

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ВЫПУСК 26**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
17 – 18 мая 2022 г.*

**ЧАСТЬ V**

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк  
2022**

ББК 74.48.288  
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,  
д-р техн. наук, профессор Кулаков С.М.,  
канд. техн. наук, доцент Алешина Е.А.,  
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.  
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.  
канд. техн. наук, доцент Шевченко Р.А.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть V. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 446 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Пятая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области новых информационных технологий и систем автоматизации управления, строительства, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЛИТКОВ  
КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

*Ермакова А.С.*..... 415

МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ЕВРАЗ ЗСМК ДЛЯ СТОЧНЫХ ВОД

*Челищев А.А.*..... 420

ДРЕВЕСНОУГОЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

*Антонюк А.Е., Михайличенко Т.А.*..... 426

СОБЛЮДЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА  
РОССИЕЙ ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

*Сидонова М.В.*..... 431

## ДРЕВЕСНОУГОЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

**Антонюк А.Е., Михайличенко Т.А.**

**Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Михайличенко Т.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
Новокузнецк, Россия, antonyuk\_antonyuk00@mail.ru*

В работе рассмотрены история вопроса и преимущества древесно-угольной металлургии. Приведён мировой объём производства и экспорта чугуна в Бразилии и России в 2013 году. Представлены отличительные особенности доменной плавки на древесном угле. Оценены показатели работы бразильских доменных печей на древесном угле. Проанализированы российские перспективы на мировом рынке.

**Ключевые слова:** древесный уголь, биотопливо, металлургия, доменная печь, чугун.

Использование древесного угля в качестве твёрдого топлива в металлургии известно давно. Древесный уголь на протяжении столетий был основным сырьём для металлургического производства. В середине XVIII века англичане, испытывая недостаток лесных угодий, придумали технологию использования каменного угля для выплавки металла. С тех пор доля биопродукта в металлургии резко упала. Однако он сохранил свой приоритет в ряде регионов и металлургических технологий, особенно восстанавливающих. Многие предприятия продолжают применять черное биотопливо в производстве чугуна, ферросплавов, свинца, алюминия, меди, олова, никеля, лантанидов, редких и ценных металлов. Его используют также как покровный флюс при выплавке некоторых видов бронзы и латуни, никелевых сплавов (мельхиор и нейзильбер). Возможно, применение древесного угля в качестве карбюризатора для цементации при производстве брони.

Спад потребления древесного угля в мировой металлургии активизировался в 80-х годах XIX века из-за его замещения коксом, давления органов экологического контроля и истощения запасов лесов. Решающим фактором стала ценовая конкуренция – чугун, приготовленный с использованием кокса, на мировом рынке стал гораздо дешевле [1].

Однако биотопливо сохранило свой приоритет в ряде регионов и металлургических технологий. Ряд предприятий продолжает применять древесный уголь в производстве чугуна, ферросплавов, свинца, алюминия, меди, олова, никеля, лантанидов, редких и ценных металлов. Его используют также как покровный флюс при выплавке некоторых видов бронзы и латуни, никелевых сплавов (мельхиор и нейзильбер). Возможно применение древесного угля в качестве карбюризатора для цементации при производстве бро-

ни. Кроме того, технологически биопродукт вполне способен заменить кокс в доменной печи.

Оценки объёма мирового производства древесного угля очень разнятся – от 9 до 23 млн. т в год, так как основная его часть изготавливается на малых мощностях кустарным способом в развивающихся странах, где со статистикой дела обстоят плохо. При этом считается, что в металлургию поступает около 20% этого продукта [2].

Известно, что использование древесноугольного топлива позволяет получать высококачественный чугун. Это наиболее актуально для стран-экспортёров товарного чугуна – Бразилии и России, которые по итогам 2013 г. экспортировали более половины мирового объёма экспорта чугуна [3] (рисунок 1).

На сегодняшний день в мировом углежжении и применении его продукции в металлургии остался по сути единственный игрок – Бразилия. Эта страна является ведущим экспортёром чугуна, в Бразилии имеются огромные запасы самовосстанавливающегося биоресурса – эвкалипта. При должном подходе оборот рубки эвкалипта составляет всего 7 лет (для сравнения: оборот рубки хвойных деревьев на Урале 60...70 лет).

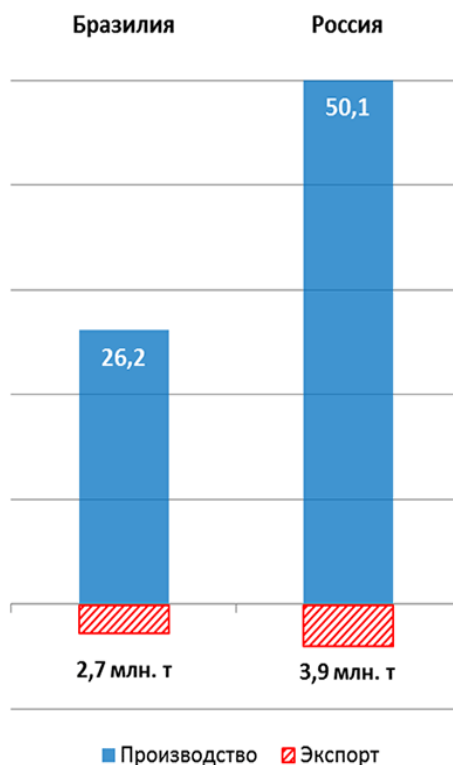


Рисунок 1 - Производство и экспорт чугуна в Бразилии и России в 2013 г

Общий выпуск бразильского древесного угля для нужд металлургии оценивается в 7,5 млн. тонн в год. Из 1 тонны сырьевой древесины до домны (с учётом выхода побочных продуктов, сортировки и транспортных потерь) доходит около 170 кг древесного угля.

Интересно, что в Бразилии имеются крупные лесопромышленные компании, специализирующиеся на углежжении. Например, фирмы Mannesmann и Plantar Group высаживают быстрорастущие эвкалипты (*E. Camaldulensis*, *Cloesia*, *Urophylla* и *Pellita*), а потом самостоятельно перерабатывают их в древесный уголь. Кроме того, в Южной Америке существуют объединённые древесноугольные металлургические холдинги, которые выращивают для себя лес, выжигают из него древесный уголь, а затем выплавляют на нём чугун. Средние показатели производства древесного угля: на эвкалиптовой плантации в 525 тыс. га при затратах \$199,5 млн. в год производится 175 млн. куб. м древесного угля себестоимостью \$10,25 за куб. м, что позволяет выплавлять 67 млн. т металла ежегодно [1].

Бразилия является единственной страной в мире, применяющей для производства товарного чугуна доменные печи, работающие на древесном угле. Согласно бразильским государственным законам, компании, использующие древесный уголь, должны выполнять программу по восстановлению лесонасаждений. На типичных лесопосадках выращивают эвкалиптовые деревья по семилетнему циклу, при котором каждая тонна получаемой сухой древесины обеспечивается растущей биомассой из 6,8 т древесины, корней, листьев, являющихся поглотителем диоксида углерода и обеспечивающих поступление кислорода в атмосферу.

Схема лесопосадок с семилетним циклом, применяющаяся для производства товарного чугуна обеспечивает положительный баланс генерации кислорода и фиксации атмосферного углерода.

Согласно данным некоторых исследований, весь процесс от посадки деревьев до производства товарного чугуна с применением древесного угля удаляет из атмосферы 1,1 т диоксида углерода на каждую тонну выплавленного чугуна. При производстве чугуна с применением кокса в атмосферу выделяется 1,8 т диоксида углерода. Таким образом, использование древесного угля вместо кокса уменьшает эмиссию диоксида углерода на 2,9 т/т чугуна.

Как известно, древесный уголь обладает существенно меньшей механической прочностью в сравнении с коксом, а также повышенными показателями прочности при восстановлении (RDI) и реакционной способностью (RI). Поэтому доменные печи, работающие на древесном угле, имеют меньшую высоту и больший диаметр в сравнении с доменными печами, работающими на коксе.

К отличительным особенностям доменной плавки на древесном угле относятся:

- низкие выход шлака (120-150 кг/т чугуна) и его основность ( $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ ) – 0,75-0,85.

- температура в зоне замедленного теплообмена (800<sup>0</sup>С) на 150<sup>0</sup>С ниже при работе на древесном угле, чем на коксе (950<sup>0</sup>С) по причине высокой реакционной способности древесного угля.

- объем занимаемый рудой в древесноугольной МДП (15%) составляет половину объема руды коксовой МДП (30%)

- время пребывания руды в зоне замедленного теплообмена, составляет половину времени пребывания руды в МДП работающей на коксе.

- теплотворность отходящего газа в МДП работающей на древесном угле намного выше, чем у МДП работающей на коксе, 4.2 МДж/Нм<sup>3</sup> и 3.1 МДж/Нм<sup>3</sup> соответственно.

Расход древесного угля, в зависимости от его влажности и содержания кремния в чугуна, составляет от 650 до 1000 кг/т товарного чушкового чугуна.

Качество чугуна, выплавленного в доменных печах, работающих на древесном угле, превосходит качество чугуна, полученного при использовании кокса, поскольку он имеет более низкое содержание серы и фосфора. Кроме того, древесноугольный чугун, как правило, свободен от таких микроэлементов, как титан, хром, цинк, в значительной степени поступающих в доменную печь в составе золы кокса [4].

В Бразилии работают около 70 производителей товарного чугуна, в распоряжении которых находятся более 120 доменных печей. Это небольшие доменные печи, с объёмом производства от 1,5 до 12 тыс. т чугуна в месяц [2]. Показатели работы бразильских доменных печей на древесном угле приведены в таблице 1:

Таблица 1- Показатели работы бразильских доменных печей на древесном угле

| Показатель                                                          | MSA №2,<br>Белу-Оризонте | Gerdau №1,<br>Дивинополис | Sidersul №1, Рибас<br>ду Риу Парду |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Полезный объём, м <sup>3</sup>                                      | 250                      | 118                       | 136                                |
| Вид выплавленного чугуна                                            | передельный              | передельный               | передельный, литейный              |
| Год начала эксплуатации                                             | 1986                     | 1982                      | 1990                               |
| Наилучшая среднемесячная производительность т/(м <sup>3</sup> *сут) | 2,83                     | 2,20                      | 2,28                               |
| Древесный уголь:                                                    |                          |                           |                                    |
| крупность, мм                                                       | 10-25                    | 12-120                    | 12-120                             |
| зольность, %                                                        | 2                        | 3                         | 4                                  |
| Кусковая руда:                                                      |                          |                           |                                    |
| крупность, мм                                                       | 6-32                     | 9-25                      | 9-25                               |
| содержание Fe, %                                                    | 66,5                     | 65,0                      | 66,5                               |
| Температура дутья, С                                                | 800                      | 750                       | 700                                |
| Расход древесного угля, кг/т чугуна                                 | 640                      | 630                       | 637                                |

Россия долгое время конкурирует с Бразилией на мировом рынке чугуна. Высококачественный ковкий металл с использованием древесного угля до 2006 г. производили на Урале в г. Куса и сейчас продолжают выпускать в г. Касли, в том числе для художественного литья, требующего высокого качества поверхности и стойкости к атмосферному воздействию. Металл, выплавленный на биотопливе, более ковкий и менее хрупкий. Кроме того, молотый древесный уголь (с кусковой известью, плавиковым шпатом и коксом) применяется для выплавки высококачественной углеродистой или легированной стали в электродуговых печах для эффективного удаления серы из металла [5].

Всего в СССР до 1990 г. древесный уголь выжигали восемь крупных заводов. Сейчас к этой категории можно отнести только Амзинский лесокombинат и Моломский лесохимический завод, которые обеспечивают черным биопродуктом отечественную металлургию и поставляют свою продукцию на экспорт. Но и они заметно сократили выработку угля в последние годы, потому что металлургия перешла на более дешёвые энергоносители. В Свердловской области Каменск-Уральский металлургический завод (КУМЗ) потребляет ежемесячно до 1 тыс. тонн древесного угля, поставляемого Верхнесинячихинским лесохимзаводом, Нижнесергинским леспромпхозом и Серовской лесопромышленной базой. Общая проектная мощность этих предприятий в советское время достигала 53 тыс. тонн биотоплива в год, однако сейчас они снизили выпуск до 20 тыс. тонн, так как оборудование устарело. А количество печей за это время, например, в Нижних Сергах, уменьшилось в шесть раз [6].

В оборонной промышленности, которая раньше потребляла огромное количество биопродукта для производства фильтров из активированного угля и адсорбентов, объёмы спроса тоже резко упали. Кроме того, отход металлургии от биотоплива был вызван рядом технологических проблем в углежжении, связанных с устареванием оборудования и технологий.

Что касается новых технологий выжигания древесного угля, то наибольшую популярность в последнее время получили пиролизные печи с автоматическим управлением. Правда, это ноу-хау разработано ещё в советские времена, чтобы самостоятельно насытить рынок чёрного биотоплива в РФ, а не импортировать его из Китая и других стран ЮВА.

В целом получается, что и в мире, и в России пока наблюдаются тенденции снижения производства и потребления древесного угля, в том числе и в металлургии. Тем не менее, древесноугольная металлургия как способ производства высококачественного чугуна имеет хорошие перспективы в регионах с возобновляемыми биоресурсами [7].

#### Библиографический список

1. Выплавка металла на древесном угле [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://stal-kom.ru/drevesnyy-ugol-na-metall/?ysclid=l8gu9q5>

x5x816293267/свободный (дата обращения: 25.09.2022).

2. Древесноугольная металлургия [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <http://metalspace.ru/production-science/economy/991-drevesno-ugolnaya-metallurgiya.html/> свободный (дата обращения 25.09.2022).

3. Мартынов Н.Н., Мартынова Н.А., Черноусов П.И., Пыриков А.Н. Актуальные аспекты экологически чистого производства и рециклинга металлов//Современные технологии чёрной металлургии. – 2014. – С.25.

4. Печи малого объёма – будущее доменного производства [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9610971/page:38/> свободный (дата обращения 25.09.2022).

5. Древесный уголь для металлургов [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: [https://www.lesindustry.ru/issues/li\\_n18/Drevesniy\\_ugol\\_dlya\\_metallurgov\\_127/?ysclid=l8gx9ap1xb902414883/](https://www.lesindustry.ru/issues/li_n18/Drevesniy_ugol_dlya_metallurgov_127/?ysclid=l8gx9ap1xb902414883/) свободный (дата обращения 25.09.2022).

6. Обзор по рынку древесного угля [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.advis.ru/cgi-bin/new.pl?D9F6F623-BAC8-FF44-89CB-E804DE90D47E/> свободный (дата обращения 25.09.2022).

7. Мартынов Н.Н., Мартынова Н.А., Черноусов П.И., Пыриков А.Н. Актуальные аспекты экологически чистого производства и рециклинга металлов//Современные технологии чёрной металлургии. – 2014. – С.28.

Научное издание

# НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Выпуск 26

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых*

### Часть V

Под общей редакцией

С.В. Коновалова

Технический редактор

Г.А. Морина

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 08.12.2022 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 26,21 Уч.-изд. л. 28,66 Тираж 300 экз. Заказ № 324

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ