

Снижение расхода охлаждающей воды на конденсацию отработавшего пара турбин

Ежов В. С., доктор техн. наук

Юго-Западный государственный университет, Курск

Приведена схема конденсации отработавшего пара турбин в конденсаторе с капиллярной насадкой. Рассмотрены принципы его работы, а также экономическая и экологическая эффективность использования капиллярной конденсации для ТЭС.

Ключевые слова: капиллярный конденсатор, гидрофильное свойство, насадка, отработавший пар, турбина, водоснабжение, охлаждающая вода.

Суммарный удельный расход охлаждающей воды на 1 кВт установленной мощности ТЭС для конденсационных турбин приближенно составляет [1]: при малых турбинах низкого давления — 0,35 – 0,45, при крупных турбинах среднего давления — 0,2 – 0,25, при крупных турбинах высокого давления — 0,15 – 0,2 м³/ч. Основные потребители охлаждающей воды на современных ТЭС — конденсаторы. Расход ее на ТЭС с конденсационными турбинами достигает 88 – 94 % общего водопотребления [2]. На ТЭС с теплофикационными турбинами ее расход зависит от количества пара, отбираемого на теплофикационные и технологические нужды внешних потребителей. Охлаждающая вода подается в конденсаторы, где отработавший в турбине пар конденсируется за счет теплообмена с ней, после чего нагретая вода направляется на охлаждение. Количество конденсируемого пара даже при самых оптимальных условиях равно 2,0 – 2,5 кг на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии. Связь между количеством отработавшего пара, подаваемого на конденсацию, и удельным расходом охлаждающей воды в конденсаторах определяется зависимостью, полученной из совместного решения уравнений материального и теплового балансов [1]:

$$q = gr/c\Delta t,$$

где q — удельный расход охлаждающей воды, кг/с; g — удельный расход пара, кг/с; r — теплота конденсации пара, кДж/кг; Δt — разность между конечной и начальной температурами охлаждающей воды, °С; c — средняя теплоемкость охлаждающей воды, кДж/(кг·°С).

Отсюда следует, что расход охлаждающей воды прямо пропорционален количеству конденсирующегося отработавшего пара.

В состав системы оборотного водоснабжения на современных ТЭС входят: насосные станции, трубопроводы, арматура, пруды-охладители, брызгальные бассейны, градирни и устройства для транспортировки, охлаждения, очистки и стабилизации охлаждающей воды. Вся

система помимо ее существенного воздействия на себестоимость тепловой и электрической энергии значительно ухудшает экологическую обстановку в районе расположения ТЭС. Поэтому уменьшение количества подаваемого на конденсацию пара (при одном и том же его количестве на выходе из турбин) обеспечивает уменьшение расхода охлаждающей воды и соответственно снижение себестоимости тепловой и электрической энергии, вырабатываемой на ТЭС, а также способствует улучшению экологической обстановки.

В данной статье рассматривается техническое решение для снижения расхода оборотной воды путем предварительной конденсации части отработавшего пара в конденсаторе принципиальной новой конструкции — капиллярном конденсаторе [3, 4]. В его работе используются явления, сопровождающие капиллярное движение парожидкостной смеси. В конических капиллярах происходят два процесса: испарение влаги в широкой части капилляра и конденсация пара в узкой части. При этом процессе конденсации пара в капилляре способствует его избыток в парожидкостной смеси [5]. Если внутренняя поверхность капилляров обладает адсорбционным свойством (например, для водяного пара — гидрофильным свойством), то при поглощении паров оно стимулирует процесс конденсации, который наиболее эффективно протекает в капиллярах диаметром $2 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-6}$ мм [6].

Принципиальная схема предлагаемого варианта конденсации отработавшего пара и конструкция конденсатора с капиллярной насадкой приведены на рис. 1 и 2. Конденсатор 1 с капиллярной насадкой состоит из цилиндрического корпуса 1 с верхней 2 и нижней 3 крышками, снабженного патрубками входа отработавшего 4 и выхода остаточного 5 пара, конденсатного патрубка 6. Внутри корпуса 1 над патрубком 4 на опорах 7 установлена решетка 8, на которой размещена насадка 9, представляющая собой перфорированные колпачки 10, уложенные рядами.

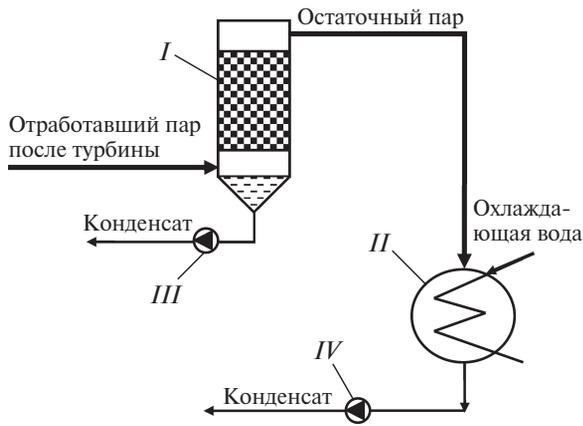


Рис. 1. Принципиальная схема конденсации отработавшего пара: I — конденсатор первой ступени (с капиллярной насадкой); II — конденсатор второй ступени (поверхностный конденсатор); III, IV — конденсатные насосы

ми друг на друга в шахматном порядке. Колпачки изготовлены из гидрофильного материала, перфорация на них выполнена в виде конических капилляров 11, расположенных по нормали к поверхности колпачков таким образом, что их малые отверстия 13 находятся на наружной поверхности колпачка, а большие отверстия 14 — на его внутренней поверхности.

Процесс конденсации осуществляется следующим образом. Отработавший пар после турбин при температуре насыщения через патрубок 4 направляется в нижнюю зону конденсатора I первой ступени (с капиллярной насадкой), откуда через решетку 8 распределяется по всему сечению аппарата, причем часть его поступает в полости колпачков 10 первого ряда (считая от низа), а другая часть — в полости колпачков 10 следующего ряда. Далее из полостей колпачков первого ряда пар направляется через большие отверстия 12 в конические капилляры 11, в которых под действием капиллярных сил перемещается к их малым отверстиям 13, где происходит его частичная конденсация с выделением теплоты конденсации Q_{ri} .

Мениски образовавшейся жидкости (конденсата отработавшего пара) в капиллярах 11 соприкасаются с их гидрофильной поверхностью, свободно распределяются на внешней поверхности колпачков 10 благодаря наличию пространства между соседними колпачками 10 и гидрофильным свойствам материала капилляров, затрачивая при этом выделившуюся теплоту конденсации Q_{ri} на образование свободной поверхности, после чего образовавшийся конденсат под действием силы тяжести стекает вниз. При этом несконденсированный пар, выходящий вместе с конденсатом из малых отверстий 13 капилляров колпачков 10 первого ряда смешивается с

паром, прошедшим мимо предыдущего ряда колпачков 10, унося вместе с собой некоторую часть образовавшегося конденсата в виде мелких капель.

Часть образовавшейся парожидкостной смеси поступает в полости колпачков 10 второго ряда, а другая часть — в полости третьего ряда колпачков 10, где протекают рассмотренные процессы конденсации пара в конических капиллярах 11 с выделением теплоты конденсации Q_{ri} и образования свободной поверхности жидкости на гидрофильных поверхностях колпачков 10 с затратой этой теплоты. Кроме них, происходят процессы испарения частиц вносимого с паром конденсата в широких сечениях капилляров 11. Аналогичные процессы испарения конденсата с образованием пара в широких сечениях, конденсации пара с образованием конденсата в узких сечениях капилляров 11 и образования свободной поверхности жидкости на гидрофильном материале наружной поверхности колпачков 10 происходят при поступлении несконденсированного пара с уносимым конденсатом в вышерасположенные ряды колпачков 10.

Множественное взаимное фазовое превращение и преодоление сил трения при перемещении парожидкостной смеси по капиллярам 11 многочисленных рядов колпачков 10 в конденсаторе I позволяет проводить процесс конденсации пара в нем без использования хладагента — охлаждающей воды. Образовавшийся конденсат из малых отверстий 12 конических капилляров 11 всех рядов колпачков 10 под действием сил тяжести стекает на днище, образованное нижней крышкой 3, откуда отводится через патрубок 6 из конденсатора I, а несконденсированный остаточный пар выводится через выходной патрубок 5. Полученный конденсат насосом III подается в конденсатный бак (на рис. 1 не показан), а остаточный пар направляется в конденсатор II второй ступени (поверхностный конденсатор), где конденсируется за счет теплообмена с охлаждающей водой, после чего образовавшийся конденсат насосом IV подается в конденсатный бак.

Размеры колпачков 10 (ширину и высоту) можно принимать исходя из стандартных размеров кольцевой насадки (например, 100×100 мм, 50×50 мм и т. д.) [6], размеры конических капилляров и их конусность зависят от свойств жидкости и определяются опытным путем. Число рядов колпачков 10 в конденсаторе I и соответственно высоту насадки 9 принимают такими, чтобы обеспечить конденсацию существенной части отработавшего пара, поступившего в аппарат, и вместе с тем — оптимальное гидравлическое

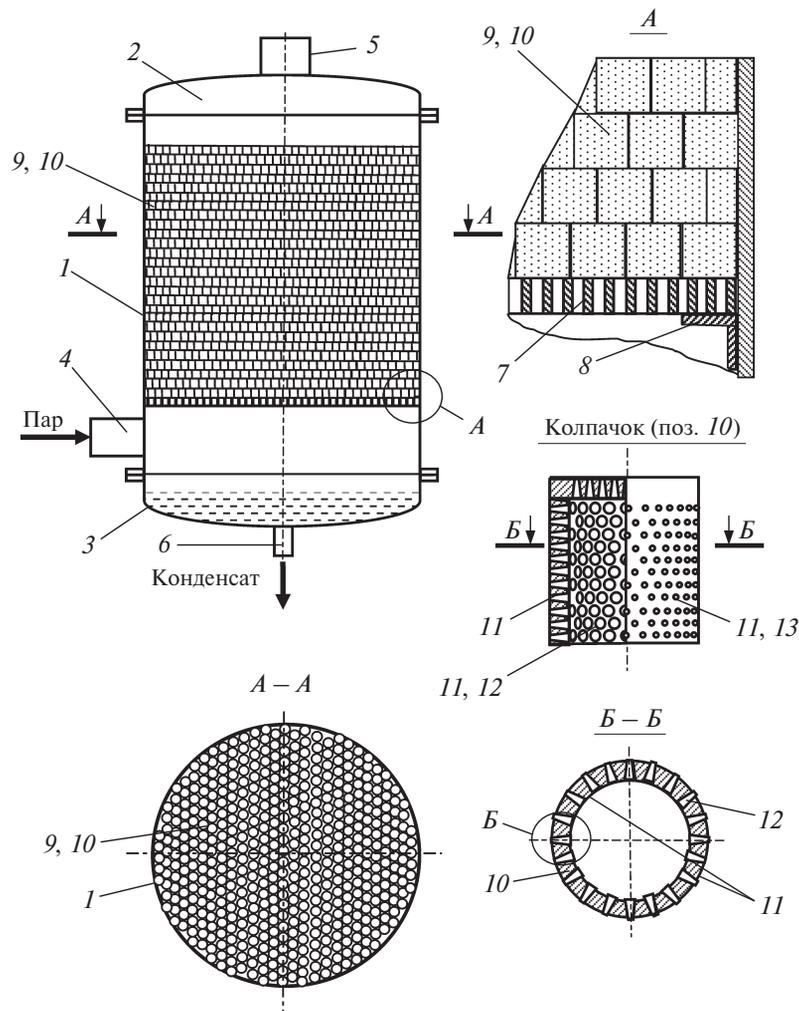


Рис. 2. Принципиальная схема устройства конденсатора с капиллярной насадкой:

1 — корпус; 2 и 3 — крышки; 4 и 5 — патрубки входа отработавшего пара и выхода остаточного пара; 6 — конденсатный патрубок; 7 — опоры решетки; 8 — опорная решетка; 9 — насадка; 10 — перфорированный колпачок; 11 — конические капилляры; 12 и 13 — большие и малые отверстия капилляров

сопротивление конденсатора *I*. Определяют их также опытным путем. Диаметр конденсатора *I* вычисляют исходя из расхода отработавшего пара, предотвращения уноса конденсата с паром в живом сечении и поддержания оптимального гидравлического сопротивления аппарата. Соотношение количества отработавшего пара, поступающего в конденсатор *I*, и остаточного пара, поступающего в конденсатор *II*, находят на основе технико-экономического анализа. При необходимости можно устанавливать несколько параллельно включенных конденсаторов *I*.

Выводы

1. Процесс капиллярной конденсации имеет значительные перспективы для создания конденсаторов нового типа.

2. Конструкция конденсатора с капиллярной насадкой позволяет конденсировать водяной пар без использования хладагента (охлаждающей воды).

3. Использование капиллярной конденсации для отработавшего пара турбин дает возможность существенно снизить расход охлаждающей воды, что обеспечит значительное повышение экономической и экологической эффективности ТЭС.

Список литературы

1. Абрамов Н. Н., Гениев Н. Н., Павлов В. И. Водоснабжение. — М.: Госстройиздат, 1960.
2. Сушкин И. Н. Теплотехника. — М.: Metallurgy, 1973.
3. Пат. 2390688 РФ, МПК F22 В37/26, В01 D5/00. Капиллярный конденсатор / В. С. Ежов. — Изобретения. Полезные модели, 2009, № 15.
4. Пат. 2465529 РФ, МПК F28 В1/00. Конденсатор с капиллярной насадкой / В. С. Ежов. — Изобретения. Полезные модели, 2012, № 30.
5. Лыков А. В. Тепломассообмен: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1978.
6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М.: Химия, 1971.

tgk-stu6@yandex.ru