



There is developed the model of calculation of the material melting balance in the arc steel-making furnace, allowing to determine mass of liquid steel of fluid melting in furnace, mass of liquid metal in a bowl after its discharging out of furnace and of predictive "marsh" after each carried out melting.

А. Г. АФАНАСИАДИ, В. А. МАТОЧКИН, М. П. ГУЛЯЕВ, РУП «БМЗ»,
И. Л. МАНДЕЛЬ, И. Л. НУМЕРАНОВА, БНТУ, А. В. ВОЛГИН, РУП «БМЗ»

УДК 669.187

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОКРАЩЕННОГО МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ВЫПЛАВКИ ЖИДКОГО ПОЛУПРОДУКТА В ДСП-100 №3 РУП «БМЗ»

В настоящее время на всех металлургических предприятиях стран СНГ и дальнего зарубежья отсутствует метод корректного определения значений массы жидкого металла в ковше после выпуска его из печи. Причиной этого является изменение структуры жидкого металла после выпуска его из печи в ковш и частичного раскисления легирующими компонентами.

С целью определения объективных значений массы жидкого металла в ковше после его выпуска из печи была проведена выборка массива (более 1500) производственных плавов различного марочного сортамента, выплавленного в ДСП-100 №3 РУП «БМЗ». Из выборочного массива были отобраны более 200 плавов, которые наиболее удовлетворительно отражали полноту исследуемых параметров. Данный массив плавов был обобщен и систематизирован с разделением на три основные группы плавов.

В качестве исходных данных в каждую группу входили следующие значения параметров:

- суммарная масса загружаемых в печь всех видов сырья ($m_{тв}$), состоящая из различных категорий лома ($m_{л}$), чугуна ($m_{ч}$) и металлизированных окатышей ($m_{ок}$), т;

- измеренная масса жидкого металла в ковше ($m_{ж}$), значения которой были получены непосредственно с весового устройства, установленного на платформе сталевоза, т;

- коэффициент, характеризующий отношение измеренной массы жидкого металла в ковше к суммарной массе использованного сырья, именуемый в дальнейшем корректирующим коэффициентом жидкого металла в ковше ($K_{ж}$), который определяется по формуле:

$$K_{ж} = \frac{\sum_{i=1}^n m_{ж_i}}{\sum_{i=1}^n m_{тв_i}} \quad (1)$$

Обработку массива параметров по каждой группе плавов проводили статистическим методом теории случайных процессов с использованием регрессионного анализа [1, 2]. На предварительной стадии анализа была проведена проверка и принята гипотеза о законе нормального распределения. Параметр $K_{ж}$ являлся функцией критерия совокупности указанных параметров каждой группы плавов по гипотезе нормального распределения.

Статистической проверкой гипотезы о законе нормального распределения было определено значение корректирующего коэффициента ($K_{ж}$) для каждой группы плавов. По генеральной совокупности полученных параметров случайных процессов каждой группы плавов определяли количество интервалов; шаг интервала; значение на каждом интервале; выборочное среднее функции критерия совокупности параметров $K_{ж}$; выборочную несмещенную дисперсию и рассчитанные по ней среднеквадратичные отклонения; доверительный интервал; подтверждение гипотезы о распределении $K_{ж}$ по нормальному закону.

Исходные и расчетные значения для каждой группы плавов приведены в таблице.

Расчетную массу жидкого металла в ковше ($m_{ж}^{расч}$) определяем по выражению

$$m_{ж}^{расч} = K_{ж} m_{тв}, \text{ т.} \quad (2)$$

Основой данного расчета служит уравнение сокращенного материального баланса металла и шлака, которое включает в себя приходную и расходную статьи [3]:

$$m_{ш} + m_{ок} + m_{из} + m_{г}^0 = m_{ж} + m_{шл} + m_{пыль}, \quad (3)$$

где $m_{ш}$ – суммарная масса загружаемых в печь всех видов лома и чугуна (без учета металлизированных окатышей), т; $m_{из}$ – суммарная масса

Обобщенные исходные и расчетные параметры, соответствующие каждой группе плавок

Параметры	Исходные значения		
	группа плавок		
	I	II	III
Количество плавок n , плавка	95	81	27
Масса лома $m_{л}$, т	68,485	100,235	105,575
Масса чугуна $m_{ч}$, т	21,032	13,651	6,896
Масса металлизированных окатышей $m_{ок}$, т	32,058	0,000	5,062
Суммарная масса металлошихты $m_{тв}$, т	121,565	113,931	117,535
Масса жидкого металла в ковше $m_{ж}$, т	108,330	109,802	106,704
	Расчетные значения		
Корректирующий коэффициент ковша $K_{к}$, т/т	0,919	0,960	0,940

используемой извести, т; $m_{ок}$ — масса металлизированных окатышей, т; $m_б^0$ — масса остатка металла в печи от предыдущей плавки «болота», т; $m_{ж}$ — масса жидкого металла в печи, т; $m_{шл}$ — масса шлака текущей плавки (без учета шлака предыдущей плавки в печи), т; $m_{пыль}$ — масса удаляемой из печи металлической пыли текущей плавки, т.

Массу шлака текущей плавки определяем по уравнению

$$m_{шл} = 1,7 - 1,9(0,94 m_{из} + 0,021 m_{ок}), \text{ т}, \quad (4)$$

где 1,7–1,9 — коэффициент, учитывающий среднюю основность шлака, полученный при исследовании большого массива проб шлака.

Массу пыли, удаляемой из печи при выплавке стали, рассчитываем по уравнению

$$m_{пыль} = 0,80 - 0,99(m_{тв}) / 100, \text{ т}, \quad (5)$$

где 0,8–0,9 — коэффициент, учитывающий процентное содержание пыли, удаляемой из ДСП-100 при выплавке стали (в зависимости от состава и количества металлошихты).

Исходя из уравнений (3)–(5), было выведено обобщенное уравнение для жидкого металла в печи при выплавке в ДСП-100 №3 жидкого полупродукта для различного сортамента марок сталей:

$$m_{ж} = a m_{ш} + b m_{ок} + m_б^0 - c m_{изв}, \text{ т}, \quad (6)$$

где a , b и c — коэффициенты, учитывающие массу жидкого металла в печи соответственно на 1 т суммарной твердой шихты, металлизированных окатышей и извести, используемых для выплавки стали, т(ж)/т (соответствующего вида материала). Значения коэффициентов a , b и c в зависимости от состава и количества применяемой металлошихты приведены на рис. 1.

Начальное проведение выплавки жидкого полупродукта в ДСП-100 №3 производится при загрузке металлошихты в печь на «сухую» подину, т. е. на подину с отсутствием «болота», что соответствует в уравнении (6) значению $m_б^0 = 0$.

Массу «болота» последующей плавки рассчитываем следующим образом:

$$m_б^0 = m_{ж} - (m_{ж}^k - m_{ф/сп}), \text{ т}, \quad (7)$$

где $m_{ф/сп}$ — суммарная масса всех вводимых в ковш материалов (ферросплавы, кокс, алюминий, известь и др.) при выпуске металла из печи, т.

С учетом изложенного выше был предложен алгоритм расчета статистической модели сокращенного материального баланса (рис. 1).

Для апробации модели из основного массива производственных плавок были выбраны две серии плавок (по 15 в каждой серии), которые удовлетворяли главному требованию уравнения (6), в том числе при условии отсутствия на начальной плавке массы «болота». По разработанному алгоритму модели был проведен расчет данных по двум вариантам: вариант 1 строился на основе значений измеренной массы жидкого металла в ковше ($m_{ж}$) (без учета $K_{к}$); вариант 2 — на основе расчетных значений массы жидкого металла в ковше ($m_{ж}^{расч}$) (с учетом $K_{к}$). По результатам расчета уравнений (6) и (7) были получены графические зависимости основных расчетных параметров на плавках (рис. 2, 3).

Анализируя рис. 2 и 3 по варианту 1, выявлены следующие недопустимые значения расчетных параметров:

- наличие отрицательных значений массы «болота» (рис. 2, а);
- наличие явно завышенных значений массы «болота» (рис. 2, б);
- наличие явно завышенных значений массы жидкого металла в печи (рис. 2, в).

Из анализа рис. 2 и 3 по варианту 2 видно, что все значения рассматриваемых параметров с использованием корректирующего коэффициента ($K_{к}$) находятся в допустимых реально значимых пределах, что в свою очередь подтверждает возможность практического применения представленной модели.

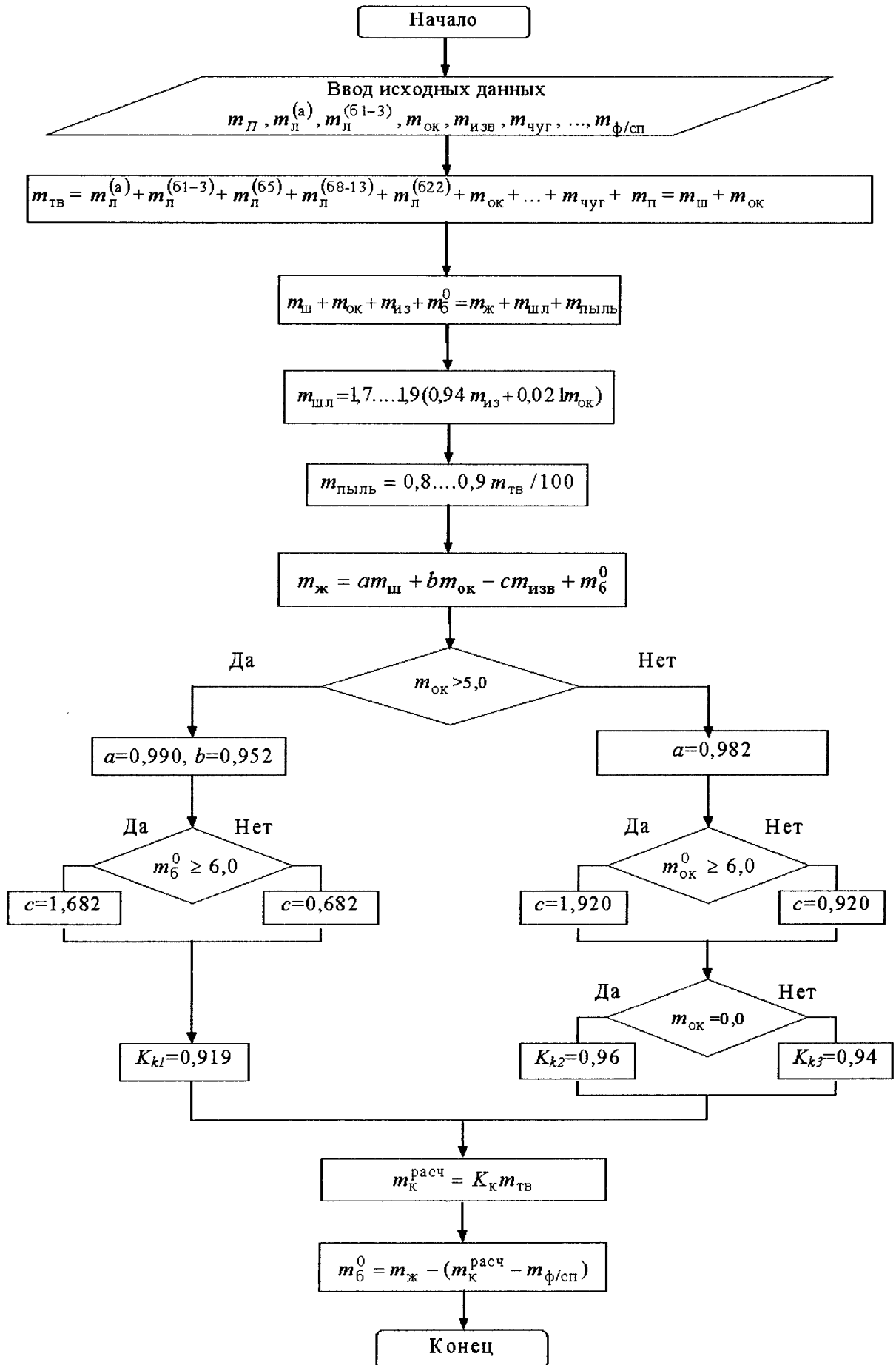
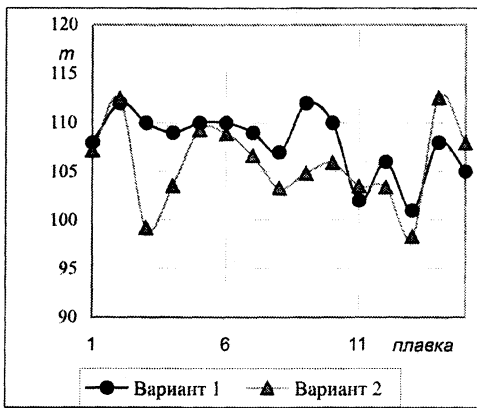
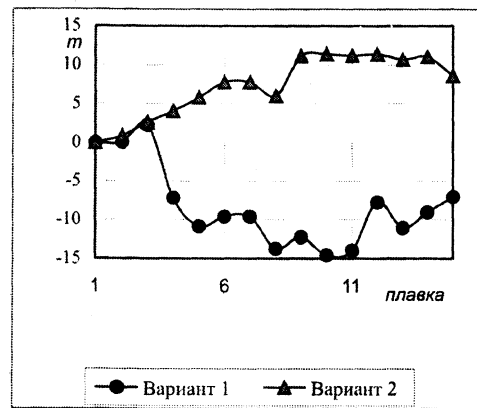


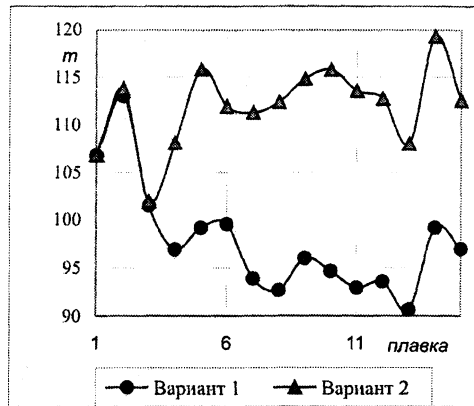
Рис. 1. Алгоритм расчета статистической модели сокращенного материального баланса



а

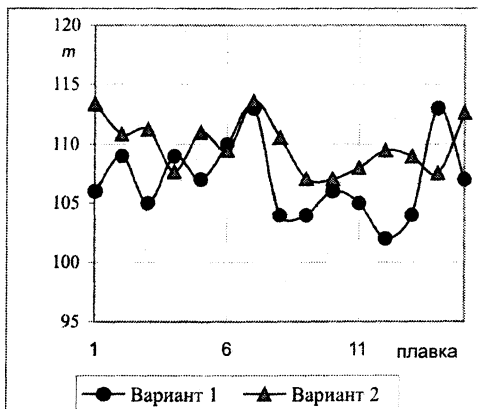


б

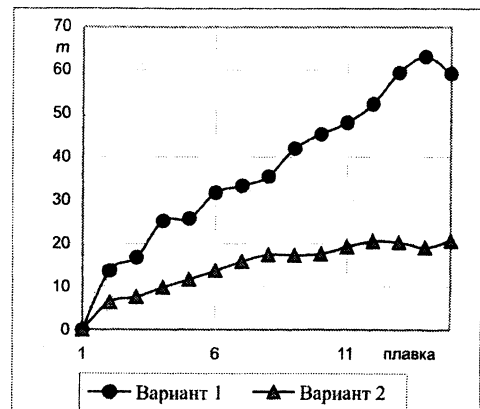


в

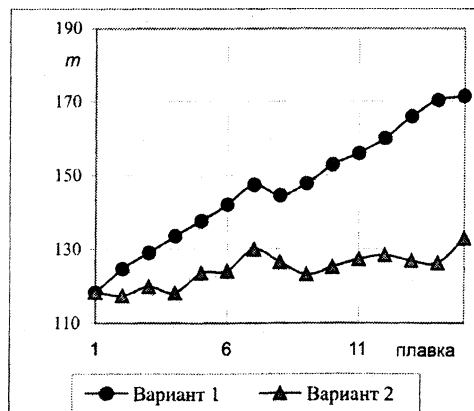
Рис. 2. Изменение основных параметров расчета модели на каждой плавке серии 1: а – изменение массы жидкого металла в ковше; б – изменение массы жидкого остатка металла «болота»; в – изменение массы жидкого металла в печи



а



б



в

Рис. 3. Изменение основных параметров расчета модели на каждой плавке серии 2: а – изменение массы жидкого металла в ковше; б – изменение массы жидкого остатка металла «болота»; в – изменение массы жидкого металла в печи

Таким образом, данная технология с использованием корректирующего коэффициента K_k позволяет внести изменение в прогнозирование и в оценки получения жидкого металла в печи, ковше и «болоте» последующей плавки с образованием шлака и пыли, удаляемой из печи текущей плавки в условиях получения жидкого полупродукта ДСП-100 №3 РУП «БМЗ».

На основании статистической модели сокращенного баланса разработан программный продукт, определяющий массу жидкой стали текущей плавки в печи, массу жидкой стали в ковше и прогнозируемого «болота» после каждой проведенной плавки.

Следует также отметить, что совершенствованные выплавки в сверхмощной дуговой печи качественного жидкого полупродукта этой разра-

боткой не ограничивается. Одновременно с этой моделью и на ее основе проводятся исследования, базирующиеся на знании физико-химических и термодинамических законов, которые также в свою очередь войдут в программу визуального советчика и позволят прогнозировать химический состав в зависимости от вида сырья, загружаемого в печь, расход электроэнергии и альтернативного полезного тепла. В конечном итоге это позволит оценить технологическую и энергетическую эффективность плавки.

Литература

1. Агапов Г.И. Задачник по теории вероятности. Мн.: Выш. шк., 1987.
2. Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. М.: Наука, 1987.
3. Морозов А. Н. Современное производство стали в дуговых печах. М: Металлургия, 1983.



03.03–14Г.54. Разработка технологии использования жидкого чугуна при выплавке стали в дуговых электропечах. Годик Л.А., Катунин А.И., Анашкин Н.С., Козырев Н.А., Кузнецов Е.П., Обиаров М.В., Шуклин А.В. Труды 6 Конгресса сталеплавателей, Череповец, 17–19 окт., 2000. М.: ОАО "Черметинформация". 2001, с. 242–244, табл. 1. Библ. 3 Рус.

На ОАО "Кузнецкий металлургический комбинат" в ЭСПЦ-2 начато освоение технологии выплавки стали в печах типа ДСП-100И7 (трансформатор 80 МВА) с заменой части металлолома на жидкий чугун. Для этого в цехе провели реконструкцию: усовершенствован железнодорожный путь для доставки чугуна из доменного цеха в электросталеплавильный, проложен путь, связывающий разливочный и печной пролеты, изготовлен чугуновоз, совместимый со скраповозом, и проведена перепланировка в цехе. В состав завалки и подвалки вводилось 4–6 т извести, до 5 т руды и до 10 т агломерата; окисление углерода проводилось также с помощью верхней кислородной фурмы с расходом 2600–3000 м³/ч и фурмой фирмы "Fuchs" с расходом до 3000 м³/ч. Для дефосфорации стали в печь присаживалась железная руда и известь порциями по 100–200 кг. Сразу же после заливки чугуна начинали спуск шлака через рабочее окно в шлаковую чашу. На опытных плавках использовался чугун с содержанием: 4,1–4,6% С, 0,46–1,21% Si, 0,35–0,55% Mn, 0,08% P, 0,015–0,030% S, 0,01% Cr, 0,01% Ni, 0,02% Cu. Использование жидкого чугуна позволило не только сократить длительность плавки, но и значительно снизить расход электроэнергии на плавку по сравнению с базовой технологией (плавка на металлоломе). Отмечена связь между расходом электроэнергии перед заливкой чугуна с общим расходом электроэнергии на плавку. В связи с этим предложено заливку чугуна производить при расходе электроэнергии 230–320 кВт·ч/т металлолома. Использование чугуна при выплавке стали повысило содержание FeO, MnO и SiO₂ в шлаке, в связи с чем снизилось усвоение марганца и кремния из ферросплавов, несколько возрос расход извести. Степень десульфурации не изменилась (41,43% на опытной технологии, 71,60% на базовой) при возрастании уровня серы при расплавлении (0,049% S на опытной технологии, 0,032% S на базовой). При использовании технологии отмечено увеличение степени рефосфорации. В целом при использовании технологии снижен расход электроэнергии на 45–55 кВт·ч/т стали, длительность плавки сокращена в среднем на 10–15 мин, расход электродов – на 0,2 кг/т.

03.03–14Г.55. Практика применения оксидо-углеродных брикетов в дуговых печах. Агеев Е.А., Антонов В.С., Бабич В.К., Еланский Г.Н., Лемякин В.П., Юдин Ю.Н. Труды 6 Конгресса сталеплавателей, Череповец, 17–19 окт., 2000. М.: ОАО "Черметинформация". 2001, с. 237–240, табл. 2. Библ. 5. Рус.

На Волгоградском металлургическом заводе "Красный Октябрь" и Волгоградском тракторном заводе в дуговых печах вместимостью 5–200 т проведены опытные плавки с использованием нового шихтового материала – оксидо-углеродных брикетов (ОУБ). ОУБ является заменителями чугуна, электродного боя и части стального лома при выплавке стали и литейного чугуна. На опытных плавках было отмечено, что присадка в завалку ОУБ взамен чугуна приводит к снижению концентрации фосфора по расплавлению. Механические свойства сталей, выплавленных с использованием ОУБ, превышали регламентированные значения на 15–20%. Загрязненность стали неметаллическими включениями была ниже допустимых нормативов. При этом особо интересные результаты получены из стали марки ШХ15, где средняя загрязненность по 6 образцам в профиле круг 10 мм составила (средний балл из максимальных): оксиды 1,25, сульфиды 1,16, глобулы 1,0 при нормах 2,5; 2,5; 2,0 соответственно. Удовлетворительные результаты получены и по качеству макроструктуры готовой стали. Детальный анализ опытных плавков показывает, что железо оксидов ОУБ восстанавливается на 97–98%. Углерод почти полностью расходуется на восстановление оксидов железа и науглероживание восстановленного продукта. На плавках с присадкой ОУБ в завалку при выплавке конструкционных сталей в дуговых печах можно полностью отказаться от использования в завалку чугуна, электродного боя и кокса для науглероживания расплава. С применением ОУБ можно получать в дуговых печах литейный чугун. Использование ОУБ позволяет сократить массу стального лома в завалку и заметно снизить угар железа, увеличить выход жидкой стали, сократить время плавки на 0,2–0,3 ч и получить готовую сталь высокого качества. ОУБ являются перспективным шихтовым материалом для выплавки стали в первую очередь в дуговых печах металлургических и литейных заводов. Они позволяют использовать как отходы текущего производства, так и начать разработку полигонов промышленных железосодержащих отходов, заводских отвалов окалины и шламов. Это помимо чистых экономических выгод, связанных с ресурсо- и энергосбережением, позволит оздоровить экологическую ситуацию района.