

Изобретение относится к области черной металлургии, в частности, к регулированию теплового состояния доменного процесса.

Известен способ регулирования рудной нагрузки на кокс в зависимости от изменения содержания железа и шихте и влажности кокса [1]. При изменении содержания железа в шихте более чем на 0,4% или влажности кокса более чем на 0,3 абс. % от заданных, изменяют рудную нагрузку на 0,012-0,016 от ее значений перед изменением параметров, причем при увеличении параметров рудную нагрузку уменьшают, а при уменьшении - увеличивают.

Недостатком данного способа является то, что он не позволяет стабилизировать весовое отношение железо/углерод в загружаемых шихтовых материалах и коксе, т.к. не учитываются изменения содержания серы и углерода в коксе, влажности рудной части шихты. Вследствие этого не всегда достигается стабилизация теплового состояния печи и качества чугуна.

Наиболее близким к заявляемому по технической сущности и достигаемому результату является способ [2], в соответствии с которым процесс регулирования включает загрузку в печь шихтовых материалов и кокса, контроль состава, количества шихтовых материалов и кокса, определение фактического количества железа и углерода, поступающих в печь, контроль параметров колошниковога газа, комбинированного дутья и топливной добавки.

При использовании в доменной плавке топливных добавок данный способ не позволяет с достаточной степенью точности производить стабилизацию теплового состояния и качества чугуна. Это связано с тем, что коэффициент замены кокса топливной добавкой в ходе процесса может изменяться во времени в довольно широких пределах. Например, для природного газа он колеблется от 0,65 до 1,0 кг кокса на 1 м<sup>3</sup> газа. При расходе природного газа на доменной печи объемом 1754 м<sup>3</sup> в количестве 12000 м<sup>3</sup>/час это вызывает изменение количества замененного кокса от 12000 · 0,65 = 7800 кг/час до 12000 · 1 = 12000 кг/час, т.е. разница составляет 4200 кг/час. Учитывая, что в печь загружают в среднем 10 подач шихтовых материалов и кокса, эта разница соответствует изменению массы кокса в подаче на 400 кг. Если ее не скомпенсировать изменением рудной нагрузки на кокс, то существенно изменится тепловое состояние процесса, качество чугуна и удельный расход кокса.

Таким образом, недостатком способа-прототипа является то, что он не учитывает изменения количества замененного кокса топливной добавкой, которое приводит к изменению теплового состояния процесса и качества чугуна.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствовать способ регулирования хода доменной плавки так, чтобы при определении количества углерода, поступающего в печь, дополнительно определяли и учитывали массу условного углерода, замененного топливной добавкой, и затем определяли фактическое соотношение железо/углерод, которое поддерживали бы на заданном уровне, что привело бы к улучшению качества чугуна и снижению удельного расхода кокса.

Это достигается тем, что в способе регулирования хода доменной плавки при определении количества углерода, поступающего в печь, дополнительно определяют массу углерода, замененного топливной добавкой, и при этом с периодичностью по меньшей мере 1 раз в час контролируют химсостав колошниковога газа, расходы топливной добавки, технологического кислорода и дутья, влажность дутья и затем определяют фактическое соотношение железо/углерод и сравнивают его с заданным, и, если разница между ними превышает [0,005] - [0,015], производят корректировку массы кокса в подаче, изменение которой определяют из следующего соотношения

$$\Delta K = \frac{\sum Fe}{Z \cdot C_k} - \frac{m_c}{C_k} - m_k, \text{ кг/под (1)}$$

где  $\Delta K$  - величина изменения массы кокса в подаче, кг;

$\sum Fe$  - количество Fe в шихтовых материалах, кг/подачу;

Z - заданное соотношение  $\sum Fe / \sum C$ ;

$\sum C$  - количество углерода, поступающего в печь с коксом и замененного топливной добавкой, кг/подачу;

$C_k$  - количество углерода в коксе с коррекцией по влаге, кг/подачу;

$m_c$  - количество углерода, замещенного топливной добавкой, кг/подачу;

$m_k$  - количество кокса в подаче, которое загружается в печь в данный момент, кг/подачу.

При использовании в качестве топливной добавки восстановительного газа расчет количества углерода, замененного топливной добавкой, осуществляют по формуле

$$m_c = \frac{q_r + 12648 \cdot \gamma \cdot \eta_{CO} + 10802 \mu \cdot \eta_{H_2}}{1,8667 (5250 + 12648 \cdot \eta_{CO}) \cdot n} V_q, \text{ кг/под (2)}$$

где  $q_r$  - приход тепла от горения природного (или другого восстановительного) газа в горне, кДж/м<sup>3</sup>;

$\mu, \gamma$  - количество водорода и окиси углерода, образующихся в горне печи из 1 м<sup>3</sup> природного (или другого восстановительного) газа, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$V_q$  - количество топливной добавки, м<sup>3</sup>/час;

$\eta_{CO}, \eta_{H_2}$  - степень использования окиси углерода и водорода, доли единиц

5250 - количество теплоты при образовании CO, кДж/м<sup>3</sup>;

10802, 12648 - количество теплоты при образовании H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> из CO, кДж/м<sup>3</sup>,

1,8667 - количество образуемой окиси углерода из 1 кг углерода, м<sup>3</sup>/кгC;

n - количество подач в час.

При использовании в качестве топливной добавки твердого или жидкого топлива расчет количества углерода, замененного топливной добавкой, осуществляется по формуле

$$m_c = \frac{[q_r(\text{ж}) + 23605 \cdot C^P \cdot \eta_{CO} + 121000 \cdot H^P \cdot \eta_{H_2} + 13400 \cdot W^P \cdot \eta_{H_2O}] V_q}{1,8667 (5250 + 12648 \cdot \eta_{CO}) \cdot n}, \text{ кг/под (3)}$$

где  $C^P$ ,  $H^P$ ,  $W^P$  - содержание в твердом или жидком топливе соответственно углерода, водорода и влаги, кг/кг;

23605 - тепловой эффект образования CO<sub>2</sub> из CO, кДж/кг углерода;

121000 - тепловой эффект образования H<sub>2</sub>O, кДж/кг водорода;

13400 - тепловой эффект образования H<sub>2</sub>O, кДж/кг влаги;

$q_r(\text{ж})$  - приход тепла от горения твердого или жидкого топлива в горне доменной печи, кДж/кг.

Выражение 1 позволяет рассчитать количество кокса, которое необходимо добавить (или снять) в подачу, чтобы выдерживалось заданное соотношение  $\Sigma Fe / \Sigma C$ , которое предполагает нормальное тепловое состояние печи.

При этом  $\Sigma Fe / (Z \cdot C_k)$  представляет собой количество кокса в подачу, которое необходимо загрузить в печь, чтобы выдержать соотношение Z, в том случае, если бы топливная добавка не подавалась в печь.

$m_c / C_k$  - количество кокса, которое заменяется топливной добавкой.

Разность  $\Sigma Fe / (Z \cdot C_k) - m_c / C_k$  дает величину массы кокса в подачу с учетом изменений химсостава железорудного сырья ( $\Sigma Fe$ ), содержания углерода в коксе ( $C_k$ ), расхода топливной добавки и степени ее использования.

Сравнивая существующий расход кокса  $m_k$  с тем, который мы получили по расчету, определяем величину корректировки массы кокса.

В выражении 2 числитель  $X = q_r + 12648 \cdot \gamma \cdot \eta_{CO} + 10802 \cdot \mu \cdot \eta_{H_2}$  - это приход тепла от горения в доменной печи 1 м<sup>3</sup> восстановительного газа в кДж/м<sup>3</sup>, выражение в знаменателе формулы (2)

$Y = 1,8667(5250 + 12648 \cdot \eta_{CO})$  - это приход тепла от горения 1 кг углерода кокса в доменной печи в кДж/кг, отношение X/Y отражает коэффициент замены углерода кокса восстановительным газом (кДж/кг<sup>3</sup>)/(кДж/кг) =

кг/м<sup>3</sup>. Выражение  $\frac{X}{Y} V_q$  отражает количество замененного углерода кокса топливной добавкой за час, т.к.  $V_q$

измеряется в м<sup>3</sup>/час (кг/м<sup>3</sup> · м<sup>3</sup>/час = кг/час). Выражение  $\frac{X}{Y} \cdot \frac{V_q}{n}$  отражает количество замененного углерода кокса топливной добавкой в расчете на одну подачу шихты, т.к.

n - количество подач за час.

В итоге формула 2 отражает количество замененного восстановительным газом углерода кокса, кг/подачу.

В формуле 3 числитель отражает приход тепла от горения в доменной печи 1 кг жидкого или твердого топлива. Остальные величины аналогичные формуле 2. В итоге формула 3 отражает количество замененного углерода мазутом или твердым топливом в кг/подачу.

Отличительной особенностью предлагаемого способа является то, что  $C_{ш}$  в прототипе представляет собой количество углерода, поступающего в доменную печь с шихтой и определяется из выражения

$$C_{ш} = C_k \cdot m_k \quad (4)$$

где  $m_k$  - масса кокса в подаче, кг.

$\Sigma C$  в новом способе состоит из углерода, поступающего в доменную печь с шихтой, и углерода, замененного топливной добавкой, и определяется из выражения

$$\Sigma C = C_{ш} + m_c \quad (5)$$

Основной отличительной особенностью предлагаемого способа является постоянный контроль, с определенной периодичностью, количества углерода, замененного топливной добавкой, и коррекция на основе этих данных количества кокса, загружаемого в доменную печь. При этом коррекция осуществляется таким образом, чтобы соотношение  $\Sigma Fe / \Sigma C$  поддерживалось на определенном уровне. То есть суть процесса регулирования рудной нагрузки сводится к увеличению или уменьшению массы кокса в подаче в зависимости от понижения или повышения, соответственно, эффективности использования топливной добавки.

Вполне естественно, что оценка эффективности топливной добавки требует постоянного контроля технологических параметров процесса и на основе этих данных сложных математических расчетов с использованием вычислительной техники.

Интервал соотношения  $\Sigma Fe / \Sigma C$  задается с учетом реальных условий, в которых протекает процесс доменной плавки. Нижний уровень 1,6 характерен для доменных печей, на которых используется сырье с низким содержанием Fe и уровень технологии не отвечает современным требованиям. Верхний предел 2,3 был рассчитан для условий функционирования отечественных и зарубежных доменных печей, имеющих наиболее

высокие технико-экономические показатели.

При реализации предлагаемого способа показатель К предварительно задается в зависимости от объема доменной печи и условий ее эксплуатации, его диапазон составляет [0,005] - [0,015]. При этом меньшее значение [0,005] приемлемо для доменных печей большого объема, большее значение [0,015] соответствует условиям работы доменных печей малого и среднего объема. На величину заданного значения К также оказывает влияние точность взвешивающих устройств, применяемых при дозировке загружаемого в доменную печь кокса. При использовании устройств с повышенной точностью пределы показателя К сокращаются и его численные значения уменьшаются, стремясь к минимальному значению указанного предела. Указанная величина пределов показателя К установлена расчетным путем.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

1. Контролируют количество и химсостав шихтовых материалов, кокса и определяют количество загружаемого в печь железа и углерода

$$\sum Fe = \sum_{i=1}^n Fe_i \cdot m_i$$

$$C_{\text{ш}} = C_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}}$$

где  $Fe_i$  - содержание железа в i-ом компоненте рудной части шихты с учетом содержания влаги, доли массы;

$C_{\text{к}}$  - содержание углерода в коксе с учетом содержания влаги, доли массы;

$m_i$  - масса i-го компонента шихты в подаче, кг;

$m_{\text{к}}$  - масса кокса в подаче, кг.

2. Контролируют расходы дутья, топливной добавки, технологического кислорода, содержание в окислительном газе  $CO$ ,  $CO_2$  и  $H_2$ , влажность дутья.

3. Определяют количество условного углерода, замененного топливной добавкой  $m_c$ . Если в качестве топливной добавки используют природный или другой восстановительный газ, то расчет производят по уравнению (2)

$$m_c = \frac{[q_r + 12648 \cdot \gamma \cdot \eta_{CO} + 10802 \mu \cdot \eta_{H_2}] V_q}{1,8667 (5250 + 12648 \cdot \eta_{CO}) \cdot n},$$

кг/под (2)

При этом приход тепла  $q$  от горения природного газа (или другого восстановительного газа) в горне доменной печи,  $\text{кДж/м}^3$ , определяется известным способом [3].

Например, для природного газа

$$q = 1658 CH_4 + 6050 C_2H_6 + 10115 C_3H_8 + 13796 C_4H_{10} + 18053 C_5H_{12} - 12648 CO_2 - 10802 H_2O; \text{кДж/м}^3$$

где  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  и т.д. - содержание соответствующих компонентов в природном газе. доли единицы объема;

1658, 6050 и т.д. - теплота сгорания (или разложения) в горне печи соответствующих компонентов природного газа,  $\text{кДж/м}^3$ .

Если в качестве топливной добавки используют твердое или жидкое топливо, то используют расчетное уравнение (3)

$$m_c = \frac{[q_r(\text{ж}) + 23605 \cdot C^P \cdot \eta_{CO} + 121000 \cdot H^P \cdot \eta_{H_2} + 13400 \cdot W^P \cdot \eta_{H_2}] V_q}{1,8667 (5250 + 12648 \cdot \eta_{CO}) \cdot n}, \text{ кг/подачу}$$

При этом  $q_r(\text{ж})$  определяется также в соответствии с расчетом [3].

$$q_r(\text{ж}) = Q_{\text{н}}^P - 121000 \cdot H^P - 12140 \cdot S^P - 13400 \cdot W^P - 23605 \cdot C^P, \text{ кДж/кг}$$

где  $Q_{\text{н}}^P$  - полная теплота сгорания жидкого или твердого топлива;

$S^P$  - содержание серы в жидком или твердом топливе, кг/кг.

4. Определяют суммарное количество условного углерода, состоящего из углерода кокса  $C_{\text{ш}}$  и условного углерода, замененного топливной добавкой  $m_c$

$$\sum C = C_{\text{ш}} + m_c, \text{ кг/под}$$

5. Для выплавки заданного качества чугуна устанавливают требуемое отношение количества железа в шихте к количеству условного углерода

$$Z = \frac{\sum Fe}{\sum C}, \text{ кг/кг}$$

6. Определяют фактическое соотношение  $\sum Fe / \sum C$  и сравнивают его с заданным, при этом устанавливают и учитывают зону нечувствительности

$$\Delta Z = Z - Z_{\phi}$$

если  $-K > \Delta Z > K$ , принимают решение о корректировке массы кокса.

7. Определяют массу коррекции кокса в подаче для стабилизации отношения  $Z$  из следующего выражения:

$$\Delta K = \frac{\sum Fe}{Z \cdot C_K} - \frac{m_c}{C_K} - m_K$$

8. Производят корректировку массы кокса в подаче, при этом если значение  $\Delta K$  положительное - увеличивают, а если отрицательное - уменьшают массу кокса в подаче на величину  $\Delta K$ .

Пример осуществления способа

В качестве исследуемого объекта принята доменная печь ДМК им. Дзержинского объемом  $1754 \text{ м}^3$ , на которой выплавляют передельный чугун. В качестве топливной добавки используется природный газ с параметрами  $\gamma = 1,077 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ ,  $\mu = 2,06 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ .

Исходные данные:

$Fe_i = 51\%$

$C_K = 0,85$

$V_{\text{пр}} = 10000 \text{ м}^3/\text{час}$

$m_i = 24000 \text{ кг/под}$

$m_K = 7100 \text{ кг/под}$

$q_r = 1958 \text{ кДж/м}^3$

$n = 10$

Для данных условий исследуемого объекта задают соотношение железо/углерод -  $Z = 1,8 \text{ кг/кг}$ .

1. Вычисляют значения  $\sum Fe$  и  $C_{\text{ш}}$

$$\sum Fe = 24000 \cdot 0,51 = 12240 \text{ кг/под}$$

$$C_{\text{ш}} = 7100 \cdot 0,85 = 6035 \text{ кг/под.}$$

2. Производят анализ колошникового газа, контролируют расход дутья, кислорода, влажность дутья и определяют степень использования  $\text{CO}(\eta_{\text{CO}})$  и  $\text{H}_2(\eta_{\text{H}_2})$ , которые соответственно составляют  $\eta_{\text{CO}} = 0,4$ ;  $\eta_{\text{H}_2} = 0,4$ .

3. По формуле 2 вычисляют количество углерода, замененного топливной добавкой (природным газом)

$m_c = 848 \text{ кг/подачу}$

4. Определяют

$$\sum C = 6035 + 845 = 6883 \text{ кг}$$

5. Определяют фактическое  $Z$  и задают  $K = \pm 0,015$

$$Z = \frac{12240}{6883} = 1,770$$

6. Сравнивают фактическое и заданное значение  $Z$  с учетом  $K$   $\Delta Z = 0,022$ ,  $\Delta Z > 0,015$ , принимают решение о корректировке массы кокса в подачу.

7. Определяют массу коррекции кокса в подаче, необходимую для поддержания заданного  $Z$

$$\Delta K = \frac{12240}{1,8 \cdot 0,85} - \frac{848}{0,85} - 7100 = -98 \text{ кг/под}$$

8. Производят корректировку расхода кокса, в данном случае снимают  $100 \text{ кг}$  кокса в подачу.

Через  $1 \text{ ч}$  после произведенной корректировки производят выполнение всех операций вновь. В результате, при неизменности всех остальных параметров установлено, что  $\eta_{\text{H}_2}$  составляет  $0,3$ .

Вычисляют количество углерода, замененного природным газом при  $\eta_{\text{H}_2} = 0,3$ .

$m_c = 732 \text{ кг/под}$

Сравнивают фактическое и заданное значение  $Z$ .

$\Delta Z = -0,0318$ ,

$\Delta Z < -0,015$  и находится вне пределов показателя  $K$ . Производим корректировку массы кокса в подаче.

Для новых условий изменение расхода кокса в подачу составляет:

$$\Delta K = \frac{12240}{1,8 \cdot 0,85} - \frac{732}{0,85} - 7000 \approx 139 \text{ кг/под}$$

Производим корректировку расхода кокса - в данном случае с учетом округления добавляем в подачу 100 кг кокса.

Пример 2. В качестве исследуемого объекта принята доменная печь объемом 1386 м<sup>3</sup>, на которой выплавляют передельный чугун. В качестве топливной добавки используется пылеугольное топливо со следующими параметрами, (%)

$W^P - 0,38$ ;  $A^P - 11,0$ ;  $S_{\text{общ}}^P - 1,71$ ;  $C^P - 76,49$ ;  $H^P - 0,46$ ;  $Q_{H^P} - 25121,0$  кДж/кг.

Исходные данные:

$Fe_i - 51\%$

$C_K - 0,85$

$G_M = 2000$  кг/час

$m_i - 24000$  кг/под

$m_K - 7100$  кг/под

$q_{\text{ТВ}} - 25121$  кДж/кг

$n = 10$ .

Для данных условий объекта задают соотношение железо/углерод -  $Z = 1,9$  кг/кг.

1. Вычисляют значения  $\Sigma Fe$  и  $C_{\text{ш}}$

$$\Sigma Fe = 24000 \cdot 0,51 = 12240 \text{ кг/под}$$

$$C_{\text{ш}} = 7100 \cdot 0,85 = 6035 \text{ кг/под}$$

2. Производят анализ колошникового газа, контролируют расходы дутья, кислорода, влажность дутья и определяют степень использования  $CO(\eta_{CO})$  и  $H_2(\eta_{H_2})$ , которые соответственно составляют  $\eta_{CO} = 0,42$ ;  $\eta_{H_2} = 0,4$ .

3. По формуле 3 вычисляют количество углерода, замененного топливной добавкой (пылеугольным топливом)

$m_c = 334$  кг/под

4. Определяют  $\Sigma C$

$$\Sigma C = 6035 + 334 = 6369 \text{ кг/под}$$

5. Показатель  $K$  для печи данного объема составляет 0,015.

6. Определяем фактическое значение

$$Z_{\phi} = \frac{12240}{6369} = 1,922$$

7. Сравниваем фактическое и заданное значение  $Z$ , при этом учитываем  $K$

$$I \Delta Z I = 0,022 \quad \Delta Z > 0,015,$$

таким образом соотношение  $Z$  (железо/углерод) в настоящее время выше заданного и находится вне пределов показателя  $K$ .

8. Производим корректировку массы кокса в подаче

$$\Delta K = \frac{12240}{1,9 \cdot 0,85} - \frac{334}{0,85} - 7100 = 86 \text{ кг/под}$$

С учетом округления повышаем расход кокса на 100 кг/под.

Через некоторое время установлено, что содержание железа ( $Fe_i$ ) в шихте повысилось до 53%, кроме этого увеличили расход пылеугольного топлива до 2500 кг/час.

Производим стабилизацию рудной нагрузки при новых условиях доменной плавки.

$$\Sigma Fe = 24000 \cdot 0,53 = 12720 \text{ кг/под}$$

$$C_{\text{ш}} = 7200 \cdot 0,85 = 6120 \text{ кг/под}$$

$m_c = 417$  кг/под

$$\Sigma C = 6120 + 417 = 6537 \text{ кг/под}$$

$$Z_{\phi} = \frac{12720}{6537} = 1,946$$

$$I \Delta Z I = 0,046; \quad \Delta Z > 0,015$$

таким образом, необходимо произвести корректировку расхода кокса

$$\Delta K = \frac{12720}{1,9 \cdot 0,85} - \frac{417}{0,85} - 7200 = 185 \text{ кг/под}$$

С учетом округления увеличиваем расход кокса на 200 кг/под.

Пример 3.

В качестве исследуемого объекта принята доменная печь ДМ К им. Дзержинского объемом 1386 м<sup>3</sup>, на которой выплавляют передельный чугун. В качестве топливной добавки используется мазут с параметрами (в %):

C<sup>P</sup> - 86,0; H<sup>P</sup> - 1,28; S<sup>P</sup> - 1,00; A<sup>P</sup> - 0,2;

Q<sup>P</sup> - 40612,0 кДж/кг; W<sup>P</sup> - 5,0

Исходные данные:

Fe<sub>i</sub> - 51%

C<sub>к</sub> = 0,85

G<sub>м</sub> = 3000 кг/час

m<sub>i</sub> = 24000 кг/под

m<sub>к</sub> = 7100 кг/под

q<sub>ж</sub> = 40612 кДж/кг

n = 10

Для данных условий исследуемого объекта задают соотношение железо/углерод - Z = 1,8 кг/кг.

1. Вычисляют значения  $\Sigma Fe$  и C<sub>ш</sub>

$$\Sigma Fe = 24000 \cdot 0,51 = 12240 \text{ кг/под}$$

$$C_{ш} = 7100 \cdot 0,85 \approx 6035 \text{ кг/под}$$

2. Производят анализ колошникового газа, контролируют расход дутья, кислорода, влажность дутья и определяют степень использования CO (η<sub>CO</sub>) и H<sub>2</sub> (η<sub>H<sub>2</sub></sub>), которые соответственно составляют η<sub>CO</sub> = 0,4; η<sub>H<sub>2</sub></sub> = 0,35.

3. По формуле 3 вычисляют количество углерода, замененного топливной добавкой (мазутом).

m<sub>с</sub> = 722 кг/под

4. Определяют количество углерода, поступающего в печь с коксом и замененного топливной добавкой

$$\Sigma C \approx 6035 + 772 = 6807$$

Показатель K для печи данного объема составляет 0,015.

5. Определяем фактическое значение соотношения железо/углерод (Z<sub>ф</sub>)

$$Z_{ф} = \frac{12240}{6807} = 1,798$$

6. Сравниваем фактическое и заданное значение Z и при этом учитываем K.

$$|\Delta Z| = 0,002 \quad \Delta Z < 0,015,$$

таким образом, соотношение Z в настоящее время находится в заданных пределах.

Через некоторое время было установлено, что содержание железа в шихте возросло до 52%, кроме этого отмечено снижение содержания углерода в коксе до 0,82. Увеличен расход мазута до 4000 кг/час. Остальные параметры остались без изменения.

Согласно приведенному ранее расчету (в той же последовательности), определяем величину корректировки расхода кокса.

$$\Sigma Fe = 24000 \cdot 0,52 = 12480$$

$$C_{ш} = 7100 \cdot 0,82 = 5822$$

$$m_c = 963 \text{ кг/под}$$

$$\Sigma C = 5822 + 963 = 6785$$

$$Z_{\phi} = \frac{12480}{6785} = 1,839$$

$$| \Delta Z | = 0,039; \Delta Z > 0,015$$

$$\Delta K = \frac{12480}{1,8 \cdot 0,82} - \frac{963}{0,82} - 7100 = 181$$

Для нормального режима работы печи (для обеспечения заданного соотношения  $Z = 1,8 \text{ кг/кг}$ ) необходимо добавить с учетом округления 200 кг кокса в подачу.

Таким образом, приведенные примеры свидетельствуют, что при управлении доменным процессом учет углерода, замененного топливной добавкой, и постоянный контроль степени использования восстановительных газов дает возможность своевременно и оперативно и на более высоком уровне производить регулирование рудной нагрузки. Это способствует снижению уровня колебания температуры чугуна, содержания в нем кремния, серы и экономии кокса.