

В. Н. Захарченко, Ю. Р. Руденко\*, Н. Р. Руденко\*\*, Ю. К. Лебедь\*

Объединение предприятий «Укрметаллургпром», Днепр

\*ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат», Каменское

\*\*Днепропетровский государственный технический университет, Каменское

## Влияние компенсирующего ресурса увеличения содержания FeO в шихте при вдувании пылеугольного топлива в горн доменной печи

*Представлен технологический прием увеличения расхода пылеугольного топлива изменением прихода FeO с компонентами шихты за счет увеличения содержания FeO в агломерате и загрузки брикетов марки БЖС-Д. Показано влияние предложенного компенсирующего ресурса в фактических условиях работы доменного цеха ПАО «ДМК».*

**Ключевые слова:** пылеугольное топливо, агломерат, содержание FeO в агломерате, брикеты, доменная печь, регрессионный анализ.

**В**ведение. Компенсирующим ресурсом, способствующим увеличению расхода пылеугольного топлива (далее – ПУТ), считается снижение основности шлака [1]. Это снижение возможно в двух вариантах реализации.

Реализация первого варианта осуществляется при использовании кокса и пылеугольного топлива с пониженным содержанием серы в сравнении с базовым уровнем. Реализация указанного варианта возможна при замене части украинского угля другим – малосернистым. Второй вариант изменения, направленный на улучшение физических свойств шлака при использовании собственных ресурсов угля, может быть осуществлен при условии наличия средств внедоменной десульфурации чугуна.

В настоящее время на зарубежных металлургических предприятиях используют кокс фракции более 40 мм, но с ограничением класса +80 мм до 5,0%. В качестве рекомендаций предлагается поддерживать содержание фракции 40-80 мм на уровне не менее 60% [2]. Данная подготовка способствует сохранению или повышению производительности доменных печей, особенно при работе с применением большого количества ПУТ и расходом кокса до 300 кг/т чугуна и ниже.

Внедрен комплекс научно-обоснованных мероприятий, разработанных Институтом черной металлургии (ИЧМ) и включающих эффективное использование существующих возможностей по нагреву дутья, расходу технологического кислорода, ПУТ и природного газа, а также мощностей оборудования внедоменного обессеривания чугуна, при формировании рационального распределения шихтовых материалов и газового потока. Это позволило вывести вторую по величине доменную печь Украины полезным объемом 3000 м<sup>3</sup> № 1 ПАО «АМК» в 2011 г. на режим работы, обеспечивающий получение эффекта от внедрения технологии вдувания ПУТ как в зарубежной практике и достигнуть лучших технико-экономических показателей работы печей с ПУТ в Украине [3-7].

Обобщение опыта применения ПУТ за рубежом дает основание считать, что для достижения высокой эффективности доменной плавки с вдуванием ПУТ в количестве 200-250 кг/т чугуна с заменой 30-50% скипового кокса основными и необходимыми компенсирующими мероприятиями являются:

- температура дутья более 1100 °С;
- содержание кислорода в дутье более 25,0%;
- кокс с показателями «CSR» более 65,0% и CRI менее 25,0%;
- выход шлака менее 300 кг/т чугуна;
- давление газа на колошнике более 1,5 ати;
- загрузка коксового орешка в смеси с железорудной шихтой 20-100 кг/т чугуна;
- зольность угля для ПУТ менее 8,0%, общая сера угля менее 0,80%;
- ограниченная загрузка материалов с содержанием фракции менее 5 мм (мелочь);
- удельная теплота сгорания скипового кокса более 7200 ккал/кг (30 МДж/кг);
- сумма (ПУТ + выход шлака) обязана быть менее 470 кг/т чугуна;
- сумма (кокс + 0,85 × ПУТ) обязана быть менее 460 кг/т чугуна;
- температура чугуна на выпуске более 1470 °С;
- наличие комплекса современного оборудования и приборов для контроля ведения доменной плавки;
- другие.

**Постановка задачи.** Целью научного исследования являлось определение технологических приемов ведения доменной плавки с увеличенным расходом ПУТ за счет увеличения содержания FeO (вюстита) в железорудной части доменной шихты.

**Методы исследования.** Объектами исследования были: высокопрочные брикеты марки БЖС-Д и агломерат производства Днепропетровского металлургического комбината (далее – «ДМК»), составляющие основную долю FeO в доменной шихте.

Влияние брикетов марки БЖС-Д (далее – брикеты) или агломерата «ДМК» на расход ПУТ определяли

изменением удельного расхода брикетов и содержания FeO в агломерате.

В работе использованы современные методы исследования, включая экспериментально-промышленные, при различных периодах и объемах производства чугуна.

Базовый химический состав агломерата и брикетов по периодам указан в табл. 1.

**Результаты исследований.** Исследования проводили по четырем периодам.

**Период-1.** Базовый период 2014 г. Расход брикетов при производстве чугуна – 0,3 кг/т чугуна, среднее содержание FeO в агломерате – 10,85%, доля агломерата в железорудной части (ЖРЧ) доменной шихты – 98,65%.

**Период-2.** Включал проведение испытаний на ДП-9 в 2015 г. (351 сутки, за вычетом суток с длительными простоями) брикетов марки БЖС-Д производства Концерна «НПП ДиМет». Проведенные исследования показали, что образцы из окалина имеют высокую (192-291 кгс/см<sup>2</sup>) холодную и горячую прочность, сохраняя свою форму после высокотемпературного нагрева до 1000 °С. Компонентный состав брикета составлял, %мас.: окалина – (5-75), железосодержащий шлам – (5-45), отходы брикетного производства – (5-40) и цемент – (8-14). Ежемесячный удельный расход брикетов изменялся от 4,3 (январь) до 38,1 кг/т чугуна (ноябрь). Объем используемых брикетов за исследуемый период – 19,6 кг/т.

Использование цементной связки способствовало сохранению формы брикетов при их нагреве в восстановительной атмосфере до полной дегидратации гидросиликатов цементного камня. Прочность брикетов в холодном состоянии и поведение их при нагреве в восстановительной атмосфере не ограничивали применение брикетов на цементной связке в качестве окускованого сырья для доменной плавки.

В указанный период брикеты загружали в ДП-9 (полезный объем печи – 1386 м<sup>3</sup>), путем частичной замены агломерата основностью (CaO/SiO<sub>2</sub>) 1,09-1,23 ед. брикетами основностью 1,22-1,89 ед. Загруз-

ку брикетов осуществляли в вагон-весы на полный карман видимой поверхности агломерата в количестве до 12,0 т/подачу вторым рудным скипом в зависимости от существующей технологии доменной плавки. Масса рудной колоши составляла до 25 т, коксовой – до 6,5 т.

Для определения значимой степени влияния брикетов на возможность увеличения расхода ПУТ в условиях повышенного шлакообразования применяли корреляционно-регрессионную методику.

Переменными факторами (x) были задействованы основные показатели доменной плавки: производительность доменной печи (ДП), удельный расход: ПУТ, кокса и брикетов. Тесноту совместного влияния факторов (x) на результат (y) оценивали множественной корреляцией (R). Результирующим значением принят расход ПУТ. Качество построенной модели в целом оценивали коэффициентом (индексом) детерминации (R<sup>2</sup>). При создании регрессионной статистики, дисперсионного анализа и определении значимых коэффициентов уравнений регрессии применяли пакет «Анализ данных» программы Microsoft Excel.

Период испытания (с 01.01.15 по 31.12.15) брикетов на ДП-9 определил значимую степень влияния расхода брикетов на удельный расход ПУТ. Результаты обработки массива (351 сутки, за вычетом суток с длительными простоями) данных составили:

– регрессионная статистика: количество выполненных наблюдений составило – 351 сутки; множественный R = 0,756; R-квадрат = 0,571 и нормированный R-квадрат = 0,568;

– дисперсионный анализ: регрессия df = 3; SS = 4651113,65; MS = 155037,88; F = 154,22; значимость F = 1,61601E-63. Сводные значения регрессионного анализа указаны в табл. 2.

В качестве результирующего признака Y принят расход ПУТ (кг/т чугуна), а факторные признаки X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>: производительность печи (т/сутки), расход скипового кокса (кг/т чугуна), расход брикетов (кг/т чугуна).

Для оценки значимости полученных коэффициентов регрессионного уравнения воспользуемся

**Таблица 1** *t*-критерием Стьюдента. Табличное значение *t*-критерия с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$  и числом степеней свободы d.f. = 351 – 3 – 1 = 347.

**Базовый химический состав агломерата и брикетов по ДП-9**

| Материалы                 | Fe    | FeO   | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | CaO / SiO <sub>2</sub> |
|---------------------------|-------|-------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------------------------|
| Брикеты 2015 г.           | 57,08 | 41,34 | 7,89             | 10,72 | 0,44 | 0,78                           | 0,44 | 1,36                   |
| Агломерат 2014 г.         | 55,10 | 10,85 | 8,87             | 11,06 | 1,30 | 0,92                           | 0,20 | 1,25                   |
| Агломерат 2015 г.         | 55,76 | 11,61 | 8,96             | 10,21 | 1,23 | 0,88                           | 0,13 | 1,14                   |
| Агломерат 2016 г. 10 мес. | 55,59 | 12,42 | 8,82             | 10,43 | 1,27 | 0,88                           | 0,35 | 1,18                   |

значимости  $\alpha = 0,05$  и числом степеней свободы d.f. = 351 – 3 – 1 = 347.  $t_m = 1,96$ .

Сравним значения  $t_p$  и  $t_m$  для каждого из полученных параметров:

$t_p = 2,957 > t_m$  – для свободного значения  $a_0$ ;

**Таблица 2**

**Сводные значения и коэффициенты регрессии**

| Показатель                 | Коэффициенты | Стандартная ошибка | <i>t</i> -статистика | <i>P</i> -значение | Нижние 95% | Верхние 95% |
|----------------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------|-------------|
| Y-пересечение              | 38,794       | 13,120             | 2,957                | 0,003              | 12,990     | 64,598      |
| Производительность, т/сут. | 0,016        | 0,004              | 3,615                | 0,000              | 0,007      | 0,024       |
| Расход кокса, кг/т         | 0,159        | 0,008              | 20,336               | 0,000              | 0,144      | 0,175       |
| Расход брикетов, кг/т      | 0,225        | 0,066              | 3,415                | 0,001              | 0,096      | 0,365       |

$$t_p = 3,615 > t_m - \text{для коэффициента } a_1;$$

$$t_p = 20,336 > t_m - \text{для коэффициента } a_2;$$

$$t_p = 3,415 > t_m - \text{для коэффициента } a_3.$$

Таким образом, статистически значимыми являются коэффициенты  $a_0, a_1, a_2, a_3$ .

По данным регрессионного анализа, составлено уравнение множественной регрессии:

$$\text{ПУТ} = 38,794 + 0,016 \cdot \text{Пр-во} + 0,159 \cdot K + 0,225 \cdot \text{Бр.}, \quad (1)$$

где ПУТ – удельный расход пылеугольного топлива, кг/т чугуна; Пр-во – производство чугуна, т/сутки;  $K$  – удельный расход кокса скипового (сух.), кг/т чугуна; Бр. – удельный расход брикетов, кг/т чугуна.

Из уравнения регрессии (1) следует, что увеличение удельного расхода брикетов на 1 кг/т (в диапазоне от 0 до 105,6 кг/т) при повышенном шлакообразовании, способствовало увеличению расхода ПУТ на 0,225 кг/т чугуна.

Технико-экономические показатели работы ДП № 9 в различные периоды проведения испытаний приведены в табл. 3.

Брикеты, содержащие отходы металлургической промышленности, исследовали, как возможный альтернативный агломерату материал, производство которого позволит исключить периодические спекания аглошихты с высоким содержанием дисперсных отходов, сопровождающееся снижением технико-экономических показателей агломашин и стабильности состава обычного агломерата в переходные периоды.

*Период-3.* Испытания проводили в период с 01.01.2016 по 31.10.2016 г. на ДП-1М, ДП-9, ДП-12 с использованием агломерата производства «ДМК», доля которого в составе железорудной части доменной шихты (агломерат + окатыши + руда) составляла 97,57%.

Для подтверждения степени влияния FeO на удельный расход ПУТ в промышленных условиях «ДМК» определен дополнительный период работы доменного цеха за 10 месяцев 2016 г. (Период-3). В анализ не включены ноябрь 2016 г. (задувка ДП-9 после длительной стоянки) и декабрь 2016 г. (снижение доли агломерата в шихте, снижение содержания FeO в агломерате).

Фактическое содержание FeO в агломерате в указанном периоде изменяли от 7,47 до 49,9% (среднее значение – 12,3%; медиана – 12,3%; мода – 14,5%) расходом топлива и окалины в аглошихте и снижением основности агломерата. В исследуемом периоде апробировано 3332 партий агломерата, удельный расход его составил 1739,7 кг/т чугуна (97,57% состава ЖРЧ доменной шихты). Полученные результаты Периода-3 указаны в табл. 2.

По полученным экспериментальным данным удельного расхода ПУТ в зависимости от содержания FeO в агломерате в течение 25 месяцев работы доменного цеха в составе доменных печей №№ 1М, 9 и 12, дополнительно составлена значимая математическая модель:

$$Y = -9,5953x^2 + 244,67x - 1408, \quad (2)$$

где  $Y$  – удельный расход пылеугольного топлива, кг/т чугуна;  $x$  – содержание FeO в агломерате, %.

Из уравнения регрессии (2) следует, что увеличение содержания FeO в агломерате в фактическом диапазоне от 10,0 до 12,8%, при выходе шлака более 400 кг/т чугуна, указывало положительную тенденцию увеличения расхода ПУТ. При этом применяли следующие системы загрузки доменной печи: ААКК↓, КААК↓, 4ААКК↓1КААК↓, 3ААКК↓2КААК↓.

Таблица 3

### Результаты доменной плавки по исследуемым периодам

| № п/п | Наименование показателей                            | Ед. изм.                | Доменная печь № 9 |         |                 | Цех             |
|-------|---|-------------------------|-------------------|---------|-----------------|-----------------|
|       |   |                         | 2014 г.           | 2015 г. | 10 мес. 2016 г. | 10 мес. 2016 г. |
| 1.    | Полезный объем                                      | м <sup>3</sup>          | 1386              | 1386    | 1386            | 4272            |
| 2.    | Производство чугуна                                 | т/сутки                 | 2282              | 2516    | 2332            | 6896            |
| 3.    | КИПО  | м <sup>3</sup> /т сутки | 0,607             | 0,551   | 0,594           | 0,621           |
| 4.    | Дутье: расход                                       | м <sup>3</sup> /мин     | 2671              | 2620    | 2582            | 7683            |
|       | давление  | кгс/см <sup>2</sup>     | 2,32              | 2,36    | 2,29            | 2,37            |
| 5.    | Давление колошникового газа                         | кгс/см <sup>2</sup>     | 1,17              | 1,20    | 1,21            | 1,21            |
| 6.    | Расход: ПУТ   | кг/т                    | 48,3              | 149,0   | 153,3           | 150,5           |
|       | брикетов БЖС-Д                                      | кг/т                    | 0,3               | 19,6    | 1,9             | 0,9             |
| 7.    | Содержание железа в ЖРЧ                             | %                       | 55,19             | 55,76   | 55,61           | 55,54           |
| 8.    | Выход шлака   | кг/т                    | 433,6             | 428,4   | 418,2           | 423,8           |
|       | Состав чугуна: Si                                   | %                       | 0,65              | 0,58    | 0,58            | 0,59            |
| 9.    | Mn  | %                       | 0,20              | 0,13    | 0,32            | 0,33            |
|       | Содержание FeO в агломерате                         | %                       | 10,85             | 11,61   | 12,42           | 12,32           |
| 10.   | Содержание FeO в агломерате                         | %                       | 10,85             | 11,61   | 12,42           | 12,32           |
| 11.   | Доля агломерата в железорудной части доменной шихты | %                       | 98,65             | 99,90   | 97,97           | 97,57           |

Проверка адекватности по критерию Фишера подтвердила достоверность математической модели. На рис. 1 представлен график изменения удельного расхода ПУТ в зависимости от содержания FeO в агломерате, доля агломерата в железорудной части доменной шихты (агломерат + окатыши + руда) составляла от 97,57 до 99,90% (среднее значение – 98,7%).

Технологический прием использования брикетов или агломерата с повышенным содержанием FeO выполняется при появлении признаков, подтверждающих снижение расхода пылеугольного топлива (ПУТ), при прочих равных условиях.

Как правило, снижению расхода ПУТ предшествуют в основном следующие признаки:

1. Ухудшение качества кокса.

Эквивалентный удельный расход кокса, с учетом мирового опыта при использовании ПУТ должен быть до 460 кг/т чугуна:

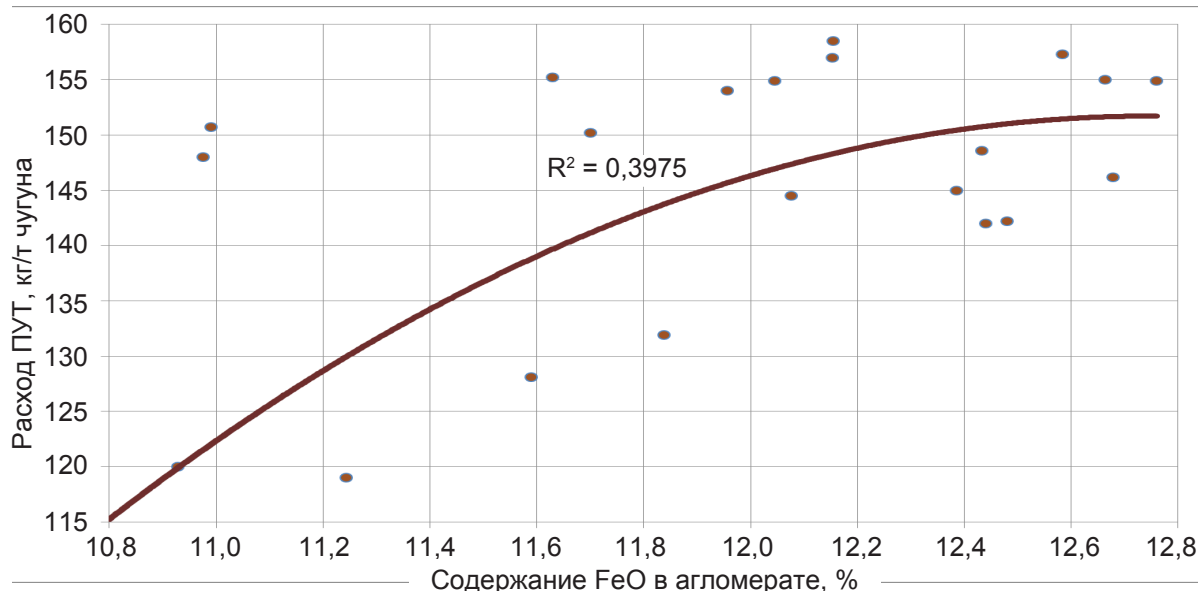


Рис. 1. Зависимость расхода ПУТ от содержания FeO в агломерате

$$460 \text{ кг/т ЖЧ} = \text{расход кокса} + 0,85 \cdot \text{ПУТ},$$

где 460 – эквивалентный удельный расход скипового кокса (сух.), кг/т чугуна; ЖЧ – жидкий чугун; расход кокса – удельный расход кокса, кг/т чугуна; ПУТ – удельный расход пылеугольного топлива, кг/т чугуна.

2. Увеличение выхода шлака при производстве чугуна.

С учетом мирового опыта сумма ПУТ и выход шлака должна быть до 470 кг/т чугуна:

$$470 \leq \text{ПУТ} + \text{шлак},$$

где ПУТ – удельный расход пылеугольного топлива (сух.), кг/т чугуна; шлак – выход шлака при производстве чугуна, кг/т чугуна.

3. Загрузка материалов с повышенным содержанием фракции менее 5 мм.

С учетом мирового опыта содержание фракции <5 мм (мелочь) во всех материалах, загружаемых в ДП должно составлять менее 5,0%.

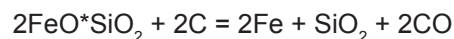
4. Загромождение центральной части горна ДП, появление расстройств хода, работа печи на тихом ходу и сбавленном дутье, и другие.

При этом в центральной части горна, вследствие ухудшения газодинамических условий, начинает скапливаться коксовая мелочь. Следует отметить, что мелкие частички кокса (коксовая мелочь) плохо смачиваются шлаком и каплями чугуна. В центральной части горна образуется шлакометаллическая суспензия с углеродосодержащей мелочью, появление которой ухудшает центральный газовый поток, снижается фильтрация чугуна через шлаковый пояс. В результате этого, ухудшается выдача продуктов плавки, происходит более быстрое появление шлака при выпуске чугуна и неравномерность выпусков чугуна.

Технологический смысл компенсирующего ресурса при вдувании ПУТ с использованием брикетов или агломерата заключался в подаче указанных материалов в центральную часть ДП, содержащих оксиды железа, которые активно взаимодействовали с коксовой

мелочью и ликвидировали загромождение. Указанные материалы имели минимальную температуру плавления и низкую вязкость. Благодаря этим свойствам они легко проникали в пространство между кусками компонентов шихты в нижней части шахты, в распаре, в заплечиках и между кусками кокса в горне ДП.

При высоких температурах происходит восстановление Fe из FeO с расходом коксового мусора и спели с соответствующим удалением коксового мусора и спели с ДП:



Период-4. Анализ ежемесячных отчетных данных по ДП-9 и доменному цеху за период освоения ПУТ с сентября 2014 г. Показатели качества основного железорудного материала – агломерата ПАО «ДМК» – рассматривались при оценке их влияния на расход ПУТ.

При анализе ежемесячных отчетных данных работы ДП-9:

– выделен период стабильной работы с сентября 2014 г. по июль 2016 г. (23 месяца, до момента останова ДП в августе 2016 г. на капитальный ремонт с последующей задувкой в ноябре 2016 г.); производство чугуна составило 1641,409 тыс. т; расход ПУТ – 144,0 кг/т чугуна (диапазон 109,0÷169,1 кг/т чугуна);

– выявлено влияние на расход ПУТ характеристик основного железорудного материала – агломерата, в том числе содержания FeO в агломерате, его суммарной основности и содержания фракции менее 5 мм (далее – рассев).

Увеличение содержания FeO в агломерате на 1,0% приводило к увеличению расхода ПУТ на 8,0÷10,2 кг/т чугуна; снижение рассева агломерата на 1,0% – к увеличению расхода ПУТ на 6,9 кг/т чугуна; снижение суммарной основности агломерата на 0,1 д. ед. – к увеличению расхода ПУТ на 12,1 кг/т чугуна.

Содержание FeO в агломерате за период составило 11,7% (диапазон 10,8÷12,8%), при этом начиная с июля 2015 г. содержание FeO планомерно увеличено до 12,3% (диапазон 11,6÷12,8%), за предшествую-

щий период с сентября 2014 г. по июнь 2015 г. – 11,1% (диапазон 10,8÷11,6%).

Рассев агломерата составил 14,2% (диапазон 13,2÷15,4%). Суммарная основность агломерата составила 1,310 д. ед. (диапазон 1,218÷1,381 д. ед.).

На рис. 2 и 3 указаны зависимости расхода ПУТ от рассева, суммарной основности и содержания FeO в агломерате по ДП № 9.

При анализе ежемесячных отчетных данных работы доменного цеха:

– выделен период с октября 2014 г. по ноябрь 2016 г. (26 месяцев); производство чугуна составило 4665,420 тыс. т; расход ПУТ – 140,4 кг/т чугуна (диапазон 100,0÷166,7 кг/т чугуна);

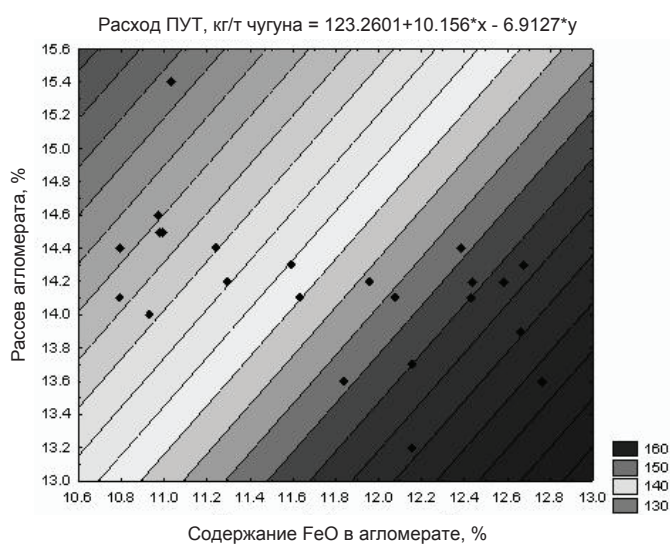
– выявлено влияние на расход ПУТ характеристик основного железорудного материала – агломерата, в том числе содержания FeO в агломерате, его суммарной основности и содержания фракции менее 5 мм (далее – рассев).

Увеличение содержания FeO в агломерате на 1,0% приводило к увеличению расхода ПУТ на 11,5÷13,7 кг/т чугуна; снижение рассева агломерата на 1,0% – к увеличению расхода ПУТ на 13,1 кг/т чугуна; снижение суммарной основности агломерата на 0,1 д. ед. – к увеличению расхода ПУТ на 6,8 кг/т чугуна.

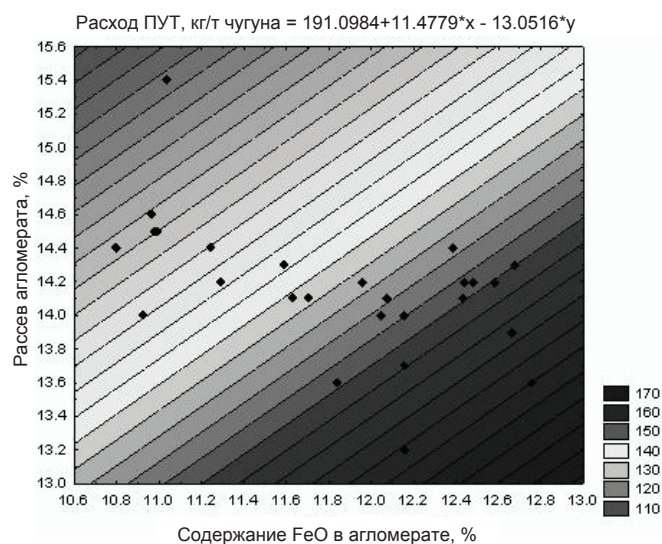
Содержание FeO в агломерате за период составило 11,8% (диапазон 10,8÷12,8%), при этом начиная с июля 2015 г. содержание FeO планомерно увеличено до 12,2% (диапазон 11,6÷12,8%), за предшествующий период с октября 2014 г. по июнь 2015 г. – 11,1% (диапазон 10,8÷11,6%).

Рассев агломерата составил 14,2% (диапазон 13,2÷15,4%). Суммарная основность агломерата составила 1,314 д. ед. (диапазон 1,218÷1,409 д. ед.).

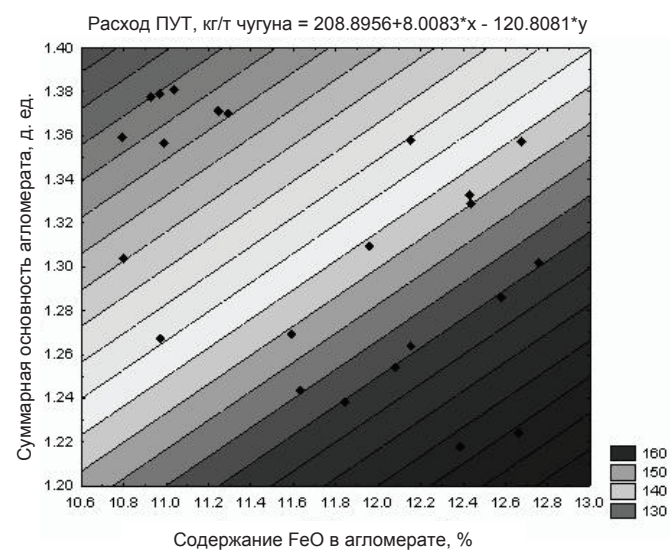
На рис. 4 и 5 указаны зависимости расхода ПУТ от рассева, суммарной основности и содержания FeO в агломерате по доменному цеху.



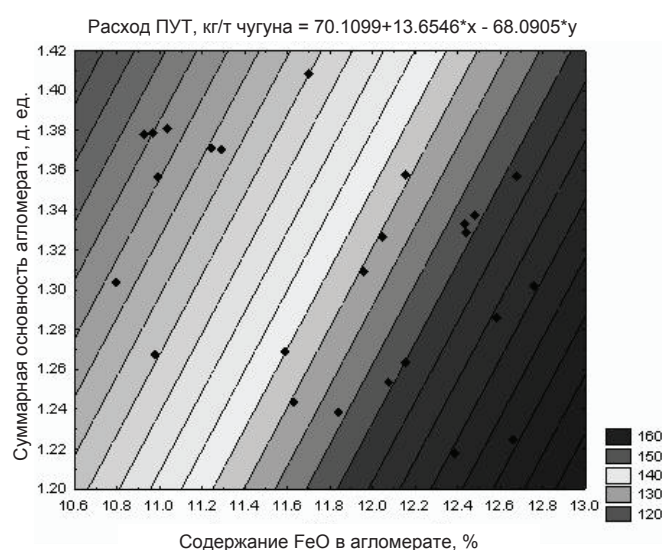
**Рис. 2.** Зависимость расхода ПУТ от рассева и содержания FeO в агломерате по ДП № 9



**Рис. 4.** Зависимость расхода ПУТ от рассева и содержания FeO в агломерате по ДЦ



**Рис. 3.** Зависимость расхода ПУТ от суммарной основности и содержания FeO в агломерате по ДП № 9



**Рис. 5.** Зависимость расхода ПУТ от суммарной основности и содержания FeO в агломерате по ДЦ

## Выводы

Обобщение мирового опыта дает основание считать, что для достижения высокой эффективности доменной плавки с заменой скипового кокса пылеугольным топливом кроме основных компенсирующих мероприятий, требующих больших капитальных вложений, существуют технологические приемы, не требующие указанных вложений.

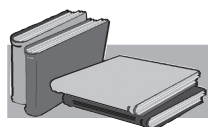
Одним из таких проверенных приемов на ПАО «ДМК» является применение брикетов марки БЖС-Д производства Концерна «НПП ДиМет». Использование указанного композиционного состава брикета марки БЖС-Д на цементной связке способствовало сохранению его формы при нагреве в восстановительной атмосфере до полной дегидратации гидросиликатов цементного камня. Прочность брикетов в холодном состоянии и поведение их при нагреве в восстановительной атмосфере, не ограничивало применение брикетов в условиях «ДМК» в качестве окискованного сырья для доменной плавки.

Выделено два периода стабильной работы доменной печи № 9 продолжительностью один год в 2014 г. и 2015 г. с расходом брикетов марки БЖС-Д – 0,3 кг/т и 19,6 кг/т соответственно. Показано влияние брикетов в существующих производственных условиях ПАО «ДМК» на расход вдуваемого ПУТ.

В 2016 г. загрузка брикетов марки практически не производилась (удельный расход по цеху – 0,7 кг/т), при этом содержание FeO в агломерате увеличено с 11,61 до 12,42%, в сравнении с 2015 г.

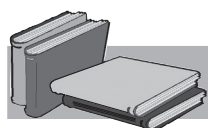
Промышленные испытания агломерата ПАО «ДМК» с повышенным содержанием FeO (от 10,0 до 12,8%) и брикетов марки БЖС-Д на промышленном уровне подтвердили философию компенсирующего ресурса, не требующего дополнительных капитальных затрат, при вдувании ПУТ.

Целесообразность применения агломерата при доменной плавке с повышенным содержанием FeO, в качестве компенсирующего ресурса для увеличения расхода ПУТ, требует дальнейшего изучения и детального обсуждения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошевский С. Л. Пылеугольное топливо – реальная и эффективная альтернатива природному газу в металлургии // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 3. – С. 15-20.
2. Ухмылова Г. С. Требования европейских доменщиков к качеству кокса // *Кокс и химия*. – 2001. – № 4. – С. 24-26.
3. Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь и др. // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 10. – С. 5-10.
4. Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, А. Л. Чайка и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 3. – С. 106-1107.
5. Эксергетический анализ энергоэффективности применения пылеугольного топлива в доменном производстве / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, А. А. Сохацкий, А. А. Москалина // *Экология и промышленность*. – 2014. – № 2. – С. 87-94.
6. Большаков В. И., Чайка А. Л., Лебедь В. В., Корнилов Б. В., Шевелев А. Г. Системная надежность доменного производства, опыт и перспективы освоения технологии доменной плавки с использованием пылеугольного топлива на Украине // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – 2014. – Вып. 28. – С. 16-31.
7. Большаков В. И., Чайка А. Л., Лебедь В. В., Сохацкий А. А. Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива в доменном производстве Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2015. – Вып. 2. – С. 6-11.



## REFERENCES

1. Yaroshevskii S. L. (2006). Pyleugol'noe toplivo – real'naia i effektivnaia al'ternativa prirodnomu gazu v metallurgii [*Dust-coal fuel is a real and effective alternative to natural gas in metallurgy*]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 3, pp. 15-20 [in Russian].
2. Ukhmylova G. S. (2001). Trebovaniia evropeiskikh domenshchikov k kachestvu koksa [*Requirements of European blast furnaces to the quality of coke*]. Koks i khimiia, no. 4, pp. 24-26 [in Russian].
3. Bol'shakov V. I., Chaika A. L., Lebed' V. V. et al. (2013). Opyt i perspektivy primeneniia pyleugol'nogo topliva na domennykh pechakh Ukrainy [*Experience and prospects of using dust-coal fuel on blast furnaces of Ukraine*]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 10, pp. 5-10 [in Russian].
4. Bol'shakov V. I., Borodulin A. V., Chaika A. L. et al. (2014). Teplovaia rabota i perspektivnyye konstruksii shakhty i metallopriyemnika domennoi pechi pri primenenii pyleugol'nogo topliva [*Thermal work and perspective constructions of the mine and metal receiver of the furnace under the application of pulverized coal*]. Metallurgicheskaia i gornorudnaia promyshlennost', no. 3, pp. 106-1107 [in Russian].
5. Bol'shakov V. I., Sokhatskii A. A., Moskalina A. A. (2014). Eksergeticheskii analiz energoeffektivnosti primeneniia pyleugol'nogo topliva v domennom proizvodstve [*Exergetic analysis of energy efficiency of the use of pulverized coal fuel in blast furnace production*]. Ekologiya i promyshlennost', no. 2, pp. 87-94 [in Russian].

6. Bol'shakov V. I., Chaika A. L., Lebed' V. V., Kornilov B. V., Shevelev A. G. (2014). Sistemnaia nadezhnost' domennogo proizvodstva, opyt i perspektivy osvoeniia tekhnologii domennoi plavki s ispol'zovaniem pyleugol'nogo topliva na Ukraine [System reliability of blast-furnace production, experience and prospects of mastering the technology of blast furnace smelting using pyrethane fuel in Ukraine]. Fundamental'nye i prikladnyye problemy chernoi metallurgii, vyp. 28, pp. 16-31 [in Russian].
7. Bol'shakov V. I., Chaika A. L., Lebed' V. V., Sokhatskii A. A. (2015). Opyt i perspektivy primeneniia pyleugol'nogo topliva v domennom proizvodstve Ukrainy [Experience and perspectives of using pulverized coal in blast furnace production in Ukraine]. Metallurgicheskaia i gornorudnaia promyshlennost', vyp. 2, pp. 6-11 [in Russian].

#### Анотація

Захарченко В. М., Руденко Ю. Р., Руденко М. Р., Лебідь Ю. К.  
Вплив компенсуючого ресурсу збільшення вмісту FeO у шихті при вдуванні пиловугільного палива в горн доменної печі

Представлено технологічний прийом збільшення витрати пиловугільного палива зміною приходу FeO з компонентами шихти за рахунок збільшення вмісту FeO в агломераті та загрузки брикетів марки БЖС-Д. Показано вплив запропонованого компенсуючого ресурсу у фактичних умовах роботи доменного цеху ПАТ «ДМК».

#### Ключові слова

Пиловугільне паливо, агломерат, вміст FeO в агломераті, брикети, доменна піч, регресійний аналіз.

#### Summary

Zakharchenko V., Rudenko Yu., Rudenko N., Lebed' Yu.  
Influence of the compensating resource of increasing FeO content in the charge when injecting pulverized coal into the blast furnace hearth

The article presents a technological method of increasing the flow rate of pulverized coal by imputing the FeO arrival with the components of the charge due to increasing the FeO content in the agglomerate and loading briquettes of the grade БЖС-Д. The influence of the proposed compensating resource in the actual operating conditions of the blast-furnace shop of PJSC «Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works» is shown.

#### Keywords

Pulverized coal, agglomerate, FeO content in the agglomerate, briquettes, blast furnace, regression analysis.

Поступила 23.03.17