

УДК 669.162.2:62-192.003.12

А.Л. Чайка¹, И.А. Лукьяненко², А.А. Сохацкий³, С.П. Сущев⁴,
Е.И. Шумельчик¹, Г.Т. Цыганков³

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ОГРАЖДЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

*ИЧМ НАН Украины¹, комбинат им. Ильича² Украина, УГХТУ³ Украина,
ЦИЭС Россия⁴*

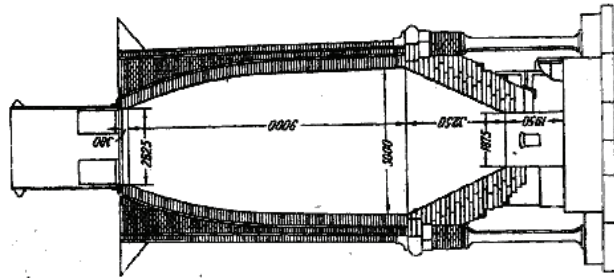
Предложены методы мониторинга условий и надежности работы ограждения доменной печи (кожуха, холодильников, футеровки) от ее задувки до выдувки. Показаны направления совершенствования выбора огнеупоров и конструкции системы охлаждения шахты и заплечиков доменной печи.

Современное состояние вопроса. Одной из основных задач обеспечения длительности кампании доменной печи является сохранение ее холодильников, футеровки и профиля на безопасном для эксплуатации уровне.

Первые экспериментальные исследования профиля разгара печи и температуры кожуха выполнены И.Л. Беллом и С.В. Сименсом еще в XIX веке на заводе «Clarence Iron Works» [1 на рис.1. Характер распределения удельных тепловых потерь рабочего пространства печи завода Кларенс дают представление о распределении температур и сходе шихтовых материалов по высоте печи и степени износа кладки (рис.1).

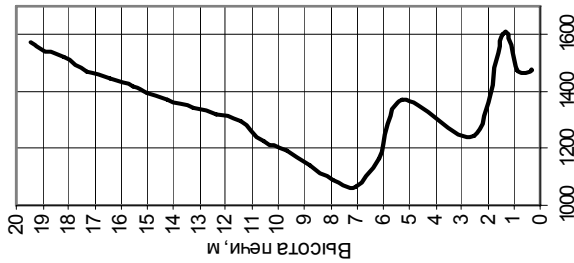
Разработанной в Центре исследования экстремальных ситуаций (Москва «e-mail: esrc@online.ru; www.esrc.ru»), сканирующий аппарат «Сканлайнер» позволил получить в автоматическом режиме изображение состояния действующей дымовой трубы за воздухонагревателями доменной печи №3 ЗСМК объемом 3000 м³, а в дальнейшем при выдувке ее на капитальный ремонт I – го разряда и профиль рабочего пространства этой печи (рис.2). (Исследование выполнили совместно с А.А. Суслоновым, П.В. Сущевым, Д.Ж. Маркиным, О.А. Быковым и А.В. Бородулиным).

Для мониторинга состояния ограждения доменных печей, измерения внутреннего его состояния необходимо согласовывать с контролем наружных параметров состояния кожуха, полученных с использованием переносных, например, радиационных пирометров и стационарных термомпар. Термографический подход, широко использующийся в технике, медицине, является перспективным при исследовании температурных полей и напряжений в кожухе, управлении работой системы охлаждения печей и планировании профилактических ремонтов.



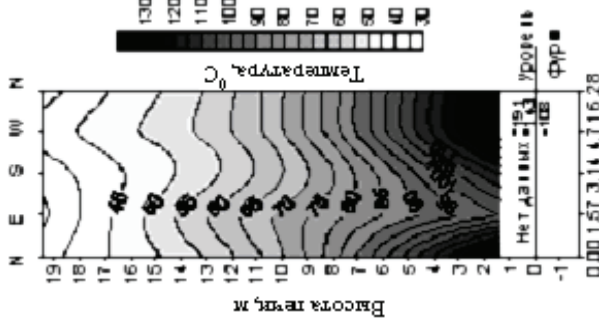
Печь облегченной конструкции с шахтой опирающейся на колоны

Рис.1. Профиль, сечение печи, толщина футеровки, термограммы и удельные тепловые потери кожуха доменной печи завода Кларенс, XIX век.



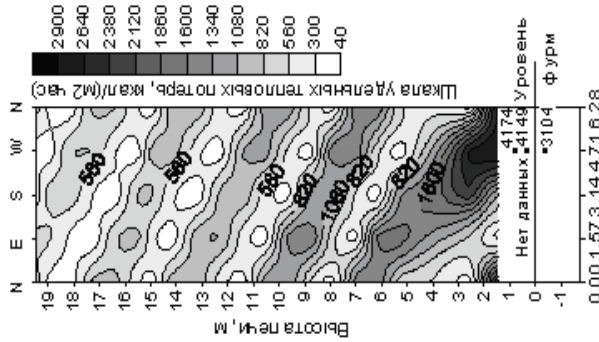
Толщина кладки, мм

Изменение толщины кладки по высоте печи Кларенс



Безразмерная длина дуги, рад.

Термограмма кожуха печи Кларенс



Безразмерная длина дуги, рад.

Удельные тепловые потери кожуха с учетом ветра

Рис.1. Профиль, сечение печи, толщина футеровки, термограммы и удельные тепловые потери кожуха доменной печи завода Кларенс, XIX век.

Изложение основных материалов исследования.

Разработанной в Центре исследования экстремальных ситуаций (Москва «E-mail: esrc@online.ru; www.esrc.ru»), сканирующий аппарат «Сканлайнер» позволил получить в автоматическом режиме изображение состояния действующей дымовой трубы за воздухонагревателями доменной печи №3 ЗСМК объемом 3000м³, а в дальнейшем при выдувке ее на капитальный ремонт I –го разряда и профиль рабочего пространства этой печи (рис.2). (Исследование выполнили совместно с А.А. Суслоновым, П.В. Сушевым, Д.Ж. Маркиным, О.А. Быковым и А.В. Бородулиным).

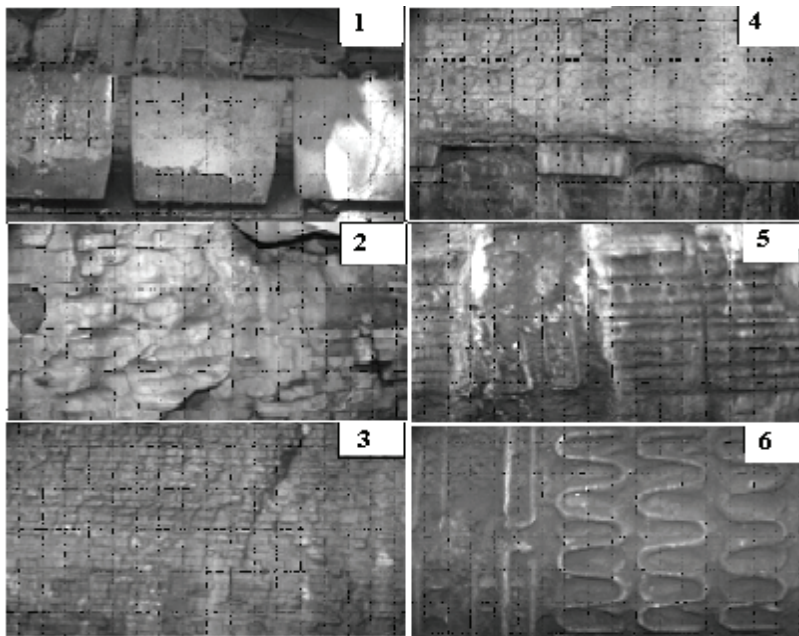


Рис.2. Состояние рабочей поверхности шахты доменной печи №3 ЗСМК по данным спускаемого аппарата «Сканлайнер». 1 – подвижные плиты колошника; 2 – цинковая настель в верхней части шахты; 3 – футеровка в неохлаждаемой зоне шахты, 4 – стык охлаждаемой и неохлаждаемой зон шахты; 5 – состояние холодильников в средней зоне шахты; 6– змеевики, установленные совместно с кожухом взамен поврежденных с последующим торкретированием на ремонте печи.

Для мониторинга состояния ограждения доменных печей, измерения внутреннего его состояния необходимо согласовывать с контролем наружных параметров состояния кожуха, полученных с использованием переносных, например, радиационных пирометров и стационарных термомпар. Термографический подход, широко использующийся в технике, медицине, является перспективным при исследовании температурных

полей и напряжений в кожухе, управлении работой системы охлаждения печей и планировании профилактических ремонтов.

Пример температурного поля кожуха доменной печи №5 полезным объемом 1719 м³ Новокузнецкого металлургического комбината показан на рис.3. (В исследовании принимали участие Д.Г. Горишев, С. П. Милиженко, А.И. Першиков, В.Н. Поляков.) Термограмма получена по показаниям переносного радиационного пирометра с использованием программы SURFER 5.01. Горизонтальная линия на рисунке делит шахту на охлаждаемую (внизу) и на неохлаждаемую (вверху) зоны, а вертикальные линии расположены между чугунными летками (ЧЛ). На термограмме видны темные пятна – зоны с пониженной температурой, где во время последующего капитального ремонта на печи №5 НкМК отмечены настывы, которые удалялись взрывом (рис.3).

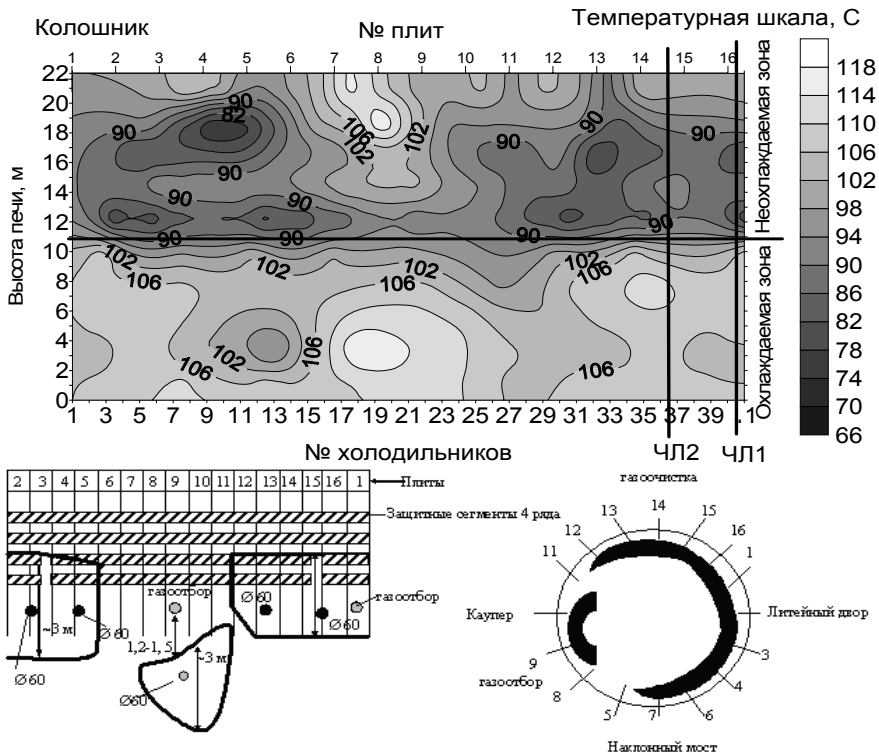


Рис.3. Термограмма кожуха шахты доменной печи №5 КМК 28.08.03 и топография расположения и удаления настывей на капитальном ремонте 3 разряда 31.08.03. Размер настывей составлял 24 м³ или 96 т, плотность 4 т/м³

Для печи №9 полезным объемом 5000 м³ Криворожстали в 2005 г. термограмма построена по показаниям термопар, установленных в кожухе и клад-

ке. Анализ термограмм, построенных для печи №9, показал, что температурное состояние ограждения реагируют на изменения режима работы печи. Термограмма горна показала зоны разгара кладки, величина и расположение которых подтверждены работающей на печи системой контроля остаточной толщины футеровки по методике ИЧМ НАНУ [2].

Элементы ограждения по высоте доменной печи находятся под воздействием переменных температурно-тепловых нагрузок, зависящих от конструкции домны и режима ее работы. Для оценки вероятности разрушения холодильников доменной печи под действием термического воздействия использован критерий термостойкости материалов, предложенный Р.А. Местецким, отвечающий идее о сравнении возможностей их механического деформирования с деформациями, которые образуются под действием градиента температур (табл.1) [3]. Полученные допустимые температуры на рабочей поверхности холодильников отличаются от зафиксированных максимальных показаний термопар, установленных в теле холодильников на печах. Это косвенно указывает на произошедшее разрушение холодильника и является предметом дальнейших исследований.

Другой подход, к выбору благоприятных температурно – тепловых условий работы холодильников, связан с понятием термически «тонкого» и «массивного» тела [4]. Тело холодильника относится к термически «тонким», когда критерий Био (B_i) $\leq 0,25$. Если $0,25 < B_i < 0,50$, то имеем переходную область. При $B_i \geq 0,50$ тело является «массивным». Для холо-

дильника защищенного футеровкой или гарнисажем $B_i = \frac{\delta_x}{\lambda_x} \cdot \frac{\lambda_\phi}{\delta_\phi}$, где λ_x ,

λ_ϕ – коэффициент теплопроводности холодильника, футеровки или гарнисажа соответственно, Вт/м К; δ_x , δ_ϕ – толщина холодильника, футеровки или гарнисажа соответственно, м. Результаты расчета по критерию Био толщины гарнисажа или футеровки из ШПД, которая не переводит холодильник в область «массивных» тел и соответственно, предохраняет его от разрушения под действием термических напряжений, представлены в табл.2.

Расчеты показали, что для защиты холодильников от разрушения под действием термических нагрузок целесообразно применять огнеупоры или торкрет – массы обладающие низким коэффициентом теплопроводности. Толщина футеровки по высоте печи может быть выбрана исходя из допустимых тепловых нагрузок и температур, которые выдерживает холодильник. Тепловые потери при использовании медных холодильников выше, чем через чугунные холодильники.

Таблица 1. Допустимые тепловые нагрузки и температуры на рабочей поверхности холодильников, изготовленных из различных материалов

Конструкционный материал для холодильников доменной печи	Допустимые температуры на рабочей поверхности холодильников, °С		Допустимые тепловые нагрузки на холодильники толщиной 120 мм (числитель) и 180 мм (знаменатель), кВт/м ²	
	Водяное охлаждение		Водяное охлаждение	
	min^{**}	max^{**}	min^{**}	max^{**}
серый чугун	130	270	70/50	40/25
магнеливый чугун	200	510	80/50	50/35
медь чистая деформированная	190	1000	900/620	800/550
медь чистая не деформированная	140	1080 = $t_{пл}$	600/400	560/340
алюминий чистый	120	660 = $t_{пл}^{***}$	300/200	250/190
сталь С30	240	1540 = $t_{пл}$	160/110	130/90

*) – без учета пластической деформации (ϵ_p) материала; **) – с учетом пластической деформации материала; ***) $t_{пл}$ – температура плавления материала

Таблица 2. Безопасная толщина кладки для холодильников, изготовленных из различного материала

Ограничения на толщину кладки	Вид материала				
	Серый чугун	Магнийевый чугун	Сталь С30	Алюминий	Медь
Гарнисаж или кладка из ШПД					
максимальное, мм	11,7/17,6 ^{*)}	16,6/24,8	11,4/17,1	2,3/3,4	1,2/1,8
минимальное, мм	5,9/8,8	8,3/12,4	5,7/8,6	1,1/1,7	0,6/0,9
Кладка из карбида кремния					
максимальное, мм	117,1/ 175,6	165,5/ 248,3	114,2/ 171,4	22,9/ 34,3	12,3/ 18,4
минимальное, мм	58,5/ 87,8	82,8/ 124,1	57,1/ 85,7	11,4/ 17,1	6,1/ 9,2

^{*)} Числитель толщина холодильника 0,12 м, знаменатель 0,18 м.

Запас термомеханической прочности медных холодильников, учитывая их стоимость и температурно – тепловые условия в периферийной зоне доменной печи, по нашему мнению, излишен. Для повышения запаса прочности достаточно использовать высококачественные холодильники из чугуна, модифицированного магнием.

Вывод. Наибольший эффект от мониторинга наружных потерь теплоты рабочего пространства доменных печей будет достигнут, если эти потери теплоты будут контролироваться специальной подсистемой в составе АСУ ТП работа, которой направлена на повышение системной надежности производства чугуна. Авторы признательны д.т.н. А.В. Бородулину за внимание к данной работе.

1. Павлов М.А. Сборник трудов по теории доменной плавки. М.: Metallurgizdat. 1957, 319 с
2. Доменное производство «Криворожстали» / В.И. Большаков, А.В. Бородулин, Н.А. Гладков и др. Днепропетровск – Кривой Рог. СП «Мир». 2004, 376 с.
3. Разработка мониторинга технического состояния ограждения доменной печи / А.Л.Чайка, А.В.Бородулин, А.А.Сохацкий и др.// Металлургическая тепло-техника: Сб.науч.трудов. – Днепропетровск: НМетАУ, 2005. – Т. 2. – С.383 – 392.
4. Тайц Н.Ю. Технология нагрева сталей / Москва: «Государственное научно-техническое издательство по черной и цветной металлургии», – 1962г. – С.568.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук А.В.Бородулиным