

4. Боковиков Б. А., Борисенко Б. И., Солодухин А. А. и др. Анализ возможных путей совершенствования работы зоны сушки окатышей на конвейерных машинах // Сталь. 2003. № 9. С. 17–20.

5. Пат. РФ № 2353675. Способ сушки окатышей в слое с предварительным подогревом / Б. А. Боковиков, А. А. Солодухин, С. Н. Евстюгин, В. И. Клейн. Бюллетень № 12, 27.04.2009.

УДК 669.045

**В. И. Большаков¹, А. В. Бородулин¹, В. С. Листопадов², А. Л. Чайка¹,
А. А. Сохацкий¹, А. И. Швачка¹**

¹ Институт черной металлургии НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина

² ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», г. Кривой Рог, Украина

КОНТРОЛЬ СУММАРНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ С ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДОЙ НА ПЕЧАХ ДОМЕННОГО ЦЕХА И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

Аннотация

Выполнены исследования тепловой работы доменных печей различного объема и проведены замеры их внешних тепловых потерь. По результатам выполненных исследований на доменной печи №9 ПАО «АМКР» реализована система автоматизированного контроля суммарных внешних тепловых потерь в системе охлаждения и расхода кокса на их покрытие, формирующая предупреждающий сигнал об изменениях в тепловой и газодинамической работе печи. Показана нестабильность потерь теплоты во времени и необходимость их автоматизированного контроля. Реализация автоматизированной системы контроля внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие на доменной печи позволит увеличить эффективность оперативного управления ее тепловым режимом работы, стабильность качества выплавляемого чугуна, ресурс работы футеровки и холодильников доменной печи за счет своевременного обнаружения и оценки причин отклонений в тепловом и газодинамическом режиме работы печи.

Ключевые слова: доменная печь, цех, система охлаждения, тепловые потери, расход кокса на покрытие тепловых потерь, автоматизированный контроль.

Abstract

The studies of heat of blast furnaces of various sizes and conducted measurements of their external heat losses. The results of the studies on the blast furnace number 9 PJSC "AMKR" implemented the automated control system of total external heat losses in the cooling system and the consumption of coke on their cover, forming a warning signal of changes in the thermal and gas-dynamic operation of the furnace. Shows the instability of heat losses in time and the need for automated control. Implementation of an automated control system of external heat losses and consumption of coke on their coating on blast furnace will increase the efficiency of the operational management of its thermal mode of operation, quality stability of smelted iron, a resource which the

© Большаков В. И., Бородулин А. В., Листопадов В. С., Чайка А. Л., Сохацкий А. А., Швачка А. И., 2014

lining of the blast furnace and refrigerators due to early detection and assessment of causes of variation in thermal and gas-dynamic operation of the furnace.

Keywords: blast furnace plant, heat losses, coke consumption to cover the heat losses, the automated control.

На систему охлаждения доменной печи приходится 90–95 % внешних тепловых потерь рабочего пространства печи. Поэтому тепловая нагрузка на охлаждаемые элементы является одним из интегральных параметров работы как доменной печи в целом, так и отдельных ее периферийных зон [1–5]. Контроль потерь теплоты рабочего пространства печи считается третьим по важности среди средств контроля и автоматизации доменного процесса в мире после контроля расхода и качества железорудного сырья, кокса и технологии отработки продуктов плавки [3].

Практические начала автоматизированного контроля работы системы охлаждения и их приложения в отечественном доменном производстве, начаты в 60-х годах прошлого века работой В.Я. Кожуха на металлургическом заводе «Азовсталь» [6].

В настоящее время на рынок СНГ со своими системами контроля внешних тепловых потерь выходят зарубежные фирмы, которые их устанавливают на новых и реконструируемых печах в комплексе с другими дорогостоящими техническими решениями. Большинство работ в этом направлении ведутся в полузакрытом режиме, что существенно снижает их теоретическую и прикладную ценность и не способствует развитию отечественной металлургии. Стоимость разработки включает в себя, в том числе, существенное расширение номенклатуры измерительных приборов. Так, на доменной печи №3 объемом 4000 м³ в Фукуяме для контроля тепловых нагрузок установлены термодпары в теле заплечиков на трех горизонтах и в футеровке шахты на пяти горизонтах. В сочетании с замером перепада давления по высоте шахты на 6 горизонтах это обеспечивает контроль зоны когезии. В Порт-Кэмбалл на печи объемом 3045 м³ для контроля футеровки в ее массиве и в холодильниках установлено 280 термодпар, что позволяет вести контроль за образованием настывлей и своевременно принимать технологические меры для их ликвидации. На доменной печи «Россиянка» ОАО «НЛМК», полезным объемом 4291 м³ величины тепловых потерь с охлаждающей водой контролируются на 476 холодильниках 11 рядах шахты и заплечиков, температура тел холодильников контролируется по всей высоте печи по проекту «Paul Wurth». В то же время эти возможности, по разным причинам, пока не используются в автоматизированных системах контроля «разгара» шахты, выявления расстройств тепловой и газодинамической работы печи, расчетах расхода кокса на покрытие тепловых потерь.

На постсоветском пространстве внешние тепловые потери рабочего пространства доменных печей в автоматическом режиме не измеряются, в том числе вследствие отсутствия четких физических представлений об этом важнейшем теплоэнергетическом параметре плавки. Исключение составляют доменные печи №6 ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» («НЛМК») и №9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» («АМКР»), на которых установлены отечественные системы контроля величины тепловых потерь с охлаждающей водой и ведется систематическая работа по развитию направлений прикладного использования этой информации [5; 7–10]. В большинстве расчетах на предприятиях и научных работах практикуется учет внешних потерь теплоты по небалансу приходных и расходных статей теплового баланса доменной плавки, что не способствует развитию теории и практики ме-

таллургии чугуна.

На доменной печи №9 ПАО «АМКР» реализована система автоматизированного контроля суммарных внешних тепловых потерь в системе охлаждения и расхода кокса на их покрытие Институтом черной металлургии НАН Украины (ИЧМ НАНУ) (рис. 1) [5; 10]. Согласно приведенной схеме в качестве датчика температуры используется термопара, обеспечивающая измерение температуры каждого коллектора с входящей и выходящей водой на печь. Расход воды каждого подвода фиксируется расходомерами, установленными на печи.

Автоматизированная система контроля расхода кокса на покрытие внешних тепловых потерь реализована на доменной печи №9, которая является единственной печью, работающей в составе доменного цеха №2 ПАО «АМКР» (рис. 2). При изменении величины внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие формируется предупреждающий сигнал об изменениях в тепловой и газодинамической работе печи [5; 10].

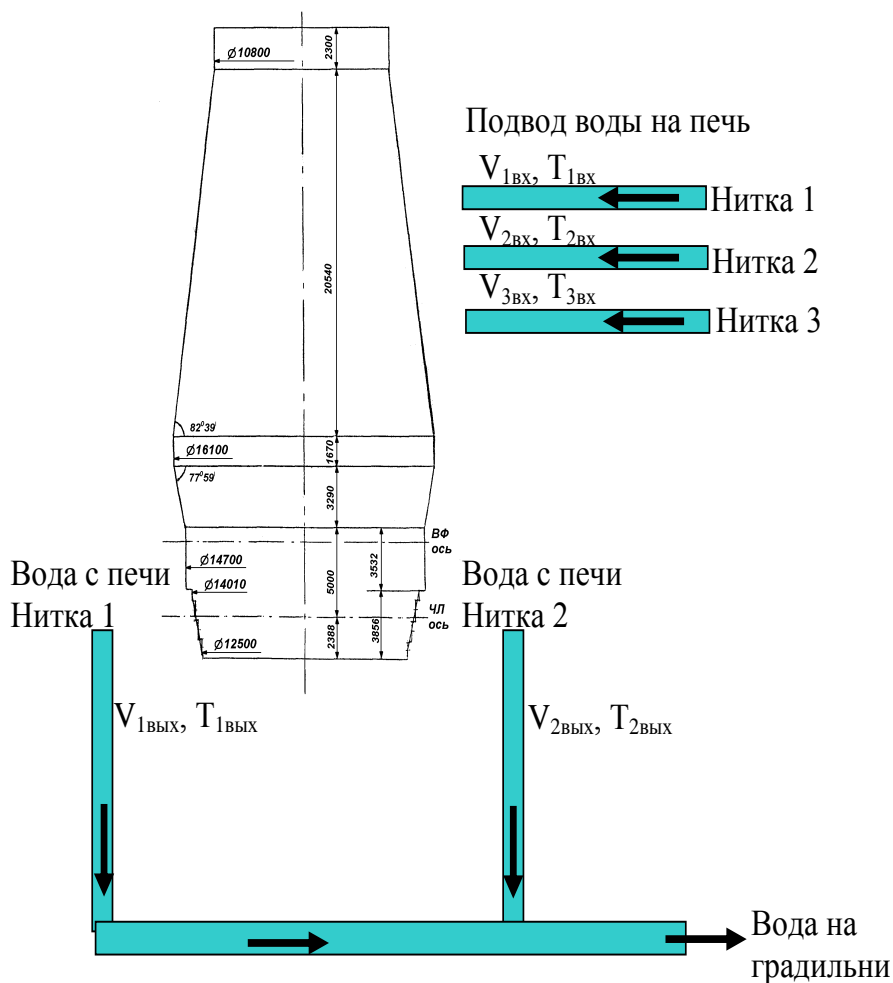


Рис. 1. Схема измерения тепловых потерь на доменной печи №9 ПАО «АМКР»

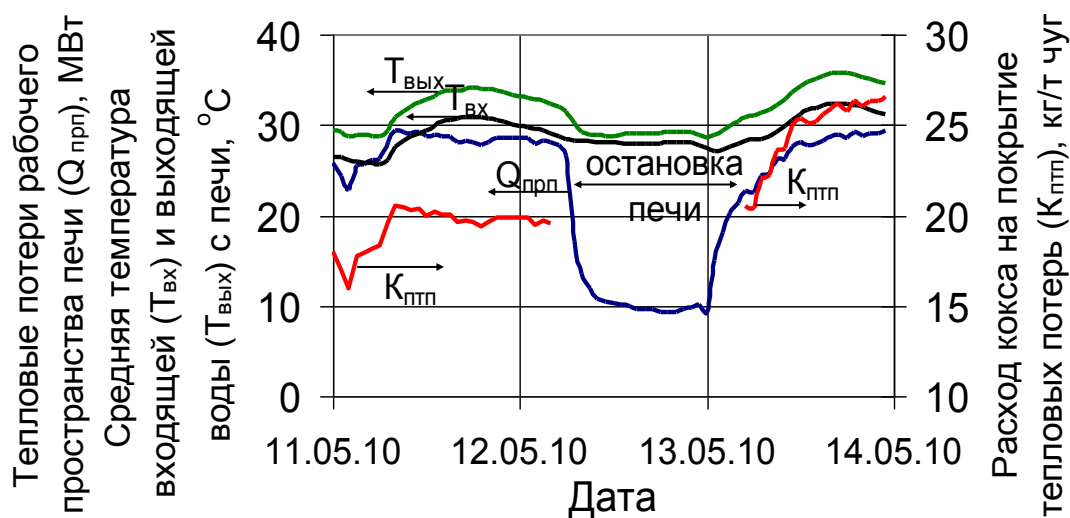


Рис. 2. Общие тепловые потери, средняя температура входящей и выходящей воды в системе водяного охлаждения ДП №9 ПАО «АМКР» по результатам автоматизированного контроля и расход кокса на их покрытие по расчету

Для интерпретации результатов измерения (рис. 2) необходимо использование дополнительных вычислительных процедур, связанных с обобщением и усреднением технологической информации, а также выделением отдельных диапазонов преимущественного значения величин. В частности, наличие отдельных пиков как максимального, так и минимального значения обусловлено действием кратковременных возмущений, не имеющих регулярный характер, поэтому может быть исключено из рассмотрения при анализе основных трендов.

Практический интерес представляет поиск возможного диапазона величины внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие в различных режимах форсированной доменной плавки или с минимальным производством, хорошим и плохим качеством шихты, особенно кокса, в стабильных и нестабильных условиях работы печи при различной длительности кампании печи.

Выполненные калориметрическим методом ручные замеры тепловых потерь рабочего пространства доменных печей различного объема [2] и функционирование автоматизированной системы контроля на ДП №9 ПАО «АМКР» (табл. 1) показали колебания потерь теплоты во времени и подтвердили целесообразность получения информации о них для оценки надежности и безопасности работы печей, повышения эффективности функционирования системы охлаждения, расхода кокса на покрытие тепловых потерь, динамики образования и схода гарнисажа, распределения газового потока и теплового состояния печи.

Величина тепловых потерь в системе охлаждения доменных печей различна и зависит от конструкции, технологических условий и культуры эксплуатации печи. Для одной и той же печи тепловые потери изменяются в широких пределах, и эта информация позволяет судить об изменениях в тепловой работе печи в целом.

Оценить динамику отклонения в расходе кокса на покрытие внешних тепловых потерь позволяет обобщенная зависимость этой величины, рассчитанная по формуле И. Д. Семикина, от величины удельных тепловых потерь $K_{пот} = f(q)$ [1; 2; 5; 10]. Данная характеристика является универсальной для доменных печей разного объема, работающих в широком диапа-

зоне дутьевых и шихтовых условий, состоянии ограждения печи и при выплавке различных марок чугуна (рис. 3).

Таблица 1

Внешние тепловые потери доменных печей объемом 2000–5000 м³

Металлургический комбинат	ОАО «Евраз ЗСМК»					
№ печи и объем, м ³	1, 3000				2, 2000	3, 3000
Дата	11.1979	01.1996	04.2005	01.2008	01.2008	11.1979
Производительность, т чугуна/сут	6256	3452	6760	6670	5000	6255
Тепловые потери, МВт	13,5	14,6	14,0	17,0	13,0	23,0
Удельные, тепловые потери, МДж/т чугуна	187	366	179	220	225	318
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугуна	12	20	12	15	15	21
Металлургический комбинат	ОАО «Северсталь»				«ММК Ильича»	
№ печи и объем, м ³	3, 2000			4, 2700	3, 2000	4, 2000
Дата	1965	1972	05.2007	05.2007	05.2007	05.2007
Производительность, т чугуна/сут	4152	4536	4800	5489	3984	2712
Тепловые потери, МВт	7,5	20,4	10,9	20,0	23,1	22,3
Удельные тепловые потери, МДж/т чугуна	155	388	196	315	500	710
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугуна	11	26	19	21	36	51
Металлургический комбинат	ПАО «АМКР»					
№ печи и объем, м ³	5, 2000	5, 2000	5, 2000	6, 2000	6, 2000	7, 2000
Дата	1962	1965	1968	1962	2001	1963
Производительность, т чугуна/сут	2808	3048	3432	2856	2928	2784
Тепловые потери, МВт	10,4	12,5	13,2	14,0	12,0	10,3
Удельные тепловые потери, МДж/т чугуна	319	353	332	423	353	321
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугуна	24	25	24	30	26	22
Металлургический комбинат	ПАО «АМКР»					
№ печи и объем, м ³	5, 2000	5, 2000	5, 2000	6, 2000	6, 2000	6, 2000
Дата	25.06.07	31.08.07	22.10.07	18.07.07	24.07.07	30.08.07
Производительность, т чугуна/сут	3932	3816	3920	3858	3798	3837
Тепловые потери, МВт	16,8	13,2	15,4	15,6	21,5	18,6
Удельные тепловые потери, МДж/т чугуна	369	299	339	349	489	419
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугуна	27	22	26	29	37	31

Продолжение таблицы 1

Металлургический комбинат	ПАО «АМКР»					
№ печи и объем, м ³	6, 2000	6, 2000	7, 2000	7, 2000	7, 2000	7, 2000
Дата	22.10.07	23.10.07	25.06.07	03.07.07	18.07.07	24.07.07
Производительность, т чугу./сут	4098	4098	3904	3920	3901	3823
Тепловые потери, МВт	13,5	14,0	16,7	14,2	22,2	17,1
Удельные тепловые потери, МДж/т чугу.	285	295	370	313	492	386
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугу.	22	23	28	24	38	30
Металлургический комбинат	ПАО «АМКР»					
№ печи и объем, м ³	9,5000	9,5000	9,5000	9,5000	9,5000	9,5000
Дата	01.2011	02.2011	03.2011	04.2011	05.2011	06.2011
Производительность, т чугу./сут	4524	5462	5362	5035	4759	1750
Тепловые потери, МВт	29,8	30,2	29,7	29,1	28,4	13,9
Удельные тепловые потери, МДж/т чугу.	569	478	479	499	516	686
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугу.	39	33	32	33	34	53
Металлургический комбинат	ПАО «АМК»					
№ печи и объем, м ³	1,3000	1,3000	1,3000	1,3000	1,3000	1,3000
Дата	15.10.10	17.10.10	19.10.10	21.10.10	03.11.10	16.03.11
Производительность, т чугу./сут	2618	3184	2206	3415	3830	6030
Тепловые потери, МВт	15,5	12,0	12,7	10,7	14,4	18,9
Удельные тепловые потери, МДж/т чугу.	510	326	499	271	325	272
Расход кокса на покрытие потерь, кг/т чугу.	40	21	37	19	22	19

Для построения системы автоматизированного контроля эффективности использования энергетических ресурсов в доменном производстве в режиме реального времени и оперативного управления целесообразно контроль тепловых потерь в системе водяного охлаждения и расход кокса на их покрытие развить на группу доменных печей и рассматривать на уровне цеха.

Проведена оценка средних величин внешних тепловых потерь в системе охлаждения и удельного расхода кокса на их покрытие для доменных цехов (ДЦ) 1 и 2 ПАО «АМКР». На момент исследований суммарный объем трех работающих доменных печей ДЦ №1 составлял 6000 м³ против одной печи ДЦ №2, полезным объемом 5000 м³. При сопоставимых суммарных объемах печей работающих в составе доменных цехов, средний показатель внешних тепловых потерь по ДЦ № 1 составляет 51 МВт и удельный расход кокса на их покрытие 27 кг/т чугу., а в ДЦ №2 – это 32 МВт и 19 кг/т чугу. соответственно. Тепловые потери и расход кокса на их покрытие в ДЦ №1 в ~1,5 раза больше, чем на ДЦ №2.

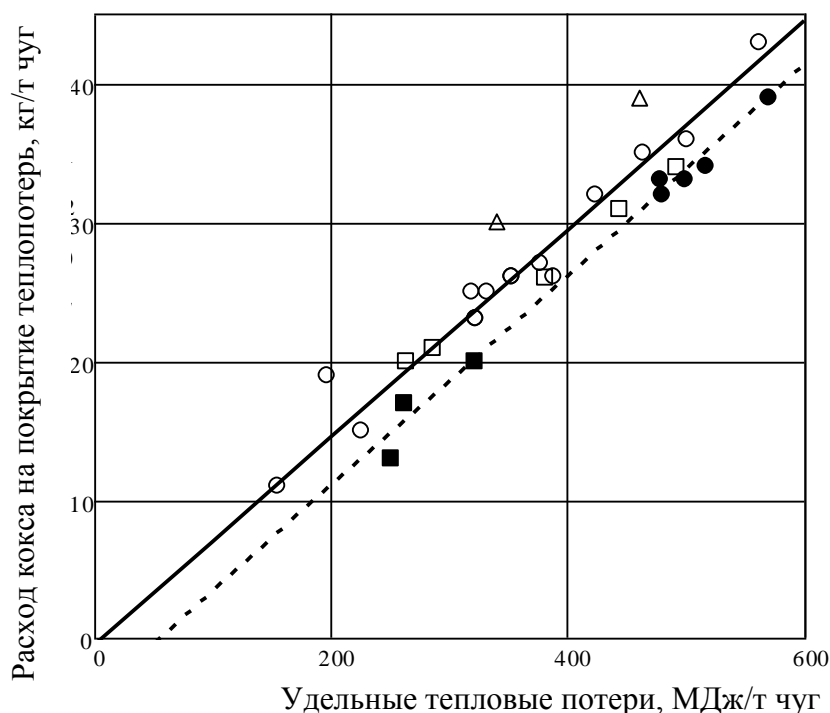


Рис. 3. Зависимость расхода кокса на покрытие тепловых потерь ($K_{\text{пот}}$) от удельных потерь теплоты (q): \square – ДП $V=1000 \text{ м}^3$; \circ – ДП $V=2000 \text{ м}^3$; Δ – ДП $V=2500 \text{ м}^3$; \blacksquare – ДП $V=5000 \text{ м}^3$ (2007 г.); \bullet – ДП $V=5000 \text{ м}^3$ (глубокое похолодание печи в 2011 г.); (—) – статистическая обработка информации по печам различного объема: $K_{\text{пот}}(q) = -0,583 + 0,075 \cdot q$, $R^2 = 0,962$; (---) – статистическая обработка информации по ДП9: $K_{\text{пот}}(q) = -4,272 + 0,076 \cdot q$, $R^2 = 0,988$.

Модернизация подсистемы АСУ ТП в доменной печи потребует расширения измерительной базы точек контроля, разработки алгоритмов обработки и обобщения информации, а также формирования базы данных по координации работы отдельных печей и цеха в целом. Результаты выполненных исследований могут быть использованы при реализации мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и экономичности работы доменного цеха, совершенствованию приемов контроля теплового состояния группы доменных печей и предупреждения расстройств в их работе.

Выводы

Величины тепловых потерь в системе охлаждения группы доменных печей и расход кокса на их покрытие так же, например, как и температура дутья, показывает эффективность технологии в доменном цехе с точки зрения уменьшения расхода кокса и условного топлива на выплавку чугуна, а также позволяют отслеживать безопасность функционирования и изменение ресурса работы ограждения печи.

Автоматизированная система контроля внешних тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие в доменной печи позволяет увеличить эффективность оперативного управления ее тепловым режимом работы, стабильность качества выплавляемого чугуна, ресурс работы

футеровки и холодильников доменной печи за счет своевременного обнаружения и оценки причин отклонений в тепловом и газодинамическом режиме работы печи.

Реализация автоматизированного контроля суммарных тепловых потерь доменной печи или их группы в составе доменного цеха требует установки от двух до шести термодатчиков на сливных водоводах отработанной воды из контуров охлаждения печи, при условии, что температура и расход входящей воды на охлаждение печей контролируется. Эта система мало-затратная и дешевле зарубежных аналогов.

Список использованных источников

1. Большаков В. И., Бородулин А. В., Гладков Н. А. и др. Доменное производство «Криворожстали». Кривой Рог: Издательство СП «Мир», 2004. С. 376.
2. Бородулин А. В., Горбунов А. Д., Романенко В. И., Суцев С. П. Домна в энергетическом измерении. Днепропетровск: ДГТУ, 2006. 541 с.
3. Савчук Н.А., Курунов И. Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. Часть II. Приложение 5. 2000. С. 38.
4. Бородулин А. В., Чайка А. Л., Сохацкий А. А., Шевелев А. Г. Влияние процессов теплообмена в периферийной зоне на работу доменной печи // международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. Специальный выпуск. 2010. Т. I (2). С. 60–65.
5. Большаков В. И., Сохацкий А. А., Чайка А. Л., Шевелев А. Г., Швачка А. И. Исследования тепло-газодинамической работы в «сухой» зоне доменной печи и применение их результатов // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2013. № 2. С. 15–19.
6. Кожух В. Я. Контроль потерь тепла в доменной печи // Сталь. 1965. №4. С. 298–301.
7. Титов В. Н., Емельянов В. Л., Басов В. И., Лысенко С. А. Связь тепловых потерь с охлаждающей водой с режимом работы доменной печи // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. тр. Часть 1. Липецк: ЛГТУ, 2005. С. 98–103
8. Титов В. Н., Яриков И. С., Ляпин С. С., Емельянов В. Л., Иванов Д. Д. Диагностика распределения газового потока в нижней части доменной печи путем измерения тепловых потерь с охлаждающей водой в районе I-ой ступени теплообмена // Материалы межзаводской школы по обмену опытом специалистов доменного пр-ва ОАО «ММК», ОАО «НЛМК», ОАО «Северсталь». Черметинформация, 2003. С. 19–21.
9. А. с. 1604857 СССР, МКИ⁵ С 21 В 5/00. Способ управления работой доменной печи / Капорулин В. В., Чернобривец Б. Ф., Емельянов В. Л., Альтер М. А., Козодеров В. И., Урбанович Г. И., Севастьянов Ю. В.; Новолипец. Металлург. комб. - № 4268808/27; заявл. 21.04.87; опубл. 07.11.90. Бюл. № 41.
10. Пат. 104228 Украина, МПК С 21 В 721. Спосіб контролю ходу доменної печі / В.І. Большаков, О. В. Бородулін, О. Л. Чайка, О.І. Швачка. – № а201209096; заяв. 24.07.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 8. – 8 с.