

УДК 658.5

**УПРАВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
В ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА****Кудрявцева С.С., Халиулин Р.А., Какаджанов В.М.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: sveta516@yandex.ru, rav.haliulin@yandex.ru, tacmuhammet.88@mail.ru*

Актуальность статьи обусловлена тем, что проблематика достижения углеродной нейтральности в настоящее время остается одной из ключевых тем для дискуссии в мировом и российском научном сообществе, а также в сфере предпринимательства, находясь под пристальным вниманием органов государственной власти на всех уровнях управления. Цель статьи состоит в изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, что имеет большое значение при анализе процессов ресурсосбережения при переходе к экономике замкнутого цикла. Показано, что в промышленном комплексе наблюдается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, наибольшую долю из которых занимают выбросы, связанные с отходами промышленности. Выявлено, что увеличивается разрыв между объемами образованных и ликвидированных отходов производства, что затрудняет переход к экономике замкнутого цикла и достижение углеродной нейтральности. По результатам кластерного анализа установлено, что наибольшие объемы образованных и ликвидированных отходов характерны для добычи угля и металлических руд, наименьшие – для производства пищевой продукции, бумаги, мебели и др., однако для последних видов промышленного производства характерно многократное превышение количества образованных отходов производства по сравнению с объемами ликвидированных отходов в отличие от добывающего сектора, что указывает на низкую устойчивость данных секторов в вопросах достижения углеродной нейтральности при переходе к экономике замкнутого цикла. Результаты и выводы, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем расширены, углублены и сведены в единую методику оценки углеродной нейтральности секторов промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Ключевые слова: углеродный след, углеродная нейтральность, экономика замкнутого цикла, промышленность, выбросы парниковых газов, образование и ликвидация отходов производства

**MANAGING THE CARBON FOOTPRINT OF INDUSTRY
IN A CIRCULAR ECONOMY****Kudryavtseva S.S., Khaliulin R.A., Kakadzhanov V.M.***Kazan National Research Technological University, Kazan,
e-mail: sveta516@yandex.ru, rav.haliulin@yandex.ru, tacmuhammet.88@mail.ru*

The relevance of the article is due to the fact that the issue of achieving carbon neutrality currently remains one of the key topics for discussion in the global and Russian scientific community, as well as in the field of entrepreneurship, being under the close attention of government authorities at all levels of government. The purpose of the article is to study trends in the carbon footprint in industrial sectors of the economy based on the ratio of the volumes of generated and recycled production waste, which is important in the analysis of resource saving processes in the transition to a circular economy. It is shown that in the industrial complex there is a steady upward trend in greenhouse gas emissions, the largest share of which is occupied by emissions associated with industrial waste. It was revealed that the gap between the volumes of generated and eliminated production waste is increasing, which makes it difficult to move to a circular economy and achieve carbon neutrality. Based on the results of the cluster analysis, it was found that the largest volumes of generated and liquidated waste are typical for the extraction of coal and metal ores, the smallest – for the production of food products, paper, furniture, etc. with volumes of liquidated waste, in contrast to the extractive sector, which indicates the low sustainability of these sectors in terms of achieving carbon neutrality in the transition to a circular economy. The results and conclusions obtained during the study can be further expanded, deepened and consolidated into a single methodology for assessing the carbon neutrality of industrial sectors in the transition to a circular economy.

Keywords: carbon footprint, carbon neutrality, circular economy, industry, greenhouse gas emissions, waste generation and disposal

Проблематика достижения углеродной нейтральности в настоящее время остается одной из ключевых тем для дискуссии в мировом и российском научном сообществе, а также в сфере предпринимательства, находясь под пристальным вниманием органов государственной власти на всех уровнях управления. Углеродный след, вопросы его оценки, анализа требуют разработки единых подходов и методик как на уровне отдельных промышленных предприятий, так и на уровне отраслей и промышленных комплексов.

Вопросы углеродного следа имеют различные аспекты изучения, например, с позиции перспектив экономического развития [1], достижения устойчивого эколого-экономического развития [2], трансграничного регулирования углеродных выбросов [3], проблемы энергетического перехода [4] и т.п. Экономика замкнутого цикла, ее принципы, инструменты и технологии также являются объектами анализа многочисленных исследований, в частности индикаторы эффективности ресурсосберегающих систем производства [5],

интеллектуализация экономического роста в новых макроэкономических реалиях [6], экологические инновации в промышленности [7] и т.п. Однако в настоящее время зреет острая потребность в систематизации научных подходов к оценке углеродного следа отдельных предприятий и отраслей промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла, актуальность и востребованность которой нарастает ежегодно.

Цель статьи состоит в изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, что имеет большое значение при анализе процессов ресурсосбережения при переходе к экономике замкнутого цикла. Цель статьи позволила сформулировать следующие задачи исследования:

- проанализировать динамику выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства;
- провести в динамике анализ соотношения объемов образования и утилизации отходов производства;
- кластеризовать промышленные виды экономической деятельности по объему образования и утилизации отходов производства в соотношении с объемами отгруженной продукции.

Материалы и методы исследования

При изучении трендов углеродного следа в промышленных секторах экономики исходя из соотношения объемов образованных и утилизированных отходов производства, применялись следующие методы исследования. Метод описания позволил проанализировать динамику выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства. Метод сопоставления дал возможность сравнить объемы образования и утилизации отходов производства в динамике. Метод Data Mining применен для разделения промышленных секторов экономики на кластеры в зависимости от величины углеродного следа, представленного через соотношение объема образования и утилизации отходов производства с объемами отгруженной продукции. В основе метода Data Mining использован кластерный анализ на базе EM-алгоритма. Для оценки достоверности кластеризации применен дисперсионный анализ и теория вероятности. Метод описательной статистики позволил проанализировать средние, максимальные, минимальные значения, дисперсии и стандартное отклонение внутри динамических рядов по рассматриваемым индикаторам, а также между кластерами.

Объектами исследования послужили промышленные виды экономической дея-

тельности и их подотрасли: добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, энергетика и водоснабжение.

Информационной базой исследования послужили данные официальной статистики, опубликованные на сайте Росстата [8]. Агрегация показателей проводилась за период 2010–2020 гг. Инструментом анализа применен прикладной пакет Statistica 12.0.

Результаты исследования и их обсуждение

В вопросах управления отходами, перехода к рециклингу ресурсов производства следует указать на тот факт, что захоронение твердых отходов имеет наиболее высокое влияние на выбросы парниковых газов в атмосферу, на их долю в 2020 г. приходилось 72,8% от общих выбросов парниковых газов, связанных с отходами, далее располагались выбросы, связанные с очисткой жидких отходов и стоков – 27,2%. К сожалению, отмечается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, связанных с отходами, которые увеличились с 69,45 млн т CO_2 -эквивалента в 2010 г. до 100,15 млн т CO_2 -эквивалента в 2020 г., прирост составил 44,2% (рис. 1). Судя по уравнению регрессии для данного показателя можно заключить, что ежегодно прирост выбросов парниковых газов, связанных с отходами, составлял 2,75 млн т CO_2 -эквивалента.

Негативным фактом является также то, что объемы образованных отходов производства превышают объемы их утилизации и обезвреживания. По итогам 2020 г. соотношение между ними составило 2 раза (рис. 2).

В вопросах управления углеродным следом в экономике замкнутого цикла принципиально важным представляется оценить соотношение образованных и утилизированных промышленных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции, чтоб проводить анализ не только по абсолютным, но и по относительным значениям, для нивелирования различий. Расчеты проведены по укрупненным видам экономической деятельности по промышленным секторам. Далее, используя Data Mining, была проведена кластеризация отраслей промышленности по уровню образования и утилизации отходов производства в расчете на рубль отгруженной продукции на основе EM-алгоритма. В результате анализа отрасли промышленности были разделены на три кластера. К первому кластеру были отнесены виды экономической деятельности, имеющие наибольшие значения образованных и утилизированных отходов производства в расчете на рубль отгруженной продукции: добыча угля и добыча металлических руд (табл. 1).

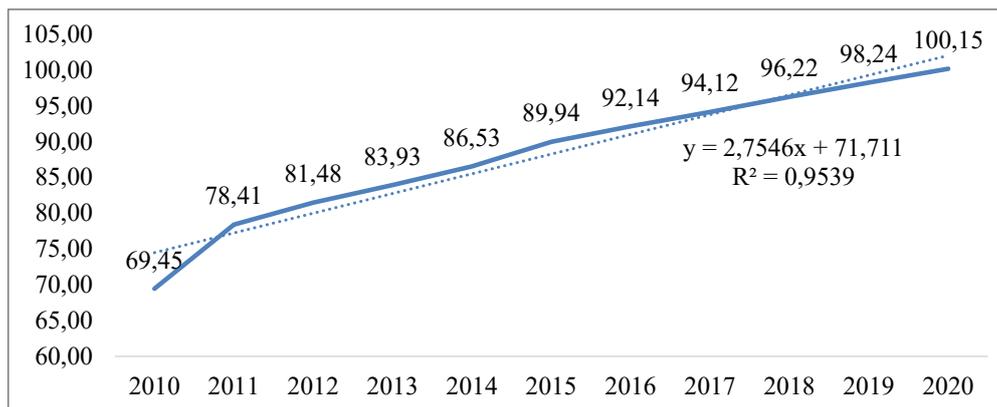


Рис. 1. Динамика выбросов парниковых газов, связанных с отходами производства (млн т CO₂-эквивалента в год)



Рис. 2. Динамика образования и утилизации отходов производства (млн т)

При этом соотношение данных показателей составило в добыче угля 2 раза, в добыче металлических руд – 2,1 раза. В целом в данном кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 1390,8 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 673,6.

Во втором кластере представлено 6 видов экономической деятельности: производство текстильных изделий, химических веществ, металлургия, водоснабжение, пищевая промышленность и добыча прочих полезных ископаемых. Во втором кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 119 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 29,3. Примечательным является то, что в видах промышленных производств, представленных в данном кластере, соотношение между абсолютными значениями образования и утилизации промышленных отходов составило

3,1 раза, что выше, чем в видах деятельности, представленных в первом кластере.

Третий кластер был самым многочисленным, в него вошли 23 вида экономической деятельности, отнесенные к промышленности: производство табака, кожи, бумаги, лекарств, резины, мебели и другие. В третьем кластере среднее значение образованных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции составило 1,6 тыс. т на тыс. руб.; утилизированных – 0,8. В видах деятельности промышленного производства соотношение между абсолютными значениями образования и утилизации промышленных отходов было наибольшим и составляло 8,5 раза.

Описательные статистики для кластеров промышленных видов экономической деятельности, характеризующие величину углеродного следа в экономике замкнутого цикла, наглядно представлены в табл. 2.

Таблица 1

Итоги кластерного анализа по показателям,
характеризующим углеродный след промышленности

	Кластер	Образование отходов (тыс. т на тыс. руб. отгруженной продукции)	Утилизация отходов (тыс. т на тыс. руб. отгруженной продукции)	Вероятность попадания в кластер
добыча угля	1	1845,3	886,3	1,00
добыча сырой нефти и природного газа	3	0,5	0,2	1,00
добыча металлических руд	1	936,3	460,8	1,00
добыча прочих полезных ископаемых	2	543,6	101,3	0,98
предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	3	1,1	0,3	1,00
производство пищевых продуктов	2	20,7	13,5	1,00
производство напитков	3	2,7	1,0	1,00
производство табачных изделий	3	0,3	0,0	1,00
производство текстильных изделий	2	121,1	16,0	1,00
производство одежды	3	5,6	0,2	1,00
производство кожи и изделий из кожи	3	5,6	1,5	1,00
обработка древесины	3	5,9	4,5	0,95
производство бумаги и бумажных изделий	3	3,9	3,8	1,00
деятельность полиграфическая	3	0,4	0,0	1,00
производство кокса и нефтепродуктов	3	0,1	0,0	1,00
производство химических веществ	2	10,8	5,2	1,00
производство лекарственных средств	3	0,1	0,2	1,00
производство резиновых и пластмассовых изделий	3	0,2	2,0	1,00
производство прочей неметаллической минеральной продукции	3	4,1	3,1	1,00
производство металлургическое	2	13,0	6,3	1,00
производство готовых металлических изделий	3	0,3	0,2	1,00
производство компьютеров	3	0,2	0,1	1,00
производство электрического оборудования	3	0,2	0,0	1,00
производство машин и оборудования	3	0,4	0,0	1,00
производство автотранспортных средств	3	0,5	0,2	1,00
производство прочих транспортных средств	3	0,5	0,1	1,00
производство мебели	3	0,4	0,1	1,00
производство прочих готовых изделий	3	0,2	0,2	1,00
ремонт и монтаж машин и оборудования	3	0,1	0,0	1,00
обеспечение электрической энергией	3	2,8	0,2	1,00
водоснабжение	2	5,0	33,4	1,00

Таблица 2

Описательные статистики для кластеров промышленных видов экономической деятельности, характеризующие величину углеродного следа

Описательные статистики	Образование			
	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	В целом
Min	936,3	5,0	0,1	0,1
Max	1845,3	543,6	5,9	1845,3
Среднее значение	1390,8	119,0	1,6	113,9
Станд. отклонение	642,8	212,5	2,0	373,7
	Утилизация			
Min	460,8	5,2	0,0	0,0
Max	886,3	101,3	4,5	886,3
Среднее значение	673,6	29,3	0,8	49,7
Станд. отклонение	300,9	36,7	1,3	176,4

Таблица 3

Дисперсионный анализ кластеризации
(тыс. т отходов на тыс. руб. отгруженной продукции)

Показатель	Межгрупп. дисперсия	Число степеней свободы	Внутригрупп. дисперсия	Число степеней свободы	F-критерий (критерий Фишера)	p-значение
Образование	3551342	2	639106,4	28	77,7942	0,000000
Утилизация	835944	2	97335,3	28	120,2360	0,000000

Достоверность кластеризации подтверждается результатами дисперсионного анализа, который показал наличие статистически значимых различий в дисперсиях по образованию и утилизации отходов производства в расчете на рубль отгруженной промышленной продукции между кластерами, о чем свидетельствует Р-значение, которое было менее 0,05 (табл. 3).

Таким образом, была проведена кластеризация промышленных видов экономической деятельности по величине углеродного следа исходя из соотношения объема образованных и утилизированных отходов в расчете на рубль отгруженной продукции. С одной стороны, добывающие отрасли, характеризующиеся большими объемами отходов производства, имеют и высокие значения по утилизации отходов производства; с другой стороны, те сектора промышленности, где отходы производства были незначительными по сравнению с добывающим сектором, имели более высокие соотношения количества образованных и обезвреженных отходов производства, что указывает на низкую углеродную устойчивость этих промышленных отраслей.

Выводы

Таким образом, по результатам проведенного исследования следует обобщить следующие выводы.

1) в промышленном комплексе наблюдается устойчивая тенденция роста выбросов парниковых газов, наибольшую долю из которых занимают выбросы, связанные с отходами промышленности;

2) увеличивается разрыв между объемами образованных и ликвидированных отходов производства, что затрудняет переход к экономике замкнутого цикла и достижение углеродной нейтральности;

3) по результатам кластерного анализа установлено, что наибольшие объемы образованных и ликвидированных отходов характерны для добычи угля и металлических руд, наименьшие – для производства пищевой продукции, бумаги, мебели и др., однако для последних видов промышленного производства характерно многократное превышение количества образованных отходов производства по сравнению с объемами ликвидированных отходов в отличие от добывающего сектора, что указывает на низкую устойчивость данных секторов

в вопросах достижения углеродной нейтральности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Результаты и выводы, полученные в ходе исследования, могут быть в дальнейшем расширены, углублены и сведены в единую методику оценки углеродной нейтральности секторов промышленности при переходе к экономике замкнутого цикла.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-1886.2022.2.

Список литературы

1. Харитоновна Н.А., Харитоновна Е.Н., Пуляева В.Н. Углеродный след России: реалии и перспективы экономического развития // Экономика промышленности. 2021. Т. 14. № 1. С. 50–62.
2. Свищева Е.Г., Белгородский В.С., Генералова А.В., Седяров О.И. Предпосылки устойчивого эколого-экономического развития легкой промышленности России // Дизайн и технологии. 2016. № 54 (96). С. 92–98.
3. Невская А.А., Баронина Ю.А. Трансграничное углеродное регулирование: новый контекст отношений России и ЕС // Современная Европа. 2021. № 6 (106). С. 63–74.
4. Жаворонкова Н.Г., Агафонов В.Б. Роль национального климатического закона в обеспечении «энергетического перехода» // Актуальные проблемы российского права. 2022. Т. 17. № 2 (135). С. 151–162.
5. Shinkevich A.I., Barsegyan N.V., Dyrdonova A.N., Fomin N.Yu. Key directions of automation of petro-chemical production // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Т. 1515. С. 022016.
6. Кудрявцева С.С. Экономический рост и интеллектуальный капитал: институциональные аспекты взаимосвязи // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 6. С. 222–226.
7. Кудрявцева С.С., Халиулин Р.А. Экологические инновации в промышленности: территориальные особенности применения // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 9. С. 74–80.
8. Росстат [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 15.05.2022).