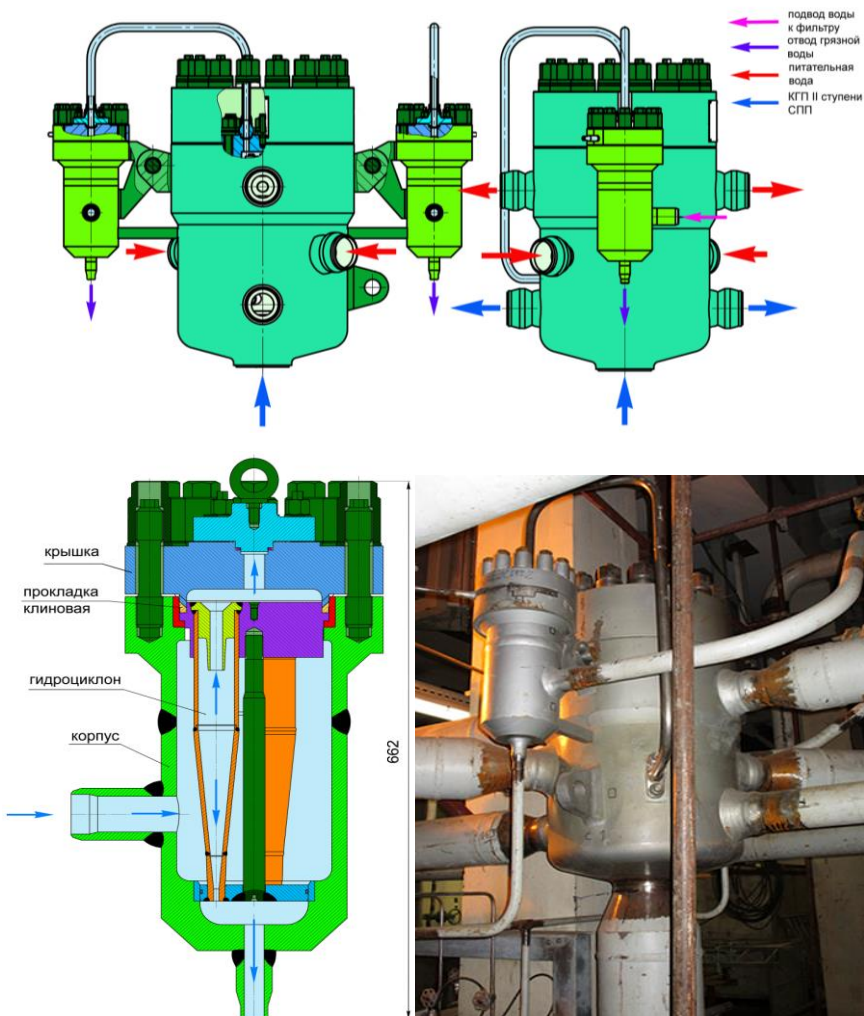
### Конструкция КГТН

Агрегат моноблочного исполнения, вертикальный, герметичный, обладает следующими конструктивными особенностями:

- по принципу работы - гидротурбонасос, привод которого осуществляется гидротурбиной (рабочая среда - питательная вода с напора ПЭН);
- приводная турбина центробежная, двухступенчатая. Напор гидротурбины создается за счет разности давлений между напорным коллектором питательных насосов и деаэратором с учетом запаса на регулирование и потерь на дросселе, установленном на линии отвода воды в деаэратор для исключения кавитации на регулирующем клапане турбины. Подвод и отвод рабочей воды на турбину осуществляется через конструктивно выполненные цилиндрические камеры и входной и выходной патрубки, выполненные в наружном корпусе насоса;
- насос центробежный, одноступенчатый, консольный. Подвод воды к рабочему колесу осуществляется через входной патрубок, выполненный в корпусе агрегата, по оси насоса через водорез. На выходе из насоса конструктивно выполнена цилиндрическая сборная камера с выходными патрубками, установленными в наружном корпусе агрегата;
- вращение гидротурбины передается через общий вал рабочему колесу насоса, при этом за счет возникающего напора осуществляется откачка конденсата греющего пара II ступени СПП в коллектор питательной воды за подогревателями высокого давле-

ния. Поддержание уровня конденсата в конденсатосборниках осуществляется изменением частоты вращения ротора агрегата путем изменения расхода питательной воды воздействием на регулирующий клапан на выходе из гидротурбины;

- подшипники агрегата - гидростатические радиально-упорные, фиксируют ротор в радиальном и осевом направлениях. Рабочая среда подшипников - питательная вода, прошедшая дополнительную очистку в блоках фильтров, входящих в состав поставки агрегата.



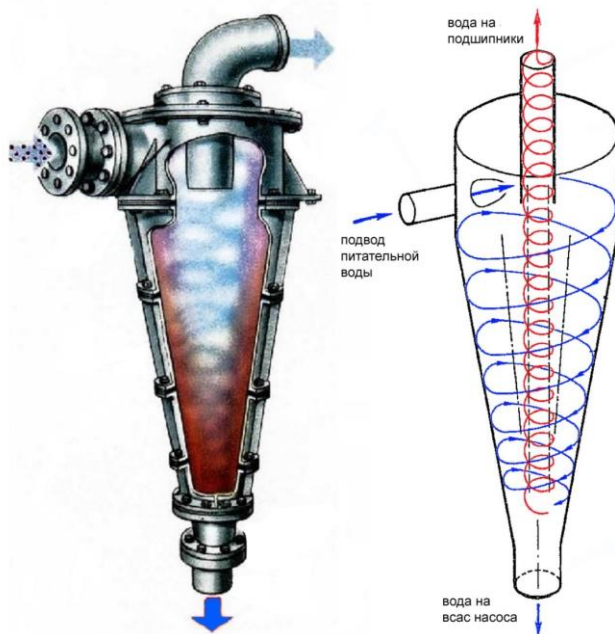
Конструкция фильтров КГТН

Два блока фильтров осуществляют очистку питательной воды, подаваемой на гидростатические подшипники. Каждый блок фильтров состоит из ковано-сварного корпуса, трех гидроциклонов, разъема фильтра с крышкой, прокладкой клиновой, шпилек, гаек, шайб. В крышке выполнено фланцевое соединение отвода очищенной воды на подшипники.

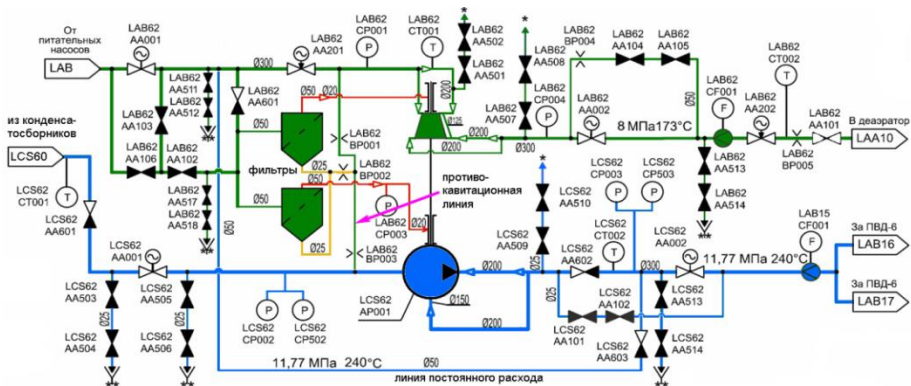
Вода для обоих подшипников подается отдельно к каждому блоку фильтров от линии питательной воды через трубопровод Ду 50, проходит очистку в гидроциклонах и далее трубками Ду 20 направляется к корпусу агрегата (на нижний подшипник) и к внутреннему корпусу (на верхний подшипник). Сброс «грязной» воды осуществляется через трубку Ду 20 и дроссельное устройство Ду 50/20 в линию захлаживания агрегата на вход насоса.

Гидроциклон состоит из двух основных частей: конической и цилиндрической. В цилиндрической части имеется входной патрубок, по которому исходная питательная вода подается тангенциально в гидроциклон. Для вывода очищенной воды служит сливной патрубок.

В нижней части гидроциклона в вершине конуса расположен патрубок для вывода грязной воды.



*Принцип работы гидроциклона*



## Схема включения КГТН

В периферийной зоне поток жидкости, вращаясь с большой скоростью, движется вниз к вершине конуса гидроциклона. Основная часть разделяемой фракции изменяет направление своего движения и образует внутренний восходящий поток, который поднимается вверх и удаляется из гидроциклона через патрубок вывода осветленной жидкости.

Гидроциклоны обладают рядом достоинств: малая энергоёмкость, металлоёмкость, незначительные габаритные размеры, большая производительность.

Гидравлическая схема включает в себя:

- линию всасывания насоса Ду300 от конденсатосборника 2-й ступени СПП;
- две напорные линии насоса Ду200 с переходом в линию нагнетания Ду300 в коллектор питательной воды за ПВД;
- линию Ду300 подачи питательной воды от напорного коллектора питательных насосов на приводную гидротурбину с переходом на две линии Ду200 (двусторонний всас);
- две линии отвода воды из гидротурбины Ду200 с переходом в линию слива Ду300 в деаэратор с дроссельным устройством;
- противокавитационную линию Ду50 от линии подачи воды на турбину во всасывающую линию насоса через два дроссельных устройства (через эту же линию отводится на всасывание насоса вода непрерывной продувки блоков фильтров);
- линию постоянного расхода Ду50 с обратным клапаном LCS62AA603, предохраняющую от повышения давления при работе агрегата на закрытую напорную арматуру LCS62AA002

- линии подвода воды к верхнему и нижнему подшипникам агрегата, включающие:

- 1) линию Ду50 от трубопровода подачи воды к гидротурбине агрегата к блокам фильтров верхнего и нижнего подшипников с запорной арматурой LAB62AA102,103;
- 2) резервную линию Ду50 подачи воды к блокам фильтров с обратным клапаном 10LAB62AA601, отбирающую воду после электрифицированной задвижки 10LAB62AA001;
- 3) линии Ду20 очищенной воды от блоков фильтров к подшипникам;
- 4) линии Ду20 непрерывной продувки блоков фильтров.

Устройство дроссельное LAB62BP005 представляет собой трубу  $\varnothing$  325x19 с сваренными в нее двумя дроссельными шайбами и служит для обеспечения бескавитационной работы регулирующего клапана на выходе из гидротурбины.

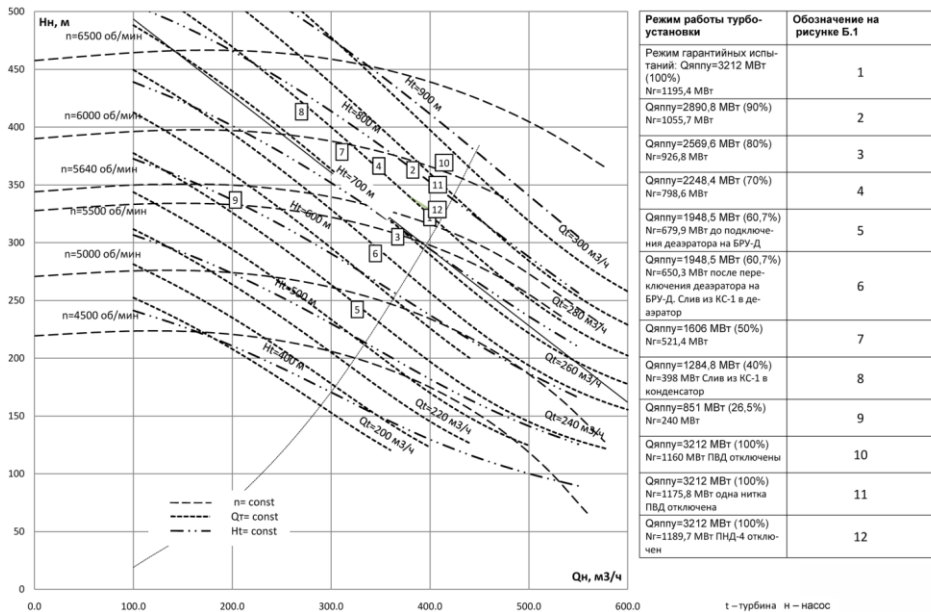
Устройство дроссельное Ду 50/20 LAB62BP001,002,003 представляет собой тройник из сваренных между собой труб  $\varnothing$  57x4 и  $\varnothing$  30x5 с установленными в каждой из них дроссельными шайбами. Служит для снижения давления воды в противокавитационной линии насоса и в линиях постоянной продувки блоков фильтров.

Устройство дроссельное Ду 50 LAB62BP004 представляет собой трубу  $\varnothing$  57x4 с сваренными в нее дроссельными шайбами. Служит для обеспечения бескавитационного прогрева агрегата и его трубопроводов.

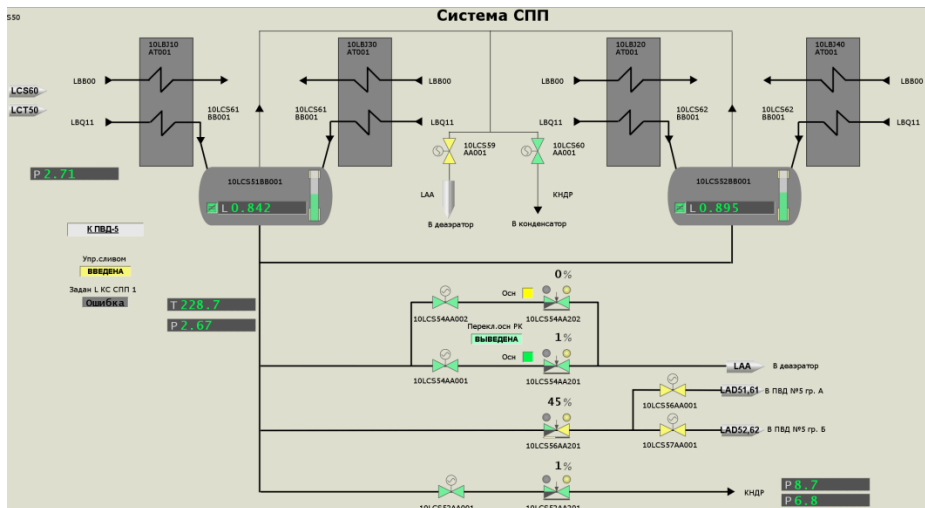
### Технические характеристики КГТН

Основные технические характеристики оборудования	Значение параметра
Тип	КГТН-415-305А
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	415
Напор насоса, м	330
Давление на входе, МПа	6,36
Расход воды на турбину не более, м <sup>3</sup> /ч	340
Напор турбины, м	760
Масса агрегата, кг	2215
Материалы изготовления	нержавеющая сталь

### Характеристика насоса КГТН

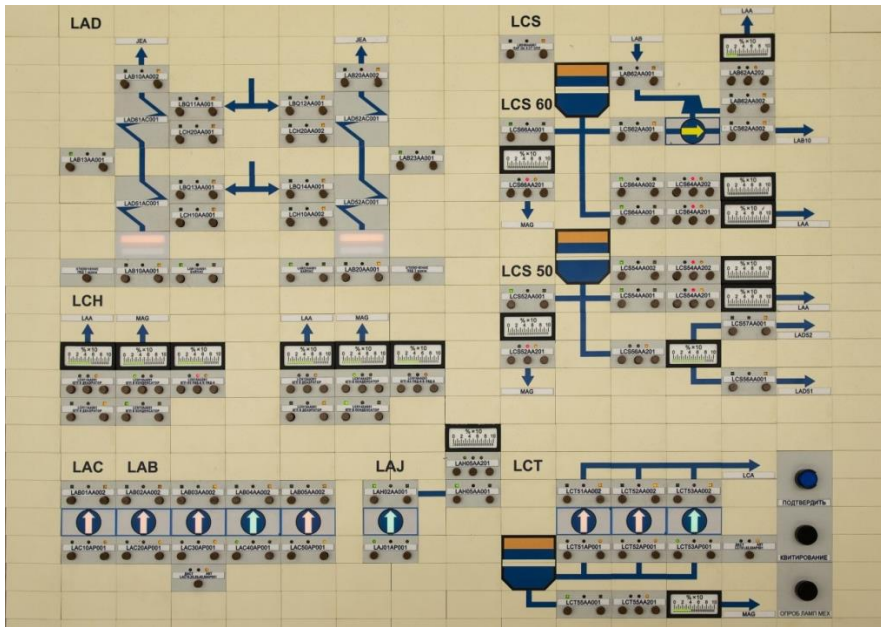


Контроль работы системы осуществляется с видеокладов СБГУ LCS50, LCS60, пульта и панели БПУ 10CWG08.



Видеокадр СБГУ LCS50





Пульт БПУ

## 2.17 Система LCT сепарата СПП

### 2.17.1 Назначение

Система сепарата СПП предназначена для сбора воды, отсепарированной из пара, и возврата ее в контур рабочего тела.

### 2.17.2 Описание технологической схемы

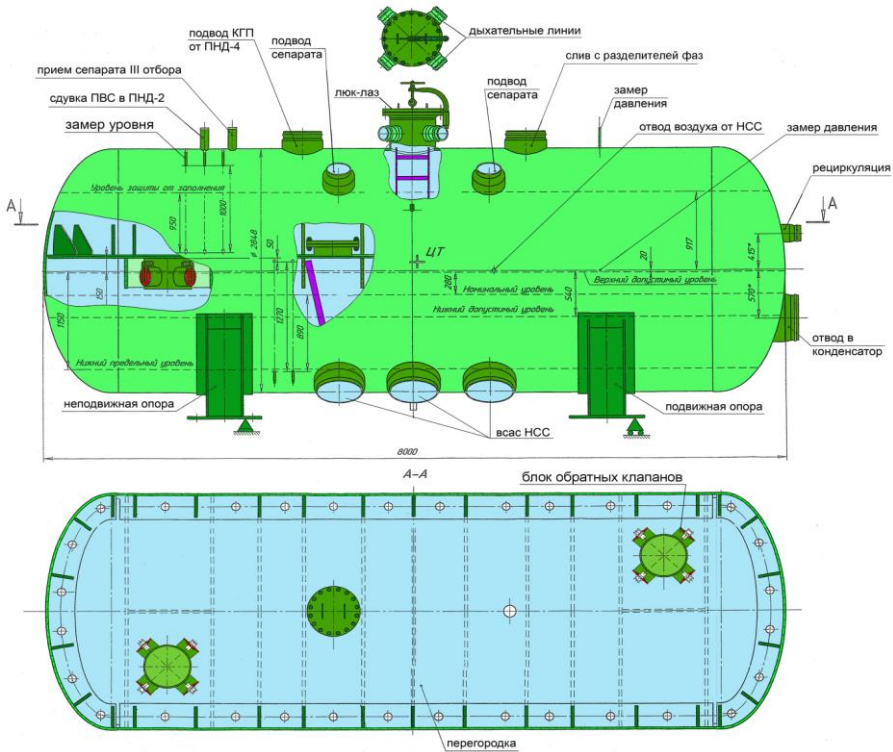
Из нижней части сепаратора каждого СПП сепарат сливается через разделитель и гидрозатвор в сепаратосборник (общий для четырех СПП).

Сепаратосборник предназначен для сбора и отвода отсепарированной влаги:

- от четырех сепараторов СПП;
- от двух разделителей фаз;
- от двух линейных сепараторов III отбора.

Кроме того, при нагрузке более 300 МВт, уровне в сепаратосборнике менее 0,9 м и уровне в ПНД-4 более 0,4 м в сепаратосборник сливается КГП ПНД-4.

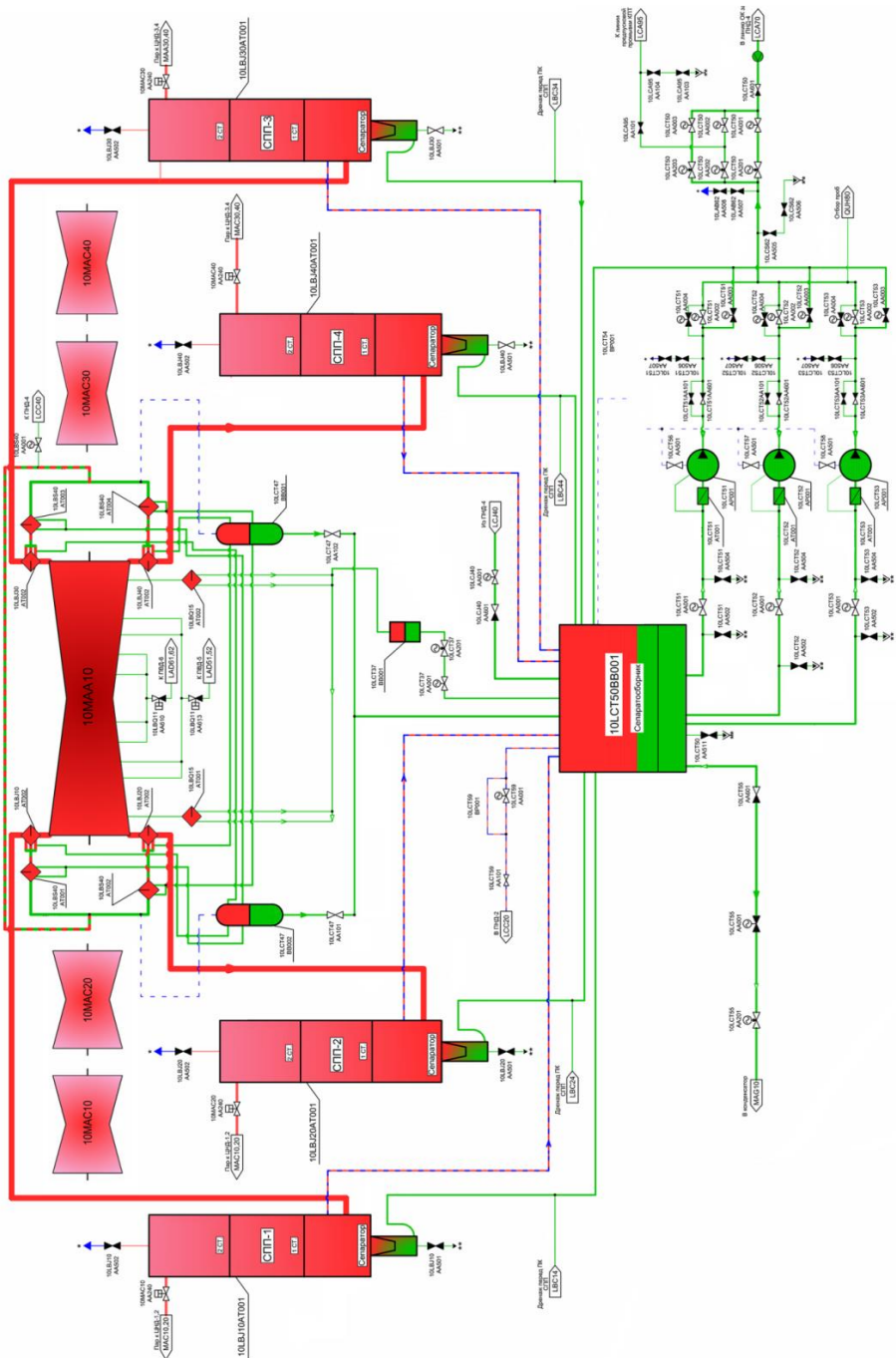
### 2.17.3 Сепаратосборник



#### Конструкция сепаратосборника СПП

Сепаратосборник представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд из углеродистой стали с приваренными с обоих торцов эллиптическими днищами. На корпусе сепаратосборника предусмотрен патрубок с люком-лазом. Сосуд имеет две опоры, одна из которых неподвижная, а другая установлена на роликовые катки для компенсации температурных расширений.

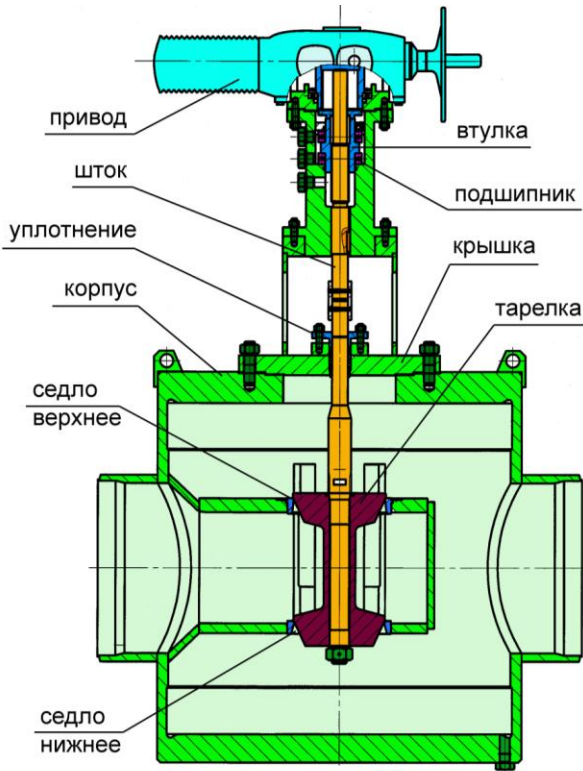
Сепаратосборник разделен горизонтальной перегородкой на два отсека – верхний и нижний. Уровень меряется отдельно в верхней части (защитный) и в нижней (регулируемый). У турбины есть защита по повышению уровня в верхнем отсеке до 0,995 м. Сепарат сливается в верхнюю часть сепаратосборника на горизонтальную перегородку, затем через два блока обратных клапанов попадает в нижнюю часть сосуда. При сбросе нагрузки происходит вскипание сепарата и резкий рост (набухание) уровня в нижнем отсеке. При этом обратные клапаны закрываются, предотвращая повышение уровня над перегородкой и срабатывание защиты турбины.



Технологическая схема системы сепарата СПП

### 2.17.4 Регуляторы уровня в сепаратосборнике

Для поддержания уровня в сепаратосборнике на напоре насосов установлен узел регулирования, состоящий из трех регулирующих клапанов. Из них LCT50AA202 пусковой с пропускной способностью порядка 30 %, а два других LCT50AA201,203 пропускной способностью порядка 70 % каждый служат рабочим и резервным регулируемыми клапанами.



#### *Конструкция основного РК уровня в сепаратосборнике*

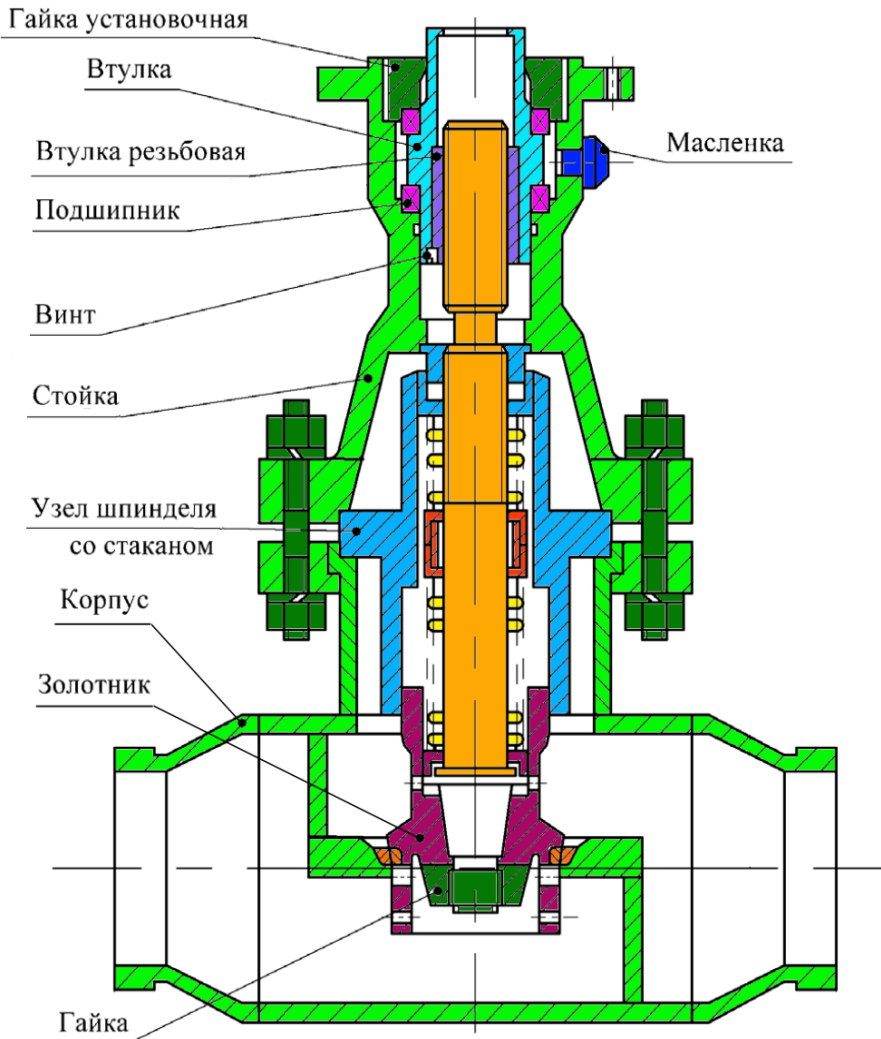
Клапан КРЭ-500-1400-4,0 (LCT50AA201,203) состоит из корпуса, крышки и редуктора. В корпусе расположен запорный орган клапана - тарелка, установленная на седле. Тарелка закреплена на штоке и свободно перемещается в вертикальной плоскости по направляющим поверхностям седла. Для обеспечения саморазгрузки тарелка выполнена двухседельной. Верхняя крышка снимается для обеспечения доступа к внутренней полости клапана при проведении ремонта. На верхней крышке установлен редуктор, который обеспечивает преобразование крутящего момента от привода в поступа-

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

тельное движение штока клапана. Регулирование осуществляется за счёт изменения площади проходного сечения при перемещении тарелки клапана.

Также клапан КРЭ-500-1400-4,0 (LCT55AA201) установлен на линии слива сепарата из сепаратосборника в конденсатор турбины.

В качестве пускового (LCT50AA202) используется клапан ПТ-68083.



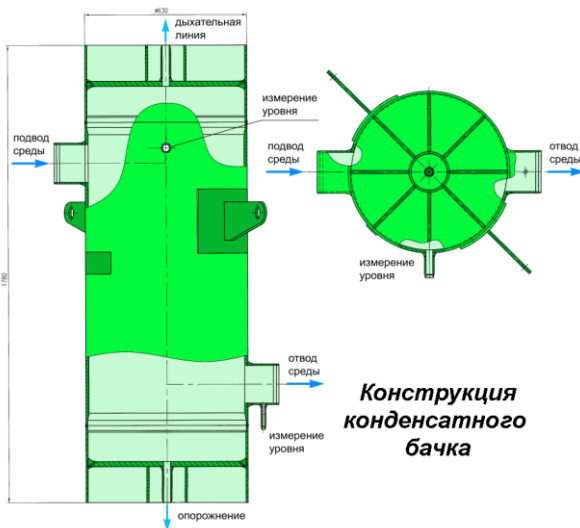
*Конструкция пускового РК уровня в сепаратосборнике*

Клапан состоит из следующих основных деталей и узлов:

- а) корпуса, через который при открытом затворе осуществляется поток рабочей среды;
- б) золотника, предназначенного для регулирования расхода и перекрытия потока рабочей среды;
- в) узла шпинделя со стаканом, обеспечивающего герметичность соединения корпуса и узла шпинделя по отношению к внешней среде;
- г) бугельного узла, состоящего из втулки, подшипников, втулки резьбовой и гайки установочной;
- д) стойки.

Крутящий момент от электропривода подается на втулку резьбовую, которая преобразовывает вращательное движение в поступательное движение шпинделя и жестко связанного с ним золотника. При этом изменяется площадь проходных отверстий в затворе и регулируется расход рабочей среды. При посадке золотника на седло происходит перекрытие потока рабочей среды. Герметичность соединения «корпус - стакан узла шпинделя» достигается притиркой уплотнительных поверхностей стакана и корпуса.

### 2.17.5 Конденсатный бачок



**Конструкция конденсатного бачка**

III отбор выполнен двумя паропроводами (по одному с каждого потока ЦВД). Каждый из двух паропроводов оснащен линейным сепаратором. Сепарат собирается в конденсатном бачке LCT37BB001 и сливается в сепаратосборник. Бачок представляет собой вертикальный сосуд, состоящий из цилиндрической обечайки и двух заглушек, приваренных к обечайке сверху и снизу. В бачке происходит разделение поступа-

ющей среды на конденсат и пароводяную смесь. Слив из бачка в сепаратосборник выполнен через регулирующий клапан LCT37AA201 (ПТ-68083), поддерживающий уровень в бачке 0,7 м. Фактически конденсатный бачок выполняет функцию гидрозатвора.

### 2.17.6 Насосы LCT

Из сепаратосборника насосами слива сепарата LCT51,52,53AP001 вода подается в линию основного конденсата за ПНД-4. Для обеспечения пусковых режимов предусмотрен резервный слив в конденсатор.

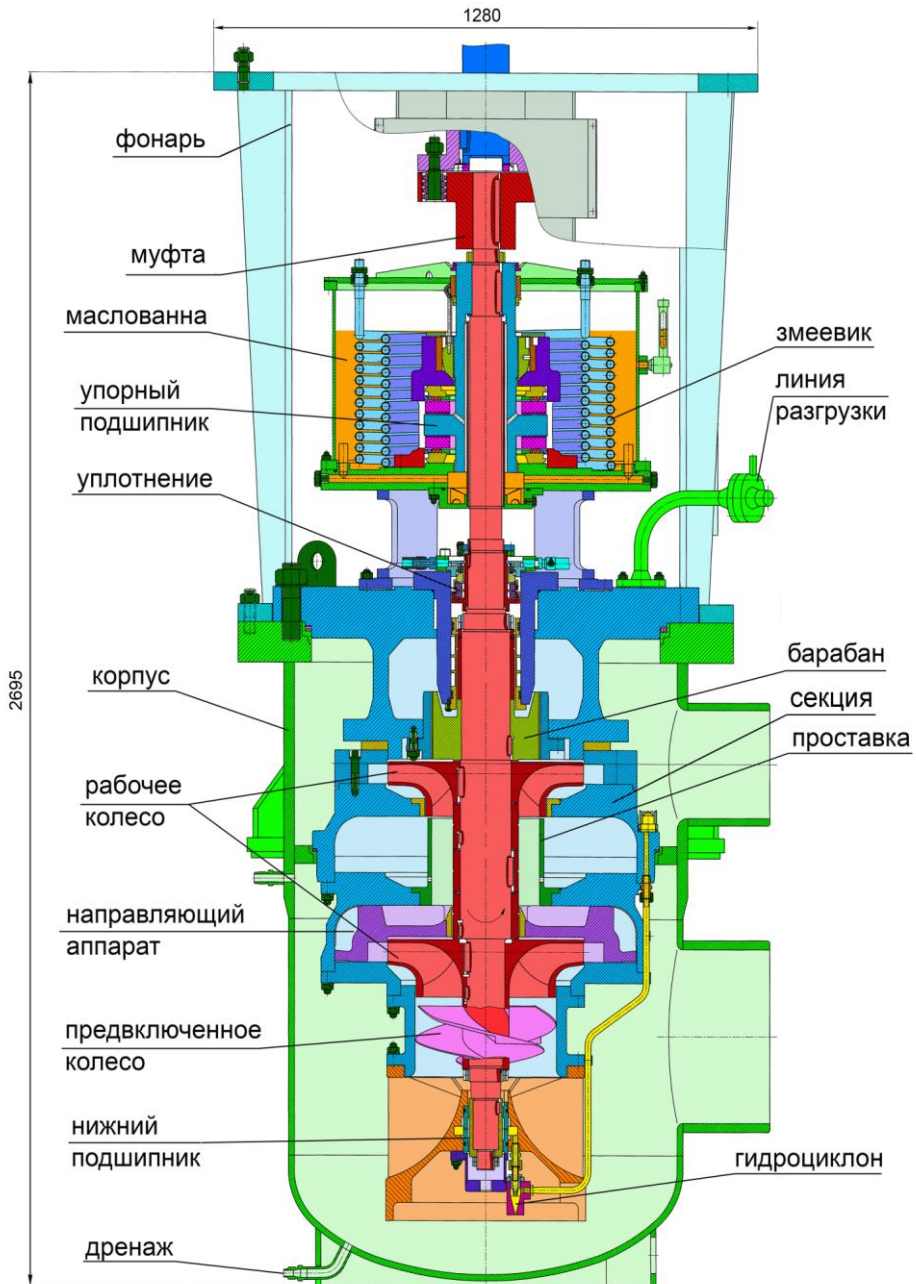
Насос КсВА 650-135-6 центробежный, вертикальный, двухкорпусной, двухступенчатый, секционного типа, с односторонним расположением рабочих колес, с колесом предвключенным и уплотнением концевым торцевого типа.

Наружный корпус представляет собой сварную конструкцию с приемной и напорной полостями, входной и напорной патрубками направлены в одну сторону. Корпус имеет четыре опоры, которыми насос устанавливается на фундамент и крепится к нему фундаментными болтами с дистанционными втулками. Между дистанционными втулками и плоскостью опор корпуса предусмотрены зазоры для свободного перемещения насоса при его нагреве.

Внутренний корпус имеет статорную и роторную части. Статорная часть состоит из подшипника опорно-упорного, втулки нижнего гидростатического подшипника, уплотнения торцевого, секций, аппаратов направляющих, крышки, подвода.

Секции, крышка и корпус подвода соединяются между собой при помощи шпилек. Для предотвращения перетока перекачиваемой жидкости уплотнение стыков секций осуществляется металлическим контактом точно обработанных поверхностей уплотняющих поясков. В секциях установлены направляющие аппараты, которые стопорятся от проворачивания с помощью специальных шайб. В секции и направляющем аппарате в местах уплотнения рабочих колес установлены уплотнительные кольца.

Роторная часть внутреннего корпуса насоса состоит из вала, на котором установлены предвключенное колесо, рабочие колеса, барабан, вращающиеся детали торцевого уплотнения, диск опорно-упорного подшипника, полумуфта, защитные втулки, втулка нижнего гидростатического подшипника. Ротор разгружен от осевых сил при помощи барабана, камера за которым сообщена через трубопровод разгрузки с приемным трубопроводом насоса.



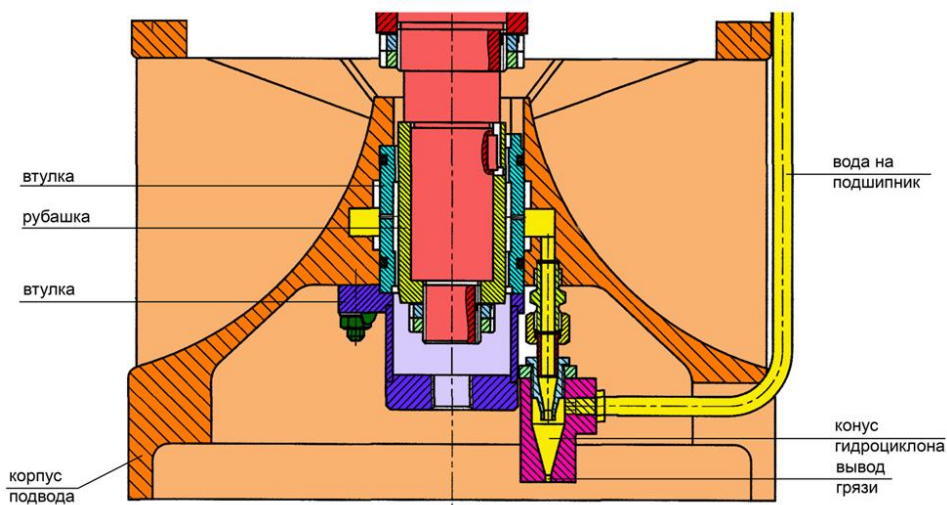
Конструкция насоса LCT

Опорами ротора служат нижний гидростатический подшипник и верхний опорно-упорный подшипник.

Нижний гидростатический восьмикламерный подшипник расположен в корпусе подвода, работает на перекачиваемом конденсате за счет перепада давлений, создаваемого насосом. Подвод конденсата на гидростатический подшипник осуществляется через сверления в секции по специальному трубопроводу. Для очистки конденсата предназначен гидроциклон.

Верхний опорно-упорный подшипник воспринимает остаточное осевое и радиальное усилие и включает в себя упорный гидродинамический подшипник скольжения и опорный гидродинамический подшипник скольжения.

Смазка верхнего подшипника картерная. Охлаждение масла производится встроенным змеевиком (теплообменником), к которому подводится химически очищенная вода. Масло из картера к нижним колодкам упорного подшипника и на опорный подшипник подается маслоподающими импеллерами, к верхним колодкам - через отверстия на втулке диска. Пройдя через подшипник, масло возвращается в масляную ванну по специальным отверстиям.



### *Конструкция нижнего подшипника насоса LCT*

**Концевое уплотнение** предназначено для ограничения утечки перекачиваемой жидкости в местах выхода вала из корпуса насоса.

Концевое уплотнение включает в себя:

- торцовое уплотнение, которое предназначено для ограничения утечки перекачиваемой жидкости до требуемой величины;
- встроенный теплообменник (термобарьер), предназначенный для защиты торцового уплотнения от высокой температуры перекачиваемой насосом жидкости за счет постоянного потока охлаждающего конденсата или обессоленной воды через камеру термобарьера;
- выносной теплообменник, который совместно с винтовым нагнетателем и камерами уплотнения А и Б образует автономный замкнутый контур циркуляции перекачиваемой жидкости;
- линию гидрозатвора в виде подвода охлаждающего конденсата или обессоленной воды в камеру на выходе из торцового уплотнения при работе насоса в режимах с вакуумом в полости всасывания.

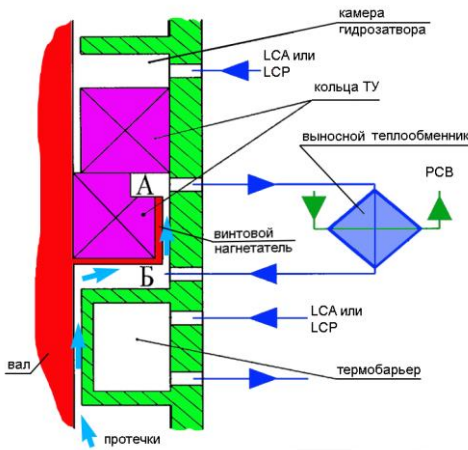
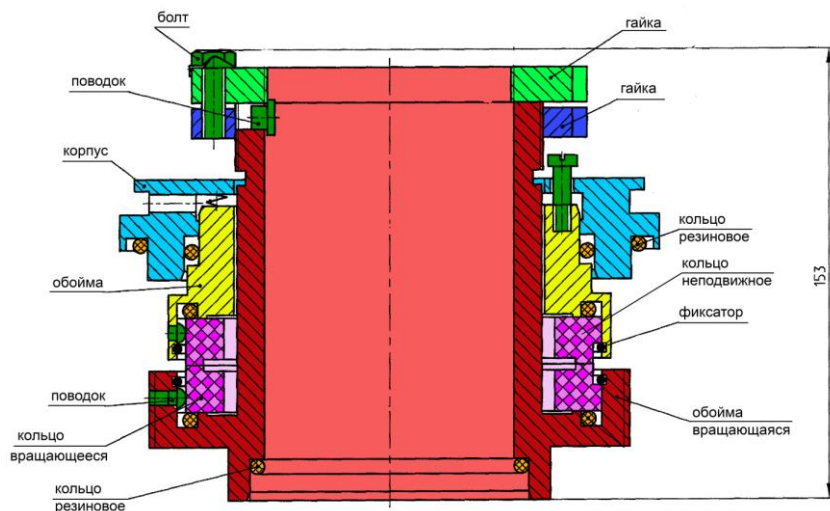


Схема торцового уплотнения насоса LCT

Торцовое уплотнение представляет собой комплектную сборочную единицу, состоящую из аксиально-подвижной статорной и вращающейся роторной частей уплотнения. Торцовое уплотнение устанавливается в насос и демонтируется узлом в блочном виде.

Статорная часть уплотнения включает в себя корпус с установленной в него обоймой с кольцом неподвижным, пружинами и кольцами резино-

выми. Для фиксации от проворота кольца относительно обоймы, а последней относительно корпуса используются соответственно поводки и винты. Места посадочных соединений уплотнения с валом и корпусом насоса уплотнены резиновыми кольцами.



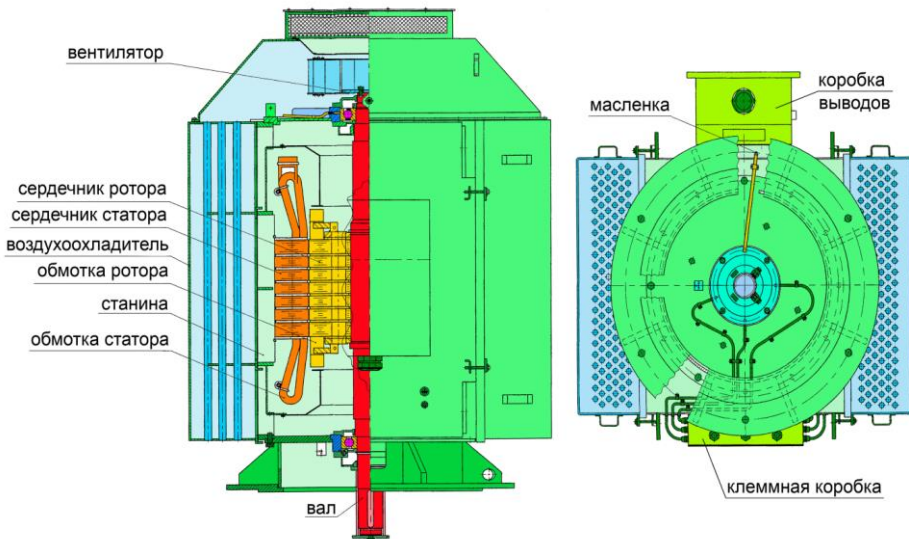
### Конструкция торцового уплотнения насоса LCT

Роторная часть уплотнения состоит из обоймы вращающейся, к которой крутящий момент от вала передается поводком, кольца вращающегося, уплотненного резиновым кольцом и зафиксированного в осевом направлении фиксатором, двух поводков, предназначенных для передачи крутящего момента от обоймы вращающейся к кольцу. Наружная поверхность вращающейся обоймы совместно с сопряженной с ней цилиндрической поверхностью корпусной детали образует винтовой нагнетатель, обеспечивающий циркуляцию жидкости в охлаждающем контуре.

Принцип работы насоса заключается в преобразовании механической энергии приводного электродвигателя в гидравлическую энергию перемещаемой насосом жидкости. Преобразование механической энергии в гидравлическую производится вращающимися колесами, снабженными лопастями. Направление вращения колес - против часовой стрелки, если смотреть со стороны двигателя.

Для подвода и отвода охлаждающей воды к верхнему опорно-упорному подшипнику, вынесенному теплообменнику торцового уплотнения, встроенному термобарьеру и на гидрозатвор уплотнения в конструкции насоса предусмотрена система вспомогательных трубопроводов.

В качестве привода насоса применяется асинхронный вертикальный двигатель АОВА-400-10.0-4УХЛ3.1. Двигатель состоит из статора, ротора, щитов подшипниковых, воздухоохладителей, кожуха вентилятора, коробки выводов статора и клеммной коробки.



### Конструкция электродвигателя насоса LCT

Статор состоит из станины, сердечника и обмотки. Ротор состоит из вала, сердечника и короткозамкнутой обмотки. Ротор опирается на подшипники качения с консистентной смазкой. В станину запрессован сердечник статора, состоящий из штампованных и с двух сторон лакированных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм в форме дисков, собранных на ребрах станины в пакеты. Соединение фаз обмотки статора звезда.

### Технические характеристики насоса LCT

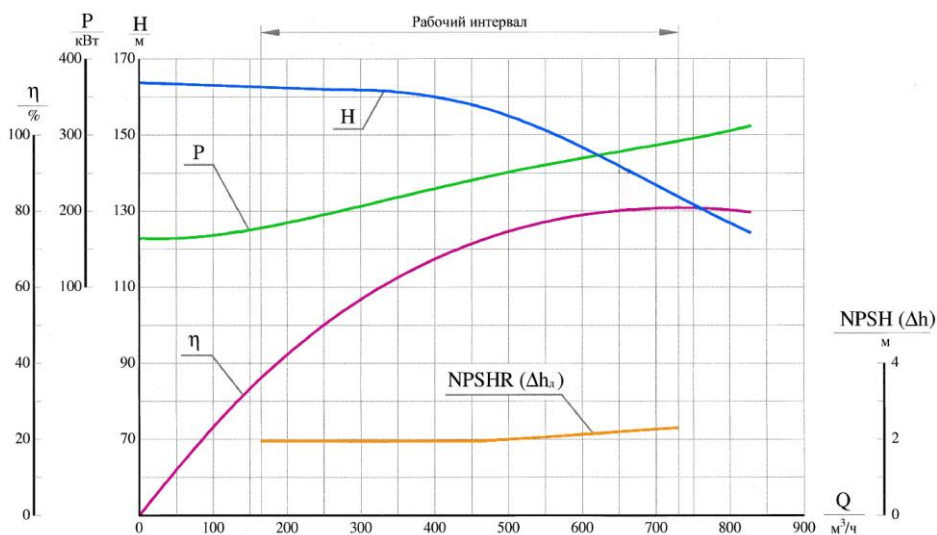
Основные технические характеристики оборудования	Значение параметра
Тип	КсВА 650-135-6
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	650
Напор, м	135
Частота вращения, об/мин	1494
Допускаемый кавитационный запас, м	2,5
Мощность агрегата, МВт	0,4
Напряжение, кВ	10
КПД агрегата, %	74,3
Масса агрегата, кг	9800
Материалы изготовления	углеродистая сталь, нержавеющая сталь

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

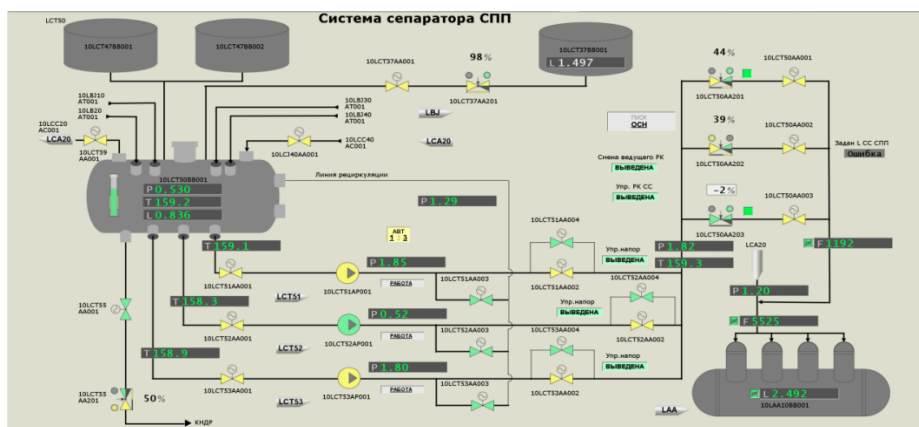
Сердечник ротора состоит из штампованных и с двух сторон лакированных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм в форме дисков, собранных в пакеты, насаженные на вал.

Воздухоохладители типа «воздух-воздух». Циркуляция воздуха внутри двигателя осуществляется по замкнутому контуру. Воздух наружного цикла забирается из окружающего пространства с помощью вентилятора, проходит по трубкам воздухоохладителей, и отводится в окружающую среду.

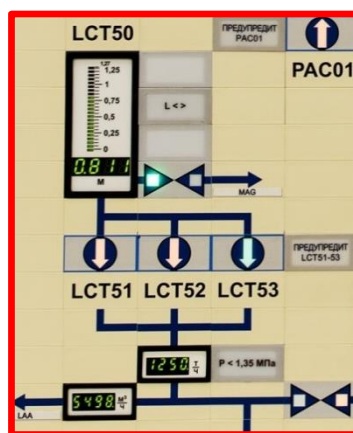
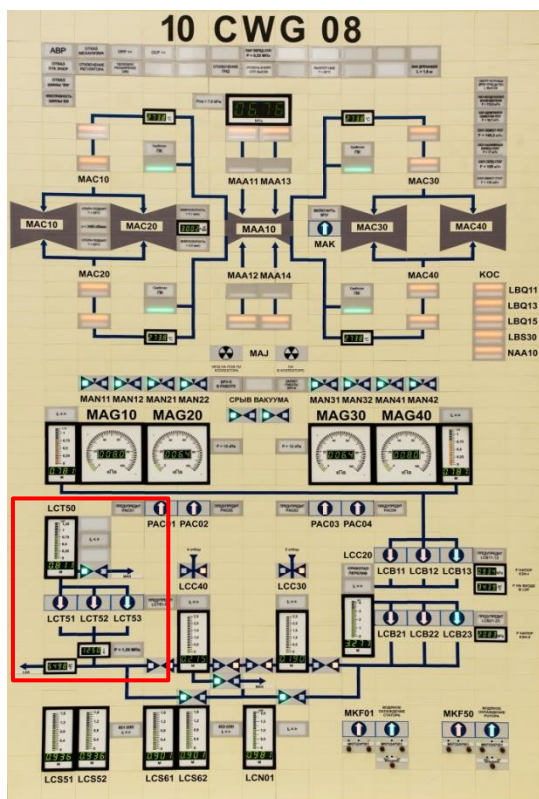
### Характеристика насосов слива сепарата



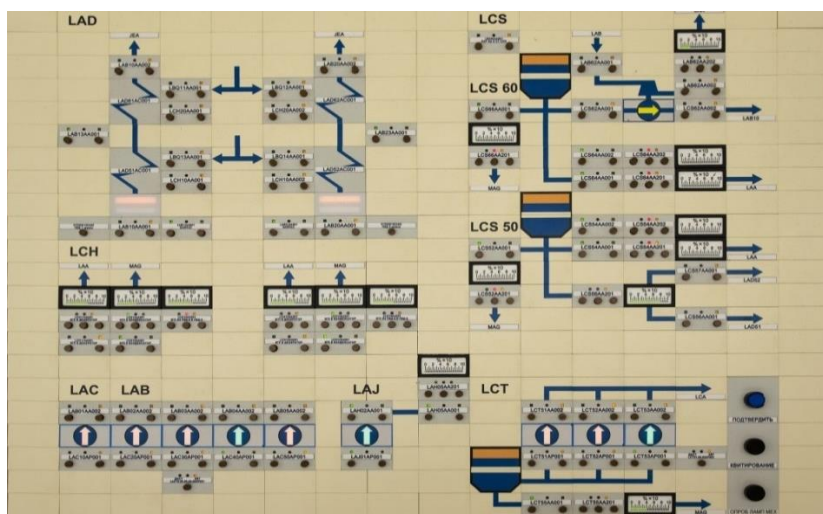
Контроль работы системы осуществляется с видеоканалов СВБУ LCT50, LCT51-53, LBJ, пульта и панели БПУ 10CWG08.







Панель БПУ 10CWG08



Пульт БПУ

## ЧАСТЬ 3. УСТАНОВКИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ

### 3.1 Система РАВ основной охлаждающей воды

#### 3.1.1 Назначение

Система основной охлаждающей воды РА предназначена:

- для отвода тепла конденсации пара от конденсаторов турбины - система обеспечивает конденсацию отработанного в турбине пара с требуемой величиной вакуума;
- для отвода тепла от теплообменников водокольцевых насосов вакуумной системы турбины.

#### 3.1.2 Состав

Система основной охлаждающей воды РА состоит из:

- системы механической очистки охлаждающей воды (РАА);
- системы трубопроводов охлаждающей воды (РАВ);
- системы оборотной воды градирни (РАД).

#### 3.1.3 Описание технологической схемы

Система основной охлаждающей воды выполнена по замкнутой схеме с охлаждением на градирне.

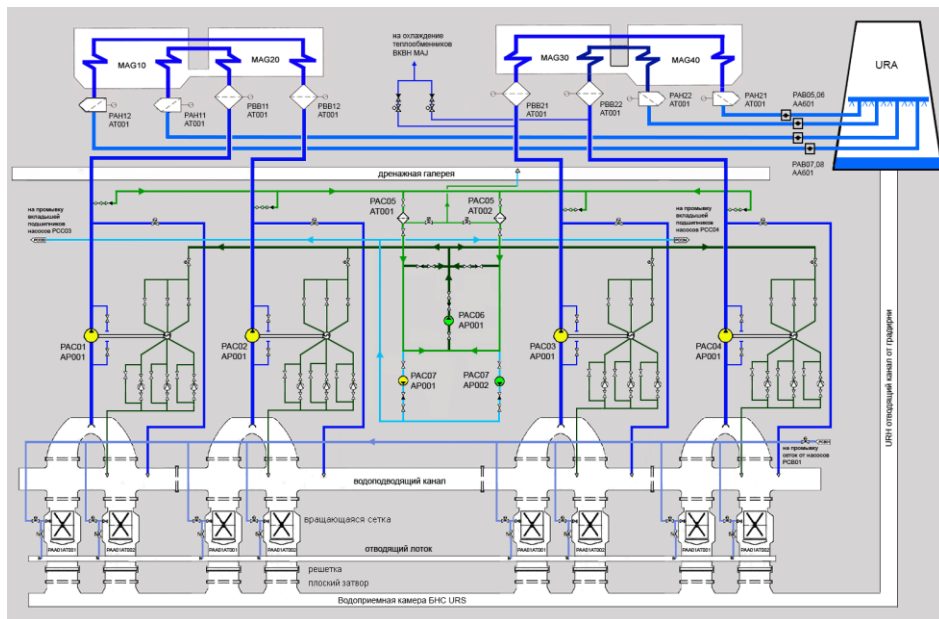
Вода, охлажденная на градирне URA, по отводящему каналу холодной воды URH поступает в водоприемную камеру блочной насосной станции URS. Далее вода проходит через сороудерживающие решетки и вращающиеся водоочистные машины в поперечный водоподводящий канал. Из поперечного водоподводящего канала охлаждающая вода забирается четырьмя насосами основной охлаждающей воды PAC01,02,03,04AP001 и по напорным циркуловодам РАВ01,02,03,04 диаметром 2200 мм подается в здание турбины UMA на две конденсаторные группы турбины. После потребителей (конденсатора и теплообменников водокольцевых насосов вакуумной системы турбины) нагретая вода под остаточным напором по сливным циркуловодам РАВ05,06,07,08 направляется в подъемные шахты градирни. После охлаждения в градирне вода возвращается в отводящий канал холодной воды URH.

Для обеспечения коррозионной стойкости железобетонных, асбестоцементных и металлических конструкций градирен качество

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

охлаждающей воды в оборотной системе не должно превышать следующих величин:

- содержание сульфатов, мг/л - не более 1000;
- содержание хлоридов, мг/л – не более 400;
- содержание свободной углекислоты мг/л – не более 5.



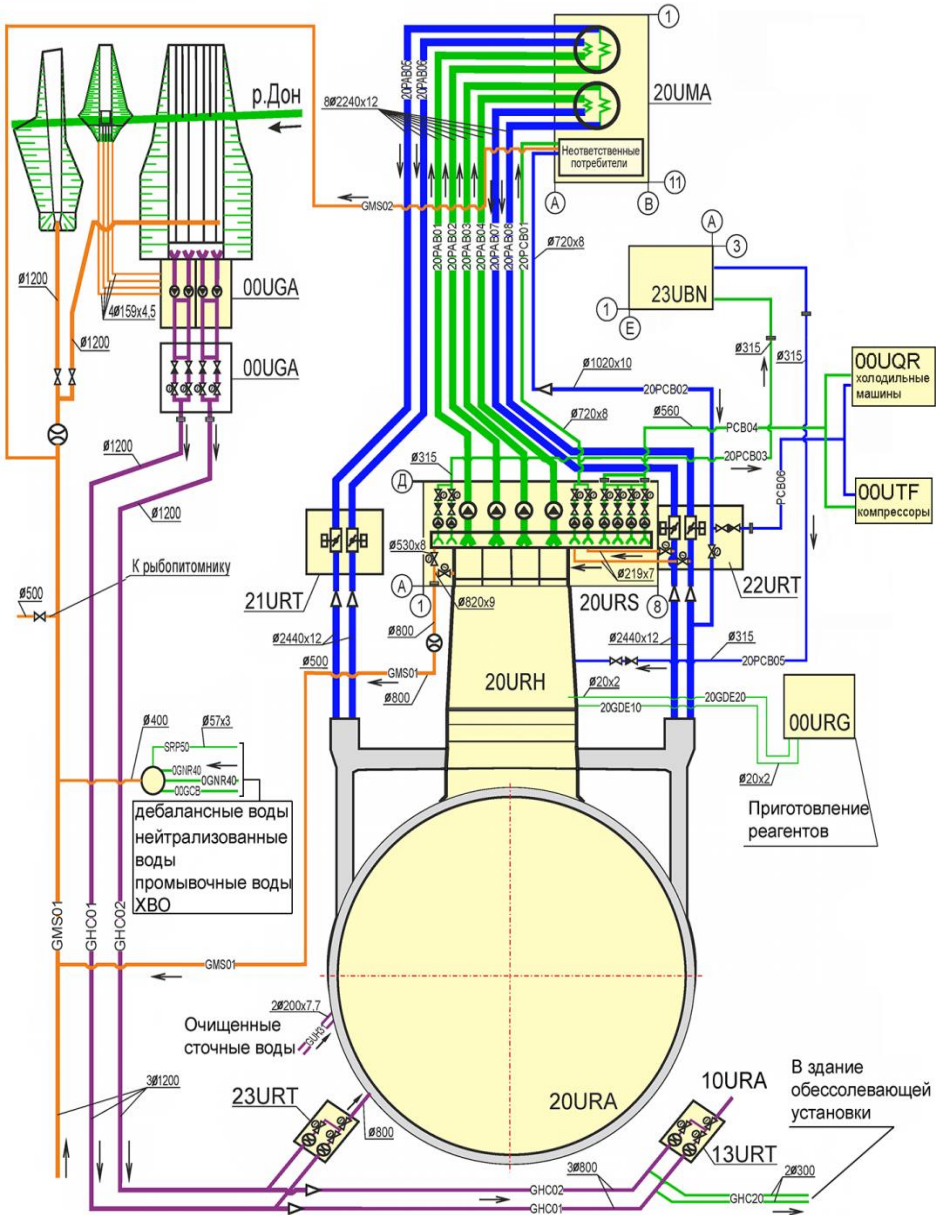
### Технологическая схема системы основной охлаждающей воды

Поддержание заданных величин осуществляется продувкой системы и стабилизационной обработкой воды путем дозирования геля коллоидного углерода с образованием в охлаждающей воде монодисперсного золя nano частиц углерода.

Потери воды в системе РАВ на двух энергоблоках:

Наименование потерь	Количество	
	летом	зимой
Потери воды на испарение при охлаждении (летом $k=0,0014$ и $\Delta t=10,8$ °С)	5316 м <sup>3</sup> /ч	4194 м <sup>3</sup> /ч
Потери воды вследствие уноса ветром, (0,05 % от расхода охлаждаемой воды)	176 м <sup>3</sup> /ч	158 м <sup>3</sup> /ч
Потери воды из системы на продувку, (1 % от расхода охлаждающей воды)	3516 м <sup>3</sup> /ч	3151 м <sup>3</sup> /ч
Всего:	9008 м <sup>3</sup> /ч	7503 м <sup>3</sup> /ч

Для условий площадки НВ АЭС источником технического водоснабжения принята река Дон.



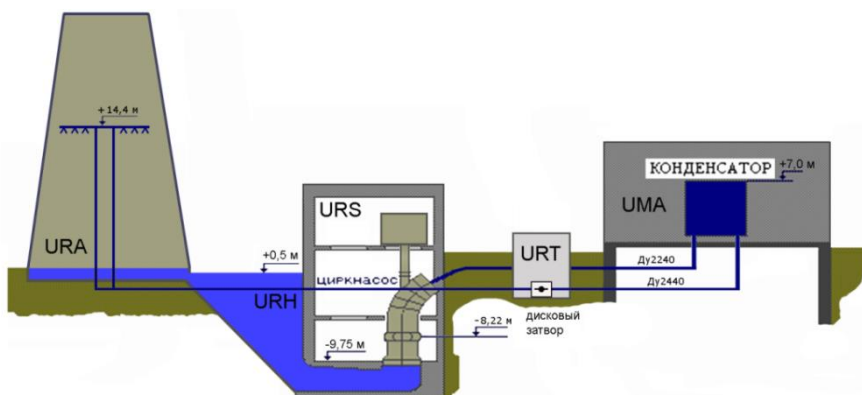
Технологическая схема системы основной охлаждающей воды

### 3.1.4 Комбинированные дисковые затворы

После конденсаторов турбины нагретая циркуляционная вода поступает в градирню в горизонтальный водораспределительный канал на отметку +14,4 м, т.е. все циркуляционные насосы работают в общую камеру. Поэтому при отключении одного насоса в его циркуляционном трубопроводе возникает обратный ток за счет работы остальных насосов. Для предотвращения возникновения обратного тока охлаждающей воды в циркуляционном трубопроводе при отключении циркуляционного насоса и для возможности вывода оборудования в ремонт предназначены комбинированные дисковые затворы.

Затвор комбинированный выполняет две основные функции:

- функцию обратного клапана для автоматического предотвращения обратного потока рабочей среды в случае останова одного из насосов;
- функцию запорного органа при ремонте или осмотре любого из насосов.



*Оборудование системы. Отметки расположения*

Затворы являются элементами нормальной эксплуатации 4 класса безопасности по НП-001-15 и относятся ко II категории сейсмостойкости по НП-031-01. Изготовитель затворов - Metalska industrija Varazdin (Хорватия).

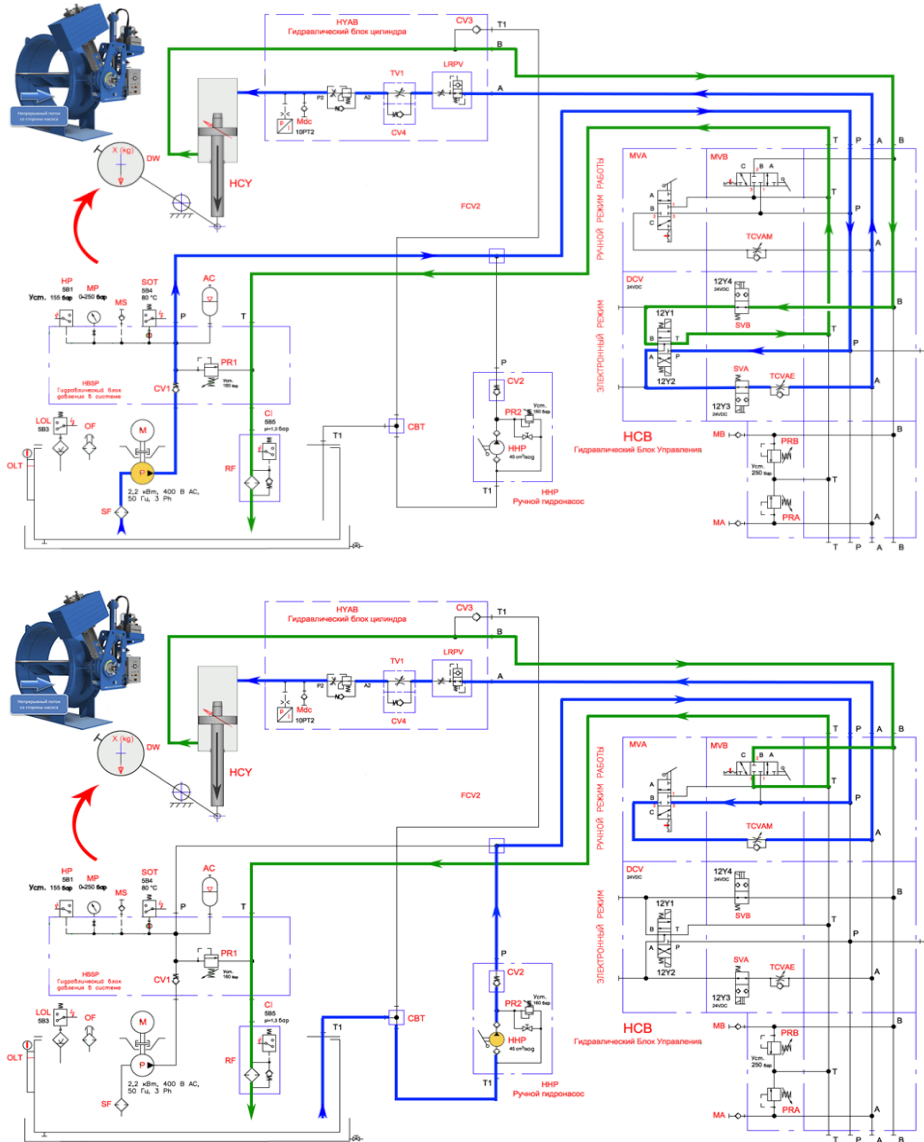
Присоединение затвора к трубопроводу - фланцевое. Установочное положение горизонтальное: на горизонтальном трубопроводе при горизонтальном расположении вала. Крепление затворов к фундаменту осуществляется посредством скользящих опор (лап).

Каждый затвор оснащен гидравлическим приводом с грузом HYDROMAT с собственным электрогидравлическим блоком — мас-



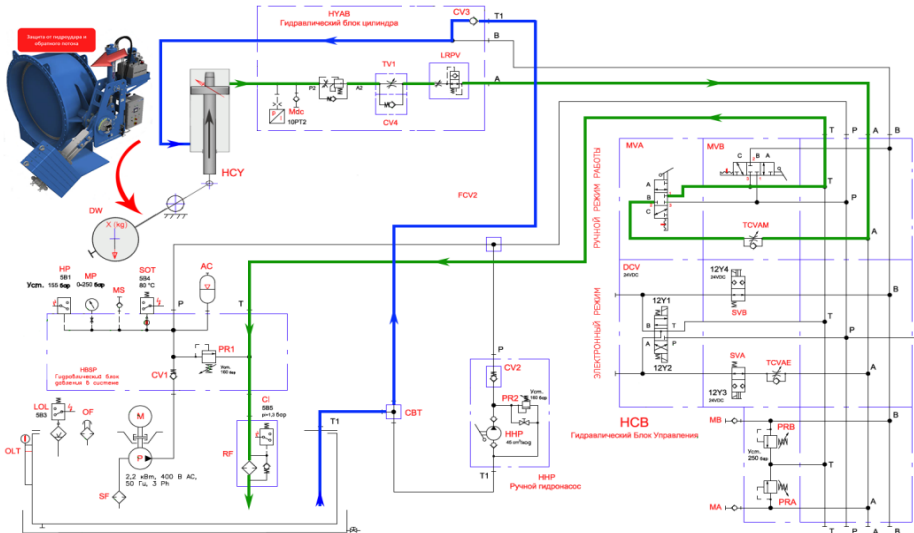
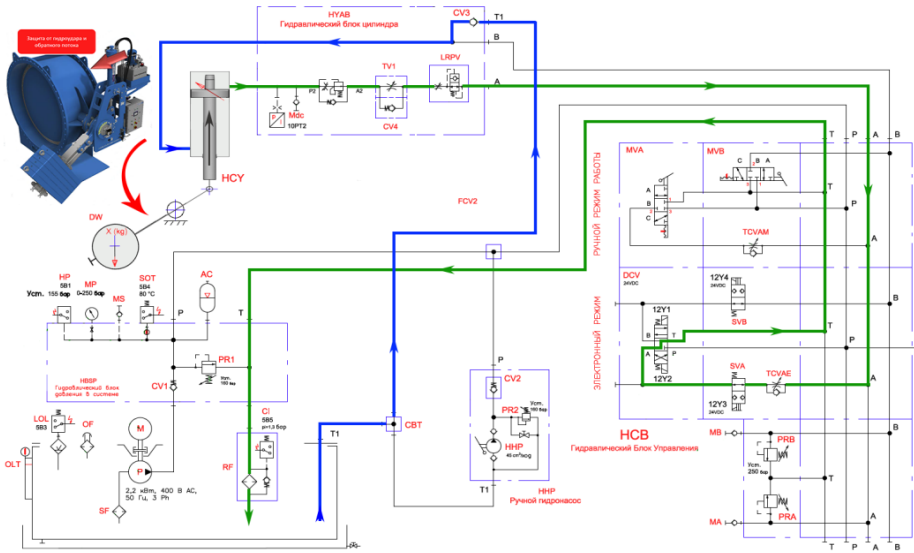
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Для открытия затвора включается маслонасос, производится подача масла в надпоршневое пространство гидроцилиндра (синяя линия) и открывается слив масла из пространства под поршнем в масляный резервуар гидравлической станции (зеленая линия). За счет разности давлений масла происходит перемещение поршня со штоком вниз, открытие затвора и подъем груза.



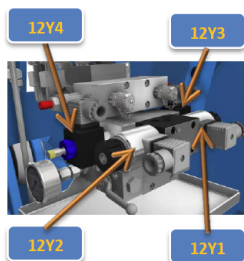
Открытие затвора

Для закрытия затвора открывают слив масла из надпоршневого пространства в масляный резервуар гидравлической станции (зеленая линия). Под действием опускаемого груза происходит закрытие затвора, перемещение поршня вверх и подсос масла из резервуара в пространство под поршнем через открывшийся обратный клапан CV3 (синяя линия).



Закрытие затвора

Положение соленоидных клапанов в направлении открытия и закрытия определяется по таблице.



РЕЖИМ РАБОТЫ КЛАПАНА	НАПРАВЛЕНИЕ КЛАПАНА или ПОЛОЖЕНИЕ ДИСКА КЛАПАНА	СОЛЕНОИДНЫЕ КЛАПАНЫ			
		1-Под напряжением 0-Обесточены			
		12Y1	12Y2	12Y3	12Y4
Обычный режим	Направление открытия	1	0	0	0
	Удержание открытого положения	0	0	1	1
	Направление закрытия	0	0	0	0
	Блокировка диска в закрытом положении	0	0	1	1
Аварийное закрытие	Направление закрытия	0	0	0	0

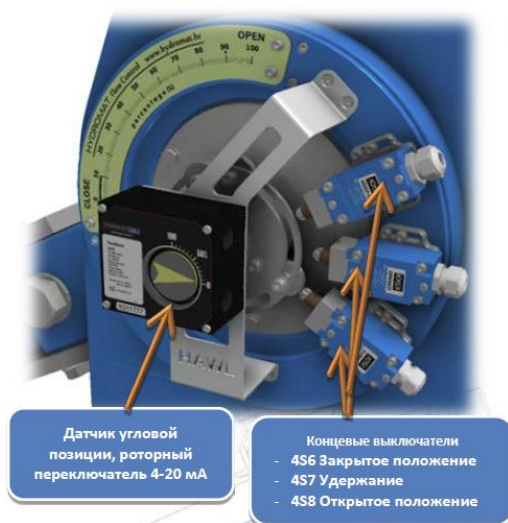
При прекращении питания соленоида привода, которое происходит при аварийном отключении насосов, затвор закрывается под действием рычага с грузом.

Блокировка диска затвора в закрытом или открытом положении выполняется автоматически (запитаны клапаны 12Y3, 12Y4, обесточены клапаны 12Y1, 12Y2).

Предусмотрено три концевых выключателя:

- 4S6 – положение «закрыто»;
- 4S7 – «удержание» - автоматическое удержание открывания клапана (можно отрегулировать на необходимую степень открытия);
- 4S8 – положение «открыто».

Если в открытом положении клапана происходит утечка масла через уплотнения, соединения и т. п., то груз автоматически опускается и клапан начинает закрываться. При закрытии на 10% от открытой позиции (можно настроить необходимую степень открытия) сработает сигнал концевого выключателя и автоматически включится насос, который возвращает клапан в открытое положение. Если такая ситуация повторяется чаще, чем раз в 15 минут, это означает, что утечка в гидравлической системе слишком большая и необходимо как можно скорее устранить причину.



Датчик угловой позиции, роторный переключатель 4-20 мА

Концевые выключатели  
- 4S6 Закрытое положение  
- 4S7 Удержание  
- 4S8 Открытое положение

При сбое электропитания в течение 1 секунды или менее затвор начинает закрываться и останавливается при восстановлении электропитания. За одну секунду затвор будет закрыт на 5,3% (степень открытия 94,7%). По истечении 1 секунды диск затвора автоматически блокируется соленоидным клапаном. По истечении 6 секунд (время, необходимое для запуска насоса) затвор автоматически открывается до положения 100% открыто. Это возможно только при степени открытия затвора от 100% до 90%.

При сбое электропитания более чем на 1 секунду затвор начинает закрываться и останавливается, когда электропитание восстанавливается. После чего затвор автоматически блокируется соленоидными клапанами 12Y3, 12Y4 в этом положении и ожидает дальнейших команд из центра управления. При постоянном сбое электропитания (полное обесточивание) затвор закрывается.

Все затворы оснащены ручным насосом для аварийного ручного открытия диска.

При необходимости для осуществления техобслуживания диск затвора можно заблокировать в двух положениях – в полностью открытом или полностью закрытом.

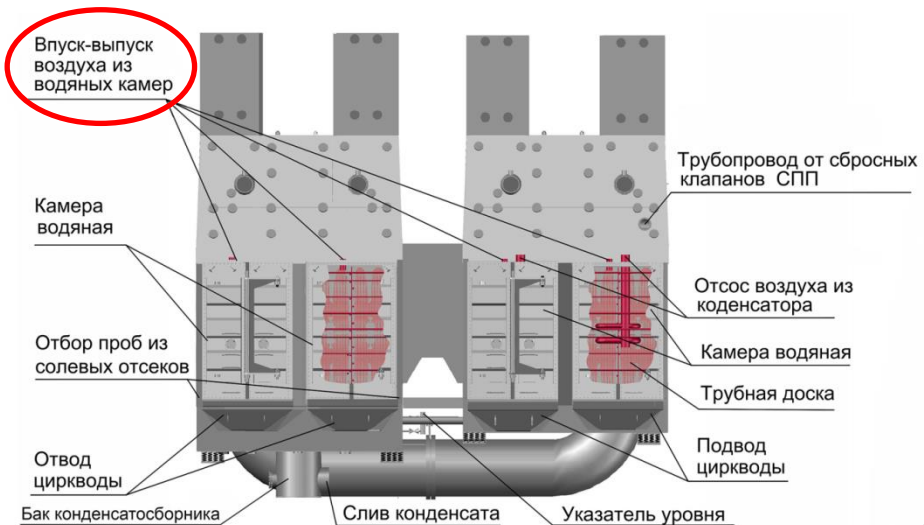
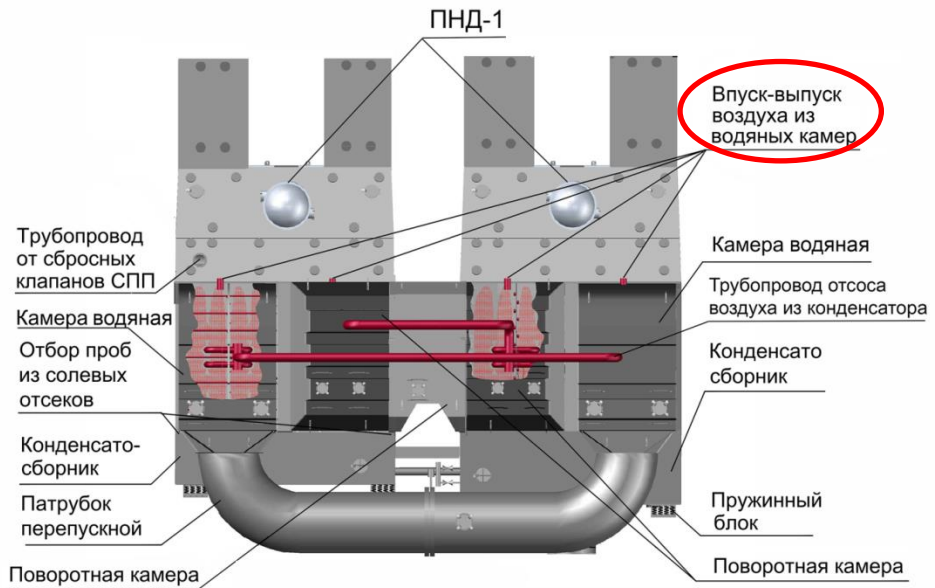


**Блокировка комбинированного затвора в закрытом и открытом положении**

Комбинированные дисковые затворы РАВ05,06,07,08АА601 расположены в камерах URT, находящихсся сбоку от здания БНС.

### 3.1.5 Клапаны комбинированные впуска и выпуска воздуха из конденсатора турбины

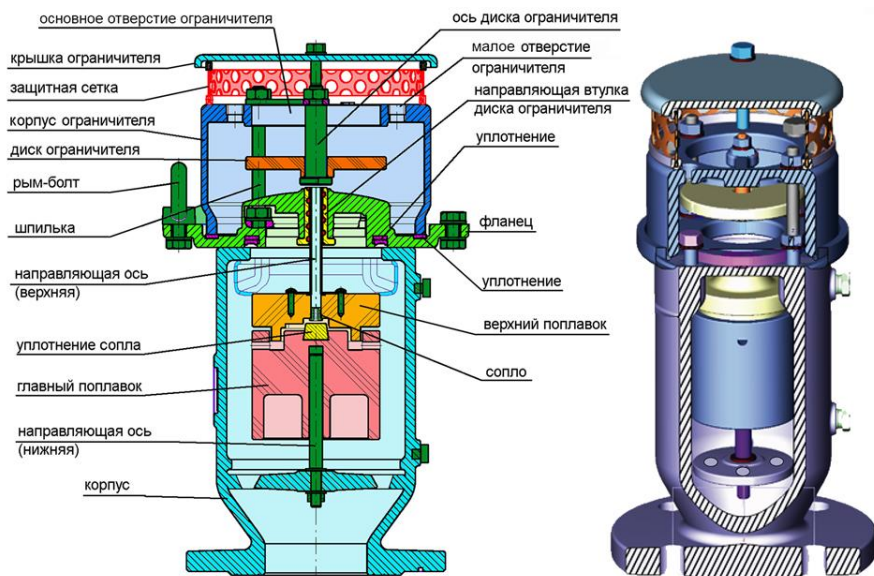
Конденсаторы турбины оснащены клапанами впуска/выпуска воздуха из водяных камер конденсатора РАВ01, 02, 03, 04АА901, 902, 903, 904 (16 штук).



*Клапаны впуска и выпуска воздуха из конденсатора*

Назначение клапана комбинированного впуска и выпуска воздуха из конденсатора турбины Dorot DAV-MH-KA-SA:

- удаление из конденсатора и циркуляционных линий большого количества воздуха, движущегося с высокой скоростью при первичном заполнении системы, и предотвращение гидравлического удара при выпуске воздуха;
- впуск воздуха в конденсатор и циркуляционные линии при опорожнении, поддержание атмосферного давления в опорожненной системе, предотвращение схлопывания и повреждения оборудования;
- удаление воздуха, выделяющегося из воды.

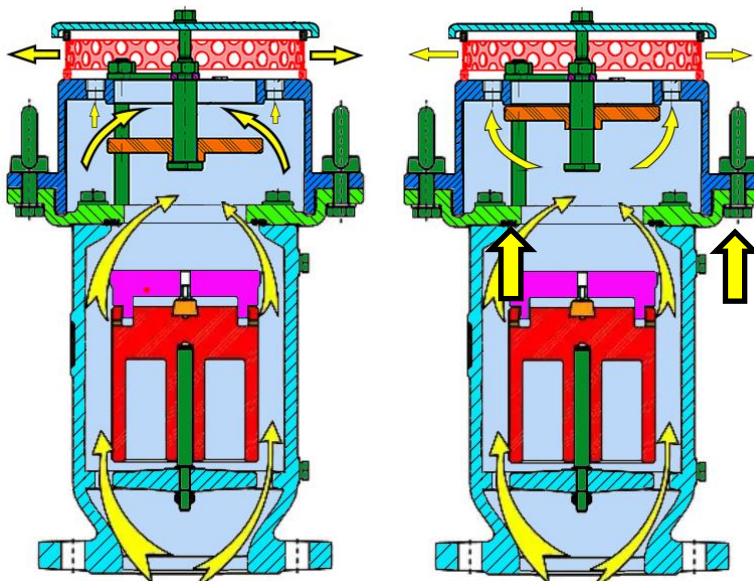


### Конструкция клапана впуска и выпуска воздуха из конденсатора

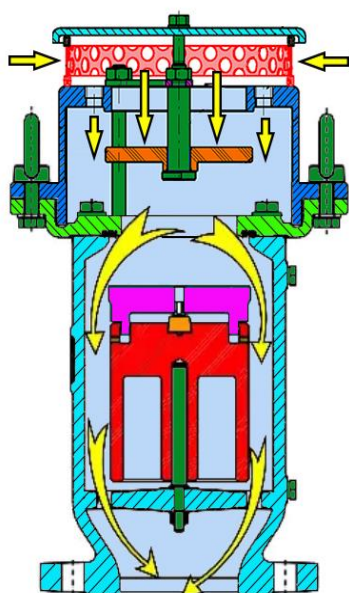
Клапан работает в трех режимах.

1. Удаление большого количества воздуха, движущегося с высокой скоростью при заполнении системы (включение циркуляционного насоса).

При заполнении конденсатора водой клапан выпускает воздух даже при высоких скоростях. Поплавки находятся в нижнем положении. Для предотвращения гидроударов на клапан установлено устройство (ограничитель), которое ограничивает поток воздуха. Когда скорость потока воздуха превышает безопасную величину, диск ограничителя поднимается и перекрывает основное отверстие, при этом выпуск воздуха продолжается через малые периферийные отверстия.



*Выпуск воздуха при включении циркуляса*



Создается временная "воздушная подушка", которая медленно сокращается, уменьшая скорость движения столба воды и предотвращая гидроудар. Настройка расхода воздуха производится открытием - закрытием необходимого количества периферийных отверстий. Когда вода начинает заполнять корпус клапана, поплавки поднимаются, перекрывают проход, а диск ограничителя опускается.

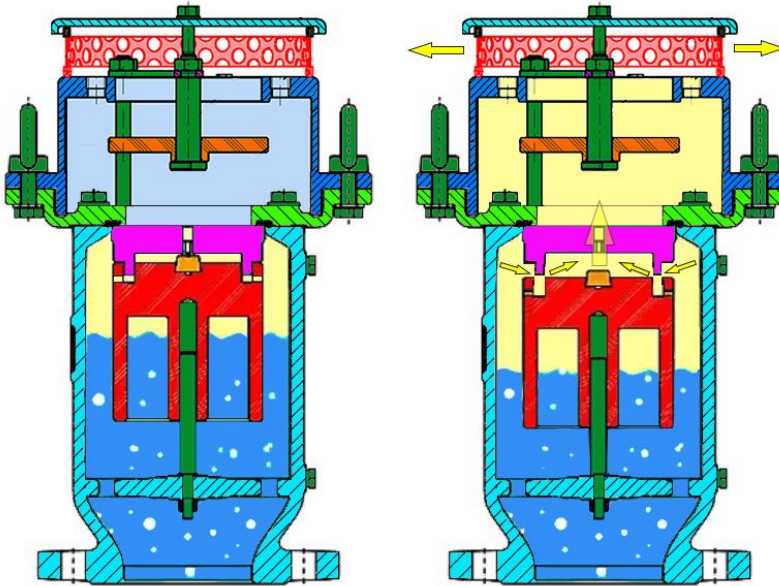
*Впуск воздуха при отключении ЦН*

2. Впуск воздуха в водяную часть конденсатора, когда давление в ней ниже атмосферного.

При опорожнении конденсатора (отключении циркуляционного насоса) поплавки опускаются, позволяя воздуху поступать в конденсатор и циркуляционную воду, предотвращая "схлопывание" и кавитационное повреждение оборудования.

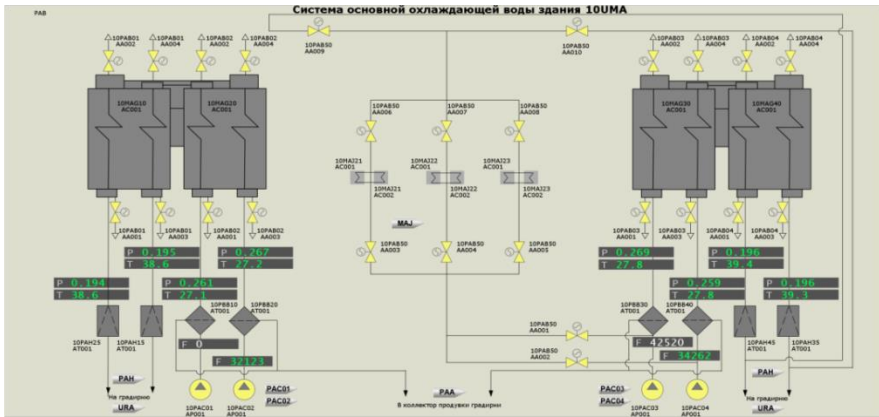
**3. Удаление выделяющегося из воды воздуха при заполненной системе.**

При заполненной системе запорный диск ограничителя находится в нижней позиции. Со временем в клапане накапливается растворенный в воде воздух и вытесняет воду. Масса главного поплавка давит вниз, приоткрывая выходное отверстие в теле верхнего поплавка, и стравливает воздух в атмосферу. Верхний поплавок остается в закрытом положении. Уровень воды поднимается, и главный поплавок опять перекрывает выпускное отверстие.

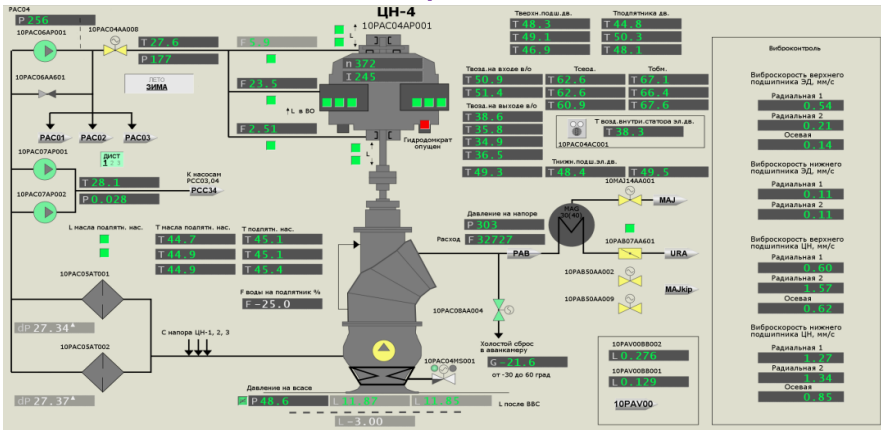


**Удаление растворенного в воде воздуха**

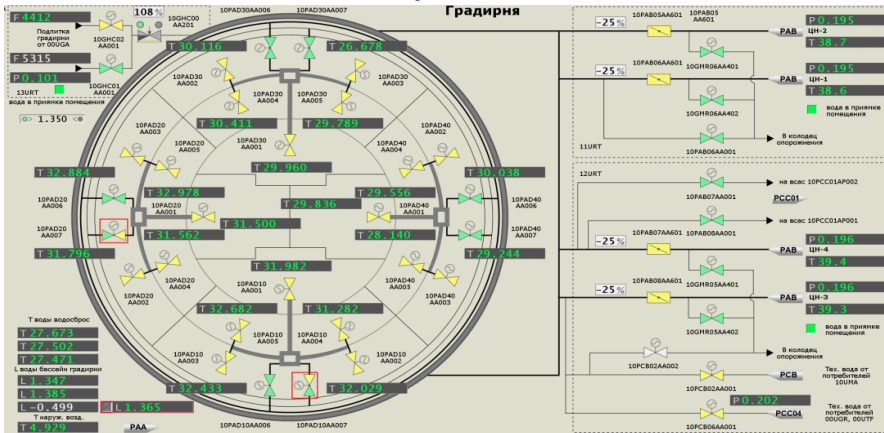
Контроль работы системы осуществляется с видеокадров СВБУ РАВ, РАС01-04, УРА.



Видеокадр СВБУ РАВ



Видеокадр СВБУ РАС04



Видеокадр СВБУ УРА

## 3.2 Система РАА механических очистных устройств

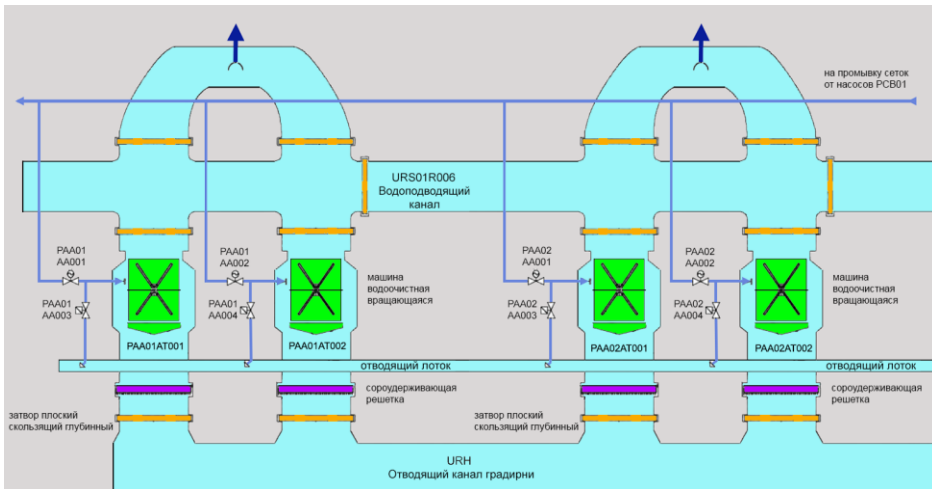
### 3.2.1 Назначение

Система механических очистных устройств РАА предназначена для механической очистки охлаждающей воды от мусора и плавающих предметов.

### 3.2.2 Состав

Система механических очистных устройств РАА включает в себя последовательно две ступени очистки воды:

- 1) сороудерживающие решетки;
- 2) машины водоочистные вращающиеся.



**Механические очистные устройства**

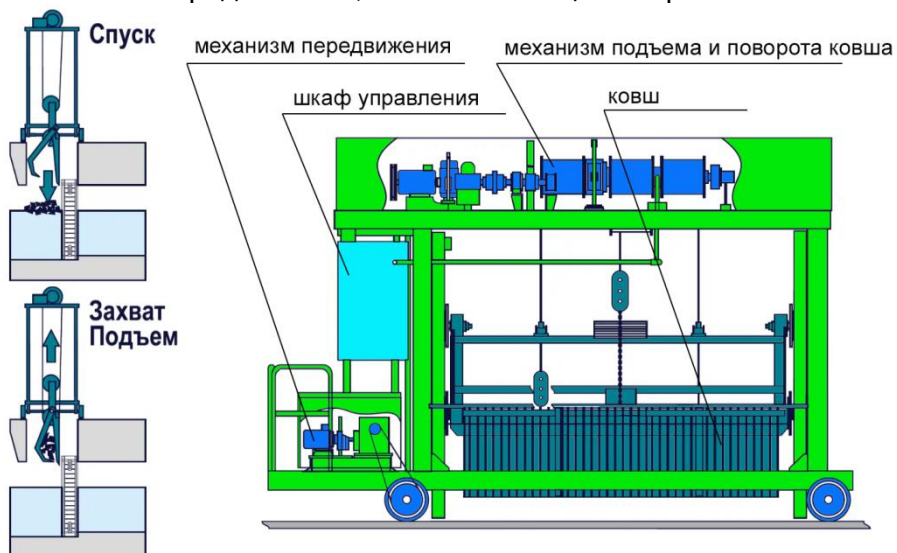
### 3.2.3 Конструкция оборудования

Сороудерживающие решетки РАА10АТ001÷009 состоят из вертикальных стержней с шагом между стержнями решеток 68 мм. Решетки предназначены для предотвращения попадания в насосную станцию крупного мусора и плавающих предметов. Устанавливаются решетки в водоприемной камере в количестве девять штук (одна резервная). Скорость воды перед входом на решетку 0,4 м/с.

Очистка решеток осуществляется стационарной *решеткоочистной машиной*.

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Основным элементом машины является ковш объемом  $0,15 \text{ м}^3$ . Под действием привода ковш способен перемещаться вверх-вниз по направляющим со скоростью  $9,5 \text{ м/мин}$ , производя очистку сороудерживающих решеток от мелких коряг, веток, водорослей. Для перемещения очистной машины между решетками она оснащена механизмом передвижения, обеспечивающим скорость  $20 \text{ м/мин}$ .



*Решеткоочистная машина*

*Машины водоочистные вращающиеся* РАА01АТ001(002), РАА02АТ001(002), РАА03АТ001(002), РАА04АТ001(002) типа ТН-2500-13625. Машина представляет собой вращающуюся сетку. Машины предназначены для очистки поступающей воды от плавающего мусора крупнее 5,0 мм. Скорость воды перед входом на сетку 1 м/с. Очистка сеток от мусора осуществляется струями промывочной воды системы охлаждающей воды неответственных потребителей РСВ при достижении разности уровней на очистном контуре 10÷15 см, или по сигналу от реле времени каждые 8 часов.

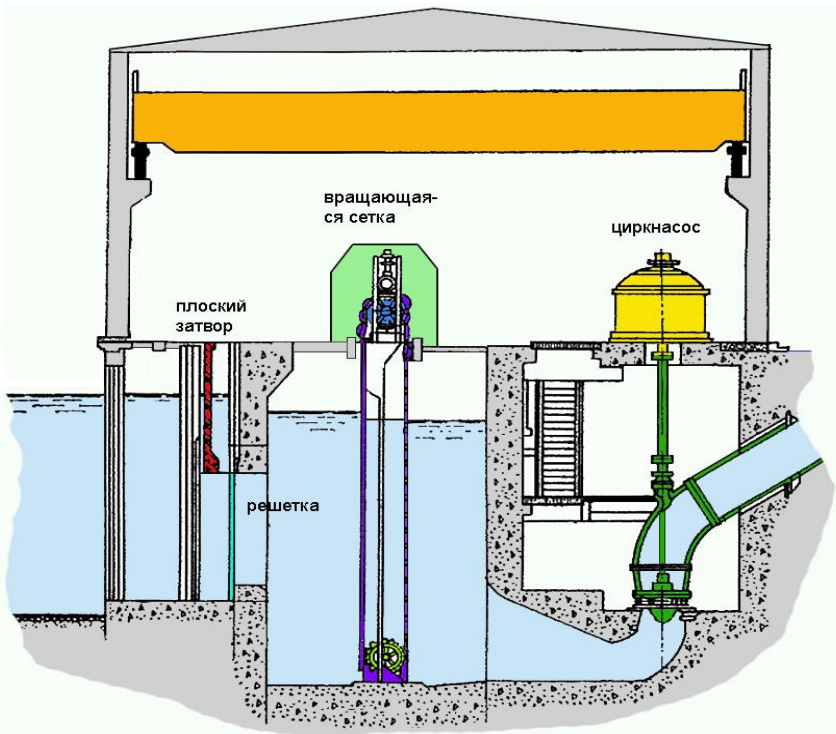


***Машины водоочистные вращающиеся (вращающиеся сетки)***

Одновременно с включением механизма привода водоочистных вращающихся машин осуществляется подача промывочной воды с напора насосов технической воды РС01АР001, 002 на очистку контура от мусора открытием электроприводной арматуры РАА01 (02, 03, 04) АА001 (002) и сброс мусора в мусороотводящий лоток.

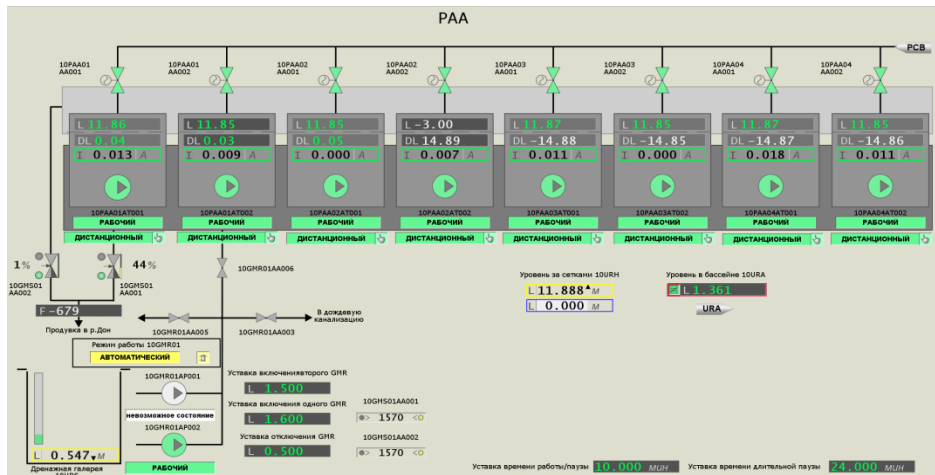
Время процесса очистки регулируется в пределах 5÷30 мин. Промывку сеток может также инициировать МОТО включением в режим принудительной промывки на неограниченное время. Для промывки мусороотводящего лотка предназначена линия Ду 25 с электромагнитным клапаном РАА01 (02, 03, 04) АА003 (004) на каждую водоочистную вращающуюся машину. Открытие клапана выполняет МОТО при необходимости промывки лотка во время промывки машин, клапан управляется только с «Дубны». Количество машин на один блок – восемь штук.

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



### Подвод воды к циркнасосам

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ РАА.



### Видеокادر СВБУ РАА

### 3.3 Циркуляционный насосный агрегат РАС

#### 3.3.1 Назначение

Насосные агрегаты РАС01АР001, РАС02АР001, РАС03АР001, РАС04АР001 предназначены для подачи охлаждающей воды в конденсаторы турбины и теплообменники водокольцевых насосов вакуумной системы.

#### 3.3.2 Состав

Каждый агрегат состоит из диагонального насоса 160МРСе10-28 с предротационным регулированием расхода и вертикального асинхронного двигателя ДВАЗ-2-235-4000/10-16КУХЛЗ. Расшифровка обозначения насоса после модернизации:

- 160 - диаметр напорного фланца, см;
- М - диагональный;
- Р - с предротационным устройством;
- Се - код гидросхемы рабочего колеса;
- 10 - подача, м<sup>3</sup>/с;
- 28 - напор, м.

#### Технические характеристики циркуляционного насоса

Подача, м <sup>3</sup> /ч	30600 – 36216
Напор, м	26-30
Частота вращения, об/мин	372
Показатель среднего ресурса насоса до капитального ремонта, не менее, год. (ч.)	6(52500)

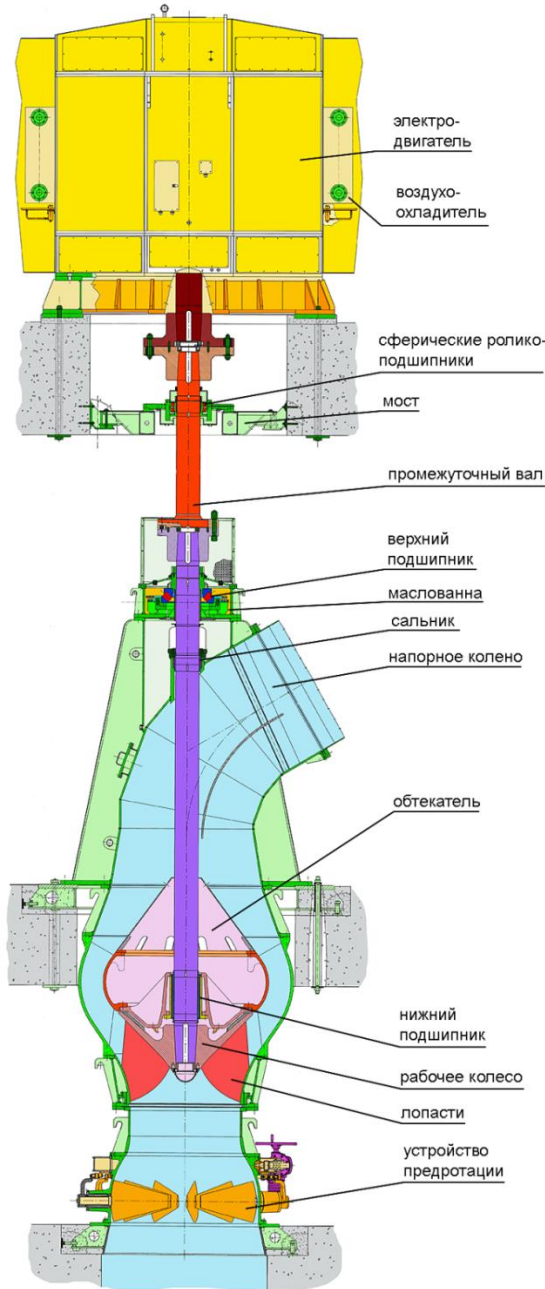
#### 3.3.3 Насос

Насосы диагональные, вертикальные, одноступенчатые с рабочим колесом одностороннего входа закрытого типа, укрепленным на консольной части вала.

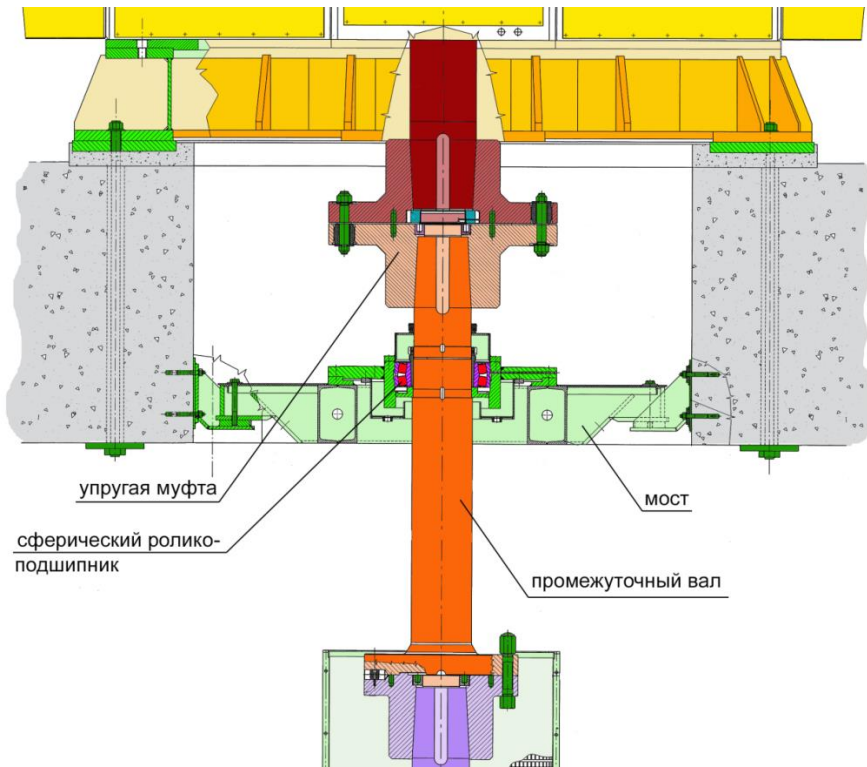
В диагональных насосах при взаимодействии лопастей с потоком возникает подъемная сила. Жидкость поступает к рабочему колесу в осевом направлении, а выходит из колеса под некоторым углом к его оси. В диагональных насосах частично используется действие центробежных сил, поэтому развиваемый напор будет выше, чем у осевых насосов, с сохранением большого расхода. Ввиду того, что окружные скорости вдоль радиуса рабочего колеса неодинаковы (в центре окружности скорость равна нулю, а на торце лопаток она имеет максимальное значение), то и значения давления в жидкости

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

вдоль радиуса окажутся разными, в результате чего возникает вихреобразование. Для устранения этого явления в рабочем колесе насоса устраивается массивная втулка с короткими лопатками.



*Циркуляционный насос*



### *Промежуточный вал циркусоса*

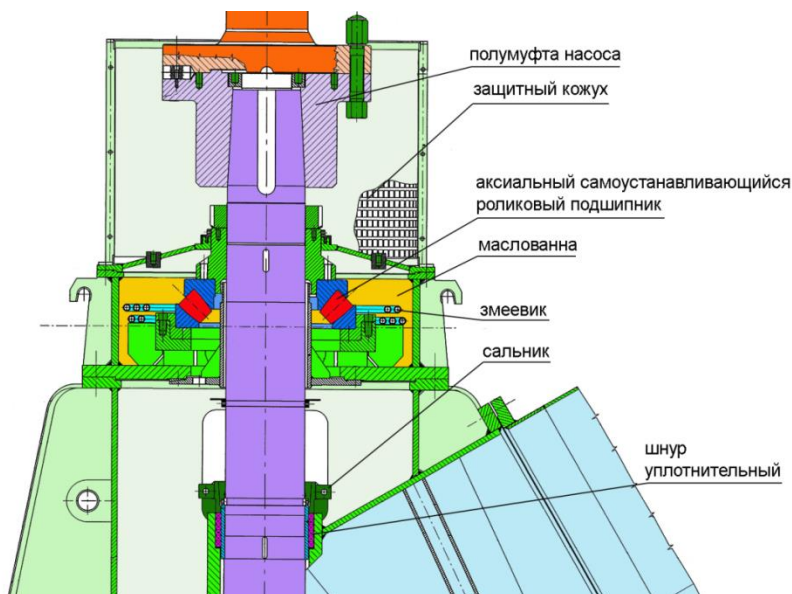
Рабочее колесо диагонального насоса состоит из втулки, на которой укреплено несколько лопастей, представляющих собой удобообтекаемые изогнутые крылья с закрученной передней кромкой, набегающей на поток. Рабочее колесо насоса вращается в трубчатой камере, благодаря чему основная масса потока в пределах колеса движется в осевом направлении.

Основными деталями и сборочными единицами насоса являются вертикальный трубчатый корпус с напорным коленом, колесо рабочее, вал насоса, присоединяемый к валу электродвигателя посредством стальной пластинчатой муфты типа RADEX-N, уплотнение вала, подшипники и предротационное устройство.

Подшипниковая система насоса состоит из нижнего направляющего подшипника с водяной смазкой и подпятника – самоустанавливающегося роликоподшипника с масляной смазкой. В качестве смазки применяется турбинное масло Тп-30. Необходимое количество масла составляет около 60 л. Гидравлическое осевое усилие и масса ротора воспринимаются подпятником насоса.

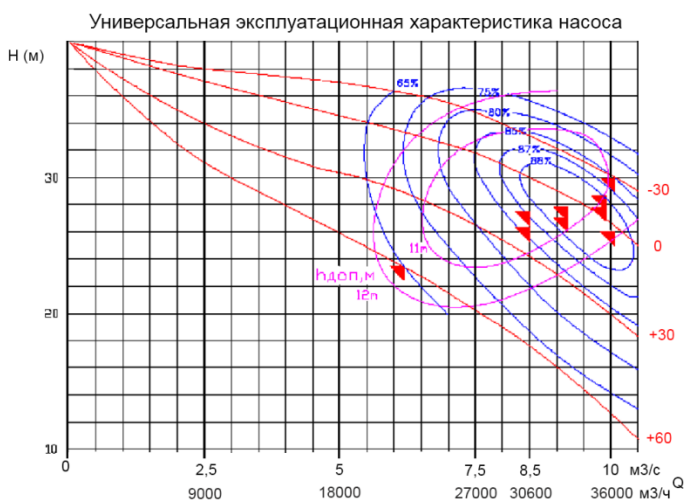
## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

Уплотнение вала сальниковое с уплотняющим шнуром марки Buraflex-НТ2000 310x350x122. Конструкция уплотнения обеспечивает не превышение допустимой протечки при работе насоса в течение 18 месяцев. Выполнен организованный отвод протечек.



**Верхний подшипник циркуляционного насоса**

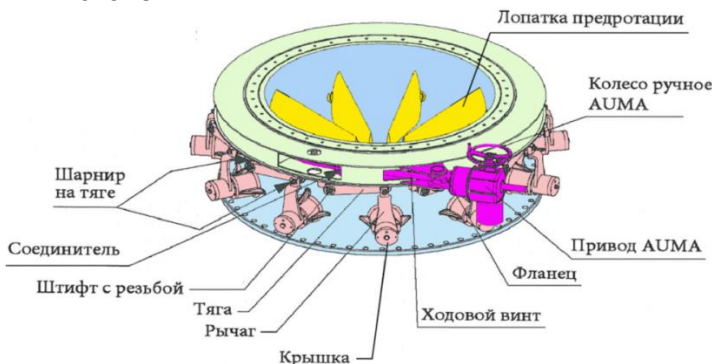
Регулирование расхода осуществляется с помощью предротационного устройства с регулируемым во время хода лопастями, которое установлено перед рабочим колесом.





### Предротационное устройство

Этот механизм обеспечивает высокую эффективность покрытия всего участка характеристики. В основном положении угол наклона лопаток равен  $0^\circ$ . При этом влияние регулятора нейтральное - насос работает на нормальной характеристике. При помощи изменения угла лопаток характеристическая кривая перемещается (вверх или вниз). Вверх - при регулировке кольца против направления вращения насоса, вниз - при регулировке ротации в направлении вращения насоса. Регулировка обеспечивается изменением положения кольца регулирования через винтовую связь при вращении сервопривода регулятора. Регулятор устройства предротации жестко крепится к фундаменту посредством заделочного кольца. Сервопривод движения лопаток оснащен датчиком положения лопаток. Крайние положения лопаток -  $-30^\circ$  -  $+60^\circ$  ограничены электрическими выключателями.



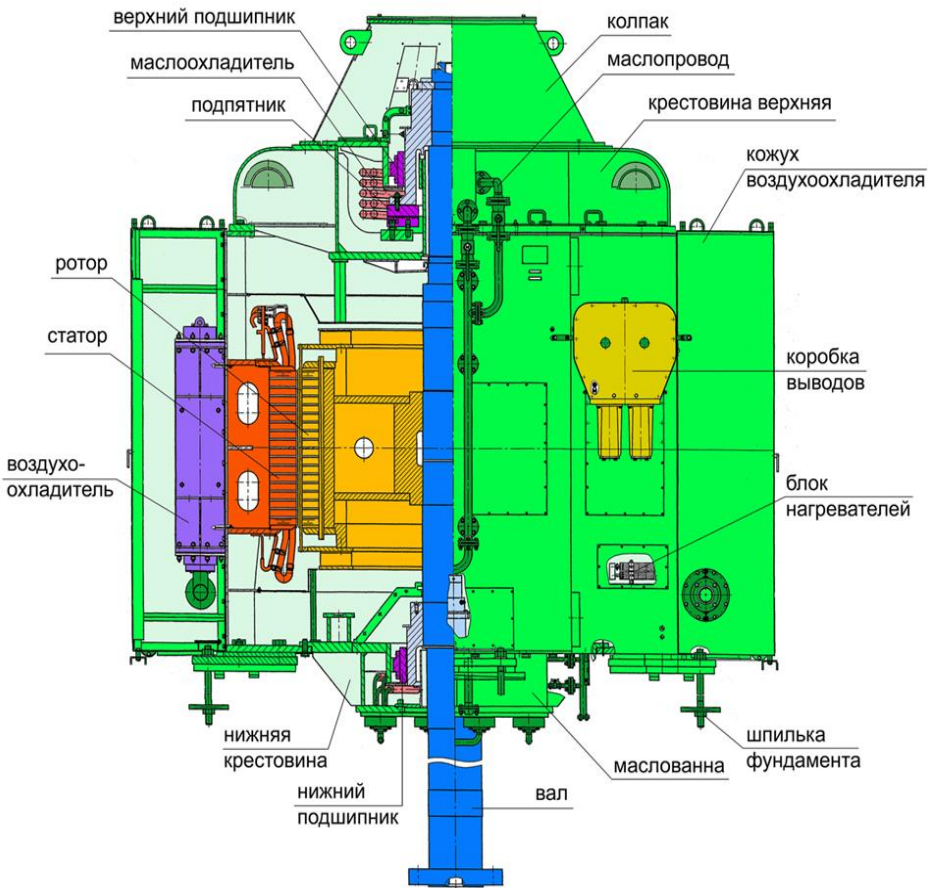
### Предротационное устройство



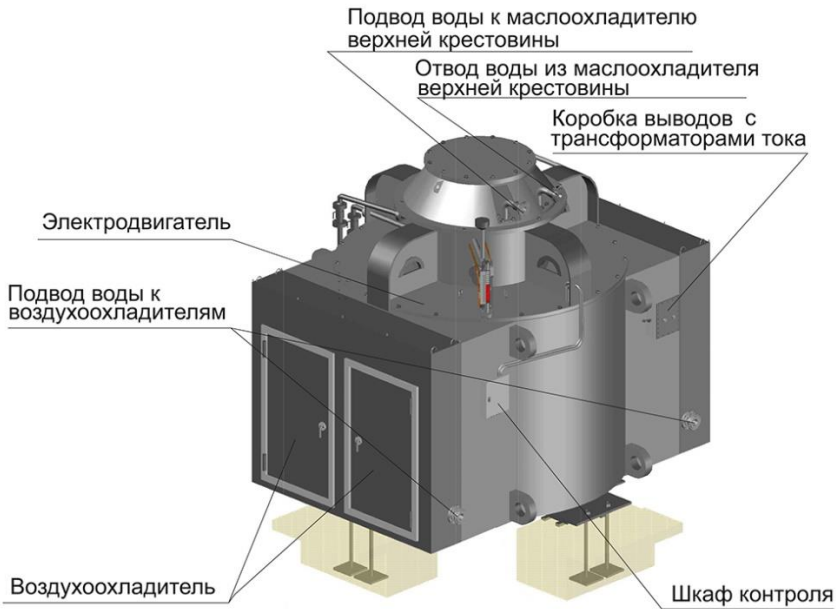
Соединение валов двигателя и насоса фланцевое.

Вентиляция двигателя осуществляется по замкнутому циклу за счет самовентилирующего действия ротора с применением четырех водяных воздухоохладителей. Воздухоохладители крепятся снаружи к обшивке статора и закрыты кожухами. Нагретый воздух из статора поступает в воздухоохладители.

Пройдя через воздухоохладители, воздух распределяется на два охлажденных потока, которые входят обратно в статор через окна в верхней и нижней частях обшивки.



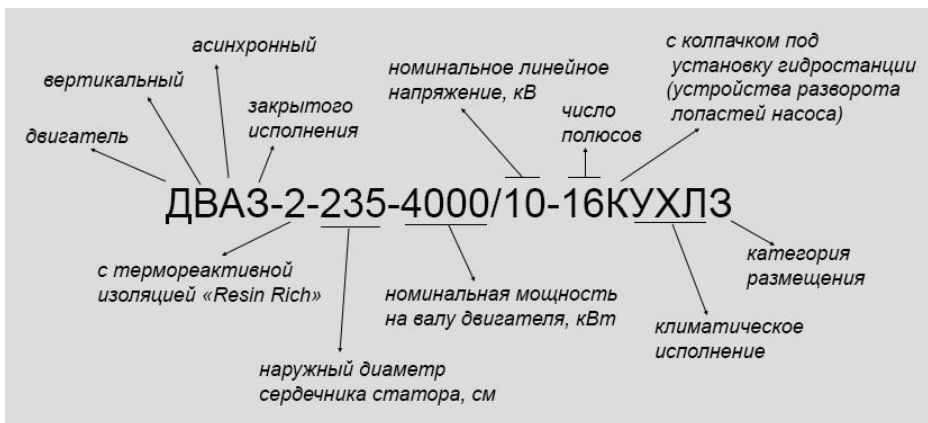
*Электродвигатель циркнасоса*



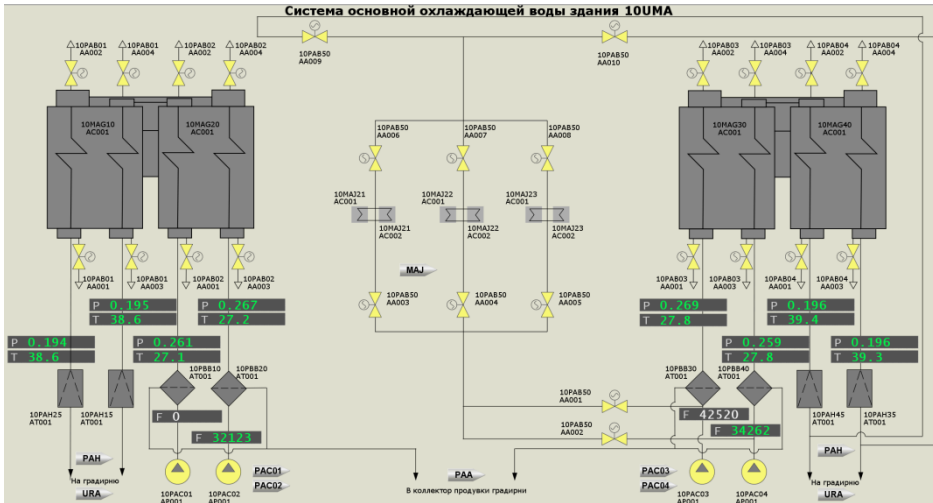
### Электродвигатель циркусоса

Смазка подпятника, верхнего и нижнего направляющих подшипников двигателя замкнута внутри масляных ванн без внешней циркуляции масла. Охлаждение масла осуществляется водяными маслоохладителями, встроенными в масляные ванны. В ваннах верхней и нижней крестовин установлено по одному датчику уровня масла.

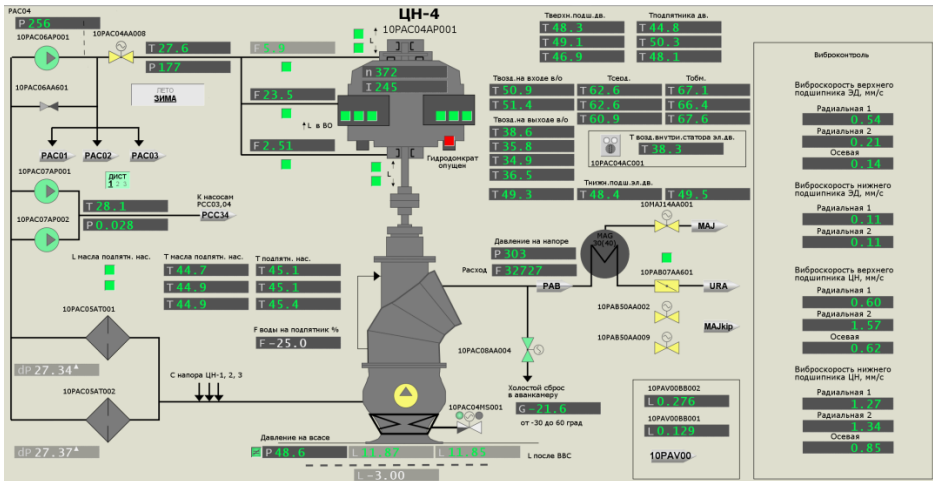
Допускается обратное вращение двигателя после его отключения от сети в течение не более 5 мин, при этом максимальная частота вращения в обратном направлении не должна превышать 487,5 об/мин.



Контроль работы системы осуществляется с видеокладов СВБУ PAB, PAC01-04, панели БПУ10CWG08, пульты БПУ.

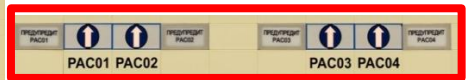
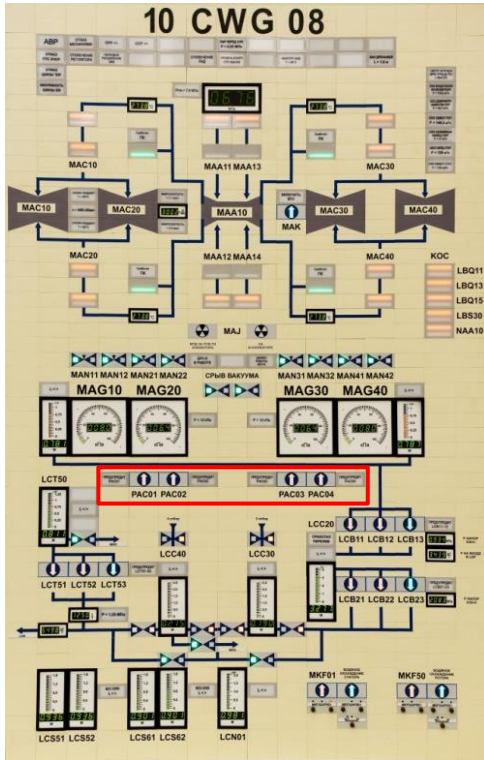


Видеоклад СВБУ PAB

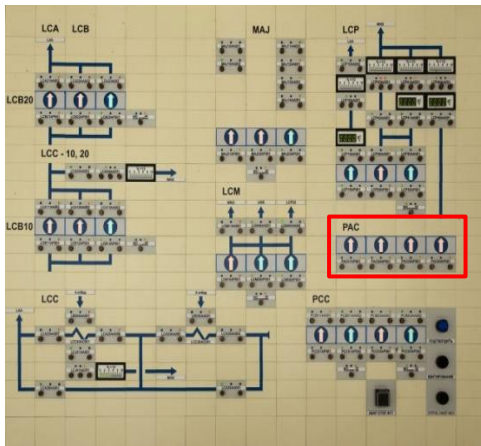


Видеоклад СВБУ PAC04

# ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



Панель БПУ10CWG08



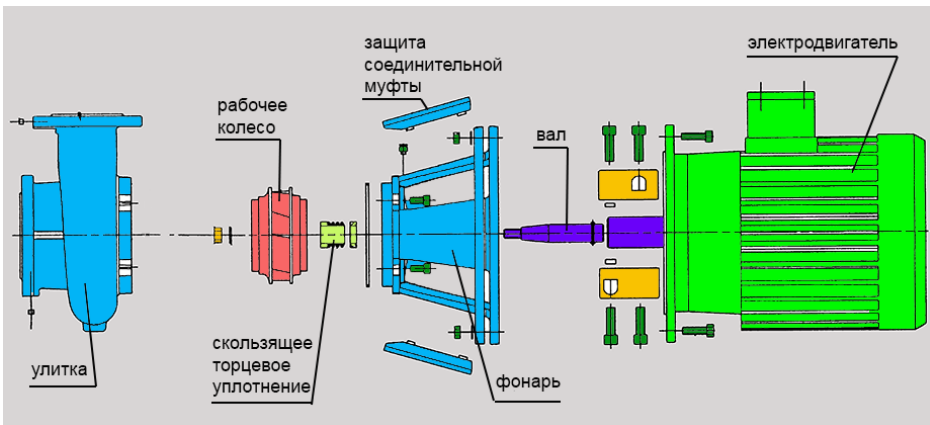
Пульт БПУ

### 3.4 Системы, обслуживающие циркуляционный насос

#### 3.4.1 Насос охлаждения электродвигателя

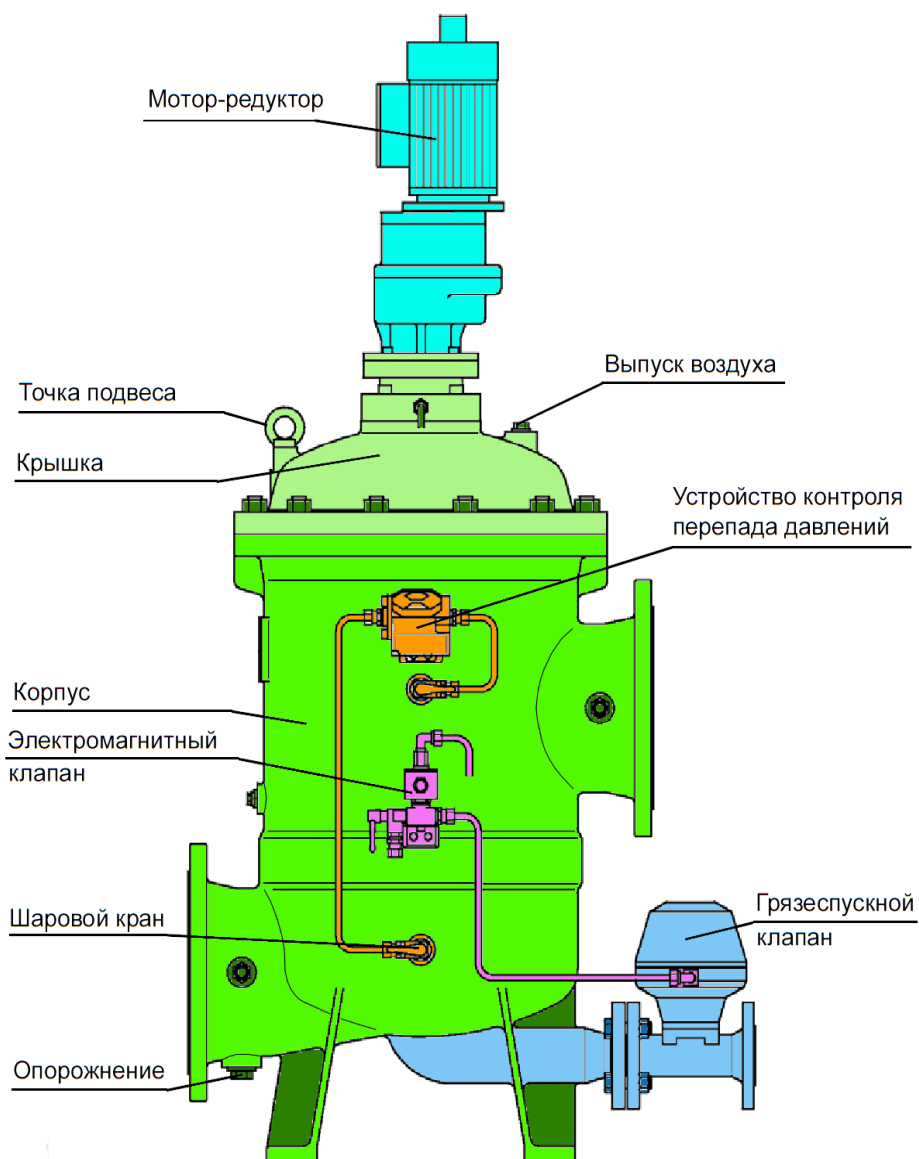
Для подачи воды на воздухоохладители и на маслоохладители верхней и нижней крестовин электродвигателей циркуляционных насосных агрегатов используется насос PAC06AP001 производительностью 59,5 м<sup>3</sup>/ч при напоре 15 м.

Насос центробежный консольный одноступенчатый низкого давления компактной конструкции со спиральным корпусом (улиткой) со скользящим торцевым уплотнением производства фирмы WILO (ФРГ). Насос обеспечивает подачу охлаждающей воды для пуска первого циркуляционного насоса. После включения первого циркуляционного насоса и повышения давления на его напоре более 280 кПа насос PAC06AP001 автоматически отключается, а охлаждающая вода подается по байпасным линиям через арматуру PAC06AA001, 601.

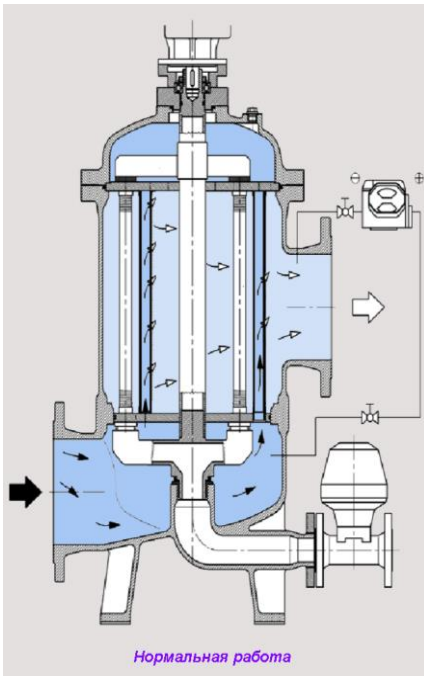


**Насос PAC06AP001**

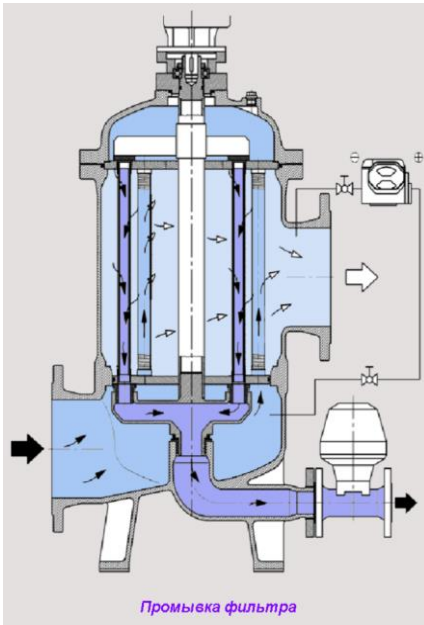
### 3.4.2 Фильтры PAC05AT001,002



*Фильтр автоматический самоочищающийся*



Нормальная работа



Промывка фильтра

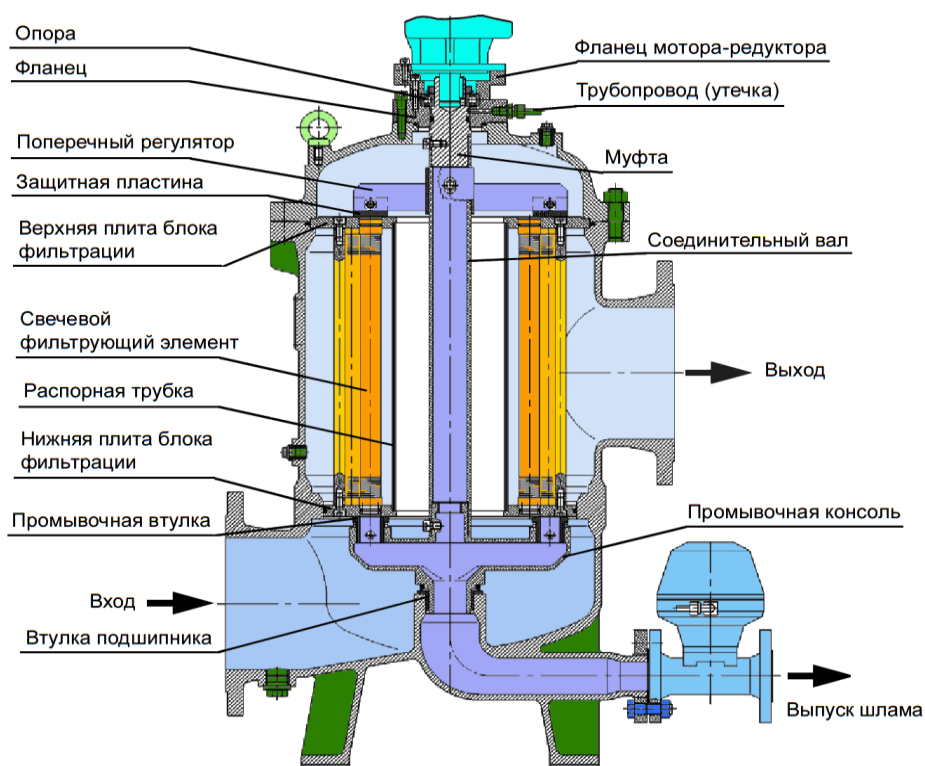
Фильтры автоматические самоочищающиеся водяные типа BOLL-FILTER фирмы BOLL & KIRCH Filterbau GmbH (Германия). Фильтры предназначены для очистки охлаждающей воды, которая подается в системы охлаждения циркуляционных агрегатов, от механических частиц размером более 1 мм. Внутренние части фильтра, контактирующие с фильтруемой средой, выполнены из нержавеющей стали. Вода, подлежащая очистке, поступает через входной фланец в корпус фильтра, проходит через свечные фильтрующие элементы изнутри наружу, при этом находящиеся в воде частицы удерживаются фильтрующим материалом свечных элементов. Очищенная вода поступает на выход фильтра.

Каждый фильтр оснащен устройством, которое измеряет разность давлений на входе и выходе фильтра. С увеличением загрязнения свечных фильтрующих элементов перепад давлений на фильтре увеличивается. Система управления обрабатывает электрические сигналы устройства контроля перепада давлений и запускает процесс обратной промывки. При наличии аварийного сигнала следует сделать переход на резервный фильтр и вывести в ремонт неисправный.

Для промывки фильтры оснащены встроенным мотором-редуктором. Если из-за накапливающегося

слоя грязи на фильтре перепад давления между грязной и чистой стороной достигает значения более 0,02 МПа, автоматически срабатывает очистка всех свечных фильтрующих элементов. По команде обратной промывки включается редукторный двигатель. Он проворачивает промывочный рукав с промывочными гильзами к отдельным свечным фильтрующим элементам. Одновременно открывается грязеспускной клапан. При этом часть потока воды обратным током (снаружи внутрь) заходит в промываемые свечные фильтрующие элементы и частицы грязи смываются. Вращающийся поперечный регулятор с защитными пластинами обеспечивает целенаправленную обратную промывку перекрестным потоком и распределение энергии обратной промывки по всей длине свечи. После 1,25 оборотов устройства для обратной промывки электронная система управления выключает двигатель с редуктором. Грязеспускной клапан закрывается. Промывка заканчивается.

Режим работы фильтров постоянный, один в работе, второй – в резерве.



*Конструкция фильтра автоматического самоочищающегося*

### 3.5 Система PAV маслохозяйства электродвигателей циркуляционных насосов

#### 3.5.1 Назначение

Система маслохозяйства электродвигателей циркуляционных насосов PAV предназначена:

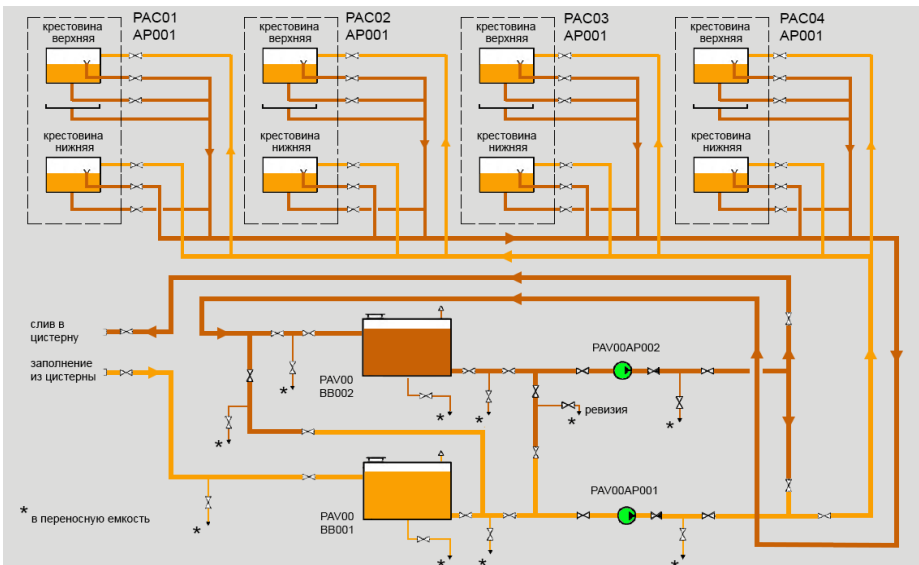
- для приема чистого масла из автоцистерны в бак чистого масла PAV00BB001;
- для подачи масла из бака чистого масла PAV00BB001 в маслованны крестовин электродвигателей циркуляционных насосов PAC01,02,03,04AP001;
- для откачки отработанного масла из маслованн циркуляционных насосов PAC01,02,03,04AP001 и сбора его в бак грязного масла PAV00BB002;
- для откачки грязного масла из бака грязного масла PAV00BB002 в автоцистерну.

#### 3.5.2 Состав

В состав системы входит:

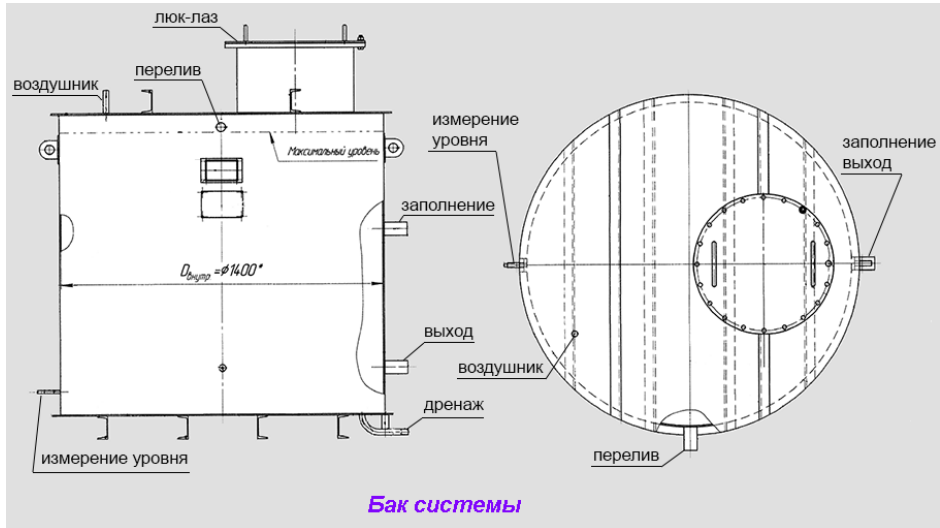
- 2 бака: чистого масла и грязного масла;
- 2 насоса: чистого масла и грязного масла;
- арматура, трубопроводы, КИП.

#### 3.5.3 Описание технологической схемы



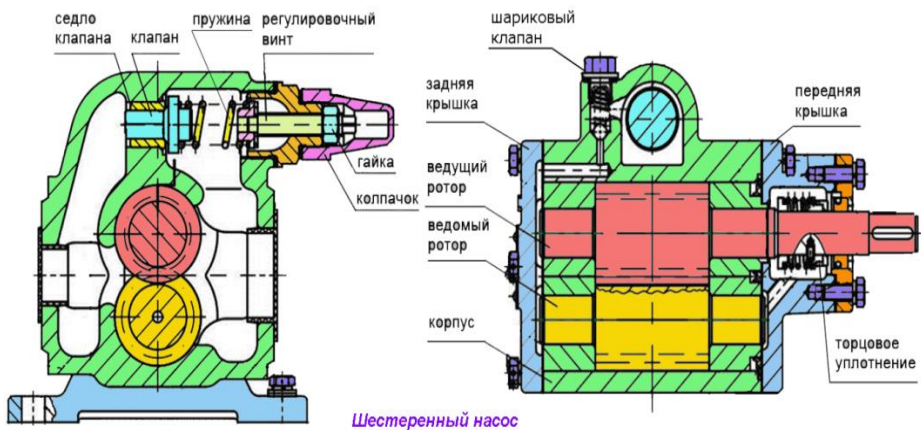
*Технологическая схема системы маслохозяйства электродвигателей циркуляционных насосов*

Бак чистого масла предназначен для приемки свежего масла из автоцистерны и создания запаса масла.



Бак грязного масла предназначен для приемки отработанного масла из маслованн крестовин электродвигателей. Баки имеют одинаковую конструкцию. Объем каждого бака  $2 \text{ м}^3$ .

Насос чистого масла предназначен для подачи масла из бака чистого масла в маслованну крестовин электродвигателей. Насос грязного масла предназначен для откачки масла из бака грязного масла в автоцистерну.  $P=0.4 \text{ МПа}$ .  $Q=4\text{м}^3/\text{ч}$ .



Каждый насос состоит из элементов: корпус с крышками; ведущий и ведомый роторы с втулками (подшипниками скольжения); предохранительный и разгрузочный клапаны; торцевое уплотнение.

Оба насоса шестеренные типа НМШ. При вращении ведущего и ведомого роторов на стороне входа создается разрежение, в результате чего масло под атмосферным давлением заполняет впадины между зубьями и перемещается в них со стороны входа на сторону выхода. На выходе при зацеплении зубьев происходит выдавливание масла в напорный трубопровод.

Перепускной клапан предназначен для кратковременного перепуска масла из полости нагнетания в полость всасывания в случае повышения давления в напорном маслопроводе выше допустимого.

В насосе предусмотрен предохранительный шариковый клапан, который защищает насос от неконтролируемого роста давления.

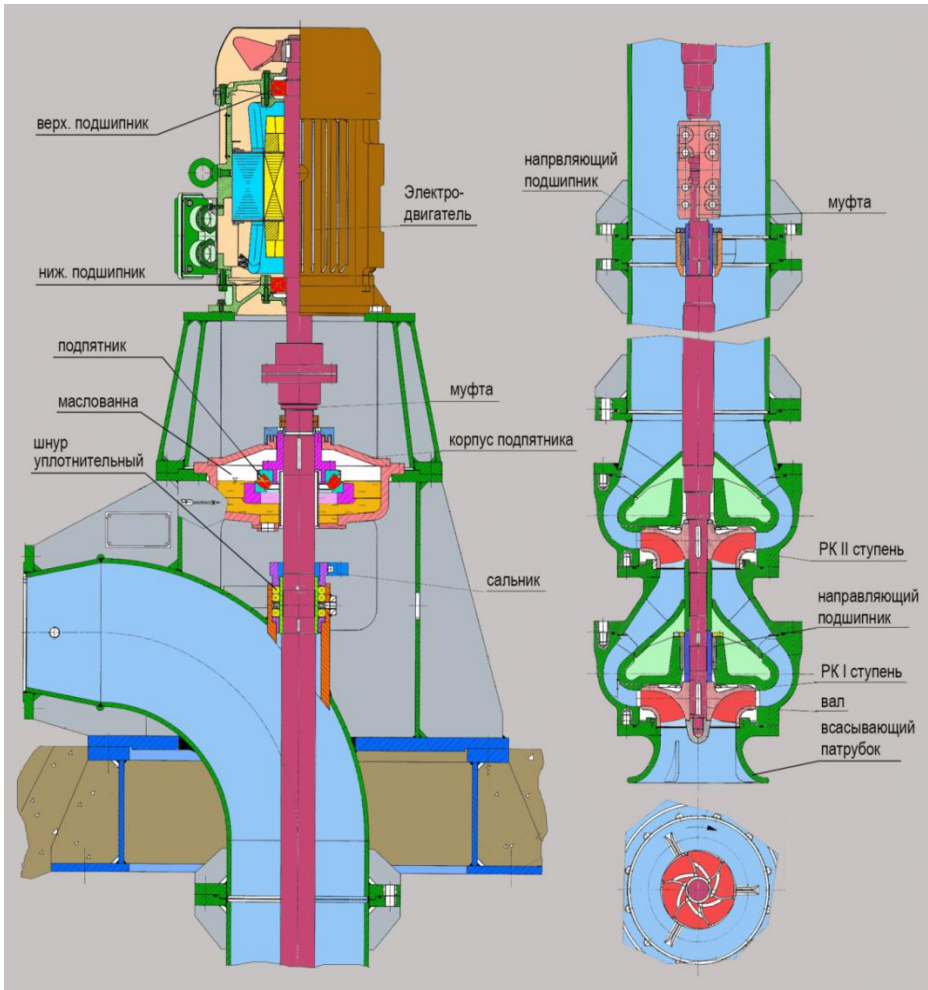
### 3.6 Насосы GMR дренажа и опорожнения здания URS

#### 3.6.1 Насосы дренажной галереи

Для откачки аванкамер насосного оборудования и камер всасов циркуляционных насосов и насосов охлаждающей воды для вывода в ремонт оборудования здания БНС URS предусмотрена дренажная галерея. Для откачки дренажной галереи установлены дренажные насосы GMR01AP001,002, которые работают в автоматическом режиме, один – в работе, второй – в резерве.

TLS200-II представляет собой вертикальный двухступенчатый центробежный насос. Насос опирается на перекрытие, находящееся под напорным патрубком. Двигатель опирается на столик, установленный на верхней части напорного патрубка. Вода поступает в насос через всасывающий патрубок, затем из рабочего колеса через корпус направляющих лопаток, понижающий скорость потока и направляющий его в осевом направлении, вода поступает во вторую ступень, далее в вертикальную трубу и потом в напорное колено с углом  $90^{\circ}$ . Вал насоса выведен из водяной полости через сальник, приваренный к напорному патрубку. Возле сальника защитная втулка вала из нержавеющей стали соприкасается с уплотнительными шнурами. Передача мощности между электродвигателем и насосом осуществляется при помощи упругой втулочно-пальцевой муфты. Вал насоса подпирается в 3-х местах: сверху подпятником, снизу и посередине направляющими подшипниками. Подпятник – это находящийся в корпусе погруженный в масляную ванну аксиальный, самоустанавливающийся роликоподшипник, который раз-

мещен между верхним фланцем напорного патрубка и нижним фланцем столика электродвигателя.



**Насос GMR**

Данный подшипник воспринимает нагрузки от массы ротора, а также компенсирует аксиальные нагрузки от гидравлических сил и придает радиальное направление верхнему хвостовику вала. При нормальных условиях эксплуатации температура смазочного масла не должна превышать 80°C. Ротор насоса в 2-х местах подпирается подшипниками скольжения. Один подшипник установлен в первом корпусе направляющих лопаток, второй - в опорной звезде. Вал насоса под подшипником защищен защитной втулкой из нержавеющей

ющей стали. Направляющие подшипники смазываются и охлаждаются перекачиваемой средой. Подшипники сделаны из материала, который допускает минимальный сухой пробег, пока уровень водяного столба не достигнет его.



**Насосы GMR**

На выходной стороне вала насоса установлено сальниковое уплотнение. Смазка сальника выполняется через смазочно-запорное кольцо, установленное между уплотнительными кольцами. Смазка должна проводиться через каждые 6 месяцев, или перед пуском, после длительного отключения. Количество консистентной смазки - около  $50 \text{ см}^3$ . Крышку сальника нужно зажать настолько, чтобы вода слегка протекала через уплотнение. Эта вода смазывает и охлаждает трущиеся поверхности.

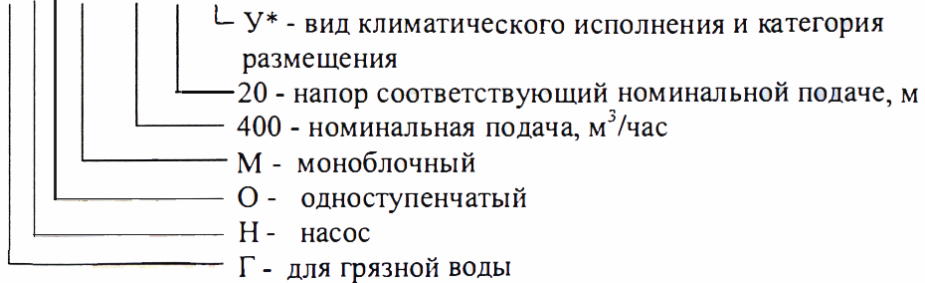
**Технические характеристики**

Тип:	TLS 200-II
Номинальная подача	$130 \text{ м}^3/\text{ч}$
Номинальный напор	22 м
Частота вращения	1450 об/мин
Максимальная мощность	12 кВт
КПД	72 %

### 3.6.2 ГНОМ

Для опорожнения водоподводящего канала URS01R006 в период ремонта циркуляционного насоса PAC01(02,03,04)AP001 используется переносной насос типа «ГНОМ» GMR04AP001.

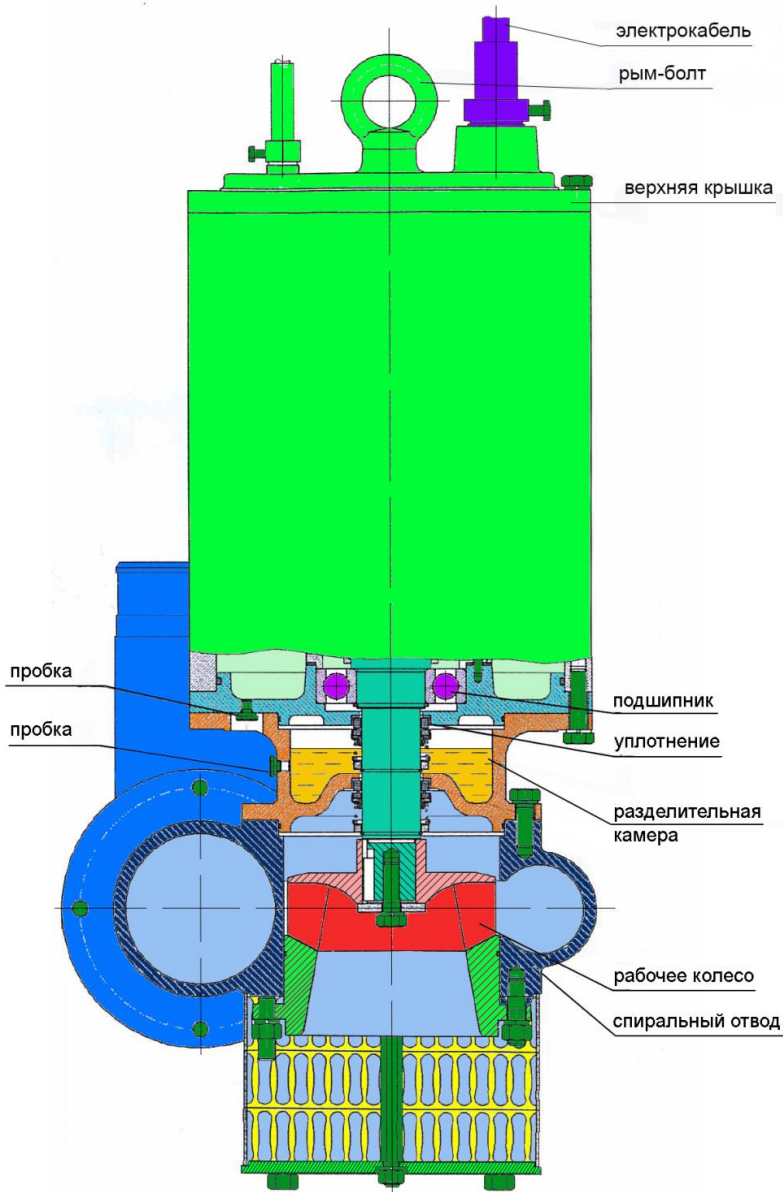
ГНОМ 400-20-У\* ТУ3631-001-72181059-2004



Рабочий интервал подач 50 - 400 м<sup>3</sup>/ч (регулируется запорной арматурой на выходном трубопроводе). Рабочее положение насоса вертикальное, насосной частью вниз при полном или частичном погружении в воду на глубину не менее 0,9 м и не более 10 м. Масса электронасоса в сборе не более 450 кг, мощность электродвигателя 40 кВт.

Электронасос представляет собой передвижной погружной моноблочный агрегат, состоящий из одноступенчатого центробежного насоса и асинхронного герметизированного трёхфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

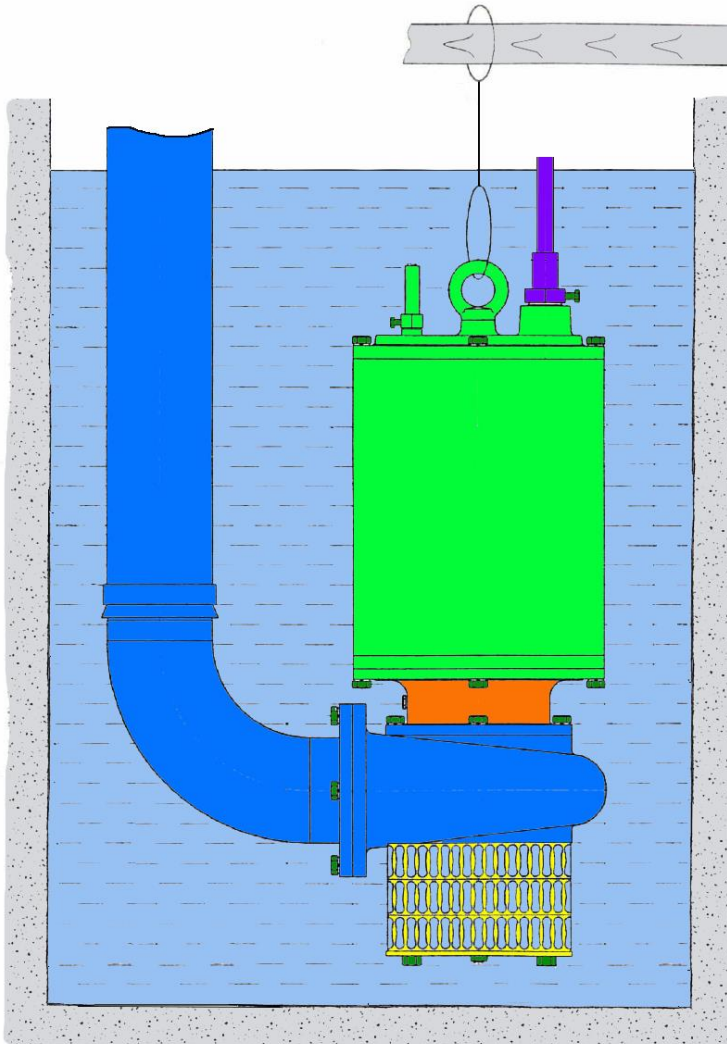
Центробежный насос состоит из рабочего колеса, консольно расположенного на валу электродвигателя, и спирального отвода. Ротор вращается в двух шарикоподшипниках. Герметизация внутренней полости электродвигателя от перекачиваемой жидкости со стороны выступающего конца вала осуществляется узлом, состоящим из двух торцовых уплотнений и разделительной камеры, заполненной изоляционным маслом. Для заливки полости разделительной камеры используется масло изоляционное с электрической прочностью не менее 15 кВ. Заливку осуществляют через отверстие пробки. Объем масла в разделительной камере 1,5±0,05 л. Слив масла из разделительной камеры при техобслуживании осуществляется через отверстие пробки. При каждой очередной установке сливных пробок необходима замена уплотняющих резиновых колец на новые.



### Конструкция ГНОМа

Токоподводящий кабель электронасоса четырехжильный, одна из жил которого (жёлто-зелёного цвета) используется в качестве заземляющей и крепится к крышке электронасоса болтовым зажимом. Токоподводящий кабель уплотняется сальником при завинчивании

втулки. Упор предохраняет токоподводящий кабель от выдёргивания и стопорит втулку от самоотвинчивания. На нижней части корпуса электродвигателя расположена пробка, которая служит для контроля отсутствия воды в полости электродвигателя и слива её при техобслуживании. Перемещение и установка электронасоса осуществляется при помощи рым-болтов, расположенных на верхней крышке.

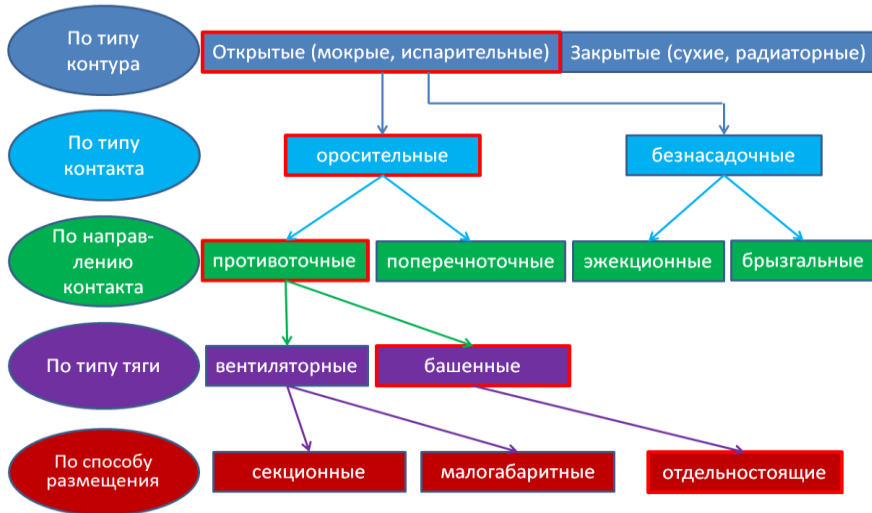


*Способ установки ГНОМа*

### 3.7 Система PAD оборотной воды градирни. Башенная испарительная градирня URA

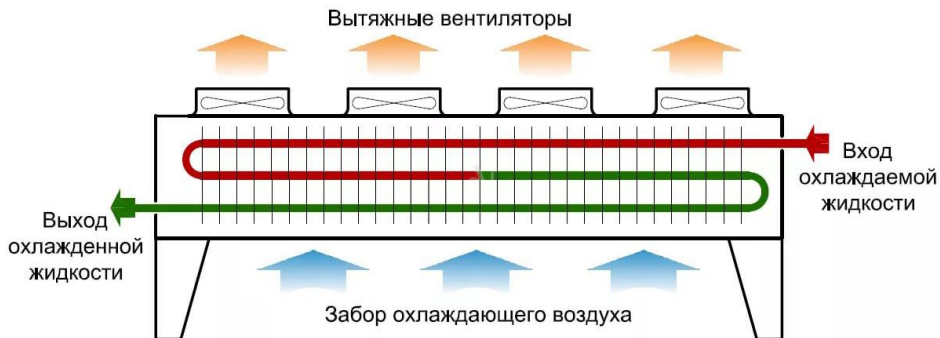
#### 3.7.1 Типы градирен

Работа любой градирни основана на охлаждении жидкости атмосферным воздухом. Именно отсутствие иного, нежели воздух, хладагента и отличает градирню от кондиционера, промышленного холодильника или чиллера.

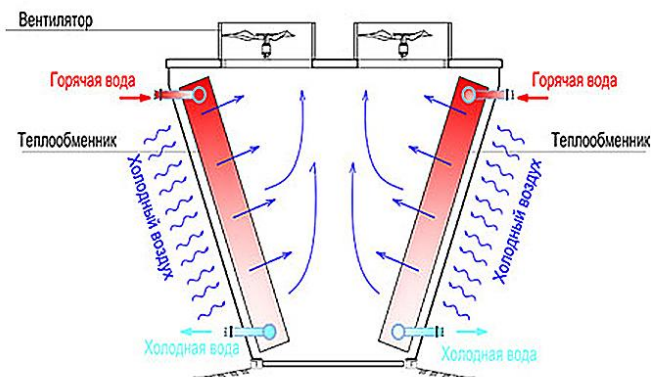


#### Классификация градирен

По принципу действия выделяют два основных типа промышленных градирен: *испарительные* и *сухие*, их еще называют открытые или закрытые.



*Сухая (радиаторная, закрытая) градирня*



*Сухая (радиаторная, закрытая) градирня*

Сухая градирня представляет собой корпус с размещенным внутри теплообменником (радиатором), по которому циркулирует охлаждающая жидкость, и одним или несколькими вентиляторами, обдувающими радиатор потоком наружного воздуха. Сухие градирни имеют смысл использовать в случаях, когда технология требует изоляции контура циркуляции от внешней среды, или при отсутствии возможности организовать подпитку в необходимых количествах. Еще выбор в пользу сухой градирни целесообразен при температуре теплоносителя или оборотной воды на грани кипения.

*Испарительная* градирня открытого типа работает по принципу разбрызгивания горячей воды и смешивания ее с более холодным наружным воздухом. При этом часть воды превращается в пар и вместе с нагретым наружным воздухом выбрасывается в атмосферу, оставшаяся же вода охлаждается. Башенная градирня представляет собой железобетонную трубу гиперболической формы, внутри которой находится система подачи воды, ороситель и резервуар. Поток наружного воздуха через входные отверстия в

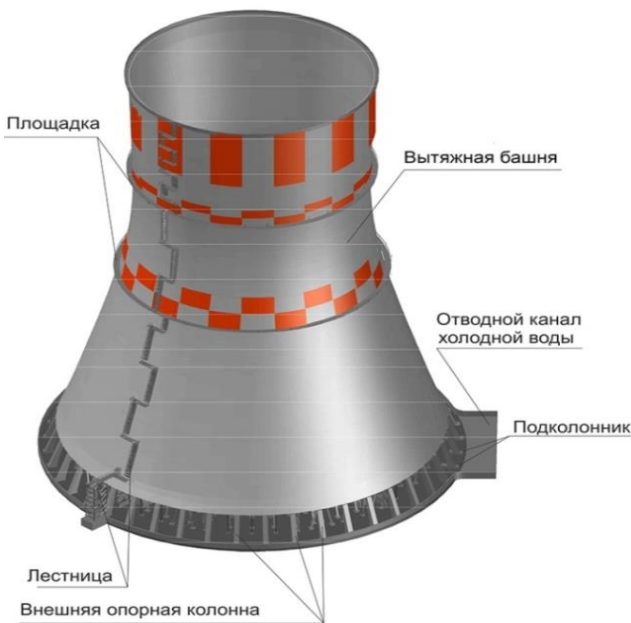
нижней части трубы поднимается вверх через ороситель за счет создания естественной тяги в трубе. Этот вид промышленных градирен обеспечивает большую тепловую мощность за счет большого расхода воды, охлаждаемого с небольшим температурным перепадом (5-10 °С).

*Достоинства испарительной градирни*

- нет затрат электроэнергии при эксплуатации
- предназначены для больших расходов воды

*Недостатки испарительной градирни*

- малая глубина охлаждения
- дорогое строительство
- сложное строительство и ремонт
- требуют специальных мероприятий для зимнего периода



**Башенная испарительная (мокрая, открытая) градирня**

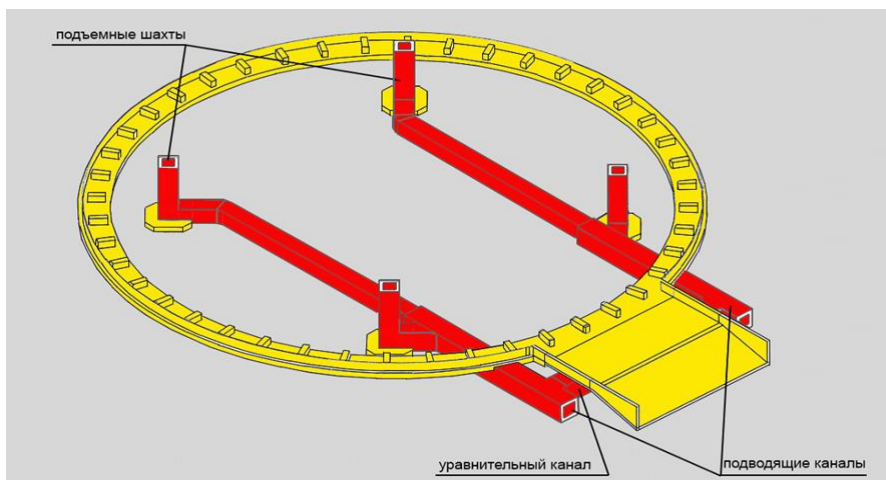
**3.7.2 Конструкция и принцип работы градирни**

Для охлаждения циркуляционной воды на 4 очереди Нововоронежской АЭС применяются башенные испарительные градирни с естественной тягой (одна градирня на блок). Естественная тяга возникает вследствие разности масс столбов наружного воздуха и нагре-

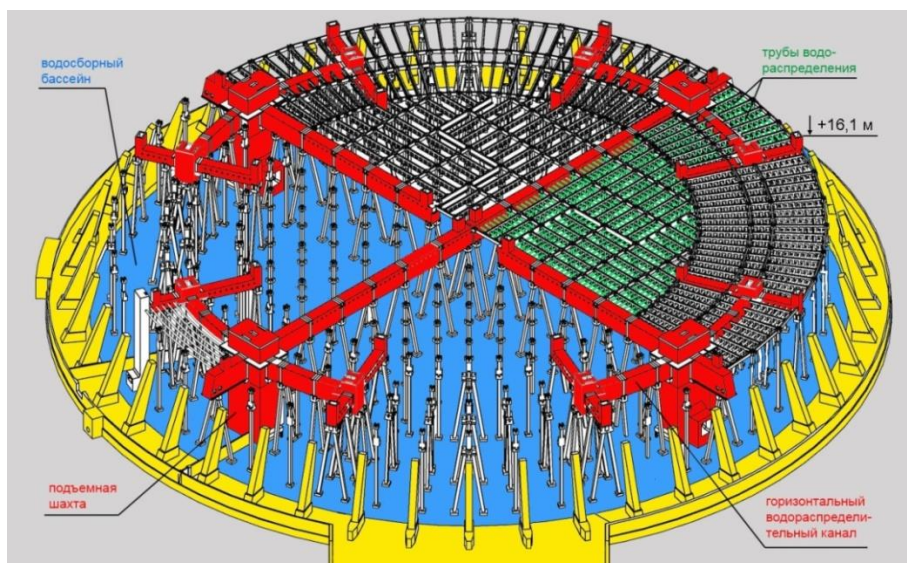
того и увлажненного воздуха внутри градирни. В состав башенной испарительной градирни входят:

- вытяжная башня с опорными конструкциями;
- подводящие каналы;
- уравнильный канал;
- подъемные шахты;
- водосборный бассейн;
- водораспределительные каналы с запорной арматурой;
- трубы водораспределения;
- ороситель;
- блоки каплеуловителей;
- зимние трубопроводы градирни.

После конденсаторов турбины нагретая циркуляционная вода поступает в градирню по четырём отводящим трубопроводам Ду2200, которые присоединяются к двум приемным железобетонным камерам, каждая из которых переходит в горизонтальный железобетонный подводящий канал. Оба канала размещены под днищем водосборного бассейна на отметке минус 7,350 симметрично относительно центральной оси градирни. Для выравнивания давления воды перед градирней предусмотрен подземный железобетонный уравнильный канал, соединяющий два подводящих канала и рассчитанный на пропуск 50% максимального расхода охлаждающей воды. Размер проходного сечения уравнильного и подводящих каналов - 3,3х3,3 м.



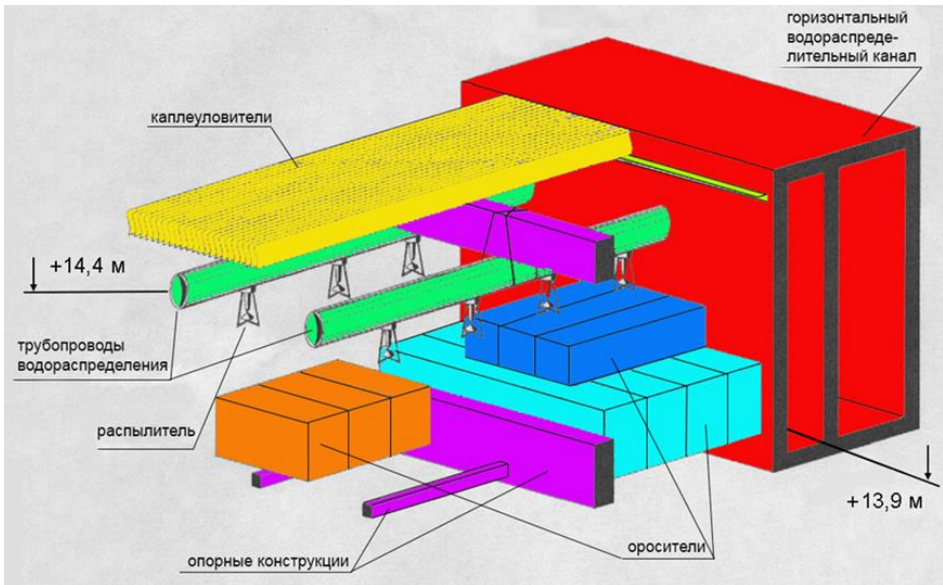
*Железобетонные подводящие каналы с подъемными шахтами*



### *Внутрикорпусные устройства градирни*

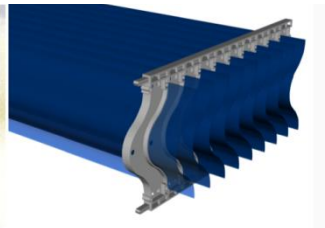
Из двух подводящих каналов вода попадает в четыре вертикальные подъемные шахты (из каждого канала в две шахты), подающие воду на отметку водораспределения +13,900. Размер проходного сечения подъемных шахт - 1,5x1,5 м.

От подъемных шахт отходят водораспределительные железобетонные каналы и боковые водораспределительные трубы из стеклопластика, подающие воду к распылителям (разбрызгивающим форсункам). Распылители крепятся к низу труб. Они равномерно распределяют воду на ороситель, который является элементом градирни, определяющим её охлаждающую способность. Задачей оросителя является обеспечение максимальной площади поверхности охлаждения воды при прохождении через него потока воздуха. Ороситель представляет собой блоки из сеток, изготовленных из полимерных материалов. Благодаря сетчатой структуре происходят разрывы по ходу движения воды и воздуха, что приводит к чередованию капельных и пленочных режимов работы. За счёт этого перераспределения и дополнительной турбулизации взаимодействующих потоков резко повышается тепло- и массообмен. Охлаждаемая вода просачивается сверху через ороситель, в то время как воздух подается снизу. Охлаждение воды достигается за счет отдачи воздуху теплоты парообразования, а также через передачу тепла от воды к охлаждающему воздуху путем конвекции.



### *Внутрикорпусные устройства градирни*

Над системой водораспределения размещаются блоки каплеуловителей. Каплеуловитель представляет собой конструкцию сложной геометрической формы. Он служит для конденсации влаги и осаждения на своей поверхности летящих вверх капелек воды в воздушном потоке, а также равномерного распределения воздуха на выходе из градирни.



### *Распылитель. Ороситель. Каплеуловитель*

Система водораспределения в целом работает под силой гравитации. Благодаря тому, что распыление воды направлено вниз, грязные частицы в охлаждающей воде постоянно вымываются из труб и система является самоочищающейся с постоянным смыванием мусора. После оросителя охлажденная вода поступает в водосборный бассейн градирни и далее по отводящему каналу URH направляется на всас циркуляционных насосов.

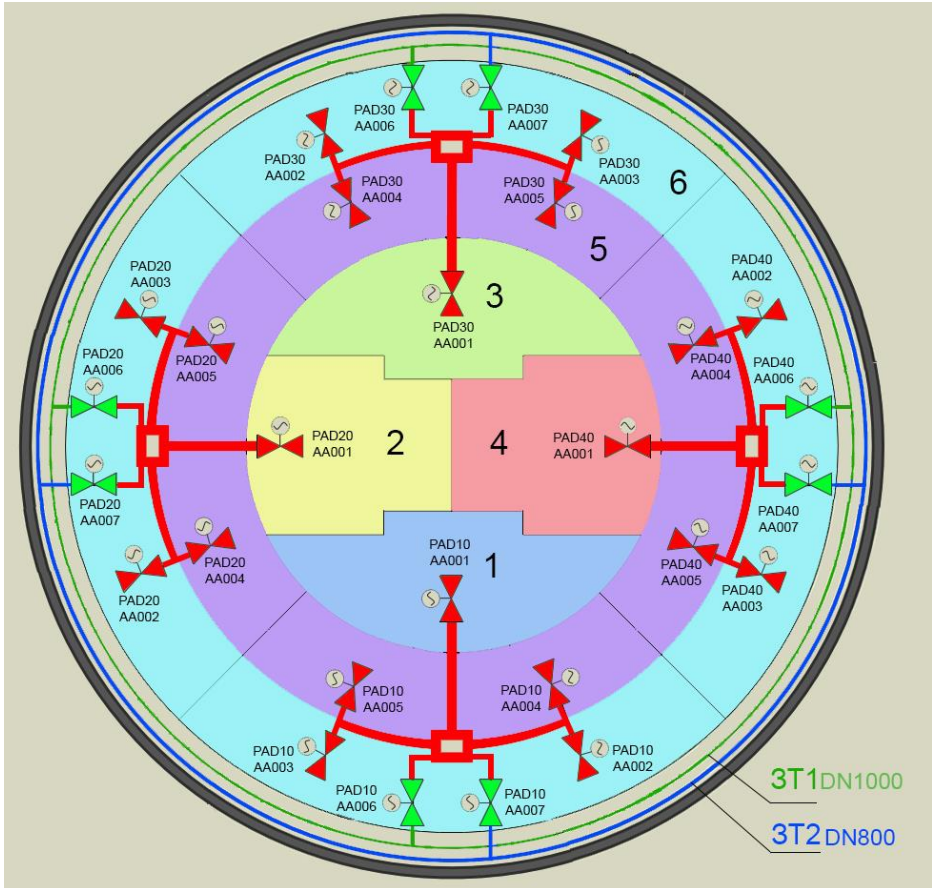


*Трубы водораспределения с распылителями*

Для предотвращения увеличения солесодержания в циркуляционной воде предусмотрен сброс продувочной воды номинальным расходом 1700 т/ч. Конструктивно основной сброс продувочной воды выполняется с блочной насосной станции URS из камеры водоочистной вращающейся сетки первого циркуляционного насоса. На случай необходимости вывода из работы камеры сетки предусмотрен резервный сброс из водоподводящего канала БНС.

Для поддержания номинального уровня в бассейне предусмотрена подпитка водой, подаваемой из системы водоводов подпитки. Также в бассейн градирни перекачивается очищенная дождевая вода с очистных сооружений дождевых вод с расходом до 150 м<sup>3</sup>/ч.

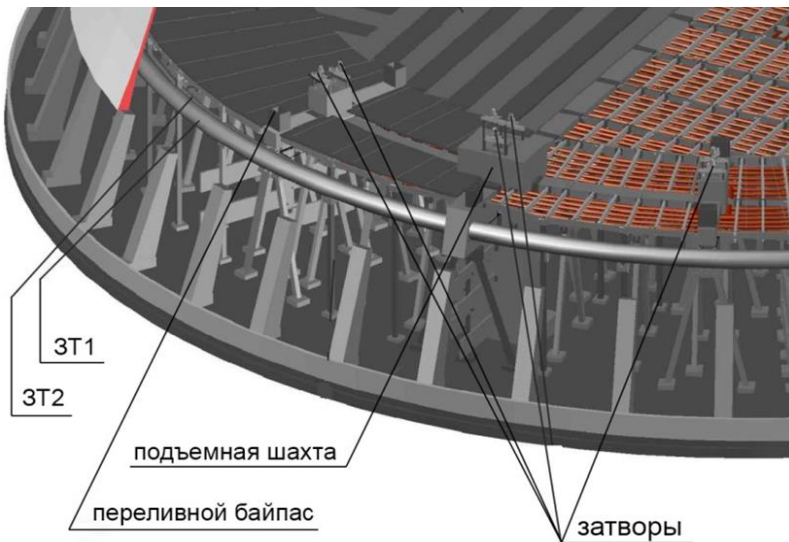
### 3.7.3 Условия работы градирни



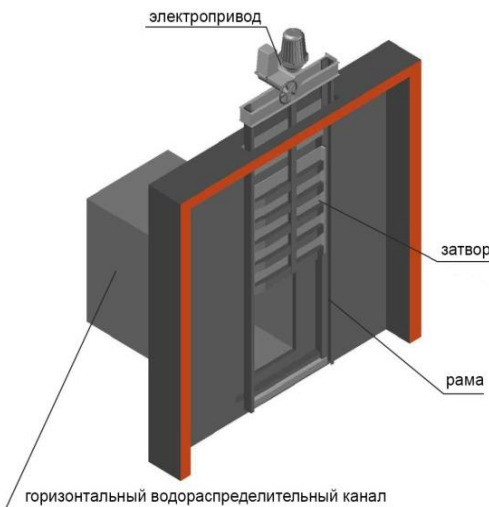
*Зоны оросителя*

Градирня эксплуатируется постоянно в течение года при различных условиях окружающей среды.

Ороситель разделен на отдельные зоны, которые гидравлически изолированы друг от друга затворами: две центральные зоны 1,3 и 2,4, внутренняя периферийная 5 и внешняя периферийная 6. В зимних условиях недопустимо обледенение оросителя. Для того чтобы этого избежать, зимой изолируются отдельные зоны оросителя.



### Зимние трубопроводы



Часть охлаждаемой воды может поступать через два зимних трубопровода ЗТ1 и ЗТ2, расположенные по периметру нижнего края оболочки вытяжной башни, которые спроектированы для 50% и 25% производительности общего расхода воды. Зимние трубопроводы создают водяной экран на воздухоходных окнах, который ограничивает поток охлаждающего воздуха на входе, а также предварительно нагревает охлаждающий воздух.

### Устройство затвора

При различных сочетаниях возможна по дача 25 %, 50 % или 75 % потока нагретой циркуляционной воды через зимние трубопроводы в зависимости от температуры окружающего воздуха.

В составе каждой подъёмной шахты имеется переливной байпас, состоящий из перегородки на отметке выше нормального уровня воды. Байпас должен быть включен в работу в пусковых режимах

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50

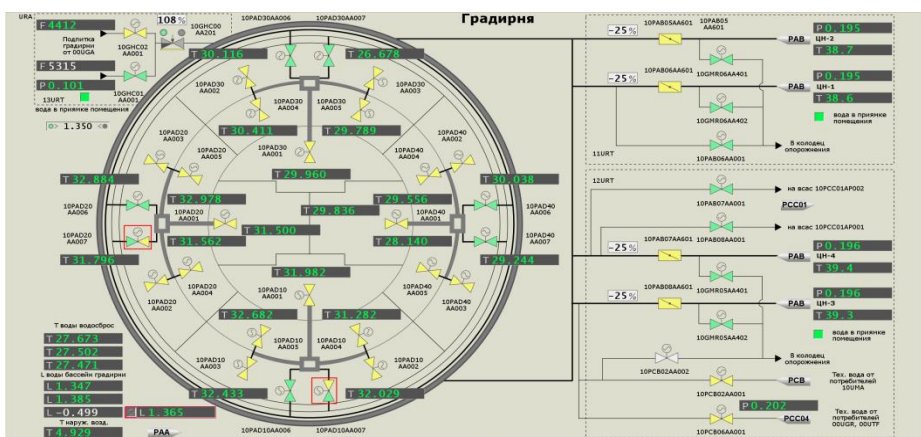
при включении первого циркуляционного насоса. Включение байпаса в работу произойдет при отключении всех или части зон оросителя за счет закрытия затворов, установленных в подъемных шахтах. При этом происходит подъем уровня выше перегородок и вода попадет непосредственно в водосборный бассейн.

По условиям работы контура охлаждения неответственных потребителей (турбогенератор, водоохлаждаемые электродвигатели насосных агрегатов) установлено минимальное значение температуры охлаждающей воды +15°C. Это сделано для предотвращения возможной конденсации водяного пара на теплообменных поверхностях воздухоохладителей, увеличения влажности воздуха и соответственно снижения сопротивления изоляции обмоток электродвигателей.

### Технические характеристики градирни

Высота градирни	170,83 м
Внутренний диаметр бассейна	134,30
Диаметр оросителя	115,0 м
Расчетный объемный расход воды	146801 м <sup>3</sup> /ч
Потери на испарение	2686,46 м <sup>3</sup> /ч (1,83%)
Тепловая мощность	2032 МВт
Расчетная температура горячей воды	42,9 °С
Расчетная температура холодной воды	31,0 °С

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ УРА.



## 3.8 Система РАН очистки трубок конденсатора

### 3.8.1 Назначение

Система шариковой очистки трубок конденсаторов предназначена для:

- поддержания чистоты внутренней поверхности конденсаторных труб, достигаемой за счет прохода эластичных шариков через трубки конденсаторов;
- фильтрации охлаждающей воды на входе в конденсаторы турбины с помощью фильтров предварительной очистки.

### 3.8.2 Состав

В состав системы очистки трубок конденсатора входят:

- фильтры предварительной очистки охлаждающей воды конденсаторов турбины РВВ10АТ001, РВВ20АТ001, РВВ30АТ001, РВВ40АТ001;
- насосы перекачки шариков РАН15АР001, РАН25АР001, РАН35АР001, РАН45АР001;
- шарикоулавливающие устройства РАН15АТ001, РАН25АТ001, РАН35АТ001, РАН45АТ001;
- шлюзы для шариков РАН15ВВ001, РАН25ВВ001, РАН35ВВ001, РАН45ВВ001;
- пульты управления;
- арматура;
- трубопроводы.

### 3.8.3 Загрязнение конденсаторов

Наибольшее влияние на экономичность паротурбинной установки в процессе эксплуатации оказывает вакуум в конденсаторе. Для турбин АЭС с частотой вращения 3000 об/мин мощность турбины при изменении давления в конденсаторе на 1 кПа меняется примерно на 1,8%. Вакуум зависит от температуры и расхода охлаждающей воды, режима работы конденсационной установки (паровой нагрузки, кратности охлаждения) и в значительной степени от чистоты поверхности охлаждения конденсатора.

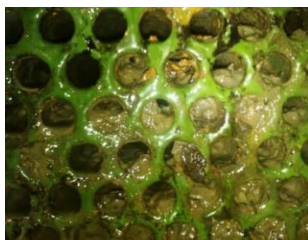
Загрязнение трубок конденсаторов приводит к ухудшению вакуума по нескольким причинам. Во-первых, сокращается расход воды через конденсатор вследствие повышения его гидравлического сопротивления. Во-вторых, из-за малой теплопроводности отложений

снижается коэффициент теплопередачи, что вызывает рост температурного напора и, соответственно, давления в конденсаторе. Для чистки трубок требуется останов турбины или отключение одного потока конденсаторной группы со снижением нагрузки.

При эксплуатации конденсационной установки неизбежно происходит загрязнение трубок и водяных камер конденсаторов. Используемые для охлаждения природные воды содержат растворенные, коллоидные и грубодисперсные вещества, а также растительные и животные организмы. Основными факторами, способствующими загрязнению внутренних поверхностей трубок конденсатора, являются:

- наличие микро- и макроорганизмов, способных развиваться на поверхностях теплообмена;
- наличие механических примесей (ил, песок, мусор), которые могут оседать, особенно в присутствии микроорганизмов, на поверхностях трубок;
- склонность к выделению осадков солей при нагреве воды.

Соответственно этому, загрязнения могут быть разбиты на три группы: биологические, механические и солевые.



*Биологические      механические      солевые загрязнения*

Как правило, загрязнения носят комбинированный характер, в котором какой-то конкретный тип имеет преимущественное значение.

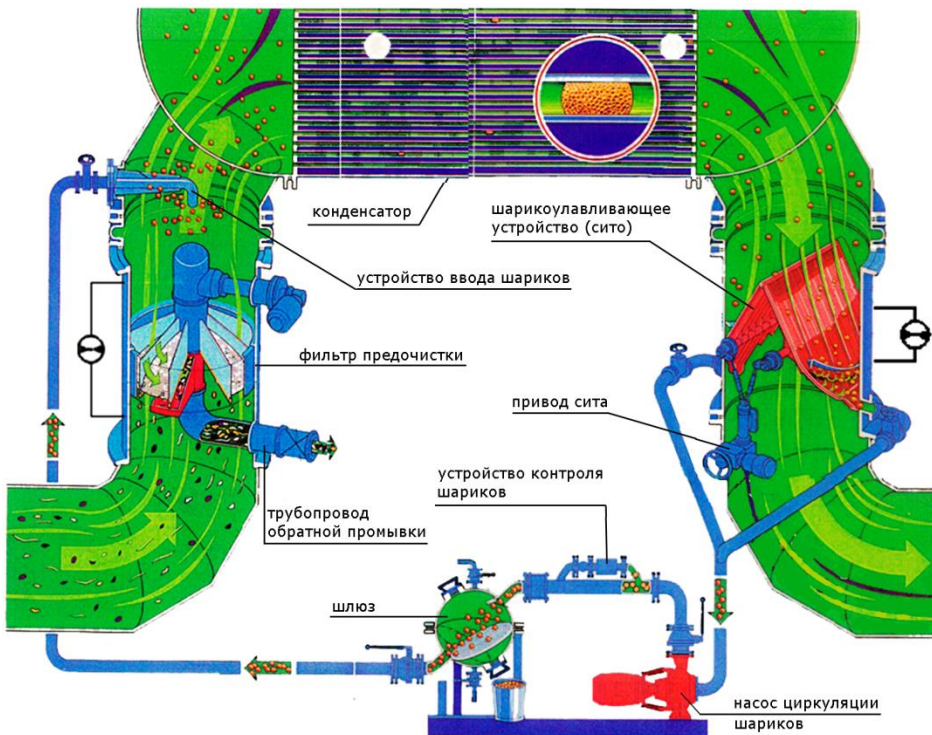
Методы борьбы с загрязнением конденсаторов включают в себя механическую очистку охлаждающей воды, химические и физические методы ее обработки, а также различные способы очистки и профилактики загрязнений конденсаторов. Предотвращение загрязнения конденсаторов осуществляется прежде всего профилактическими мероприятиями в системе технического водоснабжения. Для предотвращения механических загрязнений устанавливаются водоочистные сооружения в виде решеток, сеток и фильтров, улавливающих посторонние предметы. Химические методы обработки воды предусматривают введение в охлаждающую воду различных веществ.

Очистка трубок может производиться как на отключенном, так и на работающем конденсаторе.

В зависимости от характера загрязнения могут применяться различные периодические способы очистки и их сочетание: химическая – от минеральных отложений с прочной адгезией к поверхности; термическая или механическая – от органических и наносных отложений.

### 3.8.4 Принцип работы системы

Эффективным профилактическим мероприятием по поддержанию в чистоте охлаждающей поверхности конденсатора является метод шариковой очистки трубок, который заключается в циркуляции через трубную систему определенного количества эластичных шариков из пористой резины диаметром на 1÷3 мм больше внутреннего диаметра трубки.

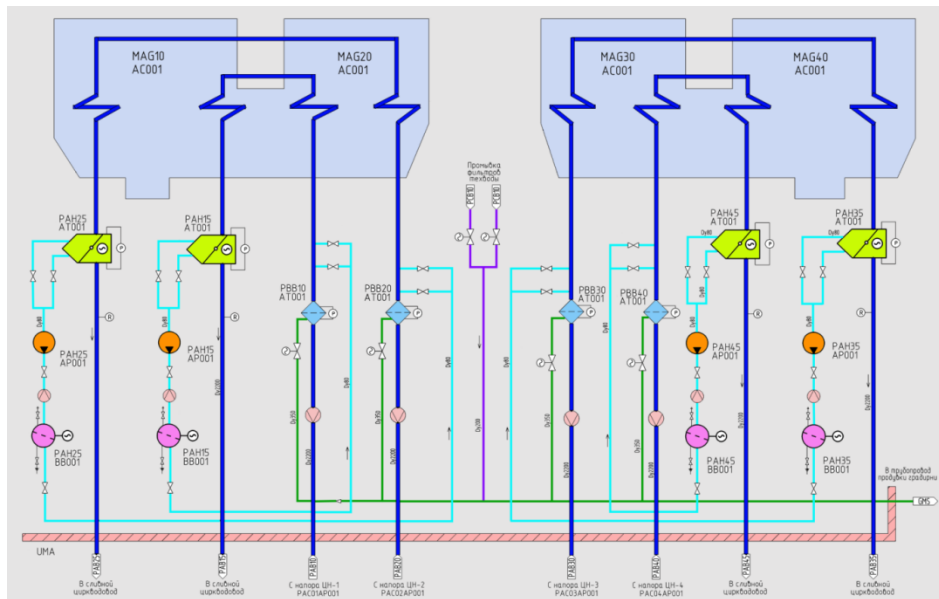


#### *Установка шариковой очистки трубок конденсатора*

Партия губчатых шариков от 100 до 1900 штук из загрузочной камеры (шлюза) под напором потока воды от насоса возврата шариков

подается в напорный циркуловод. Увлекаемые потоком циркуляционной воды шарики поступают в подводящую водяную камеру конденсатора и, попадая в трубки, перемещаются за счет разности давлений охлаждающей воды между входом и выходом. При этом шарик деформируется, принимает бочкообразную форму и плотно прижимается к стенке трубки, одновременно очищая ее внутреннюю поверхность. Применение мягкого шарика диаметром больше внутреннего диаметра трубки позволяет удалять с поверхности все виды образующихся и недостаточно закрепленных на стенке отложений и поддерживать исходную чистоту трубки.

Пройдя по трубкам первого конденсатора, шарики подводятся в выходную водяную камеру, откуда через перепускной патрубок или поворотную камеру попадают в подводящую водяную камеру и трубки второго конденсатора.



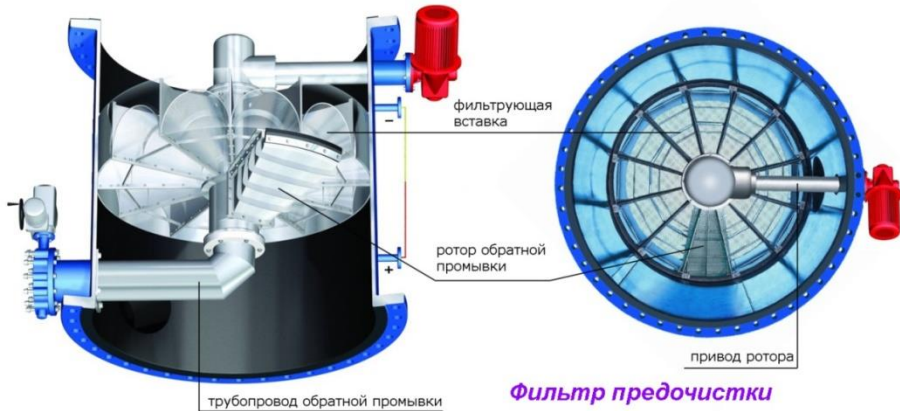
### Технологическая схема системы очистки трубок конденсатора

Пройдя по трубкам второго конденсатора, шарики попадают в отводящую водяную камеру и затем в сливной циркуловод, где установлено шарикоулавливающее устройство, на ситах которого шарики улавливаются и подаются на всас насоса возврата шариков, после чего цикл повторяется.

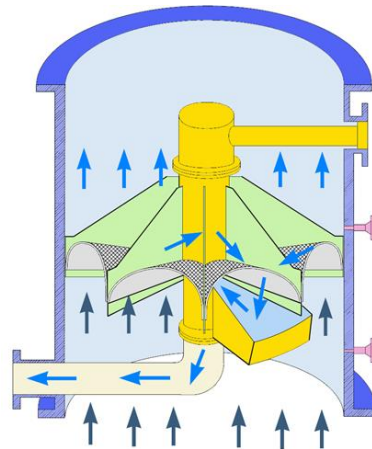
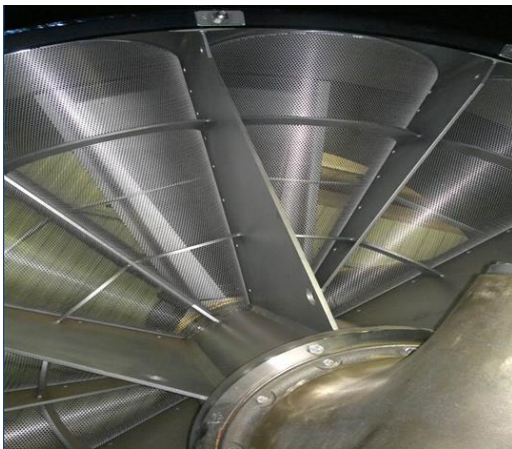
Всего смонтировано четыре контура циркуляции шариков, по два на каждую конденсаторную группу.

### 3.8.5 Фильтр предварительной очистки

Фильтры предварительной очистки PR-BW800 установлены на циркуловодоходах на входе охлаждающей воды в конденсаторы. Фильтры предназначены для очистки охлаждающей воды от механических частиц размером более 5 мм.



Охлаждающая циркуляционная вода проходит через фильтр, оставляя загрязнения на нижней части фильтрующей вставки. Перепад давлений постоянно контролируется, и как только достигается уставка  $0,15 \text{ кгс/см}^2$ , открывается арматура на трубопроводе обратной промывки и начинается автоматическая очистка фильтрующей вставки обратным током.



*Фильтр предочистки*

Так как трубопровод обратной промывки связан с областью низкого давления (с трубопроводом продувки градирни), в области филь-

трующей вставки, под которой находится ротор обратной промывки, возникает сильный обратный поток. Вращательное движение ротора обратной промывки приводит к тому, что очищается вся фильтрующая вставка.

Необходимое количество охлаждающей воды для обратной промывки фильтра в зависимости от потери давления через трубопровод промывки составляет порядка 3 - 8% от количества охлаждающей воды, подвергаемой фильтрации. Такая низкая потребность в воде означает, что обратная промывка фильтра практически не оказывает влияния на обеспечение конденсатора охлаждающей водой, так как процесс промывки фильтра протекает за короткое время.

*Эксплуатационные и технические характеристики фильтра PR-BW800:*

- Время одного оборота ротора составляет 10-12 сек
- Автоматическая промывка при перепаде давлений  $\Delta P = 150$  мбар
- Фильтр полностью очищается за 1-3 оборота ротора
- Фильтр удаляет объемы загрязнений до 32 м<sup>3</sup>/час
- Объем промывочной воды 3 - 8% от общего расхода охлаждающей воды
- При попадании крупных предметов в секции фильтра автоматически переключается направление вращения ротора обратной промывки
- Внутренняя поверхность корпуса фильтра гуммированная
- Наружный диаметр 2000 мм, длина 1600 мм
- Число фильтрокамер 12, диаметр отверстий фильтрующего элемента 5 мм

*Ротор обратной промывки:*

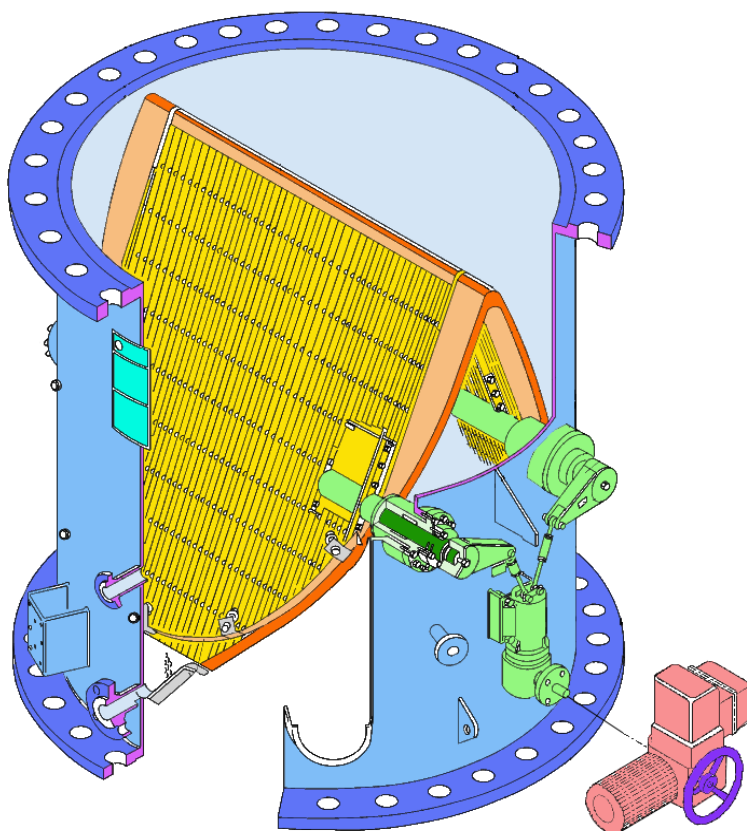
- Мощность двигателя 3 кВт
- Скорость вращения 5-6 об/мин

*Клапан сброса мусора:*

- Условный проход 300 мм
- Время хода 15 с

### 3.8.6 Шарикоулавливающее устройство (сито)

Шарикоулавливающее устройство предназначено для сбора шариков, прошедших конденсатор, из сливного циркуловодода, и направления их на всас насоса возврата шариков.



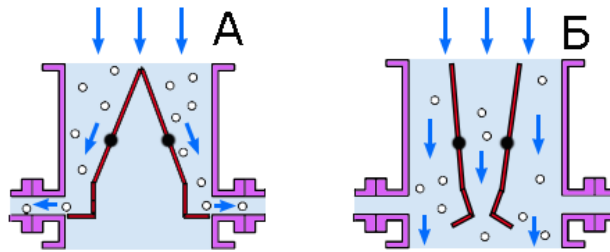
### *Шарикулавливающее устройство (сито)*

По ситам, которые имеют форму полуэллипсов, шарики направляются в патрубки вывода шариков. Угол наклона сит устанавливается в зависимости от параметров потока охлаждающей воды в трубопроводе. Конструкция сит обеспечивает значительную степень жёсткости ситовых поверхностей посредством рёбер жёсткости.

Специально разработанный завихритель создает турбулентное завихрение, которое не дает загрязнениям скопиться на периферийных участках сит и направляет очищающие шарики к патрубку вывода шариков.

Инспекционный люк открывает доступ к внутренним узлам ситовой установки.

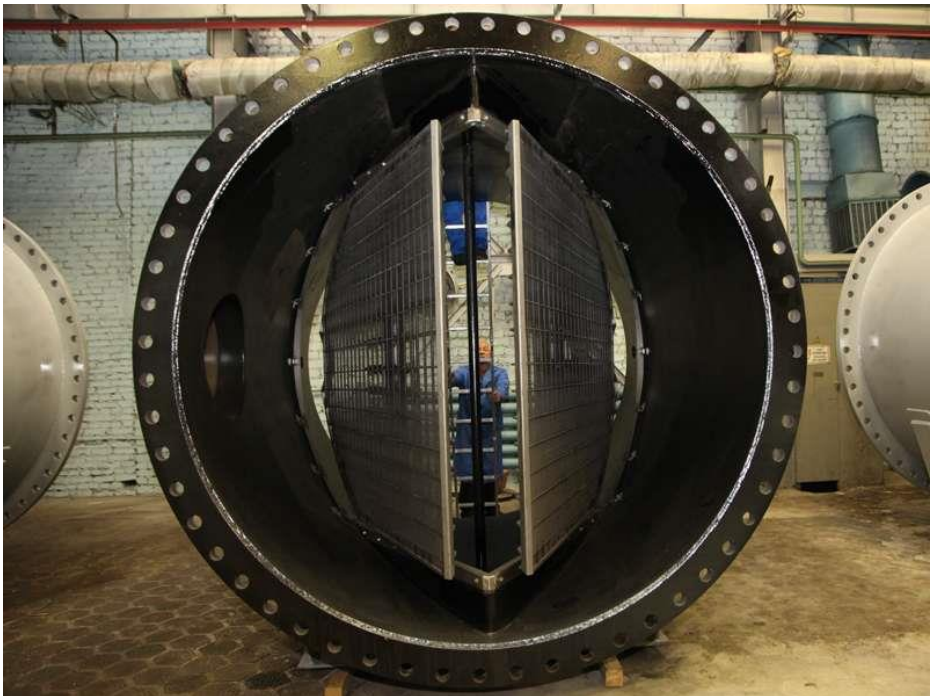
Привод, снабжённый механизмом поступательного движения, позволяет устанавливать сита в одно из положений, необходимое в данный момент.



*Режимы работы сита*

Положение А: РАБОТА (циркуляция шариков) - сита полностью перекрывают поперечное сечение циркулопровода и направляют шарики на всас насоса.

Положение Б: ПРОМЫВКА - в этом положении обратная сторона сит омывается потоком охлаждающей воды, в результате чего происходит очистка сит от накопившихся на них загрязнений.



*Шарикоулавливающее устройство (сита)*

Сита приводятся в действие при помощи привода вращения. В случае неисправности привода или при отключении напряжения сита

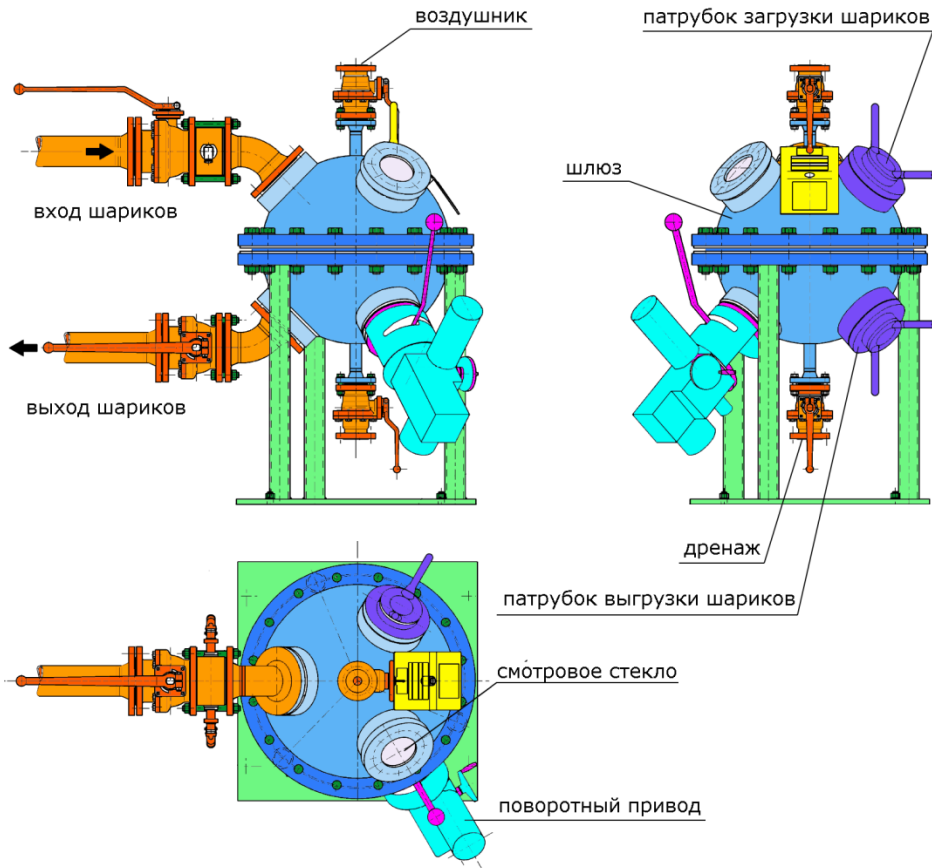
можно привести в положения РАБОТА и ПРОМЫВКА при помощи маховика привода вручную.

*Технические характеристики шарикоулавливающего устройства.*

- Наружный диаметр корпуса 2000 мм
- Длина корпуса 2150 мм
- Угол между экранами при положении эксплуатация  $60^{\circ}$
- Шаг решётки экранов 10 мм
- Мощность электродвигателя привода экранов 0,75 кВт

### 3.8.7 Устройство ввода шариков (шлюз)

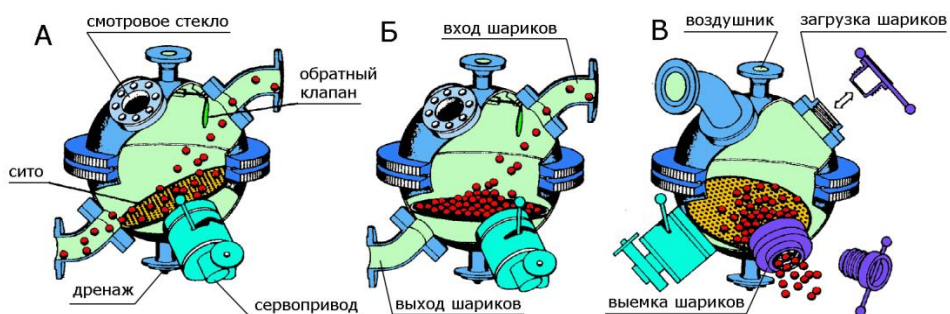
Устройство ввода шариков служит для замены шариков и дозаполнения шариками системы.



*Устройство ввода шариков (шлюз)*

При работе системы шлюз подключен в контур и шарики проходят через него транзитом. При необходимости сбора шариков поток воды перекрывается и шарики собираются в шлюзе. После сбора шариков насос перекачки отключается, подвод воды к шлюзу и отвод от него закрываются. Крышка шлюза открывается, и шарики извлекаются из контура. После этого выполняется их отбраковка по диаметру, при необходимости шарики заменяются на новые, шлюз заполняется водой, открывается вход и выход устройства и включается насос перекачки шариков.

Циркуляцию шариков можно наблюдать через лючок со смотровым стеклом в верхней части шлюза. В нижней части установлено шлюзовое сито с приводом. Загрузка и выгрузка очищающих шариков осуществляется через патрубки, которые оснащены затворами. Обратный клапан предотвращает обратный ток очищающих шариков при отключении насоса циркуляции шариков. Шлюзовое сито приводится в действие сервоприводом. При эксплуатации оно может находиться в следующих рабочих положениях:



### **Режимы работы устройства ввода шариков (шлюза)**

**А «РАБОТА»** (циркуляция шариков) – очищающие шарики через входной штуцер с потоком воды от насоса циркуляции шариков перекачиваются в шлюз и выходят из него через выходной штуцер;

**Б «УЛАВЛИВАНИЕ»**– шлюзовое сито закрывает выходной патрубок, поток воды течет через перфорацию сита, очищающие шарики задерживаются;

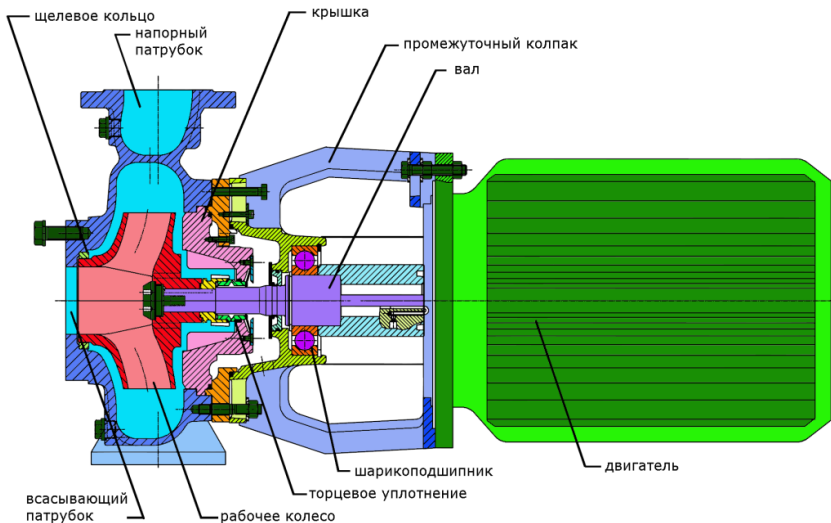
**В «ВЫГРУЗКА ШАРИКОВ»**– после открытия затвора на трубке выгрузки шариков шлюзовое сито рычагом сервопривода переводится в положение «ВЫГРУЗКА ШАРИКОВ», шарики покидают шлюз.

В случае неисправности привода или при отключении напряжения для установки рабочих положений «РАБОТА» и «УЛАВЛИВАНИЕ» может быть использован маховик привода.

### 3.8.8 Насос возврата шариков

Насос возврата шариков отводит очищающие шарики из шарикоулавливающего устройства вместе с охлаждающей водой и транспортирует их к шлюзу.

Горизонтальный центробежный одноступенчатый насос типа КРП 80-200 со спиральным отводом выполнен с осевым входом и радиальным выходом потока. Гидравлическая система и электродвигатель жестко соединены друг с другом и образуют блочный агрегат. Рабочее колесо и электродвигатель расположены на общем валу.

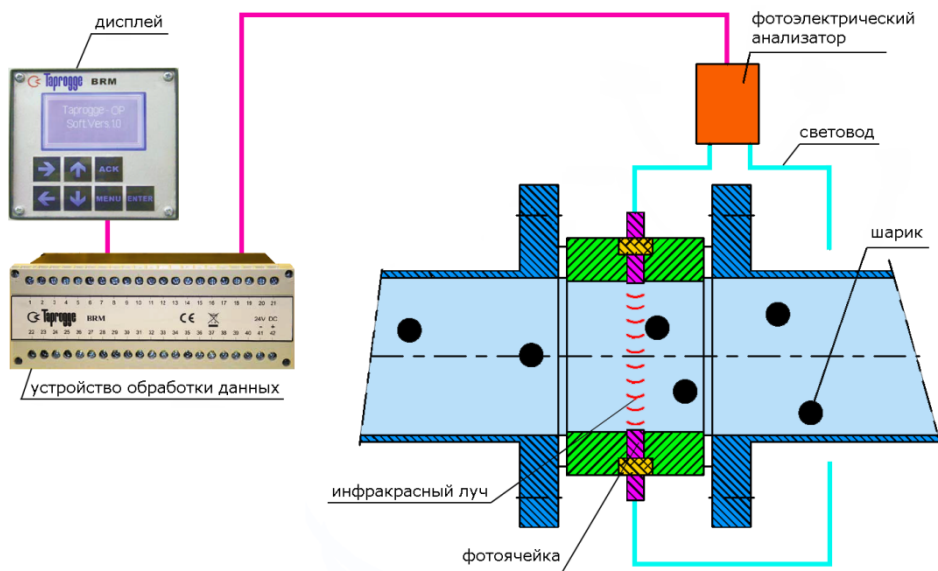


*Насос возврата шариков*

Рабочее колесо специально сконструировано с целью обеспечения щадящей транспортировки очищающих шариков, не вызывающей их износа. Корпус закрыт напорной крышкой. Для уплотнения вала применяется скользящий керамический сальник. Опорой вала служит шарикоподшипник с консистентной смазкой. Через промежуточный колпак двигатель соединен с насосом. Производительность насоса 30 м<sup>3</sup>/час, напор 1,6 кгс/см<sup>2</sup>. Двигатель насоса фирмы «Сименс» типа 1LA7 113 4AA61(самоохлаждение с вентилятором) трехфазный, асинхронный с короткозамкнутым ротором, мощность 4 кВт, напряжение 380 В.

### 3.8.9 Устройство контроля циркуляции шариков

Назначение устройства контроля шариков BRM-04 заключается в фиксировании, оценке и отображении эффективности действия циркулирующих в системе очищающих шариков. Внешние факторы, такие как изменение нагрузки на конденсатор, изменение массового потока охлаждающей воды и т.д. не влияют на результат измерения. Устройство не восприимчиво к механическим колебаниям. Помимо этого поступает уведомление, если количество шариков ниже установленного заранее предельного значения.



**Схема устройства контроля циркуляции шариков**

Устройство BRM-04 состоит из фотоячейки, блока обработки данных «Tarrogge-04» и панели оператора. Фотоячейка установлена в

трубопроводе возврата шариков. Это позволяет ей регистрировать все очищающие шарики, циркулирующие в системе. Часть очищающих шариков, проходящих через фотоячейку, пересекают инфракрасный луч, прерывают его, формируя в результате импульсный сигнал. С помощью световодов, закрепленных соединительным элементом, импульсы подаются на фотоэлектрический анализатор, а затем регистрируются, обрабатываются и анализируются с использованием математических методов устройством обработки данных «Tarpogge-04». Полученный результат отображается на дисплее панели оператора. Если фиксируется снижение числа циркулирующих в системе шариков по сравнению с установленным граничным значением, блок обработки данных выдает соответствующее сообщение.

Использование в фотоячейке импульсного инфракрасного луча имеет следующие преимущества:

- только объекты, размер которых превышает 12 мм, регистрируются как очищающие шарики;
- очищающие шарики распознаются в очень мутной воде.



#### *Устройство контроля циркуляции шариков*

Блок обработки данных «Tarpogge-04» может принимать информацию одновременно с двух фотоячеек, что, например, позволяет использовать один блок обработки данных для двух параллельно работающих очистительных установок.

### 3.8.10 Очищающие шарики

Очищающие шарики являются важнейшим элементом установки шариковой очистки. Выбор типа шариков является решающим фактором для эффективности очистки трубок конденсатора. Диаметр шариков должен превышать внутренний диаметр охлаждающих трубок на 1-3 мм. Шарики, диаметр которых не превышает внутренний диаметр трубок, не очищают.



*Очищающие шарики*

Системы очистки трубок конденсатора ТЦ-6 используют только шарики типа 29 P150-3. Материал, из которого изготовлены шарики, содержит тонкое полирующее средство, усиливающее очищающее и полирующее воздействие шарика на поверхность охлаждающих трубок конденсаторов. Срок службы полирующих шариков от двух до четырех недель.

Большое значение имеет своевременная замена очищающих шариков для исключения периодов эксплуатации конденсаторов без действенной очистки трубок. Очищающий шарик считается изношенным и подлежит замене, если его диаметр сократился до внутреннего диаметра трубки конденсатора (26,8 мм и менее). Отбраковка шариков выполняется вручную через сито с отверстиями 26,8 мм. Шарики выгружаются из шлюза в сито и отбраковываются те, что проходят через отверстия. В шлюз добавляются новые шарики до общего их количества в контуре 1900 штук.

Фирма Tarrogge производит шарики различных типов.



### Очищающие шарики

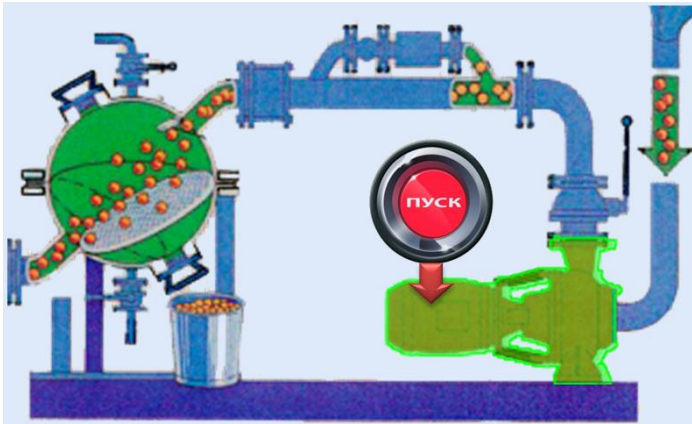
Полировочные шарики предназначены не для очистки трубок, а для поддержания их в чистом состоянии. При наличии даже небольшого слоя карбонатных отложений пористые шарики без корундового пояса интенсивно изнашиваются в течение первого часа работы. Шарики с корундовым пояском применяются для очистки трубок от накипи наряду с кислотной промывкой. При работе очищающей установки с использованием шариков с корундовым пояском следует демонтировать излучатель и приемник (световод) фотоячейки устройства контроля циркуляции шариков во избежание повреждения линз. Отверстия следует закрыть заглушками.

### 3.8.11 Блок управления

Блок управления служит для управления, переключения и контроля очищающей установки и выполнен как программируемое из памяти управление (СИМАТИК S7-300). Программы управления для всех режимов эксплуатации размещены в модуле памяти. При помощи переключателя в шкафу управления выполняются операции «Вручную», «Автоматический на месте», «Автоматический удаленный». Все остальные операции по эксплуатации выполняются посредством функциональных клавиш на индикаторном приборе для управления (панель оператора).

Режим эксплуатации АВТОМАТИЧЕСКИЙ предусматривает следующие программы управления:

1. Пуск процесса очистки.

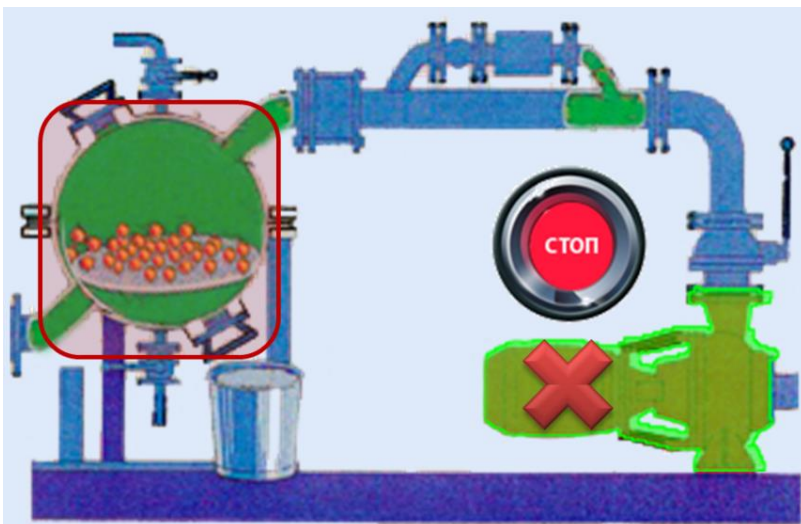


*Пуск процесса очистки*

Программа может быть запущена как со шкафа управления, так и со щита управления. При пуске насоса возврата шариков охлаждающая вода начинает циркулировать по трубопроводу возврата шариков. Сита шарикоулавливающего устройства находятся в положении ЭКСПЛУАТАЦИЯ, чтобы отделять очищающие шарики от потока охлаждающей воды и направлять их на всас насоса.

*2. Окончание процесса очистки.*

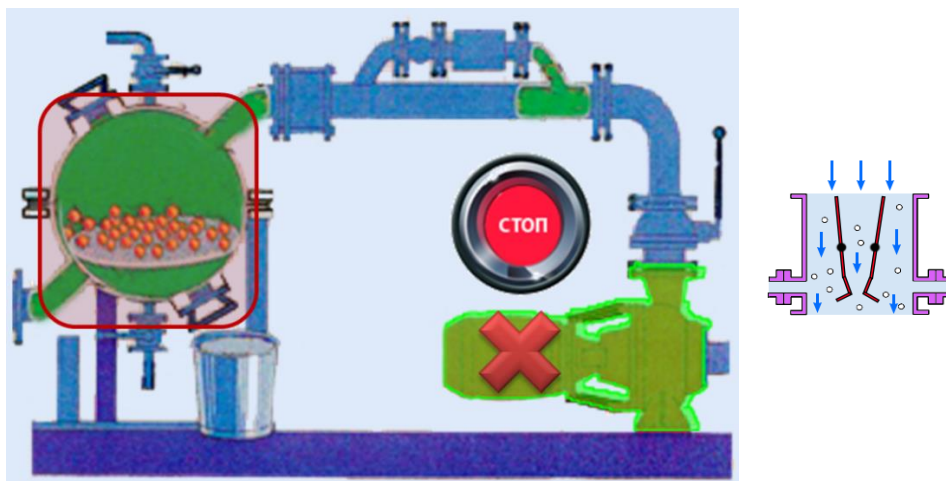
Программа может быть запущена как со шкафа управления, так и со щита управления.



*Окончание процесса очистки*

Все очищающие шарики уловлены в шлюзе для шариков. Время улавливания шариков (30 - 60 мин). В момент отключения насоса возврата шариков заканчивается процесс очистки.

### 3. Промывка сит.



Промывка сит

Программа запускается, когда разница давлений на шарикоулавливающем устройстве достигает предельного значения УЛАВЛИВАНИЕ ШАРИКОВ / ПРОМЫВКА СИТ ( $\Delta p = \Delta p_{\text{чист}} + 15 \text{ мБар}$ ) или посредством устанавливаемого блока временных функций. Следует подача сигнала.

Все очищающие шарики уловлены в шлюзе для шариков, прежде чем сита будут приведены в положение ПРОМЫВКА на заранее установленное время (5-10 мин.). Скопившаяся грязь отделяется от сит. Когда разность давлений меньше, чем предельное значение УЛАВЛИВАНИЕ ШАРИКОВ / ПРОМЫВКА СИТ, циркуляция шариков начинается снова: сита снова становятся в положение ЭКСПЛУАТАЦИЯ, включается насос, шарики выпускаются из шлюза для шариков.

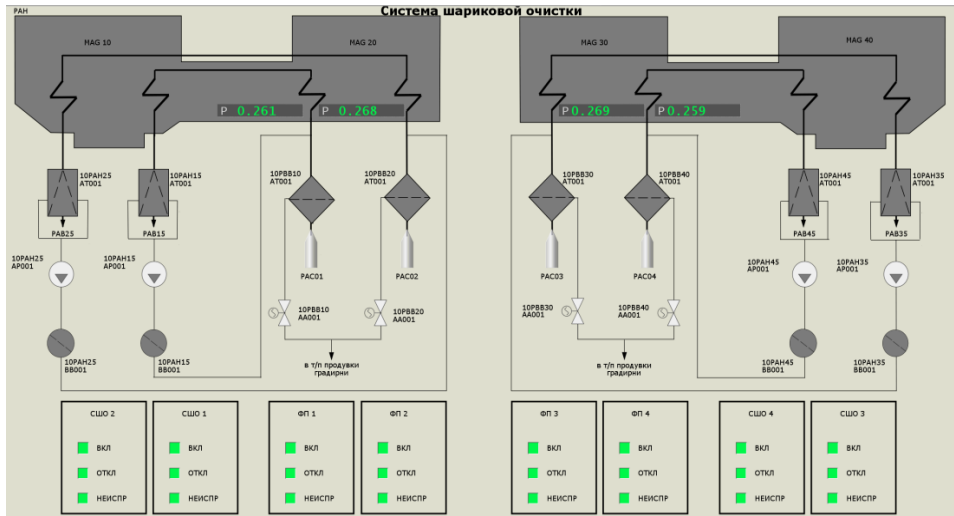
### 4. Немедленная промывка сит.

Программа запускается, если разность давлений достигает предельного значения КРАЙНЕ ВЫСОКОЕ ( $\Delta p = \Delta p_{\text{чист}} + 35 \text{ мбар}$ ) во время протекания программы «Промывка». Следует подача сигнала о повреждении. Сита сразу же приводятся в положение ПРОМЫВКА, для того чтобы избежать повреждений в ситовой установке. Шлюз для шариков в этот момент уже находится в положении

УЛАВЛИВАНИЕ, все шарики, находящиеся между шлюзом для шариков и ситовой установкой, утрачиваются. После автоматического выключения насоса возврата шариков следует провести устранение повреждения.

Система управления размещена в шкафу управления.

Контроль работы системы осуществляется с видеокadra СВБУ РАН.



Видеокادر СВБУ РАН

### 3.9 Система РС охлаждающей воды неответственных потребителей

#### 3.9.1 Назначение

Система охлаждающей воды неответственных потребителей РС функционально состоит из трех подсистем.

Система охлаждения потребителей здания машзала UMA РСВ01 предназначена для отвода тепла от теплообменников оборудования турбинного отделения.

Система охлаждения резервной дизельной электростанции РСВ03 предназначена для отвода тепла от теплообменников резервной дизельной электростанции системы нормальной эксплуатации здания 13(23)УВН.

Система охлаждения холодильных установок и компрессоров РСВ04 предназначена для отвода тепла от холодильных установок здания 00UQR и от компрессоров здания компрессорной 00UTF.

Система спроектирована по одноподъемной оборотной схеме с одной независимой градирней для каждого энергоблока, общей с системой основной охлаждающей воды РА, с циркуляцией воды через теплообменники охлаждения в зданиях UMA, 13(23)UBN, 00UQR, 00UTF.

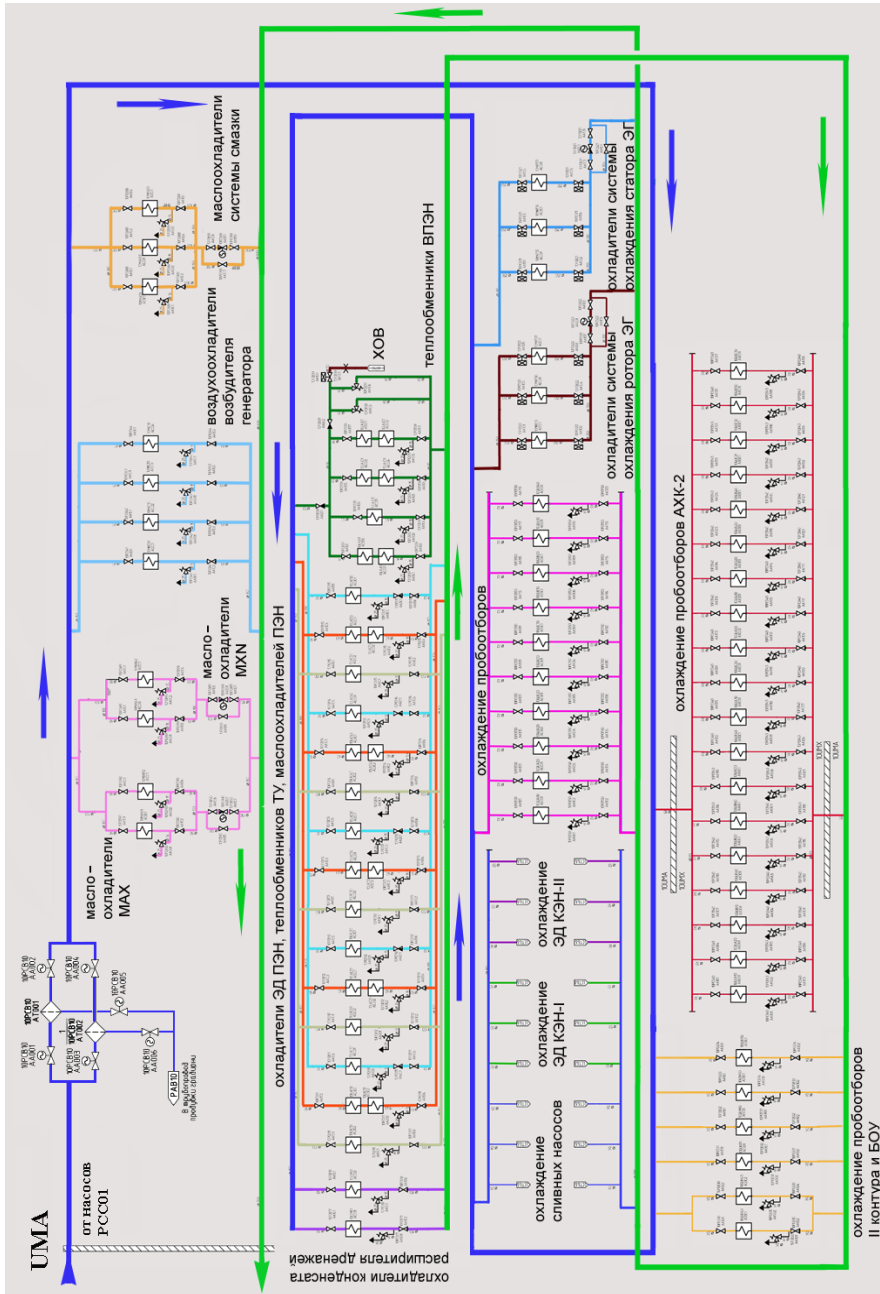
### 3.9.2 Состав

В состав системы РС входит следующее оборудование:

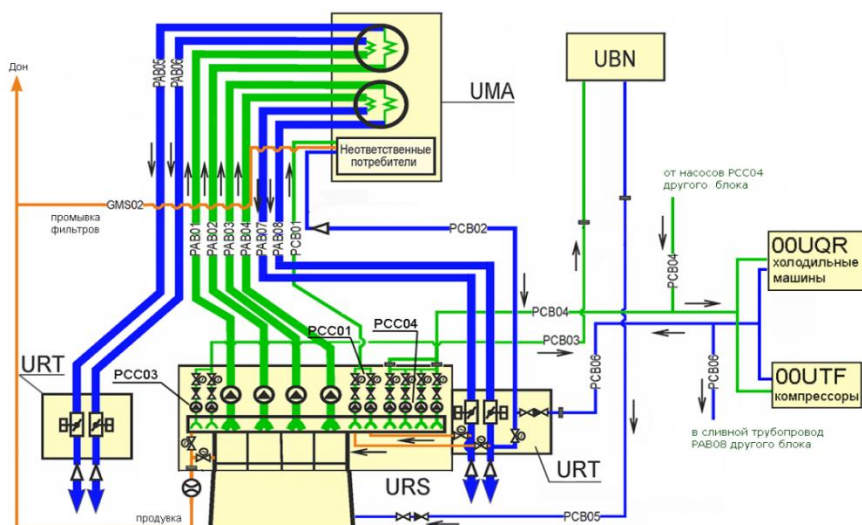
- насосные установки охлаждающей воды неответственных потребителей – РСС01, РСС03, РСС04;
- фильтры охлаждающей воды на механизмы машзала UMA;
- напорные и сливные трубопроводы РСВ01,02 зданий UMA и URS;
- напорные и сливные трубопроводы РСВ03,05 к резервной дизельной электростанции;
- напорные и сливные трубопроводы РСВ04,06 к зданию холодильных машин;
- напорные и сливные трубопроводы РСВ07,08 к зданию компрессорной;
- арматура.

Насосные установки охлаждающей воды неответственных потребителей РСС01, РСС03, РСС04 установлены в здании блочной насосной станции 10(20)URS.





Технологическая схема системы охлаждения потребителей машзала РСВ01



*Технологическая схема охлаждающей воды  
неответственных потребителей*

### 3.9.3 Охлаждение потребителей машзала

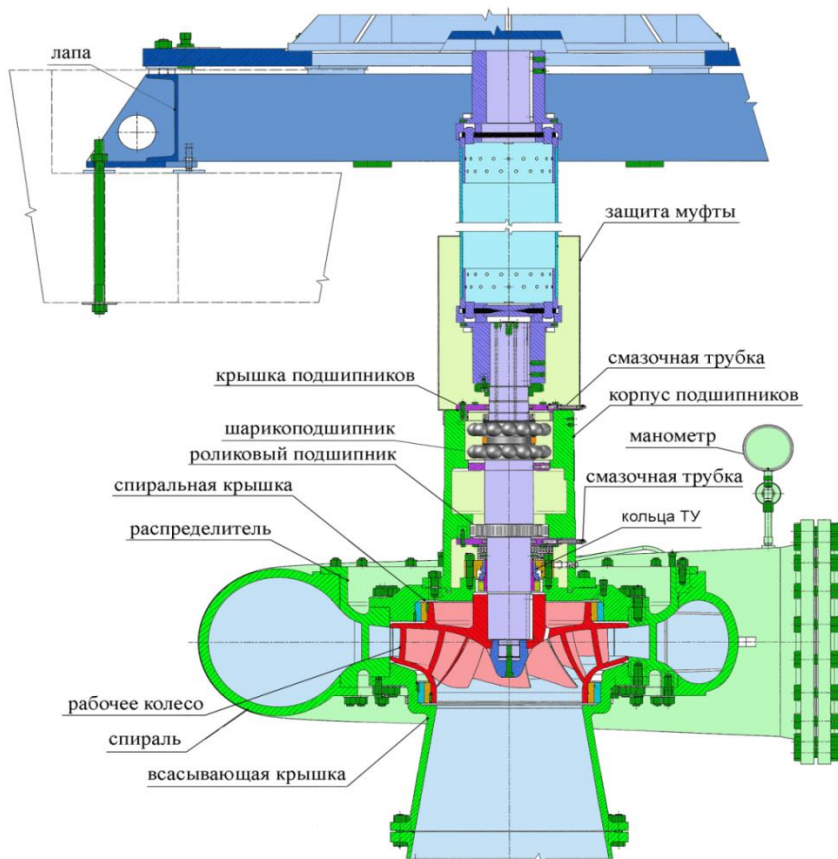
К потребителям здания турбины UMA относятся:

- теплообменники системы водяного охлаждения обмоток ротора и сердечника статора генератора;
- теплообменники системы водяного охлаждения статора и нажимных колец генератора;
- воздухоохладители возбuditеля генератора;
- воздухоохладители электродвигателей, теплообменники торцевых уплотнений питательных электронасосных агрегатов;
- воздухоохладители электродвигателя, охладители подшипников, теплообменники торцевых уплотнений ВПЭН;
- охладитель конденсата расширителя дренажей;
- охладитель грязного конденсата расширителя дренажей;
- охладители подшипников и двигателя КЭН-1ст.;
- охладители подшипников и двигателя КЭН-2ст.;
- охладители теплообменников торцевых уплотнений и подшипников насосов слива сепарата СПП;
- теплообменники системы смазки турбины;
- теплообменники системы смазки БРУ-К;
- теплообменники системы регулирования турбины.

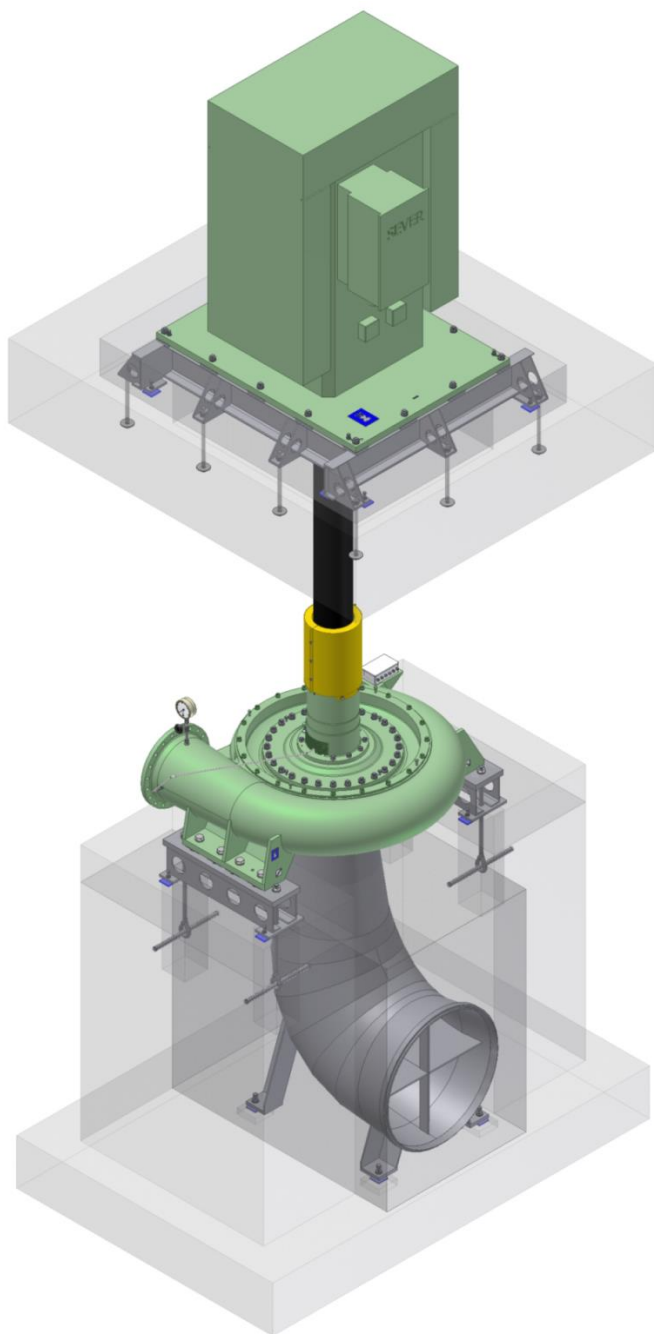
Из поперечного водоподводящего канала вода забирается двумя насосами неотчетственных потребителей РСС01АР001,002 (один рабочий, один резервный) и по напорному трубопроводу РСВ01 подается потребителям здания турбины УМА. По сливному трубопроводу РСВ02 нагретая в теплообменниках вода сливается в сливной трубопровод от конденсатора РАВ08, по которому поступает на охлаждение в градирню.

### 3.9.4 Насосы охлаждающей воды РСС01АР001,002

Насосный агрегат РСС01АР001(002) состоит из центробежного вертикального одноступенчатого насоса производства фирмы «СИГМА ГРУП» и вертикального асинхронного электродвигателя трехфазного тока с короткозамкнутым ротором типа 1.KVF 10560 М-6 производства фирмы «АТВ SEVER a.d.» Сербия.



*Насос охлаждения потребителей машзала*



*Насос охлаждения потребителей маззала*

Насос состоит из всасывающего бетонного колена, всасывающей крышки, спирали с распределителем и ротора. Ротор насоса состоит из рабочего колеса, вала, шпонок, уплотнения и муфты с промежуточной вставкой. Ротор насоса установлен в двух подшипниках качения. Нижний подшипник роликовый опорный. Верхний подшипник сдвоенный шариковый опорно-упорный, воспринимающий радиальное и осевое усилия. Уплотнение вала торцевого типа, одинарное, в исполнении «Cartridge» фирмы «BURGMANN», с промывкой перекачиваемой жидкостью.



*Насос охлаждения потребителей машзала*

**Технические характеристики.**

Подача, м <sup>3</sup> /ч	4460
Напор, м	65
Допускаемый кавитационный запас, м, не менее	10,8
Внешняя протечка через уплотнения ротора, м <sup>3</sup> /ч (л/ч), не более	1·10 <sup>-4</sup> (0,1)
Срок службы между капитальными ремонтами, год, не менее	6
Коэффициент полезного действия при 20 °С, %	84
Напор, м	65

Номинальная мощность, кВт	1250
Номинальное напряжение, В	10000
Номинальный ток статора, А	88,3
Номинальная частота электрического тока, Гц	50 ± 2%
Частота вращения, об/мин	989
Номинальный крутящий момент, кНм	12,07

Тип насоса А-600-HVBW-755-97-OU, где:

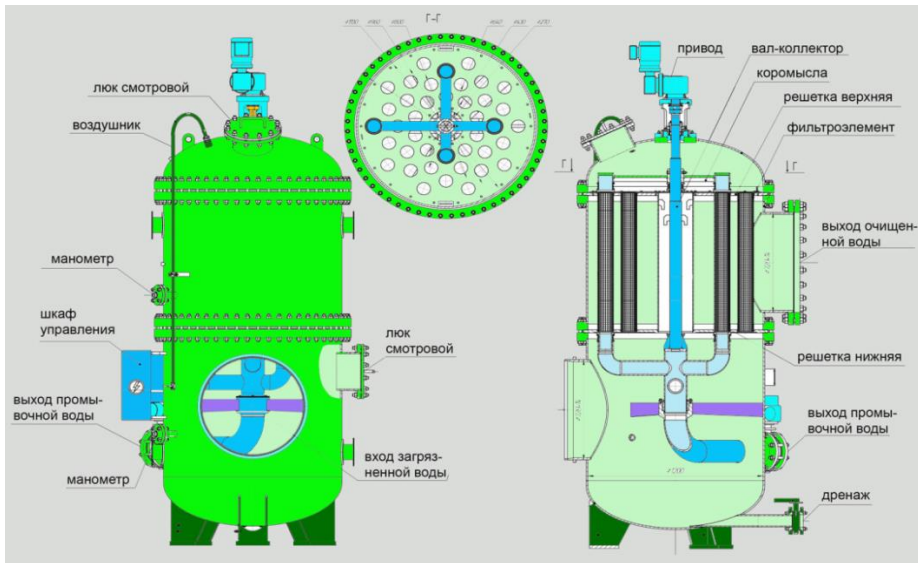
- А - тип для АЭС;
- 600 - номинальный диаметр напорного патрубка, мм;
- HVBW - маркировка серии;
- 755 - диаметр рабочего колеса, мм;
- 97 - ширина выходного канала рабочего колеса, мм;
- OU - использованные материалы.

На всасе насосных агрегатов РСС01АР001,002 предусмотрена возможность установки плоского скользящего глубинного затвора 2,0-2,0-13,5 РАА12АТ001, который предназначен для перекрытия всасывающей трубы насоса неответственных потребителей здания УМА в случае его ремонта или профилактического осмотра (один затвор на один насос). Количество на один блок – один затвор.

**3.9.5 Фильтры РСВ10АТ001,002**

На входе в машзал на отметке - 6,0 м на трубопроводах охлаждающей воды установлены два механических фильтра РСВ10АТ001, 002. Переход с рабочего фильтра на резервный производится вручную. Расчетная производительность одного фильтра составляет 5000 м<sup>3</sup>/ч.

В корпусе между верхней и нижней трубными досками установлены по окружности фильтрующие элементы - 40 цилиндрических щелевых решеток с внутренней рабочей поверхностью. Вдоль центральной оси фильтра расположен вал - коллектор с коромыслом, соединенный с установленным на крышке приводом.



***Фильтр системы охлаждающей воды  
неответственных потребителей***

Загрязненная среда поступает через входной штуцер в нижнюю камеру фильтра и далее во внутреннюю полость фильтрующих элементов. При прохождении загрязненной среды через щелевые решетки механические примеси с фракционным составом крупнее 1 мм задерживаются на внутренней поверхности фильтроэлементов и удерживаются на ней под действием возрастающего в процессе фильтрования перепада давления. Очищенная среда отводится из корпуса фильтра через выходной штуцер.

В момент, когда постоянно возрастающий перепад давления на фильтре достигает значения 0,1 МПа, начинается процесс регенерации фильтрующих элементов. Запуск процесса регенерации возможен в трех вариантах, которые и определяют режимы работы электрооборудования:

- режим ручного управления;
- режим автоматического управления;
- режим включения по таймеру.

В процессе регенерации мотор-редуктор подводит два патрубка вала – коллектора до совмещения с фильтрующими элементами. Открывается дисковый поворотный затвор штуцера обратной промывки. Под действием разности давлений в полости очищенной среды и трубопроводе промывки часть очищенной воды направляется обратным потоком в трубопровод промывки, промывая фильтрующие элементы снаружи внутрь. По окончании времени промывки дисковый поворотный затвор закрывается.

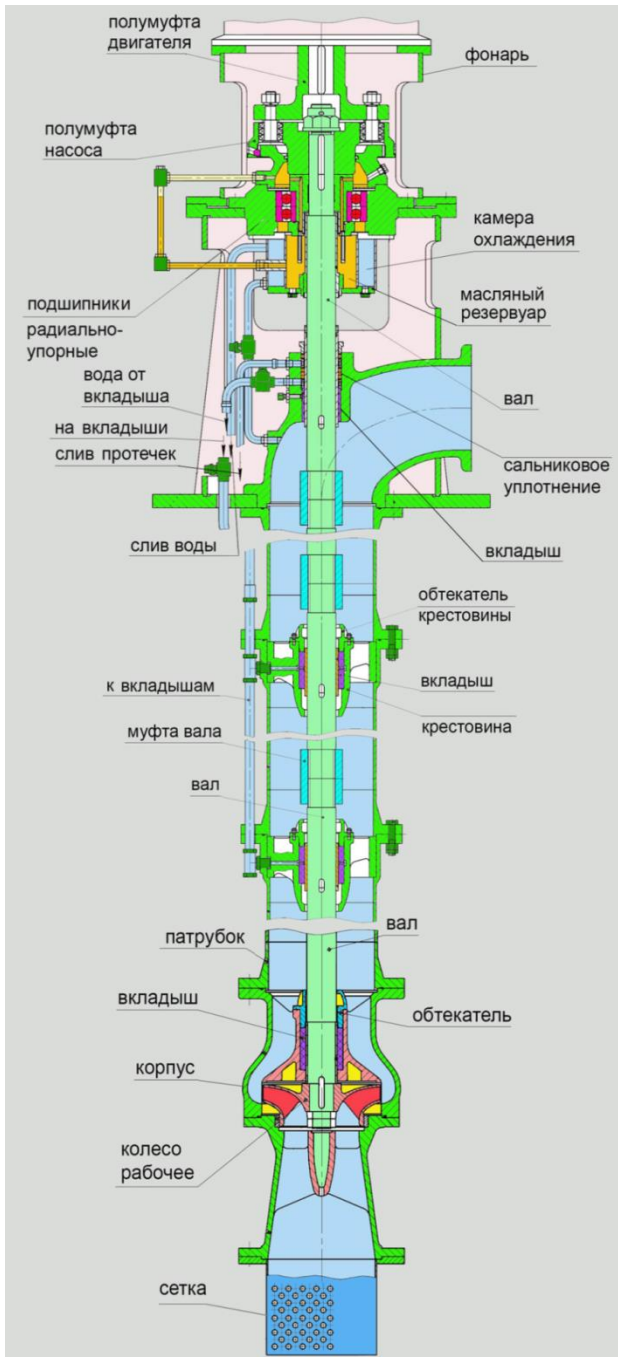


*Фильтры системы охлаждающей воды  
неответственных потребителей*

Процесс регенерации прекращается после промывки последней пары фильтрующих элементов.

### 3.9.6 Насосы охлаждающей воды РСС03АР001,002

Насосные агрегаты РСС03АР001, РСС03АР002 предназначены для подачи охлаждающей воды из поперечного водоподводящего канала блочной насосной станции URS на охлаждение теплообменников резервной дизельной электростанции и состоят из вертикального асинхронного электродвигателя 5АМ250S4, трансмиссии и центробежного артезианского полупогружного насоса типа А20А-18х1А-01.

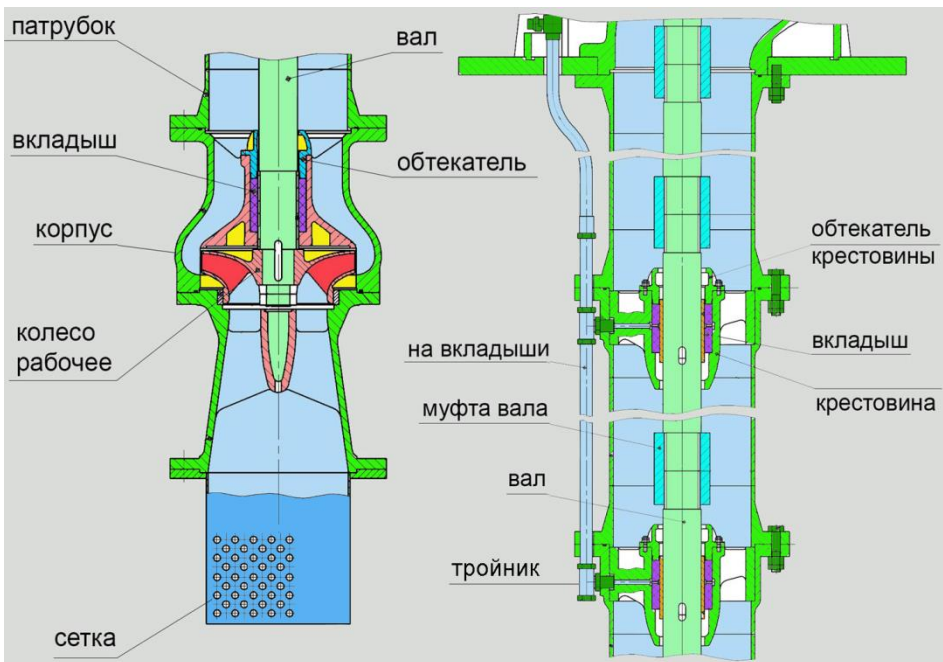


*Насос охлаждения теплообменников РДЭС*

- А – агрегат насосный;
- 20 – диаметр обсадной трубы, уменьшенный в 25 раз;
- А – артезианский;
- 18 – коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз;
- 1 – количество ступеней насоса;
- А – материал литых деталей – углеродистая сталь;
- 01 – исполнение по глубине погружной части (7024мм).

Насос состоит из корпуса, всасывающего патрубка и приемной сетки. Корпус насоса соединяется с всасывающим патрубком при помощи шпилек и гаек. Приемная сетка крепится к всасывающему патрубку болтами и гайками. Рабочее колесо посажено на вал насоса на шпонках и крепится гайками.

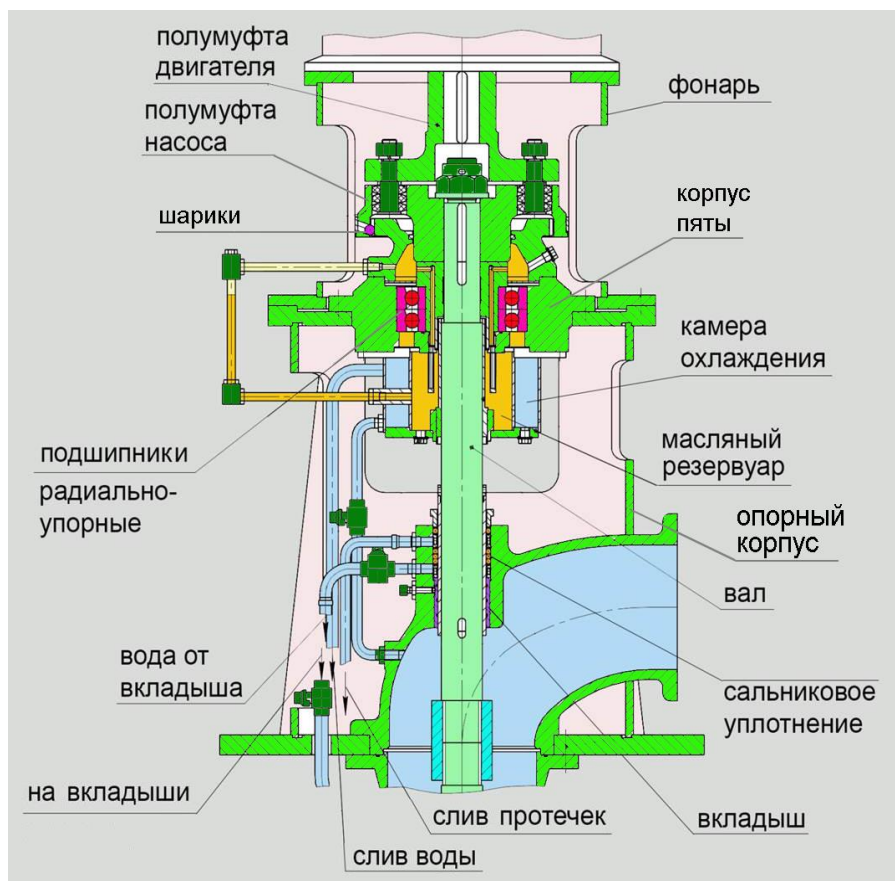
Трансмиссия состоит из труб секций, соединенных между собой болтами с гайками, валов трансмиссии, вала промежуточного, соединенных между собой, а также с валом насоса резьбовыми муфтами. В расточках труб устанавливаются крестовины с вкладышами, которые закрываются обтекателями.



*Насос охлаждения теплообменников РДЭС*

К каждому вкладышу по трубкам, расположенным вдоль напорного трубопровода, подводится перед пуском насоса вода для смазки вкладышей. В процессе эксплуатации по этим трубкам осуществляется промывка вкладышей от загрязнений. Соединение трубок между собой и подвод воды к вкладышам обеспечивается за счет тройников.

Опорная часть насосов состоит из опорного корпуса с установленным в расточке вкладышем, корпуса пяты, фонаря подмоторного, вала верхнего. Охлаждение вкладыша осуществляется перекачиваемой водой, которая, пройдя по винтовой канавке вкладыша, через зазор между валом и вкладышем возвращается обратно в скважину. Количество воды регулируется краном на сливе. Над вкладышем расположено сальниковое уплотнение верхнего вала.



*Насос охлаждения теплообменников РДЭС*

Фонарь подмоторный устанавливается на опорный корпус и крепится к нему шпильками. На опорный корпус также устанавливается корпус пяты, в котором размещаются радиально-опорные подшипники, воспринимающие вес ротора и осевое усилие, действующее на ротор.

В нижней части корпуса пяты расположен резервуар для масла с камерой охлаждения. Смазка подшипников циркуляционная. Масло подается двумя вращающимися лопастями по отверстиям во втулке на сетку, расположенную выше подшипников. Охлаждение масла производится перекачиваемой водой, которая подводится к резервуару с напора насоса и отводится в скважину. Количество воды регулируется краном на подаче.

**Технические характеристики.**

Подача, м <sup>3</sup> /ч	600
Напор, м	28
Подпор, м, не менее	1,5
Срок службы между капитальными ремонтами, год, не менее	6

Номинальная мощность, кВт	75
Номинальное напряжение, В	380
Частота вращения, об/мин	1450



*Насос охлаждения теплообменников РДЭС*

Вал насоса соединяется с валом электродвигателя упругой втулочно-пальцевой муфтой. Предотвращение обратного вращения обеспечивается шариками, расположенными в сверлениях полумуфты насоса.

### 3.9.7 Насосы охлаждающей воды РСС04АР001,002,003,004

Подача воды на охлаждение потребителей здания холодильных машин 00UQR и здания компрессорной 00UTF осуществляется от четырех центробежных трехступенчатых артезианских насосов РСС04АР001, 002, 003, 004 каждого энергоблока (т.е. от восьми насосов), которые по общему магистральному напорному трубопроводу РСВ04 подают воду в здание холодильных машин 00UQR и в здание компрессорной 00UTF.

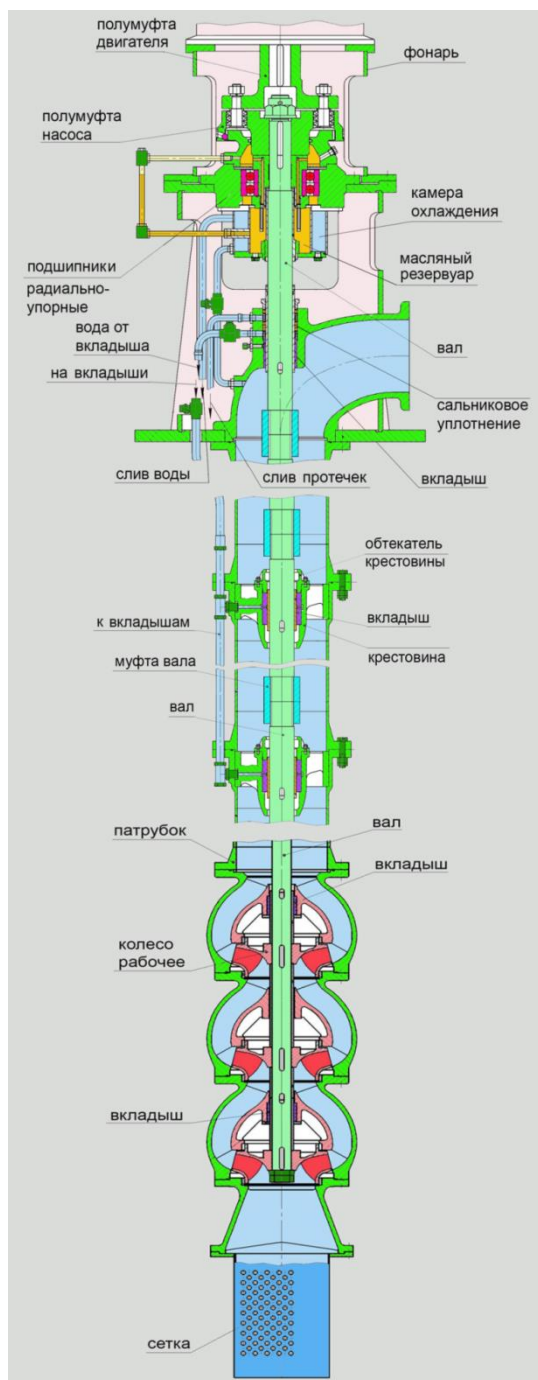
По общему сливному трубопроводу 10РСВ06 вода от зданий 00UQR и 00UTF сливается в сливной трубопровод РАВ08 от конденсатора блока №1 или блока №2, по которому поступает в соответствующую градирню на охлаждение. Количество работающих насосов зависит от количества работающих холодильных машин.

Насосные агрегаты РСС04АР001-004 состоят из вертикального асинхронного электродвигателя типа 5АНН-450М-4 и центробежно-артезианского полупогружного насоса типа А20А-22х3А, где:

- А – агрегат насосный;
- 20 – диаметр обсадной трубы, уменьшенный в 25 раз;
- А – артезианский;
- 22 – коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз;
- 3 – количество ступеней насоса;
- А – материал литых деталей – углеродистая сталь;
- 01 – исполнение по глубине погружной части (7024мм).

Конструкции насосов РСС04 и РСС03 идентичны.

## ПАРОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50



*Насос охлаждения потребителей здания холодильных машин*

### Технические характеристики.

Подача, м <sup>3</sup> /ч	500
Напор, м	68
Подпор, м, не менее	0,36
Срок службы между капитальными ремонтами, год, не менее	6

Номинальная мощность, кВт	250
Номинальное напряжение, В	10000
Частота вращения, об/мин	1450



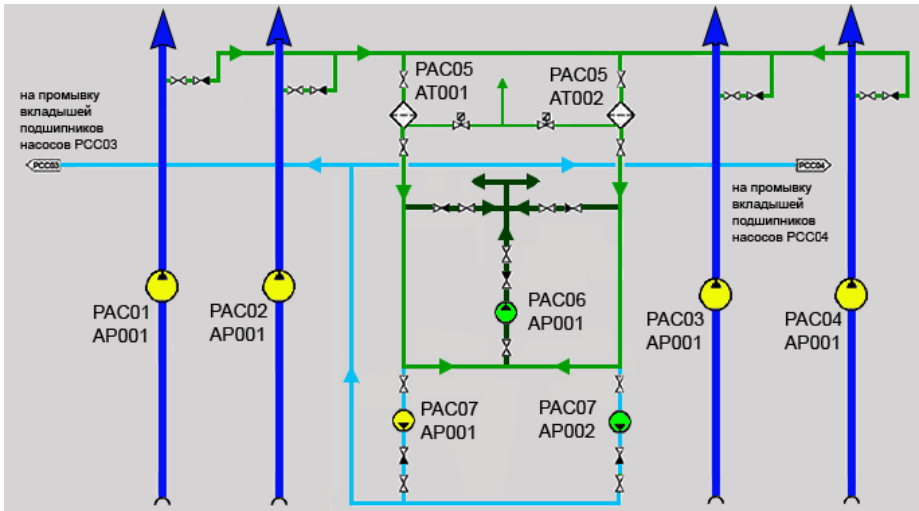
#### *Насосы охлаждения потребителей здания холодильных машин*

Режим работы насосов 10PCC04AP001,002,003,004:

- при работе двух блоков летом – четыре насоса (по два с каждого блока);
- при работе одного блока летом (второй в режиме ППР) три насоса работающего блока;
- при работе одного блока (второй не пущен) – два насоса работающего блока;
- при пуске первого блока – один насос (возможна длительная работа в этом режиме);
- в зимний период – один насос любого блока на здание компрессорной.

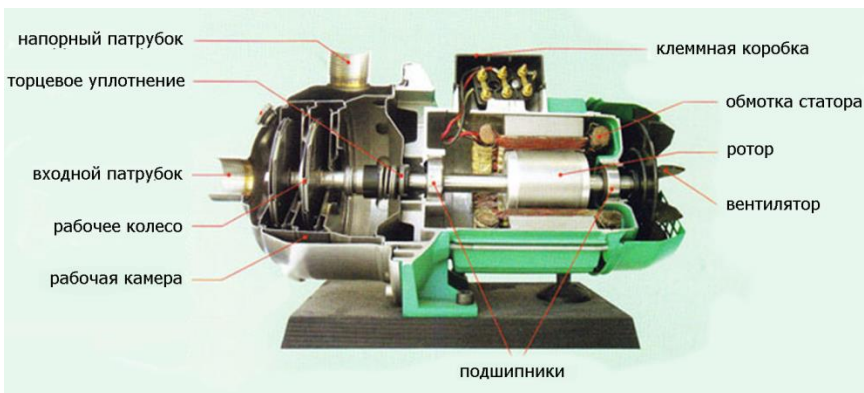
### 3.9.8 Насосы PAC07

Для смазки вкладышей насосов PCC03,04 перед пуском и промывки вкладышей от загрязнений в процессе эксплуатации предназначены насосы PAC07AP001,002.



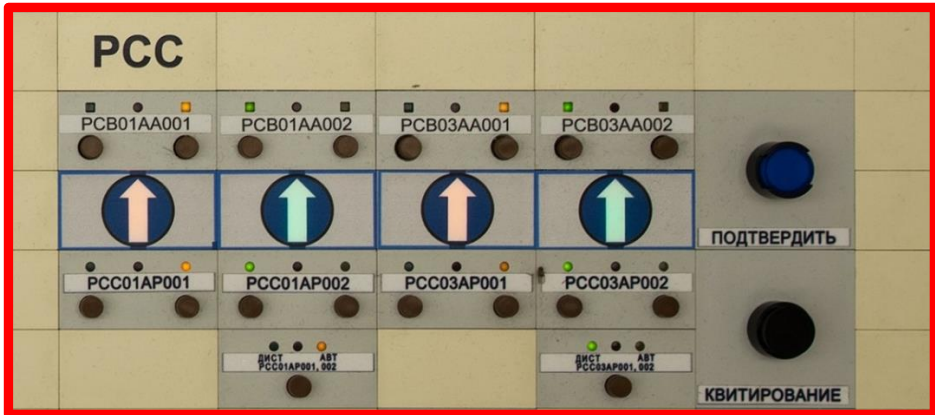
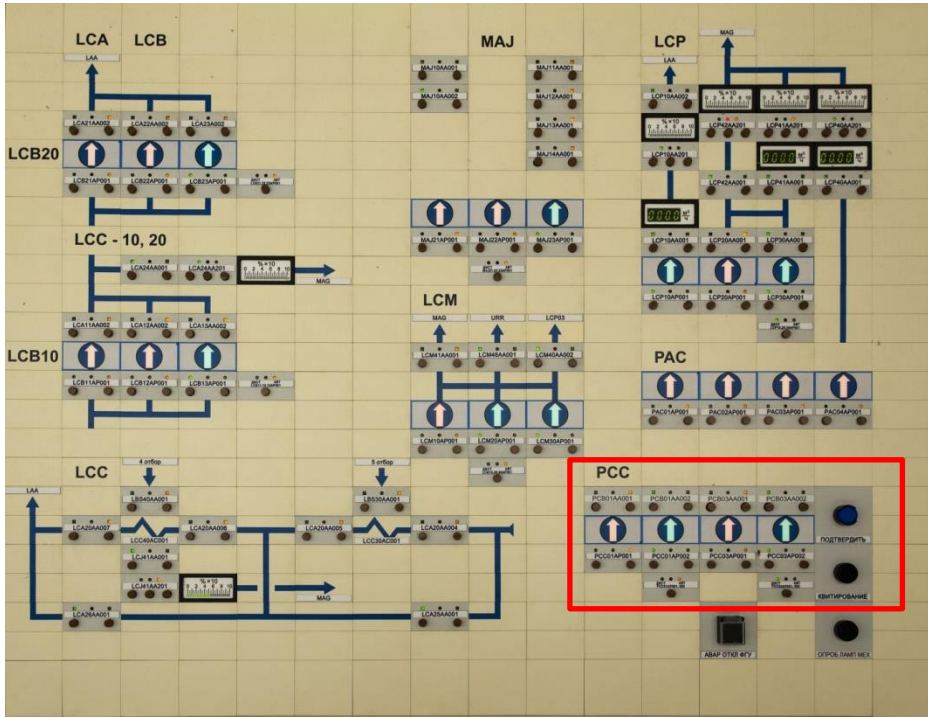
**Схема включения насосов PAC07AP001,002**

Насос системы охлаждения горизонтальный центробежный консольный двухступенчатый производства фирмы WILO (ФРГ). Уплотнение вала торцевого типа. Производительность насоса 4,8-17,6 м<sup>3</sup>/ч при напоре 18-35 м. Режим работы насосов постоянный, один в работе, второй – в резерве.



**Конструкция насоса PAC07AP001(002)**





Пульт БПУ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект АЭС-2006 является эволюционным как в части реакторной установки, так и второго контура.

При разработке турбоустановки К-1200-6,8/50 в качестве базовой была принята турбоустановка К-1000-60/3000 отечественной разработки, находящаяся в эксплуатации на блоках №1 и №2 АЭС «Тяньвань» (ТАЭС) в Китае. Тепловая схема второго контура имеет все характерные особенности, присущие турбоустановкам ЛМЗ для АЭС с ВВЭР большой мощности: развитая система регенерации (число ступеней регенерации – семь), наличие одного ПНД смешивающего типа, применение отвода конденсата греющего пара второй ступени СПП в тракт питательной воды перед парогенератором.

Конструктивное исполнение вспомогательного оборудования турбоустановки, включая ПНД, ПВД, деаэратор, конденсатные и питательные насосы, принято аналогичным применяемому в турбоустановках К-1000-60/3000 для АЭС. При этом массогабаритные характеристики оборудования незначительно увеличены по сравнению с характеристиками турбин мощностью 1000 МВт. Конструкция СПП базируется на референтных узлах сепаратора и пароперегревателя конструкции ОАО ЗИО для турбоустановок ЛМЗ для АЭС мощностью 1000 МВт.

Подача основного конденсата из конденсатора в деаэратор осуществляется конденсатными насосами в два подъема. подача питательной воды из деаэратора через ПВД в парогенератор осуществляется питательными насосами с электроприводами (4 рабочих + 1 резервный). Отвод конденсата греющего пара второй ступени пароперегревателя СПП осуществляется в основную линию питательной воды за ПВД высокотемпературным насосом с гидроприводом, слив конденсата греющего пара первой ступени пароперегревателя СПП – в ПВД 5. ПНД-1, 3 и 4 – поверхностного типа, ПНД-2 – смешивающего типа. ПНД-1 выполнен в 4 корпусах, встроенных в переходные патрубки ЦНД, ПНД-2, 3 и 4 – в одну группу. ПВД-5 и 6 выполнены в две группы. Все поверхностные ПНД выполнены без охладителей дренажа, ПВД – с встроенными охладителями дренажа.

Подогрев основного конденсата осуществляется последовательно: в конденсаторе пара уплотнений (КПУ), в ПНД-1 – ПНД-4. Подогрев питательной воды осуществляется последовательно в деаэраторе,

в ПВД-5 и 6 и далее в коллекторе, где питательная вода после ПВД-6 подогревается при смешивании с конденсатом греющего пара второй ступени СПП.

Конструктивная схема "бабочка" (2ЦНД+ЦВД+2ЦНД) имеет ряд преимуществ по обвязке турбины трубопроводами и позволяет:

- выполнить симметричную обвязку всех цилиндров турбины паропроводами, что обеспечивает равномерное нагружение опор, снижение усилий, приходящихся на патрубки турбины, упрощает компенсацию тепловых расширений паропроводов;
- выполнить симметричную обвязку трубопроводами сепараторов-пароперегревателей, обеспечивающую надежную эксплуатацию этих аппаратов.

Быстроходная турбина ЛМЗ мощностью 1200 МВт для АЭС по ряду технических решений является уникальной в мировом турбостроении. В данной турбине реализуются отличительные конструктивные решения, на которых основывается концепция завода-изготовителя:

- Частота вращения - 50 об/сек.
- Использование лопаток последних ступеней предельной длины. Исходя из современного технического уровня, достигнутого в металлургии и машиностроении, применена лопатка последней ступени длиной 1200 мм из титанового сплава с цельнофрезерованным бандажом с торцевым елочным хвостом. В настоящее время в эксплуатации это самая длинная лопатка в мире для быстроходных турбин, изготавливаемая серийно из титанового сплава. Применение такой лопатки последней ступени позволяет в быстроходной турбине 1200 МВт реализовать глубокий вакуум.
- Применение цельнокованых роторов с полумуфтами. Цельнокованные роторы низкого давления без центрального отверстия, изготавливаемые из слитка 235 т и в чистом виде весящие 72 т, не имеют аналогов в мировом турбостроении. Создание такого ротора обеспечивает повышение надежности работы по сравнению со сварным вариантом благодаря отсутствию сварных швов, высокому качеству материала поковки, дающему возможность обойтись без центрального отверстия вала и снизить уровень напряжений, отработанной технологии изготовления и всесторонней программе контроля.
- Применение рабочих лопаток всех ступеней с цельнофрезерованными бандажами.

- Электронно-лучевая сварка отдельных рабочих лопаток в пакеты.
- Демпфирование рабочих лопаток за счет трения в бандажах, исключаящее необходимость установки демпферных связей в проточных частях. Данные решения по конструкции рабочих лопаток обеспечивают высокую вибрационную надежность и одновременно экономичность лопаточного аппарата.
- Все коммуникации рабочей среды к ЦВД подводятся только в нижнюю половину корпуса и только с помощью сварки, что исключает протечки и все издержки, связанные с надежностью болтовых соединений, и значительно улучшает ремонтпригодность турбины.
- Для смазки подшипников и в системе регулирования турбины используется синтетическое огнестойкое масло. Применение огнестойкого масла значительно повышает пожарную безопасность.
- Устанавливаются регулирующие и стопорные клапаны как перед ЦВД, так и перед ЦНД. Наличие обоих типов клапанов перед ЦНД обеспечивает надежную противоразгонную защиту турбины, актуальную с учетом значительных паровых объемов и наличия влаги в сепараторосборнике СПП.
- В процессе экспериментальных исследований на натуральных стендах были определены оптимальные места подвода и слива масла на поверхностях скольжения шейки ротора по баббиту, а также размеры поверхностей скольжения на нижней и верхней частях опорного вкладыша. В конструкции опорного вкладыша реализованы результаты стендовых исследований, что позволило уменьшить потери на трение, расход масла и его температуру по сравнению с аналогичными вкладышами турбины К-1000-60/3000.
- Для защиты деталей турбины от эрозии осуществляются пассивные и активные мероприятия:
  - а) цилиндр высокого давления турбины, обоймы и диафрагмы выполнены из нержавеющей стали. Применение верхней и нижней половин корпуса ЦВД из нержавеющей стали является большим достижением технологии. Применение корпуса и узлов ЦВД из нержавеющей стали позволяет полностью решить проблему щелевой эрозии, требующую значительных затрат на выполнение ремонтных работ в процессе эксплуатации;

- б) в ЦВД организованы три отбора пара на регенерацию. Это обеспечивает интенсивный отвод влаги из периферийной зоны за рабочими лопатками;
  - в) бандажи рабочих лопаток ЦВД выполнены с наклонной внутренней поверхностью, обеспечивающей устойчивое течение пленочной влаги и последующий ее вывод с отборным паром;
  - г) в последней ступени ЦНД реализованы повышенный теплоперепад, увеличены осевые зазоры и внутриканальная сепарация влаги.
- Система регулирования турбины - электрогидравлическая с построением электрической части на базе микропроцессорной техники.
  - Конденсаторы секционированы по давлению, что обеспечивает повышение тепловой экономичности турбоустановки при температуре охлаждающей воды более 15 °С и не снижает экономичность при низких температурах.

В отношении ремонтпригодности турбина К-1200-6,8/50 обладает преимуществами, обусловленными быстротходностью. Применение рабочей частоты вращения 3000 об/мин привело к уменьшению веса и габаритов основных деталей. Кроме того, повышение ремонтпригодности обеспечивается рядом конструктивных решений:

- к верхней половине как ЦВД, так и ЦНД не присоединяются ни подводные, ни отводящие трубопроводы, соответственно, упрощается вскрытие цилиндров;
- в крышках ЦНД имеются удобные люки для детального осмотра последних ступеней;
- выполнение статорных деталей ЦВД и коробок клапанов высокого давления из нержавеющей стали снимают проблемы, вызываемые щелевой эрозией разъемов и мест сопряжения деталей;
- применение трубопроводов отвода пара после ЦВД к СПП из нержавеющей стали, а также использование линейных сепараторов на трубопроводах отборов к регенеративным подогревателям снижает повреждаемость трубопроводов;
- применение выносных подшипников упрощает центровку цилиндров и проведение ремонтных работ.

Турбоустановка К-1200-6,8/50 предусматривает обеспечение тепловыделительной нагрузки до 300 МВт (т) при максимальном температурном графике теплосети 150/70°С.

Термический КПД цикла для энергоблока с АЭС-2006 определяется повышенными параметрами свежего пара по сравнению с модификациями турбин мощностью 1000 МВт, значением конечного давления и совершенством тепловой схемы установки.

Таким образом, в турбине К-1200-6,8/50 применены отработанные в проектах турбин мощностью 1000 МВт технические решения, повышающие ее экономичность, надежность и ремонтпригодность. Повышение начальных параметров пара, использование развитой системы регенерации, промежуточного перегрева пара, сепарации влаги из проточной части турбины позволяют достичь повышенных значений термического и внутреннего относительного КПД.

Дальнейшее повышение экономичности турбоустановки К-1200-6,8/50 за счет совершенствования теплового цикла возможно через снижение потерь от влажности путем применения более совершенных сепарационных устройств, оптимизацию расхода пара через дренажи, создание дополнительных отборов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 481 с.
2. Занин А.И., Соколов В.С. Паровые турбины. М.: Высшая школа, 1988. – 208 с.
3. Кириллов И.И., Яблоник Р.М. Основы теории влажнопаровых турбин. Ленинград: Машиностроение, 1968. – 264 с.
4. Лосев С.М. Паровые турбины. М.: Энергия, 1964. – 376 с.
5. Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1993. – 384 с.
6. Костюк А.Г., Фролов В.В. Турбины тепловых и атомных электрических станций. М.: МЭИ, 2001. – 415 с.
7. Горшков А.М. Насосы. М.: Государственное энергетическое издательство, 1947. – 188 с.
8. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций. М.: Энергия, 1978. – 232 с.
9. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. М.: Высшая школа, 1978. – 360 с.
10. Пономаренко В.С. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
11. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин. М.: Энергоатомиздат, 1994. – 288 с.
12. Гуревич Д.Ф., Ширяев В.В., Пайкин И.Х. Арматура атомных электростанций. М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.

В.П. Поваров, О.Л. Безручко, И.Н. Гусев, Д.Е. Усачев

## **ПРОТУБИННАЯ УСТАНОВКА К-1200-6,8/50**

ISBN 978-5-6045506-8-7



Формат 70×100/16. Подписано в печать 22.10.2021.  
Усл. печ. л. 5,25. Печать цифровая. Бумага мелованая.  
Гарнитура Arial. Тираж 200. Заказ 996.

Отпечатано в ООО Типография «Кварта»  
394049, г. Воронеж, Московский проспект, 11.