

12. Свойства элементов: Справочник. / Под ред. Самсонова Г.В. — М.: Металлургия, 1976. — 600 с.
13. Физико-химические свойства окислов. Справочник / Самсонов Г.В., Борисова А.Л., Жидкова Т.Г. и др. — М.: Металлургия, 1978. — 472 с.
14. Гудима Н.В., Шейн Я.П. Краткий справочник по металлургии цветных металлов. — М.: Металлургия, 1975. — 536 с.
15. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии. В 2-х т. Т.2. / В.Г. Барышников, А.М. Горелов, Г.И. Папков и др. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос: (Образование и использование): Справочник. — М.: Экономика, 1986. — 344 с.

© Троянский А.А., Ростовский В.И., Скрябин В.Г., Раджи О.И., 2004

ЯРОШЕВСКИЙ С.Л., НИКИШИН С.Ю. (ДОННТУ), ФЕЩЕНКО С.А. (ОАО «СВОБОДНЫЙ СОКОЛ», Г. ЛИПЕЦК), КУЗНЕЦОВ А.М. (ОАО «ЕМЗ», Г. ЕНАКИЕВО), КУЗИН А.В. (ДОННТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКА — ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ КОМПОНЕНТОВ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ДОМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Изучены возможности качественного повышения эффективности применения комбинированного дутья для доменных печей ОАО «Донецкий металлургический завод», ОАО «ЕМЗ», ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол». В качестве компенсирующих использованы мероприятия, как правило, освоенные в промышленном масштабе, по которым на предприятиях имеются значительные резервы. Во всех вариантах в качестве основного компенсирующего мероприятия использовано снижение основности шлака до уровня, оптимального по технологии.

Анализ работы современных мощных доменных печей, освоивших уровень расхода кокса 250–350 кг/т чугуна и производительность 2,3–3,5 т/(м³·сутки), показывает, что основой указанной технологии является вдувание в горн больших количеств дополнительного топлива. Высокая эффективность использования такого количества вдуваемого дополнительного топлива обеспечивается комплексом компенсирующих мероприятий, нейтрализующих негативное влияние топлива на основные компоненты доменной технологии [1–3].

Ранее было установлено, что при величине суммарного коэффициента замены (ΣK_3) 1,0 и более повышение расхода ПУТ не вызывает ухудшения технологических условий, определяющих газодинамику и уровень производительности доменной печи, степень использования восстановительной способности горновых газов, длительность и полноту сгорания дополнительного топлива, условия восстановления оксидов железа и перегрева продуктов плавки [1–3].

В связи с изложенным, комплексными компенсирующими мероприятиями могут быть улучшение качества железорудной шихты, кокса и ПУТ, повышение давления и температуры дутья, содержания в нем кислорода, мероприятия по стабилизации и оптимизации технологического режима и т.д.

Снижение выхода и основности шлака также является комплексным компенсирующим мероприятием, поскольку характеризуется сокращением расхода известняка, вводимого в шихту доменной печи или в состав агломерационной шихты. Прямыми следствиями этого изменения являются:

- вывод части или всего известняка из состава шихты доменной печи;
- снижение выхода шлака на 1 т чугуна;

— снижение расхода кокса и повышение производительности печи, как следствие вышеприведенных изменений.

Соответственно отмеченным изменениям снижаются выходы шлака и газа на 1 м^3 кокса, улучшается порозность шихты, снижается приход серы с шихтой и др. благоприятные изменения, что в итоге обеспечивает экономию кокса и повышение ΣK_3 , улучшает газодинамические условия в шахте печи, способствует сохранению на базовом уровне или повышению производительности печи.

Указанные очевидные изменения не исчерпывают эффективности мероприятия. На наш взгляд, не менее важным для компенсации являются благоприятные изменения физических свойств шлака. Исследования показывают, что шлаки рекомендуемой оптимальной (с точки зрения технологии доменной плавки) основности CaO/SiO_2 0,95–1,10 при 10% Al_2O_3 и 7–11% MgO имеют по сравнению со шлаком основностью 1,25–1,30 при 3–4% MgO более низкую на 30–60°C температуру плавления, более низкую вязкость на 2–4 пуаза, большую устойчивость физических свойств при колебаниях химического состава и температуры. Вследствие указанных изменений данные шлаки более однородны по структуре и микропримесям, имеют меньшее теплосодержание и температуру при сохранении высокого уровня поверхностной энергии. Важным их преимуществом является высокая эффективность использования обессеривающей способности шлака (величина $\varepsilon=0,7\text{--}0,9$)*.

Поскольку указанные изменения определяют, прежде всего, улучшение газодинамики в нижней — определяющей зоне печи, очевидно, что снижение основности шлака до оптимального уровня будет компенсировать, прежде всего, ухудшение газодинамики и потери производительности, определяемые применением дополнительного топлива.

Принимая во внимание выход и химический анализ конечных шлаков на доменных печах Украины в 1999–2000 гг., очевидно, что снижение основности шлака до уровня, оптимального по технологии, может быть в данных технологических условиях одним из определяющих мероприятий полной и комплексной компенсации.

Исходя из изложенного, изучены возможности повышения эффективности применения комбинированного дутья для доменной печи № 2 ОАО «Донецкий металлургический завод», доменной печи № 4 ОАО «ЕМЗ», доменных печей № 1 и 2 ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол». В качестве компенсирующих использованы мероприятия, как правило, освоенные в промышленном масштабе, по которым имеются значительные резервы на предприятиях. Во всех вариантах в качестве основного компенсирующего мероприятия применено снижение основности шлака до уровня, оптимального по технологии*.

1. ОАО «Донецкий металлургический завод»

В 2002 г. завершён ремонт с реконструкцией доменной печи № 2 и пылеугольного комплекса. Доменная печь имеет благоприятные базовые условия по температуре дутья (1100–1150°C) и кислороду (23–25%), однако неблагоприятные шихтовые условия, шлаковый режим, усугубляющиеся высокими приходами с шихтой серы (8–10 кг/т) и щелочей (6–10 кг/т). В качестве основных компенсирующих мероприятий приняли:

- повышение температуры дутья до 1150°C;
- обогащение дутья кислородом до 25%;
- исключение из шихты агломерата ЮГОК, известняка и шлака силикомарганца и замена их железобитумом и окатышами;
- введение в состав железорудной шихты коксового орешка, фракцией 10–35 мм;
- сокращение расхода и вывод из состава дутья природного газа;
- снижение основности шлака до 1,0–1,1.

* смотреть часть 1

* В работе принимали участие от ДонНТУ доцент Н.С. Хлапонин; от ОАО «ДМЗ»: К.В. Ковтун, В.П. Ивлев, С.А. Иванов; от ОАО «ЕМЗ» - к.т.н. В.П. Падалка.

Комплексное воздействие перечисленных мероприятий позволило вдвое снизить содержание мелочи 5–0 мм в шихте, вывести из шихты известняк и снизить выход шлака, существенно улучшить физические свойства первичных и конечных шлаков, повысить до оптимального уровня теоретическую температуру горения (рис. 1).

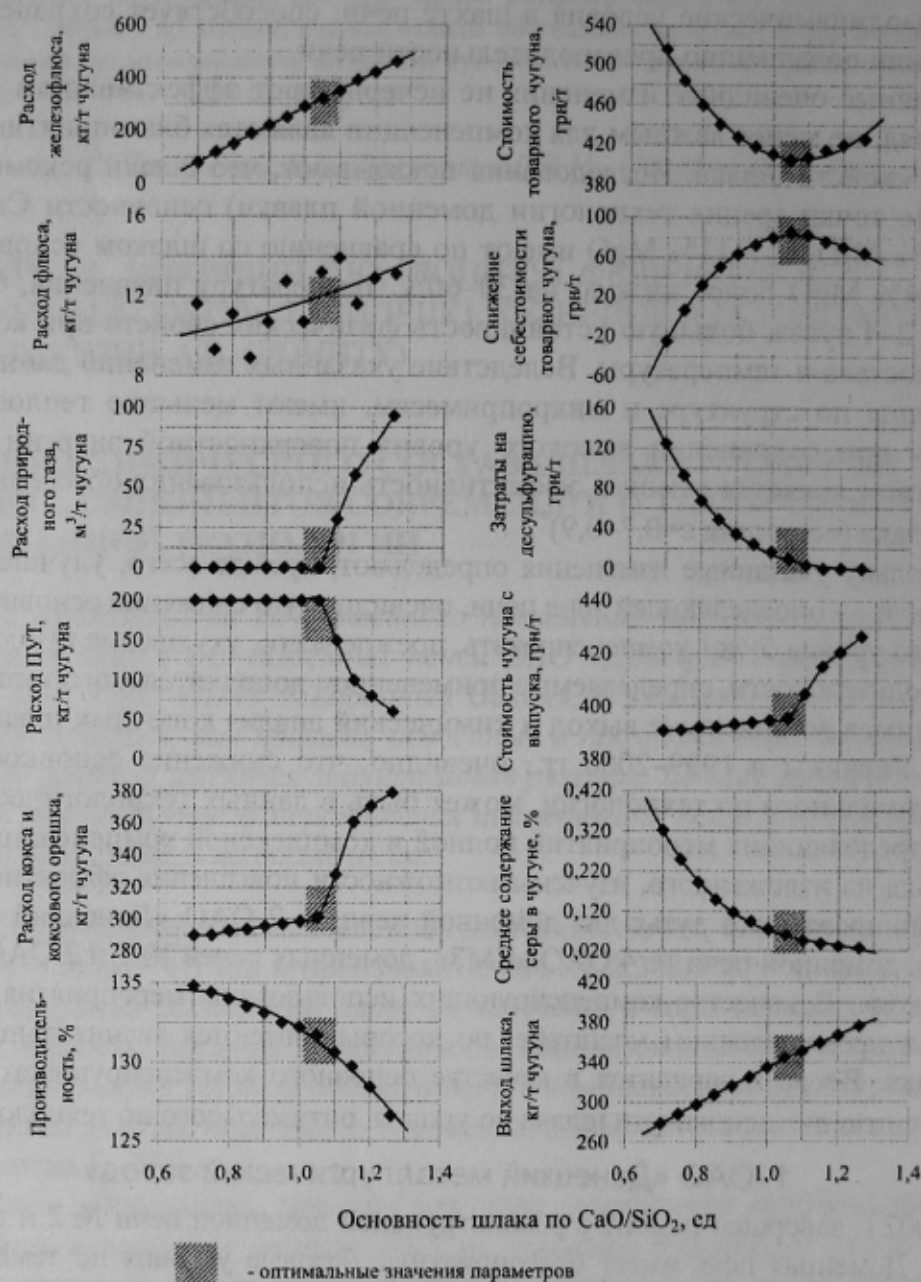


Рис. 1. Изменение основных технологических показателей и затрат от изменения основности шлака для дп № 1 при вздувании ПУТ из угля марки «Т» для условий ОАО «ДМЗ», (передельный чугун; база январь 1999 г); полный вывод ПГ компенсировали паром в количестве 17–20 гр/м³ для поддержания теоретической температуры горения на уровне 2100°С

Из рис. 1 видно, что максимальная эффективность компенсирующих мероприятий достигается при снижении основности шлака до 1,0–1,1. Последовательная реализация комплекса компенсирующих мероприятий предопределила возможность повышения оптимального расхода ПУТ из угля марки «Т» до 200 кг/т. Вдувание ПУТ способствовало снижению расхода кокса более чем на 200 кг/т и снижению затрат на 86,06 грн/т. Окупаемость дополнительных капитальных вложений, необходимых для реализации компенсирующих мероприятий равна, 0,5 года.

2. ОАО «Енакиевский металлургический завод»

Технология выплавки передельного чугуна на дп №4 ОАО «ЕМЗ» характерна применением комбинированного дутья высоких параметров: содержание кислорода и природного газа в дутье — до 28% и 10% соответственно, высокой долей окатышей в шихте — 40–50%. Освоению вдувания больших количеств ПУТ могут препятствовать низкое качество агломерата по содержанию железа и выходу мелочи 5–0 мм — до 20–22%, низкий уровень температуры дутья, основные и кальциевые шлаки, высокие выход шлака (450–500 кг/т чугуна) и расход сырого флюса в шихту — до 150 кг/т чугуна. Поэтому основными элементами комплексной компенсации стали:

- повышение температуры дутья до 1100°C;
- замена агломерата основностью 1,3 и сырого известняка на высокоосновный агломерат;
- применение коксового орешка в количестве 10% от расхода кокса;
- приготовление и вдувание ПУТ из низкозольного угля марки «Т»;
- снижение основности шлака CaO/SiO_2 до 1,0–1,1.

Комплекс перечисленных мероприятий обеспечит благоприятные технологические условия для эффективного вдувания до 200 кг/т чугуна ПУТ из угля марки «Т», при минимальном расходе природного газа (40 м³/т чугуна), сокращении расхода кокса на 280 кг/т (52,5%), повышении производительности печи на 16,4 %, снижении себестоимости 1 т чугуна на 62,92 грн (12,96%), сохранении на базовом уровне качества чугуна (рис. 2). Окупаемость данного варианта технологии составит около 1 года.

3. ОАО «Липецкий металлургический завод «Свободный Сокол»

Сущность предложения — в освоении современного технического уровня доменной технологии, достигнутого на зарубежных доменных цехах, работающих на привозном железорудном сырье [4].

Для расчета базовых периодов и эффективности приняты данные работы доменного цеха в 2001 г.

Комплекс предложенных компенсирующих мероприятий включает:

- повышение температуры дутья до 1050°C (2002 г.) и 1100°C (2003 г.);
- повышение давления газа на колошнике от 0,7 до 1,2 ати.;
- применение железофлюса собственного производства или со стороны (предложение Липецкого ПИ);
- применение коксового орешка. Предлагается наиболее эффективная технология производства и загрузки орешка, обеспечивающую экономии кокса на 2–4% [5, 6];
- оптимизация технологического режима на основе математической модели. Предложение ДонНТУ, опробовано на ОАО «ЕМЗ» и ОАО «МакМК»: создает предпосылки для снижения расхода кокса на 3–5% за счет оптимизации технологического режима [7];
- измерение температуры чугуна на выпусках и оперативное управление нагревом горна;
- измерение влажности кокса с помощью нейтронных влагомеров и стабилизация нагрева горна;
- измерение температуры газа по радиусу колошника;
- снижение основности шлака при выплавке передельного и литейного чугуна.

Комплексное внедрение указанных мероприятий усиливает индивидуальное их действие, создает условия для получения дополнительного эффекта за счет совершенствования технологического режима.

Результаты расчета для выплавки передельного и литейного чугунов приведены на рис. 3 и 4. Из приведенных данных следует, что максимальный эффект — в виде снижения себестоимости чугуна, получен при основности шлака (CaO/SiO_2) 0,95 для передельного чугуна и 0,90 — для литейного.

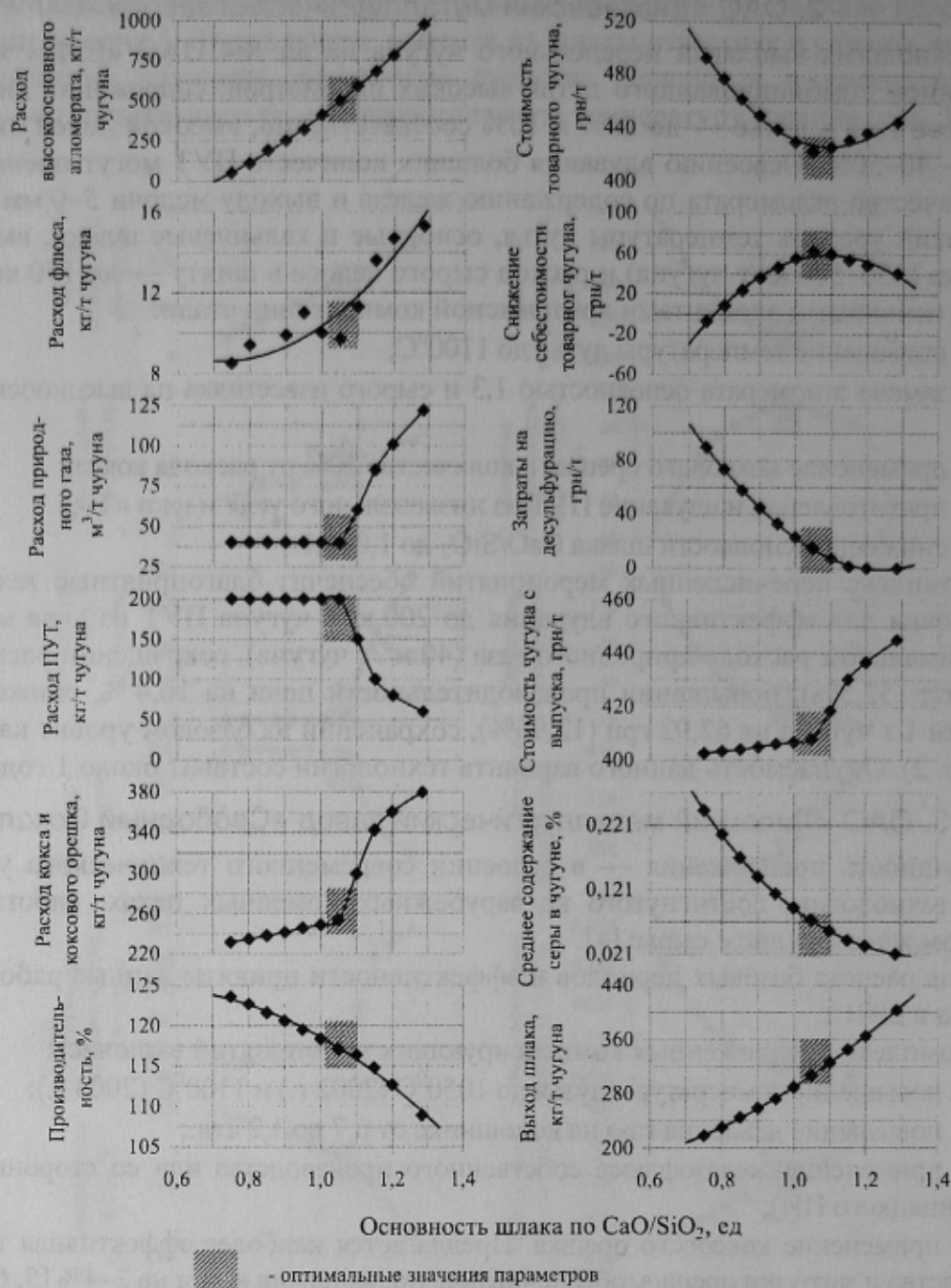


Рис. 2. Изменение основных технологических показателей и затрат от изменения основности шлага для дп № 1 при вздувании ПУТ из угля марки «Т» для условий ОАО «ДМЗ», (передельный чугун; база май 2000 г); поддержание теоретической температуры горения на уровне 2000°С при расходе ПУТ выше 100 кг/т компенсировали снижением расхода ПГ

Внедрение комплекса рассмотренных технологических мероприятий в доменном цехе ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол» обеспечит суммарное снижение расхода кокса и коксового орешка на 59,1 тыс. т в год, прирост производительности на 100,4 тыс. т, снижение себестоимости чугуна на 130,8 млн. руб. (4,3 млн. \$ США).

Заключение

Горение дополнительного топлива и замена им кокса неизбежно сопровождаются ухудшением определяющих параметров доменной технологии: снижением доли кокса в шихте и, соответственно, ухудшением порозности и газопроницаемости шихты, снижением теоретической (и реальной) температур в фурменной зоне, содержания кислорода в горновом газе по длине фурменной зоны и прочее.

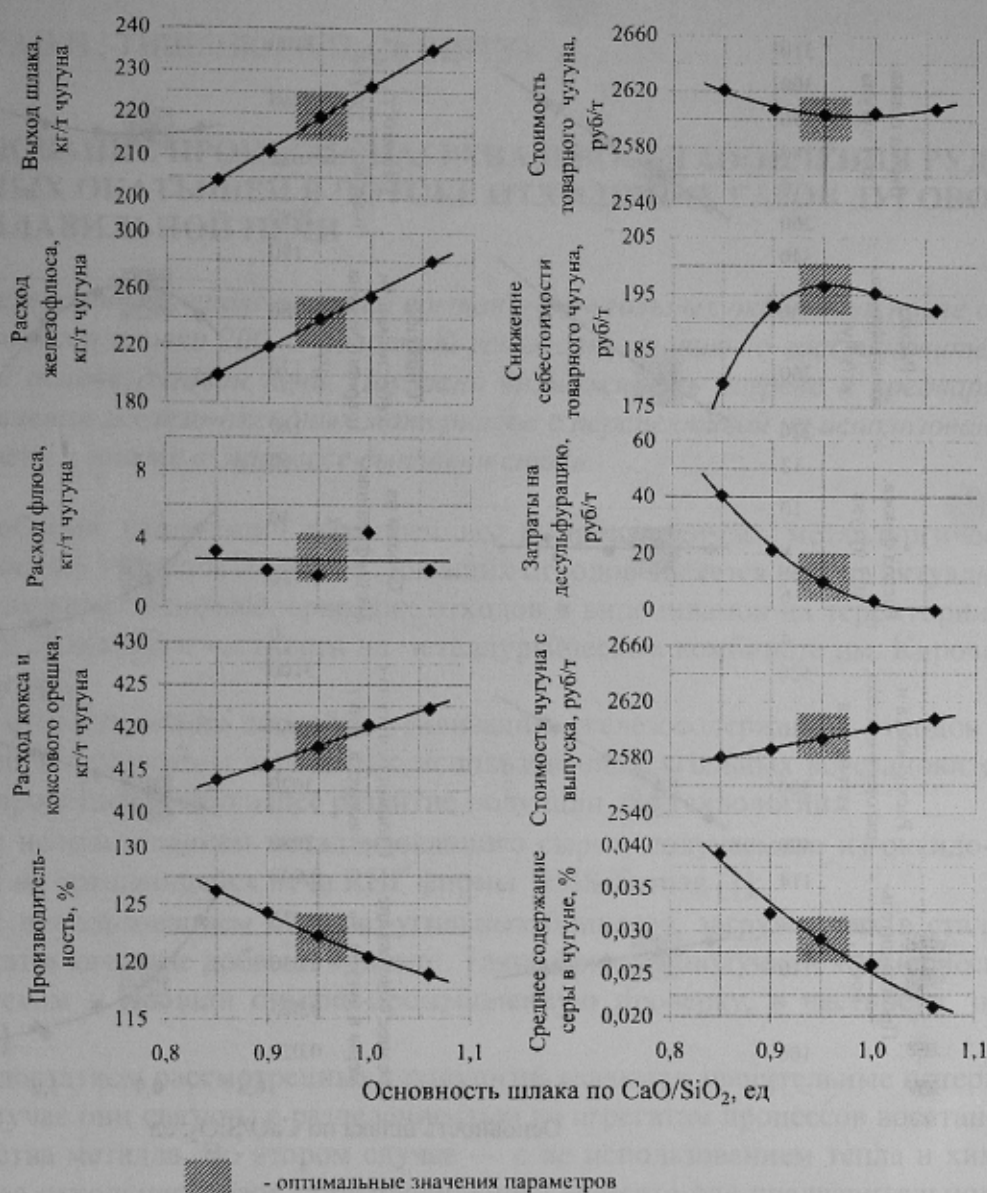


Рис. 3. Изменение основных технологических показателей и затрат от изменения основности шлака для дп № 1 ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол», (передельный чугун; база июнь 2001 г)

Изучены возможности качественного повышения эффективности применения комбинированного дутья для доменной печи № 2 ОАО «Донецкий металлургический завод», д.п. № 4 ОАО «ЕМЗ», д.п. № 1 и 2 ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол». В качестве компенсирующих мероприятий использованы мероприятия, как правило, освоенные в промышленном масштабе, по которым на предприятиях имеются значительные резервы. Во всех вариантах в качестве основного компенсирующего мероприятия использовано снижение основности шлака до уровня, оптимального по технологии.

Реализация указанного комплекса полной и комплексной компенсации при вдувании в горн ПУТ и ПГ обеспечит годовое снижение себестоимости чугуна на ОАО «ДМЗ» (для дп № 2) в размере 58,7 млн.грн; ОАО «ЕМЗ» (для всего цеха) — 106,4 млн.грн, — 69,9 млн.грн, на ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол»(для всего цеха) — 130,9 млн.руб. Окупаемость дополнительных капитальных вложений на реализацию рассматриваемых технологических режимов — менее 1 года.

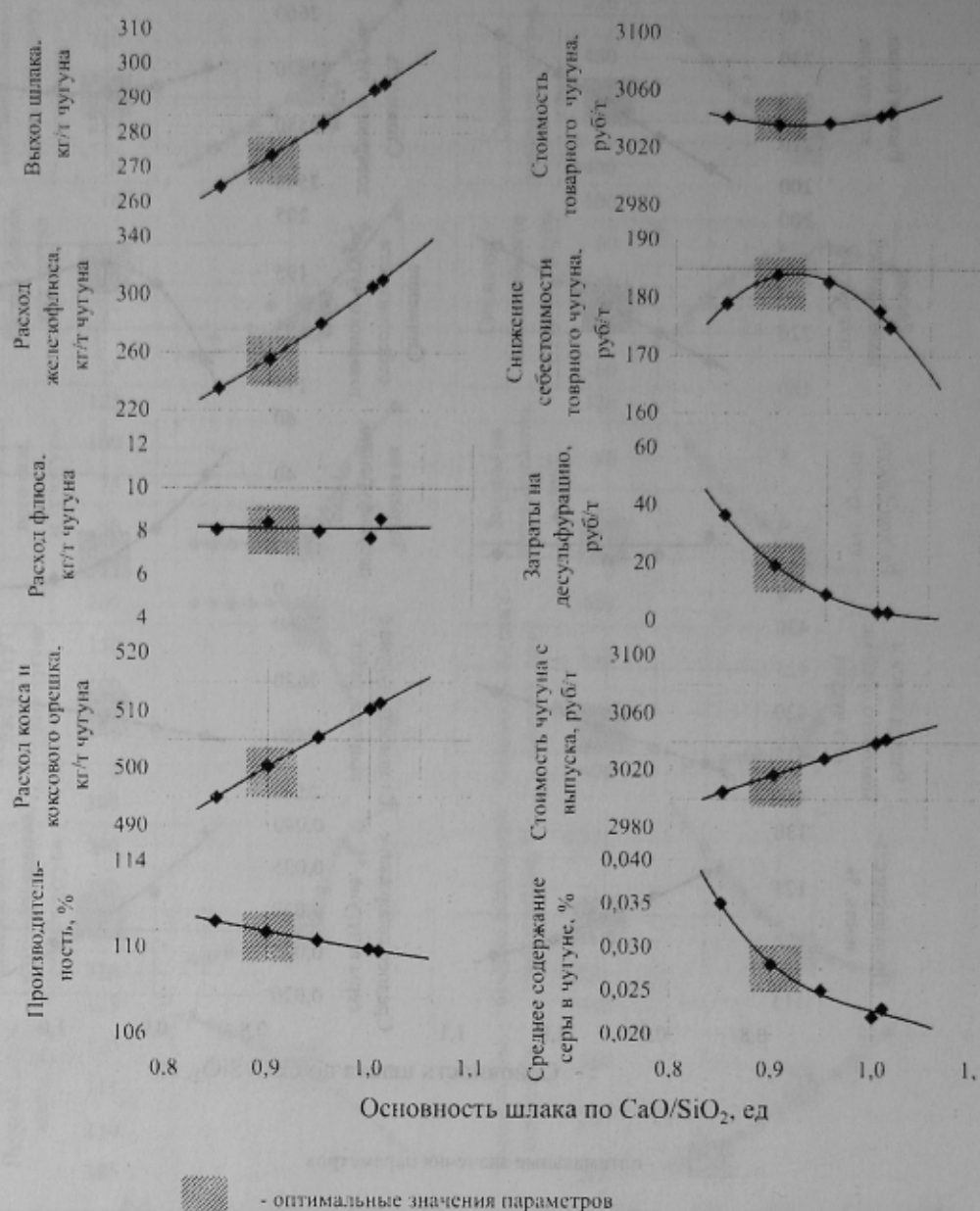


Рис. 4. Изменение основных технологических показателей и затрат от изменения основности шлака для дп № 2 ОАО «ЛМЗ «Свободный Сокол», (литейный чугун; база июнь 2001 г)

Список литературы

1. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. — М.: Metallurgy, 1988. — 176 с.
2. Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терешенко В.П. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке. — К.: Техника, 1993. — 200 с.
3. Ноздрачев В.А., Ярошевский С.Л., Терешенко В.П. Перспективные технологии доменной плавки с применением кислорода и пылеугольного топлива. — Донецк: Новый мир, 1996. — 173 с.
4. Работа доменных печей с высокой долей окатышей в шихте / А.А. Минаев, В.И. Бирючев, С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, В.И. Малкин // Metallurg, 1998. — № 10. — С. 23–27.
5. Эффективность применения коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.М. Кузнецов, В.П. Падалка, Н.С. Хлапонин, А.В. Кузин // Metall и литье Украины, 2000. — № 5–6. — С. 9–13.
6. Эффективность использования кокса фракции менее 40 мм в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.П. Чеботарев и др // Metallurg, 2000. — № 12. — С. 32–35.
7. Оптимизация технологии доменной плавки / С.Л. Ярошевский, Л.В. Быков, Е.И. Четыркин и др. // Metallurg, 2000. — № 10. — С. 35–37.

© Ярошевский С.Л., Никишин С.Ю., Фешенко С.А., Кузнецов А.М., Кузин А.В., 2004