

УДК 669.162.214

Немировский Илья Абрамович, канд. техн. наук, доцент, e-mail: alikhnem@ukr.net

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, ул. Фрунзе, 21, 61002

СИСТЕМА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ – ПУТЬ К ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Статья подготовлена в связи с 65-летием внедрения первой в мире установки испарительного охлаждения. Изложены теоретические основы испарительного охлаждения и показаны преимущества данной системы с точки зрения энергоэффективности и экологии.

Ключевые слова: испарительное охлаждение, металлургические печи, экономия энергоресурсов, энергосбережение.

УДК 669.162.214

Немировський Ілля Абрамович, канд. техн. наук, доцент, e-mail: alikhnem@ukr.net

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, вул. Фрунзе, 21, 61002

СИСТЕМА ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ – ШЛЯХ ДО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Стаття підготовлена у зв'язку із 65-річчям впровадження першої в світі установки випарного охолодження. Викладені теоретичні основи випарного охолодження та показані переваги їх впровадження з точки зору енергоефективності та екології.

Ключові слова: випарне охолодження, металургійні печі, економія енергоресурсів, енергозбереження.

UDC 669,162,214

Nemirovsky Ilya Abramovich, Candidate of Science, Associate professor, e-mail: alikhnem@ukr.net

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine, Frunze 21, 61002

EVAPORATIVE COOLING SYSTEM A WAY TO ENERGY EFFICIENCY

The paper is dedicated to the 65th anniversary of the introduction of the world's first evaporative cooling plant. It lays down the theoretical basis of evaporative cooling and shows advantages of this system in terms of energy efficiency and environmental friendliness.

Key words: evaporative cooling, metallurgical furnaces, energy resources saving, energy saving.

Историческая справка

В 2014 году исполнилось 65 лет ввода первой в мире установки испарительного охлаждения доменной печи. В 1949 году на Донецком металлургическом заводе в период капитального ремонта разряда была смонтирована установка испарительного охлаждения шахты доменной печи.

Идея испарительного охлаждения (ИО), а точнее охлаждения в режиме кипения, принадлежит Сергей Михайловичу Андоньеву (1910–1984 г.г.) – известному ученому в области металлургии, доктору технических наук, профессору (1961), заслуженному изобретателю СССР, Лауреату Сталинской премии за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы (первой степени 1951). Заслуженному изобретателю Украины (1962 г.), кавалеру орденов Ленина, Трудового Красного Знамени, многих медалей СССР, директору Всесоюзного научно-исследовательского института по очистке технологических газов, сточных вод и использованию вторичных энергоресурсов (1967 г.), автору более ста изобретений и патентов, ряда монографий.

В 1946 году С. М. Андоньев изобрел систему охлаждения металлургических печей паром, которую используют сегодня во всем мире. На своё изобретение — «Способ охлаждения металлургических печей» С. М. Андоньев получил авторское свидетельство, а немного позже запатентовал его. Поскольку система была очень выгодной, иностранные заводы стали покупать у Советского Союза лицензию на её использование. Сначала

обратилась Япония, потом США, Швейцария, Швеция, Англия, Франция, государства Европы и Америки, Австралия [1].

Системы испарительного охлаждения стали применяться не только на доменных печах и воздухонагревателях, а также на мартеновских, нагревательных, электросталеплавильных печах, конвекторах в черной и цветной металлургии, на ряде агрегатов химической и резинотехнической промышленности. Широкое распространение получили системы испарительного охлаждения в установках утилизации вторичных энергоресурсов.

Значительный вклад в развитие систем испарительного охлаждения внесли соратники и ученики С. М. Андоньева.

Основная часть

Принцип системы испарительного охлаждения заключается в использовании теплоты парообразования химически очищенной воды для отвода теплоты из высокотемпературной зоны печных агрегатов. Практически на всех высокотемпературных агрегатах имеются металлические детали требующие охлаждения. Использование технической воды как рабочего тела для отвода теплоты ограничено температурой ее нагрева. При температуре 48 °С начинается выпадение солей жесткости, что приводит к образованию отложений солей жесткости и резко снижает теплопроводность. В результате повышается температура детали со стороны рабочего пространства печи, что приводит к перегреву и последующему разрушению детали и, как следствие, к аварийным ситуациям. Температура стенки со стороны рабочего пространства печи зависит от теплового потока и теплопроводности стенки (с учетом слоя накипи) и определяется выражением

$$t_{ст.в} = q \left(\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}} + \frac{1}{\alpha} \right) + t_{ст.н}, \quad (1)$$

где $t_{ст.в}$ – температура наружной поверхности стенки со стороны нагрева;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки детали;

$\lambda_{ст}$ – теплопроводность стенки детали;

$\lambda_{н}$ – теплопроводность накипи;

$\delta_{н}$ – толщина накипи;

α – коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки к охлаждающей среде, который в зависимости от плотности теплового потока и конструкции детали может изменяться в пределах от 10^2 до 10^5 ккал/м²ч град.

Плотности тепловых потоков для различных зон различных агрегатов колеблются в широких пределах, так, например в тыс. ккал/(м²ч): мартеновские печи – 60–800; доменные печи – 10–400; нагревательные печи – 10–170.

Исходя из плотностей теплового потока при толщине стальной стенки 10 мм предельная температура наружной поверхности стенки охлаждаемой водой составляет;

– при $q = 400000$ ккал/(м²ч) – 210 °С, а при $q = 60000$ ккал/(м²ч) – 60 °С;.

– для этих же условий, но при испарительном охлаждении соответственно: 240 и 130 °С;.

– та же деталь покрытая накипью при водяном охлаждении соответственно: 740 и 100 °С.

Следует также отметить, что влияние температуры стенки сказывается и на увеличении термического напряжения в детали в соответствие с выражением

$$\sigma = \frac{E\beta\Delta T}{2(1-\mu)}, \quad (2)$$

где: E – модуль упругости, $2 \cdot 10^6$ кГ/см^2 ;
 σ – напряжение, кГ/см^2 ;
 β – коэффициент линейного расширения, $1/\text{град}$; ($12 \cdot 10^{-6}$);
 ΔT – перепад температур, град;
 μ – коэффициент Пуассона, равный 0,3.

При циклическом изменении нагрузок напряжение не должно превышать предел текучести. Расчет по приведенной формуле свидетельствует, что при $q > 200$ тыс. ккал/ м^2 термонапряжения превышают допустимые (1200 кГ/см^2).

Расход охлаждающей жидкости определяется выражением

$$E = \frac{qF}{t_2 - t_1} > fW_{\text{кр}}, \quad (3)$$

где: F – площадь обогреваемой поверхности, м^2 ;
 q – удельная плотность теплового потока, $\text{ккал}/(\text{м}^2\text{ч})$;
 $i_{1,2}$ – энтальпия охлаждающей среды, ккал/кг ;
 f – площадь поперечного сечения детали, м^2 ;

$W_{\text{кр}}$ – предельное значение скорости охладителя, обеспечивающая нормальное охлаждение, м/сек .

Переход на испарительное охлаждение вместо водяного на высокотемпературных топливосжигающих агрегатах, прежде всего, повышает срок службы деталей, что и явилось одной из основных причин не только широкого внедрения в отечественную практику, но и покупку лицензий рядом развитых стран. Кроме того применение испарительного охлаждения сокращает потери теплоты в системе охлаждения на 3–5 %, в 10 раз сокращает потребление охлаждающей воды. Это легко подтвердить следующим:

теплотворная способность отбора теплоты от детали при водяном охлаждении равна разнице температуры воды на входе и выходе из детали, что не превышает 30 ккал/кг. При испарительном охлаждении эта величина составляет нагрев воды до температуры кипения 85 ккал/кг плюс теплота парообразования 439 ккал/кг итого 524 ккал/кг, а при увеличении давления в системе охлаждения до 600 ккал/кг. Этот фактор является одной из причин сокращения расхода воды в 10 раз и, как следствие, сокращение, а при естественной циркуляции полное исключение затрат электроэнергии на перекачку воды. При этом снижаются и капитальные затраты на внедрение в 1,5–2 раза. Полученный пар от систем испарительного охлаждения может быть использован на технологические и коммунальные нужды без расхода топлива, что сокращает выбросы в атмосферу при замене пара котельных. На рис. 1 представлена принципиальная схема установки ИО.

В тоже время переход на систему испарительного охлаждения требует применения химически очищенной воды соответствующей котельным нормативам, что естественно удорожает систему охлаждения, а также требует более высокой технической подготовки обслуживающего персонала.

Таким образом, системы испарительного охлаждения являются одним из эффективных направлений снижения энергозатрат на промышленных предприятиях, а полученный в них пар относится к вторичным энергоресурсам и с успехом может замещать пар производственных котельных. В случае избыточного выхода пара он может быть использован в системах теплоснабжения объектов ЖКХ на отопление и горячее водоснабжение.

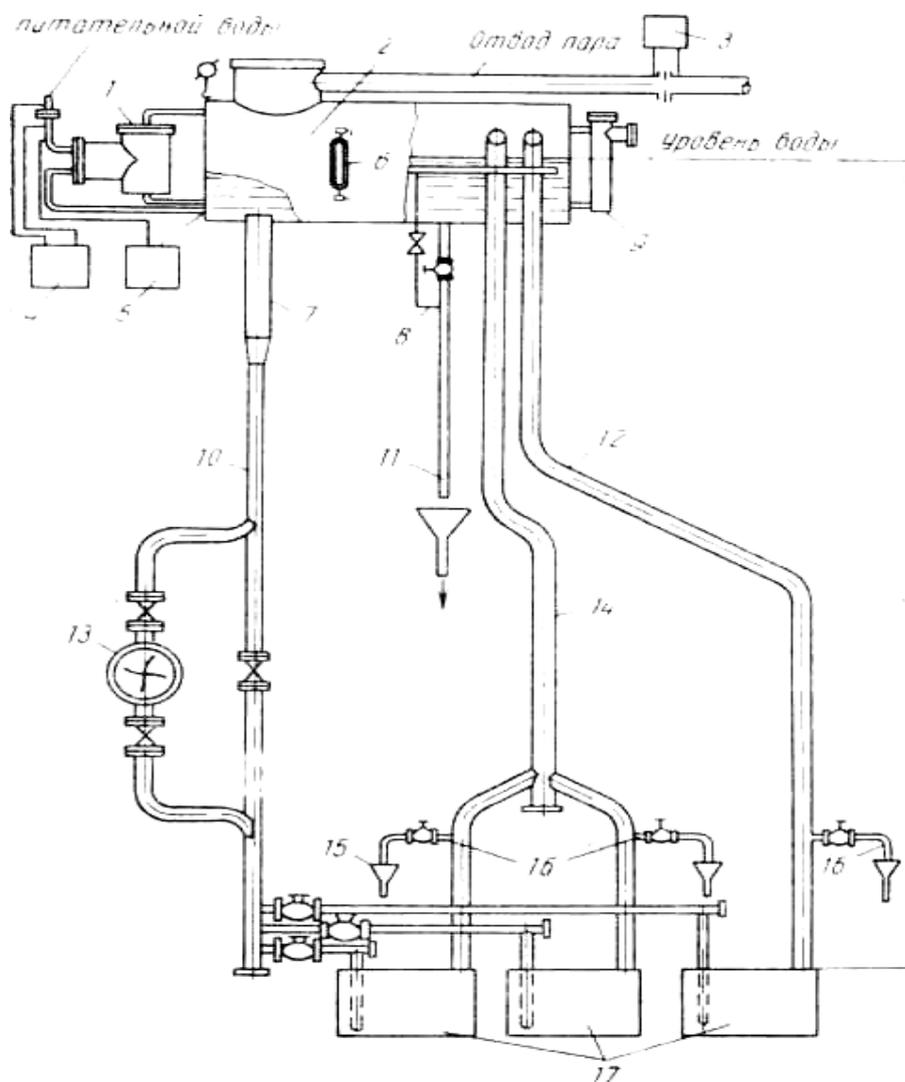


Рис. Принципиальная схема установки испарительного охлаждения:

1 — регулятор уровня; 2 — барабан-сепаратор; 3 — расходомер для пара; 4 — расходомер для питательной воды; 5 — регистратор давления питательной воды; 6 — водомерное стекло; 7 — проти-вокавитационная вставка; 8 — непрерывная продувка; 9 — сигнализатор уровня; 10 — опускной коллектор; 11 — трубопровод периодической продувки; 12 — индивидуальная подъемная труба; 13 — циркуляционный насос; 14 — коллектор подъемных труб; 15 — сливная воронка; 16 — сливные трубы; 17 — охлаждаемые детали

Список литературы

1. История техники. Библиографический указатель 1960—1961. 1967, С. 84.
2. С. М. Андоньев. Испарительное охлаждение металлургических печей // М.: Металлургия. — 1970. — С. 424.

References

1. History of technology [Istoria tehniki] Bibliographic Index 1960–1961. 1967, P. 84.
2. S. M. Andon'ev. Evaporative cooling of metallurgical furnaces. [Isparitелnoe ochlazhdenie metallurgicheskikh pechey] // М.: Metallurgiya. — 1970. — P. 424

Поступила в редакцию 06.05.2014 г.