



DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2025.1.10>

UDC 338.23
LBC 65.053

Submitted: 23.12.2024
Accepted: 30.01.2025

FUZZY LOGIC IN SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF A MINING ENTERPRISE

Mahamadou H. Amadou

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. In modern conditions, characterized by global environmental, economic, social, and cultural challenges, adherence to imperatives of sustainable development is a necessity for all economic entities in various industries, especially extractive ones. Although much attention is paid to the issues of sustainability assessment of mining enterprises, they do not take into account the cultural component of sustainability, which is difficult to measure using existing quantitative approaches. Therefore, the purpose of this article is to substantiate the possibility of the use of fuzzy logic methods in the development of tools for the sustainability assessment of a mining enterprise, which allows taking into account both quantitative and qualitative aspects of all sustainability components. The study employs a deductive approach, mathematical techniques, and bibliometric analysis of relevant literature. The use of fuzzy logic was suggested for the assessment of the sustainability of mining companies. As a result of the research, a list of indicators was drawn up to assess the economic, social, environmental, and cultural aspects of sustainable development of industrial companies, and an interpretation of thresholds for the fuzzy assessment of sustainable development was provided. Using the example of the SOMAIR mining company (the Republic of Niger), the proposed tool was tested, and the results showed a low level of sustainability for this company. Based on these findings, recommendations were made to improve the sustainability performance of this enterprise through stronger social, environmental, economic, and cultural initiatives. It is concluded that neglecting socio-cultural considerations in the pursuit of sustainable development by mining companies can have negative consequences for a country's economy. The use of fuzzy logic tools allows us to assess all aspects of the sustainability of mining enterprises.

Key words: sustainable development, mining enterprise, fuzzy logic, indicators of sustainable development, cultural component of sustainability.

Citation. Amadou M.H., 2025. Fuzzy Logic in Sustainability Assessment of a Mining Enterprise. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional Economy. South of Russia], vol. 13, no. 1, pp. 102-111. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2025.1.10>

УДК 338.23
ББК 65.053

Дата поступления статьи: 23.12.2024
Дата принятия статьи: 30.01.2025

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Махамату Ханчило Амаду

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В современных условиях, характеризующихся глобальными экологическими, экономическими, социальными и культурными проблемами, следование императивам устойчивого развития является необходимостью для всех хозяйствующих субъектов различных отраслей промышленности, особенно добывающих. Несмотря на то что вопросам оценки устойчивости развития горнодобывающих предприятий уделяется довольно много внимания, они не учитывают культурную компоненту устойчивости, измерение которой с использованием существующих количественных подходов представляется затруднительным. Поэтому целью данной статьи является обоснование возможности использования методов нечеткой логики при разработке инструментария оценки устойчивости развития горнодобывающего предприятия, что позволяет учитывать как количественные, так и качественные аспекты всех компонентов устойчивости. В исследовании используются дедуктивный метод, математические методы,

© Амаду М.Х., 2025

а также методы библиометрического анализа научных публикаций. Для проведения оценки устойчивости горнодобывающих предприятий предлагается использование нечеткой логики. В результате исследования был сформирован перечень показателей для оценки экономической, социальной, экологической и культурной компоненты устойчивого развития промышленных предприятий, дана интерпретация пороговых значений нечеткой оценки устойчивого развития. На примере горнодобывающей компании SOMAIR (Республика Нигер) была проведена апробация предложенного инструментария, результаты которой показали низкий уровень устойчивости данной компании. Были даны рекомендации по улучшению показателей устойчивости этого предприятия за счет укрепления социальных, экологических, экономических и культурных инициатив. Сделаны выводы о том, что игнорирование социально-культурных аспектов устойчивого развития в деятельности горнодобывающих предприятий может привести к негативным последствиям для экономики страны. Использование инструментария нечеткой логики позволяет дать оценку всем аспектам устойчивости развития горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: устойчивое развитие, горнодобывающее предприятие, нечеткая логика, показатели устойчивого развития, культурная компонента устойчивости.

Цитирование. Амаду М. Х., 2025. Нечеткая логика в оценке устойчивости развития горнодобывающего предприятия // Региональная экономика. Юг России. Т. 13, № 1. С. 102–111. DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2025.1.10>

Постановка проблемы

Проблемы обеспечения устойчивого развития горнодобывающих предприятий приобретают особую важность в современных условиях изменения климата, нехватки воды и утраты биоразнообразия [Чернова, 2022]. Исследования показали, что на горнодобывающую и металлургическую промышленность приходится около 15 % мирового объема выбросов CO₂ [Knutson, 2023]. Требования заинтересованных сторон к горнодобывающим компаниям в отношении социальной и экологической ответственности становятся все более высокими. Стандарты раскрытия информации в области устойчивого развития также повышаются и побуждают компании к действиям, связанным с поиском более эффективных подходов к оценке своей устойчивости [Delgado, 2023].

Сегодня оценка устойчивости горнодобывающих предприятий сталкивается со значительными трудностями из-за высокой степени неопределенности исходных данных, особенно к информации о воздействии на окружающую среду. Кроме того, некоторая информация носит качественный характер, что требует специальных методов оценки, позволяющих учитывать специфику этих данных. В частности, по мнению Дж. Биттера с соавторами, нечеткая логика позволяет эффективно анализировать и оценивать совокупность количественных и качественных показателей [Bitter et al., 2016]. Многочисленные исследования показали, что подход нечеткой логики отвечает всем требованиям целостного метода оценки устойчивости [Bond, Morrison-Saunders, Pope, 2012; Pesonen, Horn, 2013; Liu et al., 2012].

Цель данной статьи состоит в обосновании возможности использования методов нечеткой логики при разработке инструментария оценки устойчивости развития горнодобывающего предприятия.

Обзор существующих подходов к оценке устойчивости развития промышленных предприятий

Основная цель оценки устойчивости развития промышленного предприятия заключается в предоставлении как политикам, так и руководителям компаний необходимой информации, которая может помочь им определить краткосрочные и долгосрочные стратегии, направленные на содействие устойчивому развитию [Чернова, 2021; Ness et al., 2007; Ghadimi, 2013; Bebbington, Brown, Frame, 2007].

Оценка устойчивости предприятий горнодобывающей промышленности представляет собой многогранный процесс, охватывающий различные аспекты устойчивого развития: от экологических до культурных, социальных и экономических.

Анализ современной экономической литературы показывает, что существуют разные подходы оценки устойчивого развития промышленного предприятия, которые, как отмечают Е.Ю. Кузнецова и С.В. Кузнецов, базируются либо на использовании системы индикаторов, либо на формировании интегрального (агрегированного) индикатора [Кузнецова, Кузнецов, 2019]. В обобщенном виде основные подходы к оценке устойчивости развития промышленного предприятия [Каплан, Терешина, 2018; Светуных, Смолькин, 2014; Павлова, 2009; Bitter et al., 2016] представлены в таблице 1.

Подходы к оценке устойчивости развития промышленного предприятия

Авторы	Подход	
Каплан А.В., Терешина М.А.	Интегрированный подход	Интегрированный индекс устойчивости горнодобывающей компании (ИИУ ГДП) определяется как произведение трех интегральных показателей: экономические (скорректированной чистой прибыли (СЧП)), экологические (индекс экологического воздействия (ИЭВ)) и социальные (индекс социального развития (ИСП))
Светульников С.Г., Смолькин В.П.	Системный подход	Они рассматривают предприятие как систему, которая состоит из трех подсистем, находящихся во взаимозависимости, а именно экономической подсистемы, экологической подсистемы и социальной подсистемы. Они предлагают рассчитать интегральный показатель на основе системы социальных, экологических и экономических индикаторов
Павлова О.Ю.	Системный подход	Для оценки устойчивости предприятия автор предлагает рассматривать в качестве элементов устойчивости социально-экологическую составляющую, а также производственно-технологическую, финансово-экономическую и рыночную
Bitter J., Printz S., Lahl K., Vossen R., Jeschke S.	Подход нечеткой логики	Авторы предлагают подход нечеткой логики, чтобы оценить устойчивость предприятия. Для оценки устойчивости эта логика основана на классической интеграции треугольника устойчивого развития, который состоит из трех измерений: экономического, экологического и социального (Fuzzy-IST) и использует комбинацию многоступенчатой системы агрегации

Примечание. Таблицы 1–6, 8–10 и рисунок составлены автором.

Проведенный анализ данных подходов выявил недостаточное внимание к культурному аспекту. В большинстве случаев исследователи сосредотачиваются преимущественно на экономических, экологических и социальных составляющих, оставляя культуру вне интеграции в общую модель оценки устойчивости, что, по нашему мнению, делает результаты оценки неполными.

Однако в соответствии с нашим видением устойчивого развития культура является неотъемлемой его частью. Поэтому для эффективной оценки устойчивости предприятия в систему показателей необходимо также включать те, которые отражают его культурную устойчивость.

Нечеткая логика, по мнению исследователей, является наиболее приемлемым подходом к решению данной задачи, поскольку она позволяет учитывать качественные и количественные показатели, которые описывают все аспекты устойчивости [Bitter et al., 2016; Abu-Taha, 2011].

Инструментарий оценки устойчивости развития горнодобывающего предприятия

Первым этапом оценки устойчивости развития горнодобывающего предприятия является формирование системы показателей, характеризующих отдельные аспекты устойчивости. Решение данной задачи должно основываться на

диалектике взаимодействия функционирования и развития, включать показатели, характеризующие все составляющие устойчивого развития. Соответственно авторскому представлению о сущности устойчивого развития разрабатываемая система показателей должна включать четыре его измерения: экономическое, экологическое, социальное и культурное.

Формирование системы показателей должно базироваться на актуальной и достоверной информации, а также четко отражать уровни достижения целей устойчивого развития [Afgan, Carvalho, Novanov, 2000; Liu, 2014].

Предлагаемый примерный перечень показателей представлен в таблице 2. Заметим, что при необходимости, учитывая имеющиеся данные, этот перечень показателей может быть дополнен или скорректирован.

В рамках нашего исследования была сформирована система показателей, содержащая четыре элемента. Каждый из этих элементов состоит из подэлементов: $A_1 = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, $A_2 = \{a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}, a_{11}\}$, $A_3 = \{a_{12}, a_{13}, a_{14}\}$, $A_4 = \{a_{15}, a_{16}\}$. Полученный набор показателей содержит количественные и качественные показатели с различными единицами измерения. Для повышения их сопоставимости необходима стандартизация. Для этого используется метод иерархического анализа с присвоением каждому показателю соответствующего весового коэффициента.

Для всех показателей была создана матрица парного анализа, позволяющая оценить важность каждого из них с использованием шкалы относительной значимости, предложенной Т. Саати [Saaty, 2005].

На основе этого метода была построена полная оценочная матрица (табл. 3) каждого показателя, а затем проведен тест на согласованность матрицы.

Чтобы присвоить относительные веса каждому показателю, необходимо нормализовать матрицу сравнения (табл. 4). Нормализация выполняется путем деления каждого значения в матрице на общее значение столбца.

На основе нормализованной матрицы рассчитан вес каждого показателя, получаемый как среднее арифметическое значение всех критериев (табл. 5).

Таблица 2

Показатели, определяющие устойчивость горнодобывающей компании

Группа показателей	Показатели, отражающие эффекты для внешней среды	Показатели, отражающие внутренние параметры работы предприятия
Экономические (A ₁)	Вклад в ВВП (a ₁) Объем налоговых поступлений в бюджет (a ₂) Вклад в экспортный потенциал и привлечение прямых иностранных инвестиций (a ₃)	Прибыль (a ₄) Рентабельность (a ₅)
Социальные (A ₂)	Рабочие места (a ₁₂)	Зарплата (a ₁₃) Социальное обеспечение (a ₁₄)
Экологические (A ₃)	Уровень выбросов (a ₆) Доля переработанных отходов (a ₇) Доля не переработанных радиоактивных отходов (a ₈) Потребление воды (a ₉) Потребление энергии (a ₁₀)	Затраты на экологию (a ₁₁)
Культурные (A ₄)	Затраты на поддержку местного сообщества (a ₁₅)	Принятие идей устойчивого развития всеми работниками (a ₁₆)

Таблица 3

Матрица сравнения компонентов устойчивого развития

Группа показателей	Экономические	Социальные	Экологические	Культурные
Экономические	1	3	5	7
Социальные	1/3	1	3	5
Экологические	1/5	1/3	1	3
Культурные	1/7	1/5	1/3	1
Итого	1,676	4,533	9,333	16

Таблица 4

Сравнительная матрица компонентов устойчивого развития после стандартизации

Группа показателей	Экономические	Социальные	Экологические	Культурные
Экономические	0,597	0,536	0,662	0,437
Социальные	0,199	0,321	0,221	0,312
Экологические	0,199	0,107	0,073	0,187
Культурные	0,085	0,036	0,044	0,062

Таблица 5

Вычисление собственного вектора

Группа показателей	Расчет	Собственный вектор, %
Экономические	$(0,597 + 0,536 + 0,662 + 0,437) / 4 = 0,51$	51
Социальные	$(0,119 + 0,321 + 0,221 + 0,312) / 4 = 0,28$	28
Экологические	$(0,119 + 0,107 + 0,073 + 0,1875) / 4 = 0,15$	15
Культурные	$(0,085 + 0,036 + 0,044 + 0,062) / 4 = 0,06$	6

Веса подпоказателей рассчитываются так же, как и веса основных показателей (табл. 6).

Чтобы использовать эти веса показателей для оценки устойчивости бизнеса, необходимо проверить согласованность наших данных.

Индекс непротиворечивости матрицы рассчитывается следующим образом:

$$A \cdot B = \begin{pmatrix} 2.52 \\ 1.2 \\ 0.525 \\ 0.239 \end{pmatrix}.$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad n = 4, \quad IC = 0,06.$$

$$\lambda_{\max} := \frac{\frac{\Sigma(A \cdot B)}{B}}{n}, \quad \frac{(A \cdot B)}{B} = \begin{pmatrix} 4.941 \\ 4.286 \\ 3.502 \\ 3.981 \end{pmatrix}.$$

Коэффициент согласованности (CR) рассчитывается следующим образом:

$$CR = IC / IR.$$

IR (Random Index) – фиксированная величина, при $n = 4$ IR принимает значение 0,9.

$$CR = \frac{IC}{IR} = 0,07.$$

$CR = 0,07 < 0,1$ – наша исходная матрица согласована, мы можем использовать ее для проведения оценки.

После определения весов критериев и оценки согласованности матрицы проводится лингвистическая оценка показателей устойчивого развития.

С учетом результатов проведенного анализа существующих научных исследований были установлены следующие пороговые значения устойчивости развития горнодобывающих предприятий соответственно выделяемым семи уровням (табл. 7).

Определение функций принадлежности для каждого уровня устойчивого развития: низкий уровень, средний уровень и высокий уровень. Они описывают степень принадлежности значений заданным уровням.

Таблица 6

Вес показателей устойчивости горнодобывающих предприятий

Элемент	Вес, %	Подэлемент	Вес, %
A ₁	51 (λ_1)	a ₁	45
		a ₂	25
		a ₃	12
		a ₄	8
		a ₅	10
A ₂	28 (λ_2)	a ₁₂	62
		a ₁₃	26
		a ₁₄	12
A ₃	15 (λ_3)	a ₆	40
		a ₇	22
		a ₈	12
		a ₉	8
		a ₁₀	13
		a ₁₁	5
A ₄	6 (λ_4)	a ₁₅	75
		a ₁₆	25

Таблица 7

Интерпретация пороговых значений нечеткой оценки устойчивого развития горнодобывающего предприятия

Уровень	Границы интервала	Интерпретация нечеткой оценки	
1	От 0 до 1	Кризисное состояние	Низкий
2	От 1 до 3	Предкризисное состояние	
3	От 3 до 4	Неустойчивое развитие	
4	От 4 до 5	Развитие, приближающееся к устойчивому	Средний
5	От 5 до 6	Устойчивое развитие с признаками неоднозначности	
6	От 6 до 9	Устойчивое развитие	Высокий
7	От 9 до 10	Сбалансированное устойчивое развитие	

Примечание. Составлено автором по: [Ускова, 2009; Li, Yamaguchi, Nagai, 2007].

Оценка устойчивости развития горнодобывающего предприятия SOMAIR

$$f(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{if } a < x \leq b \\ 0 & \text{if } x \leq a \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{функция принадлежности} \\ \text{термин низкий} \end{array}$$

$$h(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{c-a} & \text{if } a < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{if } c < x \leq d \\ 0 & \text{if } x \geq d \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{функция принадлежности} \\ \text{термин средний} \end{array}$$

$$g(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \geq b \\ \frac{x-b}{d-b} & \text{if } b < x \leq d \\ 1 & \text{if } x \leq b \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{функция принадлежности} \\ \text{термин высокий} \end{array}$$

С учетом представленных выше интервалов эти функции принимают следующий вид:

$$f(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq 2 \\ \frac{5-x}{3} & \text{if } 2 < x \leq 5 \\ 0 & \text{if } x > 5 \end{cases}$$

$$h(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 2 \\ \frac{x-2}{5} & \text{if } 2 < x \leq 7 \\ \frac{9-x}{2} & \text{if } 7 < x \leq 9 \\ 0 & \text{if } x > 9 \end{cases}$$

$$g(x) := \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq 5 \\ \frac{x-5}{4} & \text{if } 5 < x \leq 9 \\ 1 & \text{if } x > 9 \end{cases}$$

Апробацию предложенного инструментария проведем на примере нигерийского горнодобывающего предприятия SOMAIR.

SOMAIR – горнодобывающая компания, созданная в 1968 г., 36,6 % ее капитала принадлежит государству [Entreprises d’Etat, 2024]. Предприятие имеет производственную мощность – 3 000 т урана [Rapport Environnemental, Social ... , 2024]. На предприятии работает 738 сотрудников, из которых 40 женщин и 686 мужчин (5 % женщин). Компания проводит политику, способствующую набору местного персонала: 99 % ее сотрудников – нигерийцы [Rapport Environnemental, 2024]. Основные показатели работы SOMAIR, дополненные с учетом имеющихся данных (в сравнении с табл. 2), приведены в таблице 8.

Эти показатели содержат разные данные с разными единицами измерения, поэтому необходима их стандартизация. Для этого мы используем метод min-max. Этот метод предполагает выявление наименьшего и наибольшего значения показателей. Эти два крайних значения послужат основой для расчета нормированных значений по следующей формуле:

$$X_{normalized} := \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Нормализованные значения показателей представлены в таблице 9.

Коэффициент устойчивости каждого компонента получается путем умножения веса каждого показателя на среднее значение подпоказателей, составляющих этот показатель.

Результаты проведенных расчетов отражены в таблице 10.

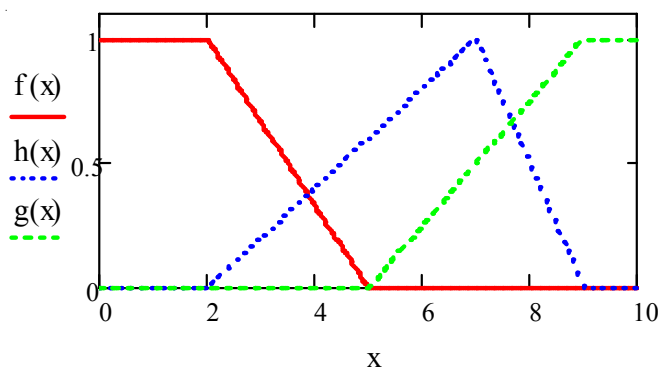


Рисунок. Функции принадлежности термов: низкий, средний и высокий

Таблица 8

Показатели оценки устойчивости развития горнодобывающей компании SOMAIR

Компонент	Показатель	Значение	Единица измерения
Экономический	Оплата налогов и сборов	13 494	млн франков КФА
	Закупки у местных поставщиков	46	%
Социальный	Добровольные социальные выплаты	0	млн франков КФА
	Обязательные социальные выплаты	5 022	млн франков КФА
	Рабочие места	738	человек
	Процент занятых женщин	5	%
	Инвестиции в здравоохранение	32,1	млн франков КФА
	Инвестируются на местном уровне для создания видов деятельности, приносящих доход населению	180	млн франков КФА
	Поддержка образования	310	млн франков КФА
	Социальные инвестиции	170	млн франков КФА
	Доступ к питьевой воде	1,3	млн франков КФА
	Радиационная защита	Да	–
	Поддержка здравоохранения	450	млн франков КФА
	Экологические расходы	0	млн франков КФА
Экологический	Потребление воды	3 590 000	куб. м
	Потребление энергии	10 419 978	кВт
	Выбросы парниковых газов	100 094	т
	Управление отходами	39 325	кг
	Управление остатками обработки и отходами (COV)	39 325	кг
Культурный	Поддержка региональной культуры и спорта	200	млн франков КФА

Таблица 9

Нормализованные значения показателей устойчивого развития для компании SOMAIR

Компонент	Показатель	Нормализованное значение
Экономический	Налоговые операции	0,001295
	Местные покупки	0,000004
	Среднее значение экономических показателей = 0,00065 (μ_1)	
Социальный	Добровольные социальные выплаты	0,000000
	Обязательные социальные выплаты	0,000482
	Вакансии	0,000071
	Процент занятых женщин	0,000000
	Здравоохранение (внешние группы)	0,000003
	Местные инвестиции	0,000017
	Поддержка образования	0,000030
	Социальные инвестиции	0,000016
	Доступ к питьевой воде	0,000000
	Среднее значение социальных показателей = 0,00007 (μ_2)	
Экологический	Экологические расходы	0,000000
	Потребление воды	0,344530
	Потребление энергии	1,000000
	Выбросы парниковых газов	0,009606
	Управление отходами	0,003774
	Среднее значение экологических показателей = 0,271 (μ_3)	
Культурный	Культурная и спортивная поддержка	0,000019
	Среднее значение культурных показателей = 0,000019 (μ_4)	

Таблица 10

Показатели устойчивости развития горнодобывающего предприятия SOMAIR

Показатель	Экономическая устойчивость	Социальная устойчивость	Экологическая устойчивость	Культурная устойчивость
Все показатели (λ_i)	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Среднее значение (μ_i)	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Коэффициент устойчивости (ϕ_i)	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4
Результат				
Все показатели	0,51	0,15	0,28	0,06
Среднее значение	0,00065	0,00007	0,271	0,000019
Коэффициент устойчивости (ϕ_i)	0,0003315	0,0000105	0,07588	0,00000114

Общий коэффициент устойчивости ϕ рассчитывается путем суммирования коэффициентов каждого показателя ϕ_i .

$$\phi = 0,0003315 + 0,0000105 + 0,07588 + 0,00000114 = 0,076.$$

Это отражает низкий уровень устойчивости предприятия ($0,76 < 1$). При этом вклад компании в развитие каждой компоненты устойчивости является следующим: 51 % для экономической компоненты; 28 % – для социальной компоненты; 15 % – для экологической компоненты и 6 % – для культурной компоненты.

Для повышения уровня устойчивости и удовлетворения интересов всех заинтересованных сторон в области устойчивого развития важно, чтобы компания уделяла гораздо больше внимания улучшению социальных условий своих сотрудников и местных сообществ за счет увеличения добровольных социальных выплат, поддержке образования и здравоохранения. Также необходимо оптимизировать экономическую деятельность за счет увеличения налоговых отчислений для поддержки региона, в котором работает компания, и продвижения молодежного предпринимательства.

Заключение

Проведенное исследование показало, что существующие подходы к оценке устойчивости предприятия в основном ориентированы на экономические, экологические и социальные аспекты, игнорируя культурный аспект. Эти подходы не позволяют в полной мере учесть специфику и долгосрочные перспективы устойчивого развития горнодобывающих предприятий, которые, как правило, оказывают сильное негативное воздействие на местное сообщество и его культуру.

Подход нечеткой логики к оценке устойчивого развития горнодобывающего предприятия демонстрирует свою эффективность в анализе и выявлении слабых мест в устойчивости развития горнодобывающего предприятия. Апробация предложенного подхода применительно к промышленному предприятию SOMAIR показала, что метод нечеткой логики может быть использован для оценки устойчивости горнодобывающих компаний. Проведенная оценка устойчивости развития компании SOMAIR показала общий низкий результат оценки 0,076, особенно в части решения экологических и культурных проблем местного сообщества.

Основные ограничения данного исследования связаны с тем, что полученные результаты определяются ограниченным набором показателей, характеризующих отдельные аспекты устойчивого развития горнодобывающего предприятия. Возможно, что при другом наборе показателей были бы получены несколько иные результаты. В то же время в данном исследовании не ставилась задача формирования жестко заданной системы оценок, а рассматривались возможности использования методов нечеткой логики при разработке инструментария оценки устойчивого развития горнодобывающего предприятия. В соответствии с этим, дальнейшие исследования автора будут связаны с проведением оценки устойчивости развития горнодобывающего предприятия (в том числе рассматриваемого в данной статье предприятия SOMAIR) при другом, более полном наборе показателей.

Несмотря на указанное ограничение, полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке инструментов оценки уровня устойчивости развития промышленных предприятий, развивая методологический базис проведения такой оценки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Каплан А. В., Терешина М. А., 2018. Оценка устойчивости социально-экономического развития горнодобывающих предприятий // Уголь. № 8 (1109). С. 86–90. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-86-90
- Кузнецова Е. Ю., Кузнецов С. В., 2019. Оценка устойчивого развития промышленного предприятия // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. Т. 18, № 2. С. 186–209. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.2.010
- Павлова О. Ю., 2009. Факторы экономической устойчивости предприятий целлюлозно-бумажной промышленности // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. № 93. С. 136–140.
- Светульников С. Г., Смолькин В. П., 2014. Подход к оценке устойчивого развития промышленного предприятия // Актуальные проблемы экономики и права. № 2 (30). С. 89–94.
- Ускова Т. В., 2009. Управление устойчивым развитием региона. Вологда : ИСЭРТ РАН. 335 с.
- Чернова О. А., 2022. Стрессовые факторы устойчивого развития угольной промышленности России // Journal of Applied Economic Research. Т. 21, № 1. С. 49–78. DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003
- Чернова О. А., 2021. Относительная безубыточность как детерминанта динамического равновесия угольной промышленности России // Journal of

- Applied Economic Research. T. 20, № 2. C. 194–216. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.2.009
- Abu-Taha R., 2011. Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis: A Literature Review // 2011 Proceedings of PICMET'11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET). P. 1–8.
- Afgan N., Carvalho M., Hovanov N., 2000. Energy System Assessment with Sustainability Indicators // Energy Policy. Vol. 28, № 9. P. 603–612. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00045-8
- Bebbington J., Brown J., Frame B., 2007. Accounting Technologies and Sustainability Assessment Models // Ecological Economics. Vol. 61, № 2–3. P. 224–236. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.10.021
- Bitter J., Printz S., Lahl K., Vossen R., Jeschke S., 2016. Fuzzy Logic Approach for Sustainability Assessment Based on the Integrative Sustainability Triangle // 2016 World Congress on Sustainable Technologies (WCST). London, UK. P. 64–69. DOI: 10.1109/WCST.2016.7886593
- Bond A., Morrison-Saunders A., Pope J., 2012. Sustainability Assessment: The State of the Art // Impact Assessment and Project Appraisal. Vol. 30, № 1. P. 53–62. DOI: 10.1080/14615517.2012.661974
- Delgado C., 2023. Key Sustainability Trends That Will Drive Decision-Making in 2023 // S&P Global Ratings. URL: <https://www.spglobal.com/esg/insights/featured/special-editorial/key-sustainability-trends-that-will-drive-decision-making-in-2023>
- Entreprises d'Etat, 2024 // ITIE Niger. URL: <https://itieniger.ne/entreprise-detat/>
- Ghadimi P., 2013. Methodologies for Measuring Sustainability of Product/Process: A Review // Pertanika Journal of Science and Technology. Vol. 22 (2). P. 303–326.
- Knutson A., 2023. Decarbonising Metals and Mining: Three Key Strategies to Win the Emissions Battle // Wood Mackenzie. URL: <https://www.woodmac.com/news/opinion/decarbonising-metals-and-mining-three-key-strategies-to-win-the-emissions-battle/>
- Li G., Yamaguchi D., Nagai M., 2007. A Grey-Based Decision-Making Approach to the Supplier Selection Problem // Mathematical and Computer Modelling. Vol. 46 (3–4). P. 573–581.
- Liu G., 2014. Development of a General Sustainability Indicator for Renewable Energy Systems: A Review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 31. P. 611–621. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.038
- Liu G., Baniyounes A., Rasul M., Amanullah M., Khan M., 2012. Fuzzy Logic Based Environmental Indicator for Sustainability Assessment of Renewable Energy System Using Life Cycle Assessment // Procedia Engineering. Vol. 49. P. 35–41. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.10.109
- Ness B., Urbel-Piirsalu E., Anderberg S., Olsson L., 2007. Categorising Tools for Sustainability Assessment // Ecological Economics. Vol. 60 (3). P. 498–508. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.07.023
- Pesonen H.-L., Horn S., 2013. Evaluating the Sustainability SWOT as a Streamlined Tool for Life Cycle Sustainability Assessment // The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol. 18, № 9. P. 1780–1792. DOI: 10.1007/s11367-012-0456-1
- Rapport Environnemental, 2024 // Social et Sociétal. URL: <https://www.orano.group/fr/1-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/mines-d-uranium/niger/exploitation-responsable>
- Saaty T., 2005. Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks. Pittsburgh: RWS Publications.

REFERENCES

- Kaplan A.V., Tereshina M.A., 2018. Otsenka ustoychivosti sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya gornodobyvayushchikh predpriyatiy [Assessment of the Sustainability of Socio-Economic Development of Mining Enterprises]. *Ugol* [Coal], no. 8 (1109), pp. 86–90. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-8-86-90
- Kuznetsova E.Yu., Kuznetsov S.V., 2019. Otsenka ustoychivogo razvitiya promyshlennogo predpriyatiya [Assessment of Sustainable Development of an Industrial Enterprise]. *Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravleniye* [Bulletin of UrFU. Series Economics and Management], vol. 18, no. 2, pp. 186–209. DOI: 10.15826/vestnik.2019.18.2.010
- Pavlova O.Yu., 2009. Faktory ekonomicheskoy ustoychivosti predpriyatiy tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti [Factors of Economic Sustainability of Enterprises of the Pulp and Paper Industry]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Bulletin of the Russian State Pedagogical University Named After A.I. Herzen], no. 93, pp. 136–140.
- Svetunkov S.G., Smolkin V.P., 2014. Podkhod k otsenke ustoychivogo razvitiya promyshlennogo predpriyatiya [Approach to Assessing the Sustainable Development of an Industrial Enterprise]. *Aktualnyye problemy ekonomiki i prava* [Actual Problems of Economics and Law], no. 2 (30), pp. 89–94.
- Uskova T.V., 2009. *Upravleniye ustoychivym razvitiyem regiona* [Sustainable Development Management of the Region]. Vologda, ISERT RAN. 335 p.
- Chernova O.A., 2022. Ctressovyye faktory ustoychivogo razvitiya ugolnoy promyshlennosti Rossii [Stress Factors of Sustainable Development of the Coal Industry in Russia]. *Journal of Applied Economic*

- Research*, vol. 21, no. 1, pp. 49-78. DOI: 10.15826/vestnik.2022.21.1.003
- Chernova O.A., 2021. Otnositelnaya bezubytochnost kak determinanta dinamicheskogo ravnovesiya ugolnoy promyshlennosti Rossii [Relative Breakeven as a Determinant of Dynamic Equilibrium of the Coal Industry in Russia]. *Journal of Applied Economic Research*, vol. 20, no. 2, pp. 194-216. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.2.009
- Abu-Taha R., 2011. Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis: A Literature Review. *2011 Proceedings of PICMET'11: Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, pp. 1-8.
- Afgan N., Carvalho M., Hovanov N., 2000. Energy System Assessment with Sustainability Indicators. *Energy Policy*, vol. 28, no. 9, pp. 603-612. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00045-8
- Bebbington J., Brown J., Frame B., 2007. Accounting Technologies and Sustainability Assessment Models. *Ecological Economics*, vol. 61, no. 2-3, pp. 224-236. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.10.021
- Bitter J., Printz S., Lahl K., Vossen R., Jeschke S., 2016. Fuzzy Logic Approach for Sustainability Assessment Based on the Integrative Sustainability Triangle. *2016 World Congress on Sustainable Technologies (WCST)*. London, UK, pp. 64-69. DOI: 10.1109/WCST.2016.7886593
- Bond A., Morrison-Saunders A., Pope J., 2012. Sustainability Assessment: The State of the Art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 30, no. 1, pp. 53-62. DOI: 10.1080/14615517.2012.661974
- Delgado C., 2023. Key Sustainability Trends That Will Drive Decision-Making in 2023. *S&P Global Ratings*. URL: <https://www.spglobal.com/esg/insights/featured/special-editorial/key-sustainability-trends-that-will-drive-decision-making-in-2023>
- Entreprises d'Etat, 2024. *ITIE Niger*. URL: <https://itieniger.net/entreprise-detat/>
- Ghadimi P., 2013. Methodologies for Measuring Sustainability of Product/Process: A Review. *Pertanika Journal of Science and Technology*, vol. 22 (2), pp. 303-326.
- Knutson A., 2023. Decarbonising Metals and Mining: Three Key Strategies to Win the Emissions Battle. *Wood Mackenzie*. URL: <https://www.woodmac.com/news/opinion/decarbonising-metals-and-mining-three-key-strategies-to-win-the-emissions-battle/>
- Li G., Yamaguchi D., Nagai M., 2007. A Grey-Based Decision-Making Approach to the Supplier Selection Problem. *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 46 (3-4), pp. 573-581.
- Liu G., 2014. Development of a General Sustainability Indicator for Renewable Energy Systems: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 611-621. DOI: 10.1016/j.rser.2013.12.038
- Liu G., Baniyounes A., Rasul M., Amanullah M., Khan M., 2012. Fuzzy Logic Based Environmental Indicator for Sustainability Assessment of Renewable Energy System Using Life Cycle Assessment. *Procedia Engineering*, vol. 49, pp. 35-41. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.10.109
- Ness B., Urbel-Piirsalu E., Anderberg S., Olsson L., 2007. Categorising Tools for Sustainability Assessment. *Ecological Economics*, vol. 60 (3), pp. 498-508. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.07.023
- Pesonen H.-L., Horn S., 2013. Evaluating the Sustainability SWOT as a Streamlined Tool for Life Cycle Sustainability Assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, no. 9, pp. 1780-1792. DOI: 10.1007/s11367-012-0456-1
- Rapport Environnemental, 2024. *Social et Sociétal*. URL: <https://www.orano.group/fr/1-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/mines-d-uranium/niger/exploitation-responsable>
- Saaty T., 2005. *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh, RWS Publications.

Information About the Author

Mahamadou H. Amadou, Postgraduate Student, Department of Information Economics, Southern Federal University, Maksima Gorkogo St, 88, 344002 Rostov-on-Don, Russian Federation, mamadouhantchilo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3445-0534>

Информация об авторе

Махамад Ханчило Амаду, аспирант кафедры информационной экономики, Южный федеральный университет, ул. Максима Горького, 88, 344002 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, mamadouhantchilo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-3445-0534>