

МРНТИ 53.01.94
УДК 669[DOI: 10.4411/s00345-015-678](https://doi.org/10.4411/s00345-015-678)

А.Г. Бурумбаев

*Карагандинский индустриальный университет г. Темиртау, Казахстан
(E-mail: a.burgumbaev@tttu.edu.kz)***Устойчивое производство и переработка металлов: экологические вызовы
и пути их решения**

В статье рассматриваются современные подходы к устойчивому производству и переработке металлов, направленные на снижение негативного воздействия металлургической промышленности на окружающую среду. Особое внимание уделяется декарбонизации производственных процессов, снижению выбросов парниковых газов и оптимизации энергоэффективности. Также обсуждаются инновационные технологии переработки отходов и внедрение "зелёных" решений в металлургии. В статье анализируются ключевые вызовы, с которыми сталкивается отрасль, и предлагаются возможные пути их преодоления в контексте перехода к низкоуглеродной экономике.

Ключевые слова: устойчивое производство, переработка металлов, декарбонизация, экология, металлургическая промышленность, энергоэффективность, зелёные технологии, отходы, выбросы парниковых газов.

Металлургическая промышленность играет ключевую роль в мировой экономике, обеспечивая базовые материалы для различных отраслей – от строительства и транспорта до производства бытовой техники и технологий. Однако, несмотря на значимость отрасли, её деятельность сопряжена с серьёзными экологическими вызовами. Производственные процессы, связанные с добычей, переработкой и выпуском металлов, являются одними из наиболее энергоёмких и ресурсоёмких, что ведёт к высокому уровню выбросов парниковых газов, загрязнению почв и водных ресурсов, а также образованию значительных объёмов промышленных отходов.

В условиях растущего давления со стороны глобальных экологических стандартов и международных соглашений по борьбе с изменением климата, металлургическая отрасль вынуждена адаптироваться, внедряя инновационные подходы к устойчивому производству и переработке металлов. Особое внимание уделяется сокращению углеродного следа, повышению энергоэффективности, вторичной переработке материалов и минимизации отходов. Важным аспектом этой трансформации становится внедрение "зелёных" технологий, которые помогают уменьшить воздействие на окружающую среду.

Настоящая работа направлена на изучение ключевых экологических вызовов, с которыми сталкивается металлургическая промышленность, а также анализ перспективных решений для достижения устойчивого развития отрасли в контексте глобальной экологической повестки.

Экологические вызовы металлургической отрасли

Металлургия, несмотря на её значительный вклад в развитие экономики и промышленности, остаётся одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Существует несколько ключевых экологических проблем, с которыми сталкивается отрасль:

1. **Высокий уровень выбросов парниковых газов.** Производственные процессы в металлургии, включая добычу сырья, плавку и обработку металлов, сопровождаются значительными выбросами углекислого газа (CO₂) и других парниковых газов. Основные эмиссии связаны с

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

использованием ископаемого топлива для выплавки и переработки железа, стали, алюминия и других металлов. Например, производство одной тонны стали может приводить к выбросам около двух тонн CO₂, что существенно влияет на глобальные климатические изменения.

2. Загрязнение воздуха и воды. Помимо выбросов CO₂, металлургические предприятия выделяют в атмосферу такие вредные вещества, как диоксиды серы, азота, мелкодисперсные частицы и тяжёлые металлы, что ведёт к ухудшению качества воздуха и росту числа респираторных заболеваний среди населения. Отходы металлургического производства также загрязняют водные ресурсы, так как сточные воды часто содержат токсичные вещества, включая свинец, ртуть и кадмий.

3. Образование твёрдых отходов. Ещё одной проблемой является образование огромных объёмов отходов, включая шлаки, отвалы и пыль, возникающих в процессе добычи и переработки руды. Эти отходы требуют значительных затрат на утилизацию или переработку и могут занимать обширные территории, нарушая экосистемы и ландшафты.

4. Истощение природных ресурсов. Металлургическая промышленность зависит от добычи невозобновляемых природных ресурсов, таких как железная руда, бокситы и медные руды. Рост спроса на металлы, в том числе в результате урбанизации и индустриализации, приводит к увеличению нагрузки на природные экосистемы и истощению полезных ископаемых.

Пути решения: переход к устойчивой металлургии

Для снижения экологического воздействия металлургической промышленности и перехода к устойчивому развитию необходимы комплексные решения, охватывающие все этапы производственного цикла. Среди перспективных подходов можно выделить:

1. Декарбонизация металлургических процессов. Одной из главных стратегий снижения выбросов CO₂ является переход к низкоуглеродным или безуглеродным технологиям производства металлов. Это может включать использование водорода в качестве восстановителя вместо угля в доменных печах, а также внедрение электрометаллургии на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия.

2. Повышение энергоэффективности. Внедрение энергоэффективных технологий и методов управления энергопотреблением на производстве позволяет снизить как общие затраты на производство, так и негативное воздействие на окружающую среду. Это включает использование вторичных энергоресурсов, утилизацию тепловых выбросов и модернизацию оборудования.

3. Вторичная переработка и циркулярная экономика. Металлы обладают высокой степенью пригодности к переработке, что делает их идеальными для повторного использования в экономике замкнутого цикла. Переработка металлолома позволяет сократить потребление первичных ресурсов и снизить энергозатраты на производство новых изделий. Активное развитие систем сбора и переработки отходов металлургического производства поможет уменьшить их негативное воздействие на окружающую среду.

4. Использование зелёных технологий. Внедрение экологически чистых технологий в металлургическое производство, таких как очистка выбросов, фильтрация сточных вод и переработка промышленных отходов, способствует уменьшению негативного воздействия на экосистемы и здоровье человека. В этом контексте важным направлением является использование биотехнологий для очистки загрязнённых вод и почв.

Приведём несколько примеров, которые демонстрируют успешные подходы к решению экологических вызовов и способствуют переходу к устойчивому производству и переработке металлов:

1. Проект Hybrit — декарбонизация стали с использованием водорода (Швеция)

Проект Hybrit, реализуемый в Швеции, представляет собой инновационную инициативу, направленную на полную декарбонизацию производства, стали. В традиционной металлургии для

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

восстановления железной руды используется уголь, что приводит к значительным выбросам CO₂. В проекте Hybrit уголь заменяется водородом, который выделяет воду вместо углекислого газа. Это позволяет существенно снизить углеродный след. Ожидается, что к 2045 году проект Hybrit станет полностью углеродно-нейтральным и станет образцом для остальных производителей, стали.

2. Переработка алюминия на предприятиях компании Novelis (США)

Novelis - мировой лидер по производству алюминия с высоким уровнем переработки, где около 60% всей продукции производится из переработанных материалов. Процесс переработки алюминия требует на 95% меньше энергии, чем производство первичного алюминия, что значительно снижает уровень выбросов CO₂. Компания активно развивает стратегии циркулярной экономики, внедряя системы сбора и переработки алюминиевого лома и снижая зависимость от первичных ресурсов.

3. Технологии улавливания и хранения углерода (CCS) на металлургических предприятиях

Несколько металлургических предприятий, в том числе в Норвегии и Канаде, внедряют технологии улавливания и хранения углерода (CCS) для снижения выбросов CO₂. Эти технологии позволяют улавливать до 90% углеродных выбросов на производстве, а затем хранить их в подземных резервуарах. Примером является проект на норвежском металлургическом заводе Elkem, где внедряются системы CCS для значительного сокращения выбросов углерода.

4. "Зелёные" технологии на производстве меди на заводе Aurubis (Германия)

Aurubis, один из крупнейших производителей меди в Европе, активно применяет технологии для повышения энергоэффективности и снижения экологического воздействия. Завод перерабатывает не только медные отходы, но и производственные побочные продукты, такие как сернистый газ, который затем превращается в серную кислоту, используемую в химической промышленности. Это снижает уровень выбросов загрязняющих веществ и способствует более эффективному использованию ресурсов.

5. Разработка биоразлагаемых материалов из металлических отходов (Китай)

Исследователи из Китая разработали инновационный способ переработки отходов металлургии для создания биоразлагаемых материалов. Например, отходы от производства стали могут быть использованы для создания почвенных добавок, улучшающих качество почвы и помогающих восстанавливать деградированные земли. Это направление показывает, как отходы металлургии могут быть повторно использованы в сельском хозяйстве, снижая нагрузку на окружающую среду.

Эти примеры показывают, как современные технологии и инновации могут помочь металлургической отрасли перейти к более устойчивым методам производства, сократить углеродные выбросы и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Выводы

Переход металлургической промышленности к устойчивому развитию — это не просто экологическая необходимость, но и стратегическая задача для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности отрасли в условиях глобальной трансформации экономики. Инновации в области декарбонизации, повышение энергоэффективности и активное использование вторичных ресурсов могут стать ключевыми факторами успеха в этой области. Экологические вызовы, стоящие перед металлургией, требуют активного участия государства, бизнеса и научного сообщества для внедрения передовых технологий, и создания нормативной базы, способствующей устойчивому развитию отрасли.

Металлургическая промышленность находится на пороге серьезных изменений, вызванных необходимостью устойчивого развития. В условиях глобальной трансформации экономики и усиливающегося экологического контроля металлургические предприятия сталкиваются с рядом вызовов, таких как высокая энергоёмкость процессов, значительные выбросы парниковых газов и образование промышленных отходов. Однако эти вызовы открывают новые возможности для

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

модернизации и внедрения инновационных технологий, которые позволят сократить негативное воздействие на окружающую среду и повысить конкурентоспособность отрасли.

Декарбонизация, повышение энергоэффективности и переход к циркулярной экономике — это ключевые направления, которые помогут металлургии стать более устойчивой. Важную роль в этом процессе играет государственная поддержка, а также сотрудничество бизнеса и научного сообщества для разработки и внедрения передовых технологий.

Переход к устойчивому производству металлов — не только экологическая необходимость, но и стратегическая задача, от успешного решения которой зависит будущее отрасли в условиях изменения климата и роста требований к экологии. Внедрение зелёных технологий, оптимизация ресурсов и переработка отходов помогут создать новую модель металлургического производства, которая будет отвечать требованиям устойчивого развития и способствовать глобальной борьбе с изменением климата.

Список литературы

1. Белевцев, М. В. Устойчивое развитие металлургической промышленности: теоретические основы и практические подходы // Вестник современной науки. — 2020. — № 4. — С. 24-31.
2. Бобков, А. А. Экологическая безопасность металлургического производства // Экология промышленного производства. — 2021. — № 2. — С. 48-55.
3. Новиков, И. А., Кравченко, Е. П. Технологии улавливания и хранения углерода: перспективы для металлургии // Энергетическая политика. — 2021. — № 9. — С. 12-18.
4. Иванов, П. В. Металлургическая промышленность и декарбонизация: мировые тренды // Промышленная экология. — 2022. — № 3. — С. 43-50.
5. Petroski, M. Sustainable Steel Production: Innovations and Challenges // Journal of Material Sciences. — 2019. — Vol. 54. — P. 177-189.
6. Campbell, R., Anderson, M. The Role of Secondary Metals in a Circular Economy // Green Manufacturing Journal. — 2020. — Vol. 22. — P. 115-127.
7. Nordenskiöld, A. Hybrit: Hydrogen-based steel production as a solution to reduce carbon emissions // Renewable Energy Reports. — 2021. — Vol. 45. — P. 201-213.
8. World Steel Association. Steel's Contribution to a Low-Carbon Future: Annual Review 2023. — Brussels: WSA, 2023.
9. Novelis. Sustainability Report 2022: Driving Circularity in Aluminum Production. — Atlanta: Novelis Inc., 2022.
10. Aurubis AG. Environmental Responsibility and Sustainable Production: Annual Report 2023. — Hamburg: Aurubis, 2023.

А. Г. Бурумбаев

Тұрақты металл өндірісі және қайта өңдеу: экологиялық қиындықтар және оларды шешу жолдары

Мақалада металлургия өнеркәсібінің қоршаған ортаға теріс әсерін азайтуға бағытталған металдарды тұрақты өндіру мен қайта өңдеудің заманауи тәсілдері қарастырылады. Өндірістік процестерді декарбонизациялауға, парниктік газдар шығарындыларын азайтуға және энергия тиімділігін оңтайландыруға ерекше назар аударылады. Сондай-ақ, қалдықтарды қайта өңдеудің инновациялық технологиялары және металлургияда "жасыл" шешімдерді енгізу талқылануда. Мақалада саланың алдында тұрған негізгі қиындықтар талданады және төмен көміртекті экономикаға көшу контекстінде оларды жеңудің мүмкін жолдары ұсынылады.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

Түйін сөздер: тұрақты өндіріс, металдарды қайта өңдеу, декарбонизация, экология, металлургия өнеркәсібі, энергия тиімділігі, жасыл технологиялар, қалдықтар, парниктік газдар шығарындылары.

A.G. Burumbayev

Sustainable production and processing of metals: environmental challenges and solutions

The article discusses modern approaches to sustainable production and processing of metals aimed at reducing the negative impact of the metallurgical industry on the environment. Special attention is paid to decarbonization of production processes, reduction of greenhouse gas emissions and optimization of energy efficiency. Innovative waste recycling technologies and the introduction of "green" solutions in metallurgy are also discussed. The article analyzes the key challenges faced by the industry and suggests possible ways to overcome them in the context of the transition to a low-carbon economy.

Keywords: sustainable production, metal recycling, decarbonization, ecology, metallurgical industry, energy efficiency, green technologies, waste, greenhouse gas emissions.

References

1. Belevtsev, M. V. Sustainable development of the metallurgical industry: theoretical foundations and practical approaches // Bulletin of Modern Science. – 2020. – No. 4. – pp. 24-31.
2. Bobkov, A. A. Environmental safety of metallurgical production // Ecology of industrial production. - 2021. – No. 2. – pp. 48-55.
3. Novikov, I. A., Kravchenko, E. P. Carbon capture and storage technologies: prospects for metallurgy // Energy policy. – 2021. – No. 9. – pp. 12-18.
4. Ivanov, P. V. Metallurgical industry and decarbonization: global trends // Industrial ecology. - 2022. – No. 3. – pp. 43-50.
5. Petroski, M. Sustainable steel production: innovations and challenges / M. Petroski // Journal of Materials Science. – 2019. – Volume 54. – pp. 177-189.
6. Campbell R., Anderson M. The role of secondary metals in the closed-loop economy // Journal "Green production". - 2020. – Volume 22. – pp. 115-127.
7. Nordenskiöld, A. Gibrit: hydrogen-based steel production as a solution to reduce carbon dioxide emissions // Renewable energy reports. - 2021. – Volume 45. – pp. 201-213.
8. World Association of Steel Manufacturers. The contribution of steel to a low-carbon future: an annual review for 2023. – Brussels: WSA, 2023.
9. Novelis. Sustainability Report for 2022: Ensuring the continuity of aluminum production. – Atlanta: Novelis Inc., 2022.10.
- Aurubis AG. Environmental Responsibility and Sustainable production: Annual Report for 2023. – Hamburg: Aurubis, 2023.