

## МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СТРАТЕГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Аннотация.* В статье рассмотрена методология принятия решений на основе интеграции нечеткой когнитивной карты и анализа среды функционирования для оценки стратегий экологической устойчивости производственного предприятия. Определены общие стратегии обеспечения экологической устойчивости и факторы оценки эффективности цепочки поставок. Наконец, анализ среды функционирования используется для определения приоритетов стратегий производственного предприятия. Для обоснования применимости предложенной методологии представлен пример использования на производстве товаров повседневного спроса. Полученные результаты отражают полезность этой методологии для оценки стратегий экологической устойчивости в цепочке поставок, особенно в секторе товаров повседневного спроса. Таким образом, другие производственные предприятия из любой отрасли могут использовать эту методологию для оценки стратегий экологической устойчивости.

*Ключевые слова.* Экологическая устойчивость, нечеткая когнитивная карта, анализ среды функционирования, цепочка поставок, товары повседневного спроса.

Bezudnaya A.G., Gerasimov K.B.

## METHODOLOGY FOR EVALUATING THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY STRATEGIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Abstract.* The article considers the decision-making methodology based on the integration of a fuzzy cognitive map and analysis of the functioning environment for assessing the environmental sustainability strategies of a manufacturing enterprise. The general strategies for ensuring environmental sustainability and factors for assessing the effectiveness of the supply chain are identified. Finally, an analysis of the operating environment is used to prioritize the strategies of a manufacturing enterprise. To justify the applicability of the proposed methodology, an example of the use of everyday goods in production is presented. The results reflect the usefulness of this methodology for assessing environmental sustainability strategies in the supply chain, especially in the consumer goods sector. Thus, other manufacturing enterprises from any industry can use this methodology to evaluate environmental sustainability strategies.

*Keywords.* Environmental sustainability, fuzzy cognitive map, data envelopment analysis, supply chain, fast moving consumer goods.

### Введение

Управление экологической устойчивостью имеет решающее значение для производственных предприятий, поскольку неконтролируемое производство и утилизация продукции стали основными про-

ГРНТИ 06.71.63

© Бездудная А.Г., Герасимов К.Б., 2020

Анна Герольдовна Бездудная – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой менеджмента и инноваций Санкт-Петербургского государственного экономического университета.

Кирилл Борисович Герасимов – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва.

Контактные данные для связи с авторами (Бездудная А.Г.): 191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., д. 21 (Russia, St. Petersburg, Sadovaya str., 21). Тел.: 8 (812) 602-23-52.

Статья поступила в редакцию 12.08.2020.

блемами, связанными с ухудшением состояния окружающей среды. Последние поправки к правовым основам охраны окружающей среды часто регулируют международные сделки и могут требовать штрафов за нарушение правил. Как следствие, производственные предприятия различных отраслей промышленности начали внедрять методы и стратегии, направленные на повышение экологической устойчивости [6]. Число таких предприятий растет, поскольку многие осознают, что практика устойчивого развития делает производство эффективным и результативным, а также позволяет избежать уплаты штрафов за нарушение нормативных актов.

Устойчивость определяется как удовлетворение всех существующих потребностей при одновременном обеспечении способности будущих поколений удовлетворять свои потребности. Анализируя литературные источники по устойчивому развитию [3, 9, 14, 15], мы установили, что устойчивые практики – будь то управление цепочками поставок или любая другая коммерческая деятельность – являются функцией двух взаимосвязанных принципов: они должны улучшать экологическое здоровье, следовать этическим стандартам для достижения социальной справедливости и повышения экономической жизнеспособности; они должны быть приоритетными, когда окружающая среда стоит на первом месте, общество – на втором, а экономика – на третьем [8].

Практика обеспечения экологической устойчивости все чаще признается в качестве важнейшей среди общих аспектов устойчивого развития. Производственные предприятия по всему миру пытаются решить текущие экологические проблемы, применяя различные экологически устойчивые методы работы, например, «зеленые» цепочки поставок, более экологичное и чистое производство, «бережливые и зеленые» системы, оценку жизненного цикла и обратную логистику. Кроме того, с момента разработки теоретической основы концепции циркулярной экономики Пирсом и Тернером [19], обширные исследования были сосредоточены на укреплении экологической устойчивости производственных предприятий при сохранении экономического роста.

#### *Обзор литературы*

В развитых странах было проведено много исследований по вопросам экологической устойчивости в управлении цепочками поставок. В работе [17] определены 12 практик устойчивого развития в обзоре литературы и из суждений экспертов, а затем определены их приоритеты с помощью процесса аналитической иерархии для улучшения показателей корпоративной устойчивости в производственном секторе. Эти практики были определены в качестве приоритетных для определения основных методов обеспечения логического распределения ограниченных ресурсов.

Усилия по экологизации окружающей среды имеют приоритетное значение на основе воздействия на создание маркетинговой ценности с использованием модели нейронной сети обратного распространения. В статье [20] были определены корпоративные экологические и углеродные стратегии в рамках 137 канадских отчетов об устойчивом развитии корпораций и изучена взаимосвязь между углеродом и экологической устойчивостью (и их интеграцией) с помощью качественного контент-анализа и метода кластерного анализа.

Отрасли промышленности развивающихся стран недавно выразили заинтересованность в достижении устойчивости цепочки поставок, несмотря на неясные финансовые выгоды. Авторы работы [18] оценили стратегии внедрения «зеленого» управления цепочками поставок в обрабатывающих отраслях Индии. Это исследование, проведенное с помощью экспертов и обзора литературы, выявило 30 стратегий, классифицированных по четырем измерениям: не члены цепочки поставок, члены цепочки поставок нисходящего потока, организационная перспектива и члены цепочки поставок восходящего потока.

Некоторые исследователи [21] пытались определить приоритетность экологических практик в различных отраслях промышленности Бразилии. Их основное внимание было сосредоточено на управлении «зелеными» цепочками поставок, и они использовали аналитические методологии иерархических процессов для составления списка предпочтений.

В контексте экологической устойчивости были рассмотрены несколько соответствующих пробелов в литературе: было проведено ограниченное исследование в области экологической устойчивости товаров повседневного спроса с акцентом на общую цепочку поставок; большинство исследований, проводимых как в развитых, так и в развивающихся странах, не содержат конкретных тематических исследований, а опираются на обобщенные результаты; большинство исследований не рассматривают

причинно-следственные связи между практиками или стратегиями «зеленых» цепочек поставок при определении их приоритетов; в большинстве исследований не использовался интеллектуальный подход к принятию решений. Это исследование было направлено на преодоление таких ограничений. Было рассмотрено большое количество литературы [5, 7, 11], чтобы собрать потенциально идеальный набор экологически устойчивых стратегий для различных предприятий.

#### *Экологически устойчивые стратегии и факторы оценки эффективности цепочки поставок*

Далее представлены стратегии экологической устойчивости в цепочках поставок, разработанные на основе анализа литературы и проведения мозговых штурмов: предотвращение загрязнения путем переработки и повторного использования (S1); использование экологически эффективного материала (S2); использование материалов, переработанных из утилизированных компонентов в процессе производства (S3); использование экологически чистого газа в качестве источника энергии (S4); сотрудничество с отделом НИОКР в области эко-инноваций (S5); выбор поставщиков, готовых принять и сертифицировать ISO 14001:2015 «Системы экологического менеджмента» (S6); правильная утилизация компонентов (S7); сокращение источников выбросов (S8); уменьшение пробега для грузовых перевозок (S9); снижение относительного энергопотребления по отношению к конкурирующим компаниям (S10); экономия материала и лучшее использование побочных продуктов (S11); технологии использования возобновляемых источников энергии (S12); восстановление и утилизация остаточной энергии и тепла (S13); использование экологически чистых технологий производства и оборудования (S14); устранение опасных отходов на уровне источника (S15); более эффективное использование отходов производства (S16); внедрение применения больших данных (big data) (S17); непрерывный мониторинг данных, связанных с выбросами производства, для контроля опасных ситуаций до их возникновения (S18).

Факторы измерения эффективности цепочки поставок были выбраны следующие:

- стоимость (общая стоимость цепочки поставок состоит из фактических затрат (затрат, непосредственно связанных с производством, и косвенных затрат) и альтернативных издержек (затрат, упущенных при выборе другой альтернативы), которые должны быть как можно ниже);
- гибкость (способность компании адаптироваться к неопределенности и частым изменениям спроса на рынке является решающим фактором сохранения доли рынка);
- отзывчивость клиентов (знание потребностей и изменений в потребностях клиентов и быстрое реагирование указывают на высокий уровень реагирования клиентов и являются одним из наиболее важных факторов при оценке эффективности цепочки поставок).

#### *Нечеткая когнитивная карта*

Нечеткая когнитивная карта – это, по существу, ориентированный граф. Она объясняет, как работает система, создавая модель, которая является количественной по своей природе. Она может представлять собой сложную систему. В сложной системе различные элементы имеют причинно-следственные связи между собой, и эти связи могут быть показаны с помощью нечеткой когнитивной карты [10]. Когнитивную карту составляют два компонента: переменные или понятия, которые необходимо определить; причинно-следственные связи между каждой возможной парой этих понятий, указывающие на влияние того или иного понятия (если оно остается активным) на другие понятия [1]. Понятия, относящиеся к исследуемой системе, представлены в виде узлов. Эти узлы соединены линиями со стрелками, каждая из которых выражает причинно-следственную связь между парами понятий, связанных через каждую линию.

Нечеткая когнитивная карта использует нечеткие понятия для количественной оценки различных причинно-следственных связей между этими понятиями. Этот подход в когнитивной карте направлен на количественную оценку силы отношений путем выделения чисел от -1 до 1 или от 0 до 1. Нечеткая когнитивная карта обеспечивает гибкость в системном моделировании с многочисленными концепциями без слишком большой сложности.

Как уже говорилось ранее, стратегии достижения экологической устойчивости не являются независимыми друг от друга, а взаимосвязаны. Таким образом, стратегии обладают причинно-следственными связями между собой, а также имеют отношения с факторами измерения эффективности. В качестве метода представления и анализа этих сложных взаимосвязей при принятии решений о том, какие стратегии следует реализовать, нечеткая когнитивная карта является одним из лучших ин-

теллектуальных инструментов, открытых на сегодняшний день. Чтобы понять суть нечеткой когнитивной карты, на рисунке 1 показаны четыре вершины (концепции) и их взаимосвязи, выраженные весами.

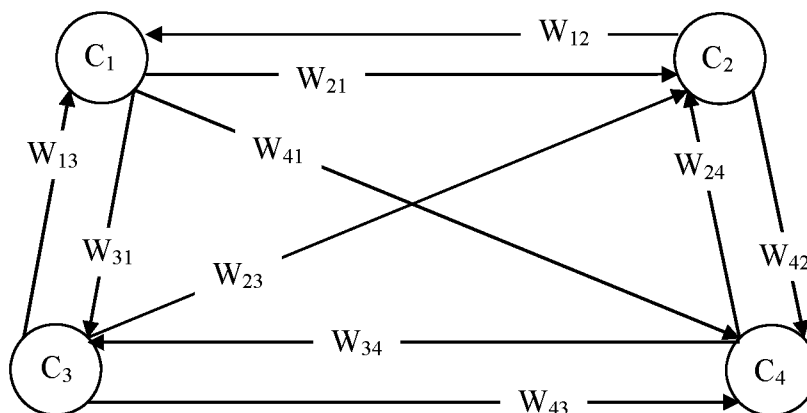


Рис. 1. Пример когнитивной карты

На рис. 1 эти четыре вершины (концепции) показаны как  $C_1-C_4$ . Стрелками указаны причинно-следственные связи между связанными понятиями.  $W_{ij}$  означает вес или степень влияния, которое будет оказывать  $C_i$ , если  $C_j$  активно.  $W_{ij}$  может содержать один из трех типов значений в диапазоне от -1 до 1.  $W_{ij}$  равно нулю и не представляет никакого влияния на  $C_i$ , если  $C_j$  остается активным.  $W_{ij}$  больше нуля – означает положительное воздействие, а если меньше нуля, то представляет собой отрицательное воздействие. Для анализа нечеткой когнитивной карты модель должна быть выражена математически [22]. Уравнения для нечеткой когнитивной карты (расширенная форма и матричная форма) приведены ниже:

$$A_i^{(k+1)} = f(A_i^{(k+1)} + \sum_{j=1}^n W_{ij}^{(k)} A_j^{(k)}), \tag{1}$$

$$A_{new} = f(A_{old} + \sum W \times A_{old}), \tag{2}$$

где  $A_i^{(k+1)}$  – значение  $C_i$  концепции при  $(k+1)$ -й итерации;  $f$  – функция сжатия, т.е. гиперболический тангенс  $[\tanh(\lambda x)]$ , логистическая функция  $[\frac{1}{1+e^{-x}}]$  и общая экспоненциальная функция  $[\frac{1}{1+e^{-\lambda x}}]$ ;  $A$  – матрица значений концепций порядка  $N \times 1$ ;  $W$  – вес или матрица смежности порядка  $N \times N$ .

Повторение вычислений уравнений нечеткой когнитивной карты продолжается до тех пор, пока значения концепций одновременно не достигнут устойчивого состояния, или не достигнут состояния энтропии (расходящегося), или не удовлетворят заданному числу итераций [12].

Для создания нечеткой когнитивной карты для любой сложной системы исходными данными могут быть ретроспективные данные и экспертные оценки. Когда используются оба входных сигнала, этот подход можно определить как полуавтоматический. Основной проблемой в полуавтоматической нечеткой когнитивной карте является точная оценка весов ( $W_{ij}$ ), основанная на экспертных оценках с использованием алгоритма обучения. Обучающие алгоритмы определяют близкую к точной оценке веса, уменьшают вероятность расхождения значений понятий и создают ощущение интеллектуальной системы [13].

После объединения всех исследований, связанных с нечеткой когнитивной картой с алгоритмами обучения, были обнаружены три основных типа алгоритмов, используемых в нечеткой когнитивной карте: обобщенный алгоритм Хебби (Generalized Hebbian Algorithm), эволюционные и гибридные алгоритмы. Эти три типа алгоритмов относятся к области нейронных сетей. Алгоритм Хебби хорошо подходит для определения весов по ретроспективным данным. Но в тех случаях, когда в качестве входных данных используются мнения экспертов, алгоритм Хебби может привести к расхождению при корреляции понятий. Поскольку экологически устойчивые стратегии (используемые в качестве концепций для построения нечеткой когнитивной карты) не ортогональны друг другу, следует ис-

пользовать подходы, отличные от этого, чтобы избежать несоответствия. Исследования показали, что ограничения этих подходов могут быть преодолены с помощью обобщенного алгоритма обучения (Дельта-правило). Далее пошагово описывается обобщенный алгоритм обучения (Дельта-правило):

- 1) ввести существующую матрицу состояния концепции  $A^0$  и начальную матрицу веса  $W^0$ ;
- 2) вычислить общую ошибку  $E = \sum_{j=1}^m (t_j - A_j^k)^2$ ;
- 3) обновить значения концептуальной матрицы:  $A_i^{(k+1)} = f \left( A_i^{(k+1)} + \sum_{j=1}^n W_{ij}^{(k)} A_j^{(k)} \right)$ ;
- 4) обновить матрицы весов:  $W_{ij}^{(k+1)} = \gamma W_{ij}^{(k+1)} + \alpha (t_i - A_i^k) A_j^{(k)} f'(A_i^{(k)})$ ;
- 5) оценить, следует ли прекратить работу, проверив следующее условие:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \sum_{j=1}^m (t_i - A_j^k)^2 < \varepsilon.$$

Здесь  $t_j$  – целевое значение для  $j$ -го элемента ( $j$ -й концепции) матрицы  $A^0$ ,  $\varepsilon$  – среднеквадратическая ошибка. Основная цель использования этого метода обучения состоит в том, чтобы манипулировать весами таким образом, чтобы разница между  $t_i$  и  $A_j$  была сведена к минимуму.

#### Анализ среды функционирования

Анализ среды функционирования (Data envelopment analysis, DEA) – это непараметрический метод, используемый для определения эффективности работы подразделений, принимающих решения. Анализ среды функционирования (DEA) был разработан в 1978 году [16]. Более ранняя модель DEA известна как модель CCR (первые буквы Charnes, Cooper and Rhodes), а также известна как метод оценки границ, который анализирует множество входов и выходов. Ранжирование факторов усложняется, когда между ними существуют причинно-следственные связи. В этом случае DEA выступает в качестве эффективного инструмента ранжирования решений на основе их оценок эффективности.

В модели DEA предполагается  $n$  подразделений, принимающих решения, где каждое подразделение использует  $m$  входных данных и  $s$  выходных данных. Критерии, требующие уменьшения, считаются входными данными, в то время как выход всегда желательно увеличить для повышения эффективности. Модель DEA-CCR имеет две категории – ориентированную на ввод и ориентированную на вывод. В модели DEA-CCR входные данные минимизируются без какого-либо изменения выходных данных. Обе модели дают один и тот же результат. В этом исследовании была использована ориентированная на выход модель DEA-CCR:

$$g_k = \min(\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}), \quad (3)$$

при условии:

$$-\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \geq 0 \text{ для } j = \overline{1, n}, \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} = 1, u_r \geq 0, r = \overline{1, s}, v_i \geq 0, i = \overline{1, m},$$

где  $n$  – количество альтернатив / подразделений по принятию решений;  $m$  – количество входных критериев;  $s$  – количество выходных критериев;  $x_{ik}$  – значение  $i$ -го входного критерия для  $k$ -й альтернативы;  $y_{rk}$  – значение  $r$ -го выходного критерия для  $k$ -й альтернативы;  $u_r$  и  $v_i$  – неотрицательный переменный вес, определяемый решением задачи минимизации;  $g_k$  – эффективность.

#### Методология и ее применение

Цель настоящего исследования – предложить методологию оценки экологически устойчивых стратегий цепочек поставок производственных предприятий. Стратегии сравниваются, фокусируясь на эффективности создания гибкой и быстро реагирующей цепочки поставок [2]. Иллюстративное описание предлагаемой методологии определения приоритетов приведено на рис. 2.

Укрупненно, предлагаемая методология содержит четыре основных этапа: (1) изучить литературу и провести мозговой штурм для составления возможных экологически устойчивых стратегий и факторов измерения эффективности сети цепочки поставок для использования в качестве метрик для сравнения стратегий; (2) сформировать нечеткую когнитивную карту на основе этих стратегий и факторов измерения эффективности; (3) используя обобщенное Дельта-правило, оценить влияние каждой стратегии на факторы оценки эффективности; (4) определить приоритеты стратегий с использованием DEA-CCR.

Предлагаемая модель (рис. 2), используется для определения приоритетов экологически устойчивых стратегий для быстроразвивающейся компании, производителя товаров повседневного спроса в России. Компания, получившая здесь кодовое название «XYZ» в целях конфиденциальности, образо-

вана в 1999 году и является лидером в производстве товаров повседневного спроса в России. Компания является одним из лидеров на рынке средств по уходу за волосами, кожей, пищевых масел и продуктов питания.



Рис. 2. Методологическая блок-схема для определения приоритетов экологически устойчивых стратегий

В последнее время предприятие столкнулось с рядом проблем, связанных с принятием стратегий достижения экологической устойчивости, и хотело бы иметь более эффективные стратегии с лучшими экологическими результатами. Предложенная методология была реализована для определения наиболее выгодных стратегий предприятия.

Ввиду ограниченности объема статьи рассмотрим заключительный этап – определение приоритетов стратегий с использованием DEA-CCR. Каждая стратегия считалась единицей принятия решений [4]. Используемая модель DEA-CCR была ориентирована на выход, где выходные значения должны быть максимизированы, как упоминалось ранее. В исследовании значения влияния 18 стратегий на два фактора измерения эффективности (гибкость и отзывчивость клиентов) рассматривались как выходные данные DEA, а значения влияния на оставшийся фактор (стоимость) – как входные данные DEA, поскольку желательно, чтобы они были как можно ниже. Решив оптимизационную задачу каждый раз с изменяющимися ограничениями равенства в MATLAB, определили оценку эффективности в диапазоне  $[1, \infty]$  для каждой стратегии, что приведена в таблице.

Каждая оценка эффективности фактически представляла собой числовое значение, показывающее, насколько эффективно стратегия может работать для улучшения общей эффективности цепочки поставок, что было нашей главной целью. Значения эффективности для ориентированной на выход модели DEA-CCR получены равными или превышающими 1 в масштабе  $[1, \infty]$ . Значения, равные или близкие к 1, указывают на большую компетентность стратегии для достижения максимальной эффек-

тивности цепочки поставок. Значения, превышающие 1, указывают на неэффективность этих стратегий. Таким образом, ранжирование этих 18 стратегий было достигнуто на основе их оценок эффективности и приведено в самой правой колонке таблицы.

Таблица

## Показатели эффективности экологически устойчивых стратегий, полученные с помощью DEA

Код	Название стратегии	Оценка эффективности	Ранг
S1	Предотвращение загрязнения путем переработки и повторного использования	1,0445	5
S2	Использование экологически эффективного материала	1,1268	13
S3	Использование материалов, переработанных из утилизированных компонентов в процессе производства	1,0453	6
S4	Использование экологически чистого газа в качестве источника энергии	1,2032	15
S5	Сотрудничество с отделом НИОКР в области эко-инноваций	1,0201	2
S6	Выбор поставщиков, готовых принять и сертифицировать ISO 14001:2015 «Системы экологического менеджмента»	1,1286	14
S7	Правильная утилизация компонентов	1,097	11
S8	Сокращение источников выбросов	1,0708	10
S9	Уменьшение пробега для грузовых перевозок	1,0668	8
S10	Снижение относительного энергопотребления по отношению к конкурирующим компаниям	1,103	12
S11	Экономия материала и лучшее использование побочных продуктов	1	1
S12	Технологии использования возобновляемых источников энергии	1	1
S13	Восстановление и утилизация остаточной энергии и тепла	1,0407	4
S14	Использование экологически чистых технологий производства и оборудования	1,0474	7
S15	Устранение опасных отходов на уровне источника	1,0273	3
S16	Более эффективное использование отходов производства	1	1
S17	Внедрение применения больших данных (big data)	1	1
S18	Непрерывный мониторинг данных, связанных с выбросами производства, для контроля опасных ситуаций до их возникновения	1,0703	9

## Результаты

Пять лучших из 18 стратегий были рекомендованы к внедрению на исследуемом предприятии из-за ограниченности имеющихся у него активов (ресурсов, навыков и технологий). Большинство производственных компаний в России имеют эти ограничения, которые мешают им применять многие из экологически устойчивых стратегий. Учитывая текущие активы и будущую политику предприятия, рекомендуется определить приоритетность этих пяти основных экологически устойчивых стратегий. Хотя существуют ограничения в отношении активов, сосредоточение внимания на этих пяти стратегиях не должно означать, что остальные 13 стратегий не рассматриваются. Как уже говорилось ранее, корреляция между этими стратегиями указывает на то, что реализация одной стратегии косвенно инициирует реализацию соответствующих стратегий. Кроме того, это исследование определило, какие стратегии будут наиболее перспективно влиять на факторы оценки эффективности, основанные на этих корреляциях. Поэтому решение в первую очередь сосредоточиться на этих пяти лучших стратегиях имеет большой смысл.

Эти результаты будут различаться в зависимости от каждого предприятия, отрасли и временных рамок. Разные предприятия и отрасли будут иметь разные списки приоритетных экологически устойчивых стратегий, при использовании одной и той же методологии исследования. Это связано с тем, что когда 3 входа ( $W$ ,  $A^0$ ,  $t$  matrix) вводятся в обобщенное Дельта-правило, они создают величину влияния каждой стратегии на факторы измерения эффективности. Если бы одна и та же методология исследования применялась для разных отраслей, то весовая матрица  $[w_{ij}]$  была бы изменена, поскольку

причинно-следственные связи пар «стратегия-стратегия» и «стратегия-эффективность» варьировались бы от отрасли к отрасли.

При применении к различным предприятиям, матрица начального состояния концепции  $A^0$  будет меняться по мере того, как текущие уровни усилий по обеспечению экологической устойчивости варьируются от предприятия к предприятию. Наконец, результат также будет меняться в зависимости от времени для одного и того же предприятия. Это связано с тем, что при более длительном сроке работы будет выработано более высокое качество работы с более подходящим набором экологически устойчивых стратегий и, таким образом, изменится порядок целевой матрицы  $[t_j]$ .

#### *Выводы*

В исследовании представлен новый подход к принятию решений, включающий нечеткую когнитивную карту с обобщенным Дельта-правилом и анализом среды функционирования для определения приоритетов экологически устойчивых стратегий. Кроме того, это исследование достаточно просто выполнить, так как оно использует алгоритм обучения. Специалисты предприятия могут с легкостью внедрить приведенные в статье результаты в свою цепочку поставок. При этом, в исследовании содержится теоретический вклад, связанный с экологической устойчивостью. Поскольку проблемы деградации окружающей среды являются наиболее актуальными темами, волнующими весь мир, объем исследований в области экологической устойчивости в будущем значительно возрастет. Возможное расширение авторского исследования будет заключаться в применении представленной методологии в организациях не только производственного сектора, но и других секторов экономики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверкин А.Н., Паринов А.А.* Генетический алгоритм обучения нечетких когнитивных карт // Научные труды Вольного экономического общества России. 2010. Т. 143. С. 69-74.
2. *Анисимов А.В., Анощенко Т.Ю., Савон Д.Ю.* Экологический менеджмент. М.: КноРус, 2017. 352 с.
3. *Выборова Е.Н., Акулинина М.А.* Анализ экологической устойчивости // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 2. С. 28-32.
4. *Герасимов Б.Н., Чуриков Ю.В.* Управленческие решения. Самара: МГПУ, 2007. 304 с.
5. *Ефремова С.* Проблемы выработки концептуального подхода устойчивости долгосрочной стратегии развития промышленного предприятия с учетом экологического фактора // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2011. № 4 (42). С. 25-31.
6. *Кононова Е.Е., Мусатова И.В., Винцкевич Е.В.* Проблемы формирования экологической устойчивости в целях обеспечения экономической безопасности предприятий // Вестник ОрелГИЭТ. 2019. № 3 (49). С. 133-136.
7. *Конопляник Т.М.* Контроль экологической составляющей в концепции обеспечения устойчивости предприятия // Проблемы современной экономики. 2018. № 3 (67). С. 118-122.
8. *Мальшева Т.В.* Использование автоматизированных информационных систем в управлении экологической устойчивостью обрабатывающих производств // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2019. № 2. С. 148-153.
9. *Притужалова О.А.* Экологический менеджмент и аудит. М.: ЮРАЙТ, 2019. 244 с.
10. *Санжатов Б.Х., Садовникова Н.П.* Применение методов мягких вычислений и когнитивного моделирования в задачах прогнозирования экологической безопасности строительства // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 4. С. 36-40.
11. *Ткачева М.В.* Информационная база анализа экологической устойчивости коммерческой организации // Современная экономика: проблемы и решения. 2017. № 2 (86). С. 170-177.
12. *Федулов А.С.* Анализ нечетких реляционных когнитивных карт на основе векторно-матричных операций // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2009. № 8. С. 44-48.
13. *Федулов А.С.* Нечеткие реляционные когнитивные карты // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2005. № 1. С. 120-132.
14. *Хачатуров А.Е., Гусева Т.В., Дайман С.Ю.* Устойчивый экологический менеджмент. М.: ТД «Инженерное оборудование», 2003. 118 с.
15. *Чхутиашвили Л.В.* Аудит экологической устойчивости как важнейшая функция экономических субъектов в обеспечении эффективного развития // Аудит. 2019. № 9. С. 20-22.
16. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the efficiency of decision-making units // European Journal of Operation Research. 1978. Vol. 2. № 6. P. 429-444.



17. Goyal P., Rahman Z., Kazmi A.A. Corporate sustainability performance and firm performance research: Literature review and future research agenda // *Management Decision*. 2013. № 2 (51). P. 361-379.
18. Mangla S.K., Luthra S., Jakhur S. Benchmarking the risk assessment in green supply chain using fuzzy approach to FMEA: Insights from an Indian case study // *Benchmarking*. 2018. № 8 (25). P. 2660-2687.
19. Pearce D.W., Turner R.K. *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore, ML, USA: John Hopkins University Press, 1990. 378 p.
20. Radu C., Francoeur C. Does Innovation Drive Environmental Disclosure? A New Insight into Sustainable Development // *Business Strategy and the Environment*. 2017. № 7 (26). P. 893-911.
21. Sellitto M.A., Hermann F.F., Blezs A.E., Barbosa-Povoa A.P. Describing and organizing green practices in the context of Green Supply Chain Management: Case studies // *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. № 145. P. 1-10.
22. Stylios C.D., Groumpos P.P. A soft computing approach for modelling the supervisor of manufacturing systems // *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 1999. Vol. 26. № 3-4. P. 389-403.