

**В.И.Большаков¹, А.С.Нестеров¹, А.В.Пивненко¹, А.Г.Коваленко²,
А.В.Зубенко², А.С.Хайбулаев², Л.Е.Васильев³, Е.А.Кашкаров³**

Институт черной металлургии НАН Украины¹

ПАО Енакиевский металлургический завод²

ООО МЕТИНВЕСТХОЛДИНГ³

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В СОСТАВЕ АГЛОШИХТЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ АГЛОПРОЦЕССА И КАЧЕСТВО АГЛОМЕРАТА

Проанализированы наиболее распространенные виды отходов металлургического производства и возможности их использования в составе агломерационной шихты. Показано, что увеличение расхода металлургических отходов снижает металлургическую ценность и качество агломерата, но одновременно снижает и себестоимость чугуна. Использование промышленных гранулированных отходов в агломерационном производстве позволяет улучшить и стабилизировать качество агломерата.

Ключевые слова: агломерат, качество, вторичные металлургические отходы, гранулированные отходы

Состояние вопроса. В современном мире металлургия продолжает оставаться одной из приоритетных отраслей промышленно развитых стран. Горно–металлургический комплекс Украины является ведущей отраслью национальной экономики, обеспечивающей около 30% товарного промышленного производства, свыше 26% ВВП и почти 40% валютных поступлений в страну. В горно-металлургическом комплексе работает около 15% занятых в промышленности работников [1]. Особенностью металлургического производства является высокая материало- и энергоемкость продукции, сопровождающаяся значительным накоплением техногенных отходов, что приводит к ухудшению экологической обстановки в регионах добычи и переработки железных руд [1–2]. В год производится около 70 млн. тонн товарного железорудного сырья, в том числе, около 50 млн.тонн концентрата и 20 млн.тонн аглоруды [3]. При этом, несмотря на постоянный дефицит железорудного сырья на отечественных предприятиях, 20–25% продукции ежегодно экспортируется за рубеж [4]. Дефицит железорудной продукции в основном компенсируется поставками из Стойленского, Лебединского, Михайловского и Яковлевского месторождений (Россия).

Сократить потребление первичных минеральных ресурсов и улучшить экологическую обстановку в регионах добычи и переработки железных руд возможно за счет использования различных железосодержащих материалов вторичного происхождения, как накопленных, так и вновь образующихся [5]. На металлургических предприятиях Украины ежегодно образуется около 13 млн. тонн техногенных отходов, из которых

лишь чуть более половины используется как вторичные ресурсы, а остальные поступают в отвалы, хранилища, отстойники, накопители, ухудшая экологию и занимая большие территории в металлургических регионах [6].

К металлургическим отходам относятся пыли и шламы [7], шлак [8], скрап, окалина, колошниковая пыль, которые классифицируются по химическому и гранулометрическому составам [9–10]. Эти материалы являются ценным вторичным сырьем и могут быть утилизированы практически полностью либо в самом металлургическом производстве, либо на предприятиях стройиндустрии. В среднем степень утилизации пыли и шламов через агломерационный процесс от образующихся по переделам оценивается в пределах:

- агломерационное производство – 82 %;
- доменное производство:
 - колошниковая пыль – 98 %;
 - шламы мокрой очистки газа – 69 %;
 - шламы подбункерных помещений – 50 %;
- конвертерное производство – 47 %;
- мартеновское производство – 50 %.

Ограничения потребления железосодержащих отходов металлургического производства вызваны содержанием в них таких вредных примесей как цинк, щелочи, сера, фосфор [11]. При использовании отходов в аглошихте и последующей проплавке агломерата вредные примеси способствуют образованию настывлей, разрушению огнеупорной кладки доменной печи и уменьшению прочности кокса, что приводит к нарушению ровности хода печи [12–13].

Кроме наличия вредных элементов металлургические отходы, в сравнении с минеральным сырьем, отличаются широким диапазоном изменения химического и гранулометрического состава. Как правило, состав и свойства железосодержащих отходов металлургического производства оказывают существенное влияние на выбор технологии их утилизации [14]. Подготовка вторичного сырья к окускованию включает обезвоживание, дробление, смешивание, усреднение, оценку влияния на качество агломерата, скорость спекания и производительность агломашин [15].

Целью настоящей работы является: оценка влияния различных видов металлургических отходов в составе аглошихты, в том числе гранулированных, на показатели спекания и качество агломерата.

Методика исследований. Методика подготовки шихты к спеканию и оценки результатов аглопроцесса изложена в работе [16]. Применительно к прогнозу результатов доменной плавки она расширена за счет моделирования поведения агломерата в исходном состоянии и при восстановительно-тепловой обработке с использованием:

- показателей прочности и истираемости агломерата в исходном состоянии по выходу фракции +5мм и 0–5мм соответственно;
- показателей горячей прочности агломерата (RDI– 0,5мм);
- методики ИЧМ [18] по определению в процессе плавления массы образующегося первичного шлака ($M_{\text{пш}}$), содержания в нем оксида железа ($\text{FeO}_{\text{пш}}$), температуры потери газопроницаемости слоя ($T_{\text{пг}}$), начала фильтрации из него расплава ($T_{\text{нф}}$), остатка расплава в слое кокса ($M_{\text{ост}}$);
- обобщенного показателя качества агломерата ($\Pi_{\text{к}}$), комплексно отражающего влияние его свойств на расход кокса в доменной плавке.

Параметры $T_{\text{пг}}$ и $T_{\text{нф}}$ характеризуют положение верхней и нижней границы зоны вязко–пластичного состояния в доменной печи.

Химический состав и физико–химические свойства компонентов аглошихты приведены в табл.1.

Таблица 1. Химический состав и свойства железорудного сырья.

	Fe	Fe_2O_3	FeO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Tn	Tk
Конц.КЖРК	56,00	79,00	0,87	0,16	17,00	1,74	0,45	1297	1467
Конц.СевГОК	66,50	64,24	27,65	0,32	6,55	1,24	0,67	1250	1442
Конц.ЦГОК	67,50	67,49	26,01	0,11	5,40	1,39	0,37	1261	1452
Конц.ЦГОК	65,90	63,25	27,77	0,29	7,46	1,22	0,48	1245	1435
Конц.ИнГОК	67,00	62,19	30,14	0,15	6,11	1,48	0,48	1244	1436
Конверт.шлак	15,07	4,19	15,60	52,29	20,45	2,38	8,51	791	1052
Отсев агломерата	51,51	58,00	14,00	15,59	10,75	1,86	1,98	1245	1350
Агломерат ЮГОК	55,35	64,79	12,83	11,38	9,46	1,40	0,56	1181	1377
Шламоконцентрат	62,79	74,99	13,21	8,50	5,90	1,84	1,77	1245	1446
Шлам	49,00	55,30	13,21	8,50	5,81	1,84	1,77	1191	1389
Окалина	70,98	38,70	56,40	0,88	0,62	1,19	0,81	1266	1374
Аспирац.пыль	55,81	69,86	8,85	6,94	6,52	1,63	1,06	1237	1430
Колошник пыль	37,22	43,22	8,94	10,85	7,73	1,95	1,71	1142	1337
Гранулы 1	44,30	53,33	8,94	11,32	6,80	1,95	1,95	1169	1369
Гранулы 2	39,83	46,95	8,94	10,78	6,87	1,95	1,95	1155	1353
Гранулы 3	44,23	53,23	8,94	10,19	5,97	1,95	1,95	1178	1376
Бакальская руда	49,50	67,58	2,80	2,61	4,14	0,36	10,81	1349	1576
Отсев окатышей	62,50	64,24	2,65	0,32	8,55	1,24	0,67	1310	1496
Промсырье	38,10	44,55	8,87	10,19	8,20	1,90	1,65	1348	1342
Шл.концентр.	57,79	69,19	12,00	6,00	7,42	1,20	1,00	1235	1428

Компоненты дозированы сухими с последующим смешиванием, увлажнением до 7,8–8,2% и окомкованием в чашевом грануляторе. Спекания проводились в агломерационной чаше диаметром 220 мм при высоте слоя 300 мм. Разрежение под колосниковой решеткой 800 мм водяного столба. Процесс закипания осуществлялся при помощи газовой инжекционной горелки. Продолжительность закипания 1,5 минуты. Измерение температуры проводилось в середине спекаемого слоя.

Окончание процесса спекания определяли по температуре отходящих газов.

Основные результаты исследования.

Расчетно–аналитический прогноз состава и свойств агломерата ЕМЗ при варьировании различных видов отходов в составе аглошихты.

Расчетно–аналитический прогноз состава и свойств агломерата ЕМЗ при варьировании различных видов отходов в составе аглошихты проводился для трех групп основности агломерата: 1,3, 1,45 и 2,0 ед., имитируя условия изменения доли окатышей в составе доменной шихты. В расчетах было принято, что расход отсева агломерата для его основности 1,3, 1,45 и 2,0 ед. выдерживается в количестве 150, 150 и 170 кг/т агломерата соответственно. Расход окалины, аспирационной пыли, металлической фракции и отходов с прессножниц выдерживали постоянным. Корректировка основности агломерата проводилась путем изменения расхода известняка Комсомольского рудоправления. Расход извести задавался постоянным в количестве 40 кг/т агломерата. В базовых расчетах отсутствовал отсев окатышей.

При вводе в состав аглошихты отсева окатышей и гранулированных вторичных отходов часть промсырья или шлама из состава аглошихты выводили, сохраняя общее количество вторичных ресурсов на тонну агломерата постоянным на уровне 432 кг/т агломерата. В расчетном эксперименте расход вторичных ресурсов изменяли в пределах от 40 до 432 кг/т агломерата.

Анализ результатов расчетно–аналитического эксперимента показал, что:

- увеличение использования металлургических отходов (шлам, промсырье, конвертерный шлак) в составе агломерационной шихты на 227 кг/т позволяет сократить количество минеральных ресурсов (концентрата ИнГОК) на 167 кг/т. При этом для условий работы ДП на 100% агломерата расход агломерата увеличивается на 160 кг/т чугуна, расход кокса повышается на 23 кг/т чугуна, производительность доменной печи уменьшается на 9,5%, но при этом себестоимость тонны чугуна (для уровня цен конца 2012г.) сокращается на 3,8%;

- для условий работы доменной печи на 50% окатышей и ограниченном производстве агломерата основностью 2 ед. на уровне 850 кг/т чугуна увеличение использования металлургических отходов (шлам, промсырье, конвертерный шлак) в составе агломерационной шихты на 192 кг/т позволяет сократить количество минеральных ресурсов (концентрата ИнГОК) на 145 кг/т аглошихты. При этом расход окатышей увеличивается на 64 кг/т чугуна, расход кокса повышается на 8 кг/т чугуна, производительность доменной печи уменьшается на 4,3%, но при этом себестоимость тонны чугуна (для уровня цен конца 2012г.) сокращается на 1,3%;

• использование в составе агломерационной шихты вторичных ресурсов снижает металлургическую ценность агломерата. Так, содержание железа при равной основности уменьшается на 4,2–4,6%, температуры начала фильтрации жидких фаз снижаются на 10–18⁰С, содержание FeO в первичном шлаковом расплаве увеличивается на 4–6 %, значения комплексного показателя качества агломерата P_k уменьшаются на 5–5,5 бала, что соответствует перерасходу кокса 20–22 кг/т чугуна.

Матрица вариантов соотношений различных материалов для расчетно–аналитического эксперимента, а также состав и свойства агломерата приведены в табл. 2–3.

Таблица 2. Матрица вариантов расчетно–аналитического эксперимента.

	Основ- ность	Агло- руда	Конце- нтрат	Конв. шлак	Шлам	Пром сырье	Извес- тянк	Отсев окат.	Грану- лы	Коло- шник. пыль	Аспир- ацион пыль
1	1,450	250,0	348,2	67,00	80,00	65,00	116,1	0,00	0,00	29,70	10,00
2	1,304	250,0	340,0	67,00	80,00	80,00	80,00	0,00	0,00	29,70	10,00
3	1,300	182,0	418,7	67,00	80,00	80,00	59,60	0,00	0,00	29,70	10,00
4	1,298	182,0	474,0	67,00	0,00	80,00	69,00	0,00	0,00	29,70	10,00
5	1,298	182,0	537,0	67,00	0,00	0,00	78,00	0,00	0,00	29,70	10,00
6	1,299	182,0	585,0	0,00	0,00	0,00	122,0	0,00	0,00	29,70	10,00
7	1,450	250,0	343,3	67,00	80,00	45,00	118,0	20,00	0,00	29,70	10,00
8	1,450	250,0	336,0	67,00	80,00	15,00	121,0	50,00	0,00	29,70	10,00
9	1,450	250,0	325,4	67,00	60,00	0,00	124,6	85,00	0,00	29,70	10,00
10	1,450	219,7	356,7	67,00	80,00	65,00	102,0	0,00	60,00	0,00	10,00
11	1,450	189,7	392,0	67,00	80,00	65,00	92,50	0,00	60,00	0,00	10,00
12	1,450	219,7	359,2	67,00	80,00	65,00	100,8	0,00	60,00	0,00	10,00
13	1,450	219,7	359,2	67,00	80,00	65,00	100,8	0,00	60,00	18,00	4,10
14	2,013	250,0	293,6	67,00	80,00	45,00	219,2	0,00	0,00	29,70	10,00
15	2,012	250,0	281,0	67,00	80,00	45,00	219,0	0,00	0,00	29,70	10,00
16	1,999	192,6	353,6	67,00	80,00	45,00	190,2	0,00	0,00	29,70	10,00
17	1,990	192,6	410,0	67,00	0,00	45,00	198,0	0,00	0,00	29,70	10,00
18	2,001	192,6	445,0	67,00	0,00	0,00	204,0	0,00	0,00	29,70	10,00
19	2,008	192,6	498,0	0,00	0,00	0,00	236,0	0,00	0,00	29,70	10,00
20	2,000	250,0	288,9	67,00	80,00	25,00	220,9	20,00	0,00	29,70	10,00
21	2,000	250,0	281,1	67,00	75,00	0,00	223,7	50,00	0,00	29,70	10,00
22	2,000	250,0	268,7	67,00	40,00	0,00	228,0	85,00	0,00	29,70	10,00

Таблица 3. Состав и свойства агломератов с различной основностью и содержанием вторичных.

	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	FeO	T _{нф}	M _{нм}	T _{нр}	T _{мф}	R	M _{серт}	П _к
1	51,51	10,75	15,59	1,984	1,860	14	1,45	6,18	1324	15,85	1268	1528	68,11	18,27	9,01
2	52,08	10,80	14,08	1,968	1,882	14	1,30	10,08	1318	13,00	1266	1512	70,47	16,36	8,62
3	53,20	10,04	13,06	1,941	1,867	14	1,30	9,02	1326	11,97	1268	1510	71,15	15,51	9,94
4	53,51	10,02	13,01	1,870	1,831	14	1,30	9,12	1327	11,92	1269	1510	71,43	15,38	10,26
5	54,72	9,84	12,77	1,799	1,788	14	1,30	7,36	1329	11,70	1270	1510	71,84	15,11	11,53
6	56,70	8,96	11,64	1,343	1,715	14	1,30	6,35	1340	10,77	1274	1509	72,90	13,48	13,84
7	51,82	10,73	15,56	1,969	1,845	14	1,45	6,22	1324	15,76	1269	1528	68,23	18,24	9,33
8	52,28	10,70	15,52	1,946	1,820	14	1,45	6,27	1325	15,64	1269	1528	68,41	18,19	9,81
9	52,55	10,71	15,53	1,919	1,793	14	1,45	6,29	1326	15,64	1270	1528	68,58	18,18	10,09
10	52,01	10,45	15,15	2,022	1,879	14	1,45	6,63	1326	14,78	1269	1527	68,27	17,95	9,59
11	52,61	10,14	14,70	2,013	1,876	14	1,45	7,08	1329	13,82	1270	1526	68,58	17,56	10,27
12	51,90	10,46	15,17	2,022	1,882	14	1,45	6,59	1326	14,84	1269	1527	68,23	17,97	9,47
13	52,06	10,39	15,11	2,018	1,879	14	1,45	6,59	1327	14,70	1269	1527	68,25	17,93	9,68
14	47,82	11,01	22,16	2,182	1,833	11	2,01	5,97	1343	4,98	1276	1591	60,53	26,59	9,01
15	47,84	11,01	22,16	2,183	1,834	11	2,01	5,97	1343	4,97	1276	1591	60,53	26,59	9,02
16	49,12	10,36	20,70	2,143	1,825	11	2,00	4,71	1348	6,02	1277	1584	62,02	25,13	10,34
17	49,48	10,33	20,57	2,069	1,788	11	1,99	3,39	1349	5,99	1278	1583	62,44	24,88	10,67
18	50,14	10,23	20,48	2,031	1,764	11	2,00	3,37	1351	6,33	1279	1584	62,60	24,79	11,42
19	52,44	9,34	18,76	1,559	1,694	11	2,01	2,92	1360	9,71	1282	1577	64,57	22,42	14,00
20	48,37	10,93	21,87	2,147	1,811	11	2,00	3,39	1344	4,97	1277	1589	61,03	26,24	9,49
21	48,78	10,91	21,83	2,122	1,788	11	2,00	4,32	1345	5,00	1277	1589	61,22	26,19	9,91
22	48,84	10,96	21,92	2,096	1,761	11	2,00	4,43	1345	4,92	1278	1590	61,31	26,26	9,97

Влияние гранулированных отходов (лабораторных) на результаты спекания аглошихт.

В спеканиях использовали аглоруду КЖРК, ингулецкий концентрат, шлак конвертерного производства, промсырье, лабораторные гранулированные отходы из различных вторичных ресурсов и колошниковую пыль. По условиям эксперимента суммарное количество вторичных ресурсов увеличили на 16–30 кг/т агломерата, сократив в составе аглошихты расход колошниковой пыли и аглоруды. Сводная таблица расходов компонентов аглошихты, фракционный состав гранул, результаты спеканий агломерата и оценка его качества представлены в табл.4–6.

Таблица 4. Сводная таблица расходов компонентов аглошихты.

Наименование	Расход компонентов аглошихты, кг/т			
	Базовый состав (без гранул)	Гранулы 1	Гранулы 2	Гранулы 3
Аглоруда КЖРК	250,0	219,7	219,7	219,7
Концентрат ИнГОК	348,2	356,7	359,2	344,5
Конвертерный шлак	67,0	67,0	67,0	67,0
Отсев агломерата	150,0	150,0	150,0	150,0
Гранулы	0	60,0	60,0	60,0
Промсырье	65,0	65,0	65,0	65,0
Шлам	80,0	80,0	80,0	54,4
Окалина	28,2	28,2	28,2	28,2
Аспирационная пыль	10,0	10,0	10,0	4,1
Колошниковая пыль	29,7	0	0	18,0
Мет.фр 0–10	1,6	1,6	1,6	1,6
Отходы с пресножниц	0,5	0,5	0,5	0,5
Итого вторичных отходов	432,0	462,3	462,3	448,8
Известняк	116,1	102,0	100,8	102,0
Известь	40,0	40,0	40,0	40,0
Коксовая мелочь	47,0	47,0	47,0	47,0

Таблица 5. Фракционный состав компонентов аглошихты.

Наименование материала	Размер частиц, мм				
	+10	5,0–10,0	3,0–5,0	0,5–3,0	Менее 0,5
Гранулы (1)	22,35	51,52	17,7	3,87	4,46
Гранулы (2)	13,23	50,17	22,79	4,77	9,04
Гранулы (3)	16,62	53,66	21,56	2,14	1,01
Руда КЖРК	16,41	20,15	9,22	25,31	28,92
Шлак конвертерный	28,46	34,51	10,21	14,0	12,72

Таблица 6. Результаты спеканий аглошихт, химический состав и расчетные металлургические свойства агломерата при использовании в шихте различных видов лабораторных гранулированных отходов.

Показатели	Базовый состав	Гранулы 1	Гранулы 2	Гранулы 3
Насыпная масса шихты, т/м ³	1,89	1,94	1,905	1,87
Выход годного, %	73,37	73,26	81,2	78,5
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	21,63	23,89	21,72	24,18
Удельная производительность, т/м ² час	1,61	1,72	1,74	1,84
Химический состав и свойства агломерата, %				
Fe	51,51	52,01	51,89	51,60
CaO	15,59	15,00	14,97	15,11
SiO ₂	10,75	10,34	10,34	10,43
MgO	1,98	2,00	2,00	2,02
Al ₂ O ₃	1,86	1,86	1,87	1,87
FeO	12,80	13,20	11,90	12,50
CaO/SiO ₂	1,45	1,45	1,45	1,45
Барабанная прочность, Б+5	63,33	64,66	74,70	66,0
Высокотемпературные свойства				
T _{нф}	1323	1327	1329	1327
M _{ост}	15,32	14,84	14,88	15,0
FeO _{пш}	10,38	10,91	10,86	10,62
П _к	11,40	12,27	13,28	11,90

Как видно из табл.6, использование в составе аглошихты 60 кг/т агломерата гранул (50% колошниковой пыли и 50% отсева окатышей), офлюсованных до основности 1,37 ед., позволяет на 30 кг на тонну агломерата увеличить содержание вторичных ресурсов в составе аглошихты. Содержание железа в агломерате равной основности за счет сокращения содержания аглоруды КЖРК увеличивается на 0,5%, что позволяет сократить количество окатышей в среднем на 11 кг/т чугуна и за счет увеличения богатства шихты снизить расход кокса примерно на 2 кг/т чугуна. Это без учета изменения производительности аглопроизводства и свойств агломерата, в частности, барабанной прочности.

Анализ результатов лабораторных спеканий базового и опытных агломератов (ввод в состав аглошихты 60 кг гранулированных отходов на тонну агломерата) показывают, что в среднем:

- выход годного агломерата увеличивается с 73,37 до 77,65%;
- скорость спекания повышается на 7,6% (с 21,63 до 23,26 мм/мин.);
- удельная производительность увеличивается с 1,61 до 1,77 соответственно;
- прочность агломерата повышается в среднем на 3,79%;

■ истираемость сохраняется на удовлетворительном уровне – 6,3% и 6,2% соответственно.

■ обобщенный показатель качества агломерата в зависимости от качества гранул повышается на 0,5–1,8 балла.

■ расчетное сокращение расхода кокса в доменной плавке 2,86 кг/т чугуна при доле окатышей в доменной шихте 50%.

Влияние промышленных гранулированных отходов на результаты спекания аглошихты.

Лабораторные спекания агломерата основностью 1,8 ед. с использованием в составе аглошихты концентрата ИнГОК, аглоруды Яковлевского месторождения, конвертерного шлака, шлама, окалины и переменного количества гранулированных промышленных вторичных отходов проводили на лабораторной базе ИЧМ. Удельные расходы компонентов аглошихты при использовании переменного количества гранулированных промышленных вторичных отходов рассчитывали таким образом, чтобы расход на тонну агломерата концентрата, Яковлевской руды, конвертерного шлака, известняка и вторичных ресурсов оставался постоянным. Увеличение расхода гранулированных отходов проводили за счет дополнительного сокращения шлама. Расход компонентов аглошихты, результаты лабораторных спеканий, состав и качество агломерата представлены в таблицах 7–8.

Таблица 7. Сводная таблица расходов компонентов аглошихты.

Наименование	Гранулы, кг/т			
	0	40	60	81,6
Аглоруда Яковлевская	250,0	250,0	250,0	250,0
Концентрат ИнГОК	343,0	343,6	343,6	343,6
Шлак ККЦ	69,14	69,14	69,14	69,14
Отсев Агломерата	179,88	179,88	179,88	179,88
ГРАНУЛЫ	0,0	40,0	60,0	81,59
Шлам	126,59	86,59	66,59	45,0
Окалина	24,82	24,82	24,82	24,82
Аспирационная пыль	10,0	10,0	10,0	10,0
Колошниковая пыль	36,11	36,11	36,11	36,11
Металлодобавка	2,1	2,1	2,1	2,1
Известь	40,0	40,0	40,0	40,0
Известняк	64,6	64,6	64,6	64,6
Топливо (коксик)	43,0	43,0	43,0	43,0

Таблица 8. Химический состав и расчетные металлургические свойства агломерата при использовании в шихте различных видов лабораторных гранулированных отходов.

Показатели	Гранулы, кг/т			
	0	40	60	81,6
Насыпная масса шихты, т/м ³	1,84	1,85	1,85	1,87
Выход годного, %	66,88	67,56	75,9	75,37
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	22,4	22,1	24,5	23,73
Удельная производительность, т/м ² час	1,49	1,62	1,65	1,74
Химический состав и свойства агломерата, %				
Fe	54,12	54,07	53,9	55,07
CaO	12,73	12,77	12,81	12,8
SiO ₂	7,07	7,05	7,06	7,08
MgO	2,27	2,08	2,27	2,25
Al ₂ O ₃	1,84	1,8	1,85	1,82
FeO	12,60	12,65	12,6	12,62
CaO/SiO ₂	1,8	1,8	1,8	1,8
Барabanная прочность, Б+5	67,85	66,0	71,87	68,81
Высокотемпературные свойства				
T _{нф}	1375	1270	1385	1377
M _{ост}	14,44	14,5	14,39	14,57
FeO _{пш}	7,80	7,7	7,72	7,75
П _к	18,12	18,15	18,2	18,18

Анализ результатов лабораторных спеканий показывает, что замена части шлама гранулированными отходами в количестве до 81,59 кг/т агломерата приводит к:

- повышению прочностных свойств агломерата на 3,7% относительных или 2,5% абс.;
- увеличению вертикальной скорости спекания на 5,9%;
- увеличению выхода годного на 12,7% (отн.);
- повышению удельной производительности на 16,7%.

Оценка качества агломерата текущего производства ПАО «ЕМЗ».

На качество шихтовых материалов существенное влияние оказывает стабильность их химического состава. Резкие колебания состава шихты могут привести к выходу отдельных показателей качества чугуна за пределы требованиями к его составу, к нарушению ровного хода. Поэтому одним из приоритетных направлений исследований является оценка стабильности входящего химического и гранулометрического состава компонентов агломерационной и доменной шихты.

Величина колебаний параметров доменной плавки и состава компонентов шихты характеризуется широким диапазоном, что снижает эффективность определения влияния наиболее весомых характеристик железорудного сырья, какими являются содержание железа в шихте, ее основность и их колеблемость. В работах Товаровского И.Г., Ободана Я.М., Довгалоюка Б.П. показано, что снижение колеблемости $\text{Fe}_{\text{общ}}$ на $\pm 0,1\%$ и CaO/SiO_2 на $\pm 0,01$ ед. позволяет снизить расход кокса на $0,2\%$ и $0,12\%$ соответственно [17–18]. Причем, в зависимости от степени постоянства химического состава влияние на удельный расход кокса и производительность в доменных печах будет различаться. Так, например, при снижении степени постоянства по содержанию железа в пределах $\pm 0,5\%$ от 90 до 80% и от 60 до 50% расход кокса увеличится с 0,6 до 1,0% и 2,4–3,6% соответственно [19].

Для исследования стабильности химического и гранулометрического состава агломерата был проведен анализ химического и компонентного состава аглошихты и агломерата различной основности за период с 01.01.2013 по 30.09.2013. В табл.9–13 и на рис.1–2 приведены характеристики изменения суточного состава агломерата в различные периоды времени, показатели отклонения значений параметров от средней величины для различных интервалов основности агломерата, технико–экономические показатели работы агломерационного цеха ЧАО «ЕМЗ» в 2013г., а также взаимосвязь между прочностными характеристиками агломерата и его основностью.

Таблица 9. Количество значений основности, попадающих в интервалы вокруг среднего значения для разных периодов.

Период	ср.	± интервал, количество точек, %											
		0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
апрель	1,5	41,9	64,9	77,6	88,6	91,2	94,5	95,8	96,4	97,4	99	99,4	100
май–июнь	1,83	36,7	60,7	74,7	80,2	90,3	91,6	93,8	96,1	97,4	98,1	98,4	100
сент КЖРК	1,82	66,3	89,2	94,2	97,1	98,3	99,2	99,2	99,6	100			
сент Яков	1,78	57,3	83,7	92,1	98,3	98,9	99,4	100					

Таблица 10. Количество значений содержания Fe в агломерате, попадающих в интервалы вокруг среднего значения для разных периодов.

Период	ср.	± интервал, количество точек, %							
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
апр.	50,1	39,61	64,61	89,61	94,81	96,75	98,7	99,35	100
май–июнь	48	39,8	67,3	80,3	89	93,9	97,7	98,7	100
сент КЖРК	48,2	36,3	63,8	76,3	88,3	91,7	96,3	100	
сент Яков	52,3	45,5	74,7	91,0	98,3	99,5	100		

Таблица 11. Количество значений FeO в агломерате, попадающих в интервалы вокруг среднего значения для разных периодов.

Период	ср.	± интервал, количество точек, %							
		1	2	3	4	5	6	7	8
апрель	12,9	51,9	77,9	87,3	93,8	97,7	98,7	98,7	100
май–июнь	10,6	61	78,9	91,9	95,8	98,4	99,7	100	
сент КЖРК	11,26	37,1	57,5	76,7	90,0	94,2	99,6	100	
сент Яков	13,62	37,6	67,4	80,3	85,4	89,7	94,4	95,5	100

Таблица 12. Количество значений CaO в агломерате, попадающих в интервалы вокруг среднего значения для разных периодов.

Период	ср.	± интервал, количество точек, %							
		1	2	3	4	5	6	7	8
апр.	15,1	69,8	86,4	93,5	96,4	98,1	99,7	100	
май–июнь	18	57,5	84,7	95,5	97,4	98,7	99,4	99,7	100
сент КЖРК	17,96	53,8	79,2	89,6	94,6	97,5	98,3	100	
сент Яков	13,8	73,0	95,5	98,3	99,4	99,4	100		

Анализ результатов проведенных исследований шихтовых условий ЧАО «ЕМЗ» показывает, что:

- основной вклад в нестабильность химического состава агломерата ЧАО «ЕМЗ» вносит штабель концентратной смеси и аглоруда КЖРК (по содержанию железа);
- чем выше основность агломерата, тем он более нестабилен по составу и свойствам, стабильность агломерата основностью 1,5 ед. лучше, чем агломерата основностью 1,8 ед.;
- увеличение расхода вторичных отходов приводит к значительному повышению содержания серы и фосфора в составе агломерата и ухудшает условия первичного шлакообразования;
- использование в составе агломерационной шихты вторичных ресурсов снижает металлургическую ценность агломерата: уменьшается величина комплексного показателя качества агломерата Пк, что приводит к перерасходу кокса; снижается температура начала фильтрации и увеличивается содержание FeO в первичном шлаковом расплаве.

Таблица 13. Технико-экономические показатели работ агломерационного цеха ЧАО «ЕМЗ» в 2013г

Наименование показателей	ед. изм.	2012г	январь	февр.	март	апрель	май	июнь	июль	август	сент.
Производство агломерата	т	2219735	206277	182604	192552	184945	208868	199561	208669	201403	202214
Выход агломерата 2-го сорта:	%	5,79	6,55	4,50	2,27	5,74	6,63	3,38	3,82	3,00	0,80
Удельная производительность в номинальные сутки	т/м ² сутки	1,054	1,133	1,157	1,169	1,200	1,201	1,138	1,148	1,104	1,151
Скорость агломашин	м/мин.	1,19	1,04	1,06	1,10	1,05	1,23	1,18	1,18	1,20	1,25
Высота слоя шихты	мм	373	400	400	387	400	400	400	400	300	300
Вертикальная скорость спекания	мм / мин	17,71	16,64	16,96	17,03	16,80	19,68	18,88	18,88	14,40	15,00
Расход на 1т агломерата											
– рудная часть, всего, в т.ч.	кг/т	603,6	609,4	593,9	588,2	567,0	596,0	549,1	521,5	573,6	559,7
– концентрат	кг/т	311,8	362,5	345,3	322,7	331,6	337,8	323,8	276,0	314,5	303,9
– аглоруда	кг/т	291,8	246,9	248,6	265,5	235,3	258,2	225,3	245,5	259,1	255,9
– вторичные ЖРМ, всего, в т.ч.	кг/т	344,9	366,0	368,1	362,7	378,3	301,3	371,9	393,0	382,0	381,5
– смесь шламов доменной и конвертерной газочисток	кг/т	58,1	69,4	61,1	76,9	81,6	65,1	79,6	78,2	70,6	47,2
– металл, фракция 0– 10мм	кг/т	1,4	1,9	2,3	1,9	2,0	1,8	1,7	2,1	2,3	3,3
– отсеив агломерата	кг/т	161,9	171,5	162,3	145,8	164,8	144,7	113,2	110,5	134,5	170,7
– коллоидная пыль	кг/т	38,3	39,4	34,6	37,4	37,3	37,2	35,1	34,7	38,7	35,7
– аспирационная пыль склада окатышей и кокса	кг/т	16,3	5,7	9,9	9,8	9,3	11,7	12,3	13,5	13,2	12,8

– окалина общая	кг/т	15,2	36,1	27,3	27,0	32,9	33,6	22,9	27,3	28,7	25,5
– промышленное сырье (ЗАО «ММЗ»)	кг/т	52,7	41,6	70,6	63,4	38,0	0,0	54,7	56,2	4,7	0,0
– гранулированные отходы	кг/т	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	7,0	52,1	70,1	88,8	85,8
– флюсы всего, в т.ч.	кг/т	249,1	169,2	194,6	225,9	225,8	292,7	287,6	313,9	258,8	239,0
– известняк обыкновенный	кг/т	108,2	57,5	77,5	115,9	107,7	188,0	178,0	204,6	150,4	129,1
– конвертерный шлак	кг/т	30,8	71,1	77,4	73,6	78,6	66,0	69,8	69,6	68,7	70,4
– известь	кг/т	45,0	40,6	39,7	36,5	39,6	38,6	39,8	39,6	39,7	39,5
– коксовая мелочь (сухой вес)	кг/т	46,5	47,0	47,0	46,2	42,9	42,9	42,8	43,1	42,1	33,8
Расход природного газа	м ³ /т	4,24	4,42	3,78	3,75	3,81	3,56	3,76	3,59	3,95	3,82
Fe	%	49,87	51,70	51,49	50,33	50,51	48,93	49,33	48,61	51,48	49,87
SiO ₂	%	10,29	10,92	10,26	10,80	9,87	9,57	9,51	9,65	8,45	8,94
CaO	%	16,00	13,82	14,07	14,55	14,79	17,03	18,15	18,64	15,45	16,19
FeO	%	12,11	14,15	13,78	13,19	12,50	10,83	10,47	10,81	12,47	12,26
MgO	%	1,75	1,45	1,40	1,46	1,27	1,22	1,15	1,16	1,28	1,34
Al ₂ O ₃	%	1,68	1,83	2,14	1,79	2,04	1,88	2,14	2,16	2,08	1,98
Mn	%	0,08	0,13	0,16	0,13	0,12	0,11	0,09	0,10	0,17	0,15
S	%	0,044	0,048	0,042	0,046	0,052	0,040	0,047	0,041	0,045	0,050
P	%	0,034	0,049	0,034	0,039	0,059	0,044	0,055	0,061	0,063	0,047
основность (CaO / SiO ₂)	ед.	1,56	1,27	1,37	1,35	1,50	1,78	1,91	1,93	1,83	1,81
Б+5 (прочность)	%	69,1	70,3	72,7	69,9	71,2	71,1	73,3	73,8	73,3	73,2
Б –0,5 мм (истираемость)	%	5,7	5,3	5,3	5,3	5,1	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8

Содержание фракции 0–5мм в агломерате	%	16,54	14,18	12,30	14,04	14,01	13,67	14,04	15,14	15,03	15,52
Содержание С в аглошихте	%	4,00	4,18	3,90	3,81	3,79	3,79	3,92	3,85	3,78	3,84
Влажность аглошихты	%	7,82	8,43	8,34	8,60	8,25	7,95	7,89	7,93	8,20	8,14
Постоянство состава агломерата: по Fe общ.	%	1,374	1,447	1,144	1,465	1,447	2,001	1,376	2,376	1,286	1,188
по основности	%	0,1696	0,1540	0,1299	0,2483	0,1629	0,2732	0,1410	0,2255	0,1486	0,1100
Укладка по содержанию: Fe ($\pm 1,0\%$)	%	58,53	55,30	60,80	53,10	54,20	45,80	52,30	38,90	66,10	67,80
основности ($\pm 0,10$ ед.)	%	52,30	52,80	60,80	37,00	51,30	33,30	58,90	37,90	53,00	68,00

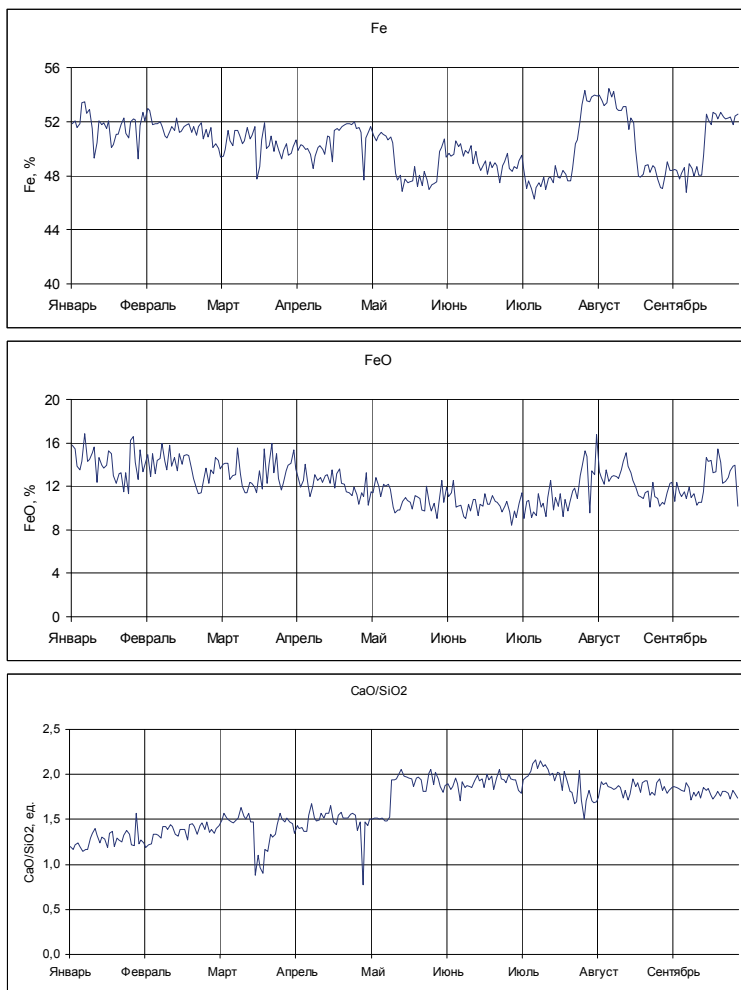


Рис.1. Изменение характеристик химического состава и свойств агломерата ЕМЗ в период с 01.01.2013 по 30.09.2013.

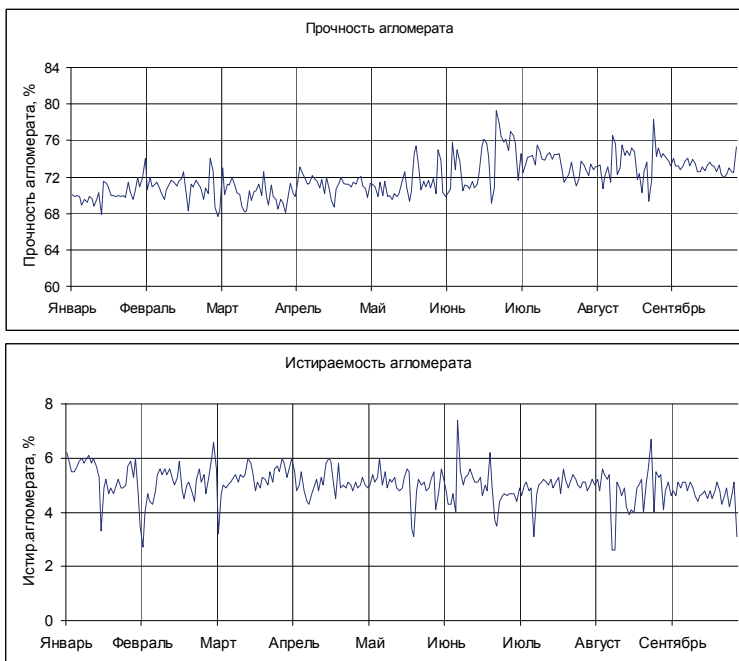


Рис.2. Изменение свойств агломерата ЕМЗ в период с 01.01.2013 по 30.09.2013.

Заключение

1. Расчетно–аналитический прогноз состава и свойств агломерата с переменным содержанием вторичных ресурсов показывает, что увеличение расхода металлургических отходов приводит к снижению металлургической ценности агломерата: при равной основности уменьшается содержание железа в агломерате, увеличивается содержание серы и фосфора, уменьшается величина комплексного показателя качества агломерата, но себестоимость чугуна при этом падает.

2. Анализ результатов лабораторных спеканий агломератов с использованием в составе агломерационной шихты лабораторных и промышленных гранулированных металлургических отходов вместо неподготовленных шламов показывают, что в среднем:

- выход годного агломерата увеличивается на 6–13% (относительных);
- скорость спекания увеличивается на 7,6% (с 21,63 до 23,26 мм/мин.);
- удельная производительность увеличивается с 1,61 до 1,77 соответственно;
- прочность агломерата увеличивается в среднем на 3,79%;

- истираемость сохраняется на удовлетворительном уровне – 6,3% и 6,2% соответственно.

3. Использование промышленных гранулированных отходов в агломерационном производстве ПАО «ЕМЗ» совместно с заменой аглоруды КЖРК на аглоруду яковлевского месторождения позволило:

- улучшить качество агломерата за счет увеличения стабильности по содержанию Fe и основности. Так, укладка по содержанию Fe (± 1.0) в январе–мае составила 53,84% против 56,27 в июне–сентябре, а укладка по основности соответственно повысилась с 47 % до 54,45%.

- при сохранении качества агломерата увеличить использование вторичных ресурсов на 12 кг/т с 370 до 382 кг/т агломерата.

- увеличить холодную прочность на 2,36% с 71,07 до 73,4%.

1. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Направления развития металлургического комплекса Украины. // «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии». Сб.науч.трудов ИЧМ. –26. – Днепропетровск. – 2012. – С.3–26.
2. *Большаков В.И., Тубольцев Л.Г.* Состояние и перспектива энергосбережения в металлургической отрасли. // «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии». Сб.науч.трудов ИЧМ. – Вып.17. – Днепропетровск. – 2008. – С.3–22.
3. *Основные показатели работы агломерационного и доменного производства.* Анализ выполнения норм расхода сырья и топлива при производстве железорудного агломерата и выплавке чугуна предприятиями объединения “Металлургпром” за 2012 год.
4. *Майорченко В., Калужный А.* Роль черной металлургии в развитии экономики Украины. //Економіст. – 2007. – №7. – С.23–32
5. *«Концепція розвитку гірничо-металургійного комплексу України на 2000 – 2010 роки».* Постанова Кабінету міністрів України від 17.10.1995 р., №385/95–ВР.
6. *Рациональное использование металлургических отходов в аглодоменном производстве.* / В.И.Большаков, А.С.Нестеров., М.А.Гуркин, В.Ю.Кучин, Т.В.Деткова. Международный конгресс «Доменное производство – XXI век» Сб. статей. – Москва, апр.2010г. // Сталь. – 2010г. – №4. – С.17–21.
7. *Комаров Г.А., Карабасов Ю.С., Питателев В.А.* Сравнительный технико–экономический анализ различных способов подготовки железосодержащих шламов к металлургическому переделу. // Сб. «Экономика и управление в металлургии». Труды Московского института стали и сплавов. – №137. – 1982г. – С.52–64.
8. *Бережной Н.Н., Драчев В.И.* Офлюсование железорудных окатышей сталеплавильными шлаками// Труды Международного конгресса доменщиков. – Кривой Рог. – 1999 г. – С.177–180.
9. *Состояние, проблемы и перспективы подготовки железорудного сырья для металлургического передела.*/ Ефименко Г.Г., Ковалев Д.А., Мовчан В.П. и др. // Теория и практика производства чугуна. Труды международной научно–технической конференции, посвященной 70–летию КГТМК Криворожсталь. – 2004 год. – Кривой Рог. – С.27–37.

10. *Мищенко И.М.* Утилизация металлургических шламов на аглофабриках Украины. // *Металлург.* – № 6. – 2000 г. – С. 30–41.
11. *Иванченко В.В., Чугунов Ю.Д.* Особенности состава шлаков кислородно–конвертерного цеха КГГМК «Криворожсталь» и перспективы получения из них железорудного концентрата. // В сб. «Проблемы развития Криворожского железорудного бассейна». – Кривой Рог. – 2002 г. – С.56.
12. *В.Ковальски, Х.Б.Лонген, К.П.Штриккер.* Стойкость доменных печей: современный уровень, развитие и мероприятия по продлению кампании. // *Чёрные металлы.* – Сентябрь 1999. – С.26–35.
13. *Лазуткин А.Е.* Повышение стойкости доменных печей. // Бюллетень «Чёрная металлургия». – 2003. – №2. – С.20–22.
14. *Велецкий Р.К., Каненко Г.М.* Перспективы работ по использованию отходов производства. // *Сталь.* – № 12. – 1999. – С.75–77.
15. *Разработка и реализация перспективной технологии утилизации железосодержащих отходов при производстве агломерата.* / Ю.Л.Добромиров, В.С.Якушев, А.С.Нестеров, Н.А.Гладков. // «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии». Сб.науч.трудов ИЧМ. - Вып. 5. – 2002. – С.74–77.
16. *Исследование процесса спекания агломерата с повышенным содержанием техногенных железобитуминозных отходов и различного твердого топлива в аглошихте.* / А.С.Нестеров, А.Д.Джигота, В.С.Якушев и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научных трудов ИЧМ. – Вып.21. – 2011. - С.88–96.
17. *Товаровский И.Г., Ободан Я.М., Мишава В.П.* Аналитическая оценка влияния колеблемости содержания железа в шихте на показатели доменной плавки и качество чугуна. // Доменное производство: Научн. труды ИЧМ. – М.: Металлургия, 1975. – №2. – С.122–130.
18. *Довгальок Б.П.* // *Металлургия и коксохимия.* – Днепропетровск: Проминь, 1975. - №29.
19. *Волков Ю.П., Шпарбер Л.Я., Гусаров А.К.* Технолог–доменщик. - М.: Металлургия, 1986. – 251 с.

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

***В.І.Большаков, О.С.Нестеров, А.В.Півненко, А.Г.Коваленко,
А.В.Зубенко, А.С.Хайбулаєв, Л.Е.Васільєв, Е.А.Кашикаров***

Дослідження впливу гранульованих металургійних відходів у складі аглошихти на показники аглопроцесу та якість агломерату

Проаналізовано найбільш поширені види відходів металургійного виробництва та можливість їх використання у складі агломераційної шихти. Показано, що збільшення кількості металургійних відходів у аглодоменній шихті знижує металургійну цінність і якість агломерату, але одночасно знижує і собівартість чавуну. Використання промислових гранульованих відходів в агломераційному виробництві дає змогу поліпшити показники використання вторинних відходів і стабілізувати якість агломерату.