

УДК 621.184.623

**ОХЛАДИТЕЛИ ПАРА  
ATTEMPERATORS**

А.Д. Белозёрова, В.С. Баянкова  
Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
levshin@bntu.by

A. Beloziorova, V. Bayankova  
Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** *Фундаментальные принципы проектирования, процессы, происходящие в современных пароохладителях, и попытки использования перегретого пара в электроэнергетике развивались с начала 1930-х годов. Удовлетворение требований к количеству, качеству и постоянству температуры пара является основой традиционной конструкции пароохладителей, особенно для установок комбинированного цикла с быстрым откликом.*

**Abstract:** *The fundamental design principles and process for modern steam desuperheating, or the attemperation of superheated steam in the power generation industry, have been evolving since the early 1930s. Meeting the requirement for steam quantity, quality, and temperature consistency is the foundation of traditional attemperator component design, particularly for fast-response combined cycle plants.*

**Ключевые слова:** *пароохладители, контроль температуры, конструкция, термозонд, клапаны распыления воды.*

**Key words:** *attemperators, temperature control, construction, thermal probe, water spray valve.*

**Введение**

Повышение рабочих температур и мощности паровой турбины, вызванное стремлением повысить эффективность парового цикла, способствует развитию технологий в металлургии. В то же время разнообразные эксплуатационные требования, в том числе цикличность, операции с низкой нагрузкой и его отслеживанием, усложнили проектирование современных электростанций с комбинированным циклом (КЦ).

**Основная часть**

Идеальная система пароохладителей для современной установки с КЦ требует баланса между эффективностью конструкции, гибкостью компонентов и надежностью системы. Быстро меняющаяся нагрузка приводит к сложным рабочим циклам в отдельных частях пароохладителя и последующем оборудовании. Одной из наиболее распространенных конструкций пароперегревателей, используемых сегодня на рынке котлов-утилизаторов, является конструкция с круговым распылением (рисунок 1) [1]. Основная функция этой конструкции состоит в том, чтобы впрыскивать воду перпендикулярно потоку пара через несколько фиксированных или плавающих распылительных форсунок путем про-

никновения в стенку главной паровой трубы и внутреннюю облицовку распылителя или защитный экран, расположенный внутри трубы. Форсунки производят механическое распыление капель воды в поток перегретого пара [2]. В этой конструкции часто используется внешний кольцевой трубопровод к главной паровой трубе для подачи воды к отдельным распылительным форсункам в сочетании с удаленной станцией управления распылительной водой.

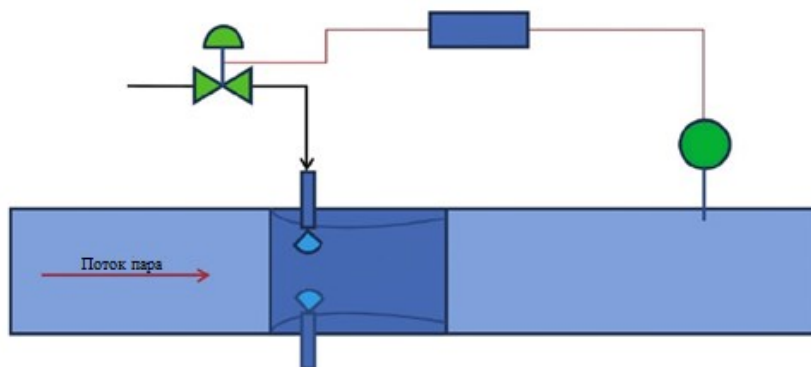


Рисунок 1 – Окружной прямооточный парохладитель [3]

Альтернативная конструкция для контроля температуры пара включает в себя блок зонда (датчика) внутри трубы. Эта конструкция делится на две основные категории: интегрированные блоки (ИБ) и отдельные блоки (ОБ). Интегрированные датчики выполняют функцию клапана регулирования разбрызгиванием внутри рабочего тела (рисунок 2). ОБ предлагают распылитель в виде зонда для распыления воды с дистанционным клапаном управления, разбрызгиванием и внешним трубопроводом подачи воды. Применяют зонд, независимо от того, имеет ли он конструкцию ИБ или ОБ, использует один или несколько зондов для распыления в поток.

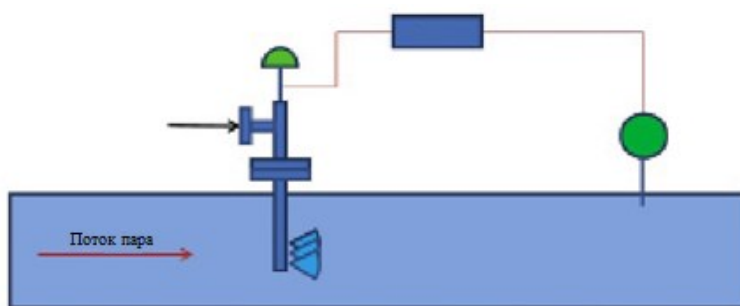


Рисунок 2 – Парохладитель интегрированного блока зондового типа [3]

Независимо от того, является ли парохладительная система окружной или типовой по конструкции, она должна поддерживаться надежными встроенными элементами управления. Размещение, конструкция и функция датчиков температуры имеют решающее значение. Клапан или клапаны управления распылительной водой должны обеспечивать герметичное пере-

крытие, а ручные клапаны, необходимые для изоляции компонентов и системы, должны регулярно проверяться.

Большинство современных паровых котлов-утилизаторов рассчитаны на минимальный или нулевой расход воды при максимальном расходе пара. Установки КЦ, которые управляются с помощью автоматизированных систем управления нагрузкой или автоматического управления производством, будут постоянно сталкиваться с попытками срабатывания перегретого пара при увеличении или уменьшении нагрузки для удовлетворения колеблющегося спроса на мощность [3]. Этот оперативно-диспетчерский режим подчеркнет существующие проектные ограничения системы пароохладительной системы. Общие проблемы отказов системы и компонентов, связанные с экстремальными циклическими режимами, включают:

- Утечка сальника регулирующего клапана разбрызгивающей воды или разрыв сальника.
- Смачивание или попадание капель на термозонды, расположенные ниже по потоку.
- Выход из строя пружины форсунки.
- Растрескивание или эрозия сопла.
- Линейное растрескивание сварного шва (штифт) или полный отказ линии.
- Растрескивание основной паровой трубы.
- Повреждение паровой турбины посторонним предметом.

Компоненты системы пароохладителей спроектированы с расчетом на необходимый срок службы основываясь на подробных трехмерных компьютерных моделях, истории эксплуатации, составе материалов и ожидаемых тепловых циклах, связанных с каждым компонентом. Сокращение срока службы компонентов в системе пароохладителя может быть связано с поддерживающими эксплуатационными системами: условия подачи питательной воды или конденсата, химический состав воды, настройки системы управления или время отклика.

Система управления, установленная на заводе, рассчитанная на базовую нагрузку, может работать по-разному при включении цикла. Функциональные полевые испытания часто подтверждают неточность предварительных заводских настроек. Ниже приведен список поддерживающих параметров, которые следует анализировать и проверять, чтобы минимизировать вероятность повреждения ниже по потоку:

1. Давление подачи питательной воды или конденсата, скорость потока и температура на регулирующем клапане оросительной воды при различных условиях нагрузки;
2. Температурные датчики, рабочая температура и характеристики расположения должны быть проверены и испытаны. Необходимо знать химический состав воды для всей паровой и конденсатной систем при различных условиях нагрузки.

Это оборудование, если оно изначально не предназначалось для циклической работы, может быть перепроектировано или модифицировано для лучшего соответствия текущим условиям эксплуатации. Часто предполагаемая нехватка

питательной воды или емкости для распыления конденсата может быть связана с логической настройкой положения клапана или срабатывания при заданном состоянии нагрузки.

Кроме того, если инфраструктура завода эксплуатируется в течение многих лет и претерпела ряд плановых профилактических и корректирующих действий по техническому обслуживанию регулирующих клапанов, операторы могут заметить незначительную неправильную настройку положения штока регулирующего клапана распылительной воды. Тепловые зонды часто размещаются неправильно во время строительства устройства, что приводит к смачиванию зонда или попаданию капель воды, что приводит к неточному измерению температуры пара.

В дополнение к механическому проектированию и техническим испытаниям очень важно точное прогнозирование распыления капель воды. Однако измерить распыление капель в таких условиях сложно. Если распыление воды в паровую систему отрицательно влияет на способность датчика температуры правильно измерять температуру пара на выходе, то сильное избыточное или недостаточное распыление может привести к увеличению тепловых циклов и повреждению компонентов.

Расположение теплового датчика – это первый шаг в проверке или исключении датчиков как возможного фактора плохой работы системы пароохладителя. Вот два общих правила для измерения и проверки правильности расположения термозондов до и после термостата (в прямой трубе):

– Термозонд, расположенный выше по потоку, должен находиться на расстоянии не менее пяти диаметров трубы от места расположения термостата.

– Термозонд, расположенный ниже по потоку, должен находиться на расстоянии не менее 20 диаметров трубы от места расположения термостата.

### **Заключение**

Эти практические правила следует использовать как быструю проверку существующей установки в прямой трубе для определения того, была ли допущена грубая ошибка при размещении теплового датчика. Эффективный контроль температуры пара необходим для защиты дорогостоящего оборудования, расположенного ниже по потоку. Результаты исследования пароохладителя компании «Тусо» демонстрируют, что конструкции вихревых форсунок обеспечивают повышенную производительность и максимальное использование перепада давления воды для распыления на минимально возможной длине. Оптимизированные углы впрыска вихревых форсунок позволяют равномерно распределять температуру в трубе и обеспечивать максимальный диапазон изменения давления за счет управления массовым расходом, а не давлением. Отсутствие пружин или движущихся частей внутри сопла, а также отсутствие перепада давления и кавитации в регулирующем клапане увеличивает срок службы конструкции вихревого сопла по сравнению с подпружиненными соплами.

### Литература

1. Concept of Desuperheater [Электронный ресурс] / concept of desuperheater. – Режим доступа: <https://instrumentationtools.com/desuperheater/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
2. The Evolution of Steam Attemperation [Электронный ресурс]/ the evolution of steam attemperation. – Режим доступа: <https://www.powermag.com/the-evolution-of-steam-attemperation/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
3. Впрыскивающие пароохладители на ТЭС [Электронный ресурс]/ впрыскивающие пароохладители на ТЭС. – Режим доступа: <https://tesiaes.ru/?p=7287/>. – Дата доступа: 05.04.2021.