УДК 330.131.52

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КРУГООБОРОТА МЕТАЛЛА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

<sup>1</sup>Графов А.В., <sup>2</sup>Аврашков Л.Я., <sup>2</sup>Графова Г.Ф., <sup>2</sup>Шахватова С.А.

 $^{1}$ ФГБОУ ВПО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Липецк, e-mail: grafav@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Липецк, e-mail: grafova gf@mail.ru

В статье исследуется процесс кругооборота металла в металлургическом производстве. Теоретический аспект исследования представлен комплексом экономико-математических моделей, описывающих распределение металла между готовой продукцией, технологическими отходами и безвозвратными потерями по основным технологическим переделам отрасли черной металлургии – агломерационному производству, доменному, сталеплавильному, производству горячего и холодного проката. Показано, что базовой позицией формирования кругооборота металла является процесс регенерации различных технологических переделов при неограниченном количестве многократно повторяющихся производственных циклов. Расчетами подтверждено, что реализация процесса регенерации отходов при современном уровне техники и технологии отрасли черной металлургии позволяет из каждой тонны металлургического сырья дополнительно получать свыше 180 кг конечной продукции в виде холодного проката, что свидетельствует о целесообразности и необходимости полного использования вторичного металлургического сырья для успешного развития черной металлургии. Показана и негативная сторона процесса реализации – необходимость создания соответствующих производственных мощностей для подготовки и использования всех образующихся металлоотходов. Обосновывается вывод о чрезвычайной значимости кругооборота металла как главного фактора экономии первичных материальных ресурсов для металлургического производства.

Ключевые слова: кругооборот металла, металлоемкость продукции, коэффициент выхода годной продукции, отходов и безвозвратных потерь металла, регенерация отходов

### THEORETICAL ECONOMIKS ASPECTS OF METAL CIRCULATION AND METAL CAPACITY PRODUCTS IN FERROUS METALLURGY

<sup>1</sup>Grafov A.V., <sup>2</sup>Avrashkov L.Ya., <sup>2</sup>Grafova G.F., <sup>2</sup>Shakhvatova S.A.

<sup>1</sup>Financial university at Government of Russian Federation, Lipetsk, e-mail: grafav@mail.ru; <sup>2</sup>The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Lipetsk, e-mail: grafova gf@mail.ru

The article explores the process of circulation of metal in steel production. The theoretical aspect of the study is represented by the complex economic and mathematical models describing the distribution of metal between the finished products, technological waste and deadweight losses for the main production stages steel industry – sinter plant, blast furnace, steel, production of hot and cold rolling. It is shown that the basic position forming metal circulation is the recycling of various technological processes with an unlimited number of repetitive production cycles. Calculations confirm that the implementation of the regeneration process waste in the art and technology of steel industry allows each ton of metallurgical raw materials to receive more than 180 kg of the final product as cold rolled steel, which indicates the feasibility and the need to make full use of secondary metallurgical raw materials for the successful development of iron and steel industry. The article also shows a negative side of the process of implementation – the need for the establishment of appropriate production inductional for the preparation and use of all formed of metal. The conclusion of the extreme importance of the circulation of the metal as the main factor of primary material resources for the metallurgical industry.

Keywords: metal circulation, metal capacity of production, coefficient of an exit of suitable production, waste and irrevocable losses of metal, regeneration of waste

В общем виде кругооборот металла представляет собой технологический и экономический процесс, в результате которого металл, однажды вступивший в производство, циклически многократно возобновляет свое обращение. Кругооборот металла в металлургическом производстве на комбинатах с полным производственным циклом следует дифференцировать по основным технологиче-

ским переделам как агломерационное, доменное, сталеплавильное производство; производство горячекатаного проката и производство холоднокатаного проката. Основой для анализа кругооборота металла на отдельных стадиях его производства и использования служит баланс металла. Баланс металла на первом технологическом переделе — производстве агломерата — формируется данными табл. 1.

Таблица 1

Баланс металла в агломерационном производстве

Показатели	T/T	%
А. Задано в производстве		
I. Сырье и основные материалы		
1. Концентрат железорудный	0,958	86,0
2. Отсев агломерата (возвратные отходы)	0,100	8,9
3. Прочее сырье (окалина, шлам, пыль колошниковая)	0,049	4,4
Итого сырья	1,107	99,3
II. Добавочные материалы	0,007	0,7
Итого задано (I + II)	1,114	100,0
Б. Получено		
1. Агломерат офлюсованный	1,000	89,8
2. Отходы (отсев агломерата)	0,100	8,9
3. Безвозвратные потери металла	0,014	1,3
Итого получено	1,114	100,0

Баланс металла в доменном производстве

Таблица 2

Показатели	T/T	%
А. Задано в производстве		
I. Сырье и основные материалы		
1. Агломерат офлюсованный	0,858	84,6
2. Окатыши железорудные офлюсованные	0,144	14,2
3. Руда железная (концентрат)	0,001	0,1
Итого сырья	1,003	98,9
II. Топливо и флюсы	0,011	1,1
Итого задано (I + II)	1,014	100,0
Б. Получено		
1. Чугун	1,000	98,7
2. Отходы (пыль колошниковая)	0,004	0,4
3. Безвозвратные потери металла (со шлаком и угаром)	0,010	0,9
Итого получено	1,014	100,0

Как видно из данных табл. 1, выход годной продукции — агломерата находится на уровне 90%, около 9% составляют возвратные отходы (мелкая фракция агломерата) и свыше 1% металла безвозвратно теряется (угар металла) — выносится в атмосферу с дымовыми газами.

Офлюсованный агломерат является основным видом сырья для производства чугуна в доменном переделе (табл. 2).

Основным видом оборотных отходов в доменном производстве является колошниковая железорудная пыль. Другим видом отходов доменного производства является скрап, состоящий из чугуна, остающегося в выпускных желобах и ковшах при его разливке.

Жидкий чугун из доменных печей поступает в конверторное (или электросталеплавильное) производство, готовой продукцией которого являются стальные слитки (слябы или блюмы). Сталеплавильное производство характеризуется относительно невысоким выходом годной продукции (86,6%) и значительными безвозвратными потерями металла (табл. 3).

Конвертерный процесс сопровождается интенсивным окислением металла и формированием шлака с высокой концентрацией окислов железа. Потери стали со шлаком — основная часть безвозвратных потерь металла. Кроме того, часть металла угорает, т.е. выносится в атмосферу с дымовыми газами.

Стальные слитки, полученные на машинах непрерывного литья заготовок, из сталеплавильного производства поступают в технологический передел по производству горячекатаного проката (табл. 4).

В прокатном производстве посредством обработки слябов давлением формируется готовая продукция — горячекатаный подкат — в виде листов различных форм и размеров. Получаемые при этом металлоотходы образуются главным образом в процессе механической обработки и представляют собой обрезь горячекатаного листа. Горячекатаный подкат поступает в завершающий технологический предел — производство холоднокатаного проката.

 Таблица 3

 Баланс металла в конвертерном производстве стали

Показатели	T/T	%
А. Задано в производстве		
1. Чугун передельный	0,908	78,7
2. Металлолом оборотный (собственный)	0,094	8,1
3. Металлолом покупной (товарный)	0,139	12,0
4. Ферросплавы	0,014	1,2
Итого задано	1,155	100,0
Б. Получено		ŕ
1. Стальные слитки	1,000	86,6
2. Отходы (обрезь, скрап, брак)	0,034	3,0
3. Безвозвратные потери металла (со шлаком и угаром)	0,121	10,4
Итого получено	1,155	100,0

 Таблица 4

 Баланс металла в производстве горячего проката

Показатели	T/T	%
А. Задано в производство		
1. Стальные слитки – слябы	1,061	100,0
Б. Получено		
1. Горячекатаный лист	1,00	94,3
2. Отходы (обрезь, брак)	0,046	4,3
3. Безвозвратные потери металла (окалина и сварочный шлак)	0,015	1,4
Итого получено	1.061	100.0

# Таблица 5 Баланс металла в производстве холоднокатаного проката

Показатели	T/T	%
А. Задано в производстве 1. Подкат горячекатаный	1.091	100.0
Б. Получено	,,,,,	
1. Лист холоднокатаный 2. Отходы (обрезь, брак)	1,000 0,085	91,7 7,8
3. Безвозвратные потери металла (в процессе травления)	0,006	0,5
Итого получено	1,091	100,0

 Таблица 6

 Показатели металлоемкости продукции отдельных технологических переделов металлургического производства без учета процесса регенерации отходов

Технологический	Коэффиі выхода го продук	одной	Коэффил перехода м в отхо	іеталла	Коэффициент безвозвратных потерь металла		Итого расход металла	
передел	условное обозн.	доли ед.	условное обозн.	доли ед.	условное обозн.	доли ед.	условное обозн.	доли ед.
Агломерационное производство	$a_1$	0,898	$b_1$	0,089	$c_{_1}$	0,013	$a_1 + b_1 + c_1$	1,00
Доменное производ- ство	$a_2$	0,987	$b_2$	0,004	$c_2$	0,009	$a_2 + b_2 + c_2$	1,00
Конвертерное производство	$a_3$	0,866	$b_3$	0,030	$c_3$	0,104	$a_3 + b_3 + c_3$	1,00
Производство горячего проката	$a_4$	0,943	$b_4$	0,043	$C_4$	0,014	$a_4 + b_4 + c_4$	1,00
Производство холодного проката	$a_{\scriptscriptstyle 5}$	0,917	$b_{\scriptscriptstyle 5}$	0,078	$c_{\scriptscriptstyle 5}$	0,005	$a_5 + b_5 + c_5$	1,00
Сквозное распределение металла	а	0,664	ь	0,212	С	0,124	a+b+c	1,00

Баланс металла на этой стадии металлургического цикла представлен в табл. 5.

Основная масса готовой продукции в этом технологическом переделе формируется в виде листа различных марок стали. Отходы на этом переделе образуются в виде обрези холоднокатаного металла, и они используются в сталеплавильном переделе.

Цифровая информация табл. 1–5 позволяет сформировать в обобщенном виде распределение металла (металлоемкость продукции) в металлургическом производстве.

Ниже представлены алгоритм и результаты расчетов (табл. 6) сквозного распределения металла при отсутствии процесса регенерации отходов.

1. Сквозной коэффициент выхода годной продукции

$$a = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot a_4 \cdot a_5 = 0.848 \cdot 0.897 \cdot 0.866 \cdot 0.943 \cdot 0.917 = 0.664, \tag{1}$$

где  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$ ,  $a_5$  — коэффициенты выхода годной продукции по соответствующим технологическим переделам.

2. Сквозной коэффициент перехода металла в отходы

$$b = b_5 + b_4 \cdot a_5 + b_3 \cdot a_5 \cdot a_4 + b_2 \cdot a_5 \cdot a_4 \cdot a_3 + b_2 \cdot a_5 \cdot a_4 \cdot a_3 \cdot a_2 = 0,078 + 0,143 \cdot 0,917 + 0,030 \cdot 0,917 \cdot 0,943 + 0,004 \cdot 0,917 \cdot 0,943 \cdot 0,886 + 0,089 \cdot 0,917 \cdot 0,943 \cdot 0,866 \cdot 0,987 = 0,212, (2)$$

где  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$ ,  $b_5$  — коэффициенты перехода металла в отходы по соответствующим технологическим переделам.

3. Сквозной коэффициент безвозвратных потерь металла

$$c = c_5 + c_4 \cdot a_5 + c_3 \cdot a_5 \cdot a_4 + c_2 \cdot a_5 \cdot a_4 \cdot a_3 + c_1 \cdot a_5 \cdot a_4 \cdot a_3 \cdot a_2 =$$

$$= 0,005 + 0,014 \cdot 0,917 + 0,104 \cdot 0,917 \cdot 0,943 + 0,009 \cdot 0,943 \cdot 0,866 +$$

$$+ 0,013 \cdot 0,917 \cdot 0,943 \cdot 0,866 \cdot 0,987 = 0,124$$
(3)

где  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$ ,  $c_5$  — коэффициенты безвозвратных потерь металла по соответствующим технологическим переделам.

**Таблица 7** Распределение металла в процессе кругооборота возвратных отходов агломерационного  $(a_1; b_1; c_1)$  и сталеплавильного  $(a_3; b_3; c_3)$  переделов

	Коэффициенты, доли единицы					
Циклы	Выход годного	Выход годного Выход отходов		Итого		
1	<i>a</i> <sub>1,3</sub>	$b_{1,3}$	c <sub>1,3</sub>	1		
2	$b_{1,3} \cdot a_{1,3}$	$b_{1,3}^2$	$b_{_{1,3}} \cdot c_{_{1,3}}$	b <sub>1,3</sub>		
3	$b_{1,3}^2 \cdot a_{1,3}$	$b_{1,3}^3$	$b_{1,3}^2 \cdot c_{1,3}$	$b_{1,3}^2$		
• • •						
n	$b_{1,3}^{n-1}\cdot a_{1,3}$	$b_{1,3}^n$	$b_{{\scriptscriptstyle 1,3}}^{{\scriptscriptstyle n-1}} \cdot c_{{\scriptscriptstyle 1,3}}$	$b_{1,3}^{n-1}$		

Таким образом, из общего количества металла в железорудном концентрате, который поступает на металлургический комбинат в качестве основного сырья, в конечную готовую продукцию — холоднокатаный прокат — переходит всего лишь две трети (0,664), а одна треть металла переходит в отходы и безвозвратные потери. Представленное выше распределение металла отражает единичный цикл производства, при котором не учтены возможность и целесообразность регенера-

ции металла, находящегося в отходах различных технологических переделов. В реальной практике производственной деятельности предприятий металлургического комплекса происходит кругооборот металла и имеют место два варианта регенерации отходов:

I. Отходы используются в том же технологическом переделе, где они образуются. Такие отходы относятся к категории собственных возвратных: это отходы агломерационного и сталеплавильного производств. II. Отходы формируются в одном, а используются в другом технологическом пределе. К ним следует отнести отходы доменного производства (колошниковая пыль), которые используются в агломерационном переделе, и отходы при производстве горячего и холодного проката (обрезь и брак), которые используются в сталеплавильном производстве.

Экономико-математическая модель кругооборота металла по первому варианту может быть представлена в следующем виде (табл. 7).

При неограниченном количестве циклов  $(n \to \infty)$  весь металл, содержащийся в одной единице железорудного концентрата (первый технологический передел) и в единице шихты сталеплавильного производства (третий технологический передел), будет стремиться к распределению только между готовой продукцией  $(a_{1,3})$  и безвозвратными потерями  $(c_{1,3})$  за счет соответствующего постепенного уменьшения величины коэффициента возвратных отходов  $(b_{1,3})$  до нулевого значения.

На основании информации табл. 7 в соответствии с теорией переделов формула суммарного коэффициента перехода металла в готовую продукцию при  $n \to \infty$  представляется в следующем виде:

численные значения уровня металлоемкости продукции можно представить в следующем виде:

Агломерационное производство – первый технологический передел:

суммарный коэффициент выхода годной продукции:

$$\sum a_1 = \frac{a_1}{1 - b_{1,3}} = \frac{0.898}{1 - 0.089} = 0.986;$$

– суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла:

$$\sum c_1 = \frac{c_1}{1 - b_{1.3}} = \frac{0.013}{1 - 0.089} = 0.014;$$

Итого

$$\sum a_1 + \sum c_1 = 0.986 + 0.014 = 1.000.$$

Кроме того, суммарный коэффициент выхода возвратных отходов, прошедших процесс регенерации:

$$\sum b_1 = \frac{b_1}{1 - b_1} = \frac{0.089}{1 - 0.089} = 0.098.$$

Конвертерное производство – третий технологический передел.

суммарный коэффициент выхода годной продукции:

$$\sum a_3 = \frac{a_3}{1 - b_3} = \frac{0,866}{1 - 0,030} = 0,893;$$

$$\sum a_{1,3} = a_{1,3} + b_{1,3} \cdot a_{1,3} + b_{1,3}^{2} \cdot a_{1,3} + b_{1,3}^{3} \cdot a_{1,3} + \dots + b_{1,3}^{n-1} \cdot a_{1,3} =$$

$$= a_{1,3} \left( 1 + b_{1,3} + b_{1,3}^{2} + b_{1,3}^{3} + \dots + b_{1,3}^{n-1} \right) =$$

$$= \frac{a_{1,3} \left( 1 + b_{1,3} + b_{1,3}^{2} + b_{1,3}^{3} + \dots b_{1,3}^{n-1} \right) \cdot \left( 1 - b_{1,3} \right)}{1 - b_{1,3}} =$$

$$= \frac{a_{1,3} \left( 1 - b_{1,3} + b_{1,3} - b_{1,3}^{2} + b_{1,3}^{2} - b_{1,3}^{3} + b_{b_{1,3}^{3}} - b_{1,3}^{n-1} + b_{1,3}^{n-1} \right)}{1 - b_{1,3}} = \frac{a_{1,3}}{1 - b_{1,3}}.$$

$$(4)$$

Аналогично, суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла составит

$$\sum c_{1,3} = \frac{c_{1,3}}{1 - b_{1,3}},\tag{5}$$

а суммарный коэффициент возвратных отходов, которые проходят процесс регенерации, составит

$$\sum b_{1,3} = \frac{b_{1,3}}{1 - b_{1,3}}.$$
 (6)

В соответствии с предложенными формулами и исходной информацией табл. 7

суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла:

$$\sum c_3 = \frac{c_3}{1-h} = \frac{0,104}{1-0.030} = 0,107.$$

Итого:

$$\sum a_3 + \sum c_3 = 0.893 + 0.107 = 1.000.$$

Кроме того, суммарный коэффициент выхода отходов, прошедших процесс регенерации:

$$\sum b_3 = 1 - \frac{b_3}{1 - b_3} = \frac{0,030}{1 - 0,030} = 0,031.$$

Таблица 8
Распределение металла в процессе кругооборота отходов доменного производства
при их использовании в агломерационном переделе

Циклы	Коэффициенты, доли единицы						
циклы	Выход годного	Выход отходов	Безвозвратные потери	Итого			
1	$a_2$	$a_2$ $b_2$ $c_2$		1			
2	$a_2 \cdot b_2 \cdot \sum a_1$	$b_2^2 \cdot \sum a_1$	$c_2 \cdot b_2 \cdot \sum a_1$	$b_2 \cdot \sum a_1$			
3	$a_2 \cdot b_2^2 \cdot \sum a_1$	$b_2^3 \cdot \sum a_1$	$c_2 \cdot b_2^2 \cdot \sum a_1$	$b_2^2 \cdot \sum a_1$			
4	$a_2 \cdot b_2^3 \cdot \sum a_1$	$b_2^4 \cdot \sum a_1$	$c_2 \cdot b_2^3 \cdot \sum a_1$	$b_2^3 \cdot \sum a_1$			
	••••						
n	$a_2 \cdot b_2^{n-1} \cdot \sum a_1$	$b_2^n \cdot \sum a_1$	$c_2 \cdot b_2^{n-1} \cdot \sum a_1$	$b_2^{n-1} \cdot \sum a_1$			

Экономико-математическая модель кругооборота металла по второму варианту относительно отходов доменного производства может быть выражена следующими циклами (табл. 8).

После соответствующих математических преобразований расчетная формула суммарного коэффициента выхода годного в доменном переделе представляется следующим образом:

$$\sum a_2 = \frac{a_2}{1 - b_2 \cdot \sum a_1} = \frac{0.987}{1 - 0.004 \cdot 0.986} = 0.991. \tag{7}$$

Суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла представляет собой сумму двух частей:

$$\sum c_{2+1} = \sum c_2 + \sum c_1, \tag{8}$$

где  $\sum c_1$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла в доменном производстве, доли единиц;  $\sum c_2$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла при переработке отходов доменного производства в агломерационном производстве.

$$\sum c_{2,1} = \sum b_2 \cdot \sum c_1, \tag{9}$$

где  $\sum b_2$  — суммарный коэффициент выхода отходов доменного производства, прошедших регенерацию в агломерационном переделе.

$$\sum b_2 = \frac{b_2}{1 - b_2 \cdot \sum a_1} = \frac{0,004}{1 - 0,004 \cdot 0,986} = 0,004.$$

Следовательно:

$$\sum c_{2,1} = 0,004 \cdot 0,014 = 0,00056 \approx 0;$$
$$\sum c_{2+1} = 0,009 + 0 = 0,009.$$

Суммарное количество металла, перешедшего в состав годной продукции и безвозвратно потерянного при условии регенерации отходов доменного производства, в агломерационном переделе, составит, доли единиц:

ционном переделе, составит, доли единиц: 
$$\sum a_2 + \sum c_{2+1} = 0.991 + 0.009 = 1,000.$$

Формирование модели кругооборота металла при производстве горячего проката при условии регенерации отходов в сталеплавильном переделе (второй вариант) представляется в следующем виде.

В соответствии с информацией табл. 9 и табл. 6 расчетная формула суммарного коэффициента выхода годной продукции может быть представлена:

$$\sum a_4 = \frac{a_4}{1 - b_4 \cdot \sum a_3} = \frac{0.943}{1 - 0.043 \cdot 0.893} = 0.980,$$

 Таблица

 Распределение металла в процессе кругооборота отходов горячекатаного проката

 при их использовании в сталеплавильном переделе

Циклы	Коэффициенты, доли единицы					
циклы	Выход годного	Выход отходов Безвозвратные потери		Итого		
1	$a_{_4}$	$b_4$	$C_4$	1		
2	$a_4 \cdot b_4 \cdot \sum a_3$	$b_4^2 \cdot \sum a_3$	$c_4 \cdot b_4 \cdot \sum a_3$	$b_4 \cdot \sum a_3$		
3	$a_4 \cdot b_4^2 \cdot \sum a_3$	$b_4^3 \cdot \sum a_3$	$c_4 \cdot b_4^2 \cdot \sum a_3$	$b_4^2 \cdot \sum a_3$		
4	$a_4 \cdot b_4^3 \cdot \sum a_3$	$b_4^4 \cdot \sum a_3$	$c_4 \cdot b_4^3 \cdot \sum a_3$	$b_4^3 \cdot \sum a_3$		
•••	••••	•••				
n	$a_4 \cdot b_4^{n-1} \cdot \sum a_3$	$b_4^n \cdot \sum a_3$	$c_4 \cdot b_4^{n-1} \cdot \sum a_3$	$b_4^{n-1} \cdot \sum a_3$		

а суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла определяется двумя направлениями:

$$\sum c_{4+3} = \sum c_4 + \sum c_{4,3},$$

где  $\sum c_4$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла в производстве горячего проката.

$$\sum c_4 = \frac{c_4}{1 - b_4 \cdot \sum a_3} = \frac{0,014}{1 - 0,043 \cdot 0,893} = 0,015;$$

и  $\sum c_{4,3}$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла при регенерации отходов горячего проката в сталеплавильном переделе.

$$\sum c_{4,3} = \sum b_4 \cdot \sum c_3,$$

где  $\sum b_4$  – суммарный коэффициент выхода отходов, прошедших регенерацию в сталеплавильном переделе

$$\sum b_4 = \frac{b_4}{1 - b_4 \cdot \sum a_3} = \frac{0,043}{1 - 0,043 \cdot 0,893} = 0,045.$$

Тогда  $\sum c_{4,3} = 0.045 \cdot 0.107 = 0.005$ , а сумма и сумма металла, поступившего в состав годной продукции и безвозвратных потерь, при условии регенерации отходов горячего проката в сталеплавильном переделе состоит доли единицы:

$$\sum a_4 + \sum c_{4+3} = 0.980 + 0.020 = 1.000.$$

Производство холоднокатаного проката является завершающим (пятым) технологическим переделом для металлургических предприятий полного цикла.

Формирование экономико-математической модели кругооборота металла при производстве холоднокатаного проката при условии регенерации отходов проката в сталеплавильном переделе (второй вариант) отражено в табл. 10 и последующих формулах.

Информация табл. 10 может быть преобразована в следующие формулы и численные значения.

Суммарный коэффициент выхода холоднокатаного проката, доли единицы:

$$\sum a_5 = \frac{a_5}{1 - b_5 \cdot \sum a_4} = \frac{0.917}{1 - 0.078 \cdot 0.980} = 0.993.$$

Суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла формируется тремя технологическими переделами – конвертерным, производством горячего проката, производством холодного проката.

$$\sum c_{5+4} = \sum c_5 + \sum c_{5,4}, \tag{10}$$

где  $\sum c_5$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла в производстве холодного проката.

$$\sum c_5 = \frac{c_5}{1 - b_5 \cdot \sum a_4} = \frac{0,005}{1 - 0,078 \cdot 0,980} = 0,005.$$

И  $\Sigma c_{5,4}$  — суммарный коэффициент безвозвратных потерь металла при регенерации отходов холодного проката через сталеплавильный передел и производство горячего проката.

$$\sum c_{5,4} = \sum b_5 \cdot \sum c_{4+3},\tag{11}$$

где  $\sum b_5$  — суммарный коэффициент выхода отходов холодного проката, который определяется как:

$$\sum b_5 = \frac{b_5}{1 - b_5 \cdot \sum a_4} = \frac{0,078}{1 - 0,078 \cdot 0,980} = 0,084.$$

 Таблица 10

 Распределение металла в процессе кругооборота отходов холоднокатаного проката при их использовании в сталеплавильном переделе

	Коэффициенты, доли единицы					
Циклы	Выходы годного	Выходы годного Выходы отходов Безвозврати терь		итого		
1	$a_{\scriptscriptstyle 5}$	$b_{\scriptscriptstyle 5}$	<i>c</i> <sub>5</sub>	1		
2	$a_5 \cdot b_5 \cdot \sum a_4$	$b_5^2 \cdot \sum a_4$	$c_5 \cdot b_5 \cdot \sum a_4$	$b_5 \cdot \sum a_4$		
3	$a_5 \cdot b_5^2 \cdot \sum a_4$	$b_5^3 \cdot \sum a_4$	$c_5 \cdot b_5^2 \cdot \sum a_4$	$b_5^2 \cdot \sum a_4$		
4	$a_5 \cdot b_5^3 \cdot \sum a_4$	$b_5^4 \cdot \sum a_4$	$c_5 \cdot b_5^3 \cdot \sum a_4$	$b_5^3 \cdot \sum a_4$		
		•••	•••	•••		
n	$a_5 \cdot b_5^{n-1} \cdot \sum a_4$	$b_5^n \cdot \sum a_4$	$c_5 \cdot b_5^n \cdot \sum a_4$	$b_5^{n-1} \cdot \sum a_4$		

Таблица 11 Показатели металлоемкости продукции по технологическим переделам металлургического производства с учетом процесса регенерации отходов

Технологические	Суммарный циент выход продукт	а годной	Суммарный циент безвоз потерь ме	вратных	Итого расход металла	
переделы	условные обозначения	доли единиц	условные обозначения	доли единиц	условные обозначения	доли единиц
Агломерационное производство	$\sum a_1$	0,986	$\sum c_1$	0,014	$\sum a_1 + \sum c_1$	1,000
Доменное производство	$\sum a_2$	0,991	$\sum c_2$	0,009	$\sum a_2 + \sum c_2$	1,000
Конвертерное производ- ство	$\sum a_3$	0,893	$\sum c_3$	0,107	$\sum a_3 + \sum c_3$	1,000
Производство горячего проката	$\sum a_4$	0,980	$\sum c_4$	0,020	$\sum a_4 + \sum c_4$	1,000
Производство холодного проката	$\sum a_5$	0,993	$\sum c_5$	0,007	$\sum a_5 + \sum c_5$	1,000
В целом металлургическое производство	$\sum a$	0,849	$\sum c$	0,151	$\sum a + \sum c$	1,000

Следовательно,

$$\sum c_{5,4} = 0.084 \cdot 0.020 = 0.002,$$

и сумма

$$\sum c_{5+4} = 0,005 + 0,002 = 0,007.$$

В итоге:

$$\sum a_5 + \sum c_{5+4} = 0.993 + 0.007 = 1.000.$$

В целом по металлургическому производству сквозной интегральный коэффициент выхода годной продукции представляется в следующем виде:

$$\sum a_{\text{\tiny MIT}} = \sum a_1 \cdot \sum a_2 \cdot \sum a_3 \cdot \sum a_4 \cdot \sum a_5. \quad (12)$$

Исследование кругооборота металла по отдельным технологическим переделам позволяет дать объективную оценку уровня металлоемкости, а следовательно, и эффективности использования металла, как по отдельным производствам, так и по металлургическому производству в целом (табл. 11).

Следовательно, в процессе кругооборота из каждой тонны металла, содержащегося в составе железорудного концентрата и поступившего в качестве основного вида сырья на металлургический комбинат, дополнительно получается 849—664 = 185 кг конечной продукции в виде холоднокатаного проката.

#### Список литературы

- 1. Аврашков Л. Я.Экономические аспекты развития предпринимательства в сфере ломопереработки // Среднерусский вестник общественных наук. -2012. -№ 2. -C. 180-183.
- 2. Банный Н.П. Технико-экономические расчеты в черной металлургии. М.: Металлургия, 1968.

- 3. ГОСТ 2787 75. Металлы черные вторичные. М.: Изд-во стандартов, 1980.
- 4. Графов А.В. К вопросу об экономической оценке металлоемкости продукции металлургического производства // Предпринимательство. 2010. № 4. С. 142–150.
- 5. Графов А.В. Металлоемкость продукции металлургического производства и оценка эффективности инновационных технологий переработки лома и отходов черных металлов: монография. Воронеж: Изд-во НАУКА-ЮНИПРЕСС, 2011. 93 с.
- Зусман Л.Л. Народохозяйственные проблемы экономии металла. М.: Экономикс, 1986.
- 7. Попов Г.Ф. Ресурсы вторичных черных металлов. М.: Металлургия, 1996.
- 8. Аврашков Л.Я., Графова Г.Ф. Графов А.В., Шахватова С.А. Экономика организаций (фирмы): учебное пособие для магистров. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. С. 264.

### References

- 1. Avrashkov L.Y. Srednerussky Gazette of Social Sciences, 2008, no. 2, pp. 180–18/3.
- 2. Bannyi N.P. *Tehniko-economicheskierschety v cher-noymetallurgii* [Technical and economic calculations in the steel industry]. M.: Metallurgy, 1968.
- 3. GOST 2787–75. *Metallychernyevtorichnye* [Ferrous metals secondary]. Moscow: Publishing house standards, 1980.
  - 4. Grafov A.V. *Entrepreneurship*, 2010, no. 4, pp. 142–150.
- 5. Grafov A.V. Metalloemkost produkcii metallurgicheskogo proizvodstva I ocenka effektivnosti innovacionnyh tehnologiy pererabotki loma I othodov chernyh metallov [Metal consumption of steel products and assessment of the effectiveness of innovative technologies for processing scrap and waste metals]: monograph. Voronezh, Publ SCI-ENCE Yunipress, 2011.
- 6. Zussman L.L. Narodohozyaystvennye problem economii metal [Narodohozyaystvennye problem saving metal]. M.: Economics. 1986.
- 7. Popov G.F. Resursy vtorichnyh chernyh metallov [Resources secondary ferrous metals] M.: Metallurgy, 1996.
- 8. Avrashkov L.Y., Grafova G.F., Grafov A.V., Shakhvatova S.A. *Ekonomika organizacii (firmy)* [Business organizations (firms)]. Textbook for graduate. Moscow. Uniti-Dana, 2014.