

Научная статья
УДК 67.03

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гилян Васильевна Федотова¹, Максим Анатольевич Пинкальский²,
Юлия Александровна Капустина³

¹ Федеральное исследовательское учреждение «Информатика и управление»
РАН, Москва, Россия

² Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ g_evgeeva@mail.ru

² maxpin@mail.ru

³ kapustinayua@m.usfeu.ru

Аннотация. Альтернативные направления роста энергоэффективности в промышленном производстве, как правило, связаны с переработкой вторичного сырья. В статье представлен обзор опыта внедрения RDF-технологий в цементном производстве. Обоснована эффективность применения альтернативного топлива, освещены вопросы экологической безопасности и снижения выбросов углерода.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, вторичное сырье, отходы, промышленность, альтернативное топливо, экологическая безопасность

Для цитирования: Федотова Г. В., Пинкальский М. А., Капустина Ю. А. Альтернативная энергоэффективность промышленного производства // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 605–612.

Original article

ALTERNATIVE ENERGY EFFICIENCY OF INDUSTRIAL PRODUCTION

Gilyan V. Fedotova¹, Maxim A. Pinkalsky², Yuliya A. Kapustina³

¹ Federal Research Center «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Russian Biotechnology University, Moscow, Russia

³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ g_evgeeva@mail.ru

² maxpin@mail.ru

³ kapustinayua@m.usfeu.ru

Abstract. Alternative directions of energy efficiency growth in industrial production, as a rule, are associated with the processing of secondary raw materials. The article provides an overview of the experience of implementing RDF technologies in cement production. The effectiveness of the use of alternative fuels is justified, the issues of environmental safety and reduction of carbon emissions are highlighted.

Keywords: alternative energy sources, secondary raw materials, waste, industry, alternative fuel, environmental safety

For citation: Fedotova G. V., Pinkalsky M. A., Kapustina Yu. A. (2025) Al'ternativnaya energoeffektivnost' promyshlennogo proizvodstva [Alternative energy efficiency of industrial production]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 605–612. (In Russ).

Современный мир сталкивается с неотвратимыми вызовами в области экологии, энергетики и устойчивого развития. В этом контексте, вопрос эффективного и экологически устойчивого использования ресурсов приобретает все большее значение для всех без исключения отраслей промышленности. Одной из сфер деятельности, которая привлекает внимание, является производство цемента. Россия входит в десятку стран – мировых лидеров по производству цемента как в абсолютном выражении (более 60 млн т в год), так и на душу населения (около 400 кг на одного россиянина) (рис. 1).



Рис. 1. Динамика объемов производства цемента и загрузки производственных мощностей предприятий Российской Федерации

Данные на рис. 1 представлены на основе официальной статистической информации по виду продукции «Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные гидравлические цементы» (<https://www.fedstat.ru/>).

Производство цемента является энергоемким и ресурсозатратным технологическим процессом, который обычно основан на использовании традиционных видов топлива, таких как уголь и природный газ.

Однако традиционные виды топлива не только влекут значительные экономические расходы, но и создают негативное воздействие на окружающую среду, включая выбросы парниковых газов и загрязнение воздушных и водных ресурсов. В контексте внедрения прорывных зеленых технологий растет популярность альтернативных видов топлива, получаемых путем переработки твердых бытовых отходов. Все более распространенным в профессиональном лексиконе становится термин Refuse-Derived Fuel (RDF) или RDF-топливо – дословно – топливо, получаемое из отходов. Исторически первой технологией получения RDF-топлива следует рассматривать выработку электроэнергии путем мусоросжигания. В настоящее время наиболее широкое применение RDF-топливо получило в цементном и металлургическом производствах. В 2023 г. по оценкам специалистов Европейского инвестиционного банка около 52 % потребностей цементных предприятий в топливе покрывалось именно за счет RDF. По данным российский аналитиков (<https://jcement.ru/>) с применением энергосберегающих технологий в 2023 г. в России произведено около 60 % цемента. Инициатива внедрения передового опыта принадлежит главным образом флагманам отрасли (ООО «СЛК «Цемент», ОАО «Новоросцемент», ООО «Цементрум Центр», ООО «Хайдельберг-Цемент Рус»). Более 62 % национального объема производства цемента обеспечивают пять крупнейших производителей.

Пионером внедрения современных технологических инноваций выступил цементный завод Holcim (ООО «Цементрум Центр»), который добился первоочередного прорыва в российской отраслевой практике, успешно внедрив передовую технологию альтернативного топлива. Данная технология была впервые задействована на заводе в 2015 году и продолжает бесперебойно функционировать, представляя собой образец инновационного развития.

В 2022 году Holcim удалось заменить более 17 % природного газа более экологичным RDF-топливом. Суть инновации заключается в использовании остатков после сортировки твердых коммунальных отходов (ТКО) в качестве исходного сырья для производства RDF-топлива. Ранее данные отходы направлялись на специализированные полигоны, что вызывало серьезные вопросы по утилизации и экологическому воздействию, однако с использованием современных технологий переработки, остатки после сортировки ТКО находят второе применение в производстве RDF-топлива, способствуя сбережению природных ресурсов и уменьшению негативного воздействия

на окружающую среду. Таким образом, в России была успешно внедрена одна из передовых практик в сфере охраны окружающей среды среди цементных предприятий мира.

Интеграция альтернативных источников топлива на предприятиях цементной промышленности отражает фундаментальные принципы замкнутого цикла экономики и приносит позитивный экологический эффект, определяя понятие «экологического мультипликатора», который включает в себя следующие аспекты:

- замещение ограниченных ископаемых видов топлива, что способствует сохранению природных ресурсов;
- зольный остаток в процессе химических реакций в печи становится частью клинкера, частично замещая ископаемые минеральные добавки;
- сокращение углеродного следа в производстве готовой продукции, что способствует борьбе с изменением климата;
- уменьшение негативного воздействия мусорных полигонов на состояние окружающей среды и здоровье жителей в регионах присутствия предприятия [1, 2].

Индикативным примером служит недавнее достижение завода Holcim, где ежегодно перерабатывается свыше 60 тыс. т твердых коммунальных отходов. За девять лет активной эксплуатации линии альтернативного топлива заводом было утилизировано более 287 тыс. т подобных отходов, что эквивалентно объему отходов, скапливаемых на половине среднего мусорного полигона в России.

Согласно данным Министерства природных ресурсов России, в 2022 г. на территории Российской Федерации было сгенерировано 48,5 млн т ТКО, в 2023 г. эта цифра снизилась до 46,0 млн т. Лишь около четверти общей массы сгенерированных твердых коммунальных отходов было отправлено на дальнейшую переработку, остальная часть – на полигоны.

Твердые коммунальные отходы содержат в себе компоненты с относительно высокой теплотой сгорания, такие как бумага, картон, древесина и пластик, извлечение которых и их последующее использование в качестве топлива предоставляют возможности реализации энергетического потенциала отходов.

Другим методом является сжигание RDF в специальных камерах с контролируемой температурой и давлением, что позволяет максимально извлечь энергию из этого топлива. Данные методы помогают увеличить калорийность RDF-топлива, делая его более эффективным и экологически приемлемым источником энергии.

При осуществлении деятельности, связанной с эксплуатацией топливного сырья RDF, имеет первостепенное значение уделение должного внимания аспектам, связанным с окружающей средой и экологическим воздействием, поскольку требуется проведение всестороннего и детального

анализа компонентов, включенных в структуру RDF, а также производных продуктов, образующихся в процессе его термического окисления.

Использование RDF-топлива в качестве альтернативного источника энергии, вместо традиционных ископаемых ресурсов, таких как уголь, нефть и природный газ, содействует существенному сокращению объемов выбросов углекислого газа в атмосферу. Процесс сжигания RDF обладает менее выраженным негативным воздействием на окружающую среду по сравнению с процессом сжигания ТКО, что связано с использованием современного оборудования на цементных производствах, где технологические операции осуществляются при высоких температурах, достигающих примерно 1700 °С. Данный фактор допускает минимизацию концентрации вредных веществ в выбросах и позволяет уменьшить негативное экологическое воздействие, ассоциированное с процессом термического окисления.

Применение переработанных отходов в качестве альтернативного источника топлива приносит выгоду как цементным предприятиям (рис. 2), сокращая расходы на традиционные энергетические ресурсы, так и окружающей среде, поскольку это приводит к уменьшению объема отходов, направляемых на свалки.

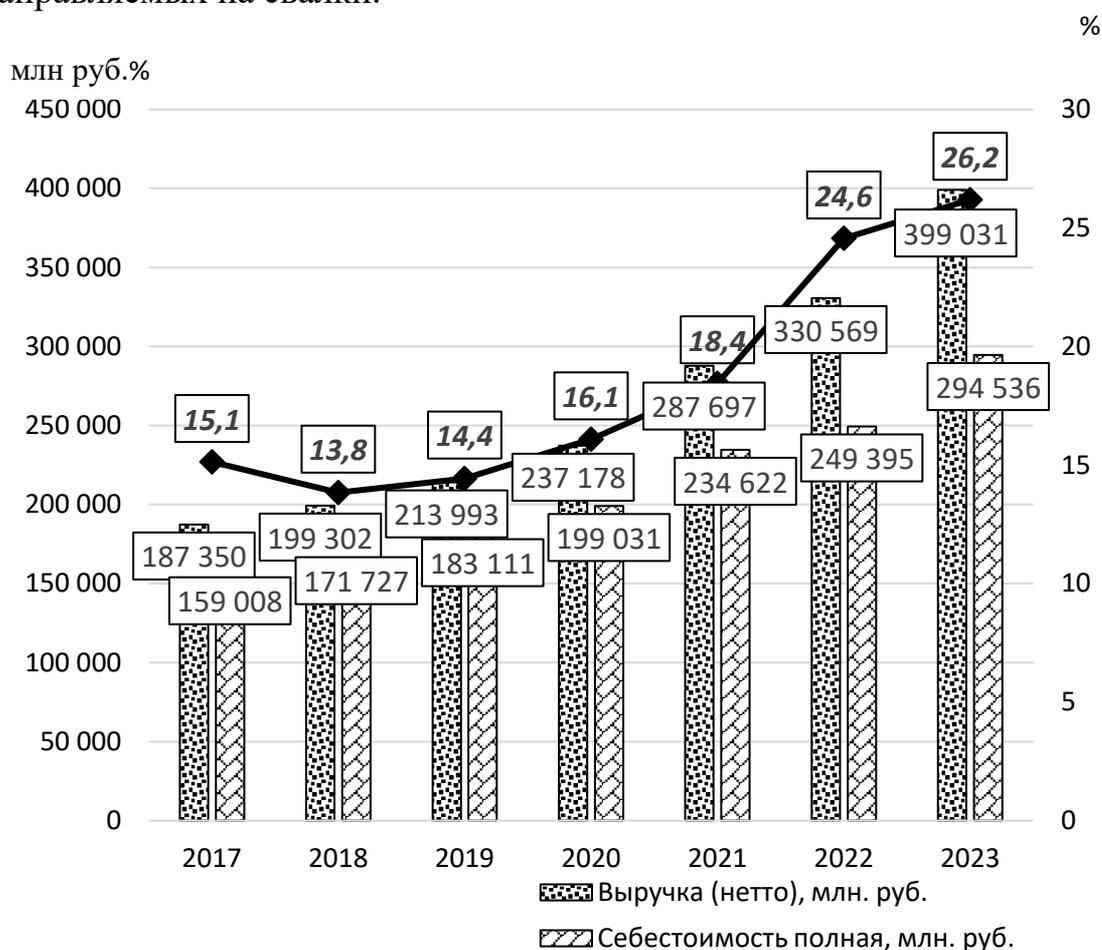


Рис. 2. Динамика экономической эффективности производства цемента в Российской Федерации

Проведенные эксперименты и расчеты параметров сжигания топлива и отходов в ротационной печи, применяемой в производстве цемента, позволили составить материальные и энергетические балансы. Эксперты оценивают, что RDF может заменить от 35 % до 40 % традиционных видов топлива без негативного влияния на качество производимого клинкера. Данное обстоятельство было учтено при разработке общего теплового баланса для процесса сжигания альтернативного топлива RDF в сочетании с использованием шин и природного газа.

Замена части органического топлива альтернативным энергетическим ресурсом представляет собой стратегическую и экологически ориентированную инициативу, обладающую рядом значимых перспективных аспектов:

1) сущностное улучшение позиции экономической и экологической устойчивости общества реализуется путем сокращения зависимости от природного газа как ограниченного исчерпаемостью энергетического ресурса. Замена органического топлива на альтернативный источник энергии ведет к значительной экономии газовых ресурсов и, следовательно, способствует уменьшению дефицита энергетических ресурсов и гарантирует их эффективное расходование;

2) замена органического топлива альтернативным источником энергии, помимо экономической эффективности, обеспечивает еще одно преимущество: исключение потребности в разработке и строительстве специализированных инфраструктурных комплексов для утилизации отходов, что, в свою очередь, способствует минимизации инфраструктурных затрат [3].

Несмотря на огромные преимущества, использование альтернативного топлива RDF в цементной промышленности сталкивается с рядом проблем, в частности:

1) технологическая адаптация. Одним из основных вызовов является необходимость адаптации технологических процессов на цементных заводах для эффективного сжигания RDF, что включает в себя модификацию печей, установку современного оборудования и контроль за качеством топлива;

2) законодательство и экологические стандарты. Соблюдение строгих экологических норм и стандартов является важным вызовом, особенно в контексте уменьшения выбросов и обеспечения экологической безопасности. Цементные предприятия должны соответствовать нормам и требованиям, что влечет дополнительные инвестиции;

3) сбор и сортировка ТБО. Недостаточная развитость системы сбора и сортировки твердых бытовых отходов может ограничить доступ к качественному сырью для производства RDF-топлива. Необходимо совершенствование сбора и классификации отходов [4, 5];

Несмотря на проблемы, использование альтернативного топлива RDF в цементной промышленности является довольно перспективным направлением. Ключевые перспективы заключены в следующем:

1) развитие технологий. Перспективы включают в себя постоянное совершенствование технологий производства RDF-топлива с целью повышения его калорийности и уменьшения вредных выбросов;

2) расширение использования. Увеличение доли RDF в топливной смеси на цементных заводах и других предприятиях способствует снижению зависимости от ископаемых видов топлива и улучшению экологической ситуации;

3) исследования и разработки. Дальнейшие исследования в области альтернативных видов топлива и их применения в цементной промышленности могут привести к новым инновационным решениям и повышению эффективности;

4) экономическая выгода. Перспективы включают в себя уменьшение экономических издержек цементных предприятий, что делает RDF привлекательным вариантом с точки зрения экономики (см. рис. 2);

5) содействие экологической устойчивости. Использование RDF способствует сокращению выбросов углекислого газа и уменьшению негативного воздействия цементной промышленности на окружающую среду, что является перспективой в контексте экологической устойчивости [6, 7].

В целом, вызовы и перспективы внедрения RDF-топлива в цементной промышленности требуют совместных усилий отрасли, научных исследований и государственной поддержки для достижения устойчивого и эффективного использования альтернативного топлива.

Список источников

1. Воронин В. М., Белоногов Ф. А., Кудашева И. С. Исследование возможностей получения и использования RDF-топлива // Экономический вектор. 2021. № 4 (27). С. 77–80.

2. Жданов Д. А., Молдабаев К. Т. Тенденции повышения энергоэффективности: возможности возобновляемой и традиционной энергетики // Актуальные проблемы экономики и права. 2020. Т. 14, № 2. С. 249–265.

3. Колпаков А. Ю. Энергоэффективность : роль в сдерживании выбросов углекислого газа и определяющие факторы // Проблемы прогнозирования. 2020. № 6 С. 141–153.

4. Маракулин М. В. Вопросы и проблемы повышения энергоэффективности в Российской Федерации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2018. № 4. С. 1–11.

5. Тимонина В. И. Энергосбережение и энергоэффективность как показатели достижения энергобезопасности в стране // Теоретическая экономика. 2022. № 1. С. 111–119.

6. «Зеленый» технологический прорыв нового социально-экономического уклада / А. С. Аверина, Б. К. Болаев, И. И. Вороньжева [и др.]. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. 197 с.

7. Зеленые стратегические повестки социально-экономического развития регионов / Г. В. Федотова, Н. Л. Адаев, В. В. Степанишин [и др.]. Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. 209 с.

References

1. Voronin V. M., Belonogov F. A., Kudasheva I. S. Investigation of the possibilities of obtaining and using RDF fuel // The economic vector. 2021. № 4 (27). P. 77–80.

2. Zhdanov D. A., Moldabaev K. T. Trends in energy efficiency improvement: possibilities of renewable and traditional energy // Current problems of economics and law. 2020. Vol. 14. № 2. P. 249–265.

3. Kolpakov A. Yu. Energy efficiency : the role in curbing carbon dioxide emissions and determining factors // Problems of forecasting. 2020. № 6. P. 141–153.

4. Marakulin M. V. Issues and problems of energy efficiency improvement in the Russian Federation // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic sciences. 2018. № 4. P. 1–11.

5. Timonina V. I. Energy saving and energy efficiency as indicators of achieving energy security in the country // Theoretical economics. 2022. № 1. P. 111–119.

6. «Green» technological breakthrough of a new socio-economic structure / A. S. Averina, B. K. Bolaev, I. I. Voronzheva [et al.]. Kursk : Closed Joint Stock Company «University Book», 2024. 197 p.

7. Green strategic agendas of socio-economic development of regions / G. V. Fedotova, N. L. Adaev, V. V. Stepanishin [et al.]. Kursk : Closed Joint Stock Company «University Book», 2023. 209 p.