

УДК 669.168

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

Павлов А.В.¹, д.т.н., профессор кафедры металлургии стали, новых произведенных технологий
и защиты металлов (pav-gnts@misissauga.ca)

Островский Д.Я.², к.т.н., коммерческий директор (ostrovd@urm-company.com)

Аксенова В.В.¹, аспирант кафедры металлургии стали, новых производственных технологий
и защиты металлов (Pro100_vika@inbox.ru)

Бишенов С.А.¹, соискатель степени к.т.н. (bishenovsa@gmail.com)

¹ **Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

² **ООО НПТК «Объединенная сырьевая компания»**
(107996, Россия, Москва, ул. Гиляровского, д. 57, стр. 1, офис 18)

Аннотация. Развитие ферросплавного производства напрямую зависит от развития сталеплавильной области. Поэтому увеличение выплавки стали неизбежно влечет за собой увеличение объемов производства ферросплавов. За последние 10 лет мировой объем производства стали увеличился примерно на 30 %. В данной статье рассмотрено общее состояние ферросплавного сектора в странах СНГ и, в частности, в Российской Федерации. Перечислены основные потребители (среди российских металлургических предприятий) ферросплавной продукции на внутреннем рынке, а также частично рассмотрена структура производства и потребления в других странах-производителях (Китай, Индия, ЕС, США, Япония). Выявлено, что перепроизводство ферросплавов в странах СНГ составляет около 400 %. Также рассмотрены пути развития ферросплавной области, направленные на снижение вклада в производственную себестоимость рудного сырья, восстановителя и электроэнергии, которое достигается за счет использования более дешевой руды, применения новых типов процессов и агрегатов, разработки других альтернативных видов ферросплавов, заменяющих классические. Это, например, развитие плавки в печах постоянного тока, которая позволяет использовать мелкую неподготовленную хромовую руду в качестве сырья для производства феррохрома взамен дефицитной кусковой в комбинации с мелким дешевым восстановителем (антрацитом). Плавка в кислородном реакторе тоже является перспективной технологией, в основе которой лежит принцип дожига газообразным кислородом выделяющегося в ходе процессов восстановления оксида углерода внутри самого агрегата. Также может получить распространение применение альтернативных видов ферросплавной продукции, таких как кальций углеродистый «КАУР», который заменит карбид кальция в сталеплавильном производстве.

Ключевые слова: ферросплавы, крупнотоннажные ферросплавы, мировой рынок, страны СНГ, ферросилиций, ферромарганец, силикомарганец, феррохром.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-8-600-605

ВВЕДЕНИЕ

Ферросплавы играют значительную роль в получении качественных сталей, которые используются в строительной области и инфраструктуре (52 %), машиностроении (16 %), автомобилестроении (12 %), производстве металлопродукции (10 %), электрического оборудования (3 %), бытовой технике (2 %) и других областях (5 %) [1]. Увеличение объемов выплавки стали неизбежно влечет за собой увеличение производства ферросплавов. В свою очередь, развитие ферросплавной промышленности в основном определяется состоянием сталеплавильного сектора [2 – 4]. Объем выплавки стали в мире достиг 1869,9 млн т в 2019 г. Общий прирост объема производства составил 3,4 % относительно предшествующего года (1808,6 млн т в 2018 г.). Первое место по производству стали занимает Китай с объемом выплавки 996,3 млн т. Россий-

ская Федерация в 2019 г. выплавил 71,6 млн т стали, что означает незначительное снижение производства на 0,6 % относительно 2018 г. (72,0 млн т) [5]. Производство стали в остальных странах СНГ в 2019/2018 гг. составило: Украина 20,8/21,1 млн т (–1,4 %); Казахстан 4,1/4,0 млн т (+2,5 %); Беларусь 2,7/2,5 млн т (+8 %); Узбекистан 625/646 тыс. т (–3,3 %); Молдова 360/497 тыс. т (–27,6 %). Таким образом, общий объем производства стали в странах СНГ составил 100,4 млн т в 2019 г., снизившись на 0,5 % относительно 2018 г. (100,9 млн т) [6].

ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА СТРАН СНГ

Традиционно, основными потребителями ферросплавов в Российской Федерации являются крупные металлургические комбинаты, такие как Новоліпец-

кий металлургический комбинат (НЛМК), ЕВРАЗ, Магнитогорский металлургический комбинат (ММК), Северсталь, Металлоинвест и Мечел. На их долю приходится 90 % реализуемых в стране крупнотоннажных сплавов марганца, кремния и хрома. Оставшиеся 10 % составляют крупные трубные компании: Трубная металлургическая компания (ТМК); Объединенная металлургическая компания (ОМК); Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ) и остальные металлургические предприятия [7]. В общей сложности объем потре-

бления ферросплавов российскими предприятиями в 2018 г. составил 850 тыс. т (табл. 1).

Общий объем производства ферросплавов в странах СНГ на 25 ферросплавных заводах – около 4,8 млн т в 2018 г., а основными странами-производителями являются Россия, Казахстан, Украина и Грузия (см. рисунок). Основными производителями крупнотоннажных ферросплавов в странах СНГ являются промышленные группы ЧЭМК (Российская Федерация), ERG (Республика Казахстан) и Privat (Украина).

Таблица 1

Структура потребления ферросплавов российскими предприятиями

Table 1. Ferroalloys consumption structure of the Russian enterprises

Предприятие	SiMn	FeSi-45/65/75	FeMn78	НС FeCr	НС FeCr	Сумма
ЕВРАЗ	108 000	22 000	9 600	3 600	2 520	145 720
ММК	72 000	24 000	24 000	–	2 520	122 520
Северсталь	36 000	15 600	24 000	480	140	76 220
НЛМК	36 000	24 000	40 000	–	140	100 140
Металлоинвест	48 000	15 600	3 600	12 000	4 200	83 400
Мечел	21600	24 000	30 000	6 000	2 520	84 120
ТМК	24 000	5000	6 000	3600	2 520	41 120
ЧТПЗ	15 600	1 200	840	–	–	17 640
ОМК	8 400	2 500	840	1 680	840	14 260
Другие	70 400	40 100	33 120	12 000	10 000	165 620
Общее	440 000	174 000	172 000	39 360	25 400	850 760



Ферросплавные предприятия в странах СНГ

Ferroalloy enterprises in the CIS countries

Уровень производства ферросплавов в странах СНГ составляет 4,8 млн т, что означает почти четырехкратное превышение над внутренним потреблением – 1,087 млн т (табл. 2). Доля России в общем объеме производства ферросплавов составляет почти 35 % (1,67 млн т). В свою очередь, группа ЧЭМК производит 75 % российских ферросплавов.

В странах Европы, США и Японии картина производства и потребления ферросплавов иная [8 – 10]. В Китае производство и потребление ферросплавной продукции почти сбалансировано – произведено 19 млн т ферросплавов, а использовано внутри страны 18,5 млн т.

Большая часть объема потребления ферросплавов в России приходится на сплавы марганца, из которых 440 тыс. т силикомарганца и 172 тыс. т ферромарганца. Второе место в данном списке занимают ферросплавы кремния с общим объемом потребления 174 тыс. т в 2018 г. Основным индикатором низкого объема производства нержавеющей стали в России является потребление ферросплавов хрома: 39,36 тыс. т и 25,4 тыс. т углеродистого и низкоуглеродистого феррохрома соответственно.

В 2018 г. к структуре ферросплавного производства присоединился Узбекистан. В г. Бекабад ввели в эксплуатацию ферросплавный цех в составе предприятия АО «Узметкомбинат» [11, 12]. Проектная мощность цеха составляет 25 тыс. т ферросплавов: 15 тыс. т ферросилиция и 10 тыс. т ферромарганца. Работа осуществляется на местных кварцитах (месторождение Кокпатас) и импортируемой марганцевой руде. Планируется, что около 30 % (8 тыс. т) ферросплавов будет экспортироваться.

Структура внутреннего потребления стали в Российской Федерации не самая благоприятная для ферросплавного производства. Около 65 % производства приходится на изделия из низколегированных сталей. Кроме того, объем производства нержавеющей стали в РФ в 2019 г. составил 106 тыс. т, т. е. всего 0,15 % общего объема производства стали (56,3 млн т). Между тем, импорт изделий из нержавеющей стали в страну

находится на уровне 380 тыс. т, что в 3,5 раза больше, чем внутреннее производство. Также Россия экспортирует примерно 8 тыс. т нержавеющей стали, что составляет примерно 8 % объема производства. Следовательно, рост производства нержавеющей стали в России может благоприятно сказаться на развитии внутреннего рынка ферросплавов, так как российский рынок кремниевых, марганцевых и, в большей степени, хромовых сплавов может легко покрыть потребность производства. Но согласно статистике International Stainless Steel Forum (ISSF), мировой объем производства нержавеющей стали (в том числе и в странах СНГ) в 2020 г. может достигнуть четырехлетнего минимума приблизительно в 48 млн т, тем самым снизиться почти на 7 % [13]. Это непосредственно повлияет на структуры рынка ферросплавов.

ПУТИ РАЗВИТИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одним из основных перспективных направлений развития ферросплавного производства является снижение себестоимости производства.

В структуре себестоимости при выплавке ферросплавов кремния наибольшую величину имеют расходы на электроэнергию, затраты на руду минимальны. Для ферросплавов хрома и марганца ситуация обратная. Поэтому наибольший интерес со стороны производителей вызывают именно ферросплавы кремния. Структура себестоимости крупнотоннажных ферросплавов представлена в табл. 3.

Классическая структура себестоимости ферросплавов обычно представляет следующую схему: электроэнергия: руда + кокс: прочее = 40 % : 40 % : 20 % для всех видов крупнотоннажных ферросплавов [14]. На данный момент структура себестоимости изменилась для сплавов кремния в сторону увеличения вклада электроэнергии (около 50 %), а для ферросплавов марганца и хрома в сторону увеличения вклада стоимости руды (около 60 %).

Одним из путей повышения конкурентоспособности ферросплавного производства в странах СНГ является

Таблица 2

Производство и потребление ферросплавов в мире в 2018 г.

Table 2. Production and consumption of ferroalloys in the world in 2018

Страна	Производство, т	Потребление, т	Перепроизводство, т	%
СНГ	4 800 000	1 087 000	3 037 000	400
Индия	2 917 000	1 817 000	1 100 000	60
Китай	19 060 000	18 500 000	560 000	3
ЕС	2 158 000	3 796 000	–	–
США	210 000	1 194 000	–	–
Япония	300 000	1 540 000	–	–

Структура себестоимости производства ферросплавов

Table 3. Structure of production cost of the ferroalloys

Статья расходов	Цена, ед	ФС75			МnC			ФХ (углеродистый)		
		расход	сумма	вклад, %	расход	сумма	вклад, %	расход	сумма	вклад, %
Электроэнергия, кВт·ч/т	0,03	8500	255	51	4900	147	18	4300	129	15,1
Кокс, долл/т	200	0,1	20	4	0,25	50	6,1	0,4	80	9,4
Уголь, долл/т	60	0,6	36	7,2	0,3	18	2,2	0,1	6	0,7
Руда	–	2,1	38	7,6	2	511	62,3	1,6	540	63,2
Прочее	–	–	150	30	–	100	12,2	–	100	11,7
Итого	–	–	500	100	–	820	100	–	855	100

снижение вклада в себестоимость руды, восстановителя и электроэнергии, которое достигается за счет использования более дешевого сырья, применения новых типов процессов и агрегатов, разработки других видов ферросплавов, заменяющих классические сплавы.

Таким образом, были введены в эксплуатацию новые ферросилициевые заводы в г. Юрга (Россия) и г. Караганда (Казахстан). Основным нововведением является практически полная замена кокса на уголь и возможность утилизации тепла отходящих газов рудовосстановительной печи [15].

В последнее время получила распространение ферросплавная плавка на постоянном токе [16 – 19]. Такая технология позволяет использовать мелкую неподготовленную хромовую руду взамен дефицитной кусковой руды в комбинации с мелким дешевым восстановителем (антрацитом), что значительно снижает себестоимость ферросплавов хрома. Запущен и практически выведен на проектную мощность плавильный цех № 4 Актюбинского завода ферросплавов (АЗФ), компания «Казхром», использующий инновационные ферросплавные печи постоянного тока мощностью 72 МВА. Данные печи являются самыми мощными ферросплавными печами в мире. Также на АЗФ используется технология экструзионного брикетирования для утилизации хромсодержащих пылей в печах переменного тока [20, 21].

Падение цен на малотоннажные ферросплавы и истощение запасов кондиционных руд привело к полному прекращению в РФ производства ферросплавов никеля из окисленных никелевых руд и сокращению выплавки ферросплавов молибдена [22].

Для возобновления производства необходима разработка и внедрение новых технологий переработки имеющегося рудного сырья. Одна из таких разработок – плавка в кислородном реакторе, предложенная в НИТУ «МИСиС» [23]. В основе этой технологии лежит принцип дожигания газообразным кислородом выделяющегося в ходе процессов восстановления оксида углерода внутри самого агрегата. В результате в разы снижаются

расходы на обеспечение физико-химических процессов энергией.

Все больше получают распространение нетрадиционные виды легирующих материалов, в первую очередь технические карбиды металлов и легкоплавкие композиции на их основе – карбид кремния и карбид кальция. За счет более дешевой технологии производства и сырья единица ведущего элемента стоит меньше, чем в традиционных ферросплавах, а области применения практически одинаковые. Одним из таких новых ферросплавов является кальций углеродистый «КАУР» [24]. Как и карбид кальция, кальций углеродистый производят в электропечах. «КАУР» является гомогенным сплавом карбида кальция CaC_2 с легкоплавким флюсом системы $CaO \cdot Al_2O_3$. Это позволяет повысить степень усвоения раскислителя кислородом стали с одновременным развитием процессов десульфурации и удаления неметаллических включений образующимся жидкоподвижным известково-глиноземистым шлаком. Данный раскислитель обеспечивает разливаемость стали и повышает обрабатываемость. Заменяет алюминий при первичном раскислении в отношении 1:1, а также дорогостоящий силикокальций и кальций металлический при ковшевой обработке.

Выводы

Особенностью ферросплавного производства в странах СНГ является почти четырехкратное превышение выпуска ферросплавов над внутренним потреблением в сталеплавильной сфере. В последние годы также изменилась структура себестоимости кремнистых ферросплавов в сторону увеличения вклада электроэнергии (около 50 %), а для ферросплавов марганца и хрома в сторону увеличения вклада себестоимости руды (около 60 %). Рациональным способом решения проблем в ферросплавном производстве является внедрение новых перспективных технологий, позволяющих снизить себестоимость производимой продукции, а также разработка новых эффективных видов ферросплавов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. World Steel Association. World Steel in Figures 2020. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f7982217-cfde-4fdc-8ba0-795ed807f513/World%2520Steel%2520in%2520Figures%25202020i.pdf> (Accessed 3.06.2020).
2. Жучков В.И., Леонтьев Л.И., Дашевский В.Я. Состояние и развитие металлургии ферросплавов в России // Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершённых фундаментальных исследований и НИОКР: ФЕРРОСПЛАВЫ: Тр. науч.-практич. конф. с междунар. участием, 29 октября – 2 ноября 2018. – Екатеринбург: Альфа Принт, 2018. С. 12 – 20.
3. Романова О.А., Позднякова Е.А. Развитие сырьевой базы ферросплавного производства: новые тенденции и экономические возможности // Экономика региона. 2013. №1 (33). С. 167 – 177.
4. Ford K., Hobbs D., Urquhart R. CIS ferroalloys industry: commercial opportunities, technical challenges and strategic implications // 11th Int. Conference on Innovations in the Ferroalloy Industry, New Delhi, India, February. 2007. P. 18 – 21.
5. World Steel Association. Global crude steel output increases by 3.4% in 2019. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-3.4-in-2019.html> (Accessed 30.01.2020).
6. World Steel Association. Global crude steel production 2019. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:391fbc61-488d-46d1-b611-c9a43224f9b8/2019%2520global%2520crude%2520steel%2520production.pdf> (Accessed 30.01.2020).
7. Ostrovskiy D. Ferroalloys market of Russia and CIS. Available at URL: <https://www.urm-company.ru/upload/iblock/47d/47d138f59f688fda4fdea020b8b7c707.pdf> (Accessed 25.01.2020).
8. Jones A. The market & cost environments for bulk ferroalloys // 11th Int. Conference on Innovations in the Ferroalloy Industry, New Delhi, India, February. 2007. P. 18 – 21.
9. Gregurek D., Peng Zh., Wenzl Chr. etc. Fe Alloys: Production and Metallurgical Aspects: Part II // JOM. 2017. Vol. 69. No. 2. P. 323 – 324.
10. Leont'ev L.I., Smirnov L.A., Zhuchkov V.I. etc. Status and prospects of ferroalloys production in the Russian federation // Metallurgist. 2016. Vol. 59. No. 11. P. 1001 – 1006.
11. Официальный сайт АО «Узметкомбинат». Цех по производству ферросплавов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://uzbeksteel.uz/main_production/2406 (Дата обращения: 21.01.2020).
12. Гайбердиев Б.К. Проект цеха для производства 100 тыс. тонн ферросилиция в условиях Узбекского металлургического завода: Дис... канд. техн. наук. – Южно-Уральский государственный университет, 2016. – 74 с.
13. International Stainless Steel Forum. Stainless Steel in Figures 2020. Available at URL: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2020_English_public_version.pdf (Accessed 25.05.2020).
14. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1988. – 784 с.
15. Бельских Т.Б. Анализ воздействия производства ферросилиция на объекты окружающей среды (на примере предприятия ОАО «Юргинские ферросплавы»). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/27903> (Дата обращения: 24.05.2020).
16. Нехамин С.М. Рудно-термические печи постоянного тока для ферросплавного производства // Сталь. 2008. № 6. С. 43 – 47.
17. Gelgenhuys I.J. Aspect of DC chromite smelting at Mintek: an overview // Proceedings of the 13th Int. Ferroalloys Congress. Almaty, Kazakhstan: INFACON XIII. July 9 – 12, 2013. P. 149 – 156.
18. Privalov O., Abdulabekov Ye., Nurmukhanbetov Zh. etc. Adjustment of high carbon ferrochrome composition in DC furnaces // Proceedings of the 13th Int. Ferroalloys Congress. Almaty, Kazakhstan: INFACON XIII. July 9 – 12, 2013. P. 109 – 114.
19. Daavittila J., Honkaniemi M., Jokinen P. The transformation of ferrochromium smelting technologies during the last decades // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2004. Vol. 104. No. 9. P. 541 – 549.
20. Гальперин Л.И. и др. Технология производства высокоуглеродистого феррохрома с применением хромородных брикетов // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья: Матер. Междунар. науч.-технич. конф. Екатеринбург, 18 – 21 июня 2003. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2003. С. 269 – 271.
21. Жучков В.И., Кель И.Н. Использование отходов предприятий ферросплавного производства // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований. Уральский рынок лома, промышленных и коммунальных отходов: «Техноген-2017», Екатеринбург, 5 – 9 июня 2017. – Екатеринбург: ИМЕТ УрО РАН, 2017. С. 553 – 556.
22. Андреева К.В. Характеристика современного состояния промышленного сектора Оренбургской области // Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития: Сб. статей Междунар. науч.-практич. конф., 10 ноября 2017, Оренбург. – Оренбург: Аэтерна, 2017. С. 11 – 14.
23. Пат. 2109817 РФ. Способ получения чугуна и ферросплавов / В.А. Григорян, А.В. Павлов, Е.Ф. Вегман и др. // Бюл. изобретений. 1998. № 6.
24. Пат. 2638470 РФ. Раскислитель для стали / С.Н. Неретин, А.В. Павлов, А.Н. Хромагин, Ю.В. Главатских. Опубликовано 12.13.2017.

Поступила в редакцию 7 июля 2020 г.
 После доработки 15 июля 2020 г.
 Принята к публикации 7 августа 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. VOL. 63. NO. 8, pp. 600–605.

CURRENT STATE OF FERROALLOYS PRODUCTION IN RUSSIA AND CIS

A.V. Pavlov¹, D.Ya. Ostrovskii², V.V. Aksenova¹, S.A. Bishe-
 nov¹

¹National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS),
 Moscow, Russia

²LLC “United Raw Materials”, Moscow, Russia

Abstract. Development of ferroalloy production directly depends on progress of steel industry. Therefore, an increase in steel production inevitably entails an increase in the production of ferroalloys. Over the past 10 years, global steel production has increased by about 30 %. This article discusses general condition of the ferroalloy sector in the CIS countries and, in particular, in the Russian Federation. The main

consumers (among Russian metallurgical enterprises) of ferroalloy products in the domestic market were listed, and the structure of production and consumption in other producing countries (China, India, the EU, USA, Japan) was examined. It was revealed that the overproduction of ferroalloys in the CIS countries is about 400 %. In addition, the ways of development of the ferroalloy field were also considered, aimed at reducing the contribution to the production cost of ore raw materials, reducing agent and electricity, which is achieved through the use of cheaper ore, the use of new types of processes and units, and development of other alternative types of ferroalloys, replacing classic ones. For example, it can be smelting in DC furnaces, which allows the use of small unprepared chrome ore as a raw material for the production of ferrochrome containing scarce lump in combination with small cheap

reducing agent (anthracite). Melting in an oxygen reactor is also a promising technology, based on the principle of gaseous oxygen, which results in the reduction of carbon monoxide inside the unit itself. The alternative types of ferroalloy products can be used, such as calcium carbon "KAUR", which can replace calcium carbide in steelmaking.

Keywords: ferroalloys, bulk ferroalloy, world market, CIS countries, ferro-silicon, ferromanganese, silicomanganese, ferrochrome.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-8-600-605

REFERENCES

1. World Steel Association. *World Steel in Figures 2020*. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f7982217-cfde-4fdc-8ba0-795ed807f513/World%2520Steel%2520in%2520Figures%25202020i.pdf> (Accessed 3.06.2020).
2. Zhuchkov V.I., Leont'ev L.I., Dashevskii V.Ya. State and development of ferroalloys metallurgy in Russia. In: *Perspektivy razvitiya metallurgii i mashinostroeniya s ispol'zovaniem zavershennykh fundamental'nykh issledovaniy i NIOKR: FERROSPRAY: Trudy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 29 oktyabrya – 2 noyabrya 2018, Ekaterinburg* [Prospects for the Development of Metallurgy and Mechanical Engineering using Completed Fundamental Research and R&D: FERROALLOYS: Proc. of Sci. and Pract. Conf. with Int. Participation, 29 October – 2 November, 2018, Ekaterinburg]. Ekaterinburg: Al'fa Print, 2018, pp. 12–20. (In Russ.).
3. Romanova O.A., Pozdnyakova E.A. Development of raw materials base for ferroalloy production: new trends and economic facilities. *Ekonomika regiona*. 2013, no. 1 (33), pp. 167–177. (In Russ.).
4. Ford K., Hobbs D., Urquhart R. CIS ferroalloys industry: commercial opportunities, technical challenges and strategic implications. In: *11th Int. Conference on Innovations in the Ferroalloy Industry, New Delhi, India, February, 2007*, pp. 18–21.
5. World Steel Association. *Global crude steel output increases by 3.4 % in 2019*. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-3.4--in-2019.html> (Accessed 30.01.2020).
6. World Steel Association. *Global crude steel production 2019*. Available at URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:391fb6f1-488d-46d1-b611-c9a43224f9b8/2019%2520global%2520crude%2520steel%2520production.pdf> (Accessed 30.01.2020).
7. Ostrovskiy D. *Ferroalloys market of Russia and CIS*. Available at URL: <https://www.urm-company.ru/upload/iblock/47d/47d138f59f688fda4fdea020b8b7c707.pdf> (Accessed 25.01.2020).
8. Jones A. The market & cost environments for bulk ferroalloys. In: *11th Int. Conference on Innovations in the Ferroalloy Industry, New Delhi, India, February, 2007*, pp. 18–21.
9. Gregurek D., Peng Zh., Wenzl Chr. etc. Fe Alloys: Production and Metallurgical Aspects: Part II. *JOM*. 2017, vol. 69, no. 2, pp. 323–324.
10. Leont'ev L.I., Smirnov L.A., Zhuchkov V.I., Zhdanov A.V., Dashevskii V.Ya., Gurova S.A. Status and prospects of ferroalloys production in the Russian Federation. *Metallurgist*. 2016, vol. 59, no. 11, pp. 1001–1006.
11. *Ofitsial'nyi sait AO "Uzmetkombinat". Tsekh po proizvodstvu ferrosplavov* [Official site of "Uzmetkombinat" JSC. Ferroalloy production workshop]. Available at URL: http://uzbeksteel.uz/main_production/2406 (Accessed 21.01.2020). (In Russ.).
12. Gaiberdiev B.K. *Proekt tsekha dlya proizvodstva 100 tys. tonn ferrosilitsiya v usloviyakh Uzbekskogo metallurgicheskogo zavoda: dis... kand. tekhn. nauk* [Design of a workshop for the production of 100 thousand tons of ferrosilicon in conditions of Uzbekskii Metallurgical Plant: Cand. Tech. Sci. Diss.]. Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet: 2016, 74 p. (In Russ.).
13. *International Stainless Steel Forum. Stainless Steel in Figures 2020*. Available at URL: https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2020_English_public_version.pdf (Accessed 25.05.2020).
14. Gasik M.I., Lyakishev N.P., Emlin B.I. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov: Uchebnik dlya vuzov* [Theory and production technology of ferroalloys: Textbook for universities]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 784 p. (In Russ.).
15. Bel'skikh T.B. *Analiz vozdeistviya proizvodstva ferrosilitsiya na ob'ekty okruzhayushchei sredy (na primere predpriyatiya OAO "Yurginskije ferrosplavy")* [Analysis of the impact of ferrosilicon production on environmental objects (for example, the company OJSC "Yurginsky ferroalloys")]. Available at URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/27903> (Accessed 24.05.2020). (In Russ.).
16. Nekhamin S.M. Direct-current ore-heating furnace for ferroalloy production. *Steel in Translation*. 2008, vol. 38, no. 6, pp. 470–474.
17. Gelgenhuys I.J. Aspect of DC chromite smelting at Mintek: an overview. In: *Proceedings of the 13th Int. Ferroalloys Congress. Almaty, Kazakhstan: INFACON XIII. July 9 – 12, 2013*, pp. 149–156.
18. Privalov O., Abdulabekov Ye., Nurmukhanbetov Zh., Kospanov M., Mussabekov Zh. Adjustment of high carbon ferrochrome composition in DC furnaces. In: *Proceedings of the 13th Int. Ferroalloys Congress. Almaty, Kazakhstan: INFACON XIII. July 9 – 12, 2013*, pp. 109–114.
19. Daavittila J., Honkaniemi M., Jokinen P. The transformation of ferrochromium smelting technologies during the last decades. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2004, vol. 104, no. 9, pp. 541–549.
20. Gal'perin L.L. etc. Technology of high-carbon ferrochrome production using chromium ore briquettes. In: *Nauchnye osnovy i praktika razvedki i pererabotki rud i tekhnogennoogo syr'ya: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Ekaterinburg, 18 – 21 iyunya 2003* [Scientific foundations and practice of exploration and processing of ores and industrial raw materials: Papers of Int. Sci.-Pract. Conference. Ekaterinburg, June 18 – 21]. Ekaterinburg: Izd-vo AMB, 2003, pp. 269–271. (In Russ.).
21. Zhuchkov V.I., Kel' I.N. Use of waste from ferroalloy enterprises. In: *Fundamental'nye issledovaniya i prikladnye razrabotki protsessov pererabotki i utilizatsii tekhnogennykh obrazovaniy. Ural'skii rynek loma, promyshlennykh i kommunal'nykh otkhodov: "Tekhnogen-2017", Ekaterinburg, 5 – 9 iyunya 2017* [Fundamental research and applied development of processes for processing and utilization of technogenic formations. Ural Market of Scrap, Industrial and Municipal Waste: "Tekhnogen-2017", Ekaterinburg, June 5 – 9, 2017]. Ekaterinburg: IMET UrO RAN, 2017, pp. 553–556.
22. Andreeva K.V. Characteristics of current state of industrial sector of Orenburg region. In: *Nauka v sovremennom obshchestve: zakonmernosti i tendentsii razvitiya: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 10 noyabrya 2017, Orenburg* [Science in modern society: patterns and development trends: Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conference. Orenburg, November 10, 2017]. Orenburg: Aeterna, 2017, pp. 11–14. (In Russ.).
23. Grigoryan V.A., Pavlov A.V., Vegman E.F., Semin A.E., Shcherbakov V.A. *Sposob polucheniya chuguna i ferrosplavov* [The method of producing pig iron and ferroalloys]. Patent RF no. 2109817. *Byulleten' izobretenii*. 1998, no. 6. (In Russ.).
24. Neretin S.N., Pavlov A.V., Khromagin A.N., Glavatskikh Yu.V. *Raskislitel' dlya stali* [Steel deoxidizer]. Patent RF no. 2638470. 2016. Publ. 12.13.2017. (In Russ.).

Information about the authors:

- A.V. Pavlov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Metallurgy of Steel, New Production Technologies and Metal Protection (pav-gnts@missis.ru)
- D.Ya. Ostrovskii**, Cand. Sci. (Eng.), Commercial Director (ostrovod@urm-company.com)
- V.V. Aksenova**, Postgraduate of the Chair of Metallurgy of Steel, New Production Technologies and Metal Protection (Pro100_vika@inbox.ru)
- S.A. Bishenov**, Candidates for a degree of Cand. Sci. (Eng.) (bishenovsa@gmail.com)

Received July 7, 2020

Revised July 15, 2020

Accepted August 7, 2020