

УДК 612.175-192:621.039

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО И СМЕШАННОГО ТИПА

Г. И. Канюк

Профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой*

Д. В. Михайский

Старший преподаватель*

Л. Н. Омельченко

Доцент*

И. К. Кириченко

Доктор физико-математических наук, профессор
Кафедра высшей и прикладной математики**

Контактный тел.: (057) 733-78-30

В. В. Червоний

Ассистент*

А. Р. Мисько

Ассистент*

*Кафедра теплоэнергетики и энергосбережения**

Контактный тел.: (057) 733-79-43

**Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина

Розглянуто основні причини зниження економічності та надійності конденсаційних пристроїв. Досліджено і розроблено систему кулькового очищення трубок конденсаторів. Запропоновано конструкцію фільтрів очищення води, що охолоджує. Проаналізовано і обґрунтовано вживання «сухих» градирень

Ключові слова: конденсаційний пристрій, фільтр очищення води, «суха» градирня

Рассмотрены основные причины снижения экономичности и надежности конденсационных устройств. Исследована и разработана система шариковой очистки трубок конденсаторов. Предложена конструкция фильтров очистки охлаждающей воды. Проанализировано и обосновано применение «сухих» градирен

Ключевые слова: конденсационное устройство, фильтр очистки воды, «сухая» градирня

Principal reasons of decline of economy and reliability of condensation devices are considered. Investigational and developed system of the ball-shaped cleaning of tubes of condensers. The construction of filters of cooling water treatment is offered. Analysed and grounded application of «dry» cooling tower

Keywords: condensation device, filter of water treatment, «dry» cooling tower

1. Введение

Работа конденсационного устройства оказывает существенное влияние на эффективность турбоустановки. Даже при неизменных начальных параметрах пара турбины (P_0 , t_0 , G_0) условия работы ее выхлопной части в значительной степени зависят от давления в конденсаторе P_K .

Повышение P_K из-за уменьшения расхода охлаждающей воды или увеличения ее начальной температуры, а также из-за нарушения работы конденсационного устройства уменьшает располагаемый теплотерпад в турбине, что приводит к снижению термического КПД цикла [1].

2. Постановка проблемы

Повышение термического сопротивления конденсационного устройства является одной из при-

чин ухудшения вакуума, которое может происходить вследствие увеличения термического сопротивления загрязнения трубок конденсатора, а также гидравлического сопротивления конденсатора, сопровождающееся уменьшенным расходом охлаждающей воды.

Кроме того загрязнения, попадающие в конденсатор с охлаждающей водой, приводят к закупорке трубок, вызывают коррозионные и эрозионные повреждения трубной системы с последующей разгерметизацией конденсатора и нарушением водно-химического режима.

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента теплопередачи от коэффициента чистоты $K = f(\infty)$ для $d = 26$ мм, $t = 15^\circ\text{C}$, $\omega = 1,5-2,5$ м/с.

В отечественной практике при проектировании конденсационных устройств как правило принимается $\alpha = 0,85$. После создания и внедрения в эксплуатацию систем шариковой очистки (СШО) и фильтров очистки охлаждающей воды конденсаторов принимается $\alpha = 0,9$ [3].

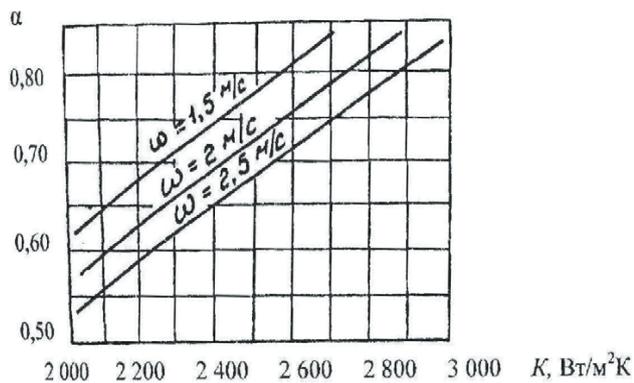


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопередачи от коэффициента чистоты

3. Анализ и результаты исследований

Исследование и разработка систем шариковой очистки трубок конденсаторов. Для защиты конденсаторных трубок от коррозии и биологического обрастания применяются хлорирование, впрыскивание сернистого железа, катодная защита системы шариковой очистки, обратная промывка, термическая сушка и другие методы. Выбор метода зависит от характеристики сплава, из которого изготавливаются трубки, от качества охлаждающей воды и других условий эксплуатации.

В последнее время с учетом требований экологии и общественного мнения введение в охлаждающую воду любых химикатов, включая хлор и сернистое железо, нежелательно или вовсе запрещено.

Все перечисленные выше методы очистки внутренних поверхностей трубок можно условно разделить на две группы: периодического действия и непрерывного действия. Как уже указывалось ранее, степень загрязнения конденсаторных трубок оказывает прямое влияние на коэффициент теплопередачи, от которого в свою очередь зависит вакуум в конденсаторе.

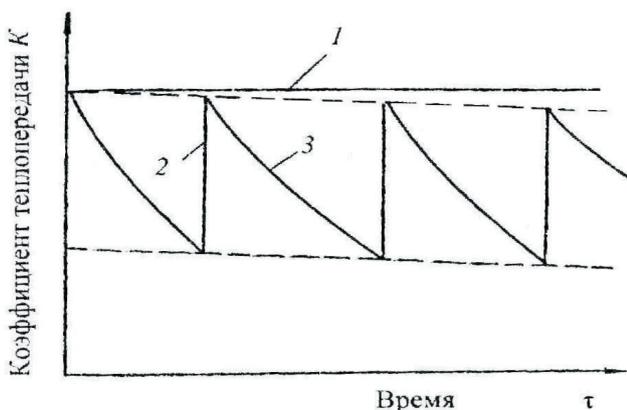


Рис. 2. Изменение коэффициента K в конденсаторе при непрерывной и периодической очистках: 1 — непрерывная очистка; 2 — периодическая очистка; 3 — интервал между периодическими очистками

На рис. 2 показана зависимость изменения коэффициента теплопередачи K от метода очистки (не-

прерывного и периодического). При периодической очистке трубок коэффициент теплопередачи изменяется ступенчато в зависимости от частоты периодов очистки, т. е. конденсатор практически все время работает в нерасчетных режимах, в то время как при непрерывном методе очистки коэффициент теплопередачи K остается постоянным [2].

Не вдаваясь в более глубокий анализ особенностей каждого принципа очистки, можно с большой степенью достоверности утверждать, что наиболее предпочтительным является метод непрерывной очистки трубок конденсаторов.

На НПО “Турбоатом” были выполнены исследовательские и конструкторские работы по созданию модернизированных систем шариковой очистки (СШО) конденсаторов [5, 7].

СШО предназначена для поддержания чистоты внутренних поверхностей трубок конденсатора и очистки их от механических и других отложений. СШО работает непрерывно в процессе эксплуатации конденсационной установки. Необходимое количество шариков (10% от количества трубок в конденсаторе) из губчатой резины диаметром, превышающим на 2 мм внутренний диаметр трубок, подается в напорный циркуляционный водовод конденсатора. Вместе с охлаждающей водой шарики проходят через трубки и очищают их.

На основании опыта эксплуатации были разработаны новые конструкции основных узлов СШО: шарикоулавливающее устройство, камера для загрузки и выведения шариков из системы, а также определены так называемые “застойные зоны” в водяных камерах конденсаторов и выданы рекомендации для их реконструкции [6].

Новая конструкция шарикоулавливающего устройства выполнена с возможностью самоотмывки части трубок конденсатора, наиболее подверженной загрязнению в процессе эксплуатации, а созданная конструкция загрузочной камеры значительно упростила схему эксплуатации СШО.

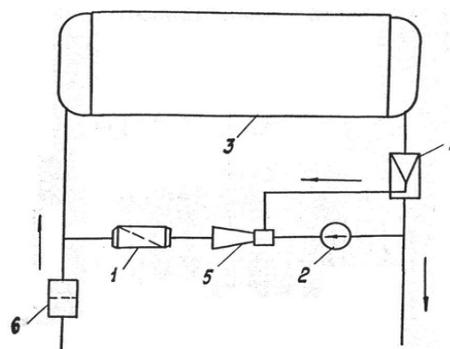


Рис. 3. Схема шариковой очистки трубок конденсатора: 1 — загрузочное устройство; 2 — насос; 3 — конденсатор; 4 — шарикоулавливающее устройство; 5 — эжектор; 6 — фильтр очистки охлаждающей воды

На рис. 3 схематично показана система очистки воды и трубок конденсатора. Шарики поступают в загрузочную камеру 1 и посредством насоса 2 подаются в напорный циркуляционный водовод и в трубки конденсатора 3, очищают их внутреннюю поверхность и

улавливаются в шарикоулавливающем устройстве 4. Уловленные шарики отсасываются эжектором 5. Цикл повторяется. На напорном циркуляционном водоводе устанавливается фильтр для очистки воды от механических загрязнений 6.

На основании опыта эксплуатации усовершенствованных СШО на нескольких турбоустановках можно утверждать, что принятые решения по реконструкции СШО являются оптимальными и обеспечивают надежную работу системы и поддержание чистоты внутренних поверхностей трубок конденсаторов. При этом установлено, что обязательным условием обеспечения эффективной работы СШО является предварительная химическая отмывка трубок конденсаторов для удаления остатков отложений, не снятых с помощью других методов очистки [4, 6].

Исследование и создание конструкции фильтров очистки охлаждающей воды. Опыт эксплуатации конденсационных установок свидетельствует, что применение систем шариковой очистки без предварительной очистки охлаждающей воды перед конденсатором является малоэффективным из-за наличия в ней большого количества загрязнений (ракушки, водоросли, щепы, рыба и др.), которые препятствуют нормальной циркуляции шариков. Установленные на береговых насосных станциях очистные устройства, как правило, не решают эту проблему из-за конструктивных дефектов.

После проведения комплекса научно-исследовательских работ на НПО "Турбоатом" была разработана конструкция фильтра очистки охлаждающей воды. Фильтр является первой отечественной конструкцией, в которой применен принцип отмывки собственно фильтрующего элемента обратным током охлаждающей воды без использования постороннего источника. Экспериментальные исследования моделей отдельных элементов фильтра проводились совместно с ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского. Результаты испытаний позволили определить оптимальную перфорацию и толщину фильтрующей решетки, равномерность распределения скоростей по ее длине при закрытии заслонки на подаче очищаемой воды, оптимальный угол раскрытия конического фильтрующего элемента и влияние на гидравлическое сопротивление фильтра [3].

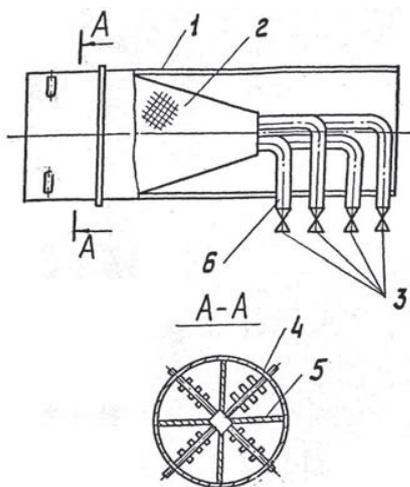


Рис. 4. Фильтр очистки воды

Фильтр (рис. 4) содержит корпус 1, диаметр которого равен диаметру циркуляционного водовода, фильтрующий элемент 2 в виде усеченной конической обечайки, направленной большим основанием в сторону потока и разделенной по оси перегородкой 5 на четыре равных сектора, каждый из которых снабжен на входе воды поворотной заслонкой 4, и на выходе трубопроводом 6 с запорной арматурой для отвода загрязнений. Фильтрующий элемент выполнен из нержавеющей стали толщиной 3 мм, имеет форму конической обечайки с отверстиями диаметром 8 мм. Угол раскрытия конуса фильтрующего элемента равен 45°, осевая длина соответствует диаметру фильтра. Расчетное гидравлическое сопротивление чистого фильтра при скорости охлаждающей воды 2,5 м/с составляет 900 мм вод. ст. (8,625 кПа).

Очистка собственно фильтрующего элемента от загрязнений производится путем одновременного закрытия поворотной заслонки 4 на входе в очищаемый сектор фильтрующего элемента и открытия запорной арматуры 3 на трубопроводе 6 слива загрязнений из того же сектора. Вынос загрязнений из фильтрующего элемента осуществляется за счет перепада давлений за фильтром и внутри очищаемого сектора. Открытие и закрытие поворотных заслонок и запорной арматуры каждого сектора фильтра осуществляется автономно, автоматизировано и происходит при достижении заданного значения перепада давлений охлаждающей воды Р до и после фильтра. Контролируются также перепады давлений на входе и выходе воды из трубопроводов загрязнений. Функциональное управление фильтром вводится в систему защит и блокировок либо в схему АСУТ турбоустановки. Первые образцы таких фильтров уже изготовлены для турбин К-750-65/3000 и К-1000-60/1500-2.

В процессе продолжения исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию указанного оборудования была разработана новая конструкция самоочищаемого компактного фильтра, длина которого равна диаметру циркуляционного водовода (может быть и меньше). Это дает возможность компоновать фильтр на вертикальном участке циркуляционного водовода в непосредственной близости от конденсатора.

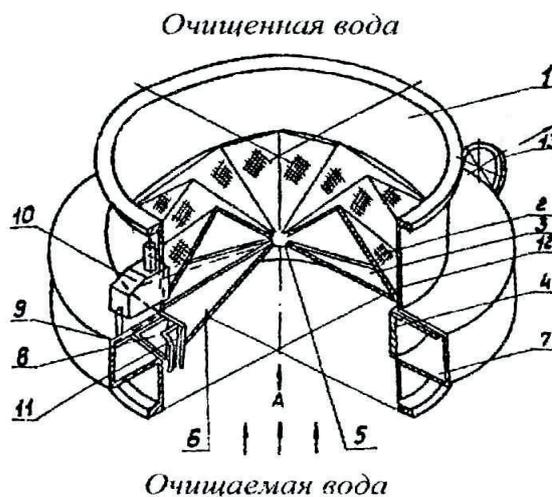


Рис. 5. Фильтр очистки охлаждающей воды

Фильтр, изображенный на рис. 5, содержит цилиндрический корпус 1, в котором встроена перфорированная фильтрующая поверхность 2, имеющая отверстия диаметром порядка 3–10 мм и разделенная ребрами-перегородками 3 на секторы. При этом ребра-перегородки служат для обеспечения жесткости фильтрующей поверхности. Внутри корпуса установлена поворотная (вращающаяся) обечайка 4, имеющая общую ось вращения 5 с закрепленной на ней заслонкой 6 обратной промывки. Заслонка связана с трубопроводом 7, выполненным в виде кольцевого коллектора прямоугольного сечения, установленного вне проточной части фильтра на внешней стороне корпуса.

Роль внутренней стенки коллектора выполняет вращающаяся обечайка 4, прилегающая к корпусу и имеющая отверстие 8, служащее для слива загрязнений из внутренней полости фильтра в трубопровод-коллектор 7. Отверстие 8 расположено напротив заслонки. Фильтр снабжен приводной зубчатой передачей 9, приводимой во вращение приводом 10, который установлен вне проточной части фильтра на внешней стенке корпуса. Для улучшения удаления загрязнений из трубопровода-коллектора 7 на внешней стороне вращающейся обечайки установлен скребок 11. На ребрах-перегородках 3 в местах сопряжения с заслонкой 6 закреплен уплотнительный резиновый жгут 12.

Для вывода загрязнений предусмотрен патрубок 13, установленный на кольцевом коллекторе. Очистка фильтрующего элемента осуществляется по аналогии с ранее описанным фильтром, т. е. обратным потоком воды. Расчетное гидравлическое сопротивление такого фильтра находится в пределах 350 мм вод. ст.

Исследование конденсаторов смешивающего типа. Анализ и технико-экономическое обоснование применения «сухих» градирен. Дефицит воды в районах строительства ТЭС и АЭС, а также попытка сократить экологическое равновесие привели к необходимости проектирования «сухих» систем охлаждения с промежуточным теплоносителем, т. е. «сухих» градирен со смешивающими или поверхностными конденсаторами.

Несмотря на известные недостатки «сухих» систем охлаждения (большие капиталовложения, значительное снижение мощности турбин в летнее время и др.) по сравнению с оборотными и прямоточными системами охлаждения, «сухие» системы имеют ряд преимуществ [10]:

- в качестве охлаждающей среды используется воздух – практически неограниченный ресурс;
- исключается потребность в воде, забираемой из постороннего источника (кроме незначительных расходов на подпитку);
- устраняются проблемы, связанные с распространением паровлажностного факела из испарительных градирен и потерями охлаждающей воды;
- исключается проблема сбросов продувочных вод испарительных градирен, засоление почвы и воды охлаждающих водоемов;
- местоположение ТЭС и АЭС не привязано к источнику водоснабжения, что упрощает проблему выбора площадок для новых электростанций и дает

возможность расположения их вблизи источников топлива;

– улучшается воднохимический режим турбоустановок, что значительно повышает их надежность.

Кроме того, выброс в атмосферу паровлажностных потоков из испарительных градирен может вызвать обледенение ЛЭП, зданий и сооружений в зимнее время, туманообразование, выпадение кислотных осадков, что полностью исключается при эксплуатации сухих градирен. Электростанции с сухими градирнями предполагают применение как поверхностных, так и смешивающих конденсаторов.

Известные зарубежные энергомашиностроительные фирмы отдают предпочтение как тем, так и другим конденсаторам.

Например, фирма GEA (Германия) проектирует и поставляет «сухие» системы охлаждения с поверхностными конденсаторами, а такие фирмы, как EGI (Венгрия), Lummus (Голландия) предпочитают конденсаторы смешивающего типа (КСТ) [8, 9].

КСТ имеет следующие преимущества по сравнению с поверхностным конденсатором:

- более низкий температурный напор (0,5–1,0°С против 4–5°С в поверхностном конденсаторе);
- меньшую (~ 1,5 раза) кратность охлаждения;
- отсутствие трубной системы, что влечет за собой меньшую его стоимость, исключение проблем загрязнения и гидравлической плотности;
- простота и надежность в эксплуатации.

Конструкция КСТ (рис. 6) представляет собой сварной корпус 1, ужесточенный ребрами-перегородками 2 и стальными трубками, расположенными внутри корпуса.

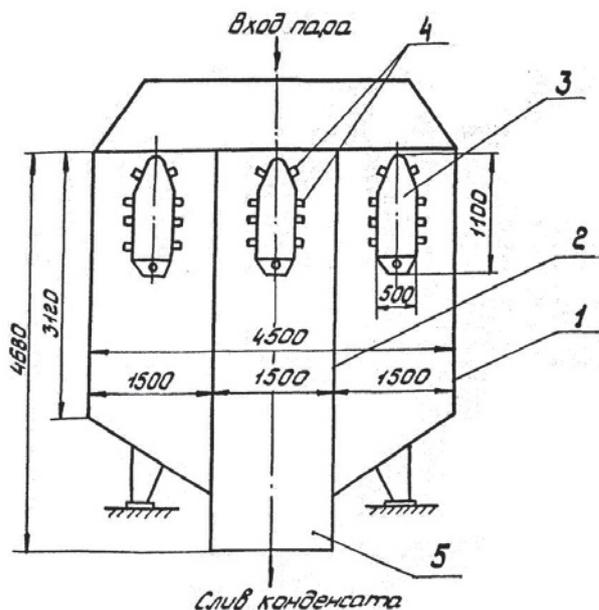


Рис. 6. Конденсатор смешивающего типа

Охлаждающая вода (конденсат) подается в паровое пространство конденсатора через водяные камеры 3 и форсунки 4, расположенные на входе пара в конденсатор.

Пар, соприкасаясь с разбрызгиваемой водой, конденсируется и стекает в конденсатосборник 5, затем откачивается для охлаждения в «сухую» градирню.

Часть конденсата отдельными насосами подается в систему регенерации.

В соответствии с известными прототипами конструкций конденсаторов смешивающего типа (КСТ) процесс конденсации пара осуществляется согласно основным формам реализации тепломассообмена с охлаждающей водой (рис. 6). К этим формам относится конденсация: на поверхности полидисперсного ансамбля капель, продуцируемого системой форсунок; на поверхности пленки воды, стекающей по плоским элементам конструкции (щитам), разделяющим отсеки конденсатора; пара на наружной поверхности коллектора.

4. Выводы

Для повышения экономичности и надежности конденсационных устройств поверхностного и смешанного типов предлагается:

- применение систем шариковой очистки трубок конденсаторов и фильтров очистки охлаждающей воды (по данным электростанций, где установлены системы шариковой очистки НПО «Турбоатом», прирост мощности от их внедрения составляет от 1,5 до 2% [3]);
- применение «сухих» градирен, что не только повышает надежность турбоустановок, но и улучшает экологическую ситуацию.

Кроме того, в статье рассмотрены основные преимущества конденсаторов смешивающего типа по сравнению с поверхностными конденсаторами.

Литература

1. Аркадьев Б. А. Режимы работы турбоустановок АЭС / Б.А. Аркадьев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 264 с.
2. Ахтенберг М.А. Анализ теплотехнических показателей и практической эффективности установок очистки конденсаторов турбин / М.А. Ахтенберг // Теплоэнергетика за рубежом. – 1966. – Вып. 9. – С. 26–29.
3. Асланян Г.Н. Разработка НПО «Турбоатом» по повышению экономических показателей конденсационных устройств турбоустановок / Г. Н. Асланян, В. И. Муравьев, В. М. Черненко и др. // Электрические станции. – Харьков, 1990 – Вып. № 2. – С. 30–34.
4. Вирченко М.А. Развитие и совершенствование турбоустановок для ТЭС / М. А. Вирченко, Ю. Ф. Косяк, Л. А. Зарубин и др. // Энергетик. – 1991. – С. 5–8.
5. Муравьев В.И. Системы очистки охлаждающей воды и трубконденсаторов турбин / В.И. Муравьев // Материалы отраслевого научно-технического семинара. – Южно-Украинск, 1990.
6. Муравьев В.И. Системы шариковой очистки конденсаторов турбин и фильтры очистки охлаждающей воды конструкции НПО «Турбоатом» / В.И. Муравьев // Материалы отраслевого семинара «Предотвращение загрязнений и очистка от них теплообменных аппаратов и охладителей электростанций». – Киев, 1990.
7. Муравьев В.И. Пути повышения надежности и экономичности конденсационных устройств ТЭС и АЭС / В.И. Муравьев // Сборник ХИПЭ.
8. Охладительные системы Геллера для электрических станций. Референц-лист. ф. EGI Венгрия, 1991.
9. Техническое предложение ф. Lummus на разработку и поставку воздушного конденсатора для турбины 200 МВт / Lummus Heat Transfer System. – Голландия, 1991.
10. Фон Клеве Х. Электростанции с охлаждаемыми воздухом конденсаторами и их значение для будущего / Фон Клеве Х. // ВВК. – 1988. – № 11. – С. 26–39.