

УДК 622.788.32

## УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЦГБЖ-2



**В. В. КОНДРАШКИН,**  
директор завода



**А. В. ПАНАРИН,**  
зам. директора  
по производству,  
panarin\_a\_v@lebgok.ru



**Ю. А. КРЫМОВ,**  
зам. директора  
по технологиям

Завод горячебрикетированного железа АО «Лебединский ГОК»,  
Губкин, Россия



**Т. В. НИКИТЧЕНКО,**  
главный специалист Управления технической  
экспертизы проектов поддержания  
и модернизации производства  
ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»,  
Москва, Россия

### Введение

Развитие мировой металлургии за последние несколько десятилетий характеризуется интенсивным ростом производства железа прямого восстановления (ПВЖ). В настоящее время доминирует технология Midrex (порядка 60 % мирового производства ПВЖ) [1–4]. Поэтому вопросы совершенствования данной технологии представляют интерес для многих предприятий, обладающих подобными установками.

Установка металлизации ЦГБЖ-2 по производству горячебрикетированного железа с годовой производительностью 1,4 млн т была введена в эксплуатацию на Лебединском ГОКе в 2008 г. С помощью установки выпускают брикеты со степенью металлизации около 94 % и содержанием углерода более 1 %. Данный тип продукции, произведенный из сырья с минимальным содержанием вредных примесей, является уникальным материалом для дальнейшей переработки в сталеплавильных печах и в основном используется для выпуска высококачественных сталей. Продукция, выпускаемая цехом горячебрикетированного железа, является конкурентоспособной на мировом рынке и пользуется большим спросом как у отечественных, так и зарубежных потребителей, поэтому увеличение объема выпускаемой продукции в настоящее время является актуальной задачей [5].

### Совершенствование технологии выпуска металлизированных брикетов

В основу технологии заложен процесс прямого восстановления железа Midrex с производством реформированного газа

Описаны проблемные звенья, выявленные в процессе эксплуатации установки металлизации ЦГБЖ № 2 и оказывающие негативное влияние на ее работу. Приведены результаты модернизации охлаждающих конвейеров. Оценена ожидаемая эффективность от замены труб реформера.

**Ключевые слова:** железо прямого восстановления, установка металлизации, горячебрикетированное железо, охлаждающие конвейеры, брикет-пресс, реформер, реакционные трубы.

**DOI:** 10.17580/gzh.2017.05.16

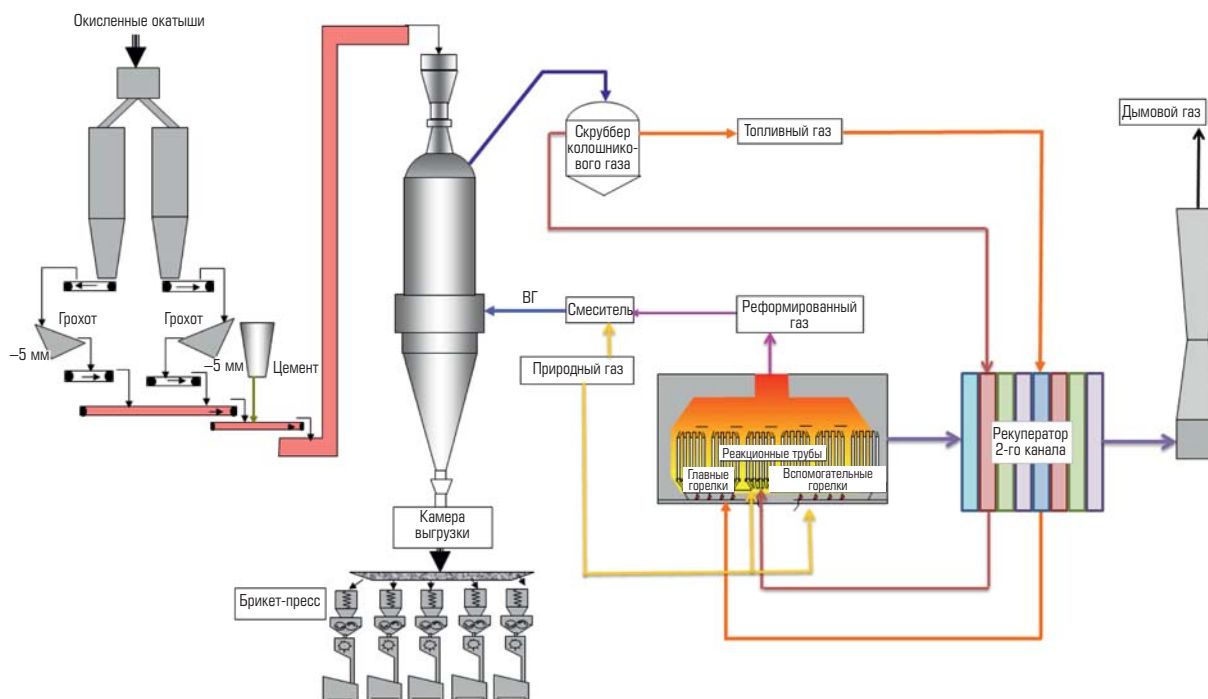
в пароглекислотном реформере с дальнейшим восстановлением окисленных окатышей, выпускаемых на фабрике окомкования из высококачественного концентрата, в шахтной печи при давлении 0,04 МПа и температуре восстановительного газа 900 °С [6]. Общая принципиальная схема процесса приведена на **рис. 1**.

Согласно проекту, для обеспечения прочностных характеристик выпускаемой продукции (брикетов) на установке металлизации ЦГБЖ-2 была внедрена система охлаждающих конвейеров производства компании Triple/S Dynamics, Inc.

Конвейеры охлаждения брикетов (3 ед.) располагались на отм. ±0 м шахтной печи и были предназначены для медленного охлаждения брикетов, подаваемых по течкам из сепараторов брикетов-прессов, с 700 до 70–90 °С. Они представляли собой металлический конвейер возвратно-поступательного действия и имели следующие основные технические характеристики:

Номинальная производительность, т/ч	120
Максимальная производительность (HBI/DRI), т/ч	140
Максимальная скорость, м/мин	12,2
Номинальная высота брикетов на поддоне	Один слой высоты
Количество технологической воды, м <sup>3</sup> /т ГБЖ	1,1
Максимальное расчетное давление воды для охлаждения поддонов, МПа	0,2
Номинальное время пребывания продукта типа А, мин	2,9
Номинальное время пребывания продукта типа В, мин	3,1
Номинальное время пребывания байпас/ремет, мин	2
Габаритный размер поддонов охлаждения, мм	34689
Внутренняя ширина, мм	1829

Практически с момента начала эксплуатации из-за конструктивных недостатков участок охлаждающих конвейеров являлся «узким» местом установки металлизации и ограничивал объемы производства горячебрикетированного железа. В результате неплановые простои охлаждающих конвейеров в 2010 г. составили 2304,22 ч, в 2011 г. 2180 ч. К тому же короткий межремонтный период, не превышающий 2–3 недели, ставил под угрозу выполнение производственной программы ЦГБЖ-2.



**Рис. 1.** Схема процесса прямого восстановления железа Midrex

Кроме того, работа брикет-прессов с повышенной производительностью (выше 45 т) в период остановок охлаждающих конвейеров оказывала негативное влияние на прочностные характеристики выпускаемых брикетов и снижала долю высшего сорта в общем объеме выпускаемой продукции, так как в процессе валкового брикетирования с увеличением скорости вращения валков сокращается время воздействия прессующих усилий, ухудшается удаление газов из пор окатышей, что в результате снижает прочностные свойства брикетов [7–9].

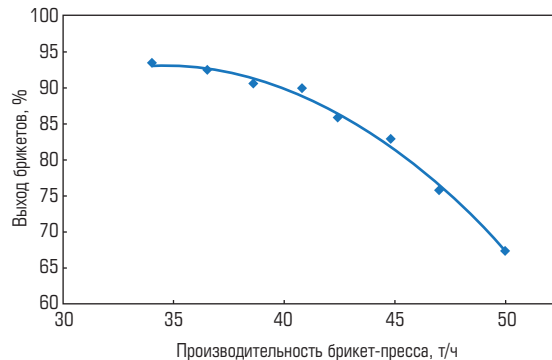
На **рис. 2** приведена зависимость выпуска брикетов высшего сорта от производительности брикет-прессов.

При работе брикет-прессов с производительностью 40–45 т/ч выход брикетов высшего сорта составил 86,24 %, при увеличении производительности с 45 до 50 т/ч средний выход брикетов высшего сорта снижается до 71,2 %.

При оценке эффективности замены охлаждающих конвейеров специалистами АО «Лебединский ГОК» были рассмотрены следующие предложения: замена существующих конвейеров на усиленные конвейеры того же типа (компания Midrex); использование конвейеров с другим принципом работы (компания Aumund). При этом были проанализированы основные технические характеристики указанного оборудования (**табл. 1**).

На основании результатов проведенного анализа было принято решение о замене существующих конвейеров на конвейеры, предложенные компанией Aumund.

Данные устройства представляют собой металлический конвейер, изготовленный из износостойкой, специальным образом



**Рис. 2.** Зависимость выхода брикетов высшего сорта от производительности брикет-прессов

термически обработанной толстолистовой стали. Ячейки конвейера перекрывают друг друга для формирования практически пыленепроницаемой конвейерной секции. Боковая стенка приваривается к концам каждой пластины. Через каждые две пластины на основании конвейера располагаются колеса, которые крепятся болтами. Эти колеса устанавливаются на рельсы и транспортируют конвейер по всей его длине, используя цепной механизм, который приводится в движение ведущим валом. Для поддержания необходимого натяжения конвейера в хвостовой его части устанавливаются натяжные устройства.

Двойная звеньевая цепь имеет в своем составе упрочненные штифты и втулки для крепления ячеек. Ролики в кованных и упрочнен-



Брикет-пресс в работе



Транспортировка готовых брикетов на склад

ных корпусах установлены на независимых держателях посредством вставок с винтовым соединением и могут быть заменены отдельно друг от друга. Они опираются на специальные шариковые подшипники, снабженные пылезащитными уплотнениями.

Охлаждение брикетов осуществляется водяными струями тонкого распыла, которые создают «водяной туман», что обеспечивает медленное охлаждение брикетов при относительно невысоком расходе воды [10, 11].

Звенья лоткового конвейера могут быть заменены отдельно друг от друга, что позволяет проводить быструю частичную замену фрагментов конвейера с последующим ремонтом в условиях ООО «ЛебГОК-РМЗ».

Приводной блок представляет собой усиленную сварную и закреплённую болтами стальную конструкцию. Боковые отверстия выполнены в виде прямоугольных рамок и оборудованы пыленепроницаемыми заслонками на болтовых соединениях, предназначенными для контроля целостности зубчатых колес.

Приводной вал располагается на пылезащищенных, закрытых подшипниках, представляющих собой сферические роликовые подшипники. Зубчатые колеса с двухпарным зацеплением оборудованы сменными зубчатыми сегментами, которые могут быть заменены без разборки транспортирующих элементов.

На выходе конвейера располагается система контроля температуры, предназначенная для оценки конечной температуры брикетов и регулирующая общий расход воды, а также профиль распределения воды по всей длине конвейера. Ниже ведущего вала установлена вращающаяся щетка для очистки поверхности соприкосновения охлаждающих конвейеров с брикетами.

Для удаления пара, образующегося при охлаждении брикетов, охлаждающий конвейер оборудован системой пароудаления.

Таблица 1. Сравнительные характеристики охлаждающих конвейеров Midrex и Aumund

Показатели	Midrex	Aumund
Длина лотка, м	~36	37,285
Ширина лотка, мм	1828	2200
Масса, т	~278	110
Мощность приводного двигателя, кВт	90	7,5
Производительность, т/ч	140	140
Конструктивные особенности	Водоохлаждаемые лотки подвешены на качающихся шпильках к опорным стойкам. Транспортирование осуществляется за счет возвратно-поступательного движения	Представляет собой пластинчатый конвейер, ролики тележек движутся по направляющим рельсам. Тележки закреплены на двойной звеньевой цепи
Ремонтпригодность	Отсутствует возможность частичной замены изношенных элементов без полного демонтажа конвейера	Звенья тележек могут быть заменены отдельно друг от друга
Межремонтный период	Еженедельные внеплановые простои	Периодичность между капитальными ремонтами от 2 до 6 лет
Система охлаждения брикетов	Орошение водой, водоподготовка не требуется	Орошение водяным туманом, требуется водоподготовка
Система охлаждения конвейеров	Требуется водоподготовка	Не требуется
Система обезвоживания	Установка обезвоживающего грохота	Обезвоживание обеспечивается в процессе транспортирования материала по конвейеру

Замена охлаждающих конвейеров была произведена в период проведения капитального ремонта установки металлизации ЦГБЖ-2 в октябре – ноябре 2012 г. В период с 19.12.2012 г. по 28.12.2012 г. были выполнены гарантийные испытания системы охлаждения продукции, акты об успешном проведении которых были подписаны 28.01.2013 г. во время совместной встречи специалистов АО «Лебединский ГОК» с сотрудниками компаний Aumund, Katco.

Работа охлаждающих конвейеров оценивается как стабильная. Средняя производительность установки металлизации ЦГБЖ-2 вследствие уменьшения времени работы на сниженных параметрах, связанных с неплановыми простоями охлаждающих конвейеров, находилась на уровне 187 т/ч, что превышало проектную на 7,5 т/ч. Оптимизация производительности брикетов-прессов, использование системы медленного охлаждения брикетов на вновь установленных конвейерах позволили увеличить прочность брикетов (барабанный индекс) до 78 % по итогам работы за 2015 г. по сравнению с 70,9 % до их замены.

Следующий этап реконструкции установки металлизации ЦГБЖ-2 был связан с заменой реакционных труб реформера [12].

Реформер предназначен для получения реформированного газа посредством осуществления процессов конверсии газа в реакционных трубах на никелевом катализаторе.

Питающий газ (состоящий из колошникового и природного газов) поступает в нагретые выше 900 °С реакционные трубы реформера (510 ед.) и поднимается вверх. При контакте с катализатором и под действием высоких температур в питающем газе происходят реакции конверсии, и он преобразуется в реформированный газ с высокой концентрацией монооксида углерода (CO) и водорода (H<sub>2</sub>). Реформированный газ, выходя из верхней части каждой трубы, собирается в коллекторах.

Реформер оснащен главными и вспомогательными горелками. Воздуходувка основного воздуха подает предварительно нагретый до 550–600 °С воздух для горения к главным горелкам, где он добавляется к топливной смеси природного газа и колошникового топливного газа. Воздуходувка подает воздух на вспомогательные горелки, где он смешивается с природным газом и сжигается [13, 14].

Дымовой газ от горелок удаляется через отводы дымового газа, расположенные вверху каждой секции реформера. Отводы соединяются с газоходами на каждой стороне реформера. Большая часть дымового газа используется в системе рекуперации тепла для подогрева воздуха для горения, питающего газа, природного и колошникового газов. Часть дымового газа удаляется через отвод уплотнительного газа, расположенный на торцевой стенке реформера, и используется для получения уплотняющего газа.

В процессе работы в режиме установившегося технологического процесса температура свода реформера составляет 1130–1140 °С, но не выше 1150 °С. В режиме «холостого» хода печи металлизации в реформере поддерживается температура на уровне 1010 °С. Таким образом, реакционные трубы

Таблица 2. Химический состав применяемых материалов, %

Элемент	Материал		
	Г 4852 MICRO	Г 4879 MICRO	60 НТД
C	0,4–0,5	0,4–0,6	0,3–0,6
Si	0,5–1,5	≤2	–
Mn	≤1,5	≤1,5	–
Cr	24–27	26–30	24–30
Ni	33–36	46–50	Опт.
W	≤0,6	4–6	–
Nb	0,5–1,5	–	≤1
P	≤0,03	≤0,03	≤0,03
S	≤0,03	≤0,03	≤0,03
Ti	≤0,3	≤0,3	–
Al	–	–	2–3
As	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Pb	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Sn	≤0,05	≤0,05	≤0,05
Zn	≤0,05	≤0,05	≤0,05
N	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Fe	Опт.	Опт.	≤10

Примечание. Опт. – оптимальное значение.

постоянно находятся в нагретом состоянии с целью исключения температурных напряжений, возникающих в процессе охлаждения труб.

Реакционные трубы имеют внутренний диаметр 260 мм. Они изготовлены из отлитого центробежным литьем температуростойкого сплава. Трубы подвешиваются на свод, чтобы обеспечить тепловое расширение вниз через огнеупорное кольцо в поде реформера.

Корпус реформера состоит из 17 одинаковых секций. Последние изготовлены из листовой углеродистой стали и образуют общий газонепроницаемый блок. Каждая секция содержит 30 реакционных труб, которые располагаются в шесть рядов по пять труб в каждом и заполнены катализатором. Всего насчитывается 510 реакционных труб.

При рассмотрении возможности реконструкции реформера для увеличения его производительности предлагались два варианта: установка двух дополнительных секций реформера по 30 реакционных труб в каждой секции; увеличение температуры свода реформера и, соответственно, скорости протекания химических реакций.

С технической и экономической позиций второй вариант является наиболее приемлемым, но дальнейшее увеличение температуры было ограничено характеристиками материала, используемого при изготовлении реакционных труб реформера.

Согласно проекту, в реформере ЦГБЖ-2 были установлены трубы компании Midrex, верхняя часть которых была выполнена из сплава типа HV, а нижняя часть – из сплава HP-MA. Макси-

мальная температура металла стенки трубы 1080 °С, рабочая температура свода реформера 1145 °С.

Специалистами АО «Лебединский ГОК» было принято решение о замене реакционных труб реформера на более устойчивые к температурным воздействиям. При определении поставщика выбор был сделан в пользу компании Schmidt-Clemens. Данные трубы при проектном внутреннем диаметре 250 мм выполнены из трех частей. Нижняя и средняя части изготовлены из материалов классов HP (G4852) и HV (G4879) с добавлением микродобавок, а верхняя часть трубы, подвергающаяся максимальным температурным нагрузкам, изготовлена из инновационного сплава 60НТД.

Для сохранения прочности под воздействием высоких температур толщина стенки трубы в верхней части увеличена до 12 мм (при проектной 10,3 мм). Химический состав применяемых для изготовления реакционных труб материалов приведен в **табл. 2**. Максимально допустимая температура металла стенки трубы для этого сплава составляет 1110 °С.

Замена труб реформера, произведенная в 2014 г., позволила повысить температуру свода реформера и увеличить производительность установки металлизации ЦГБЖ № 2 до 193 т/ч.

### Заключение

Проведенные специалистами Лебединского ГОКа работы по реконструкции системы охлаждающих конвейеров и системы производства реформированного газа за счет снижения времени неплановых простоев оборудования и повышения эффективности работы реформера позволили увеличить производительность установки металлизации ЦГБЖ № 2 с 179,5 до 193 т/ч при улучшении качественных характеристик выпускаемой продукции.

### Библиографический список

См. англ. блок. **74**

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 5, pp. 70–74  
DOI: 10.17580/gzh.2017.05.16

#### Increase in productivity of metallization plant at HBI Shop No. 2

##### Information about authors

V. V. Kondrashkin<sup>1</sup>, HBI Works Director

A. V. Panarin<sup>1</sup>, Deputy HBI Works Director of Production, panarin\_a\_v@lebgok.ru

Yu. A. Krymov<sup>1</sup>, Deputy HBI Works Director of Technology

T. V. Nikitchenko<sup>2</sup>, Chief Specialist of Board for Technical Appraisal of Production Sustenance and Modernization Projects

<sup>1</sup> JSC Lebedinsky GOK, Gubkin, Russia

<sup>2</sup> Metallinvest Management Company LLC, Moscow, Russia

##### Abstract

The advance of metallurgy in the world in the recent few decades features the high-rate growth of iron production by direct reduction. At the present time, Midrex technology prevails in this field. Many plants possessing such installations are concerned with the issues of the improvement of this technology.

In 2014 Lebedinsky GOK accomplished stage-wise reconstruction of the system of cooling conveyors and the system of reformed gas production, which allowed enhancement of production output of the plant making metallized briquettes and enabled improvement of quality characteristic of finished products. This article describes problems revealed in the course of operation of the metallization plant at HBI Shop No. 2, which had negative influence on the plant efficiency. The results of modernization of cooling conveyors are reported. The anticipated efficiency due to replacement of reformer pipes is valued. The reconstruction of the system of cooling conveyors and the system of reformed gas production undertaken by specialists of Lebedinsky GOK, owing to the reduction in the unscheduled downtime and thanks to the enhanced reformer efficiency, has enabled the increase in the metallization plant capacity from 179.5 to 193 t/h of products with better quality characteristics.

**Keywords:** direct reduced iron, metallization plant, hit-briquetted iron, cooling conveyors, briquette press machine, reformer, reaction pipes.

##### References

1. Biryukov A. B., Safyants S. M. Analysis of technology of production of direct-process iron Itmk3. *Byulleten «Chernaya metallurgiya»*. 2016. No. 10. pp. 21–26.
2. Sklyar V. O. Innovation and resource-saving technologies in metallurgy: tutorial. Donetsk : DonNTU, 2014. 224 p.
3. Soyfer V. M. Using the direct-process iron products in electric-steelmaking furnaces. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. 2006. No. 33. pp. 87–90.
4. Small M. Direct reduction of iron ORE. *Journal of metal*. 1981. April. pp. 67–75.
5. Maymur B. N., Khudyakov A. Yu., Petrenko V. I., Vashchenko S. V. et al. Briquetting of metallurgical raw materials. Urgency and ways of development. *Byulleten «Chernaya metallurgiya»*. 2016. No. 1. pp. 74–81.
6. Park J. H., Hamad K., Widiantara I. P., Ko Y. G. Strain and crystallographic texture evaluation of interstitial free steel cold deformed by differential speed rolling. *Materials Letters*. 2015. Vol. 147. pp. 38–41
7. Park J.-J. Finite-element analysis of severe plastic deformation in differential speed rolling. *Computational Materials Science*. 2015. Vol. 100, Part A. pp. 61–66.
8. Park J. H., Hamad K., Widiantara I. P., Ko Y. G. Strain and crystallographic texture evaluation of interstitial free steel cold deformed by differential speed rolling. *Materials Letters*. 2015. Vol. 147. P. 38–41
9. Park J.-J. Finite-element analysis of severe plastic deformation in differential speed rolling. *Computational Materials Science*. 2015. Vol. 100. Part A. P. 61–66.
10. Timofeeva A. S., Nikitchenko T. V. Investigation of characteristics of disperse flows, intended for the cooling of high-temperature bodies. *Collection of scientific proceedings of regional scientific and practical conference November 27–28, 2003*. Staryi Oskol. pp. 140–142.
11. Butkarev A. P., Butkarev A. A., Malyavin B. Ya. et al. Connection of cooling modes with stresses in pellets. *Stal*. 2005. No. 3. pp. 10–12.
12. Mekhryakov D. V., Greznev V. G., Maley I. V., Petrov S. V., Fakhruddinov M. Ya. Experience of Carrying Out Upgrading of «Midrex» Metallization Plants at the Oskol Electrometallurgical Plant. *Stal*. 2015. No. 3. pp. 25–29.
13. Yusfin Yu. S., Pashkov N. F. Iron metallurgy: tutorial for universities. Moscow : IKTs «Akademkniga», 2007. 464 p.
14. Mirodatos C. Proc.V Int. Natural Gas Conversion Symp. Guardini-Naxos, Sicily, 1998. Amsterdam : Elsevier, 1998. pp. 99–107.