

- М.: Science, 1960. – 324 p. (Rus.)
11. Maslov V.A. Study of kinetics of carbothermic self - reduction of Fe-C metallurgical wastes / V.A. Maslov, L.A. Trofimova // Reporter of the Priazovskyi state technical university: collection of scientific works / PSTU. – Mariupol, 2004. – Issue 14. – Pp. 41-43. (Rus.)
12. Knyazev V.F. Coke-free metallurgy of iron / V.F. Knyazev, A.I. Gimmelfarb, A.M. Nemenov. – М.: Metallurgy, 1972. – 272 p. (Rus.)

Рецензент: А.М. Скрещцов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 23.02.2015

УДК 669.054.8.001.573

© Волошин В.С.¹, Бурко В.А.², Харабет В.В.³

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

Приведены основные принципы математического моделирования технологических процессов, направленных на вычленение отдельных компонентов сырьевой базы производства в продуктивную базу и исследование их динамики при прохождении от одного передела к другому с целью поиска путей повышения их потребительской стоимости. Предложена модель, которая позволяет проследить динамику изменения структуры любого компонента, содержащего углерод, начиная с самого емкого материала – угольной шихты до их размещения в отходящих газах и пыли, шлаках и готовом металле. Приведенная в работе модель позволяет достаточно быстро оценить основные направления движения компонентов сырьевой базы, содержащих углерод и его соединения с тем, чтобы получить, по возможности замкнутые циклы движения этих материалов или их модификации в рамках одного и того же производства. Отдельный компонент сырьевой базы рассматривается в равной степени и в готовой продукции, и в отходах. Подчеркнута равнозначность этих параллельных процессов в любой производственной системе.

Ключевые слова: модель, металлургия, отход, углерод, графы, сырьевая база.

Волошин В.С., Бурко В.А., Харабет В.В. Математична модель вуглецевмісних відходів в металургії. Наведено основні принципи математичного моделювання технологічних процесів, спрямованих на виокремлення окремих компонентів сировинної бази виробництва в продуктивну базу і дослідження їх динаміки при проходженні від одного переділу до іншого з метою пошуку шляхів підвищення їх споживчої вартості. Запропоновано модель, яка дозволяє простежити динаміку зміни структури будь-якого компонента, що містить вуглець, починаючи з самого ємного матеріалу - вугільної шихти до їх розміщення у відхідних газах і пилу, шлаках і готовому металі. Наведена в роботі модель дозволяє досить швидко оцінити основні напрямки руху компонентів сировинної бази, що містять вуглець і його сполуки з тим, щоб отримати, по можливості замкнуті цикли руху цих матеріалів або їх модифікації в рамках одного і того ж виробництва. Окремий компонент сировинної бази розглядається в рівній мірі і в готовій продукції, і у відходах. Підкреслена рівнозначність цих паралельних процесів в будь-якій виробничій системі.

Ключові слова: модель, металургія, відхід, вуглець, графи, сировинна база.

¹ д-р техн. наук, ректор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь,
burko@mariupol.org.ua

³ канд. пед. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

V.S. Voloshin, V.A. Burko, V.V. Harabet. Mathematical model of carbon wastes in metallurgy. Basic principles of mathematical design of the technological processes sent to the disarticulation of separate components of raw materials production in a productive base and research of their dynamics at passing from one redistribution to other with the purpose to search ways to increase their consumer value are brought. A model, that allows to trace the dynamics of change of any component's structure, containing a carbon, since the most capacious material – coal charge to their placing in output gas and dust, slags and prepared metal, is offered. The given model allows to estimate basic directions of motion of components of raw materials' source, containing a carbon and his connections with that to get, on possibility reserved cycles of motion of these materials or their modification within the framework of the same production. The separate component of raw materials source is examined in a nequal degree both in the prepared products and in wastes.

Keywords: *model, metallurgy, departure, carbon, columns, source of raw materials.*

Постановка проблеми. Metallurgy, как и любая другая отрасль переработки, имеет дело с многокомпонентными по составу исходными материалами. Одни из них, как например, железо, являются целью металлургического передела. Другие, в частности, сера, углерод, фосфор, кремний и др., являются сопутствующими, попадающими в разряд отходов, которые по принадлежности никому не нужны. Иными словами, металлургия относится к так называемым монотехнологиям, для которых характерна поликомпонентность сырьевой базы и относительная монокомпонентность производственной базы. Как результат, мы имеем поликомпонентную базу отходов, которая весьма трудно поддается дальнейшей переработке с целью придания ей статуса товарной продукции.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] изложены основные принципы математического моделирования подобных технологических процессов, направленных на вычленение отдельных компонентов сырьевой базы производства в продуктивную базу и исследование их динамики при прохождении от одного передела к другому с целью поиска путей повышения их потребительской стоимости.

Цель статьи – разработать модель и методологию, позволяющую рассматривать и учитывать отдельные компоненты сырьевой базы металлургического производства, как в готовой продукции, так и в отходах, что позволит поликомпанентной базе отходов придать статус товарной продукции.

Изложение основного материала. Для углеродсодержащих материалов металлургического производства графопостроительная модель представлена на рис. 1 [1]. Принципиальная морфологическая схема модели рассмотрена в таблице. На рисунке мы намеренно выделили те части потоков углеродсодержащих материалов, которые не имеют товарной ценности и не используются в схемах рециклинга внутри самого производства (косая штриховка), и те из них, которые участвуют в рециклинге (сеточная штриховка). Модель носит описательный характер, каждая вершина графа обозначает очередное промежуточное состояние искомого компонента (углерода), а каждая дуга – функцию по преобразованию этого компонента из одного состояния в следующее. Углерод присутствует в готовом продукте (чугуне, стали, прокате), неравномерно присутствует в многочисленных отходах – твердых, жидких, газообразных. Баланс весовых коэффициентов (α) исходной модели дает представление о движении углерода по переделам. Очевидна условность весовых коэффициентов вершин графа, представленных в таблице. Они определяются в каждом конкретном случае более конкретными условиями прохождения материалопотоков.

В модели отчетливо видны области накопления основных видов углеродсодержащих отходов – шлаки, шламы, «хвосты», окалина, металлообрезь, зольношламовые остатки, углеродистая пыль, газы, а также представлены схемы прохождения материалопотоков, ответственных за их переработку. Модель позволяет проследить динамику изменения структуры любого компонента, содержащего углерод, начиная с самого емкого материала – угольной шихты до их размещения в отходящих газах и пыли, шлаках и готовом металле. Модель позволяет достаточно быстро оценить основные направления движения компонентов сырьевой базы, содержащих углерод и его соединения с тем, чтобы получить, по возможности замкнутые циклы движения

этих материалов или их модификации в рамках одного и того же производства. Это удастся, например, в циклах «обогащенная руда – аглопроизводство – мелочь», «мартиновское производство – сляб – прокатное производство – металлическая обрезь», «агломерат – жидкая сталь – сляб – прокат – окалина» и др. Однако этим не исчерпываются возможности рециклинга в металлургическом производстве.

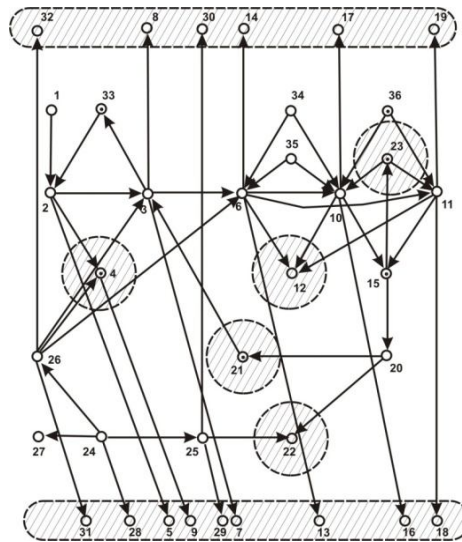


Рис. 1 – Графопостроительная модель движения углеродсодержащих компонентов в металлургическом переделе

Таблица

Морфологическая схема модели движения углерода в металлургических переделах

Вершины графа				Дуги графа	
Обозначение	Наименование компонента, в котором изменяется содержание углерода	Весовые коэффициенты	Количество углеродсодержащего материала, кг/т	Обозначение	Наименование функции, которая приводит к изменению содержания углерода в компонентах
1	Железная руда	α_1	7	1,2	Обогащение руды
2	Железорудный концентрат	-	-	2,3	Агломерация
				2,4	Образование железосодержащих «хвостов»
				2,5	Пылеобразование
3	Агломерат	-	-	3,6	Производство чугуна
				3,33	Образование невозвратной мелочи
				3,7	Пылеобразование
				3,8	Образование отходящих газов
4	Железорудные «хвосты»	-	-	4,9	Пыление «хвостов»

Продолжение таблицы

5	Пыль вторичного пыления в хвостохранилищах			-	-
6	Чугун передельный	α_6	24	6,10	Заливка чугуна в мартеновскую печь
				6,11	Заливка чугуна в конвертер
				6,12	Шлакообразование при производстве чугуна
				6,13	Пылеобразование при производстве чугуна
				6,14	Образование доменных газов
7	Агломерационная пыль	-	-	-	-
8	Агломерационные газы	α_8	63	-	-
9	Пыль хвостохранилищ			-	-
10	Жидкая сталь (мартеновская)	α_{10}	3	10,12	Шлакообразование в мартеновском процессе
				10,15	Получение слябов
				10,16	Образование пыли в мартеновском производстве
				10,17	Образование мартеновских газов
11	Жидкая конвертерная сталь	α_{11}	3	11,12	Шлакообразование в конвертере
				11,15	Получение слябов
				11,18	Образование конвертерной пыли
				11,19	Образование конвертерных газов
12	Металлургические шлаки (по принадлежности)	α_{12}/i	41	-	-
		α_{12}/j	21		
13	Доменная пыль			-	-
14	Доменные газы	α_{14}	166	-	-
15	Слябы			15,20	Производство готового проката
				15,23	Получение металлообрези
16	Мартеновская пыль			-	-
17	Мартеновские газы	α_{17}	72	-	-
18	Конвертерная пыль			-	-
19	Конвертерные газы	α_{19}	136	-	-

Продолжение таблицы

20	Готовый прокат (товарная продукция)	α_{20}	2	20,21	Образование прокатной окалины
				20,22	Образование прокатного шлама
21	Прокатная окалина	α_{21}	7	21,3	Возврат окалины в аглошихту
22	Зола и шламы	α_{22}	29	-	-
23	Прокатная обрезь	α_{23}	3	23,10	Добавка обрезки в мартеновскую печь
				23,11	Добавка обрезки в конвертерную металло-шихту
24	Угольная шихта	α_{24}	862	24,25	Сжигание на ТЭС
				24,26	Спекание кокса
				24,27	Местное энергетическое сжигание угля
				24,28	Пыление угольной шихты
25	Электроэнергия ТЭС в пересчете на углерод условного топлива	α_{25}	299	25,22	Образование золы
				25,29	Пылеобразование
				25,30	Образование отходящих газов ТЭС
26	Готовый кокс (в т.ч. коксик)	α_{26}	229	26,3	Подача коксика на аглоленту
				26,4	Образование «хвостов»
				26,6	Подача коксового концентрата в доменную печь
				26,31	Пылеобразование
				26,32	Образование коксового газа
27	Собственные энергоресурсы в пересчете на углерод условного топлива	α_{27}	114	-	-
28	Пыль угольной шихты	α_{28}	203	-	-
29	Пыль ТЭС			-	-
30	Отходящие газы ТЭС			-	-
31	Пыль коксохимическая	$\alpha_{31} + \alpha_{32}$	38	-	-
32	Коксовый газ			-	-
33	Агломерационная мелочь			33,2	Возврат агломелочи
34	Природный газ	α_{34}	155	34,6	Подача газа в доменную печь
				34,10	Подача газа в мартеновскую печь

Продолжение таблицы

35	Мазут технический	α_{35}	2	35,6	Подача мазута в доменную печь
				35,10	Подача мазута в мартеновскую печь
36	Металлический лом	α_{36}	1	36,10	Завалка лома в мартеновскую печь
				36,11	Загрузка лома в конвертер

Как правило, углерода по массе в углеродсодержащих отходах металлургического производства весьма мало. Большую часть отходов составляют другие элементы. Но и этот углерод, в большей степени связанный, удаляют в отвалы. Не трудно подсчитать, что в готовой продукции углерода остается около 2,14% (в чугуне больше, в стали - меньше), рециклингу подлежит также всего $14,6 \cdot 10^{-3}$ ед. по массе всего углерода, принимающего участие в технологических процессах. А 96% углерода накапливается в виде потерь и отходов. Из этого количества в твердом состоянии смешанные углеродсодержащие материалы находятся в количестве 173 кг/т готовой продукции, а в газообразном состоянии – 1331 кг/т. Это карбиды кремния, кальция, железа, вольфрама, антрацит содержащие материалы, коксовая мелочь, коксовый орешек, окислы углерода и др. Большинство из них может быть использовано в качестве науглероживателя, коксозамениителя, вспенивателя шлака и металла при достаточном их обогащении, а также в качестве самостоятельного компонента в других технологиях, в частности, для получения ацетилена. Особая статья отходов углеродсодержащих компонентов это газообразные отходы, в которых содержится более 96% исходного углерода, принимающего участие в металлургических технологиях в виде потерь. Из указанного количества углеродсодержащего материала чистый углерод составляет менее 6%. Условием товарности этих отходов должно быть содержание углерода до 96%, чего традиционные металлургические переделы не дают. Например, актуальность коксозамениителя в качестве материала из металлургических отходов подтверждается уже давно. Вопрос стоит в его получении экономным способом. Технологически правильным должно быть такое производство, которое позволяло бы получать как сопутствующий продукт - обогащенный материал с необходимым содержанием углерода - до 99% в процессе реализации основной технологии. Тем более что существующие технологии переработки подобных материалов имеют высокотемпературную технологическую основу, характерную для металлургии. Высокотемпературные технологии в металлургии могут давать в качестве попутного продукта выделяемые карбиды, которые представляют товарную ценность для абразивной промышленности. Пока таких технологий не существует.

Необходимо иметь представление о том, что весь этот углерод систематизирован в некоторые материалопотоки. Совокупность преобразований в модели $G(G^o, G^i, A(\alpha_i))$ (см. рис. 1) можно представить, как многофакторное отображение обмена материалопотоками $E_{(G^i, C)}$, геометрическая интерпретация которого на некотором конусе $(e_+^n)^m$ дает представление об изменении состояния этих потоков в полном соответствии с указанными функциями (рис. 2). Здесь: $m = |G^o|$, n - натуральное число, ранжирующее матрицу $A^{i-1, j}$ и отвечающее указанным выше условиям; $x^i(\alpha^{i-1, i, k})$ - весовая функция материального потока, принимающего участие в G^i -трансформациях на данном этапе производственного процесса и являющаяся радиусом основания конуса. В результате, на следующем уровне производственного процесса имеем измененный материальный поток $x^{i+1}(\alpha^{i, i+1, k}) = G^{i-1, i} x^i(\alpha^{i-1, i, k})$. Структурные составляющие каждого вектора обозначим через $y^{i-k, i} \geq 0$, так, что $x^i = \sum_{k \in G^o} y^{i-k, i}$, где $k = 1, 1, m-1$. Для каждой из вершин из множества $k \in G^o$ вычислим вектор $z^k = \sum_{i=1}^m G^{i-k, i} y^{i-k, i}$. В результате получаем

новое множество $Z = (z^1, z^2, \dots, z^k, \dots, z^{m-1})$. Присвоим для него ту часть векторов z^k , которые могут быть получены данным алгоритмом. Таким образом, считаем многофакторным отображением на графе материалопотоков, участвующих в обмене такой из них, что

$$E_{(G',C)}(X) = \left\{ \begin{array}{l} Z = (z^1, \dots, z^k, \dots, z^{m-1}) : z^k = \sum_{i=1}^m G^{i-k,i} y^{i-k,i}; y^{i-k,i} \geq 0; \\ \forall (i-k, i) \in G'; x^i = \sum_{k \in G^0} y^{i-k,i}; i = 1, 1, m \end{array} \right\}. \quad (1)$$

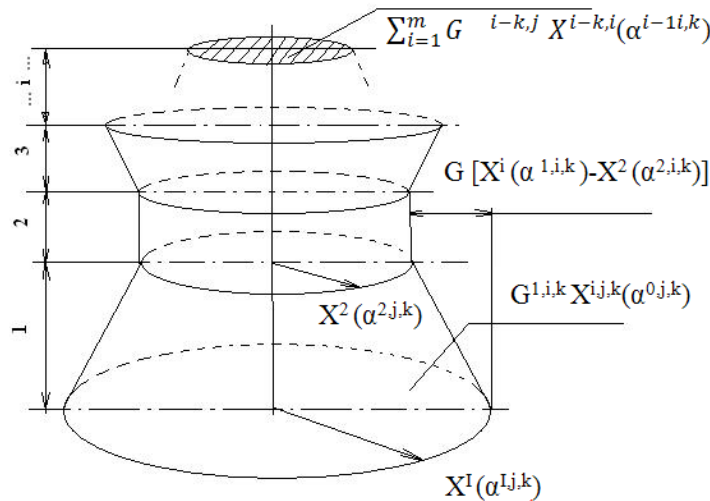


Рис. 2 – Конус отображения для продуцирования углеродсодержащих компонентов в металлургических переделах: 1 – аглодоменном; 2 – конвертерном; 3 – мартеновском

Описанную процедуру мы рассматриваем, как обмен материалопотоками между последовательными вершинами графа, осуществляемый по дугам орграфа и сопровождаемый G' – трансформацией обмениваемых материалов. Поэтому многофакторное отображение $E_{(G',C)}(X)$ называется отображением обмена в математической модели (1).

Нас может интересовать вершина такого конуса, как отображение той части материалопотока, которой следует присвоить свойство минимального необратимого отхода по углероду, который будет характерен для рассматриваемых технологий. Естественный вопрос относится к его величине. Иначе, к минимуму отходообразования в системе углеродсодержащих материалов.

Расчетные данные, полученные по методике [1] (см. рис. 2), свидетельствуют о том, что минимально возможный предел выхода углерода в металлургических переделах не может превышать 2,14% от всего его количества, вносимого сырьевыми материалами. Реально эта цифра выходит за эти пределы более чем в два раза? Это говорит о невысокой усвояемости к такому энергетическому компоненту, каким является технологический углерод в металлургических переделах. По крайней мере, неполное сжигание углерода относится к таким главным переделам, как аглодоменный, мартеновский. В меньшей степени это относится к конвертерному способу.

Этот результат в эмпирическом изложении известен металлургам [2-6]. Тем не менее, он всегда рассматривался с точки зрения совершенствования металлургических технологий. Мы представляем аналогичный результат уже с точки зрения создания малоотходных технологий. А это уже более сложная для инжиниринга задача. Попробуем рассмотреть ее с позиций термодинамической устойчивости таких систем.

В работе [1] показано, что многообразие термодинамических сил, принимающих участие в преобразовании материальных потоков в рамках производственной системы, направлено не только на преобразование избранных компонентов в полезную продукцию. Структура этих сил

и энергий предусматривает преобразование всей номенклатуры компонентов сырья, как в полезную продукцию, так и в отходы. В термодинамическом плане получение необходимой товарной продукции, в данном случае, чугуна, стали, проката, связано с исходным сильно неравновесным состоянием самой системы с заранее задаваемым результатом и минимумом затрат. И это было бы осуществимо, если бы часть энергии и материалов в данной системе не уходило на "получение" некоторого отхода, в данном случае, газов: монооксида и диоксида углерода, углерода в составе окалины, золы, шламов и др., переводя тем самым систему в более равновесное состояние. И чем более весомой является отходная составляющая этого производства, тем более равновесной становится система в целом. Поскольку задача любой термодинамической системы - максимально уйти от состояния неравновесности, это условие полностью совпадает с требованием системы к минимальному отходообразованию. Условием последнего является соотношение $\sigma[\delta Z] = 0$, при котором избыточная энтропия не увеличивается. Как следствие можно сделать вывод, следующий прямо из известной S-теоремы Ю. Л. Климонтовича о соответствии более организованной системы получению более качественного результата, а именно, уменьшению отходообразования. Тем самым изначально систему переводят в еще более неравновесное исходное состояние.

Рассмотрим в совокупности функцию развития производной системы как $F(x) = f(x) + \varphi(x)$, где слагаемое $f(x)$ соответствует наработке полезного вещества («прибыли», по И. Пригожину [7]), а $-\varphi(x)$ - функция, соответствующая оттоку вещества из системы (отходу). Каждая из составляющих может быть положительной или равной нулю. Для такой зависимости справедливо отношение $\frac{dx}{dt} = F(x)$. При условии $f(x) = -\varphi(x)$ точки пересечения

этих двух графиков должны соответствовать стационарным состояниям системы. Если такая стационарность определена линейными зависимостями $f(x)$ и $-\varphi(x)$, то система имеет только одно устойчивое состояние в точке пересечения этих функций. Иначе следует говорить о неоднозначной стационарности системы. В последнем случае возможно четыре варианта устойчивости стационарного состояния системы. В первом случае (обозначим его S1) равновесная устойчивость сохраняется только при существовании относительно отрицательных флуктуаций по графикам $f(x)$ и $-\varphi(x)$. Во втором случае (S2) сохранение равновесной устойчивости обеспечивается как относительно положительных, так и относительно отрицательных флуктуаций. В третьем случае (S3) это касается только относительно положительных флуктуаций, а в четвертом случае (S4) равновесная устойчивость недостижима ни при каких внешних флуктуациях.

Нас в этом случае будет интересовать направление движения производственного процесса либо в сторону продуцирования «прибыли», либо в сторону «оттока» вещества из системы - появления отхода. Очевидно, что это направление будет зависеть от условий равновесия для реакций, протекающих в системе, и будет определять сумму веществ, полезно преобразованных и бесполезно отторгнутых данной системой.

Условием равновесности, для обеспечения теоретического минимума отходов на основании углерода, исходя из феноменологического уравнения Л. Онсагера, является $\delta(\rho e) = \delta P_{ij} \frac{v_{ij}}{v_i}$, где δP_{ij} - бесконечно малое приращение тензора давления в направлении приложения силы ij ; $\delta(\rho e)$ - бесконечно малое приращение источника плотности энергии на единицу массы в направлении вектора i . Упомянутое слагаемое $f(x)$ должно соответствовать получению полезного продукта в виде стали с относительно низким содержанием углерода, а $-\varphi(x)$ - получению отходов в виде оксидов углерода и карбидов с газами и шлаками соответственно. Такая зависимость для конвертерного процесса описана в литературе [8]. Эта функция содержит как продуктивную составляющую, так и ту ее часть, которая отторгается в виде потерь или отходов. Изобразим продуктивную часть, а именно жидкий металл, со скоростью выжигания углерода в виде графика 1 (рис. 3) в некоторой области исходных данных [8]. Углерод в конвертерной плавке изначально содержится в сырьевом материале – чугуне и ломе. В первом его больше (2,2-4,3%), во

втором – меньше (до 0,3%). Сама идеология кислородно-конвертерной плавки состоит в максимальном (по технологии) «выжигании» углерода по всему объему из чугуна с помощью кислородного дутья и доведении состава металла до содержания в нем углерода в пределах 0,1-0,6% в зависимости от марки стали. При этом остаточный углерод вместе с кислородсодержащими элементами распределяется между газовой и жидкой фазами и теряется. Большая часть углерода вместе с отходящими газами в виде окислов удаляется из сталеплавильного агрегата. Определенная доля вместе с мелкими капельками металла и шлака выносятся из конвертера. Очевидно, что обе функции: и $f(x)$, и $-\varphi(x)$ - являются нелинейными. Поэтому понятно, что их пересечение с кривой 1 при различных режимах ведения плавки дает полное многообразие вариантов, при которых достигается термодинамическая равновесность между углеродсодержащими материалами в полезной продукции и в продуктах отторжения.

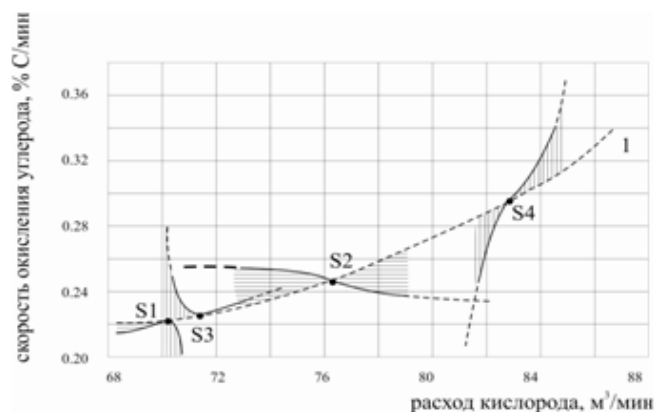


Рис. 3 – Область устойчивости функции $F(x)$ для технологии обезуглероживания конвертерной стали: 1 – скорость окисления углерода в металле

Сразу отметим, что область на графике, соответствующая окрестностям точки S2, относится к стационарно устойчивому, равновесному состоянию, при котором любые изменения расхода кислорода, направленного в зону реакции, не дают сколь-нибудь существенного увеличения скорости окисления углерода в зоне основной реакции. Можно говорить, что в области точки S2 имеет место состояние, при котором $f(x) = \text{const}$ и $\varphi(x) = \text{const}$. На рис. 3 это области с горизонтальной штриховкой.

И наоборот, состояние системы в области точки S4 очень мало соответствует состоянию устойчивости и равновесия. Даже относительно небольшие изменения расхода кислорода в зоне горения приводят к существенным изменениям в скорости сжигания углерода. При этом функция развития системы существенно зависит от расхода основных компонентов реакции и далека от стационарности. Эти области отмечены вертикальной штриховкой.

И, наконец, в окрестностях точек S1 и S3 можно наблюдать устойчивые равновесные состояния, относящиеся к расходной части $\varphi(x)$ и только доходной части $f(x)$ системы соответственно (горизонтальная штриховка на рис.3). Две другие ветви графиков в окрестностях точек S1 и S3 дают явно неравновесные и неустойчивые соотношения между доходной и отходной частями вещества, в данном случае углеродсодержащих компонентов в металле $-f(x)$, шлаке и газовой фазе $-\varphi(x)$.

Выводы

Суть полученных результатов состоит в том, что отдельный компонент сырьевой базы рассматривается в равной степени и в готовой продукции, и в отходах. То есть в совокупности тех технологий, которые отвечают за получения готового продукта и тех из них, которые отвечает за «получение» отхода. Подчеркивая тем самым равнозначность этих параллельных процессов в любой производственной системе. Аналогичным образом можно относиться к технологии науглероживания металла в доменной плавке.

Дальнейшим шагом в развитии предлагаемой методологии должны являться такие под-

ходы, которые не разделяли бы эти параллельные процессы, делая их равнозначными в любой технологии. Тем самым наука и производство, культивируя эти методологические принципы, смогли бы вплотную подойти к реальному (не интуитивному) решению проблемы минимизации отходов в источнике появления. Это те принципы, те технологии, от которых человечество отказалось еще на заре современных технологий. Такие методологии могли бы резко изменить наш технологический мир в сторону его объективной безотходности.

Список использованных источников:

1. Волошин В.С. Природа отходообразования / В.С. Волошин. – Мариуполь : Рената, 2007. – 666 с.
2. Харлашин П.С. Metallurgy : учебник для ВУЗов / П.С. Харлашин, В.С. Волошин. – Донецк : Норд-пресс, 2004. – 723 с.
3. Явойский А.В. Научные основы современных сталеплавильных процессов / А.В. Явойский, П.С. Харлашин, В.С. Волошин. – Мариуполь, 2003. – 276 с.
4. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса / В.П. Тарасов. – М. : Metallurgy, 1982. – 224 с.
5. Чернов Д.К. Избранные труды по металлургии и металловедению. Классики науки / Д.К. Чернов. – М. : Наука, 1983. – 445 с.
6. Амелинг Д. Эффективное использование ресурсов хороший аргумент для стали / Д. Амелинг, Эндельманн // Черные металлы. – 2008. – №1. – С. 73-81.
7. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин [и др.]. – М. : КомКнига, 2005. – 296 с.
8. Явойский В.И. Metallurgy of steel / В.И. Явойский, Г.Н. Ойкс. – М. : Metallurgy, 1973. – 816 с.

Bibliography:

1. Voloshin V.S. Nature of formation of wastes / V.S. Voloshin. – Mariupol : Renata, 2007. – 666 p. (Rus.)
2. Harlasin P.S. Metallurgy : textbook for institutions / P.S. Harlashin, V.S. Voloshin. – Donetsk : Nord-press, 2004. – 723 pp. (Rus.)
3. Yavoyskiy A.V. Scientific bases of modern steel-smelting processes / A.V. Yavoyskiy, P.S. Harlashin, V.S. Voloshin. – Mariupol, 2003. – 276 p. (Rus.)
4. Tarasov V.P. Gas dynamics of domain process / V.P. Tarasov. – M. : Metallurgiya, 1982. – 224 p. (Rus.)
5. Chernov D.K. Select labours on metallurgy and physical metallurgy. Science classics / D.K. Chernov. – M. : Nauka, 1983. – 445 p. (Rus.)
6. Ameling D. Effective use of resources good argument for steel / D. Ameling, Edelmann // Black metals. – 2008. – №1. – P. 73-81. (Rus.)
7. Order from chaos. New dialogue of man with nature / I.P Prigogin [and others]. – M. : KomKniga, 2005. – 296 p. (Rus.)
8. Yavoyskiy V.I. Metallurgy of steel / V.I. Yavoyskiy, G.N. Oyks. – M. : Metallurgiya, 1973. – 816 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Кухарь
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 23.02.2015