

Оригинальная статья

УДК 669.017

DOI: 10.57070/2304-4497-2024-4(50)-92-99

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИНИ-ЗАВОДОВ

© 2024 г. И. В. Строкина, В. С. Маринич, А. Д. Трофимова

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. В настоящее время развитие черной металлургии идет по пути строительства мини-заводов, работающих на основе электросталеплавильного производства с использованием лома в качестве основного сырья. Рассматриваемый формат радикально отличается от классической схемы интегрированных заводов. Новая схема дает специалистам относительную свободу действий, позволяет эффективно конкурировать с гигантами, выходя на тот же или более низкий уровень себестоимости продукции. Представлен обзор существующих мини-заводов в Российской Федерации. Рассмотрены промышленный опыт и достигнутые показатели работы Оскольского электрометаллургического комбината, который является первым предприятием бездоменной металлургии, работающим с использованием предварительно металлized сырья. Приведены экономические предпосылки строительства электросталеплавильных мини-заводов в России, основанные на сопоставлении характеристик интегрированных металлургических заводов и мини-заводов, работающих с использованием металлолома. Кратко охарактеризован процесс получения железа прямого восстановления «Мидрекс», на долю которого приходится около половины мощностей по производству металлized окатышей и брикетов, отмечены его основные достоинства. Процесс получения металлized сырья для электросталеплавильного производства осуществляется с использованием конвертируемого природного газа, проанализирована динамика цен в сравнении с ценами на электроэнергию. Предлагается оптимальная схема отечественного электросталеплавильного производства с предварительным восстановленным обжигом окатышей из железорудных концентратов и буроугольного полукокса. Описан вариант переплава богатых железных руд при производстве чугуна и высокоуглеродистых сталей, которые находят широкое применение в горнодобывающей, химической и металлургической промышленности.

Ключевые слова: металлургия, мини-заводы, твердофазное восстановление железа, сталь, чугун, металлургический комплекс

Для цитирования: Строкина И.В., Маринич В.С., Трофимова А.Д. Оценка перспектив развития металлургических мини-заводов. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2024;(4(50)):92–99. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-4\(50\)-92-99](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-4(50)-92-99)

Original article

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF METALLURGICAL MINI-FACTORIES

© 2024 I. V. Strokina, V. S. Marinich, A.D. Trofimova

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, 654007, Russian Federation)

Abstract. Currently, the development of ferrous metallurgy is moving towards the construction of mini-factories operating on the basis of electric steelmaking with the use of scrap as the main raw material. The format under consideration differs radically from the classical scheme of integrated plants. The new scheme gives specialists a relative freedom of action, allows them to effectively compete with giants, reaching the same or lower level of production costs. An overview of existing mini-factories in the Russian Federation is presented. The industrial

experience and the achieved performance indicators of the Oskol Electro-Metallurgical Combine, which is the first enterprise of non-mining metallurgy operating using pre-metallized raw materials, are reviewed. The economic prerequisites for the construction of mini-electric steelmaking plants in Russia are presented, based on a comparison of the characteristics of integrated metallurgical plants and mini-plants operating on scrap metal. The process of obtaining direct reduction iron by Midrex, which accounts for about half of the production capacity of metallized pellets and briquettes, is briefly described, and its main advantages are noted. The process of obtaining metallized raw materials for electric steelmaking is carried out using convertible natural gas, the dynamics of prices in comparison with electricity prices is analyzed. An optimal scheme of domestic electric steelmaking production is proposed using metallized iron ore concentrate, steel scrap and liquid cast iron as raw materials. A variant of remelting rich iron ores in the production of cast iron and high-carbon steels, which are widely used in the mining, chemical and metallurgical industries, is described.

Keywords: metallurgy, mini-plants, solid-phase reduction of iron, steel, cast iron, metallurgical complex

For citation: Strokina I.V., Marinich V.S., Trofimova A.D. Assessment of the prospects for the development of metallurgical mini-factories. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2024;(4(50)):92–99. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-4\(50\)-92-99](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2024-4(50)-92-99)

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция перехода на технологии электросталеплавильного производства в условиях мини-заводов [1].

Мини-заводы – компактные комплексы, выпускающие продукцию массового сортамента из стального лома, использующие электродуговые сталеплавильные печи высокой производительности, высокоскоростную непрерывную разливку стали и прокатку [2]. Для понимания концепции развития и создания отечественных металлургических мини-заводов необходимо изучить предпосылки их появления и эволюцию в других странах [3].

Развитие металлургических мини-заводов

Сравнительно небольшие размеры мини-заводов дают преимущества перед предприятиями полного цикла, среди которых экономия капиталовложений и удельных затрат [4], увеличение производительности труда, уменьшение количества вредных выбросов, быстрая реакция на меняющийся спрос на различные виды продукции и возможность выполнения мелких заказов применительно к конкретному заказчику. Энергоемкость производства стального проката на мини-заводе почти в 4 раза ниже [5], а производительность труда в 3 – 5 раз выше, чем на интегрированных предприятиях [6]. Считается, что российские сталеплавильные заводы, построенные в эпоху советского гигантизма, крайне неэффективны в силу низкой производительности на одного работающего (в среднем 500 кг/человека в год), при этом самые неэффективные из мини-заводов имеют примерно 2000 – 5000 кг/человека и выше.

В настоящее время в мире действуют более тысячи мини-заводов с объемами выпуска от 40 тыс. до 2,5 млн т /год. На их долю приходится около 20 % мирового производства электро-

стали. В ближайшие годы ожидается увеличение количества мини-заводов, что не противоречит общим тенденциям прироста объемов производства электростали в мире. Примерами таких предприятий, находящиеся на территории Российской Федерации, являются Абинский электрометаллургический завод ООО «АЭМЗ» (производительность до 1,2 млн т/год); Тюменский металлургический завод «Электросталь Тюмени» (производительность 550 тыс. т/год); Нижнесергинский метизно-металлургический завод в г. Ревда Свердловской обл. (производительность 2 млн т/год); металлургический завод ОАО «Амурсталь» в г. Комсомольск-на-Амуре (производительность до 2,2 млн т/год); Ашинский металлургический завод (производительность до 1,3 млн т/год) [7].

Предполагается, что в 2024 г. в России сохранится достигнутый в 2023 г. рекордный уровень выплавки стали (75,6 млн т /год) (рис. 1). Россия остается в пятерке крупнейших мировых производителей стали [9] (первое место с гигантским отрывом занимает Китай, за ним следуют Индия, Япония и США). Соединенные Штаты увеличили производство стали в 2023 г. до 80,7 млн т (в 2022 г. – 80,5 млн т) [10].

Сейчас реализуются проекты по строительству электрометаллургических заводов в Нижегородской и Ростовской обл., в перспективе ожидается строительство мини-заводов в Свердловской, Воронежской, Новосибирской и Ленинградской обл. Для окупаемости таких проектов необходимо учитывать следующие факторы: наличие лома в достаточном количестве и потребителей производимого сортамента. При производстве стали не только из лома, но и из предварительно металлизированного железорудного концентрата, необходимо иметь до ступ к месторождению

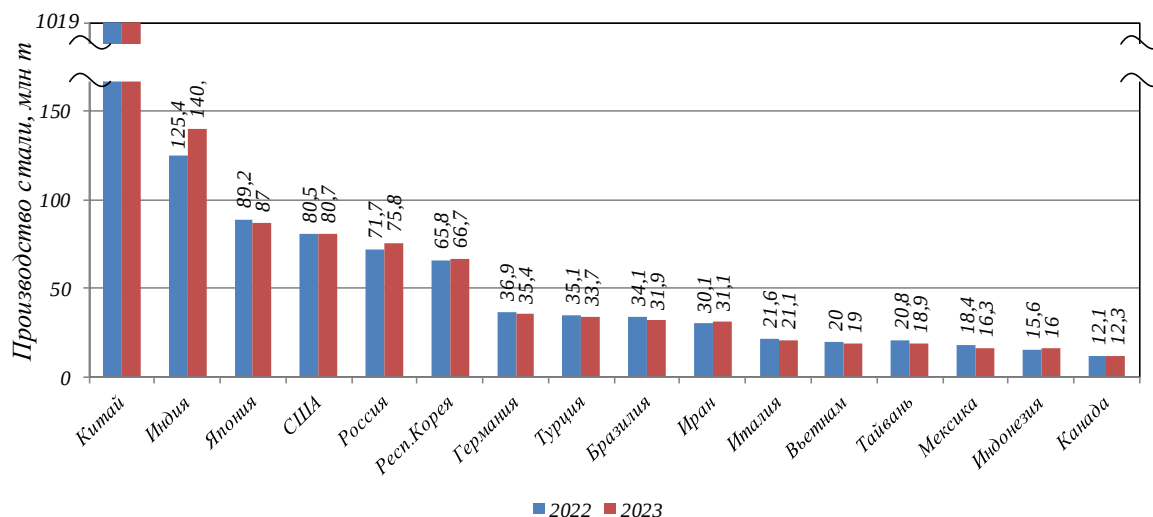


Рис. 1. Производство стали в 2022 – 2023 гг.
Fig. 1. Steel production in 2022 – 2023

железной руды и энергетическим ресурсам по приемлемой цене.

Энергосбережение на любом предприятии является актуальной проблемой, связанной с ростом стоимости энергоносителей [11].

На современном рынке металлопродукции существует тенденция к улучшению качества и производству металлопродукции со специальными свойствами. Это объясняется ориентированием предприятий на потребности рынка [12], а также дефицитом качественного лома, так как с увеличением оборота лома в производстве содержание загрязняющих его элементов тоже увеличивается, что сильно влияет на качество готовой стали [13]. Поэтому все чаще лом или его часть заменяют железом прямого восстановления (DRI, губчатое или горячебрикетированное железо), производство которого постоянно растет, но находится еще на относительно низком уровне по сравнению с чугуном. Высокие цены на металлолом, обусловленные большим объемом мирового производства стали (1,88 млрд т в 2023 г.), способствуют развитию цехов прямого восстановления. Традиционными производителями DRI по технологии, базирующейся на использовании газа-восстановителя, являются Венесуэла, Иран и Мексика, в Индии примерно 50 % железа прямого восстановления производится по технологии с использованием углеродных процессов в маломощных вращающихся обжиговых печах. Основными достоинствами технологии прямого восстановления железа являются устранение агломерационных и коксохимических производств; возможность получения чистого железа без нежелательных добавок (сера, фосфор); резкое сокращение выбросов оксида CO_2 (так как восстановителем является водород); использование разных видов

железорудного сырья (руды, концентраты, пыли, шламы, окислы, стальная стружка) без предварительной обработки; сокращение материала и энергоемкости.

Примером металлургического комплекса, включающего установку прямого восстановления железа, может служить мини-завод, запущенный в производство в 2008 г. в г. Абу-Даби (ОАЭ). Он задуман и создан для использования специфических местных конкурентоспособных энергетических и сырьевых ресурсов. Сталеплавильный цех (производительность 1,4 млн т/год) максимально использует горячее железо прямого восстановления. Оно подается по системе пневматического транспорта непосредственно с установки, где его производят. Новая электродуговая печь типа “FastArk” (136 МВ·А) емкостью 150 т работает на переменном токе с непрерывной загрузкой. Рафинирование стали проводится в установке печь-ковш (24 МВ·А). Непрерывная разливка обеспечивается шестиручьевой МНЛЗ типа “Fast Cast”. Расход электроэнергии на плавку 1 т стали составляет 350 кВт·ч/т [14], тогда как в мощных сталеплавильных печах минимальный расход достигает 410 кВт·ч/т [15].

Первым крупным отечественным предприятием бездоменной металлургии, на котором была предусмотрена принципиально новая технология производства металла, основанная на прямом получении металла из руды, является Осковский электрометаллургический комбинат (ОЭМК) [5]. В 1984 г. на ОЭМК был запущен процесс металлизации шихты в шахтных печах. В основу прямого восстановления железа заложен процесс «Мидрекс», который позволяет осуществить восстановление оксидов железа в шахтных печах с использованием конвертируемого природного газа [16]. Конверсия заключа-

ется в превращении углеводородов путем их разложения на водород и углерод с последующим дожиганием углерода до оксида СО при помощи CO_2 и водяных паров по следующим реакциям: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ и $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ [17].

В результате выполненных мероприятий на Оскольском металлургическом предприятии производительность установок металлизации увеличилась на 15 – 20 % [18]. Суточная производительность одной печи составляет в настоящее время 1000 т железа при расходе природного газа до $550 \text{ м}^3/\text{т}$ [5]. Степень восстановления достигает 95 %, металлизации – более 70 %. В качестве железорудной базы для металлургического комбината используют богатые железные руды Лебединского месторождения. Эти руды содержат 56,9 % железа, 8,0 % кремнезема, 0,19 % серы, 0,09 % фосфора. Получаемый на их основе концентрат содержит более 70 % железа. При плавке на холодной шихте расход электроэнергии на 1 т стали составляет 500 кВт·ч/т.

Оскольский электрометаллургический комбинат – единственное в России металлургическое предприятие полного цикла, на котором реализованы технология прямого восстановления железа и плавка в электропечах, позволяющие с минимальным воздействием на окружающую среду производить сталь высокого качества. Показатель прямой и косвенной эмиссии парниковых газов на ОЭМК самый низкий среди крупных металлургических компаний РФ – 1,2 т CO_2 -эквивалента на тонну продукции [19].

Необходимо отметить, что установки прямого восстановления железа могут работать эффективно только в регионах с недорогими источниками энергии. Учитывая то, что свыше 90 % металлизированного сырья получают при использовании газообразного топлива (природного газа), становится ясно, что чем выше цена природного газа, тем менее эффективны эти процессы [5].

Анализ (за пять лет) динамики цен в России на энергоносители показал, что за последние два года существует следующая тенденция: повышение цен на электроэнергию оказывается ниже официальной инфляции и составляет в среднем 6 % [20], тогда как цена природного газа ежегодно индексируется на 8,5 % [21]. Учитывая этот факт, можно предположить, что переход предприятий с полным металлургическим циклом на мини-заводы пока не представляется возможным. Однако, это реализуемо при условии, что на каждом из металлургических переделов интегрированных предприятий будут постоянно внедрять инновационные технологии [22] для увеличения производительности и уменьшения себестоимости продукции: получение

высокометаллизированного сырья с использованием твердого восстановителя (буроугольного полукокса), а не природного газа [23]. Комплексное восстановление является достаточно эффективным как по термодинамическим, так и по кинетическим показателям. Полукоксы из бурого угля имеют ряд специфических и положительных особенностей как углеродистый восстановитель для прямого восстановления железа (высокая реакционная способность, развитая система микро- и мезопор, значительная удельная поверхность, достаточное для процесса содержание углерода и водорода). Доказано, что при содержании 10 – 15 % водорода в газовой фазе температура начала восстановления снижается примерно на 70 °С, а скорость реакций возрастает в несколько раз [24]. На рис. 2 представлен вариант технологической схемы восстановительного обжига рудоугольных окатышей в герметичной шахтной печи.

Нагрев шихты осуществляется за счет сжигания газов ($\text{CO} + \text{H}_2$), образующихся в процессе восстановления. Горячий газ, выходящий из реакционной зоны, сжигается в камере 4 при смешивании с воздухом, подогреваемым в камере 7 в зоне охлаждения шихты 6, при этом выделяется достаточное количество тепла для нагрева шихты и осуществления реакций восстановления в шахте 2. Загрузка шихты и выгрузка материала осуществляется в герметичном режиме, что позволяет использовать в качестве восстановителя водород. Необходимую температуру процесса можно регулировать избытком воздуха, подаваемого в зону горения 5. Использование газов, получаемых в процессе восстановления, позволяет исключить расходы на природный газ. Это при электроплавке стали с использованием горячих металлизированных окатышей приведет к уменьшению потребления энергоресурсов на 20 – 30 %. Восстановительный обжиг окатышей, состоящих из железорудного концентрата и буроугольного полукокса, позволяет достигать степени металлизации железа 90 – 92 % при температуре 950 °С и продолжительности процесса около 1 ч [25].

Выводы

Оптимальным вариантом для российского электросталеплавильного производства является следующая схема: прямое твердофазное восстановление железа из окомкованных рудных концентратов – плавка стали в электропечах с использованием газообразного топлива и кислорода, при непосредственной загрузке горячего металлизированного железа, лома и жидкого чугуна – внепечная обработка жидкой стали в печь-ковше, при этом удельный расход электроэнергии

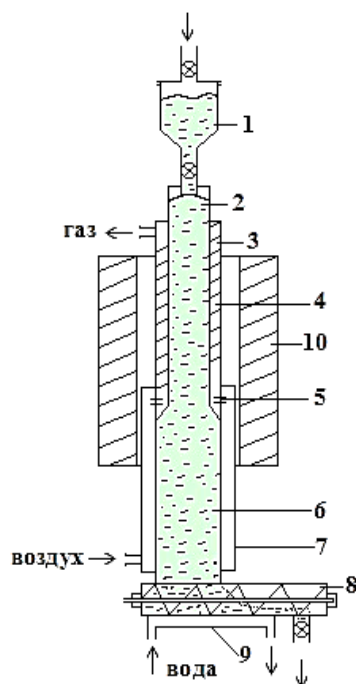


Рис. 2. Схема восстановительного обжига окатышей в герметичной шахтной печи:

- 1 – бункер загрузочный; 2 – шахта реакционная;
3 – радиатор; 4 – камера сжигания печных газов;
5 – горелки; 6 – камера охлаждения окатышей; 7 – камера подогрева воздуха; 8 – транспортер – шнек для выгрузки окатышей; 9 – рубашка охлаждения шнека;
10 – футеровка шахты печи

Fig. 2. Scheme of reduction firing of pellets in a sealed shaft furnace:

- 1 – loading hopper; 2 – reaction shaft; 3 – radiator;
4 – combustion chamber of furnace gases; 5 – burners;
6 – pellet cooling chamber; 7 – air heating chamber;
8 – conveyor – auger for unloading pellets; 9 – screw cooling jacket; 10 – furnace shaft lining

может сократиться на 20 – 25 % (250 – 300 кВт·ч/т). Единичная мощность ДСП может достичь 1,5 – 1,7 млн т/год при работе на такой шихте. Удельная электрическая мощность ДСП увеличивается до 0,9 – 1,0 МВ·А/т. Продолжительность плавки уменьшается до 55 – 60 мин, под током – до 45 мин.

Может оказаться выгодным непосредственный переплав богатых железных руд без обогащения в руднотермических печах с получением чугуна и высокоуглеродистых сталей. При этом часть чугуна может использоваться в электросталеплавильном переделе, а другая часть, как товарная продукция высокого качества. Например, высокоуглеродистые стали, в том числе марганцовистые, используют в больших количествах для изготовления стрелок железнодорожных путей; защитной брони в дробилках, применяемых в горнодобывающей, химической и металлургической промышленности; в устройствах, работающих на ударно-механический износ (гусеничные траки, ножи бульдозеров, экскаваторов и т.д.). В этом случае целесообразно создавать

отдельный цех в составе 1 – 2 руднотермических печей, работающих на угольной или оксидной футеровке.

В условиях повышения цен на природный газ оптимальным вариантом получения металлizedованного сырья является восстановительный обжиг окатышей из железорудного концентрата и бурогоугольного полукокса. При этом степень металлзации железа может достигнуть 92 % при температуре 950 °С. Для эффективного процесса металлзации предлагается использовать герметичную шахтную печь, обогреваемую теплом от сжигаемых газов, образующихся при восстановлении оксидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danieli group. Danieli Innovation meeting. Strategies for managing successfully during “new normal”. *DaNews*. 2018;177. URL: <https://www.danieli.com/en/news/danews.htm#/>. (Дата обращения: 15.06.2024).
2. Danieli group. Danieli undisputed leadership in minimill technology. *DaNews*. 2016;173. URL: <https://www.danieli.com/en/news/danews.htm#/>. (Дата обращения: 17.06.2024).
3. Куберский С.В. Реализация стратегии создания микро- и мини- заводов в условиях металлургического комплекса России. В кн.: *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. Алчевск: изд. ДонГТУ, 2020; 18(61):61–70.
4. Шинкаренко А.В. Концепция металлургических мини-заводов как формат развития экономики регионов и металлургической отрасли промышленности. В кн.: *Трансформация экономики и финансового сектора России: вызовы и тренды. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции*. Москва: Синегерия, 2023:488–491.
5. Минаев А.А. Особенности развития макси- и мини-заводов. *Вестник Донецкого национального технического университета*. 2021;4(26):3–9
6. Рожков Г.К., Левандовский С.А., Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Кинзин Д.И., Тулупов О.Н. Разработка современной ресурсосберегающей технологии производства арматурного проката и мелящих шаров. *Моделирование и развитие процессов ОМД*. 2019;3(30): 18–22.
7. Ишметьев М.Е., Назаров Д.А., Левандовский С.А., Моллер А.Б., Тулупов О.Н. Пример мини-завода с использованием в качестве сырья вторичной стали. *Вестник Магнитогорского государственного технического*

- ского университета им. Г.И. Носова. 2022;20(2):53–61.
<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-2-53-61>
8. Производство стали в России. URL: <https://refru.ru/steel.html> (дата обращения 25.11.2024).
 9. Modrzyk A. *Ekonomika kryzysu codzienności. Kultura i Społeczeństwo*. 2023;67(4):151–180. <https://doi.org/10.35757/kis.2023.67.4.8>. EDN: EDPSXY.
 10. Sklyar A.V., Marinchenco T.E. Modernization of the energy system of an enterprise. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2019;7(4):133–138. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20190704.12>. EDN: WBKMEQ
 11. Мингазов С. Выплавка стали в России в 2023 году приблизилась к рекордному уровню 2021 года. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/504988-vyplavka-stali-v-rossii-v-2023-godu-priblizilas-k-rekordnomu-urovnu-2021-goda>. (Дата обращения 19.06.2024).
 12. *Russiun economy in 2012. Trends and Outlooks*. GAIDAR INSTITUTE FOR ECONOMIC POLICY. Moscow: Gaidar Institute Publishers. 2013:548.
 13. Смирнов Е.Н., Смирнов А.Н., Склад В.А. Сквозная оценка качества продукции в условиях интегрированного специализированного металлургического микрозавода. *Сталь*. 2021;(4):31–37.
 14. The 7 Best Steel Manufacturers in UAE 2024: A Comprehensive Guide. *News*. URL: <https://crunchdubai.com/best-steel-manufacturers-uae-2024/> (Дата обращения 18.06.2024).
 15. Коноваленко С.В. Оптимизация технологии выплавки стали в электросталеплавильном цехе. *Сталь*. 2021;(2):27–29.
 16. Sadatshojaei E., Esmaeilzadeh F., Fathikaljahi J. Regeneration of the Midrex Reformer Catalysts Using Supercritical Carbon Dioxide. *Chemical Engineering Journal*. 2018:748–758.
 17. Yadav, S., Srishilan C., Shukla A.K. Thermodynamic Model of MIDREX Ironmaking Process Using FactSageTM and Macro Facility. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. 2023;54(6):3508–3525.
 18. Мехряков Д.В., Грезнев В.Г., Малей И.В. Комплексная модернизация шахтных печей металлизации по технологии "Мидрекс" на Оскольском электрометаллургическом комбинате В кн.: *Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию основания кафедры ТИИМ, УрФУ и 85-летию основания ОАО «ВНИИМТ», Екатеринбург: изд. УрФУ*. 2015:216–222.
 19. ОЭМК отмечает полувековой юбилей. URL: https://www.metalloinvest.com/media/press-releases/898858/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения 26.11.2024).
 20. Энергоцены отстали от инфляции. *Коммерсантъ*. 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6480365> (Дата обращения 26.08.2024).
 21. Цены на газ в России будут расти ближайшие два года. Как изменятся тарифы для потребителей. ФАС запланировала повышение стоимости газа в России на 8 % в июле 2024 года. *Газета.ru*. 2024. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2023/07/07/17247974.shtml?updated> (Дата обращения 26.08.2024).
 22. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. *Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе*. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2020:320 с.
 23. Страхов В.М., Аникин А.Е., Строкина И.В. и др. Получение металлизированных окатышей с использованием буроугольного полукокса. *Кокс и химия*. 2015;1:20–25. EDN: TGLUPD.
 24. Строкина И.В., Якушевич Н.Ф., Полях О.А. Интенсификации процесса металлизации железорудного сырья. В кн.: *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды Всероссийской научно-практической конференции*, Новокузнецк, 09-11 ноября 2011 г. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2011:134–139. EDN: RUYLXJ.
 25. Строкина И.В., Ноздрин И.В., Полях О.А., Якушевич Н.Ф. Оценка перспектив использования новых месторождений Сибирского региона в металлургии. В кн.: *Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*, 20-21 апреля 2022 года. Иркутск: изд. Иркутского национального исследовательского технического университета, 2022:36–39. EDN: WOPDDG.

REFERENCES

1. Danieli group. Danieli Innovaction meeting. Strategies for managing successfully during

- “new normal”. *DaNews*. 2018;177. URL: <https://www.danieli.com/en/news/danews.htm#/>. (Accessed: 15.06.2024).
2. Danieli group. Danieli undisputed leadership in minimill technology. *DaNews*. 2016;173. URL: <https://www.danieli.com/en/news/danews.htm#/>. (Accessed: 17.06.2024).
3. Kuberskii S.V. Implementation of the strategy of creating micro- and mini-plants in the conditions of the metallurgical complex of Russia. In: *Collection of scientific papers of the Donbass State Technical University*. Alchevsk: izd. DonGTU, 2020; 18(61):61–70. (In Russ.).
4. Shinkarenko A.V. The concept of metallurgical mini-plants as a format for the development of the economy of regions and the metallurgical industry. In: *Transformation of the Russian Economy and Financial Sector: challenges and trends. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference*. Moscow: Sinergiya, 2023:488–491. (In Russ.).
5. Minaev A.A. Features of the development of maxi- and mini-factories. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021;4(26):3–9. (In Russ.).
6. Rozhkov G.K., Levandovskii S.A., Sarancha S.Yu., Moller A.B., Kinzin D.I., Tulupov O.N. Development of modern resource-saving technology for the production of rebar rolled products and grinding balls. *Modelirovanie i razvitie protsessov OMD*. 2019;3(30):18–22. (In Russ.).
7. Ishmet'ev M.E., Nazarov D.A., Levandovskii S.A., Moller A.B., Tulupov O.N. An example of a mini-plant using secondary steel as a raw material. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. 2022;20(2):53–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-2-53-61>.
8. *Steel production in Russia*. URL: <https://refru.ru/steel.html> (Accessed 25.11.2024). (In Russ.).
9. Modrzyk A. *Ekonomika kryzysu codzienności. Kultura i Społeczeństwo*. 2023;67(4):151–180. <https://doi.org/10.35757/kis.2023.67.4.8>. EDN: EDPSXY.
10. Sklyar A.V., Marinchenko T.E. Modernization of the energy system of an enterprise. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2019;7(4):133–138. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20190704.12>. EDN: WBKMEQ
11. Mingazov S. Steel smelting in Russia in 2023 approached the record level of 2021. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/504988-vyplavka-stali-v-rossii-v-2023-godu-priblizilas-k-rekordnomu-urovnu-2021-goda>. (Accessed: 19.06.2024). (In Russ.).
12. *Russian economy in 2012. Trends and Outlooks. GAIDAR INSTITUTE FOR ECONOMIC POLICY*. Moscow: Gaidar Institute Publishers. 2013:548.
13. Smirnov E.N., Smirnov A.N., Sklyar V.A. End-to-end product quality assessment in an integrated specialized metallurgical micro-plant. *Stal'*. 2021;(4):31–37. (In Russ.).
14. The 7 Best Steel Manufacturers in UAE 2024: A Comprehensive Guide. *News*. URL: <https://crunchdubai.com/best-steel-manufacturers-uae-2024/> (Accessed: 18.06.2024).
15. Konovalenko S.V. Optimization of steel smelting technology in an electric steelmaking shop. *Stal'*. 2021;(2):27–29. (In Russ.).
16. Sadatshojaei E., Esmaeilzadeh F., Fathikaljahi J. Regeneration of the Midrex Reformer Catalysts Using Supercritical Carbon Dioxide. *Chemical Engineering Journal*. 2018:748–758.
17. Yadav, S., Srishilan C., Shukla A.K. Thermodynamic Model of MIDREX Ironmaking Process Using FactSage™ and Macro Facility. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. 2023;54(6):3508–3525.
18. Mekhryakov D.V., Greznev V.G., Malei I.V. Complex modernization of mine metallization furnaces using the Midrex technology at the Oskola Electrometallurgical Combine. In: *Collection of documents of the international scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the founding of the Department of TIM, UrFU and the 85th anniversary of the founding of JSC VNIIMT, Yekaterinburg: UrFU*. 2015:216–222. (In Russ.).
19. *OEMK celebrates its half-century anniversary*. URL: https://www.metalloinvest.com/media/press-releases/898858/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Accessed 26.11.2024). (In Russ.).
20. Energy prices have lagged behind inflation. *Kommersant*". 2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6480365> (Accessed: 26.08.2024). (In Russ.).
21. Gas prices in Russia will rise in the next two years. How tariffs for consumers will change. The Federal Antimonopoly Service has planned to increase the cost of gas in Russia by 8 % in July 2024. *Gazeta.ru*. 2024. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2023/07/07/17247974.shtml?updated> (Accessed: 26.08.2024). (In Russ.).

22. Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Valiakhmetov A.Kh. *Metallurgical technologies in a high-performance electric steelmaking shop*. Moscow, Vologda: Infra-Inzheneriya, 2020:320 с. (In Russ.).
23. Strakhov V.M., Anikin A.E., Strokina I.V. etc. Production of metallized pellets using brown coal semi-coke. *Koks i khimiya*. 2015;1:20–25. (In Russ.). EDN: TGLUPD.
24. Strokina I.V., Yakushevich N.F., Polyakh O.A. Intensification of the metallization process of iron ore raw materials. In: *Metallurgy: technology, management, innovation, quality. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, Novokuznetsk, November 09–11. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2011:134–139. (In Russ.). EDN: RUYLXJ.
25. Strokina I.V., Nozdin I.V., Polyakh O.A., Yakushevich N.F. Assessment of prospects for the use of new deposits of the Siberian region in metallurgy. In: *Prospects for the development of technology for processing hydrocarbon and mineral resources. Materials of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*, April 20–21, 2022. Irkutsk: izd. Irkutskogo natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnicheskogo universiteta, 2022:36–39. (In Russ.). EDN: WOPDDG.

Сведения об авторах

Ирина Владимировна Строкина, к.т.н., старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением и материаловедения. ЕВРАЗ ЗСМК, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0003-3719-8949
E-mail: chuzhinova.iv@yandex.ru
SPIN-код: 3928-1409

Виталий Сергеевич Маринич, обучающийся кафедры обработки металлов давлением и материаловедения. ЕВРАЗ ЗСМК, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: marinich_vs@mail.ru

Трофимова Арина Денисовна, обучающийся кафедры обработки металлов давлением и материаловедения. ЕВРАЗ ЗСМК, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: arinaatrva/053@mail.ru

Information about the authors

Irina V. Strokina, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Department Forming and Materials Science. EVRAZ ZSMK, Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0003-3719-8949
E-mail: chuzhinova.iv@yandex.ru
SPIN-код: 3928-1409

Vitaly S. Marinich, student of the Department Forming and Materials Science. EVRAZ ZSMK, Siberian State Industrial University
E-mail: marinich_vs@mail.ru

Arina D. Trofimova, student of the Department Forming and Materials Science. EVRAZ ZSMK, Siberian State Industrial University
E-mail: arinaatrva/053@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.08.2024
 После доработки 16.09.2024
 Принята к публикации 23.09.2024

Received 30.08.2024
 Revised 16.09.2024
 Accepted 23.09.2024