

**Н.М.Можаренко, Е.Д.Вышинская, В.В.Горупаха**

## **ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ ТОПЛИВНО-СЫРЬЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

*Институт черной металлургии НАН Украины*

Показана целесообразность корректировки геометрических размеров проектных профилей доменных печей при проведении модернизационных ремонтов с учетом перспективных сырьевых баз и топливных добавок. На основании исследований показана возможность уменьшения высоты шахты и увеличения поперечных размеров элементов профиля. Установлена целесообразность уменьшения углов наклона шахты и заплечиков при увеличении доли окатышей в шихте до 100 % и внедрения технологии пылеугольного топлива. Уменьшение углов наклона заплечиков на одной из доменных печей ПАО «ЕМЗ» до 76° способствовало нормальному температурно-тепловому состоянию на участке «заплечики – распар – низ шахты» в период трехлетней кампании после ее задувки.

**Ключевые слова:** доменная печь, профиль доменной печи, элементы профиля, углы наклона шахты и заплечиков, шихтовые материалы, ПУТ

**Введение.** Вопросам обеспечения производительной и экономичной работы доменных печей всегда придавалось большое значение. Помимо обязательного ритмичного снабжения их необходимым количеством железорудных материалов, коксом и топливными добавками, с обеспечением должного их качества и рациональной организацией производства, большое внимание уделялось проведению плановых капитальных и расширенных модернизационных ремонтов. Именно при выполнении последних, как правило, ставится в настоящее время задача выведения плавильных агрегатов на качественно новый уровень. При этом, кроме внедрения на печах новых технологий, оснащения новыми средствами загрузки, управления и контроля ходом печи, выдвигаются задачи по расширению эксплуатационных возможностей непосредственно центрального агрегата – доменной печи. Это достигается как за счет обеспечения более высокой газопропускной способности столба шихты (качества шихтовых материалов), так и расширения универсальности плавки за счет использования более широкого диапазона железорудных материалов (агломерат, окатыши, брикеты и др.) и топливно-восстановительных добавок (природный газ, ПУТ, мазут, технологические газы и др.). Наряду с другими мероприятиями эти задачи, в значительной мере, обеспечивались технологическими возможностями принятых проектных профилей, особенно в нестабильных топливно-сырьевых условиях.

**Краткий анализ тенденций изменения профилей доменных печей.**

Профиль доменной печи, ограничивающий ее рабочее пространство, так называемый «полезный объем», является важнейшей технологической

частью конструкции печи. В зависимости от его очертания доменная печь может быть склонна к периферийному или осевому ходу, к неустойчивости заданного режима и даже к настylieобразованию [1]. Поэтому, исключительно важно создание так называемого «рационального» профиля, обеспечивающего стабильный ровный сход материалов по сечению печи и максимальное использование восстановительной способности газа в широком диапазоне изменения качественных показателей и видов железорудных и топливно-восстановительных материалов. Современные типовые профили, рассчитанные на любые условия плавки, не следует считать правильными с точки зрения их классического определения по М.А Павлову [2]. Это обусловлено тем, что различные минералогические, гранулометрические и физико-химические особенности разного железосодержащего сырья имеют свою специфику поведения при проплавке их в доменной печи. Создание же профиля для приоритетного проплавления узкого класса железорудных материалов может значительно снизить технологические возможности доменной печи. Поэтому важно создание так называемого «рационального» профиля, пригодного в достаточной степени для широкого спектра условий доменной плавки [3-6]. Однако до настоящего времени наука и практика не выработали надежной методики определения его очертания для таких условий. При этом многочисленные результаты исследований и рекомендации ограничиваются только статистическими данными о сроках службы отдельных зон профиля в сопоставимых условиях [7-14].

Для оценки тенденций развития профилей были рассмотрены особенности проектных профилей всех типовых доменных печей бывшего СССР [15] и наиболее современных Японии, Западной Европы, России и Америки, табл. 1–4. Для доменных печей бывшего СССР характерным было то, что с увеличением их полезного объема поступательно увеличивались высоты и поперечные размеры профилей, при этом соблюдалось сохранение основных соотношений размеров элементов профиля. Причем, в соотношении линейных размеров элементов профиля и углов наклона шахты и заплечиков присутствовало влияние использования в шихте сырых материалов (руды и известняка). Такой путь развития конструкций доменных печей был свойственен длительное время также и для печей Западной Европы. Это обуславливалось необходимостью наиболее полного восстановления железа из железорудной шихты [1,15].

Интересен и поучителен путь совершенствования профилей доменных печей Японии. К началу 60-ых годов уровень развития доменного производства Японии значительно уступал уровню развитых мировых стран (соответствовал их развитию на период конца 19 - начала 20 столетия). Но, встав на путь промышленного развития, в Японии было уделено большое внимание интенсивному развитию металлургии. Это

коснулось, в частности, и отработки эффективных профилей доменных печей с учетом определенных топливно-сырьевых условий. Оценив успешное интенсивное развитие доменного производства СССР в 50-е – 60-е годы прошлого столетия японскими промышленными компаниями были приобретены лицензии на проектные профили доменных печей полезным объемом 1719 м<sup>3</sup>, 2000 м<sup>3</sup> и 2700 м<sup>3</sup>. На этой базе были выполнены обширные исследования по выявлению достоинств и недостатков приобретенных вариантов проектных профилей с учетом перспективных сырьевых условий. В результате, уже к концу 60-х годов в Японии начали вводиться в эксплуатацию печи с откорректированными проектными профилями. В целом, развитие профилей доменных печей Японии характеризовалось, главным образом, увеличением поперечных размеров и незначительным приростом их высоты, что положительно сказалось на газопропускной способности, эксплуатационной устойчивости, производительности, экономичности и длительности кампаний, табл. 2,3 [1]. Такой путь развития обеспечивался хорошей подготовкой железосодержащих материалов к плавке и, в первую очередь, высокой их восстановимостью и повышенной горячей прочностью.

К концу 60-х началу 70-х годов сотрудниками Института черной металлургии (ИЧМ) было установлено, что, при существующем на то время уровне подготовки железорудных материалов, верхняя часть шахты в тепловом и восстановительном понимании работала в пассивном режиме. Было показано, что на участке столба шихты ниже уровня засыпи на 3 м степень отнятия кислорода от окислов железа шихты была, в среднем, равна 1% на 1 м полезной высоты печи. Причем, это достигалось, преимущественно, за счет восстановления оксида Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> железосодержащей шихты, который, при существующем здесь уровне температур 250-300<sup>0</sup>С, мог бы восстанавливаться даже в присутствии диоксида углерода. Такой уровень развития восстановления не оправдывался затратами на подъем материалов на эту высоту. На основании этого ИЧМ выдал рекомендации Минчермету и Гипромету о целесообразности снижения высоты шахт проектируемых доменных печей [16].

Таким образом, эволюция профилей доменных печей Японии и наши исследования создали в начале 70-х годов предпосылки для уменьшения соотношения полезной высоты к диаметру распара (H / D) для печей полезным объемом 3200 м<sup>3</sup>, 5034 м<sup>3</sup> и 5500 м<sup>3</sup> до 2,3-2,5 ед., табл. 2,3 [1].

Таблица 1. Профили типовых советских печей [2]

Объем, м <sup>3</sup>	Диаметр, мм				Высота, мм				Отношение		К-во фурм				
	Горн.Д	Распар.Д	Колошник.Д	Общая.Нс	Горн.З	Распар.З	Шихта.К	Колошник.К	Зумиф.Нс	Запеченки.Д		Запеченки.Д			
1033	7200	8200	5800	28700	3200	2000	15000	2800	600	85°25'34"	80°32'15"	0.71	1.14	14	
1386	8200	9300	6500	31225	3200	2000	16000	2900	450	84°59'52"	80°14'51"	2.94	0.7	1.13	16
1513	8600	9600	6600	30750	3200	2000	17300	2500	766	85°02'40"	81°07'10"	2.92	0.69	1.12	18
1719	9100	10200	6900	31250	3200	3000	17800	2500	1099	84°42'14"	79°36'40"	2.79	0.68	1.12	18
2000	9750	10900	7300	32358	3500	3000	18200	2900	1101	84°22'06"	79°09'	2.7	0.67	1.12	20
2300	10500	11700	7800	33150	3800	3200	19000	2500	1699	83°23'47"	79°22'48"	2.68	0.63	1.11	20
2700	11000	12300	8100	33650	3900	3400	18700	3000	1699	83°35'33"	79°10'38"	2.64	0.66	1.12	20
3000	11600	12800	8400	34950	3900	3200	20100	3000	1740	83°45'14"	79°22'49"	2.51	0.656	1.12	28
3200	12000	13100	8900	35290	3900	3400	19600	2900	-	83°53'	80°49'	2.46	0.675	1.09	28
5000	14700	16100	10800	36100	4400	3700	20700	3000	1113	82°42'17"	79°17'13"	2.08	0.67	1.095	36
5500	15100	16500	11200	35500	5700	3700	20400	3000	1200	82°35'35"	79°17'13"	2.22	0.69	1.095	40

Таблица 2. Профили печей большого объема Японии, Западной Европы и Америки \*)

Название печи	Объем, м <sup>3</sup>	Диаметр, мм			Высота, мм				Зумиф		Угол наклона, °		К-во фурм
		Горн	Распар	Колошник	Колошник	Горн	Запеченки	Распар	Шихта	Колошник	Шихта	Запеченки	
"Гаккудате", Япон, №5	4617	14000	15900	10700	6200	4300	2500	17000	2000	1500	80°18'	80°06'	42
—, №4	4197	13800	15200	10500	5750	4000	2750	16750	2000	1350	82°01'	80°04'	40
—, №3	3223	12400	13000	9000	5700	3500	3000	17000	1500	1500	83°17'	80°16'	34
"Она", Япон, №2	5070	14800	16000	10500	4165	3800	2500	18400	2600	2085	82°14'5"	81°52'12"	40
—, №1	4158	14000	15000	10200	5200	3500	1900	17600	1400	1987	-	-	38
"Kimitsu", Япон, №3	4063	13500	14600	9500	4900	4000	3000	18100	2000	-	80°22'	79°48'	38
"Тобана", Япон, №4	3799	13500	14400	10000	5700	3400	2000	16400	1000	2500	82°22'26"	79°47'46"	36
"Kashima", Япон, №1	3159	12400	13100	9600	5200	3200	2800	15350	1890	-	-	-	36
—, №2	4080	13800	14600	10000	6300	4000	3000	18100	-	1500	-	-	38
—, №3	5050	15000	16300	11200	5100	4000	2800	16900	2400	1500	81°22'	80°46'	40
—, №4	4500	14100	15500	10500	5300	4100	2700	17100	1839	2100	81°41'	80°19'	40
"Dunkerk", France, №4	4615	14200	15400	11000	7100	4000	3000	17000	3500	-	82°57'	81°28'	40
"Redcar", UK, №1	4572	14000	15300	10800	5400	3600	3000	18100	1500	2050	82°55'	79°46'	36
"Schwelegern", RFN, №1	3600	13600	15300	10000	5000	4000	2500	17000	4650	1055	84°27'	78°	40
"Ijmuiden", Holland, №7	4177	13100	14630	9815	-	-	32890	-	-	-	-	-	38
"Spargows Point", USA, L	4220	13565	14985	10070	5715	3050	3810	16840	3050	1525	81°42'	80°26'	38
"Indiana Harbor", USA, №7	4175	13715	15115	10220	4995	4000	2500	17000	2000	1540	81°48'	80°06'	40

\*) — данные представлены Метпромпроектотом.

Таблица 3. Профили доменных печей с тонкостенной шахтой<sup>\*)</sup>

Название печи	Проектировщик	Диаметр, мм		Высота, мм				Рабочий объем, м <sup>3</sup> (в/ф - ур-нь засыпи)	Соотношение		Углы наклона, °			
		Горн, dg	Распар, фр	Горн	Запечники	Распар	Шахта		Н/dg	фр / dg		Запечники (по футеровке)	Шахта (по холл. Плитам)	
Сидмар А, Бельгия	PW	11000	12700	4600	3800	2250	18800	25500	2,33	1,15	77°	84,35	77°	83°
Сидмар В, Бельгия	PW	10500	-	3900	3250	2420	18100	25550	2,42	-	-	84,1	-	79°18'
Австралия, Испания	SMS	11300	12800	-	3700	2200	16100	25500	2,25	1,13	-	82,5	78°30'	-
Н. Тагил №5, Россия	МПП	9800	11900	4600	5100	2600	14200	23800	2,43	1,21	79°	82,5	79°	79°
НЛМК №6, Россия (тонкостенная футеровка)	Гипромез	12000	14200	4600	4450	850	20000	-	2,34	1,18	82,5	82,5	76°08'24"	76°08'24"
НЛМК №7, Россия (проект)	PW	13000	14820	5200	4800	2000	19650	29350	2,25	1,14	83	83	79°15'54"	-
Прайсар, Германия	МД	11200	13200	-	3800	3250	16500	25650	2,30	1,18	81,3	81,3	75°18'	-
Порт-Кембла А, Австралия	PW	12000	13830	4350	4500	2500	16470	26200	2,18	1,15	81,25	81,25	-	83°16'12"
Порт-Кембла 5, Австралия	PW	12000	13830	4350	4500	2300	16470	26200	2,18	1,15	81,25	81,25	-	83°16'12"
Порт-Кембла 6, Австралия	PW	11800	13830	4800	3950	2350	16470	25470	2,15	1,17	81,25	81,25	-	81°29'24"
Поско 4, Корея	ФАИ	11000	12300	3400	2800	-	17550	2550	2,35	1,12	83,1	83,1	-	-
Швельгер 1, Германия	MANGNH	13600	16000	5100	3650	2500	17000	27300	2,00	1,17	81	81	74°	74°
Швельгер 2, Германия	MANGNH	14900	17160	5300	3900	3000	17700	29000	1,94	1,15	81	81	73°42'	73°42'
Хамборн 4, Германия	MANGNH	10200	11800	4500	3500	2500	15000	1833	2,31	1,16	81,9	81,9	77°42'	77°42'
Тула 1, Россия (проект)	МПП	9000	10600	4600	3200	2500	13900	22000	2,44	1,17	82	82	76°	76°
Чусовая 2, (проект)	МПП	9100	10600	4600	3200	2500	13700	21900	2,40	1,16	84	84	76°48'	79°
Курашима 2, Япония	PW	13700	15300	5100	4100	2200	16000	24700	1,80	1,12	81,3	81,3	79°	-
Кокервиль, Бельгия	PW	9750	11300	4100	3550	2350	16150	23390	2,40	1,16	83	83	77°	77°48'
Кашима 3, Япония	Гипромез	15000	17300	-	5600	1800	17300	27300	1,82	1,15	80	80	77°	77°
Северсталь 4, Россия	Гипромез	11000	12800	4400	3400	2450	17000	25700	2,34	1,16	83,5	83,5	79°12'	79°12'

\*) – данные представлены Метромпроектom.

Таблица 4. Проектные профили доменных печей Tissen Shtal и Hoogowens [17]

Наименование элементов профиля	Tissen Shtal		Hoogowens	
	ДП-1	ДП-2	ДП-4	ДП-9
Высота, мм :				
- колошник	н/св.	н/св.	н/св.	н/св.
- шахта	17000	17700	16310	15000
- распар	2500	3000	1500	2500
- заплечики	3710	3900	3250	3500
- горн (ось ЧЛ – ВФ)	4359	4600	3738	4000
- зумпф	2205	2980	2012	2220
- рабочая, Н пол	26900	28200	23505	23089
- колошник – ЧЛ	31250	32800	27243	27089
- колошник - зумпф	33455	35780	29255	29309
Диаметр, мм :				
- колошник, dk	10000	11000	7500	7500
- распар, D	16000	17165	12234	11800
- горн (по защите)	13100	14400	10400	10050
- горн (по профилю), dg	13600	14900	10640	10200
Углы наклона, ° :				
- шахта	81°17'	80°58'	80°56'	81°50'
- заплечики	71°48'	73°46'	74°07'	77°07'
Соотношения, ед:				
- dk : D	0,625	0,641	0,613	0,636
- D : dg	1,221	1,192	1,176	1,124
- dk : dg	0,735	0,738	0,704	0,735
- H : D	1,953	1,911	2,227	2,296
Количество воздушных фурм, шт.	40	42	30	28
Расстояние между фурмами	1,037/1,068	1,077/1,068	1,089/1,114	1,128/1,144
Объемы, м <sup>3</sup> :				
- полезный	4416	5513	2323	2132
- полезный + зумпф	4687	6020	2475	2298

По мере повышения степени подготовки материалов к плавке такая тенденция в соотношениях поперечных размеров и высоты доменной печи получила подтверждение и всеобщее признание.

Необходимо отметить, что, наряду с увеличением всех поперечных размеров профиля печи, приоритетное развитие получил диаметр распара. Это, в значительной мере, увеличило технологические возможности доменных печей, что особенно важно стало в условиях применения повышенной доли окатышей в шихте и вдувании пылеугольного топлива [1].

**Влияние топливно-сырьевых условий на величину углов наклона шахты и заплечиков.** Принятый в 60-е годы прошлого столетия к широкому распространению жесткий «рациональный» профиль с футеровкой малой толщины (до 345 мм) в настоящее время является обязательной составляющей конструкции доменных печей [18, 19]. Очертания такого профиля были ориентированы на шихту, состоящую из агломерата или смесей агломерата и окатышей, содержание которых не превышало 30-40 %. Многолетняя практика эксплуатации доменных

печей с жестким «рациональным» профилем того периода показала, что в течение кампании печей его параметры изменялись не значительно. В тоже время, попытки увеличения содержания окатышей в смеси с агломератом на ряде печей с такими профилями посредством совершенствования комплекса технологических мер, при обязательном обеспечении устойчивой и экономичной их работы и нормального технического состояния, позволили поднять содержание окатышей в смеси не более 50-55 % [19].

В последние годы (15-20 лет) во всем мире, ввиду специфики подготовки руд к плавке (глубокое обогащение, преимущественное развитие процесса окомкования, сезонные транспортные проблем и хранения подготовленного железосодержащего сырья) и прогрессирующего снижения производства агломерата, в составе шихты, загружаемой в доменную печь, поступательно увеличивалась доля окатышей. В результате, на ряде заводов Западной Европы и Америки доля окатышей в составе шихты достигла 80-100 %. Аналогичная ситуация имела место и в условиях работы ряда доменных печей Украины и СНГ. Увеличение содержания окатышей в шихте негативно отразилось на технологии плавки и эксплуатационной надежности доменных печей, вызвало уменьшение интенсивности хода, экономичности работы и ухудшение стойкости шахты и заплечиков. Причиной этого явилось значительное увеличение горизонтального (бокового) распирающего давления шихты на футеровку в верхней части шахты печи, образующегося из-за разбухания окатышей при их восстановлении, что вызывало повышенный износ футеровки шахты и снижение экономичности работы печей. Кроме того, при таком изменении доли окатышей в шихте в пристенной зоне низа шахты печи, распара и заплечиков развивается активное химическое взаимодействие футеровки с высокоокисными первичными шлаками при содержании в них FeO более 25 %.

Аналогичные негативные явления снижения стойкости шахты, распара и заплечиков наблюдаются и при внедрении технологии доменной плавки с применением ПУТ из-за склонности к развитию периферийного хода. Накопленный опыт эксплуатации доменных печей, работающих с применением ПУТ за рубежом, показывает, что только путем использования штатных технологических приемов управления подавить периферийный поток газов и их негативное влияние на участке заплечики – середина шахты доменных печей не давало положительных результатов. С переходом на технологию плавки с применением ПУТ межремонтные кампании печей по причине неудовлетворительного состояния этих элементов профиля, как правило, уменьшились до 1,0-1,5 лет. Аналогичная ситуация произошла и в первые 2-3 года промышленной эксплуатации доменных печей с технологией дувания ПУТ на АЛМК, ДМКД им. Дзержинского, МК им. Ильича и

МК «Запорожсталь». Практически на всех доменных печах этих предприятий, оснащенных системами ПУТ, футеровка заплечиков, распаров и нижней части шахт требуют капитальных ремонтов [20].

Нейтрализация негативных явлений при работе доменных печей на смеси агломерат–окатыши или только окатышах и технологии доменной плавки с применением ПУТ осуществлялась, также конструкционно путем изменения геометрических характеристик проектных профилей, главным образом, заплечиков, распара и шахты двумя путями:

- уменьшением угла наклона верхней части шахты на  $1,5\text{--}3,0^\circ$  с уменьшением высоты колошника до величины, при которой точка встречи траектории схода шихты с большого конуса оставалась бы в цилиндре колошника. При этом, высота верхней части шахты ниже цилиндрической части колошника до перегиба должна быть в пределах  $2,0\text{--}4,5$  м [8]. Такое изменение профиля действительно снижало в верхней части шахты боковое давление и, естественно, абразивное воздействие, но из-за увеличения угла наклона нижней части шахты ниже перегиба в этом случае усиливались явления химического износа футеровки и кострения шихты (неустойчивость её схода) на этом участке шахты, что ограничило её использование. Этот способ разрабатывался только для работы печей на повышенном содержании окатышей;

- уменьшение угла наклона шахты до  $83\text{--}81^\circ$ . Такой подход развит металлургами Японии и Европы. На доменных печах Европы уменьшение угла наклона шахты начало прослеживаться при содержании окатышей в шихте более 50 %. На печах же Японии изменение этого параметра профиля наблюдаться уже при содержании окатышей в шихте 25–27 %. Практика эксплуатации доменных печей Западной Европы и Америки за последние 10 лет подтвердила правильность этого решения. Возможное увеличение при этом периферийного хода печей достаточно надежно сдерживается уменьшением угла наклона заплечиков до  $76,0\text{--}71,0^\circ$ , а в отдельных случаях имеются рекомендации уменьшения угла наклона заплечиков до  $69,0^\circ$ . Уменьшение углов наклона шахты до  $83\text{--}81,0^\circ$  и заплечиков до  $76,0\text{--}71,0^\circ$  также положительно сказалось на стойкости шахты при работе доменных печей с применением пылеугольного топлива. Анализ работы доменных печей с различными очертаниями профилей позволил установить, что угол наклона заплечиков и шахты зависит в основном от активного веса столба шихты или содержания железа в ней. Чем больше активный вес шихты, тем меньше принимаются углы наклона заплечиков и шахты. Выбор углов наклона заплечиков и шахты при различной доле окатышей в шихте имеет такую же зависимость – чем выше содержание их в шихте, тем меньше принимаются углы наклона этих элементов профиля.

В качестве примера такого подхода в табл. 4 приведены данные о профиле доменных печей «Tissen Shtal» и «Hoogowens», которые работают устойчиво с высоким расходом окатышей (до 90 % при



содержании железа в шихте более 60 %) без осложнений в эксплуатационной стойкости шахты и заплечиков [17].

В настоящее время, учитывая положительный опыт работы доменных печей Западной Европы, Японии, Австралии, результаты отечественных исследований и опыта практиков-технологов, при разработке модернизационных проектов доменных печей Украины поступательно осуществляются коррективы параметров их профилей с учетом топливно-сырьевых условий плавки. Так, на ДП №3 ПАО «ЕМЗ» полезным объемом 1719 м<sup>3</sup> угол наклона заплечиков был уменьшен до 76°21'03", а на ДП №5 этого же завода до 76°46'32", что соответствует верхнему пределу рекомендуемого интервала. Углы наклона шахт этих печей составили, соответственно, 83°42'44" и 83°54'55", что превышает максимальные значения рекомендуемого интервала.

На ДП №4 ПАО «Запорожсталь» рекомендуемый угол наклона заплечиков составил 77°45'57", а шахты 83°09'57". Печь задута после модернизационного капитального ремонта первого разряда в июле 2014 г.

К сожалению, принимаемые величины коррекции геометрических размеров проектных профилей при проведении модернизационных капитальных ремонтов сдерживаются в основном из-за габаритных ограничений периферийных конструкций, ограничивающих доменную печь.

Анализ работы ДП №3 ПАО «ЕМЗ» (печь оснащена закладными термопарами в футеровке по периметру на девяти горизонтах) за три года ее эксплуатации показал, что средняя температура футеровки составила:

Заплечики	—	162 <sup>0</sup> С
Распар	—	262 <sup>0</sup> С
Низ шахты I	—	283 <sup>0</sup> С
Низ шахты II	—	414 <sup>0</sup> С
Середина шахты I	—	414 <sup>0</sup> С
Середина шахты II	—	411 <sup>0</sup> С
Верх шахты I	—	347 <sup>0</sup> С
Верх шахты II	—	313 <sup>0</sup> С

Приведенные значения температур показывают, что в самой теплонапряженной области «заплечики – распар – низ шахты I» температура удерживалась в заплечиках – 162<sup>0</sup>С, распаре и низу шахты – 262<sup>0</sup>С и 283<sup>0</sup>С, соответственно, при обычной 350-550<sup>0</sup>С. Умеренный уровень температур в этой области свидетельствует о значительном ограничении газопропускной способности на периферии за счет уменьшения угла наклона заплечиков до 76°21'03".

Таким образом, опыт работы ДП №3 ПАО «ЕМЗ» убедительно показывает, что интервал углов наклона заплечиков 75-77<sup>0</sup>С для шихтовых условий Украины следует считать близким к рациональным значениям, и его следует рекомендовать при проектировании профилей при модернизации печей на капитальных ремонтах.

## Выводы

1. При проведении капитальных модернизационных ремонтов доменных печей целесообразно осуществлять коррекцию геометрических размеров профилей доменных печей исходя из особенностей физико-химических свойств топливно-сырьевой базы.

2. Поступательное увеличение в шихте доменных печей доли окатышей более 50 %, а в отдельных случаях до 100 % негативно отразилось на стойкости футеровки шахты, распара и заплечиков доменных печей за счет абразивного и физико-химического износа.

3. Эксплуатация доменных печей с вдуванием ПУТ в горн доменных печей за рубежом и в Украине, сопровождается ускоренным температурно-эрозионным разрушением футеровки заплечиков, распара и низа шахты печи. Практика работы доменных печей с вдуванием ПУТ показала, что штатными технологическими методами полностью устранить это негативное явление не удастся.

4. Анализ эволюционного изменения проектных профилей доменных печей в мировой практике показал, что в настоящее время сохраняется тенденция 70-80 гг. прошлого столетия по увеличению их рабочего пространства за счет поперечных размеров. Причем, приоритетное увеличение получил диаметр распара.

5. Анализ работы доменных печей, работающих с применением ПУТ или повышенным до 80-100 % содержанием окатышей в шихте, показал, что для топливно-сырьевых условий Украины угол наклона заплечиков должен находиться в пределах  $75\div 77^\circ$ , шахты  $81\div 83^\circ$  при отношении полезной высоты ( $H_n$ ) к диаметру распара ( $D$ )  $2,30\div 2,50$  ед. При этом высоту шахты следует уменьшить до  $15,5\div 17,0$  м.

6. Принятый рекомендованный техническим заданием угол наклона заплечиков ДП №3 ПАО «ЕМЗ», равный  $76^\circ 21' 03''$ , позволил удерживать температуру футеровки заплечиков, распара и низа шахты, в среднем, на уровне  $162^\circ\text{C}$ ,  $262^\circ\text{C}$  и  $283^\circ\text{C}$ , соответственно, что значительно меньше для печей, работающих на горячем агломерате.

1. Павлов И.А. *Металлургия чугуна*: Т.3. М.: *Металлургиздат*, – 1947. – Т.3. – С. 240.
2. *Металлургия чугуна. Учебник для Вузов, 3-е изд.* / Под редакцией Ю.С. Юсфина. – М. ИКЦ «Академкнига». – 2014. – С. 112: ил.
3. Грузинов В.К., Греков П.К./ К вопросу о рациональном профиле доменной печи. // *Сталь*. – 1953. – № 9. – С. 790-795.
4. Михалевич Г.Ф./ Развитие рациональных профилей доменных печей // *Сталь*. – 1953. – № 9. – С. 784-789.
5. Бабарыкин Н.Н. / О давлении шихты и рациональном очертании заплечиков доменной печи // *Сталь*. – 1969. – № 9. – С. 772-778.
6. Коробов И.И. / Рациональный профиль доменной печи // *Сталь*. – 1951. – № 5. – С. 401-405.

7. *Логинов В.И., Кутнер С.М., Кутнер М.Б.* / К вопросу об оптимальном профиле доменной печи // *Сталь*. – 1976. – № 9. – С. 780 - 784.
8. *Кропотов В.К., Дружков В.Г.* / Проектирование доменной печи. Учебное пособие // *Магнитогорск: МГМИ*. – 1991. – С. 112.
9. *Доменное производство: Справочник в Т.2* / Под ред. Бардина И.П., М.: *Металлургия*, – 1963. – Т.2. – С. 648.
10. *Жембус М.Д.* / Совершенствование профиля доменных печей // *Сталь*. – 1977. – № 5. – С. 338-390.
11. *Лана А.М.* / Новые принципы расчета профиля доменных печей // *Металлургия и коксохимия: Респ. сб. Киев. Техника*. – 1968. – вып. 9.: *Металлургия чугуна* – С. 79-84.
12. *Савелов Н.И., Сухоруков А.Е., Гохман Ю.М.* / О совершенствовании профиля доменных печей // *Сталь*. – 1978. – № 8. – С. 685 - 688.
13. *Раховский Б.М.* / Расчет поперечных размеров сверхмощных доменных печей // *Производство чугуна: Метвуз. сб. Свердловск: УПИ*, – 1978. – вып. 8. – С. 125 - 133.
14. *Тлеугабдулов С.М., Артыбаев О.А.* / Метод расчета профиля доменной печи // *Металлургия черных металлов. Алма-Ата*. – 1975. – вып. 2. – С. 37 - 43.
15. *Атлас доменных печей СССР* / *Гипромез. Москва*. – 1986. – 193 листа.
16. *Бузоверя М.Т., Покрышкин В.Л.* / Распределение газового потока по сечению нижней части шахты и изменении скорости восстановления по высоте печи объемом 2000 м<sup>3</sup> в зависимости от интенсивности плавки // *Доменное производство. Тематический отраслевой сб. № 2. М.: Metallurgy*. – 1975. – С. 78 - 85.
17. *Проектные профили доменных печей Tissen Shtal и Hoogovens. Рекламный материал фирмы Tissen Shtal.*
18. *Цернох* / Конструкция доменных печей с тонкостенной шахтой // *Проблемы металлургии*. – 1956. – № 2. – С. 3 - 21.
19. *Кудояров М.С.* / Совершенствование технологии выплавки чугуна в доменных печах с тонкостенной конструкцией шахты в условиях КМК // *Автореферат дис. канд. техн. наук. Новокузнецк*. – 1971. – С. 20.
20. *Доклад на совещании начальников цехов / Донецк*. – Апрель. – 2014.

*Статья рекомендована к печати  
докт.техн.наук И.Г.Муравьевой*

***Можаренко М.М., Вишинська О.Д., Горупаха В.В.***

**Тенденції змінення проектних профілів доменних печей в сучасних паливно-сировинних умовах**

Показано доцільність коригування геометричних розмірів проектних профілів доменних печей при проведенні модернізаційних ремонтів з урахуванням перспективних сировинних баз і паливних добавок. На підставі досліджень показано можливість зменшення висоти шахти і збільшення поперечних розмірів елементів профілю. Встановлено доцільність зменшення кутів нахилу шахти і заплічок при збільшенні

частки окатишів в шихті до 100% і впровадження технології пиловугільного палива. Зменшення кутів нахилу заплічок на одній з доменних печей ПАТ «СМЗ» до 76° сприяло нормальному температурно-тепловому станом на ділянці «заплечики - розпар - низ шахти» в період трирічної кампанії після її задування.

**Ключові слова:** доменна піч, шихтові матеріали, програма завантаження, безконусний завантажувальний пристрій, розподіл шихти, пропускна здатність, термобалки

*Mozharenko M.M., Vyshynska O.D., Horupakha V.V.*

**Tendencies of change the project profiles of blast furnaces in modern fuel - raw material conditions**

It was shown utility geometrical dimensions updating of project profiles of blast furnaces during the modernization repayment taking into consideration the perspectives of raw materials and fuel additives. Based on the experiments, it was shown the possibility of decreasing the shaft height and increasing cross dimensions of the profile. The expediency of reducing the tilt angles of the mine and shoulders with an increase in the proportion of pellets in the charge up to 100% and the introduction of technology of pulverized coal. Reducing shoulder angles at one of the blast furnaces PJSC EMW contributed to 76% of normal temperature and thermal state at the site of bosh-belly-bottom of shaft during the three-year campaign after its blowing.

**Keywords:** blast furnace charge materials, software download, less top charging device, the distribution of charge, capacity, thermal beams.