

Структура энергопотребления доменного производства

Доменное производство является наиболее энергоемким подразделением металлургического цикла, поэтому с точки зрения эффективности энергосбережения вызывает особый интерес исследователей и практиков металлургии.

По данным ПХО «Металлургпром» в 2000 г. затраты основных ТЭР – топливо-энергетических ресурсов (котельно-печного топлива и электроэнергии) на выплавку чугуна составляли 0,94 т у. т./т или 77,3 % от общих энергозатрат. В 2006 г. в результате внедрения энергосберегающих технологий удельные затраты значительно сократились (на 21,3 %) и составили 0,74 т у. т./т чугуна или 65,4 % от общего энергопотребления отрасли. Это свидетельствует о более высоких темпах внедрения энергосберегающих технологий в доменном производстве по сравнению с другими переделами.

Вместе с тем, общий уровень энергетических затрат в доменном производстве украинских предприятий, по сравнению с зарубежными аналогами, остается достаточно высоким.

Доменный процесс представляет собой сложный комплекс физико-химических превращений, в которых скрытая энергия используемого топлива (кокса, природного и доменного газов и других) превращается в химическую (восстановительную), тепловую и механическую (потока дутья через слой шихты) энергии. Для интенсификации процесса горения кокса и восстановления железа в доменном процессе дополнительно используется электрическая (производство кислорода и доменного дутья) и тепловая (доменное дутье) энергии [1].

Ниже представлен наиболее часто используемый в теории и практике доменного производства тепловой баланс доменной печи, рассчитанный А. Н. Раммом по теплотехнической схеме выплавки чугуна с применением природного газа и обогащенного кислородом дутья [2]:

Приход тепла (%)	Расход тепла (%)
Природный газ – 25,6	Полезный – 49,8
Кокс – 65,2	В том числе:
Нагретое дутье – 9,2	диссоциация оксидов и других соединений – 4,0
	испарение влаги – 38,8
	энтальпия чугуна – 7,0
	неиспользованное тепло – 50,2
	В том числе:
	колошниковый газ – 39,1
	переход углерода в чугун – 8,4
	внешние потери тепла – 2,7

Этот баланс показывает, что только половина поступающего тепла используется по прямому назначению – на выплавку чугуна, а основные потери энергии связаны с образованием большого количества газообразных продуктов горения кокса, природного газа и доменного дутья.

Доменное производство является наиболее энергоемким подразделением металлургического цикла, поэтому с точки зрения эффективности энергосбережения вызывает особый интерес исследователей и практиков металлургии

Указанный баланс дает общее представление о процессах, происходящих в доменной печи, но, к сожалению, не позволяет оценить поведение различных энергоресурсов в формировании теплового потенциала ванны, так как одни и те же энергоносители (например, природный газ) применяются в доменном производстве по различному назначению – в качестве технологического топлива, для обогрева кауперов, выработки дутья и электроэнергии.

Ни один из видов энергии в доменном процессе полностью не используется. Поэтому, уходящий через колошник газ (доменный) обладает существенными запасами тепловой, химической и механической энергий, которые в дальнейшем используются в технологическом цикле – для нагрева доменного дутья, в энергетическом комплексе – для выработки тепловой энергии, а также для нужд других подразделений предприятия – прокатных цехов, отделений термообработки, бытовых нужд.

По данным различных источников с доменным газом (ДГ) теряется 32-39 % от общих затрат энергии. Поэтому, при составлении энергетического баланса доменного производства скрытая энергия ДГ, используемого на предприятии, должна учитываться (вычитаться) в общих энергетических затратах.

На рисунке показана принципиальная схема энергообеспечения доменной печи и организации дутьевых потоков в условиях одного из ведущих металлургических предприятий отрасли – ММК им. Ильича с объемом производства чугуна более 5,4 млн т.

Структура затрат топливо-энергетических ресурсов (ТЭР) для реализации доменного процесса этого предприятия за 2004-2007 гг., с учетом технологической схемы их использования, представлена в табл. 1.

Она учитывает прямые затраты ТЭР на технологическое топливо (кокс и коксовую продукцию, природный газ), дополнительные – на выработку (производство электроэнергии и пара для воздуходувочных машин) и нагрев дутья (обогрев кауперов природным и доменным газами), а также скрытые затраты, в том числе тепловой и электрической энергий на производство кислорода, сжатого воздуха, пара и др.

Как следует из представленных данных, соотношение прямых, дополнительных и скрытых затрат ТЭР в доменном производстве комбината за исследуемый период изменялось в незначительных пределах (% от общих затрат):

- прямые затраты на технологическое топливо – 76,7-79,4;
- дополнительные затраты на выработку и нагрев дутья – 21,0-21,5;

Таблица 1

Топливо-энергетические затраты (удельное энергопотребление на 1 т чугуна) доменного производства ОАО «МК им. Ильича»

Вид энергоносителя	2004		2005		2006		2007	
	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.
1. Технологическое топливо, всего	-	625,6 (77,3)*	-	611,8 (76,7)	-	605,9 (76,9)	-	609,8 (79,4)
в том числе:								
- кокс и коксовая продукция, кг	521,4	515,0 (63,6)	509,9	504,8 (63,3)	525,4	520,1 (66,0)	509,1	504,0 (65,6)
- уголь, кг	2,5	2,2 (0,3)	0,2	0,1	-	-	1,0	0,9 (0,1)
- природный газ, м ³	93,7	108,3 (13,4)	92,5	106,9 (13,4)	74,2	85,8 (10,9)	90,8	104,9 (13,7)
2. Топливо на нагрев воздухонагревателей, всего	-	88,9 (11,0)	-	91,2 (11,4)	-	89,4 (11,3)	-	82,9 (10,8)
в том числе:								
- природный газ, м ³	16,0	18,5	18,0	20,8	12,5	14,4	13,2	15,3
- доменный газ, м ³	492,3	70,4	492,0	70,4	524,3	75,0	472,0	67,6
3. Энергетические затраты на выработку доменного дутья, всего		80,6 (10)		80,5 (10,1)		78,6 (10)		75,0 (9,8)
- температура дутья, °С	1115	-	1115	-	1072	-	1093	-
4. Электроэнергия, кВт·ч, всего	46,65	5,7 (0,7)	46,54	5,7 (0,7)	48,31	5,9 (0,7)	60,2	7,4 (1,0)
в том числе:								
- на пр-во кислорода	38,2		34,9		37,8		49,74	
- сжатого воздуха	2,08		5,27		4,98		4,98	
- общецеховая	6,37		6,37		5,83		5,52	
5. Теплоэнергия, Мкал	59,9	8,6 (1,1)	59,7	8,5 (1,1)	58,3	8,3 (1,0)	58,4	8,3 (1,1)
ИТОГО	-	809,4 (100)	-	797,7 (100)	-	788,1 (100)	-	783,4 (100)
Теплосодержание доменного газа, всего	-	194,3	-	193,1	-	192,0	-	
- выход доменного газа, м ³	1667	-	1650	-	1655	-	1644	-
- калорийность газа, ккал/м ³	813	-	819	-	811	-	822	-

*() - процент от общих энергозатрат

– скрытые затраты на производство собственных энергоресурсов – 1,8-2,1.

Существенных изменений в объемах и структуре энергопотребления доменного производства на комбинате им. Ильича не произошло. Удельное энергопотребление на производство чугуна за пять лет сократилось в среднем на 26 кг у. т. (на 3,2 % от общих затрат), в основном, за счет снижения расхода кокса и затрат на выработку доменного дутья и в 2007 г. составляло 0,783 т у. т.

Основными энергоресурсами доменного процесса в условиях комбината являются кокс и ПГ, расход которых зависит от теплового состояния (нагрева) печи, качества применяемых материалов (кокса и других) и могут быть сокращены только в результате использования других источников энергии, например, вдувания ПУТ («Донецксталь») или применения антрацитов («Криворожсталь»), которые в настоящее время на комбинате не используются.

При отсутствии на комбинате указанных технологий и дополнительных источников энергообеспечения сокращение расхода природного газа на 23,0 м³/т в 2006 г. привело к увеличению на 15,3 кг/т расхода кокса. Дефицит и низкое качество кокса в 2007 г. явились основными причинами повышения расхода природного газа на фурмы – до 90,8 и до 13,2 м³/т – для нагрева кауперов.

Как следует из технологической схемы функ-

ционирования комплекса, на энергозатраты в доменном производстве влияют не только технологические, но и многие факторы организационного характера в смежных подразделениях предприятия и, особенно, по регулированию потоков доменного дутья, природного и доменного газов. Это связано с тем, что восстановительная плавка в доменной печи требует значительного количества нагретого дутья и характеризуется большими затратами в энергетическом комплексе, где коэффициент использования топлива существенно меньше, чем в доменном процессе. Энергетические цеха по производству ВЭР для доменного процесса (доменное дутье, кислород, теплоэнергия, сжатый воздух и другие) затрачивают значительное количество первичного топлива (12 % от общих затрат) и имеют большие резервы энергосбережения. Учитывая взаимосвязь расхода технологического топлива и ВЭР возникают проблемы с учетом общих энергетических затрат на производство чугуна. Согласно анализу, около 10 % энергопотребления приходится на доменный газ – ВЭР, энергия которого, в принципе, не должна учитываться в прямых затратах ТЭР, так как является производной от первичной энергии кокса и природного газа. Проблематичен и учет в общем балансе тепловой энергии, которая, по сути, также является ВЭР доменного производства, так как вырабатывается на ТЭЦ с участием доменного газа. При этом следует отметить,

Таблица 2

Основные топливно-энергетические затраты (удельное энергопотребление на 1 т чугуна) доменного производства украинских предприятий в 2004 г. (по данным статистического анализа – форма 11-СН)

Вид энергоносителя	ОАО МК «Азовсталь»		ОАО МК им. Ильича		«Донецксталь», ДП – 2		«Миттал Стил, Кривой Рог» ДЦ – 1	
	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.	натуральн. показатели	кг у. т.
1. Технологическое топливо, всего	–	652,8	–	625,6	–	595,3	–	596,8
в том числе:								
- кокс и коксовая продукция, кг	521,2	515,9	521,4	515,0	444,6	440,1	454,0	449,5
- уголь (ПУТ), кг	0,33	0,3	2,5	2,2	(79,0)	(62,2)	48,1	47,8
- природный газ, м ³	118,1	136,6	93,7	108,3	80,4	93,0	86,3	99,8
2. Топливо на нагрев воздухонагревателей, всего	–	77,1	–	88,9	–	84,2	–	62,6
в том числе:								
- природный газ, м ³	–	–	16,0	18,5	8,6	10,0	–	–
- доменный газ, м ³	539,2	77,1	492,3	70,4	634,0	74,2	534,6	62,6
3. Энергетические затраты на выработку доменного дутья, всего	–	68,8	–	80,61	–	53,1	–	77,3
- температура дутья, °С	1078	–	1115	–	1099	–	1022	–
- объем дутья, тыс. м ³	2,84	–	2,98	–	1,32	–	2,55	–
ИТОГО:		798,7		795,11		732,6		736,7
Теплосодержание доменного газа, всего	–	-221,4	–	-194,3	–	-232,4	–	-180,8
- выход доменного газа, м ³	1741	–	1667	–	1871	–	1538	–
- калорийность газа, ккал/м ³	868	–	813	–	872	–	823	–

что объем использования тепловой энергии в доменном процессе составляет 58-60 Мкал/т или 1,0-1,1 % от общих затрат.

Что касается электроэнергии, то ее общие затраты в доменном производстве, кроме прямых затрат на технические нужды, связаны с производством пара на котлах ТЭЦ для выработки доменного дутья и кислорода, используемого для интенсификации процесса горения кокса.

При этом следует отметить, что энергетические затраты на выработку доменного дутья и других ВЭР (кислорода, пара, тепловой энергии и сжатого воздуха) относительно постоянны, составляют 11,7-12,0 % от общих затрат энергии и зависят от эффективности работы служб главного энергетика, поэтому при разработке коксозамещающих технологий могут не учитываться.

Из анализа структуры энергопотребления, доступности и цены отдельных видов топлива следует выделить три основных направления энергосбережения доменного процесса [3]: реструктуризацию энергетического баланса и переход на более доступные источники энергии; повышение степени использования энергии первичного топлива; более эффективное использование энергии ВЭР, в том числе ДГ в собственном производстве.

Учитывая огромный дефицит коксующихся углей, а также высокую энергоемкость и экологическую загрязненность коксохимического производства, наи-

большой интерес для металлургов отрасли представляют технологии, направленные на снижение расхода кокса при выплавке чугуна. В этой связи необходимо учитывать, что в доменном производстве кокс используется не только как основной энергоноситель процесса, но и в качестве восстановителя железа из железорудных материалов, а также выполняет функции опорного каркаса, то есть его расход несет информацию о всех физико-химических и теплообменных процессах, происходящих в доменной печи и обслуживающих ее агрегатах. При этом эффективность коксозамещающих технологий должна оцениваться величиной снижения общих затрат энергии в доменном производстве. Если этого не происходит, то эффективность предлагаемых технологий вызывает сомнения.

В связи с этим представляет интерес сравнение структуры энергопотребления доменного производства отечественных предприятий, использующих различные виды технологического топлива на печах, оборудованных однотипными механизмами загрузки шихты, системами выработки и подачи дутья, а также качеством сырьевых материалов.

Для сравнения структуры энергопотребления и эффективности применения в условиях Украины коксозамещающих технологий были выбраны четыре ведущих предприятия отрасли – комбинаты им. Ильича (использование природного газа для обогрева кауперов),

Таблица 3

Показатели работы доменного производства предприятий ПХО «Металлургпром» в 2005 г.

Состав шихты	ПХО «Металлургпром»	ОАО «Енакиевский МЗ»	ОАО «МК Азовсталь»	ОАО «МК им. Ильича»	ОАО «Алчевский МК»	ГГМК «Арселор Миттал-Кривой Рог»	ОАО «Днепровский МК им. Дзержинского»	ОАО «Запорожсталь»	ЗАО «Донецксталь»
1. Пр-во чугуна, млн т	30,78	1,95	4,95	5,24	2,92	6,16	2,88	3,54	0,79
2. Расход ЖРЧ шихты, кг/т чугуна									
- агломерат	1487,2	1229,0	843,3	1902,4	1674,0	1523,7	1717,9	1550,6	775,8
- окатыши	266,9	460,6	850,3	3,0	120,4	137,6	47,9	216,2	890,4
- железная руда	25,5	79,8	3,6	18,2	17,3	18,1	60,1	39,9	5,1
3. Качество агломерата:									
- Fe, %	53,94	54,65	57,31	52,43	53,57	54,70	53,20	55,31	н/д
- основность, ед.	1,25	1,18	1,30	1,22	1,23	1,24	1,33	1,34	н/д
- содержание фракций менее 5 мм, %	14,86	21,20	20,43	13,84	15,02	12,84	14,30	14,70	н/д
4. Fe в ЖРЧ, %	55,05	54,73	58,85	52,3	54,16	55,03	53,62	56,1	58,3
5. Расход кокса, кг/т чугуна	488,7	519,2	509,2	508,4	480,4	431,7	466,0	504,2	455,2
6. Расход природного газа, м ³ /т чугуна	94,4	112,5	122,5	92,5	85,2	84,9	86,5	93,7	66,6
7. Расход кислорода, м ³ /т чугуна	91,3	100,3	133,7	76,3	69,6	98,8	88,9	49,1	99,2
8. Содержание кислорода в дутье, %	24,0	23,0	25,9	24,1	23,3	25,7	23,1	22,2	23,0
9. Температура дутья, °С	1059	976	1004	1115	1097	1052	1081	1150	1078
10. Давление газа на колошниках, МПа	0,146	0,123	0,138	0,116	0,134	0,116	0,097	0,126	0,099
11. Выход шлака, кг/т чугуна	461	476	380	560	467	434	504	448	384
12. Si в чугуне, %	0,78	0,78	0,80	0,75	0,68	0,82	0,71	0,77	0,86
13. Расход угля (ПУТ), кг/т чугуна	15,8	5,6	0,3	0,2	23,7	48,3	28,2	0,3	(93,3)
14. S в коксе, %	1,28	1,34	1,35	1,18	1,39	1,30	1,26	1,23	1,19

«Азовсталь» (нагрев кауперов только доменным га-зом), «Криворожсталь» (использование в качестве коксо-замещающих материалов антрацитов), а также ДП № 2 «Донецксталь» (технология вдувания ПУТ). Структура расхода основных ТЭР этих предприятий в 2004 г., без учета затрат тепловой и электрической энергий, расход которых практически не влияет на технологические показатели процесса энергопотребления, представлена в табл. 2.

Как следует из приведенных данных, несмотря на некоторые различия в структуре энергопотребления на комбинатах им. Ильича и «Азовсталь», которые используют в технологическом цикле только кокс и природный газ, общий расход энергии на выплавку чугуна в исследуемом периоде был практически одинаковым. При этом на МК им. Ильича в результате использования более горячего дутья (обогрев кауперов ДГ и ПГ) затраты на технологическое топливо были почти на 0,027 т у. т. меньше. Однако, в результате использования устаревших технологий и оборудования эта экономия нивелировалась более высокими энергетическими затратами на выработку и нагрев дутья. Последнее указывает на высокий нереализованный потенциал энергосбережения в энергетическом комплексе этого предприятия.

На предприятиях, использующих в технологическом

цикле другую, кроме кокса, угольную продукцию (кусковой антрацит и ПУТ), удельное энергопотребление на выплавку чугуна было значительно меньше (на 7-8 % от общих энергозатрат) и составило 0,733 т у. т. на ДП № 2 «Донецкстали» и 0,737 т у. т. – ДЦ № 1 «Криворожстали». Расход технологического топлива и топлива на выработку и нагрев дутья на этих предприятиях практически совпали. Это еще раз подтверждает технологическую эффективность применения в качестве коксозамещающих материалов доступных Донецких антрацитов, которые, как и кокс, являются не только энергоносителем, но и выполняют функции опорного каркаса и науглераживателя ванны [4, 5].

Приведенные данные и расчеты показали, что независимо от вида угольной продукции и способа ее ввода (кусковой антрацит или ПУТ в количествах до 120 кг/т чугуна), при одинаковом поступлении углерода в ванну, удельные затраты энергии на производство чугуна отличаются незначительно. В этой связи следует обратить внимание на другие нетрадиционные виды угольной продукции – отходы угольной футеровки алюминиевых электролизеров, бой электродов и другие вторичные материалы, которые периодически могут быть использованы в доменной печи не только в качестве топлива, но и для промывки шахты [6].

Таблица 4

Сравнительные показатели работы доменных печей украинских предприятий и в странах Западной Европы [10-12]

Технологические показатели	Украина	Страны Европы
Содержание железа в ЖРЧ шихты, %	53,3-59,4	61-62
Расход топлива, кг/т		
- кокс;	403-591	274-311
- ПУТ;	0-167	177-233
- природный газ, м ³ /т;	0,1-109	—
Температура дутья, °С	910-1162	1079-1239
Содержание кислорода в дутье, %	22,2-25,3	23,2-32,9
Давление под колошником, МПа	0,10-0,17	более 0,25
Состав чугуна, %		
- кремний;	0,72-0,86	0,38-0,48
- сера	0,022-0,041	0,013-0,032
Состав шлака, %		
- Al ₂ O ₃	5,7-7,54	11,5-16,4
- MgO	4,2-7,1	7,0-10,5
- основность, ед.	1,16-1,22	1,37-1,47
Выход шлака, кг/т	372-548	219-297
Приход щелочей (K ₂ O+Na ₂ O), кг/т	6-10	1,5-3,0

Авторы не собираются оспаривать целесообразность использования в доменном процессе технологии вдувания ПУТ. Эффективность этой технологии не вызывает сомнений, ее преимущества подтверждены десятилетиями практической работы агрегатов в различных странах, в том числе ДП № 2 «Донецксталь» за последние два года. В 2006 г. после реконструкции печи (внедрения автоматизированной системы управления процессом вдувания ПУТ и переходом на индивидуальную подачу топлива на каждую фурму) технико-экономические показатели процесса значительно улучшились за счет увеличения расхода ПУ до 160 кг/т чугуна. Это позволило снизить расход кокса в шихте до уровня 380-400 кг/т чугуна, исключив из технологического цикла природный газ. Рассматривая статьи теплового баланса, следует отметить, что значительный эффект энергосбережения можно получить за счет совершенствования дутьевого режима доменной печи, в том числе, за счет оптимального распределения шихты с помощью засыпных аппаратов с широким диапазоном распределения материалов по диаметру печи, которые позволяют повысить степень использования химической и тепловой энергии газового потока [7]. В 2009 г. бесконусные устройства фирмы «Paul Wurth» планируют установить на доменных печах предприятий группы ИСД и «Запорожстали».

Как отмечено в работе [8], технологию вдувания ПУТ наиболее эффективно применять на печах, оборудованных бесконусными засыпными устройствами (БЗУ) и относительно высоким давлением газа на колошнике (более 0,2 МПа). Это позволяет производить сухую очистку колошникового газа и использовать ГУБТ.

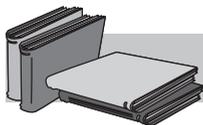
При анализе работы крупных доменных печей Японии, Франции, Италии, Германии авторы работы [9] отмечают, что низкий расход кокса 448-465 кг/т чугуна (на отдельных печах 406-408 кг/т чугуна) в этих станах был достигнут за счет оптимизации дутьевого режима печи (температура дутья – 1353 °С, давление под

колошником – 0,25 МПа), а также выплавкой низкокремнистого чугуна (0,3-0,4 %) с небольшим перегревом (1480-1485 °С) и использованием богатой шихты (выход шлака 274 кг/т чугуна). В табл. 3 по данным ПХО «Металлургпром» приведены некоторые технологические показатели работы доменных печей ведущих металлургических предприятий Украины в 2005 г. В табл. 4 – основные технико-экономические показатели доменных печей отечественных предприятий в 2006-2007 гг. сопоставлены с показателями работы агрегатов стран Западной Европы. Как следует из представленных данных, отечественные агрегаты работают в более неблагоприятных технических условиях, в том числе используют низкогокачественное сырье и морально устаревшее оборудование. Особенно это касается качества железорудного сырья. Несмотря на постоянное внимание этому вопросу, содержание железа в шихте доменных печей за

последние годы практически не изменилось и составило: в 2005 – 54,8; 2006 – 55,3; 2007 г. – 55,7 %, а выход шлака в этот период составлял 441-461 кг/т чугуна.

Таким образом, в настоящее время доменное производство отрасли не подготовлено к решению своей главной задачи – резкому снижению расхода кокса за счет внедрения современной технологии вдувания ПУТ. Эта проблема должна осуществляться в комплексе с решением других задач по оптимизации основного технологического процесса. При разработке концепции энергосбережения доменного производства отрасли необходимо рассматривать все известные технологические решения. Особенно обратить внимание на энергосберегающие технологии в обслуживающих доменную печь системах и агрегатах, потери энергии в которых соизмеримы с экономией от внедрения дорогостоящих проектов по реконструкции печей системами вдувания ПУТ, тем более, что внедрение современных коксозамещающих технологий за счет ввода в горн доменной печи порошкообразного пылеугольного топлива (ПУТ) требует значительных инвестиций, продолжительного времени на монтаж и освоение оборудования (не менее двух лет). Учитывая высокую материалоемкость и энергоемкость продукции металлургического производства в период экономического спада на мировых рынках металла, это значительно повышает степень риска возврата капитала от вложенных инвестиций.

Однако, учитывая высокую эффективность ПУТ-технологий предприятия, которые уже прошли основной путь ее освоения (ММК им. Ильича, Алчевский металлургический завод, ЗАО «Донецксталь»), в период обострения энергетического кризиса имеют более высокий шанс сохранить финансовую независимость.



ЛИТЕРАТУРА

1. Энергозатраты в доменной плавке «Теория и практика производства чугуна» / Донсков Е. Г., Донсков Д. Е. – Сборник. Кривой рог. – 2004. – С. 238-245.
2. Рамм А. Н. Определение технических показателей доменной плавки. Метод расчета и справочные данные. – Л.: ЛПИ, 1971. – 110 с.
3. Большаков В. И., Тубольцев Л. Г. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины на основе энергосберегающих технологий // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2006. – № 2. – С. 1-5.
4. Сокурено А. В., Шеремет В. А. и др. Замена части кокса антрацитом в доменной плавке // Сталь. – 2006. – № 5. – С. 6-11.
5. Шатлов В. А. Коксозамещающие энергосберегающие угольные технологии доменной плавки / Сталь. – 2007. – № 7. – С. 10.
6. Никитин Л. Д., Авцинов А. Ф., Долинский В. А., Бугаев С. Ф. О возможности использования в доменных печах отходов производства алюминия / Известия вузов. ЧМ. – 2003. – № 2. – С. 3-5.
7. Тарасов В. П., Русских В. П., Томаш А. А. и др. Снижение энергетических затрат на выплавку чугуна в современных условиях Украины / Металл и литье Украины. – 2000. – № 3-4. – С. 5-7.
8. Дегазификация. Энергопотребление в черной металлургии Украины и пути его оптимизации / Металл. – 2007. – № 3. – С. 16-17.
9. Улахович В. А. Выплавка чугуна в мощных доменных печах – М.: Металлургия, 1991.
10. Ярошевский С. Светлый ПУТ / Металл. – 2007. – № 8. – С. 16-19.
11. Бабич А. И., Кочура В. В., Формосо А. и др. Производство первичного металла в странах Западной Европы / Металл и литье Украины. – 1997. – № 5. – С. 32-37.
12. Большаков В. И., Глазков Н. А. Особенности технологии в условиях изменяющейся интенсивности доменной плавки / Сталь. – 2002. – № 8. – С. 16-19.

Вниманию читателей и подписчиков!

С 1 января 2009 года журнал «Металл и литье Украины» поменял адрес редакции.

Статьи для печати в журнале «Металл и литье Украины» необходимо высылать по адресу:

Украина, 03680, г. Киев-142, пр. Вернадского, 34/1,
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Телефон: (044) 424-12-50, 459-50-29, факс (044) 424-35-15,
E-mail: mlu@ptima.kiev.ua

Продолжается подписка журнала на 2009 год

Подписаться на журнал можно через редакцию журнала. Чтобы оформить подписку, необходимо направить письмо-запрос или факс в адрес редакции для оформления счета-фактуры. Счет-фактура высылается письмом или по факсу.

Стоимость одного журнала – 28 грн.
Годовая подписка – 336 грн. (для Украины).
Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.

Редакция может предоставить электронную версию журнала на компакт-диске.

Редакция также может подготовить заказной номер журнала.

Ориентировочная стоимость заказного номера – 6750 грн.

(объем до 4 уч.-изд. л.)

Ориентировочная стоимость заказного спаренного номера – 13000 грн.

(объем до 8 уч.-изд. л.)