

УДК 621.187

**МЕТОДЫ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ**

Олизарович Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Конденсаторы турбин выводятся на химическую очистку при повышении давления отработанного пара по сравнению с нормативными значениями на 0,5 кПа (0,005 кг\*с/см<sup>2</sup>).

Общие требования к выбору оптимального способа очистки конденсаторов и их характеристики:

- полное отсутствие остатков отложений, которые ускоряют образование новых отложений;
- очистка трубок от отложений любого состава, в том числе от механических включений, закупоривающих трубки;
- малое энергопотребление;
- высокий ресурс элементов установок очистки;
- небольшие габариты и масса установки;
- малые расходы воды или другой среды (вода < 2,0 т/ч; воздух < м<sup>3</sup>/мин);
- отсутствие возникновения механических и скрытых повреждений трубок теплообменников при очистке;
- экологическая безопасность;
- приемлемая стоимость очистки.

Существуют химические (реагентные) и безреагентные (механические) методы очистки.

Таблица 1 – Методы очистки конденсаторов

Методы очистки конденсаторов:	
химические (реагентные)	механические (безреагентные) - механическая очистка - метод шариковой очистки - метод очистки водовоздушной смесью - термическая сушка - вакуумная термическая сушка - гидромеханический способ

Химический метод. Он заключается в обработке отложений специальными моющими растворами.

Сущность метода химической очистки заключается в том, что кислоты, вступая во взаимодействие с отложениями в процессе промывки оборудования, растворяют их, переводя не растворимые в воде соли в растворимые.

Практически все моющие растворы по отношению к металлу являются коррозионно-активными. Оптимальными считаются такие методы химической очистки, которые обеспечивают сочетание высокой скорости растворения продуктов коррозии и отложений с минимальной коррозией конструкционных материалов.

Используются следующие методы проведения химических очисток:

- метод травления - без циркуляции раствора. Очищаемый объем заполняется выбранным моющим средством, выдерживается определенное время и сбрасывается. Эта операция повторяется несколько раз до полного удаления отложений. Метод длительный, связан с большими расходами моющих средств. Используется в основном для котлов низких параметров;

- метод принудительной циркуляции моющих растворов с помощью специальных насосов. Является значительно более эффективным, и на ТЭС и АЭС применяют именно его.

Безреагентные методы очистки конденсаторов.

Механическая очистка. Очистка производится щетинными ершами, укрепленными на длинных шомполах и приводимыми в действие вручную, а также с помощью механических, электрических, гидравлических или пневматических устройств; резиновыми цилиндриками или поршеньками, проталкиваемыми через очищаемую трубку шомполами; водой или воздухом под давлением с помощью пистолетов различной конструкции или других устройств; струей воды под большим давлением и в отдельных случаях с примесью песка, воздуха и т.д.

Механическая очистка трубок относится к трудоемким способам, требует больших затрат ручного труда и времени. Иногда используется после проведения химической очистки, если обнаружится, что трубки очищены недостаточно.

Метод шариковой очистки. Эффективным профилактическим методом поддержания чистоты, охлаждающей поверхности конденсаторов может быть очистка трубок эластичными шариками, которые препятствуют образованию внутритрубных отложений трубок конденсатора заключается в циркуляции через трубную систему определенного количества эластичных шариков из пористой резины, которые, касаясь внутренних стенок конденсаторных трубок, счищают приставшие к поверхности загрязнения (рисунок 1). Диаметр шариков может быть, как больше, так и меньше внутреннего диаметра трубок.

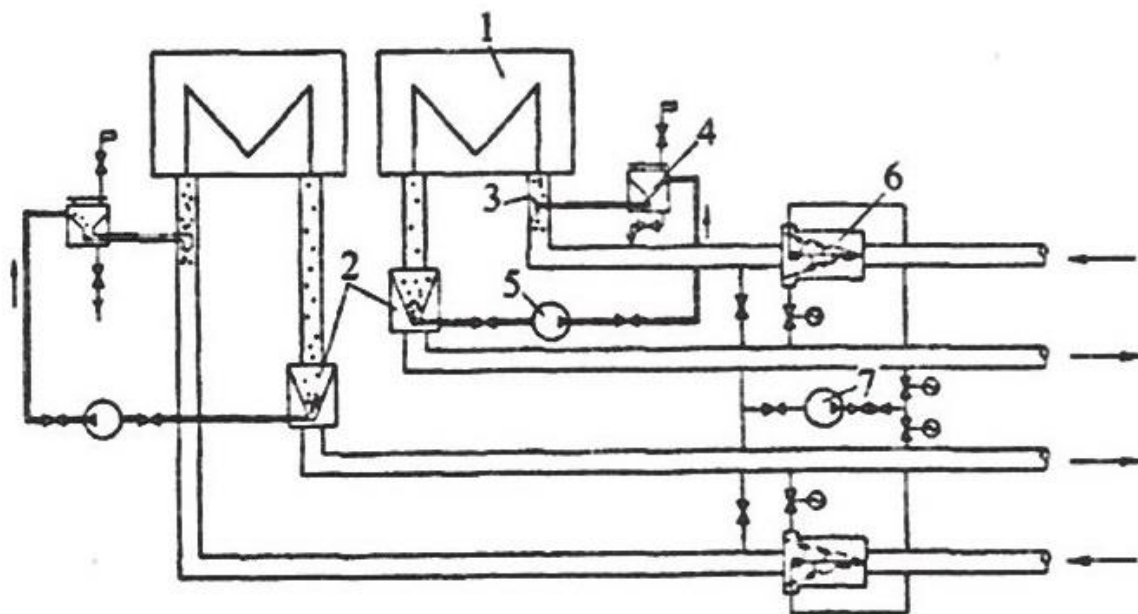


Рисунок 1 – Шариковая очистка трубок конденсатора паровой турбины:

1 – конденсатор; 2 – шарикоулавливающее устройство; 3 – узел ввода шариков в циркуляцию; 4 – загрузочная камера; 5 – насос сортировки шариков; 6 – осевой фильтр предочистки; 7 – насос промывки фильтров.

Накопленный опыт очистки конденсаторов с помощью резиновых монолитных шариков, диаметр которых на 1-2 мм меньше внутреннего диаметра конденсаторных трубок, показал эффективность их применения только для предотвращения образования мягких отложений. При прохождении шарика, диаметр которого меньше внутреннего диаметра трубки, имеет место явление утрамбовки отложений, создающее в дальнейшем трудности при удалении плотного слоя отложений.

Для получения наибольшей эффективности очистки шарики обычно выполняются из губчатой резины с различной степенью жесткости и диаметром на 1-2 мм больше внутреннего диаметра трубок. Под действием разности давлений на входе и выходе из трубки шарики продавливаются, касаясь стенок всем периметром. Эффективность очистки увеличивается, но существует опасность застревания шариков в трубках.

Резиновые шарики, первоначально помещенные в загрузочную камеру, вводятся струйным насосом в напорную линию конденсатора. Плотность шариков соизмерима с

плотностью воды. За счет градиента давления между входной и выходной водяными камерами шарики сжимаются и вместе с потоком воды проходят через трубки, счищая отложения, не имеющие прочного сцепления со стенкой. Частицы отложений уносятся потоком, а шарики улавливаются на выходе решеткой или сеткой и с помощью насоса возвращаются в цикл. Для удаления изношенных шариков и восполнения их количества предусмотрены устройства ввода и вывода шариков.

Подвод шариков может осуществляться непрерывно, периодически и залпами. При непрерывной очистке система работает вместе с конденсатором, а шарики заменяются по мере их износа. Количество циркулирующих шариков составляет обычно 10-15% от количества трубок. Шарик обегает контур за 30-40 с, попадая в каждую трубку в среднем через 5 мин. При скорости 2 м/с и общей длине двух ходов конденсаторных трубок 18 м за 10 ч непрерывной циркуляции шарик проходит путь 20 км. Периодически (раз в неделю) происходит сбор, измерение степени износа и замена шариков. Степень износа шариков зависит от материала, из которого они выполнены, и характера загрязнений. Особенно интенсивный износ наблюдается в первые часы работы, затем он стабилизируется и составляет от 0,005 до 0,02 мм/ч. Периодичность замены составляет порядка 400-900 ч непрерывной циркуляции.

При периодической очистке шарики циркулируют по контуру в течение определенного периода времени (например, 2 ч в сутки). При залповой системе шарики проходят через трубную систему один раз, после чего они все собираются в загрузочную камеру до следующего залпа. Для обеспечения такой же частоты прохождения шариков по трубкам требуется загрузка шариков в 4-6 раз большая, чем при непрерывной очистке. Равномерность распределения шариков по трубкам практически не зависит от способа подачи, а определяется в основном равномерностью скорости потока воды в водяной камере, соответствием плотности шариков плотности охлаждающей воды и конструкцией узла ввода шариков в циркуляционный водовод.

Метод очистки водовоздушной смесью. Метод очистки водовоздушной смесью заключается в периодической подаче воздуха в воду, охлаждающую работающий конденсатор, что обеспечивает удаление рыхлых илистых и органических отложений, слабо сцепленных со стенкой трубки. Эффект очистки реализуется за счет возникновения дополнительных тангенциальных напряжений в пристенной области и самих отложениях, флотации воздушными пузырьками дисперсных частиц примесей, уменьшения толщины или возмущения пристенного ламинарного подслоя.

При осуществлении водовоздушной очистки конденсатора необходимо организовать равномерное распределение водовоздушной смеси по всему трубному пучку, определить оптимальные и максимально допустимые расходы воздуха при различных расходах охлаждающей воды.

Равномерность распределения водовоздушной смеси по всем трубкам пучка достигается установкой специальных коллекторов различной конструкции во входной водяной камере или напорном водоводе конденсатора. Равномерность раздачи смеси по пучку зависит от скорости воды в водяной камере. С увеличением скорости воды равномерность распределения смеси повышается.

По данным ряда исследователей оптимальное газосодержание составляет 6-9 % от начального расхода циркуляционной воды. С увеличением газосодержания средний размер пузырей и частота их следования увеличиваются, при этом наблюдается группировка пузырей, приводящая при газосодержании, большем 10 %, к волновому движению смеси в трубке. При увеличении расходов воздуха выше допустимых может происходить скопление воздуха в верхней части сливной водяной камеры и прекращении циркуляции охлаждающей воды через конденсатор.

Термическая сушка. Этот способ может быть применен для удаления отложений, обладающих способностью к растрескиванию и отслаиванию при высыхании. К открытому люку водной камеры подсоединяют легкий металлический короб или один конец гибкого

рукава (например, изготовленного из брезента), другой конец рукава соединяют с напорным патрубком специально устанавливаемого вентилятора (рисунок 2).

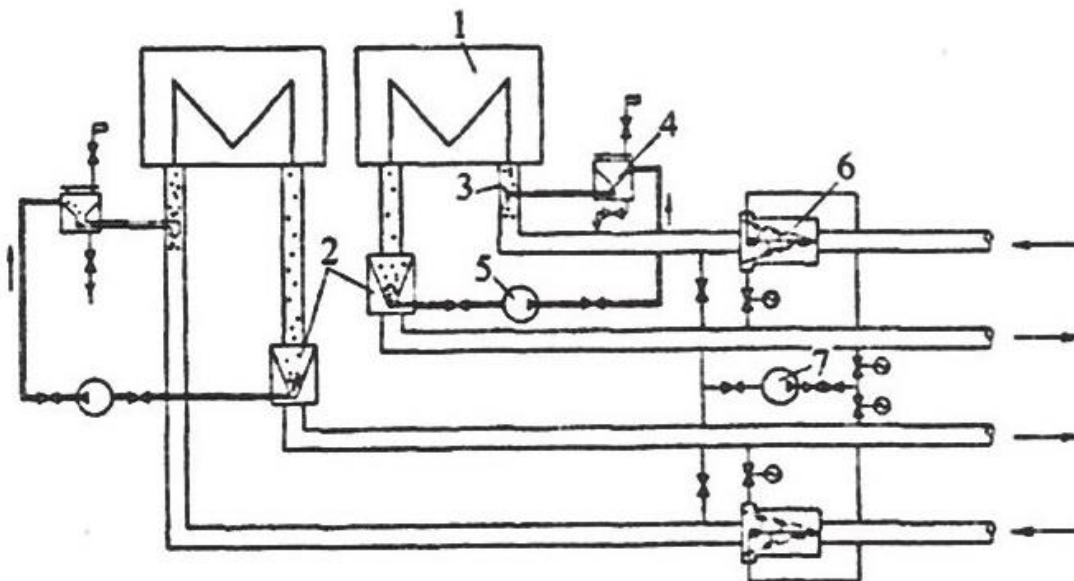


Рисунок 2 – Схема сушки в трубах конденсатора:  
1 – конденсатор; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – гибкий рукав.

Для ускорения и повышения эффективности сушки осуществляется подогрев трубной системы конденсатора или сушильного воздуха. Подогрев воздуха до температуры 50-60 °С может быть осуществлен в калорифере или путем подмешивания горячего воздуха, отобранного после воздухоподогревателя котла. Для подогрева трубок конденсатора при их очистке на работающей турбине должен быть ухудшен вакуум (повышена температура отработавшего пара). На остановленной турбине подогрев может быть осуществлен путем подачи в конденсатор папа от постороннего источника. Может быть также использовано аккумулированная теплота после останова блока.

Нагрев трубок до 50-60 °С можно осуществлять и горячей водой, поданной в паровое пространство конденсатора после остановки турбины. После высыхания отложения растрескиваются и отслаиваются от стенок трубок, частично отпадают, частично уносятся с воздухом. Оставшиеся отложения после подключения конденсатора удаляются потоком воды. Продолжительность сушки при применении различных способов подогрева составляет от 4 до 6 ч, а при использовании холодного воздуха продолжительность сушки может достигать 12-24 ч.

Применение термической сушки позволяет обеспечить снижение недогрева воды до температуры насыщения в конденсаторе на величину от 2 до 4 °С.

Наибольший выигрыш во времени получается в результате применения комбинированного способа, при котором одновременно осуществляются ухудшение вакуума и подогрев воздуха.

Вышеприведенные способы достаточно просты, удобны в эксплуатации, не требуют больших трудозатрат. Механический износ трубок отсутствует. Однако в ряде случаев эти способы не обеспечивают полного удаления отложений даже при сушке продолжительностью до 18 ч. Со временем при многократном применении эффект может уменьшаться, что потребует использования других способов очистки. Сушку невозможно выполнять при неисправности арматуры по охлаждающей воде.

Вакуумная термическая сушка. Она позволяет произвести удаление отложений при работе турбины без вскрытия люков конденсатора и в короткий срок. В отключенной и осушенной водяной камере конденсатора создается вакуум более глубокий, чем в паровом пространстве конденсатора работающей турбины, при этом происходят вскипание и

выпаривание влаги, содержащейся в отложениях. Конденсация образующегося пара осуществляется в конденсаторе смешивающего типа.

Образовавшийся конденсат удаляется в сливной водовод. Удаление воздуха из смешивающего конденсатора осуществляется по трубопроводу эжектором (используются резервный и основной эжекторы).

Для успешного выполнения вакуумной сушки необходимо обеспечивать высокую герметичность трубопроводов охлаждающей воды. Такой способ позволяет выполнить сушку отключенной половины конденсатора всего за один час. После подключения конденсатора к циркуляционной системе отложения смываются потоком воды.

Гидромеханический способ. Способ заключается в гидромеханическом разрушении твердых (как правило, карбонатных) отложений на внутренней поверхности трубок теплообменников методом скалывания вращающейся роликовой насадкой или конической зубчатой коронкой (соответственно роликами или зубьями со специальным профилем) с последующим удалением отложений потоком движущейся воды.

Установка под наименованием состоит из следующих основных узлов: ротационного пневмомотора, работающего от источника сжатого воздуха давлением 0,63 МПа с расходом 1,5 м<sup>3</sup>/мин; подводящего воздушного штуцера редуктора со сменными блоками шестерен, позволяющими иметь на выходе установки четыре скорости вращения выходного вала; водяной насадки, позволяющей подавать воду от приемного штуцера внутрь оболочки гибкого вала и далее к очистному инструменту; блоков подачи воды и воздуха; ручки для переноски установки.

На рисунке 3 показана схема очистки трубок теплообменников роликовой насадкой.

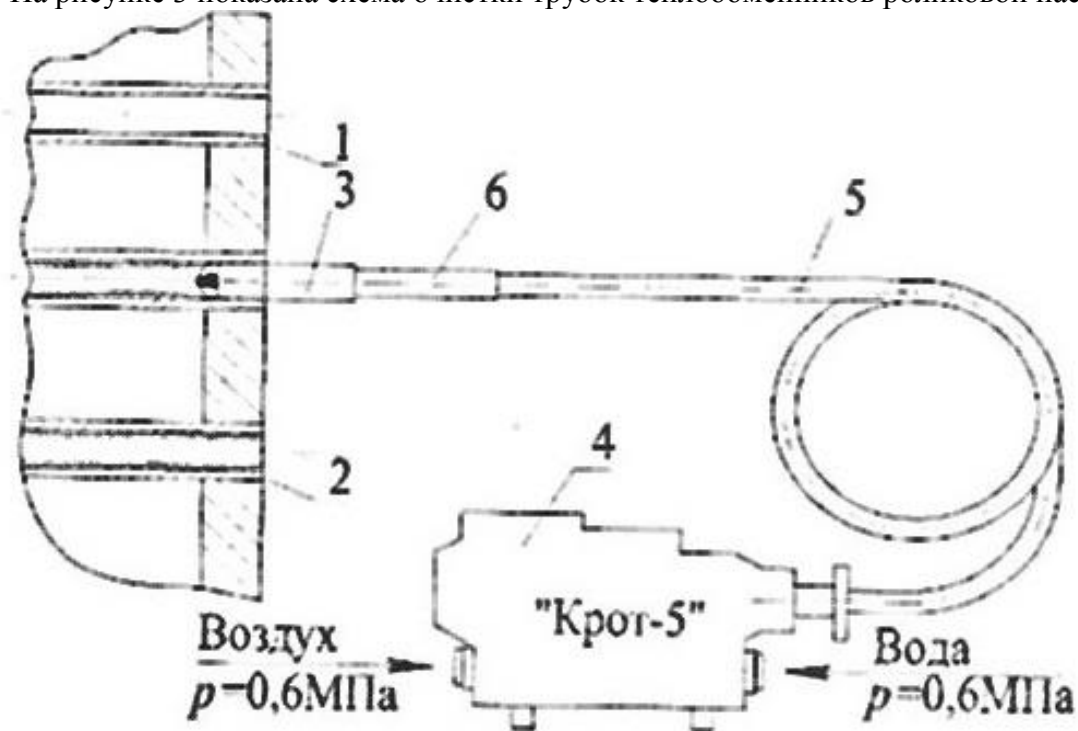


Рисунок 3 – Схема очистки трубок теплообменников роликовой насадкой:

- 1 – трубки теплообменника; 2 – отложения на поверхности трубок;
- 3 – роликовая насадка; 4 – пневмогидравлическая установка;
- 5 – гибкий вал; 6 – державка.

Для очистки трубок теплообменников с внутренним диаметром от 20 до 25 мм и толщиной отложений 2 до 3 мм на сторону применяется роликовая насадка, которая вращается от пневмогидравлической установки «Крот-5» через гибкий вал и державку. Вода внутри оболочки гибкого вала через специальные каналы державки и роликовой насадки подается непосредственно в зону скалывания отложений и потоком вымывает их вперед по ходу очистного инструмента.



Для очистки твердых отложений необходимо прилагать осевое усилие к очистному инструменту, а в случае мягких отложений происходит самоввинчивание.

На рисунке 4 показана схема очистки трубок теплообменников зубчатыми коронками.

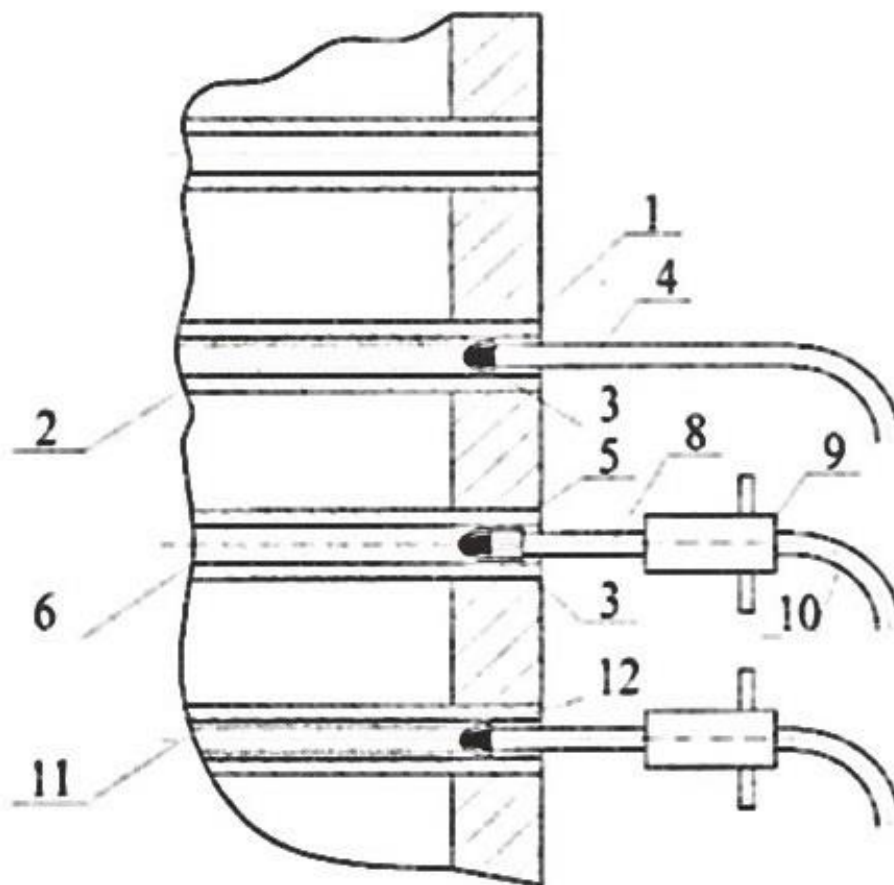


Рисунок 4 – Схема очистки трубок теплообменников зубчатыми коронками:

1,5 – трубки теплообменника; 2,11 – отложения толщиной до 2мм; 3,7,12 – зубчатая коронка; 4 – гибкий вал; 6 – твердые сплошные отложения; 8 – составная штанга; 9 – жершавка; 10 – усиленный гибкий вал.

Для очистки трубок теплообменников с внутренним диаметром от 13 до 25 мм и толщиной отложений до 2 мм на сторону применяется зубчатая коронка, которая вращается от гибкого вала. Данная схема очистки применяется для мягких и рыхлых отложений. Для очистки трубок с твердыми сплошными отложениями применяется зубчатая коронка, составная штанга, державка и усиленный гибкий вал. При этом для уменьшения усилия, передаваемого гибким валом, желательнее очистку производить в два прохода: сначала проделать отверстие в полностью забитой трубке, а затем дочистить оставшиеся отложения зубчатой коронкой.

Установку «Крот-5» предпочтительнее применять на электростанциях и в котельных при наличии сжатого воздуха: давлением 0,63 МПа, значительном загрязнении (включая полностью перекрытое сечение) трубок из любого материала при различных сроках эксплуатации. Способ может использоваться на месте, установки теплообменников без их демонтажа при сравнительно незначительных расходах и высокой скорости очистки. Недостатком является сравнительно малый срок работы коронок зубчатых и головок роликовых насадок при очистке трубок от твердых отложений, что требует их периодической замены, возможно повреждение очищаемых труб.

#### Выводы

При выборе способа очистки необходимо учитывать ряд дополнительных факторов:

- материал трубок (латунь, нержавеющей сталь, углеродистая сталь);

- состав отложений (карбонатные, железистые, смешанные, илистые, песчано-каменистые);
- наличие полностью забитых отложениями или пробками трубок и их количество;
- допустимые сроки очистки;
- коррозионное состояние трубок теплообменников;
- стоимость очистки в сопоставимых ценах.

#### **Литература**

1. Чиж В.А. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий, А.В. Нерезько, М., 2010