



Технология управления скоростью

# СИСТЕМЫ БАЙПАСОВ ТУРБИН

**KOSO**

**Применение:**

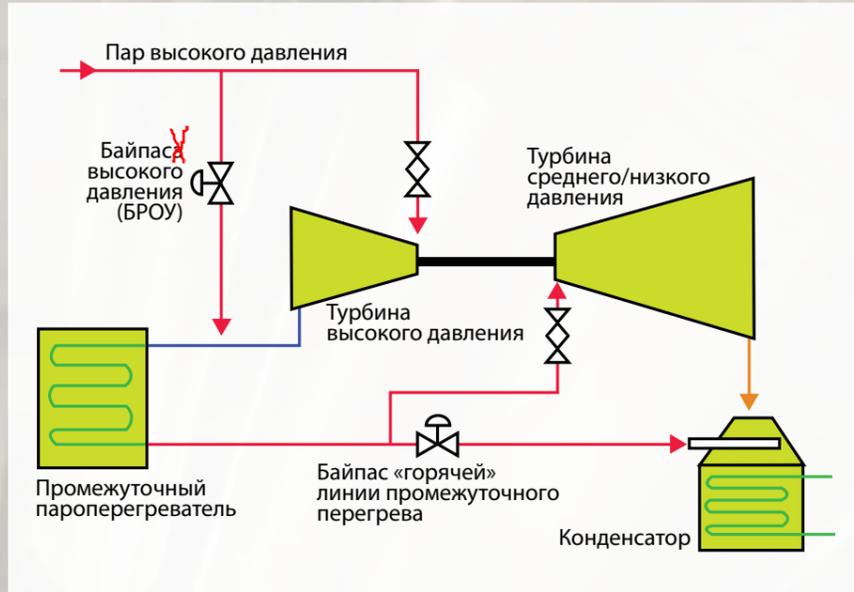
- Байпас высокого давления в линию «холодного» промежуточного перегрева
- Байпас высокого давления из линии «горячего» промежуточного перегрева в конденсатор, такие как:
  - байпас среднего/низкого давления в конденсатор
- байпас низкого давления в конденсатор
- Байпас высокого давления в конденсатор

**Цель применения:** системы байпасов турбин увеличивают гибкость работы паро-силовых установок. Системы способствуют выполнению быстрого запуска и останова не вызывая повреждения критических и дорогостоящих компонентов парового тракта, возникающих из-за температурного напряжения. Для некоторых котлоагрегатов, байпасные системы используются для обеспечения безопасности работы.

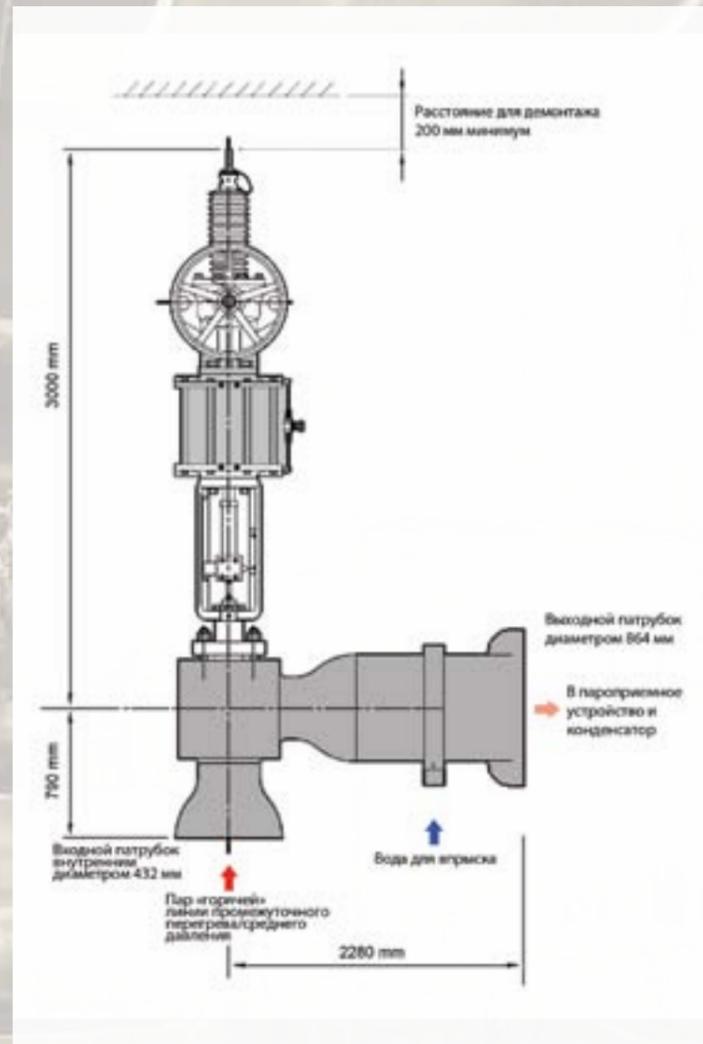
Основными компонентами байпасных систем турбин являются:

- регулятор давления пара
- пароохладитель
- регулятор впрыска (регулятор температуры пара)
- отсечной клапан на линии впрыска
- пароприемное устройство (только для байпаса к конденсатору)
- привод

Исполнение байпасной системы сильно влияет на тепловой коэффициент и мощность силовой установки, частоту вынужденных остановов и долговечность работы критических компонентов системы, например, труб котлоагрегата, коллекторов и паропроводов. Следовательно, определение правильного размера и типа компонентов байпасных систем турбины является чрезвычайно важной задачей для обеспечения плавной работы установки.



**Рисунок 1.** Расположение байпасных систем турбины



**Рисунок 2.** Стандартная схема системы байпаса низкого давления для сверхкритической установки 500 МВт

**Таблица 1.** Стандартные размеры и мощность байпаса высокого давления к системам холодной линии промежуточного перегрева для силовых установок

Размер установки (МВт) x % байпаса	Мощность байпаса	Кол-во линий	Ввод/вывод	Требуемая мощность(Cv)
1000 МВт x 30% (сверхкритическая)	1000 МТ/ч	1	14" / 20"	461
800 МВт x 30% (сверхкритическая)	800 МТ/ч	1	12" / 18"	367
800 МВт x 60% (сверхкритическая)	1600 МТ/ч	2	12" / 18"	367
600 МВт x 30% (сверхкритическая)	600 МТ/ч	1	10" / 16"	278
600 МВт x 60% (докритическая)	1200 МТ/ч	1	14" / 22"	845
500 МВт x 60% (докритическая)	1000 МТ/ч	1	14" / 20"	740
250 МВт x 60% (докритическая)	500 МТ/ч	1	12" / 18"	369
350 МВт x 100% (докритическая)	1150 МТ/ч	1	14" / 22"	820

**Таблица 2.** Стандартные размеры и мощность байпаса горячей линии промежуточного перегрева к системам конденсаторов силовых установок

Размер установки (МВт) x % байпаса	Мощность байпаса	Кол-во линий	Ввод/вывод	Требуемая мощность(Cv)
1000 МВт x 30% (сверхкритическая)	1160 МТ/ч	2	16" / 24"	1894
800 МВт x 30% (сверхкритическая)	930 МТ/ч	2	14" / 20"	1517
800 МВт x 60% (сверхкритическая)	1856 МТ/ч	4	14" / 20"	1517
600 МВт x 30% (сверхкритическая)	695 МТ/ч	2	14" / 18"	1136
600 МВт x 60% (докритическая)	1390 МТ/ч	2	16" / 24"	2273
500 МВт x 60% (докритическая)	1160 МТ/ч	2	16" / 24"	1894
250 МВт x 60% (докритическая)	580 МТ/ч	2	12" / 16"	947
350 МВт x 100% (докритическая)	1350 МТ/ч	1	24" / 36"	4419

**Таблица 3.** Стандартные размеры и мощность байпаса высокого давления в конденсатор (установки смешанного цикла)

Размер установки (МВт) x % байпаса	Мощность байпаса	Кол-во линий	Ввод/вывод	Требуемая мощность(Cv)
150 MW x 100%	500 МТ/ч	1	14" / 24"	563
90 MW x 100%	300 МТ/ч	1	12" / 18"	338
60 MW x 100%	200 МТ/ч	1	10" / 14"	221

**Таблица 4.** Стандартные размеры и мощность байпаса горячей линии промежуточного перегрева в конденсатор (установки смешанного цикла)

Размер установки (МВт) x % байпаса	Мощность байпаса	Кол-во линий	Ввод/вывод	Требуемая мощность(Cv)
150 MW x 100%	580 МТ/ч	2	12" / 16"	1100
90 MW x 100%	350 МТ/ч	2	8" / 12"	660
60 MW x 100%	230 МТ/ч	2	8" / 10"	440

**Примечания:**

- (1) Таблицы приведены только для отображения стандартных конфигураций, размеров, мощностей, Cv и.д. Значения будут отличаться для других вариантов установок.
- (2) Байпасные системы, указанные в таблицах, относятся к совместному использованию клапана регулирования давления пара и пароохладителя. Заявленные размеры входных/выходных отверстий являются стандартными для входного отверстия клапана регулирования давления пара и выходного отверстия пароохладителя соответственно. Возможно применение переходных патрубков для соответствия особым размерам труб и для упрощения процесса установки.

Байпас КОСО 530D/540D представляет собой недорогое эффективное оборудование для работы в тяжелых условиях эксплуатации. Оборудование отвечает применимым стандартам энергетической отрасли, и было специально спроектировано, принимая во внимание приобретенный опыт по разработке силовых систем. Конструкция 530D/540D отвечает критическим требованиям к функциональности байпасных систем, которыми являются:

**Высокая надежность** – требуется для достижения высокого коэффициента готовности силовой установки.

**Низкие уровни вибрации и шума** – для обеспечения безопасности рабочего персонала и оборудования.

**Отличная управляемость** – для плавности запусков и остановов работы, а также для обеспечения долговечности критических компонентов, работающих при высоком давлении и высокой температуре.

**Высокая герметичность** – требуется для исключения потери теплового коэффициента и/или снижения производительности установки; V или MSS SP-61 класс герметичности доступен по запросу.

**Отличное и надежное устранение перегрева** – для долговременной защиты оборудования.

**Простота в обслуживании** – отсутствие сварного седла или клетки.

Размеры байпасных систем турбин обычно определяются под расход определенного процента от производительности блока, который будет зависеть от требований конечного пользователя к функциональности системы. Стандартными мощностями байпаса являются 30-35%, 60-70% и 100% от расчетного расхода. Каждая из указанных мощностей определяет то, как установка будет работать и/или ее функциональность во время работы.

Байпасные системы КОСО 530D/540D оборудуются любыми приводами: пневматическими, электрогидравлическими и электрическими.

### Регулятор давления пара (РД):

Регулятор давления пара является основным компонентом байпасов турбин. Доступны различные конфигурации клапана – КОСО (а) прямооточный (530D) или угловой (540D) клапан, и (b) поток под плунжер или на плунжер. Существует четыре комбинации клапана. Конечный вариант должен определяться на основании компоновки и предпочтений заказчика. Любая из комбинаций, при правильной настройке, сможет отвечать критическим требованиям к функциональности байпаса турбины.

Угловой корпус клапана с потоком под плунжер обычно имеет меньший вес и компактный размер. Данная конфигурация имеет следующие преимущества:

- Требования к опорам являются менее строгими.
- Требования к предварительному прогреву являются более простыми.
- Требования к дренированию конденсата из трубопровода до клапана являются более простыми.
- Снижение потребности в проведении особой обработки для снижения уровня шума в выходной трубе.

Стандартными характеристиками расхода при полном расходе для современных байпасных систем турбин являются:

- Входное давление байпаса высокого давления – 180 бар А для докритического оборудования и 260 бар А для сверхкритического оборудования; температура 550°C.
- Входное давление байпаса среднего давления/ байпаса «горячей» линии промежуточного перегрева – 40 бар А и температура 560°C.

Давление на выходе для байпаса к конденсатору определяется емкостью пароприемного устройства или устройства, выполняющего разгрузку в конденсатор; обычно, давление составляет от 4 до 15 барА в условиях полного расхода. Механизм клапана КОСО для понижения давления пара специально разработан для ограничения уровней вибрации и шума в допустимых рамках. Распределитель потока рассеивает большое количество энергии, которая образуется в зоне седла и переходит в выхлопной патрубок. Данный распределитель потока является частью механизма, который возможно быстро заменить и выполнить простой осмотр при проведении регулярного технического обслуживания. Это серьезное преимущество перед конструкцией других механизмов, разделительные перегородки которых привариваются к выпускной части корпуса. Нужно исключить винтовое крепление седла или клетки в данной конструкции.

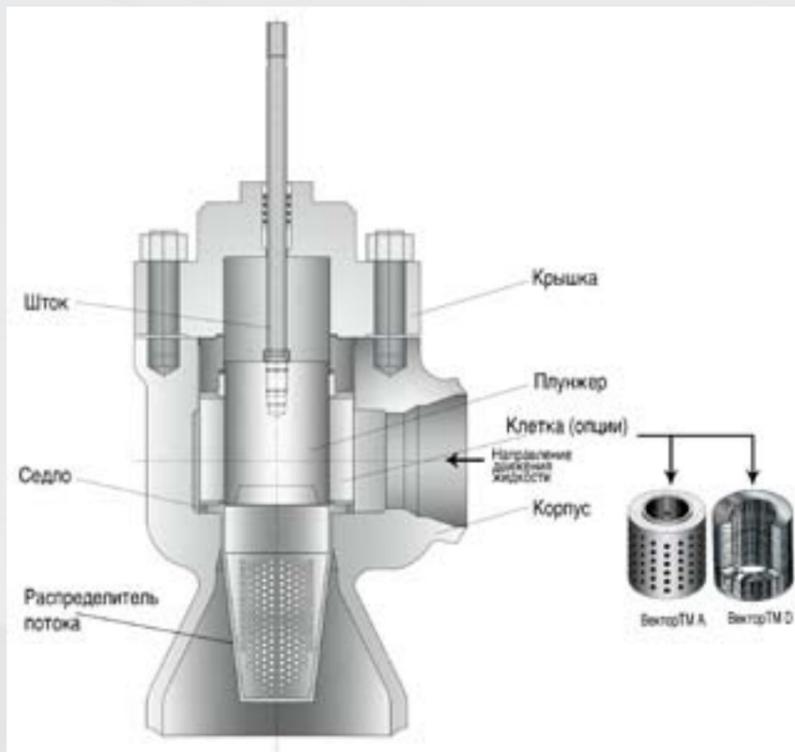
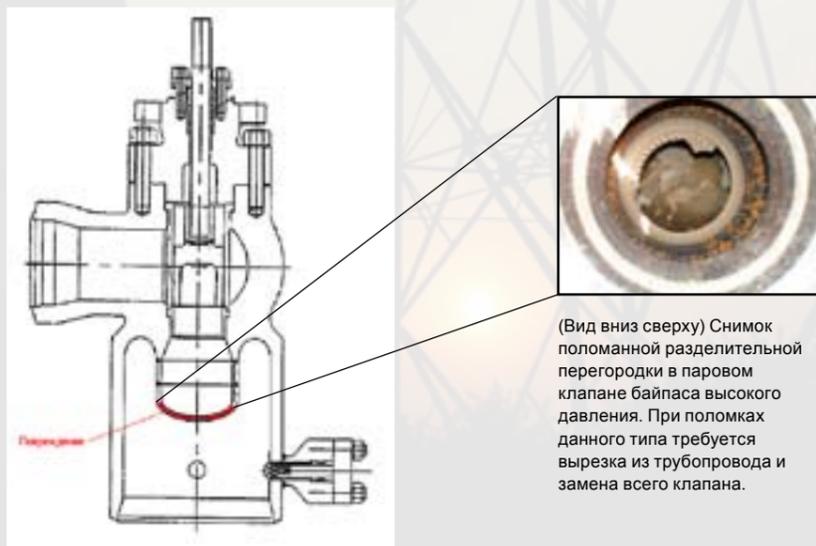


Рисунок 3. Поперечное сечение регулятора давления пара с механизмом Вектор™ А.

Таблица 5. Стандартные материалы изготовления

	Расчетная температура	
	До 540°C (1005 °F)	Выше 540 °C (1005 °F) и до 600 °C (1132 °F)
Корпус	A182 F22/A 217 WC9	A182 F91/ A217 C12A
Крышка	A182 F22/A 217 WC9	A182 F91/ A217 C12A
Внутренняя клетка	10CrMo910/A182 F22	X20CrMoV121
Плунжер	10CrMo910/A182 F22	X20CrMoV121
Шток	сплав Инконель 718	сплав Инконель 718
Седло	10CrMo910/A182 F22	X20CrMoV121
Распределитель потока	10CrMo910/A182 F22	10CrMo910/A182 F22

Другие материалы доступны для соответствия особым требованиям к конструкции



(Вид вниз сверху) Снимок поломанной разделительной перегородки в паровом клапане байпаса высокого давления. При поломках данного типа требуется вырезка из трубопровода и замена всего клапана.



Пример регулирующего клапана впрыска



Механизм КОСО Вектор обеспечивает надежное управление, долговечность и отсутствие проблем, связанных с кавитацией, эрозией, вибрацией и шумом.

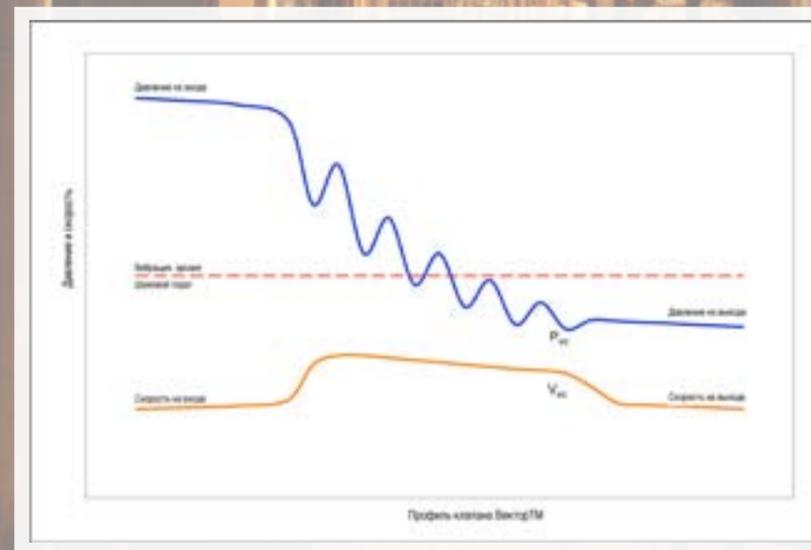


Рисунок 4. Клапан регулирования скорости исключает кавитацию

**Регулирующий клапан впрыска:** задачей клапана впрыска является регулирование подачи воды в пароохладитель для распыла. Обычно клапаны имеют небольшой размер (от 2 до 4 дюймов) и являются доступными в угловом и прямооточном исполнении. Направление «поток на плунжер» является приоритетным из-за работы с жидкостями.

Критическими требованиями к функциональности клапанов являются:

- Высокий диапазон регулирования.
- Быстрый отклик.
- Хорошая управляемость.
- Высокая герметичность.

Определение правильного размера клапанов впрыска является критической задачей для обеспечения правильной работы байпасов турбин. Избыточная мощность клапанов впрыска приводит к ухудшению функций управления при низких уровнях расхода.

Рекомендуются равнопроцентные или модифицированные равнопроцентные характеристики, для достижения хорошей регулируемости. Требуется хорошее прижатие к седлу для обеспечения надежной герметичности клапана во время работы.

**Механизм управления скоростью Вектор™:** для байпаса высокого давления требуется применение механизма регулирования скорости (пример показан на рис. 4). Кинетическая энергия жидкости, генерируемая на протяжении пути движения жидкости в приемлемом диапазоне, способствует устранению потенциально возможных проблем (кавитация, вибрация, шум, преждевременная эрозия и т.д.).

Распыл для байпаса низкого давления и отсечение воды для распыла обычно не подразумевают тяжелых условий эксплуатации.

**Запорные клапаны на линии впрыска:** данные клапаны рекомендуется использовать для защиты пароохладителя. Клапаны специально разрабатываются для предотвращения попадания холодной воды на горячие металлические поверхности пароохладителя в случае появления утечки клапана впрыска.

**Привод:** обычно для современных байпасных систем используются пневматические приводы. Размер приводов определяется характеристиками управляемости и надежной герметичности.

Особая пневматическая цепь управления, являющаяся локальной для регулирующего клапана, осуществляет регулирование приводом на основании сигналов Дистанционной Системы Управления; в том числе быстрое открытие/закрытие и режимы работы механизма.

КОСО также предлагает электрогидравлические приводы по запросу.

Тип привода является одним из ключевых компонентов байпасных систем турбины. Выбор привода обычно определяется конечным пользователем и конструкцией силовой установки. До середины 1980-х, большинство байпасов имело «несбалансированные механизмы», которые требовали больших усилий от приводов. В результате чего, применение электрогидравлических приводов являлось единственным практичным решением. Другого выбора не было, не смотря на наличие проблем, связанных с применением электрогидравлических приводов: высокая потребность в техническом обслуживании, пожароопасность, ненадежность, ограниченный допуск к экстремальным условиям окружающей среды (пыль, влажность, жара и т.д.).

Пневматические приводы двойного действия применяются продолжительный период времени. Приводы легко изготовить, а это подразумевает большой потенциал для высокой надежности. Оборудование, регулирующее работу приводов, хорошо известно и всегда доступно. Развитие современных байпасных систем турбин со «сбалансированным механизмом» привело к появлению требований к создаваемым усилиям, которым отвечают современные пневматические приводы. Развитие технологий обеспечило повсеместное внедрение пневматических приводов. Применение пневматических приводов позволило конечным пользователям исключить потребность в использовании электрогидравлических приводов.

На данный момент, принимая во внимание преимущества пневматических приводов (простота в обслуживании и экономичность), пневматические приводы стали стандартом для байпасных систем турбин многих типов силовых установок, однако применение электрогидравлических приводов все еще практикуется. Сравнение характеристик приводов приведено в Таблице 6.

**Таблица 6.** Сравнение характеристик приводов (стандартное исполнение)

Атрибут	Пневматический (двойного действия, поршневой)	Электрогидравлический	Электрический (быстрого действия)
Время хода	< 2 секунд (возможно < 1 секунды)	< 1 секунды	< 5 секунд
Точность позиционирования	< 2%	< 0.5%	< 2%
Отклик на скачкообразное изменение	< 1% избыточного отклика	Без избыточного отклика	Без избыточного отклика
Надежность	Очень высокая	От средней до высокой	Высокая
Потребность к проведению технического обслуживания	Низкая	Высокая	Средняя
Стоимость технического обслуживания	Низкая	Высокая	Средняя



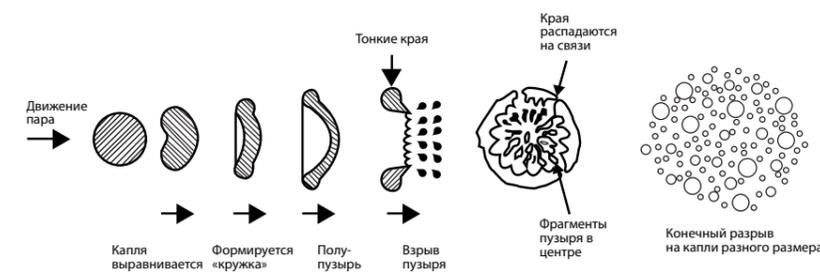
Пневматический поршневой привод



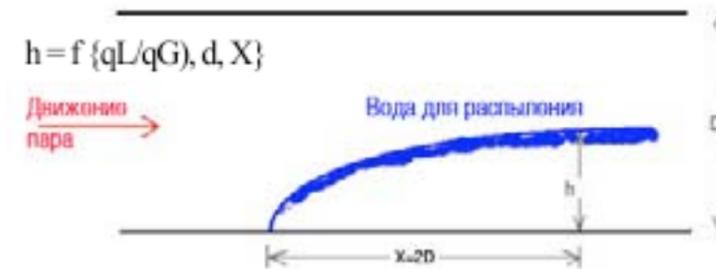
Электрогидравлический привод



Изготовленная на заказ байпасная система турбины для сверхкритической установки с мелкосерийным поршневым пневматическим приводом двойного действия



**Рисунок 5.** Разрыв капли воды под влиянием пара при числе Вебера ( $We$ ) более 14.  $We = \rho U^2 d / \sigma$ , где  $\rho$  = плотность пара,  $U$  = относительная скорость пара,  $d$  = диаметр капли,  $\sigma$  = поверхностное натяжение воды.



**Рисунок 6.** Схема попадания распыленной воды в поток пара (поперечный вид)

$h$  – попадание распыленной струи,  $qL$  = момент распыленной воды,  $qG$  = момент пара,  $d$  = диаметр струи

**Пароохладитель:** Пароохлаждение для байпасов турбин является критической задачей, так как объем распыляемой воды является значительным. Стандартным требованием для байпасной системы низкого давления является впрыск 30-35% воды от поступающего потока пара. Даже для 30% байпасной системы для установки 600 МВт, это обозначает, что объем подачи распыленной воды составляет 100 т/ч, или равняется мощности пяти пожарных гидрантов. Распыл воды осуществляется после парового клапана байпаса низкого давления. Являясь частью трубы, дизайн пароохладителя должен обеспечивать:

- не попадание холодной воды на горячие стенки трубы – данное требование должно соблюдаться для исключения термического напряжения, приводящей к растрескиванию стенок труб.
- вся вода должна распыляться на минимально возможное расстояние.

Такая же ситуация и для байпаса высокого давления в системы «холодного» промежуточного перегрева, хотя объем воды для распыла является в два раза меньшим, чем для байпасных систем низкого давления.

Задачи, описанные выше, требуют отличных характеристик распыла и правильного рассеивания воды. Крупные капли ухудшают работу системы. Крупные капли попадают на боковые стенки и/или выпадают из потока пара из-за высокой инерции. Даже если крупные капли остаются в потоке пара, то они требуют большего времени для испарения. Генерирование мелких капель зависит от характеристик распылительной форсунки (или от первичного распыления), а также от энергии потока пара, в который происходит инжектирование струи распыленной воды (вторичное распыление).

Впрыск жидкости в пар в основном характеризуется Числом Вебера ( $We$ ), определяемым на Рисунке 5. Приведенное соотношение отображает важность относительной кинетической энергии ( $1/2 \rho U^2$ ) пара для достижения качественного распыла. Это является ключевым принципом, применяемым в проектировании насадок для распыла воды, а также при проектировании систем распыления жидкостей в целом.

Правило размера капли: диаметр капли должен быть менее 250  $\mu\text{m}$  во всех рабочих условиях для достижения оптимальных характеристик пароохлаждения.

Две других важных характеристики в отношении конструкции пароохладителя - это проникновение струи и, ее раскрытие. Проникновение распыленной струи в основном зависит от соотношения инжектируемой распыленной воды и пара, начального размера ижектионной струи и расстояния для распыления. См. Рисунок 6.

Правило проникновения распыленной воды: проникновение распыленной жидкости контролируется от 15% до 85% диаметра трубы в правильно спроектированном пароохладителе.

Раскрытие контролируется числом применяемых насадок для распыла, их индивидуальными особенностями, а также размещением на паропроводе. Это является важным критерием для обеспечения хорошего смешивания воды с паром, которое является необходимым для создания эффективного испарения.

Выбранный пароохладитель должен отвечать всем рабочим условиям системы, а не только требованиям к нагрузке или размеру. Это требует хорошего понимания различных характеристик системы. Вторичное распыление крупных капель, поступающих из насадок, требует достаточного количества энергии потока пара. Опираясь на соотношение  $We$ , описанное выше, размер капли 250  $\mu\text{m}$  соответствует около 2 кПа (0.3 фунтов/кв. дюйм) кинетической энергии пара. Это ограничивает производительность пароохладителя при низких расходах. Данное условие является более жестким для байпаса высокого давления к «холодному» промежуточному перегреву, чем для байпаса турбины в конденсатор.

Пароохладитель кольцевого типа наилучшим образом подходит для байпаса в конденсатор. Он обладает как простоту в обращении, так и экономичностью, при этом соответствуя требованиям к производительности. Кинетическая энергия пара на выходе из парового клапана является достаточно высокой во всех рабочих условиях систем байпаса в конденсатор; в результате чего, вся инжектируемая распыленная вода разбивается на мелкие капли. Инжектирование воды из большого количества насадок особенно важно для достижения правильного покрытия паровых труб, диаметр которых достаточно велик для байпаса низкого давления. (См. Рисунок 7).

Кольцевые пароохладители имеют большое количество отдельных насадок, распределенных по периметру паропровода. Данный дизайн хорошо подходит для байпаса высокого давления в «холодный» промежуточный перегрев. Вода для распыла инжектируется через варьируемое проходное отверстие пружинных насадок. Особый дизайн насадок обеспечивает то, что предварительно определяемое  $\Delta P$ , достаточное для распыления, доступно для инжектирования воды для распыления – это исключает подтекание воды при низких значениях расхода. (См. Рисунок 8).

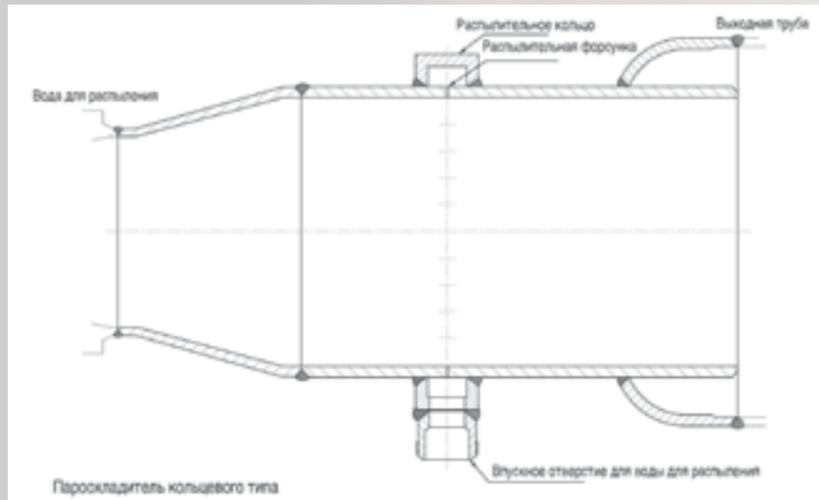


Рисунок 7. Пароохладитель кольцевого типа

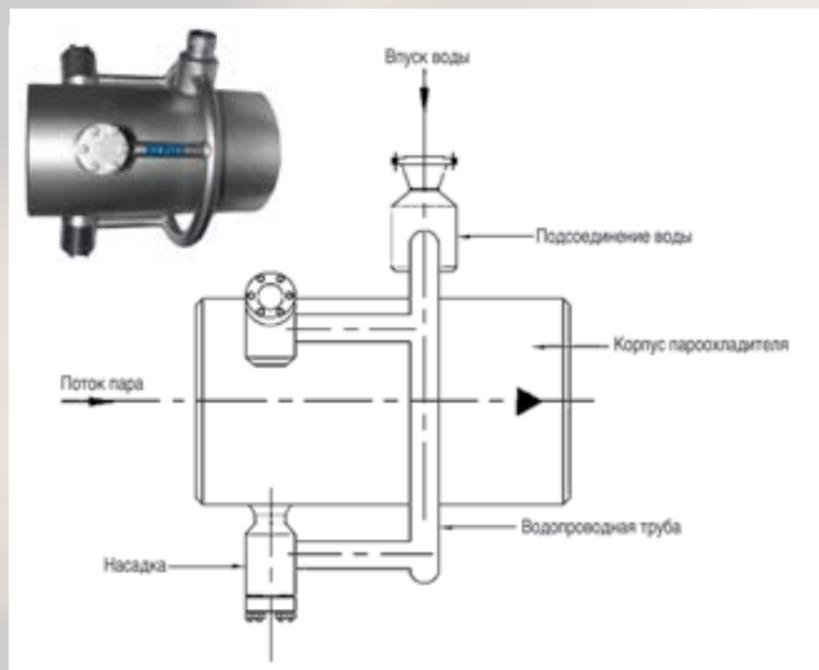


Рисунок 8. Схема кольцевого пароохладителя с большим количеством насадок

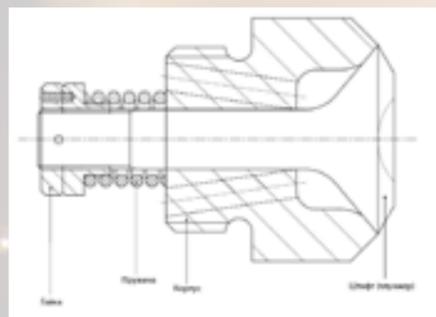


Рисунок 9. Поперечное сечение пружинной насадки

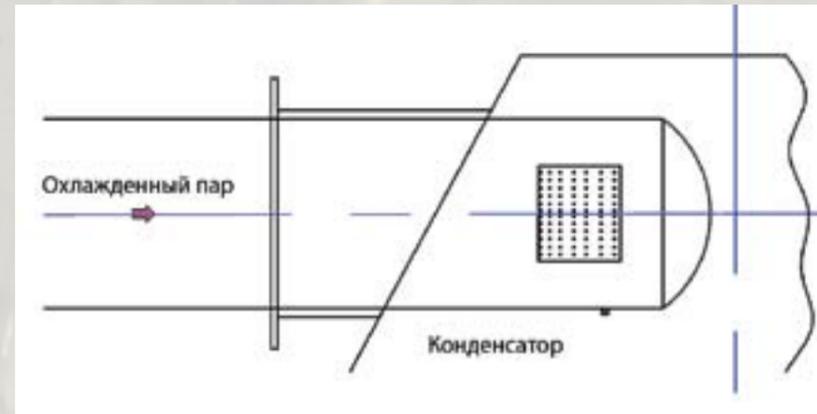


Рисунок 10. Схема установки разгрузочной трубы

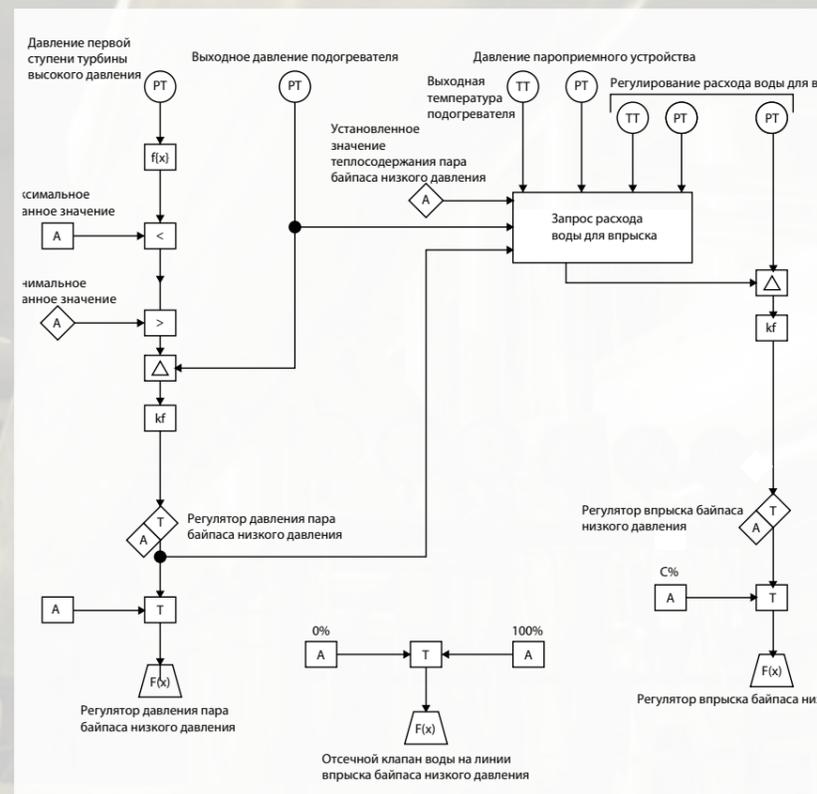


Рисунок 11. Стандартная логика управления байпаса турбины к конденсатору

**Пароприемное устройство:** задачей пароприемного устройства (ПУ) является безопасный сброс пара в конденсатор. Необходимо правильно определить размер, тип и конструкцию трубы для обеспечения допустимых уровней шума и вибрации.

Стандартное максимальное давление при условии полного расхода, используемое для определения размера ПУ, составляет от 4 до 15 бар А. Выбор давления, является важным моментом при определении размера байпаса турбины и сильно влияет на общую стоимость системы. Выбор давления влияет на размер выпускного отверстия клапана, размер выпускной трубы, размер клапана впрыска, тип пароохладителя, размер ПУ и т.д.

ПУ должны иметь размер, подходящий для максимально возможного давления. Это обозначает трубу меньшего размера между клапаном пара и конденсатором, сокращение потребности в установке опорных конструкций и т.д., все это снижает стоимость оборудования. Необходимо уделить внимание тому, что выбранное расчетное давление ПУ не должно влиять на систему распыла воды.

Дизайн ПУ должен также учитывать возможность эрозии из-за двухфазного потока из байпасных систем. Оптимальный дизайн должен исключать риски, связанные с недостаточным размером системы ПУ, а также ненужные затраты на использование системы чрезмерно большого размера.

Шум, генерируемый сбросом из ПУ, является основной характеристикой при проектировании байпасных систем. Шум можно регулировать правильным проектированием системы. Особое внимание следует уделять ПУ для конденсаторов с воздушным охлаждением. Косо имеет технологии, направленные на снижение уровня шума при работе оборудования.

**Алгоритм регулирования:** хорошее регулирование байпасных систем турбины является важным как для обеспечения плавной работы силовых установок, так и для исключения преждевременных поломок компонентов системы, работающих под высоким давлением и в условиях высоких температур. Генерирование сигналов для клапана регулирования расхода воды для распыла является критической задачей с точки зрения регулирования байпасных систем турбины. Стандартный алгоритм управления приведен на Рисунке 11.

Система управления установкой создает сигналы для поддержания соответствующего давления для клапанов пара байпаса турбины. Сигнал для клапана впрыска системы байпаса высокого давления основывается на замкнутой системе управления для поддержания заданного значения температуры. Алгоритм управления расхода воды для распыла рекомендуется для байпаса пара к конденсатору. Технические эксперты КОСО всегда готовы помочь правильно настроить средства управления системой.

## Изготовление на заказ байпасов турбин:

Изготовление на заказ оборудования является больше правилом, чем исключением в отрасли энергетики. Изготовление на заказ может основываться на характеристиках работы системы или на особых требованиях к производительности. В общем, изготовление на заказ подходит для случаев с предварительно определенным расположением трубопроводов, определенных требований к уровню шума, работе оборудования и т.д. Особое внимание может потребоваться обеспечению должного соединения между клапаном пара и парохладителем, между парохладителем и выпускной трубой, для регулирования уровня шума при работе оборудования. Предпочтительно использовать те же самые материалы изготовления, что и для стыков труб для исключения необходимости в сваривании различных материалов в полевых условиях.

Практически во всех случаях требуется совместная работа разработчиков силовой установки и поставщиков байпасной системы. Такая работа создаст эффективные решения, отвечающие всем требованиям и позволяющие получить оптимальную производительность систем. Совместная работа снизит риски при сдаче оборудования в эксплуатацию и при его дальнейшей долговременной работе.



Пример произведенного на заказ байпаса турбины высокого давления с механизмом проточной части Вектор™ и парохладителем для силовой установки для одной из стран из Восточной Европы. Корпус с двумя впускными отверстиями, оборудованный электрическим приводам быстрого действия.

## Техническая литература по теме (предоставляется Косо по запросу):

1. Инструкции по выбору типа и размеров регуляторов давления пара для байпасов турбины.
2. Пароохлаждение для байпасов турбины.
3. Приведение в действие байпасных систем турбины – Обзор требований, доступные опции с рекомендациями.
4. Инструкции по установке байпасов турбин.
5. Байпасные системы турбин – Часто задаваемые вопросы.
6. Байпасные системы турбин – Общие проблемы, причины их появления и возможные решения.



# KOSO

Головной офис  
Нихон КОСО Ко., Лтд.  
1-16-7, Нихомбаши, Чуо-Ку  
Токио, Япония, 103-0027  
Тел.: 81.3.5202.4100  
Факс: 81.3.5202.1511  
[www.koso.co.jp/en](http://www.koso.co.jp/en)

Филиалы Компании в мире:

Китай  
Франция  
Индия  
Россия  
Сингапур  
Южная Корея  
ОАЭ  
Великобритания  
США