

Научная статья  
УДК 630.867.5 (332.14)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Глеб Владиславович Кашников<sup>1</sup>, Андрей Вениаминович Мехренцев<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> kashnikovg@list.ru

<sup>2</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Статья посвящена обоснованию методики применения сквозного углеродного анализа для повышения эффективности металлургического производства при использовании в качестве восстановителя при выплавке металла древесного угля. В качестве экспериментальной площадки выбран Ашинский металлургический завод.

В статье обосновано применение древесного угля или древесно-угольных брикетов, снижающих содержание вредных веществ, влияющих на качество металла и снижающих углеродный след металлургического производства. Определены коэффициенты расчета углеродного следа различных источников энергии. Представлена формула для расчета углеродного индикатора при сквозном анализе технологических процессов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, сквозной анализ, переработка низкосортной древесины

**Для цитирования:** Кашников Г. В., Мехренцев А. В. Исследование влияния древесного угля на энергоэффективность металлургических предприятий // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 191–195.

Original article

## STUDY OF THE INFLUENCE OF CHARCOAL ON THE ENERGY EFFICIENCY OF METALLURGICAL ENTERPRISES

Gleb V. Kashnikov<sup>1</sup>, Andrey V. Mekhrentsev<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> kashnikovg@list.ru

<sup>2</sup> mehrentsevav@m.usfeu.ru

**Abstract.** The article is devoted to the substantiation of the methodology for the application of end-to-end carbon analysis to improve the efficiency of metallurgical production using charcoal as a reducing agent in metal smelting. The Ashinsky Metallurgical Plant was chosen as an experimental site.

The article substantiates the use of charcoal or charcoal briquettes that reduce the content of harmful substances affecting the quality of metal and reducing the carbon footprint of metallurgical production. The coefficients for calculating the carbon footprint of various energy sources are determined. A formula for calculating the carbon indicator in the end-to-end analysis of technological processes is presented.

**Keywords:** energy efficiency, end-to-end analysis, processing of low-grade wood

**For citation:** Kashnikov G. V., Mekhrentsev A. V. (2025) Issledovanie vliyaniya drevesnogo uglya na energoeffektivnost' metallurgicheskikh predpriyatij [Study of the influence of charcoal on the energy efficiency of metallurgical enterprises]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 191–195. (In Russ).

Важнейшим параметром, характеризующим конкурентоспособность продукции металлургических производств, является ее энергоемкость. Кроме того, уровень глобальных и локальных техногенных воздействий на здоровье человека и качество окружающей среды непосредственно связан с эффективностью энергетического использования. Мировая практика повышения эффективности производства металлов показывает повсеместное нормирование энергетических параметров. Так, в странах ЕС и США действуют нормативные акты, регламентирующие энергоэффективность металлургических производств [1]. Для России производственная энергоемкость также имеет большое значение в условиях энергосберегающей государственной политики для обеспечения выпуска и реализации продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках [2].

Целью данного исследования является анализ путей снижения энергоемкости металлургической продукции за счет расширения использования древесного угля в качестве восстановителя при выплавке металла.

В качестве территории для проведения настоящего исследования предлагается Аша – город на западе Челябинской области. Население города Аши составляет 29 066 человек, он имеет статус города с территориальным районом. Муниципальное образование город Аша включено

в категорию «Монопрофильные муниципальные образования Российской Федерации (моногорода) с наиболее сложным социально-экономическим положением». Наиболее крупное градообразующее предприятие – Ашинский металлургический завод [3].

Публичное акционерное общество «Ашинский металлургический завод» – одно из динамично развивающихся металлургических предприятий России, расположенное на основных транспортных магистралях в Уральском федеральном округе. За всю историю своего существования он проделал путь от небольшого железоделательного завода до одного из уникальных металлургических предприятий Урала. Сегодня ПАО «Ашинский металлургический завод» – компактное современное многопрофильное производство, входящее в пятерку лучших поставщиков толстолистового проката из углеродистых, низколегированных, конструкционных и легированных марок сталей. В качестве восстановителя при производстве стали применяют высококачественный каменный уголь [4].

При производстве чугуна с применением каменноугольного кокса в атмосферу выделяется 1,8...1,9 т диоксида углерода. Древесный уголь может стать реальной альтернативой каменноугольному коксу. Древесный уголь применяют для выплавки высококачественной углеродистой стали в электродуговых печах. Теплота сгорания древесного угля 2 500 кДж/кг. Замена кокса древесным углем позволяет уменьшить эмиссию диоксида углерода на 2,9 т в расчете на т т/т чугуна. Расход древесного угля составляет от 650 до 1 000 кг на 1 т товарного чугуна. Качество металла, выплавленного с применением древесного угля, превосходит качество металла, полученного при использовании кокса за счет отсутствия серы и фосфора.

Наличие на лесных землях Уральского федерального округа избыточного объема низкосортной древесины позволяет произвести необходимые объемы древесного угля. При объеме заготовки 10 млн м<sup>3</sup> в условиях хвойно-лиственных насаждений получается около 2...2,5 млн м<sup>3</sup> дров и около 1,2 млн м<sup>3</sup> лесосечных отходов. Из этого объема древесины может быть получено около 440 тыс. т древесного угля. Повышает эффективность производства чугуна применение древесноугольных брикетов, которые, обладая более высокой прочностью и удельной теплоемкостью, могут применяться в доменных печах [5].

Для оценки энергоэффективности технологических процессов применяется методика сквозных суммарных расчетов энергоемкости технологических процессов с расчетом технологических топливных чисел (ТТЧ). Данная методика сопровождается построением иерархии нормированных энергозатрат – от начала технологического процесса до удельной энергоемкости готового изделия, объединяя межотраслевые промышленные связи [6].

При использовании сквозного энергетического анализа не учитывается эколого-энергетическая эффективность производства. Использование в лесном производстве природоподобных технологий ориентирует производителя продукции на учет как энергетических, так и экологических последствий производственного процесса.

Методической основой обоснования перехода к природоподобным технологиям может стать сквозной углеродный анализ [7].

Сквозной углеродный анализ включает в себя учет углеродного баланса на каждой стадии производственного процесса ведения лесного хозяйства в условиях лесных экосистем – от лесовыращивания до производства готовой продукции. Результатом сквозного углеродного анализа является величина углеродного индикатора технологического процесса (УИТП), включающего изменение углеродного следа в результате выполнения технологического процесса на данном лесном участке и во всех предшествующих переделах технологического процесса за вычетом депонированного углерода при производстве продукции длительного использования. Углеродный след напрямую связан с энергопотреблением и энергопроизводством, являющимися неотъемлемыми частями любого производственного процесса.

Для пересчета углеродного эквивалента через энергетические показатели технологического процесса предлагается использовать коэффициенты (таблица).

Переводные коэффициенты энергии и углеродного следа

| Показатели           | Эл. энергия, кВт*ч    | Тепловая энергия, Ккал | Тепловая энергия, ГДж | Условное топливо, кг | Углеродный след, кг |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| Эл. энергия, кВт*ч   | 1                     | 860                    | $3,6 \cdot 10^{-3}$   | 0,123                | 0,186               |
| Энергия, Ккал        | $1,163 \cdot 10^{-3}$ | 1                      | $4,19 \cdot 10^{-6}$  | $143 \cdot 10^{-6}$  | $5,7 \cdot 10^{-5}$ |
| Энергия, ГДж         | $0,278 \cdot 10^{-3}$ | $0,239 \cdot 10^{-6}$  | 1                     | 34                   | 13,676              |
| Условное топливо, кг | 8,131                 | 7 000                  | $29,33 \cdot 10^{-3}$ | 1                    | 0,399               |
| Углеродный след, кг  | 5,952                 | 17 543                 | 0,073                 | 2,506                | 1                   |

В соответствии с данными (таблица), может быть произведен расчет первичной эмиссии углерода (УИ<sub>1</sub>) в процессе ведения лесного хозяйства с учетом технологического процесса ведения лесного хозяйства, обеспечивающего древесным сырьем лесоперерабатывающие производства, например производства древесного угля.

Производная карбонизация связана с эмиссией углерода (УИЭ<sub>2</sub>) в процессе осуществления операций конкретного технологического процесса по переработке древесного сырья и с депонированием углерода (УИД<sub>2</sub>) в древесные полуфабрикаты (древесный уголь для металлургии) и изделия длительного использования. Параметр УИД<sub>2</sub> снижает величину углеродного следа, поэтому в углеродный баланс входит с отрицательным знаком.

Скрытая эмиссия углерода (УИ<sub>3</sub>) определяется величиной углеродного следа, скрытого в инструментах и машинах, используемых в технологическом процессе. Скрытая эмиссия углерода не влияет непосредственно на технологический процесс, но может стать важным параметром, характеризующим конкурентоспособность оборудования, применяемого в природоподобных технологиях.

Тогда общий углеродный индикатор технологического процесса может быть рассчитан по формуле:

$$\text{УИТП} = \text{УИ}_1 + \text{УИЭ}_2 - \text{УИД}_2 + \text{УИ}_3.$$

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о возможности реализации принципиально нового подхода к оценке энергоэффективности технологических процессов и расширению применения древесных материалов и изделий в народном хозяйстве.

## *Список источников*

1. Technology partnership, enhancing the competitiveness, efficiency and environmental quality of American industry. National Renewable Energy Laboratory. 1995. P. 142.
2. Рациональное использование топливно-энергетических тресурсов (Экономия топлива и энергии) / А. П. Егоричев, В. Г. Лисиенко, С. Е. Розин, Я. М. Щелоков. М. : Металлургия, 1990. 149 с.
3. Предприятия Уральского региона. URL: <https://ufirm.ru/> (дата обращения: 10.05.2024).
4. О компании // amet : [сайт]. URL: <https://www.amet.ru/invest/about/> (дата обращения: 10.05.2024).
5. Юрьев Ю. Л., Гиндуллин И. К., Дроздова Н. А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 5 (359). С. 139–149.
6. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М. Энергетический анализ – методология энергосбережения в металлургии // Энергетика региона. 2000. № 1. С. 21–23.
7. Усольцев В. А. Русский лес как гарант энергетической и экологической безопасности России // Эко-потенциал. 2014. № 4 (8). С. 7–15. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/3576/1/Usoltcev.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).