

2. Регулирование распределения материалов и газов в доменной печи объемом 2700 м³ / Н.А. Потаничев, В.А. Костров, А.П. Котов, В.Д. Кайлов // *Металлург.* – 1972. – №10. – С. 14–17.
3. Выбор оптимального режима загрузки доменной печи объемом 2000 м³ / А.И. Мазун, М.А. Цейтлин // *Сталь.* – 1968. – №10. – С. 886.
4. Работа доменной печи на увеличенной подаче / А.К. Тараканов, В.В. Бочка, С.З. Немченко и др. // *Металлург.* – 1979. – №7. – С. 21–23.
5. Опыт загрузки доменных печей засыпным аппаратом с лепестковым распределителем шихты / Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, В.И. Ильченко и др. // *Сталь.* – 2009. – №6. – С. 11–16.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.14

УДК 669.162.16

В.П. ЛЯЛЮК, д-р техн. наук, проф., Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель,
И.А. ЛЯХОВА, Д.А. КАССИМ, кандидаты техн. наук, доц.
МетИ Криворожский национальный университет
А.К. ТАРАКАНОВ, д-р техн. наук, проф., НМетА Украины
П.И. ОТОРВИН, канд. техн. наук, ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог”

О ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМ СОСТАВЕ КОКСА ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

На основании анализа изменения гранулометрического состава кокса на примере Криворожского коксохимического завода (в настоящее время КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог”) установлено, что за последнее время увеличился выход классов >80 мм, <25 мм и 80-60 мм, снизилось качество кокса по показателям прочности M₂₅ и истираемости M₁₀. Показана необходимость стабилизации кокса путем его механической обработки.

Проблема и ее связь с практическими задачами. В настоящее время основными показателями, наиболее полно характеризующими совокупность свойств кокса для доменной плавки, являются: зольность, сернистость, летучие, рабочая влажность, холодная прочность (M₁₀ и M₂₅ или M₄₀), реакционная способность (CRI) и послереакционная прочность (CSR), а также массовая доля кусков кокса размеров более 80 мм и менее 25 мм. Все эти показатели качества кокса оказывают существенное влияние на ход доменной плавки, расход кокса и производительность доменной печи [1,2].

Гранулометрический состав кокса также представляет собой одну из существенных характеристик его качества. Однако в отношении оптимальной крупности доменного кокса нет однозначного мнения и вопрос об оптимальном грансоставе для доменной плавки остается актуальным.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее важными показателями гранулометрического состава кокса являются выход металлургического кокса (крупность кусков >25 мм) с повышенным содержанием самого ценного класса 40-60 мм и пониженной долей самого крупного и наименее прочного класса (≥80 мм) [3].

В верхней части доменной печи кокс должен обеспечить необходимую газопроницаемость столба шихтовых материалов при условии наиболее полного использования тепловой и восстановительной энергии газового потока. Газопроницаемость шихты в печи зависит не только от режима загрузки и степени смешивания кокса с рудными материалами, но и от ситового состава скипового кокса после восприятия им динамических ударов при загрузке материалов в печь и истирания по мере опускания в ней. При увеличении рудной нагрузки воздействие материалов на кокс усиливается. В средней и нижней частях шахты печи и в распаре кокс испытывает усилия на раздавливание при высоких температурах, а также подвергается агрессивному воздействию CO₂, что увеличивает истираемость его после предварительного “разрыхления” поверхности куска кокса действием CO₂ [4].

В работе [5] авторы отмечают, что наиболее прочны и стабильны по крупности классы кокса 60-40, 40-25 и 25-15 мм. Наилучшей газопроницаемостью обладают классы 60-40 и 40-25 мм, причем последний класс сохраняет после разрушения более высокую газопроницаемость, чем обычный кокс. Авторы этой работы рекомендуют применять в доменной плавке кокс одного какого-либо класса высокой прочности (40-25, 60-40 или 70-40 мм) или кокс двух соседних по крупности классов, загружаемых в печь отдельными скипами [5].

Проведенная в свое время ДонНИИчерметом и УХИНОм работа показала, что наибольшее количество мелочи (<10 мм) дает кокс классов >80 мм и 80-60 мм. Этот кокс обладает большой склонностью к изменению своего ситового состава. Степень дробимости для коксов классов >80

мм и 80-60 мм составила соответственно 1,48 и 1,17 по сравнению с 1,05 для кокса класса 60-40 мм. Крупный кокс нежелательно загружать в доменную печь, потому что он менее прочный и более трещиноватый, при опускании от колошника в горн образует много мелочи. Основная масса кокса должна быть представлена классом 60-30 мм [6].

Одним из требований к качеству кокса для больших доменных печей, по мнению З.И. Некрасова [7], является высокая равномерность и однородность его ситового состава. Чем однороднее по кусковатости кокс, тем равномернее он сгорает у фурм, более плавно опускается в окислительную зону без подвисания и подтоев.

В работе [8] приведена формула, предложенная П.А. Щукиным, для определения равномерности гранулометрического состава кокса

$$K = (40-80)/[(+80) + (25-40)], \quad (1)$$

где (40-80), (+80) и (25-40) - содержание классов соответствующей крупности, %.

Чем больше коэффициент K , тем выше газопроницаемость кусков кокса и равномерность гранулометрического состава.

Нижний предел крупности кокса на большинстве заводов бывшего СССР принимался 25 или 40 мм (последний для крупных доменных печей). В отдельных случаях применяли узкие классы крупности кокса 40-60, 40-80 и 25-60 мм, а для небольших доменных печей – класс крупности 25-40 мм. Во всех случаях увеличение равномерности гранулометрического состава благоприятно сказывалось на показателях доменной плавки [9].

Так, на Криворожском металлургическом заводе провели опытные плавки на сортированном коксе, в том числе и на фракции 25-40 мм. Этот кокс, считавшийся мелким и малопригодным для доменной плавки, был признан наиболее надежным, так как куски почти не имели трещин и были наиболее прочными. Производительность печи на сортированном коксе класса 25-40 мм выросла на 10 %, и настолько же снизился расход кокса [10].

В разное время в ряде стран на печах различного объема (от 257 до 2014 м³) также были проведены доменные плавки на сортированном коксе для выявления эффективности его раздельного использования [5]. Установлено, что работа на коксе класса >60 мм отрицательно сказывается на технико-экономических показателях доменных печей, использование наиболее прочных классов (60-40, 50-30, 40-25 мм) повышает эффективность доменной плавки. Применение мелкого сортированного кокса практически не оказывает влияния на газодинамический режим доменной плавки, стабилизирует тепловое состояние фурменной зоны. Положительный эффект оказывается тем больше, чем лучше ситовый состав железорудного сырья подобран к ситовому составу используемого кокса.

На заводе “Азовсталь” при работе доменной печи на коксе класса 60-40 мм производительность печи увеличилась на 3,5 %, а удельный расход кокса снизился на 1,8 %, а при работе на коксе класса >60 мм производительность уменьшилась на 1,0-2,6 % и удельный расход кокса увеличился на 0,5 % [6].

На доменных печах Магнитогорского металлургического комбината также провели опытные плавки на коксе двух классов >60 и 60-40 мм [11]. При работе печи на коксе класса 60-40 мм производительность печи повысилась на 5,0 %, а удельный расход кокса снизился на 2,1 %. Работа печи на коксе класса >60 мм дала следующий результат: производительность повысилась на 0,3 % при снижении удельного расхода кокса на 0,36 %. Авторы работы [11] предлагают размещать коксоразборки непосредственно в доменном цехе перед подачей кокса в бункера доменных печей.

В настоящее время доменщики стран Европейского Союза ограничивают содержание подрешетного продукта в скиповом коксе: содержание класса <40 мм не более 15-25 %, а выход класса <20 мм не должен превышать 3 %. На заводе в Рекарде фирмы “Cogus” (Великобритания) 3 % ограничивается содержание в скиповом коксе класса <30 мм. Это наиболее жесткие требования к крупности кокса. Фирма “Rautaruukki” (Финляндия) придает приоритетное значение содержанию класса 80-40 мм в скиповом коксе. Поддержание выхода этого класса на уровне 60-68 % наиболее благоприятно для условий в горне печи и производительности печи. В то же время увеличение выхода класса >80 мм отрицательно сказывается на производительности печей, поэтому строгое ограничение содержания этого класса считают одним из предварительных условий высокопроизводительной работы доменных печей. В Германии выход класса >80 мм ограничивается на максимальном уровне 10 %, а выход класса >100 мм должен быть равен

нулю. Общей практикой для стран ЕС является также использование в доменной шихте мелко-го кокса класса 10-35 мм в количестве до 100 кг/т чугуна. Коксовый орешек, имеющий большую реакционную способность, смешивают с железорудной шихтой и загружают в периферийную часть доменной печи. Крупный кокс, отличающийся более низкой реактивной способностью, загружают в центральную часть печи для гарантированного поддержания газопроницаемости до уровня фурменной зоны горна [12].

Многие специалисты России и Украины считают, что в современных условиях целесообразно использовать в доменных печах кокс крупностью 30-60 мм. Основным требованием к гранулометрическому составу кокса является уровень содержания в нем класса 40-60 мм, совокупность металлургических свойств которого в наибольшей степени отвечает требованиям доменной плавки.

В то же время нет достаточных оснований для отказа от применения в доменной плавке кокса крупностью 60-80 мм и от сортировки товарного кокса крупностью 25-80 мм на узкие классы 25-40 и 40-80 мм или другие с отдельной подачей их в доменные печи [9].

Постановка задачи. В связи с рассмотренными требованиями доменной плавки к качеству кокса, учитывая характеристику отдельных классов его крупности, актуальным является анализ изменения грансостава кокса Криворожского коксохимического завода (ККХЗ) поступавшего в доменные цеха “Криворожстали” и грансостава кокса коксохимического производства (КХП) ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) поступающего в настоящее время в те же цеха, и возможности его стабилизации.

Изложение результатов исследований. В период 1980-1988 гг. в условиях Криворожского коксохимического завода качество кокса характеризовалось следующим гранулометрическим составом: выход класса >80 мм находился в пределах от 4,0 до 8,45 %, класса 80-60 мм - от 24,81 до 28,7 %, класса 60-40 мм, составляющий основу доменного кокса и отличающийся равномерностью свойств, мелкопористой плотной структурой, сравнительно низкой трещиноватостью и малой склонностью к истиранию - от 45,8 до 49,84 %, класса 40-25 мм – от 13,73 до 16,6 %, класса 0-25 мм - от 2,3 до 3,18 %.

При этом холодная прочность кокса по показателю M_{25} находилась на уровне 87,9-88,88 %, истираемость по показателю M_{10} – 6,3-6,54 %.

Помимо кокса ККХЗ в девять доменных печей “Криворожстали” в то время загружался также кокс Баглейского и Авдеевского коксохимических заводов, который характеризовался содержанием фракции >80 мм от 8,7 до 14,5 % и от 1,57 до 6,1 %, соответственно.

В отдельные периоды количество фракции >80 мм в коксе, поступающем в приемные бункера доменных печей, было достаточно велико и доходило до 16 %.

Учитывая то, что фракция кокса >80 мм характеризуется пониженной прочностью, разрушается в печи, увеличивая содержание мелочи и особенно в условиях работы доменной печи №9 объемом 5000 м³, Криворожским металлургическим факультетом (КМФ) ДМетИ под руководством Р.Д. Каменева были проведены исследования влияния данной фракции на показатели плавки, и в 1982-1983 гг. была внедрена технология доменной плавки с отсевом класса >80 мм, осуществляемая на участке шихтоподачи печи при помощи 4 модернизированных коксовых грохотов.

При уменьшении содержания класса >80 мм в скиповом коксе ход и результаты доменной плавки изменились: уменьшилось загромождение горна доменной печи коксовой мелочью; улучшился теплообмен и распределение материалов в верхней зоне печи, газопроницаемость столба шихтовых материалов и дренаж жидких продуктов плавки, повысилась производительность печи и снизился удельный расход кокса.

Так, в результате отсева 2,5 % фракции кокса >80 мм повысилась производительность доменной печи №9 на 75 т/сутки, а удельный расход кокса снизился на 2,8 кг/т чугуна.

На “Криворожстали” совместно с КМФ ДМетИ был разработан и второй вариант решения проблемы по уменьшению содержания класса >80 мм в скиповом коксе – дробильно-сортировочный комплекс, который позволяет уменьшить содержание в металлургическом коксе фракции >80 мм до 1-2 % и превратить в металлургический кокс 78-80 % кусков кокса фракции >80 мм [13].

В период 2006-2012 гг. произошло перераспределение содержания классов крупности в валовом коксе КХП АМКР. Качество кокса КХП по показателям холодной прочности M_{25} и истираемости M_{10} заметно ухудшилось и не соответствует требованиям современной доменной плавки, согласно которых оно должно быть на уровне как минимум $M_{25} = 90$ %, $M_{10} = 6$ %.

Сравнивая изменение гранулометрического состава кокса в предыдущие годы и в настоящее время следует обратить внимание, прежде всего, на увеличение выхода классов >80 мм, <25 мм и 80-60 мм (рис. 1-3), что отразилось, соответственно, на снижении выхода наиболее ценных классов 60-40 мм и 40-25 мм (рис. 4,5).

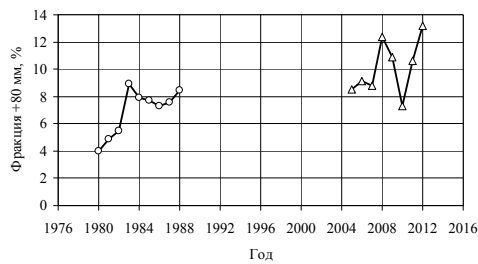


Рис. 1. Изменение содержание класса >80 мм за 1980-1988 гг. и 2005-2012 гг.

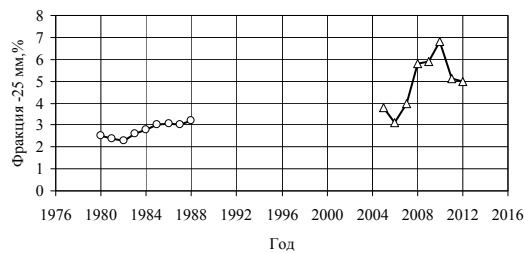


Рис. 2. Изменение содержание класса <25 мм за 1980-1988 гг. и 2005-2012 гг.

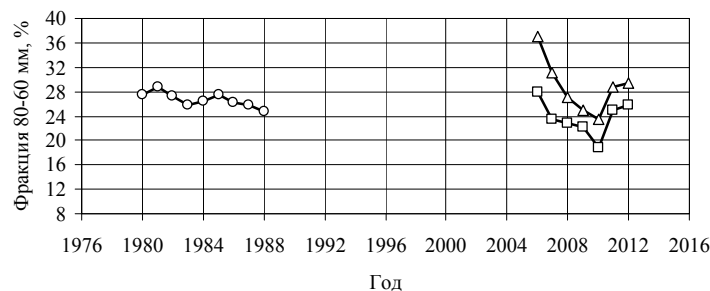


Рис. 3. Изменение содержания класса 80-60 мм кокса: —○— 1980-1988 гг. кокс ККХЗ, —△— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №1-4, —□— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №5-6

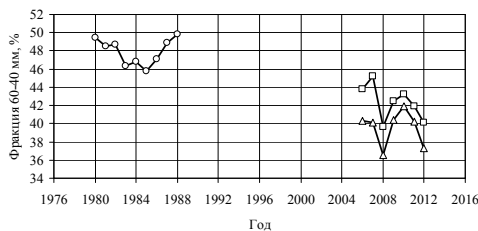


Рис. 4. Изменение содержания класса 60-40 мм кокса: —○— 1980-1988 гг. кокс ККХЗ, —△— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №1-4, —□— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №5-6

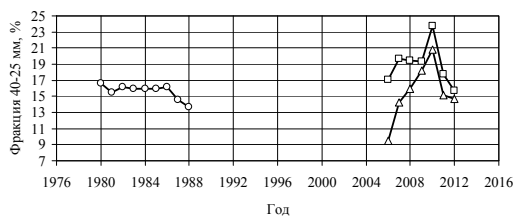


Рис. 5. Изменение содержания класса 40-25 мм кокса: —○— 1980-1988 гг. кокс ККХЗ, —△— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №1-4, —□— 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №5-6

Сравнивая качество кокса в предыдущие годы и в настоящее время, следует обратить внимание и на ухудшение качества кокса по показателям прочности M_{25} и истираемости M_{10} (рис. 6,7).

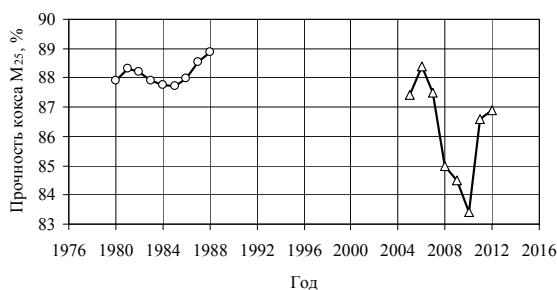


Рис. 6. Изменение прочности кокса M_{25} за 1980-1988 гг. и 2005-2012 гг.

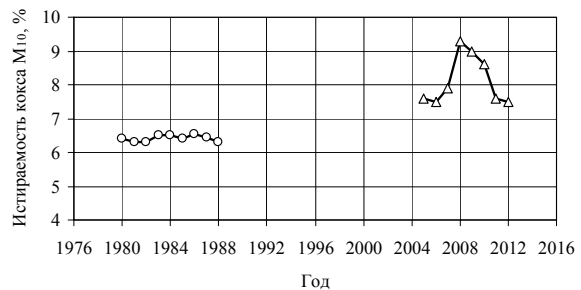


Рис. 7. Изменение прочности кокса M_{10} за 1980-1988 гг. и 2005-2012 гг.

Коэффициент равномерности гранулометрического состава [8] снизился для коксовых батарей 1-4 до 3,84-2,04, для коксовых батарей 5-6 до 3,04-2,14 по сравнению с периодом 1980-1986 гг., когда коэффициент находился в пределах от 3,79 до 2,91 (рис. 8).

Это свидетельствует об уменьшении равномерности распределения кокса по крупности и ухудшении газопроницаемости слоев кокса в печи.

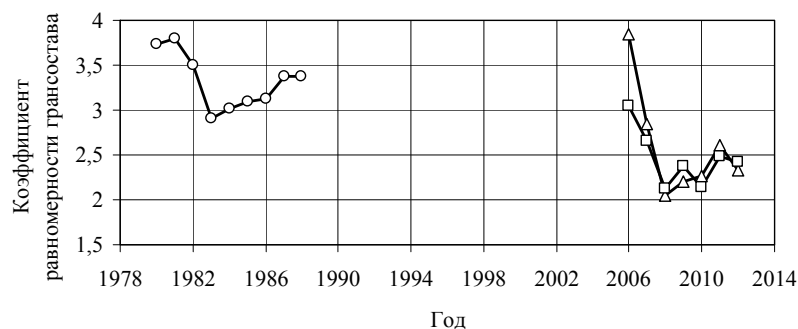


Рис. 8. Изменение коэффициента равномерности гранулометрического состава кокса:
 –○– 1980-1988 гг. кокс ККХЗ, –△– 2006-2012 гг. кокс КХП
 АМКР батареи №1-4, –□– 2006-2012 гг. кокс КХП АМКР батареи №5-6

Ухудшение газопроницаемости слоев кокса в доменных печах №7 объемом 2000 м³, №8 объемом 2700 м³ и №9 объемом 5000 м³ ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” в настоящее время можно проиллюстрировать изменением интенсивности горения кокса и изменением интенсивности по дутью, которые приведены (рис. 9,10).

Нельзя утверждать, что снижение интенсивности доменной плавки на печах ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” в настоящее время в полной мере обусловлено ухудшением качества кокса, но данный фактор, несомненно, оказывает существенное влияние.

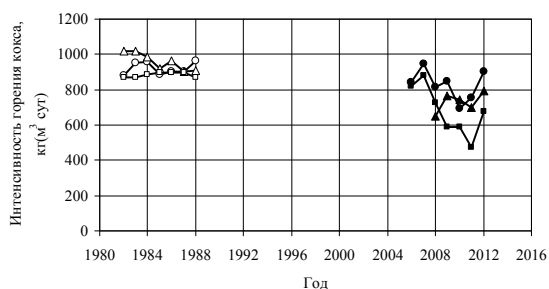


Рис. 9. Изменение интенсивности горения кокса: –○– ДП №7 объемом 2000 м³, –△– ДП №8 объемом 2700 м³, –□– ДП №9 объемом 5000 м³ все за период 1980-1988 гг., –●– ДП №7 объемом 2000 м³, –▲– ДП №8 объемом 2700 м³, –■– ДП №9 объемом 5000 м³ все за период 2006-2012 гг.

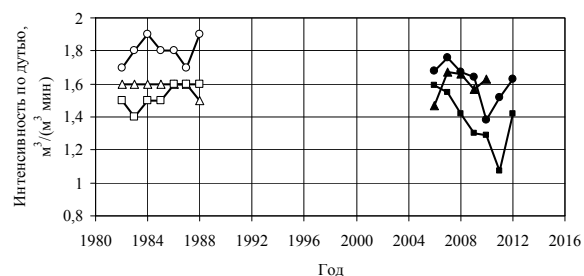


Рис. 10. Изменение интенсивности по дутью: –○– ДП №7 объемом 2000 м³, –△– ДП №8 объемом 2700 м³, –□– ДП №9 объемом 5000 м³ все за период 1980-1988 гг., –●– ДП №7 объемом 2000 м³, –▲– ДП №8 объемом 2700 м³, –■– ДП №9 объемом 5000 м³ все за период 2006-2012 гг.

Таким образом, высокое содержание фракции >80 мм, снижение качества по показателям прочности M₂₅ и истираемости M₁₀ на КХП ПАТ “АрселорМиттал Кривой Рог” в настоящее время обуславливают необходимость повышения уровня стабилизации кокса путем его механической обработки.

Выводы. Для классификации и применения управляемых механических воздействий, которые существенно влияют на грансостав и механическую прочность насыпной массы кокса, сохраняя постоянство главных характеристик его качества независимо от возможных колебаний свойств сырья и технологии коксования, оптимальным является использование агрегата получения заданных свойств кокса – АПЗСК [14].

Установление угла наклона агрегата в совокупности с частотой вращения, длиной барабана при заданной производительности, в соответствие со схемой коксортировки, обеспечивает требуемое число разрушающих воздействий, которые вместе с определенной интенсивностью позволяют изменить конкретную характеристику физико-механических свойств кокса до требуемого значения.

Таким образом, стабилизирование в процессе подготовки кокса не только улучшает качественные показатели кокса, но и обеспечивает дополнительно повышение постоянства его свойств [9].

Список литературы

1. **Курунов И.Ф.** Качество кокса и возможности снижения его расхода в доменной плавке // *Металлург.* – 2001. – № 11. – С. 39-46.
2. **Товаровский И.Г., Лялюк В.П.** Эволюция доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.
3. Формирование гранулометрического состава кокса. Его взаимосвязь с показателями механической прочности / **Е.В. Карунова, А.М. Гюльмалиев, С.С. Гагарин, И.А. Султангузин** // *Кокс и химия.* – 2006. – №2. – С. 23-31.
4. **Привалов В.Е., Скляр М.Г., Семисалов Л.П.** Основные направления в области улучшения качества доменного кокса // *Кокс и химия.* – 1969. – №3 – С. 12-18.
5. О ситовом составе кокса для доменной плавки / **Л.З. Ходак, Б.А. Гесс-Де-Кальве, Ю.И. Борисов и др.** // *Кокс и химия.* – 1974. – №7. – С. 20-24.
6. Требования к качеству кокса / **И.Д. Балон, Г.В. Журавлев, Н.И. Красавцев и др.** // *Кокс и химия.* – 1970. – №3. – С. 10-14.
7. **Некрасов З.И.** Требования к качеству кокса для мощных доменных печей // *Кокс и химия.* – 1976. – №2. – С. 8-10.
8. Методы определения качества кокса и их сравнительная оценка / **Е.Н. Степанов, Д.А. Мезин, О. В. Чуйкина, Л.В. Шебунова** // *Кокс и химия.* – 2011. – №12. – С. 24-26.
9. **Мучник Д.А., Бабанин В.И.** Возможности улучшения качества кокса после выдачи из печей. – Екатеринбург: ВУХИН, 2011. – 235 с.
10. **Гесс-Де-Кальве Б.А.** О подготовке кокса к доменной плавке // *Металлург.* – 1967. – №12. – С. 25-27.
11. Опытные доменные плавки на сортированном коксе / **В.Л. Кроль, Г.М. Дорогобид, И.Ф. Курганов и др.** // *Кокс и химия.* – 1968. – № 4. – С. 21-24.
12. Требования европейских доменщиков к качеству кокса / **Реф. Г.С. Ухмылова** // *Кокс и химия.* – 2001. – №4. – С. 24-26.
13. Повышение эффективности шихтовых материалов к плавке / **В.В. Севернюк, А.Д. Учитель, В.П. Лялюк, А.Я. Зусмановский** // *Сталь.* – 1998. – №4. – С.9-13.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.14

УДК 504.064.2: 622.271.4

В.І. ЄФІМЕНКО, д-р техн. наук, проф., В.В. ЄФІМЕНКО, асистент,
О.О. ЯГОДКІНА., студентка, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ВИРОБНИЦТВО НЕРУДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

На території нашого міста і прилеглих територіях знаходиться велика кількість відходів, пов'язаних з діяльністю гірничодобувних підприємств. Проблеми утилізації відходів є однією з найважливіших для нашого регіону.

Під час видобування й перероблення залізних руд, руд кольорових металів, хімічної сировини, нерудних матеріалів отримують побічні продукти двох типів: у вигляді розкритих та інших видобутих порожніх порід, при веденні гірських робіт та відходів гірничозбагачувальних комбінатів. Більшість з них пов'язана з видобутком і переробкою залізних руд. На залізрудних підприємствах країни обсяг порожніх порід досягає 400 млн т, у тому числі скельних порід більше 70%. Крім того, відходи після збагачення руди становлять понад 200 млн т [6].

Відвали відкритої і шахтної розробок корисних копалин, як правило, містять цінну сировиною для виробництва ряду будівельних матеріалів, оскільки містять різного виду глини, каміння і піщані матеріали, крейда та інші компоненти.

У даний час відходи розкриття і хвосты збагачення використовують незначною мірою. Проведені дослідження, виробничі випробування й досвід роботи ряду промислових вироб-