

УДК 669.162.214

А.Л. СКОРОМНЫЙ, заместитель заведующего лабораторией, **А.Л. КАНЕВСКИЙ**, к.т.н., заведующий лабораторией
УкрГНТЦ «Энергосталь»

В.М. КОШЕЛЬНИК, д.т.н., заведующий кафедрой
Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков

СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ШАХТ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

В статье проанализированы факторы, способствующие сокращению расхода воды для охлаждения шахт доменных печей. Получены зависимости рационального расстояния между соседними каналами от коэффициента теплопроводности материала холодильников для режимов испарительного охлаждения и охлаждения холодной водой. Установлено, что сокращению расхода воды способствуют увеличение теплопроводности материалов и использование каналов овальной формы в плитовых холодильниках, а также применение метода испарительного охлаждения.

доменные печи, охлаждение шахт, сокращение расхода воды, расстояние между каналами, совершенствование конструкции холодильников

В настоящее время из 50 доменных печей (ДП), находящихся на балансе украинских металлургических заводов, работают 39, суммарная производительность которых составляет 35 млн т чугуна.

Для защиты кожуха от абразивного износа, химического воздействия и высоких температур печи оборудованы системой охлаждения, в которую необходимо подавать значительное количество воды. При расчетах ДП обычно принято приводить удельные показатели расхода на единицу поверхности кожуха (на уровне 2–6 м³/час на 1 м² [1]) либо на единицу полезного объема печи. За последние 50 лет в связи с интенсификацией доменного процесса расходы воды увеличились с 1 до 2 м³/час на 1 м³ полезного объема печи [2, 3]. Данные о расходах воды, затрачиваемой на охлаждение шахтной зоны ДП полезным объемом 1033–2700 м³, приведены в табл. 1.

К сожалению, не все печи работают с системами оборотного водоснабжения, поэтому минимизация расхода воды для охлаждения шахт ДП – важная научная и практическая задача теплотехники и экологии доменного производства.

При охлаждении шахты холодной водой расход воды должен обеспечить нормальные температурные условия работы холодильников с одной стороны, а с другой – допустимый нагрев воды в холодильнике Δt не более 10 °С [5]. Рекомендуемый нагрев воды в холодильниках шахты должен составлять 5 °С [2].

При последовательном соединении холодильников шахты расход воды можно вычислить по формуле, м³/час:

$$G = 3600 \cdot F_{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}} \cdot w_{\text{рац}} \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения трубки холодильника, м²;

$n_{\text{тр}}$ – количество трубок в холодильниках, расположенных по периметру печи, шт;

$w_{\text{рац}} = 1,5–2,0$ – рациональная скорость воды в трубке, м/с.

Рациональные скорости воды в плитовых холодильниках шахт доменных печей были определены ранее в работе [6].

Из анализа формулы (1) следует, что при одинаковых значениях площади поперечного сечения трубки $F_{\text{тр}}$ и рациональной скорости воды $w_{\text{рац}}$, расход воды зависит от количества трубок во всех холодильниках, расположенных по периметру печи, $n_{\text{тр}}$. Этот параметр, в свою очередь, зависит от шага между трубками S (рис. 1). В четырехтрубных холодильниках традиционной конструкции из чугуна с трубками круглого поперечного сечения он может составлять 120–150 мм [7], 220 мм [8], 200–250 мм [9]. Столь широкий диапазон значений шага S обусловлен различной тепловой нагрузкой на разных горизонтах шахты, применением трубок разного диаметра и формы поперечного сечения, а также трапециевидной формой самого холодильника,

* Статья опубликована по материалам XV Международной конференции «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов», г. Щелкино, АР Крым, 2007 г.

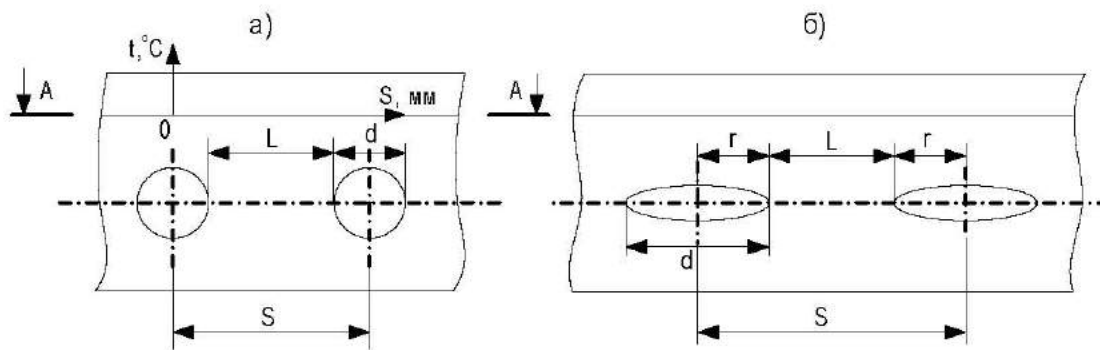


Рис. 1 – Поперечное сечение элементов тепловой защиты

а – круглое поперечное сечение каналов; б – овальное поперечное сечение каналов.

в котором шаг между трубками в нижней части плиты больше, чем в верхней.

В работе [10] сообщается, что уменьшение шага трубок менее 200 мм не приводит к значительному понижению температуры рабочей поверхности чугунного холодильника. Однако такой подход нельзя считать универсальным. Во-первых, в холодильниках применяют трубки разного диаметра и различной формы поперечного сечения охлаждающих каналов, наиболее эффективной из которых является овальная [11], а во-вторых – для производства холодильников используют материалы, коэффициенты теплопроводности которых отличаются более, чем на порядок.

Более целесообразным является определение рациональных значений расстояний между поверхностями соседних каналов L для холодильников с различными коэффициентами теплопроводности (рис. 1), что и составило цель данной работы.

При этом шаг трубок можно выразить с помощью зависимости:

$$S = 2r + L = d + L, \quad (2)$$

где S – шаг трубок, мм; d – «ширина» трубок, мм; $r = d/2$, мм. Для трубок круглого поперечного сечения d – диаметр, r – радиус, L – расстояние между поверхностями соседних каналов.

Рациональные значения расстояний между поверхностями соседних каналов L определяли на основе анализа результатов расчетов температурных полей характерных фрагментов вертикального четырехтрубного холодильника, выполненных на ЭВМ с помощью компьютерной программы с использованием метода конечных элементов [12]. Рассмотрена стационарная двумерная задача теплопроводности без внутренних источников тепла с граничными условиями III рода.

Расчеты проводили для двух режимов: охлаждение холодной водой (ХВ) $t_c = 40$ °С, $\alpha = 5600$ Вт/(м²·К) и испа-

рительное охлаждение (ИО) $t_c = 110$ °С, $\alpha = 3500$ Вт/(м²·К). Охлаждающие каналы в холодильнике выполнены круглой формы поперечного сечения с диаметром $D_y = 48$ мм, что соответствует традиционно применяемым трубкам. Расчеты выполнялись для шести вариантов холодильников, выполненных из огнеупорного бетона, высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, серого чугуна, теплопроводного бетона, алюминия и меди с соответствующими этим материалам коэффициентами теплопроводности ($\lambda = 1,5; 22; 45; 80; 200; 390$ Вт/(м·К) для разных значений параметра $L = 100; 152; 200; 250$ мм.

Одной из задач использования плитовых холодильников является равномерное охлаждение кладки, а при ее отсутствии – создание равномерных условий для образования на поверхности холодильника защитного слоя гарнисажа. Поэтому при анализе температурных полей следует обратить особое внимание на характер распределения температур на рабочей поверхности элементов тепловой защиты. Результаты распределений температур при охлаждении холодной водой приведены на рис. 2.

Из анализа данных на графиках видно, что с уменьшением параметра L , а значит и шага между каналами распределение температур на поверхности холодильников выравнивается. Однако при этом возрастает количество охлаждающих трубок, а также отверстий для вывода подводящих и отводящих патрубков через кожух, что ослабляет его жесткость. Увеличение параметра L приводит к локальному повышению температуры поверхности. При определенном значении параметра L для каждого материала перепад температур не превышает 10 °С, а изотермы проходят практически параллельно поверхности холодильника. Такое значение L обеспечивает равномерное охлаждение поверхности холодильной плиты при минимальном количестве отверстий в кожухе для подвода и отвода охладителя, поэтому его можно считать рациональным L_p .

Представляет интерес зависимость рационального значения параметра L_p от коэффициента теплопрово-

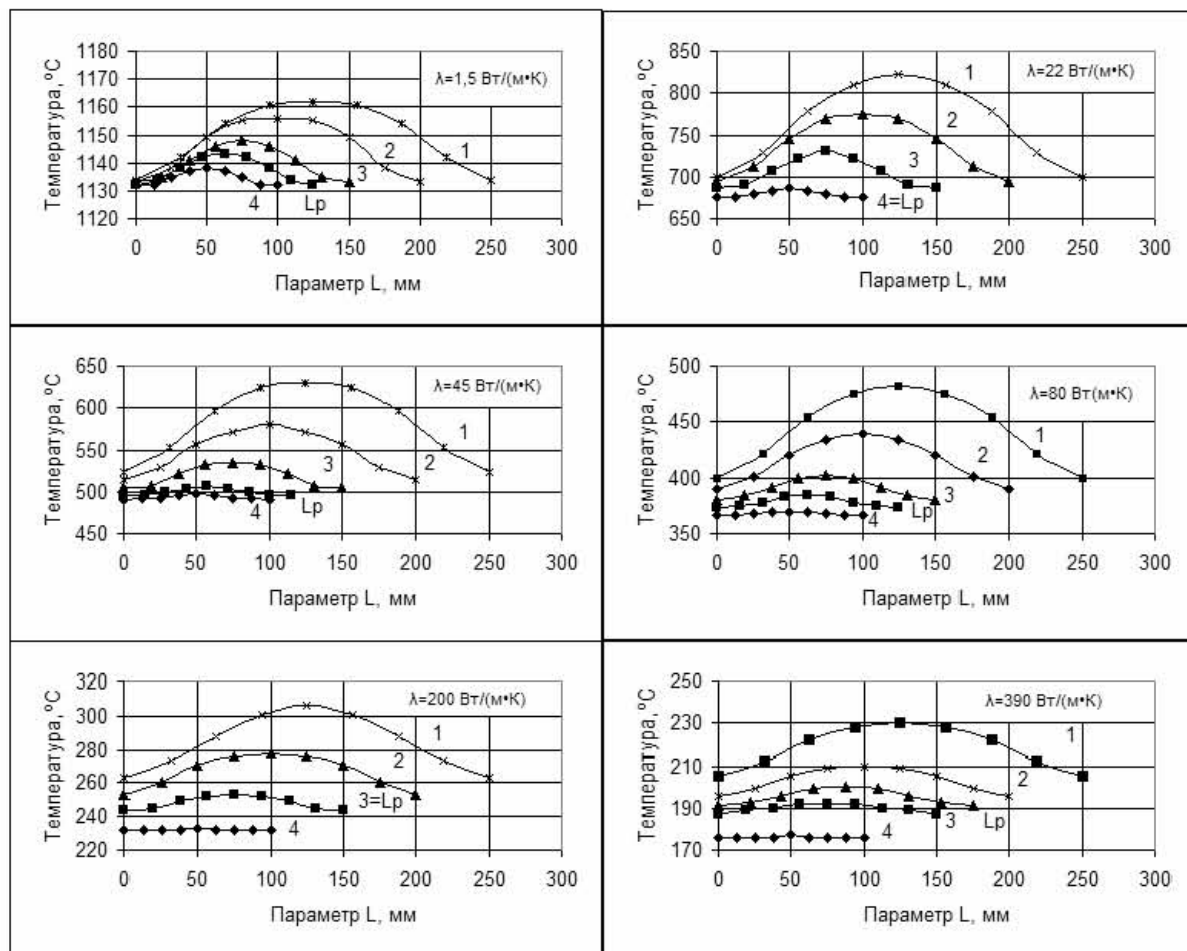


Рис. 2 – Распределение температур на поверхности плиты (сечение А–А) в зависимости от расстояния между поверхностями соседних каналов

1 – $L=250$ мм; 2 – $L=200$ мм; 3 – $L=152$ мм; 4 – $L=100$ мм; L_p – рациональное значение параметра L .

дности материала, из которого изготовлен холодильник. Данная зависимость, построенная для режимов испарительного охлаждения и охлаждения холодной водой, представлена на рис. 3.

Из анализа данных, представленных на рис. 3, следует, что при коэффициенте теплопроводности $\lambda=1,5$ Вт/(м·К) в случае использования огнеупорного бетона для изготовления холодильников значение L_p составляет 125 мм. При увеличении λ с 1,5 до 5 Вт/(м·К) значение L_p уменьшается. Минимальное значение L_p соответствует использованию в качестве материала холодильников с коэффициентом теплопроводности на уровне 5 Вт/(м·К). В таких холодильниках охлаждающие трубки следует располагать с максимально плотным шагом $S=d+93$ мм. С увеличением коэффициента теплопроводности с 22 до 390 Вт/(м·К) рациональное значение параметра L_p увеличивается в 1,75 раза соответственно со 100 до 175 мм. В таких холодильниках охлаждающие трубки следует располагать с шагом $S=d+125$ мм.

Следует также отметить тот факт, что при уменьшении λ средняя температура поверхности холодильника возрастает. В диапазоне $\lambda=1,5-5$ Вт/(м·К) значение температуры поверхности близко к значению температуры огневого пространства печи и составляет 1130–1100 °С. Это свидетельствует об ухудшении охлаждающего действия трубок при низкой теплопроводности материала холодильника, чем, по-видимому, и объясняется наличие экстремума функции $L_p=f(\lambda)$.

Работа холодильников на испарительном охлаждении приводит к изменению распределения температур в теле элементов тепловой защиты. При этом перепад температур охлаждающей среды и огневого пространства доменной печи уменьшается на 70 °С. Это способствует выравниванию температур на поверхности холодильных плит, чем и обусловлено положение кривой 1 над кривой 2 на рис.3. Испарительное охлаждение по сравнению с охлаждением холодной водой позволяет дополнительно увеличить шаг трубок на 5–8 % при увеличении λ с 22 до 390 Вт/(м·К).

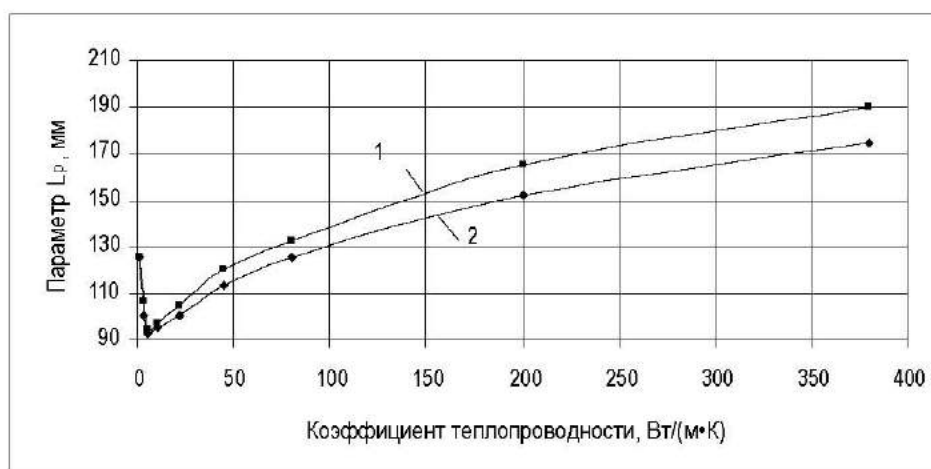


Рис. 3 – Зависимость параметра L_p от коэффициента теплопроводности материала холодильника

1 – испарительное охлаждение; 2 – охлаждение холодной водой.

В силу малой теплопроводности огнеупорного бетона для изготовления доменных холодильников значение параметра L_p составляет 125 мм как для охлаждения холодной водой, так и для испарительного охлаждения.

Использование трубок овальной формы поперечного сечения также способствует сокращению шага между трубками до 30 % за счет их большей «ширины» d (рис. 1).

Следует отметить, что при уменьшении расхода воды за счет изменения конструкции холодильников (форма трубок, шаг между ними, материал холодильников) нагрев воды в них при одинаковой тепловой нагрузке увеличится пропорционально снижению расхода. В современной практике охлаждения доменных печей нагрев воды (проектный) составляет 2–3 °С на один холодильник. С учетом данных по рекомендуемым (5 °С) и максимальным (10 °С) нагревам воды Δt , приведенных в работах [2, 5], можно отметить наличие достаточных резервов для сокращения расхода охлаждающей воды в системах охлаждения ДП за счет применения холодильников с рекомендуемыми в данной работе конструктивными параметрами.

ВЫВОДЫ

1. Проанализированы факторы, способствующие сокращению расхода воды для охлаждения шахт доменных печей.
2. Получены зависимости рационального расстояния между соседними каналами от коэффициента теплопроводности материала холодильника для испарительного охлаждения и охлаждения холодной водой на основе моделирования процесса переноса теплоты.

3. Установлено, что использование медных холодильников с высокой теплопроводностью способствует увеличению расстояния между поверхностями соседних каналов в 1,75 раза по сравнению с холодильниками из высокопрочного чугуна.
4. Испарительное охлаждение по сравнению с охлаждением холодной водой позволяет увеличить расстояние между поверхностями соседних каналов на 5–8 %.
5. Применение каналов овальной формы поперечного сечения при рациональном значении параметра L может позволить дополнительно увеличить шаг трубок до 30 %.
6. Для снижения расхода охлаждающей воды до двух раз полученные данные целесообразно использовать в новых конструкциях холодильников для шахт при проектировании новых, ремонте и реконструкциях действующих доменных печей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хайрих П., Хилле Х., Рихерт К. Охлаждение кожуха доменной печи – конструкции систем охлаждения и затраты // Черные металлы. – 1986. – № 5. – С.11–18.
2. Андоньев С.М. Водяное охлаждение доменных печей // Сталь. – 1952. – № 4. – С. 310–314.
3. Кудинов Г.А. Охлаждение современных доменных печей. М.: Металлургия. – 1988, 256 с.
4. Чеченев В.А. Исследование термонапряженного состояния кожуха шахт доменных печей, изготовленных из крупногабаритных водоохлаждаемых модулей // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – № 2. – С. 13–16.
5. Лысенко Е.Е., Грановский Б.Р. О контроле надежности циркуляции в установках испарительного охлаждения доменных

- печей // Теплоутилизационная техника и проблемы охлаждения в черной металлургии. – 1987. – № 15. – С. 9–13.
6. Каневский А.Л., Скоромный А.Л., Гук Д.Н. Выбор рациональной скорости воды в плитовых холодильниках шахт доменных печей // Экология и здоровье человека. Защита воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов: Сб. науч. стат. XIV Междунар. научн.-практ. конф. В 2-х т. – Харьков: Райдер, 2006. – Т. 1. – С. 386–391.
 7. Кудинов Г.А. Анализ работы доменных печей с различными конструкциями холодильников в шахте: Автореф. дис... к-та техн. наук. – Днепропетровск, 1962. – 13 с.
 8. Кремер Г, Штройбер К. Охлаждение кожуха доменной печи – теоретические основы // Черные металлы. – 1986. – № 5. – С. 3–10.
 9. Андоньев С.М. Испарительное охлаждение металлургических печей заводов черной металлургии: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Москва – Харьков, 1956. – 21 с.
 10. Куцыкович Д.Б. Исследования основных факторов, определяющих стойкость плитовых холодильников доменных печей: Автореф. дис... к-та техн. наук. – Москва, 1965. – 16 с.
 11. Скоромный А.Л., Каневский А.Л., Кошельник В.М. Влияние формы поперечного сечения охлаждающих каналов элементов тепловой защиты шахт доменных печей на эффективность охлаждения // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 2007. – № 1. – С. 83–86.
 12. Расчет температурного поля чугуновых и медных холодильников металлургических печей. Компьютерная программа: Свидетельство о регистрации авторского права на произведение № 154891 / Д.В. Сталинский, А.Л. Каневский, В.А. Ботштейн, А.Л. Скоромный, Д.Н. Гук. – Оpubл. 25.01.2006.

Поступила в редакцию 11.04.2007

У статті проаналізовано фактори, які сприяють зменшенню витрат води для охолодження шахт доменних печей. Отримано залежності раціональної відстані між сусідніми каналами від коефіцієнту теплопровідності матеріалу холодильників для режимів випарного охолодження та охолодження холодною водою. Встановлено, що зменшенню витрат води сприяють: збільшення теплопровідності матеріалів та використання у плитових холодильниках каналів овальної форми, а також використання методу випарного охолодження.

The article analyzes the factors promoting reduction of water flow for cooling of blast-furnace stacks. Dependences of optimal distance between the next channels from the factor of heat conductivity of cooler's material for evaporating cooling and cold water cooling modes are derived. It was determined that water flow reduction is provided by increasing of heat conductivity of materials and use of oval form channels in plate coolers as well as applying of evaporating cooling method.