

УДК 669.1.054.8

А.В. РЕВЕНКО, канд. техн. наук

(Україна, Днепропетровск, Национальная металлургическая академия Украины)

ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ НА РАСХОД КОНЦЕНТРАТА ПРИ АГЛОМЕРАЦИИ

Основную нагрузку по переработке железосодержащих и прочих отходов в настоящее время из трех действующих аглоцехов ОАО "АрселорМиттал Кривой Рог" несет аглофабрика металлургического производства (АЦМП). Данные за период с января 1996 года свидетельствуют, что в числе компонентов агломерационной шихты в АЦМП перерабатывались в качестве вторичного сырья такие промышленные отходы, как окалина (первичная), шламовая смесь, колошниковая пыль, отсеб агломерата и окатышей, шлак обогащенный, замасленная окалина в виде окалино-торфянной смеси, пыль CaO электрофильтров, отходы производства $FeMn$, стружка (металлическая), шлак гидросмыва подбункерных помещений доменных печей ДЦ1. Как правило, агломерационная шихта АЦМП состоит из 15...17 различных компонентов, относящихся к железосодержащим, топливным и флюсующим материалам. При этом 7...8 компонентов аглошихты по своему возникновению являются промышленными отходами.

Исходя из реальных целей функционирования производственного процесса в АЦМП, необходимо не только перерабатывать промышленные отходы, но и осуществлять это эффективно. При этом оценка эффективности предполагает наличие сведений о влиянии применяемых компонентов агломерационной шихты на показатели производства агломерата в АЦМП. Теоретически выполнить корректную оценку эффективности влияния на показатели производства каждого компонента шихты в отдельности можно путем расчета материальных, тепловых балансов агломерационного процесса, эксергического анализа. Однако учесть при этом параметры отличий между идентичными по минералогическому составу компонентами аглосмеси для реальных условий АЦМП затруднительно.

Кроме того, на совокупность компонентов аглошихты, представляющей собой реальную многокомпонентную смесь, наложено следующее условие нормирования: "Сумма массовых долей компонентов смеси равна единице", т.е. изменение массовой доли любого из компонентов шихты приводит к изменению массовых долей всех остальных компонентов. В соответствии с этим основным законом для смеси корректную оценку качественных и количественных характеристик влияния конкретного компонента аглошихты можно выполнить путем виртуального перехода от сложной

Загальні питання технології збагачення

многокомпонентной смеси к бинарной смеси. В этом случае агломерационная шихта рассматривается в качестве псевдокомпонента постоянного состава, с которым смешивается изучаемый компонент. Отсутствие учета этих существенных особенностей приводит к некорректным оценкам влияния компонентов агломерационной шихты на показатели производства, установлению неточных нормативных величин удельных расходов, отсутствию возможностей прогноза технико-экономических показателей производственного процесса. Поэтому более предпочтительным является путь установления эмпирических зависимостей на основе обработки и анализа производственных и экспериментальных данных.

С этой целью избран путь, состоящий в применении адекватных интерполяционных моделей, которые автоматически учитывают параметры реальных условий осуществления технологических процессов. Однако применимость таких моделей ограничена интервалами изменения факторов. Проверка адекватности моделей осуществлялась по критериям Стьюдента (St_p) и Фишера (F_p). Гипотезы об адекватности принимались на основании того, что расчетные значения указанных критериев меньше их критических табличных значений (St_T, F_T).

Одним из наиболее дорогостоящих сырьевых компонентов при производстве доменного агломерата является железорудный концентрат. Поэтому его расход оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели АЦМП. В связи с этим в качестве параметра, характеризующего влияние вторичного сырья на агломерационный передел, выбрана массовая доля железорудного концентрата в аглошихте. В качестве факторов выбраны массовые доли компонентов аглошихты, химический состав и основность агломерата. В результате обработки итоговых фактических показателей АЦМП по данным производственных отчетов за период с января 1996 года, в котором произведено более 28,1 млн т агломерата, методами многофакторного регрессионного анализа выявлено качественное влияние и количественная связь между выбранным параметром и факторами производственного процесса.

Для массовой доли железорудного концентрата в аглошихте ($МД_k, \%$) математическая модель представлена формулой:

Загальні питання технології збагачення

$$\begin{aligned}
 MD_K = & \text{Exp}(7,86038) \cdot (1 + E1)^{-0,426182} \cdot (1 + E2)^{-0,294305} \cdot (1 + E3)^{-0,192954} \times \\
 & (1 + E4)^{-0,159703} \cdot (1 + E5)^{-0,183903} \cdot (1 + E6)^{-0,421261} \cdot (1 + E7)^{-0,0472452} \times \\
 & (1 + E8)^{-0,0449095} \cdot (1 + E9)^{0,0414958} \cdot (1 + E10)^{-0,0664766} \cdot (1 + E11)^{-0,0871916} \times \\
 & (1 + E12)^{-0,00558038} \cdot (1 + E13)^{-0,135729} \cdot (1 + E14)^{0,0286444} \cdot (1 + E15)^{0,0268988} \times \\
 & (1 + E16)^{-0,128137} \cdot (1 + E17)^{-0,075162} \cdot (1 + E18)^{-0,0550184} \cdot (1 + E19)^{-0,252553} \times \\
 & (1 + E20)^{0,0847955} \cdot (1 + E21)^{0,165667} \cdot (1 + E22)^{0,0285499} \cdot (1 + E23)^{-0,0476111} \times \\
 & (1 + E24)^{0,129529}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $E1$ – величина, обратная удельному расходу аглошихты, (77,3...83,3%); $E2$ – массовая доля аглоруды в аглошихте, (4...19,3%); $E3$ – массовая доля окалины в аглошихте, (2,6...7,2%); $E4$ – массовая доля шламовой смеси в аглошихте, (2,8...12,9%); $E5$ – массовая доля колошниковой пыли в аглошихте, (0,9...6,5%); $E6$ – массовая доля отсева агломерата и окатышей в аглошихте, (8...34,5%); $E7$ – массовая доля шлака обогащенного в аглошихте, (0...3,9%); $E8$ – массовая доля окалино-торфяной смеси в аглошихте, (0...1,32%); $E9$ – массовая доля пыли CaO электрофильтров в аглошихте, (0,4...2,6%); $E10$ – массовая доля известняка обыкновенного в аглошихте, (0,6...10,1%); $E11$ – массовая доля известняка-ракушечника в аглошихте, (0...4,22%); $E12$ – массовая доля извести в аглошихте, (0,58...5,01%); $E13$ – массовая доля сухой коксовой мелочи в аглошихте, (1,7...4,81%); $E14$ – массовая доля торфа активированного в аглошихте, (0...1,54 %); $E15$ – массовая доля шлама гидросмыва подбункерных помещений доменных печей ДЦ1 в аглошихте, (0...1,63%); $E16$ – массовая доля марганцевой руды в аглошихте, (0...1,1 %); $E17$ – массовая доля угля АШ в аглошихте, (0...0,9%); $E18$ – массовая доля отходов производства $FeMn$ в аглошихте, (0...2,75%); $E19$ – массовая доля стружки в аглошихте, (0...0,16%); $E20$ – массовая доля $Fe_{общ}$ в агломерате, (51...55,7%); $E21$ – массовая доля FeO в агломерате, (11...19%); $E22$ – массовая доля MgO в агломерате, (0,87...1,6%); $E23$ – массовая доля Mn в агломерате, (0,26...0,71%); $E24$ – основность (CaO/SiO_2) агломерата, (1,09...1,43 д. ед.). Для модели (1) расчетные значения критериев составляют:

$$St_P = 0,168 \text{ (число степеней свободы } f = 226);$$

$F_P = 1,1744$ (число степеней свободы $f_1 = 101$, $f_2 = 125$). Критические табличные значения этих критериев для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и тех же чисел степеней свободы составляют: $St_T = 1,96$; $F_T = 1,21$. Так как $St_P < St_T$ и

гипотеза об адекватности модели (1) не отвергается. Таким образом,

Загальні питання технології збагачення

адекватность модели (1) свидетельствует, что вероятность появления существенных различий между расчетными и опытными значениями параметра $МД_k$ не превышает выбранного уровня значимости $\alpha = 0,05$, т.е. 5%. Максимальная абсолютная ошибка расчетных значений $МД_k$ составляет 2,242%.

Характеризуя влияние промышленных отходов на $МД_k$, следует отметить, что при увеличении массовых долей в агломерационной шихте пыли CaO электрофильтров и шлама гидросмыва подбункерных помещений доменных печей ДЦ1 наблюдается рост $МД_k$. Однако увеличение массовых долей в аглошихте окалины, шламовой смеси, колошниковой пыли, отсева агломерата и окатышей, шлама обогащенного, окалино-торфяной смеси, отходов производства $FeMn$ и стружки вызывает снижение $МД_k$.

В условиях реального производственного процесса происходят отклонения фактических параметров технологии от их нормативных значений из-за колебаний качественных и количественных характеристик исходного сырья, а также действия большого числа факторов объективного и субъективного характера. При этом для принятия верных корректирующих действий необходим достоверный анализ причин, вызвавших отклонения фактических параметров технологии от нормативных, оценка качественных и количественных характеристик влияния основных производственных факторов. В связи с тем, что производственные факторы имеют тенденцию совокупного одновременного изменения, актуальным является наличие методов анализа их пофакторного влияния на параметры технологии.

На основе математической модели (1) для АЦМП разработан алгоритм пофакторного анализа влияния удельных расходов вторичного сырья на удельный расход концентрата. Этот алгоритм реализован в виде вычислительного модуля на основе табличного процессора Microsoft Excel. В таблице приведен пофакторный анализ фактических показателей нескольких периодов работы АЦМП с оценкой силы и характера влияния вторичного сырья на удельный расход железорудного концентрата за 12 месяцев 2004 г. (базовый период) и 12 месяцев 2005 г. (сравнительный период). В графе "Отклонение расхода концентрата" приведены данные о величине и характере влияния каждого компонента аглошихты вследствие отклонения их значений в сравнительном периоде от базового. При этом для окалины с уменьшением ее удельного расхода на 0,9 кг/т произошло повышение расхода концентрата на 0,3288 кг/т. Уменьшение удельного расхода шламовой смеси на 1 кг/т вызвало снижение расхода концентрата на 0,1412 кг/т. С уменьшением удельного расхода колошниковой пыли на 0,7кг/т наблюдается рост расхода концентрата на 1,1744 кг/т. Для отсева агломерата и окатышей с увеличением удельного

Загальні питання технології збагачення

расхода на 4,4 кг/т расход концентрата снижается на 4,4455 кг/т. Шлак обогащенный при увеличении удельного расхода на 4,4 кг/т, снизил расход концентрата на 1,6635 кг/т. Увеличение удельного расхода окалино-торфяной смеси на 9,6кг/т вызвало снижение расхода концентрата на 8,0217 кг/т. Пыль CaO электрофильтров при уменьшении ее удельного расхода на 4,3 кг/т вызвала снижение расхода концентрата на 2,9129 кг/т. Шлам гидросмыва подбункерных помещений доменных печей ДЦ1 при увеличении удельного расхода на 4,7 кг/т привел к росту расхода концентрата на

3,1033 кг/т. Отходы производства $FeMn$ при уменьшении их удельного расхода на 6,6 кг/т вызвали рост расхода концентрата на 8,2961 кг/т. В строке "Итого изменение приведенного расхода концентрата в сравнительном периоде" таблицы суммарный эффект от изменения удельных расходов компонентов аглошихты в сравнительном периоде относительно базового периода соответствует приведенному перерасходу железорудного концентрата на 14,4622 кг на 1 т агломерата, а на весь объем производства приведенный перерасход железорудного концентрата составляет 47846,036 т. В строке "Изменение расхода концентрата на весь объем производства в базовом и сравнительном периоде, т" можно видеть, что реальный перерасход железорудного концентрата от сокращения фактического объема производства и изменения фактических удельных расходов компонентов за 12 месяцев 2005 г. от их значений в базовом периоде составляет 12859,851 т. Существенное отличие между приведенным и фактическим значением связано различием расчетных формул. Фактическое значение является разностью между фактическими расходами железорудного концентрата в базовом и сравнительном периодах. Приведенное значение является произведением объема производства в сравнительном периоде на разность между удельными расходами концентрата в базовом и сравнительном периодах. При этом реальный рост удельного расхода концентрата без оценки влияния факторов и сокращения фактического объема производства составляет 13,1 кг/т (с 426,8 до 439,9 кг/т). Следует добавить, что абсолютные ошибки расчетов массовой доли концентрата в аглошихте относительно фактических значений составляет для базового и сравнительного периодов соответственно 0,246% (2004 г.) и 0,331% (2005 г.). Эти значения меньше максимальной абсолютной ошибки расчетных значений этого параметра по математической модели и находятся внутри доверительного интервала допустимых значений.

Пофакторный анализ влияния компонентов аглошихты на удельный расход железорудного концентрата по АЦМП (приведение базы к сравнительно му периоду)

Факторы	Период		Отклонение расхода концентрата		При веденна я
	12 месяцев 2004г.	12 месяцев 2005г.			
	Базовый	Сравнительный	на 1 т	на весь	

Загальні питання технології збагачення

	нат. ед.		нат. ед.		агломерат а, кг/т	объем, т	базо вая дол я кон цен трат а, %
Производство, т	3379761		3308347				
Аглоруда (4,095...19,331%)	194,500	15,7490	171,300	14,0054	11,3443	37531,026	34,501
Концентрат (23,083...42,645%)	426,800	34,5587	439,900	35,9660			
Окалина (2,66...7,166%)	58,600	4,7449	57,700	4,7175	0,3288	1087,769	35,602
Шламовая смесь (2,809...12,851%)	143,600	11,6275	142,600	11,6589	-0,1412	-467,235	35,649
Колошниковая пыль (0,946...6,487%)	17,700	1,4332	17,000	1,3899	1,1744	3885,440	35,518
Отсев агломерата и окатышей ОАО (8,033...34,542%)	202,300	16,3806	206,700	16,8997	-4,4455	-14707,195	36,080
Шлак обогащенный ШО (0...3,679%)	33,700	2,7287	38,100	3,1150	-1,6635	-5503,393	35,802
Окалино-торфяная смесь ОТС (0...1,317%)	2,800	0,2267	12,400	1,0138	-8,0217	-26538,731	36,437
Пыль СаО электрофильтров (0,398...2,586%)	11,400	0,9231	7,100	0,5805	-2,9129	-9636,988	35,927
Известняк обыкновенный (0,652...10,062%)	22,200	1,7976	22,500	1,8396	-0,3533	-1168,903	35,671
Известняк ракушечник (0...4,216%)	41,600	3,3684	33,900	2,7716	4,5349	15003,071	35,182
Известь (0,583...5,008%)	22,200	1,7976	21,500	1,7578	0,0285	94,127	35,632
Коксовая мелочь сухая (1,711...4,81%)	33,700	2,7287	31,500	2,5754	2,0251	6699,674	35,433
Торф активированный (0...1,542%)	17,300	1,4008	16,200	1,3245	-0,3299	-1091,264	35,668
Шлам ДЦ1 (0...1,634%)	0,000	0,0000	4,700	0,3843	3,1033	10266,911	35,325
Руда Mn (0...1,095%)	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,0000	0,000	35,635
Уголь АШ (0...0,857%)	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,0000	0,000	35,635
Отходы производства FeMn (0...2,745%)	6,600	0,5344	0,000	0,0000	8,2961	27446,540	34,806
Стружка (0...0,164%)	0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,0000	0,000	35,635
Итого удельный расход аглошихты, кг/т	1235,000	100,0000	1223,100	100,0000			
Содержание Fe _{общ} в агломерате, %		54,75		55,18	0,2321	767,850	35,612
Содержание FeO в агломерате, %		15,51		15,82	1,0965	3627,662	35,526
Содержание MgO в агломерате, %		1,39		1,36	-0,1285	-425,243	35,648
Содержание Mn в агломерате, %		0,35		0,31	0,5099	1687,055	35,584
Основность (СаО/SiO ₂) агломерата		1,15		1,14	-0,2153	-712,135	35,657
V, %	80,9717		81,7595				
Массовая доля концентрата (расчет), %		34,3127		35,6353			
Итого изменение приведенного удельного расхода концентрата в сравнительном периоде, кг/т					14,4622	47846,036	
Изменение удельного расхода концентрата в сравнительном периоде, кг/т					13,1000		
Изменение расхода концентрата на весь объем производства в базовом и сравнительном периоде, т				12859,851			

Предложенный алгоритм пофакторного анализа может быть применен для решения таких задач, как: оценка влияния каждого из применяемых железосодержащих отходов и прочих компонентов агломерационной шихты на основные параметры производственного процесса; сравнительный анализ фактических показателей нескольких периодов работы; анализ отклонений фактических показателей от нормативных значений за отчетный период работы; прогноз и оценка эффективности реализации технологических мероприятий;