

ISSN 2222-9396 (Print)
УДК 656.07:004.896
<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-4-17>



ВЫБОР ЗЕЛЁНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКЕ – МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД

Осинцев Н.А.^{1*}, Рахмангулов А.Н.¹

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия
* E-mail: osintsev@magtu.ru

Аннотация. В статье представлен новый подход к выбору зелёных технологий в складской логистике. Предлагается использование многокритериальных методов принятия решений (MCDM). Разработана MCDM модель ранжирования и выбора зелёных технологий, основу которой составляют 15 показателей логистических потоков и 17 инструментов зелёной логистики. Представлен расчётный пример реализации разработанной MCDM модели с использованием 13 методов: DEMATEL, ANP, SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS. Сравнение результатов применения различных MCDM методов показало их высокую сходимость – коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил 0.88.

Ключевые слова: складская логистика, склад, зелёная логистика, зелёные технологии, многокритериальные методы принятия решений, MCDM, управление цепями поставок, устойчивое развитие

© Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., 2021

Поступила: 05 октября 2021 г.; Принята к публикации: 06 ноября 2021 г.; Опубликовано: 30 декабря 2021 г.

Для цитирования:

Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Выбор зелёных технологий в складской логистике – многокритериальный подход // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2021. Т.11. №1. С. 4-17.
<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-4-17>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 Всемирная
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ISSN 2222-9396 (Print)

<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-4-17>

GREEN TECHNOLOGIES' SELECTION FOR THE WAREHOUSE LOGISTICS – MULTI-CRITERIA APPROACH

Osintsev N.A.^{1*}, Rakhmangulov A.N.¹

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

* E-mail: osintsev@magtu.ru

Abstract. The article presents a new approach to the green technologies' selection in warehouse logistics. The use of multi-criteria decision-making methods (MCDM) is proposed. The authors have developed an MCDM model, which is based on 15 indicators of logistics flows and 17 green logistics instruments. A computational example of the implementation of the developed MCDM model using 13 methods is presented: DEMATEL, ANP, SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS. Comparison of the results of using various MCDM methods showed their high convergence – Spearman's rank correlation coefficient was 0.88.

Keywords: warehouse logistics, warehouse, green logistics, green technologies, multi-criteria decision-making, MCDM, supply chain management, sustainable development

© Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N., 2021

Received: October 05, 2021; Accepted: November 06, 2021; Published: December 30, 2021

For citation:

Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N. Green Technologies' Selection for the Warehouse Logistics – Multi-Criteria Approach // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2021, vol.11, no.1, pp. 4-17. <https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-4-17>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Увеличение объёмов потребления в мировой экономической системе привели к растущей потребности в складских площадях и зданиях. Например, с 2007 по 2017 годы численность вновь построенных складов в США увеличилась на 143% [1]. В России и Европейских странах, по оценке агентства Knight Frank [2], на рынке складской недвижимости наблюдается рост объёмов строительства и прогнозируется увеличение спроса в 2022 году. Интерес инвесторов к логистическому сектору остаётся высоким, наблюдается рост цен на аренду складских помещений и увеличение спроса на склады «последней мили». Требования к складским площадям варьируются от больших складов в крупных региональных логистических центрах до небольших складских помещений городских логистических операторов, обеспечивающих минимальное время доставки товаров конечному потребителю.

Рыночные изменения в складских и логистических системах вынуждают адаптировать и трансформировать существующие бизнес-модели в модели, основанные на принципах современных концепций «Индустрия 4.0» [3, 4] и «Устойчивое развитие» [1]. Как элементы цепей поставок, склады вносят значительный вклад в рост выбросов парниковых газов, являются основными потребителями электрической и тепловой энергии [1, 5]. На складские услуги приходится примерно 11% общих выбросов парниковых газов, производимых логистическим сектором во всем мире [1].

Логистические компании сталкиваются с проблемой выбора наиболее эффективных зелёных решений в своей деятельности из-за множества факторов, влияющих на принятие решения. Многокритериальные методы принятия решений (MCDM) являются эффективным инструментом решения этих проблем. Их использование направлено на качественную и количественную оценку возможных управленческих решений (альтернатив) по множеству противоречивых экономических, социальных и экологических критериев логистической деятельности [6]. Основная задача их использования – не предложить лучшее решение, а поддержать лиц, принимающих решения, в выборе альтернативных вариантов, соответствующих их целям и предпочтениям [7].

Целью настоящей работы является разработка методики ранжирования и выбора зелёных решений в складской логистике, обеспечивающих достижение целей устойчивого развития в цепи поставок. Статья содержит краткий обзор литературы по использованию зелёных решений и MCDM методов в складской логистике, описание разработанной методики ранжирования и выбора инструментов зелёной логистики для накопительного (складского) элемента цепи поставок, а также результаты тематического исследования по применению комбинированной MCDM модели ранжирования инструментов зелёной логистики в складской деятельности.

2. Литературный обзор

Несмотря на то, что концепция управления зелёными цепями поставок все больше привлекает внимание научного сообщества и практиков, исследований в области зелёного складирования (Green Warehousing) до сих пор недостаточно [1]. В литературном обзоре [1] авторы выделяют три ключевые области в научных исследованиях по зелёным складам:

- зелёное управление складом (экологические принципы и инициативы, системы экологической сертификации складских помещений, оказывающие влияние на эффективность работы склада);
- исследование воздействия складских зданий на окружающую среду (параметры и конструкция склада, такие как вид и размер склада, использование пространства, а также складские процессы, такие как освещение, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, влияющие на выбросы в окружающую среду и потребление энергии);
- энергоэффективность на складе (инициативы, направленные на экономию энергии на складе – погрузочно-разгрузочное оборудование, уровень механизации и автоматизации основных складских процессов, системы хранения и поиска товара).

Проблемы устойчивого инжиниринга при управлении складскими системами рассмотрены в [8, 9]. В [8] предложена модель рационального планирования рабочей силы на складе с учётом социальных аспектов устойчивого развития. Авторы [9] на основе комбинации теории заинтересованных сторон и институциональной теории выполнили анализ и систематизировали факторы реализации зелёных практик на складах. Ими рассмотрены вопросы заинтересованности различных стейкхолдеров (государства, владельцев складской инфраструктуры, сотрудников складов, поставщиков и потребителей) к проблемам зелёного складирования.

Важной областью исследований зелёного складирования являются проблемы энергопотребления при проектировании и эксплуатации складских систем на промышленных или распределительных складах [10, 11, 1]. Ряд исследований посвящены проблемам энергоэффективности как одному из основных параметров зелёного склада. По мнению [12] основной драйвер стратегии зелёного склада основан на сокращении потребления энергии. В исследованиях [13] представлена модель оценки энергоёмкости логистической системы управления складом. В [14] представлена оптимизационная модель экономии энергии и снижения выбросов CO₂ в логистических центрах. В работе [15] выполнено сравнение шести различных складских технологий, различающихся по уровню энергопотребления. В [16] предложено использование литий-ионных аккумуляторов для снижения воздействия погрузочно-разгрузочного оборудования на окружающую среду.

Значительная часть исследований посвящена вопросам зелёного строительства (Green Building) [17–19] в складской деятельности. В работе [20] выполнен

анализ международных стандартов оценки экологической и энергетической устойчивости зданий LEED (США), BREEAM (Великобритания), DGNB (Германия), Green Globes (США, Канада), CASBEE (Япония), BEAM (Гонконг), BCA Green Mark Scheme (Сингапур), Living Building Challenge (США) и др. По результатам анализа сформулированы основные задачи зелёного строительства и зелёного складирования, обоснованы преимущества применения «зелёных» стандартов для окружающей среды и общества, выявлены экономические выгоды при строительстве «зелёных» зданий по сравнению с традиционными

сооружениями.

Множество аспектов устойчивости зелёных цепей поставок требуют реализации сложных моделей поддержки принятия решений с использованием многокритериальных методов MCDM. В настоящее время MCDM активно используются в области устойчивой инженерии [21], управления цепями поставок [22], на транспорте [23], в зелёной логистике [24]. В **табл. 1** представлены результаты анализа применения многокритериальных методов принятия решений в складской деятельности.

Таблица 1. Анализ использования MCDM методов в складской логистике

Table 1. MCDM methods in warehouse logistics

Область исследований	MCDM метод	Источник
Выбор месторасположения склада	AHP, TOPSIS, ELECTRE	[25]
Выбор месторасположения склада	fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS	[26]
Выбор месторасположения склада	AHP, fuzzy VIKOR	[27]
Выбора месторасположения склада в цепи поставок	fuzzy, SAW, TOPSIS	[28]
Оценка производительности распределительного центра	DEA, PROMETHEE II	[29]
Выбор погрузочно-разгрузочного оборудования для складов	fuzzy AHP, fuzzy TOPSIS	[30]
Выбор погрузочно-разгрузочного оборудования для складов	MARCOS	[31]
Оценка и выбор автоматически управляемых транспортных средств для складов	FUCOM, EDAS	[32]
Оценка и выбор технологии штрих-кодирования в складской системе	fuzzy PIPRECIA	[33]

Основным недостатком рассмотренных примеров использования MCDM в складской логистике является акцент на технические, технологические, организационные и экономические аспекты складской деятельности, слабо учитывающий влияние работы склада на окружающую среду. Это делает актуальным научные исследования в области выбора и использования зелёных технологий применительно к складским системам в цепях поставок для достижения целей концепции устойчивого развития.

3. Методика выбора инструментов зелёной логистики с использованием MCDM модели

На **рис. 1** представлена принципиальная схема предлагаемой методики выбора инструментов зелёной логистики для накопительного элемента цепи поставок с использованием MCDM методов. Основные этапы методики включают:

Этап 1. Формируется многокритериальная модель накопительного элемента зелёной цепи поставок. Основу модели составляют система параметров и показателей логистических потоков и комплекс зелёных решений (**рис. 1**). В настоящей работе предлагается разработанная авторами система, включающая 5 групп параметров и 15 показателей [34]. В качестве зелёных решений используются инструменты зелёной логистики накопительного элемента логистической системы [35].

Этап 2. Использование комбинации методов DEMATEL (Лаборатория оценки и испытаний принятия решений) [36] и ANP (Аналитический сетевой процесс) [37] для определения взаимосвязей между

параметрами и показателями логистических потоков и установления весовых коэффициентов показателей логистических потоков. Авторами настоящей статьи разработана методика ранжирования показателей логистических потоков на основе комбинированного метода DEMATEL-ANP [34]. Метод DEMATEL позволяет структурировать сложные причинно-следственные связи с помощью матриц и орграфов, которые отображают взаимосвязи между параметрами и показателями логистических потоков и показывают силу влияния показателей друг на друга. Результатом выполнения DEMATEL является построение карты сетевых отношений показателей логистических потоков. Метод ANP является обобщением метода AHP (Аналитический иерархический процесс) и позволяет учитывать зависимости и обратные связи между показателями, рассматривая их структуру как сеть. С использованием ANP выполняется ранжирование показателей логистических потоков и определяются их весовые коэффициенты.

Этап 3. Ранжирование и выбор инструментов зелёной логистики различными методами MCDM с использованием рассчитанных значений весовых коэффициентов показателей логистических потоков. В настоящей работе авторы, помимо основных методов DEMATEL и ANP, использовали 11 дополнительных методов для оценки адекватности используемой MCDM модели. В **табл. 2** представлена краткая характеристика используемых в работе MCDM методов. С алгоритмами реализации каждого метода можно ознакомиться в научной литературе [38-48].

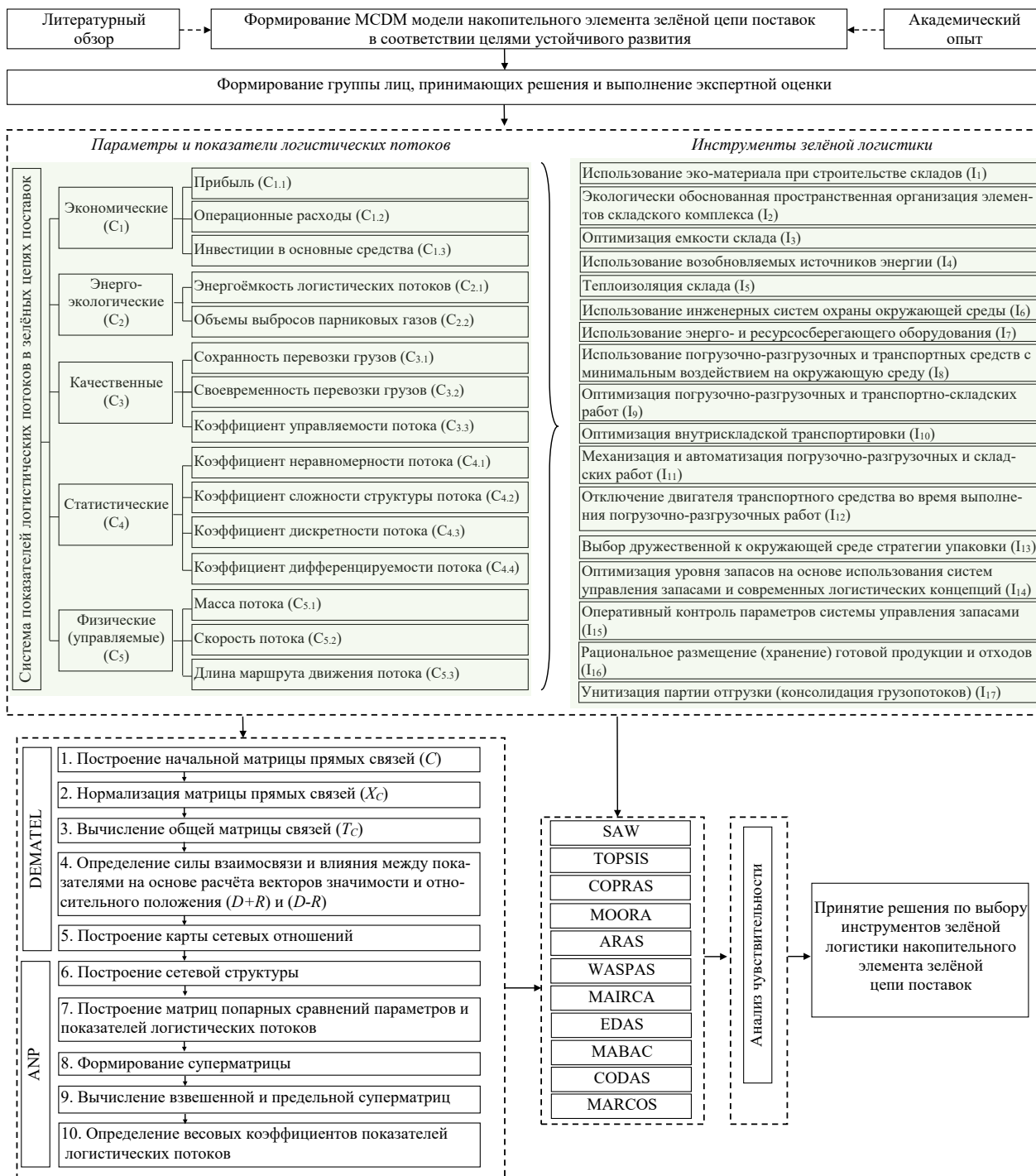


Рис. 1. Общая схема MCDM модели по выбору инструментов зелёной логистики для накопительного элемента цепей поставок

Fig. 1. MCDM model of the green logistics instrument selection for a supply chains' stocks element

Таблица 2. Характеристика используемых многокритериальных методов принятия решений
 Table 2. Characteristics of the used multicriteria decision-making methods

№	Акроним метода	Название MCMD метода	Краткая характеристика (основная идея метода)	Сложность расчётов
1	SAW	Метод простого аддитивного взвешивания (Simple Additive Weighting) [38]	Оценка каждой альтернативы по каждому критерию с использованием взвешенной суммы оценок.	Низкая
2	TOPSIS	Метод расстановки приоритетов по сходству с идеальным решением (Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [39]	Выбор альтернативы, наиболее близкой к положительному идеальному решению и наиболее далёкой от отрицательного идеального решения.	Средняя
3	COPRAS	Метод комплексной пропорциональной оценки (Complex Proportional Assessment) [40]	Выбор лучшей альтернативы с учётом как наилучшего, так и наихудшего решений.	Низкая
4	MOORA	Метод многоцелевой оптимизации на основе анализа соотношений (Multi-Objective Optimization On The Basis of Ratio Analysis) [41]	Оценка каждой альтернативы сравнивается с квадратным корнем из суммы квадратов оценок каждой альтернативы для каждой цели. Ранжирование альтернатив основано на определении индекса ранжирования как разности между его суммами взвешенных нормализованных степеней эффективности критериев «выгода» и «затраты».	Низкая
5	ARAS	Метод оценки аддитивного отношения (Additive Ratio Assessment) [42]	Сравнение значения функции полезности каждой альтернативы со значением функции полезности оптимальной альтернативы.	Средняя
6	WASPAS	Метод совокупной взвешенной суммы (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) [43]	Сочетание модели взвешенной суммы (WSM) и модели взвешенного продукта (WPM) для определения совместного обобщённого критерия взвешенной агрегации аддитивных и мультипликативных методов для каждой альтернативы.	Низкая
7	MAIRCA	Метод сравнительного анализа идеального и реального с множеством атрибутов (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) [44]	Оценка разницы («разрыва») между идеальными и эмпирическими оценками. Наилучшей является альтернатива наиболее близкая к идеальным оценкам по большинству критериев, т.е. альтернатива с наименьшим значением общего «разрыва».	Средняя
8	EDAS	Метод оценки отклонения от среднего решения (The Evaluation based on Distance from Average Solution) [45]	Оценка и ранжирование альтернатив на основе расчёта положительных и отрицательных расстояний от среднего значения.	Средняя
9	MABAC	Метод сравнения многокритериальных разграниченных областей (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) [46]	Оценка и ранжирование альтернатив на основе расчёта расстояний между альтернативами и границами области аппроксимации.	Низкая
10	CODAS	Метод комбинированной дистанционной оценки (Combinative Distance-based Assessment) [47]	Расчёт евклидова расстояния и расстояния такси для выбора лучшей альтернативы. Если две альтернативы имеют одинаковое значение евклидова расстояния, то расстояние такси используется для выбора лучшей альтернативы.	Средняя
11	MARCOS	Метод оценки альтернатив и ранжирование в соответствии с компромиссным решением (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) [48]	Расчёт отношения между альтернативами и эталонными значениями (идеальные и анти-идеальные альтернативы) и определения функций полезности в отношении идеальной и анти-идеальной альтернативы.	Средняя

4. Пример выбора зелёных технологий в складской логистике

Исходная MCDM модель включает пятнадцать критериев $C_{1.1}...C_{5.3}$ [34] и семнадцать альтернатив $I_1...I_{17}$ [35] (см. рис. 1). Вес показателей логистических потоков принят на основании исследований, представленных в работе [34] (рис. 2).

Оценка инструментов зелёной логистики накопи-

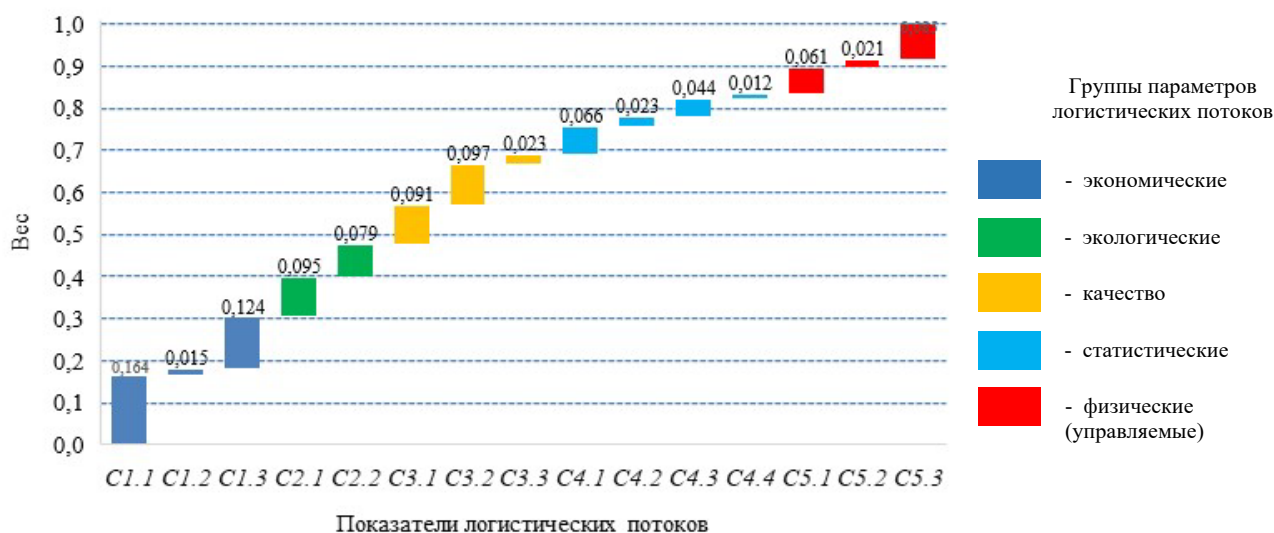


Рис. 2. Весовые коэффициенты показателей логистических потоков в зелёных цепях поставок (метод DEMATEL-ANP) [34]

Fig. 2. Weight of logistic flows indicators in green supply chains using the DEMATEL-ANP method [34]

Таблица 3. Результаты экспертной оценки инструментов зелёной логистики (начальная матрица принятия решений)

Table 3. The results of the green logistics instruments assessment (initial decision-making matrix)

I_j/C_j	$C_{1.1}$ (max)	$C_{1.2}$ (min)	$C_{1.3}$ (max)	$C_{2.1}$ (min)	$C_{2.2}$ (min)	$C_{3.1}$ (max)	$C_{3.2}$ (max)	$C_{3.3}$ (max)	$C_{4.1}$ (min)	$C_{4.2}$ (min)	$C_{4.3}$ (min)	$C_{4.4}$ (min)	$C_{5.1}$ (max)	$C_{5.2}$ (max)	$C_{5.3}$ (min)
I_1	1.75	3	4.25	2.5	2.5	1.25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I_2	1.75	2.75	4.25	2.75	3.25	1.75	2	2	1.75	1.75	1.75	1.75	2	2	1.5
I_3	3	3	4.25	2.75	2.5	2.25	3	3.75	3.25	3.25	3	2.75	3	3.5	2.75
I_4	3.75	3.75	4	4.25	4.75	1.25	1.25	1	1	1	1	1	1	1	1
I_5	2.75	4	3.5	4.25	4	3.5	1.5	1.25	1.5	1.25	1	1	1.25	1.5	1
I_6	2.25	3.25	4	3.5	4.25	2.5	1.75	2.5	1.5	1.25	1	1	1	1	1
I_7	3.75	4.5	4.5	4.5	4.75	2	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1.5	1.25	1
I_8	2.25	3.25	4	4	5	2.25	1.75	1.75	1.5	1.75	1.25	1.25	1.5	1.5	1.25
I_9	3.5	4.5	2.75	3.75	3.75	3	3.75	3.5	4.25	3.5	4	3.75	2.75	3.75	2.5
I_{10}	3	4	2	3.5	3.25	2.5	3.25	3.5	3.25	3	3	2.5	2.25	3.5	2.5
I_{11}	4	4.25	4.75	3.25	3	3	3.5	3.25	3	2.25	2.5	2.5	2.25	3.75	2.5
I_{12}	3	4.25	1.5	3.75	4.75	1.25	1.25	1.25	1	1	1.25	1.25	1.25	1.5	1.25
I_{13}	2.75	3.5	2	3	4.25	1.75	2.25	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1
I_{14}	4.25	4.25	2.75	4.5	4	3.5	3.75	3.75	4	3.25	3.25	3.25	3.5	4.25	2.5
I_{15}	4.25	3.75	1.75	3.25	3	3.25	3.75	4	3.75	3.75	3.25	3.25	3.25	3.75	2.5
I_{16}	3	3.25	2.5	2.5	3	3	2.25	2	2.5	3	2.5	3	3	3	3
I_{17}	3.5	4.25	1.75	3.75	3.25	3.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.5	4.25	3.75	4.5	3

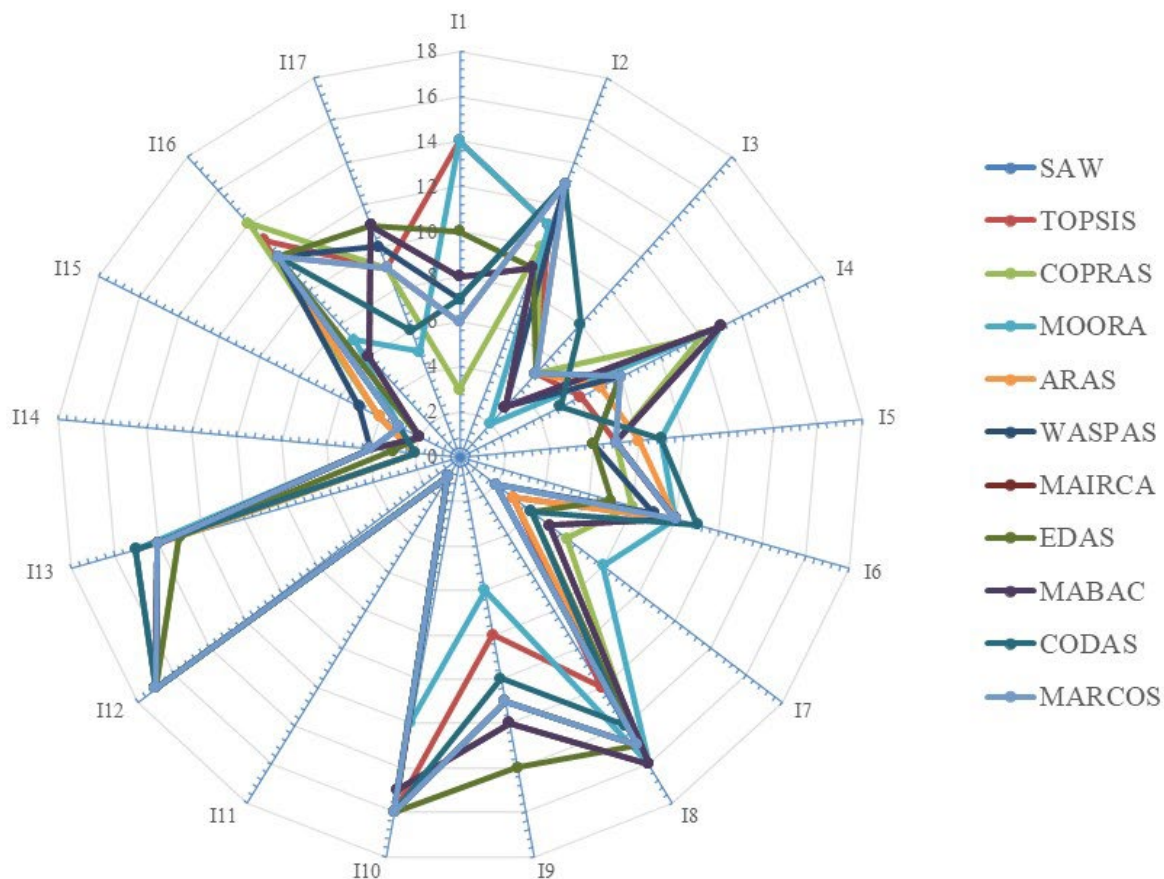


Рис. 3. Результаты ранжирования инструментов зелёной логистики различными MCDM методами
 Fig 3. Results of ranking green logistics instruments by various MCDM

Таблица 4. Результаты оценки инструментов зелёной логистики методами SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS

Table 4. Results of assessing green logistics instruments using SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS methods

Инструмент	SAW	TOPSIS	COPRAS	MOORA	ARAS
I ₁	6	0.6779	14	0.0537	3
I ₂	13	0.6240	11	0.0550	10
I ₃	5	0.6957	5	0.0637	5
I ₄	8	0.6749	6	0.0601	12
I ₅	7	0.6757	7	0.0597	7
I ₆	10	0.6611	10	0.0574	8
I ₇	2	0.6983	3	0.0650	6
I ₈	15	0.6120	12	0.0547	15
I ₉	11	0.6472	8	0.0596	11
I ₁₀	16	0.5995	16	0.0515	16
I ₁₁	1	0.7454	1	0.0773	1
I ₁₂	17	0.5663	17	0.0464	17
I ₁₃	14	0.6193	15	0.0528	13
I ₁₄	4	0.6962	2	0.0667	2
I ₁₅	3	0.6967	4	0.0643	4
I ₁₆	12	0.6414	13	0.0543	14
I ₁₇	9	0.6630	9	0.0579	9

Таблица 5. Результаты оценки инструментов зелёной логистики методами WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS

Table 5. Results of assessing green logistics instruments using SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS

Инструмент	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	MARCOS
I ₁	7	0.3631	8	0.0307	10	0.5221
I ₂	13	0.3368	9	0.0306	9	0.5240
I ₃	3	0.3749	3	0.0355	5	0.6348
I ₄	8	0.3625	13	0.0288	8	0.5314
I ₅	6	0.3642	7	0.0308	6	0.5918
I ₆	9	0.3563	10	0.0301	7	0.5548
I ₇	2	0.3762	5	0.0315	4	0.6425
I ₈	15	0.3306	16	0.0262	15	0.4479
I ₉	11	0.3485	12	0.0293	14	0.4588
I ₁₀	16	0.3234	15	0.0272	16	0.3803
I ₁₁	1	0.4019	1	0.0408	1	0.8629
I ₁₂	17	0.3046	17	0.0212	17	0.2527
I ₁₃	14	0.3344	14	0.0281	13	0.4589
I ₁₄	4	0.3745	4	0.0333	3	0.6584
I ₁₅	5	0.3745	2	0.0357	2	0.6623
I ₁₆	12	0.3458	6	0.0314	12	0.4720
I ₁₇	10	0.3558	11	0.0294	11	0.4788

Таблица 6. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена

Table 6. Spearman's rank correlation coefficient

Методы	SAW	TOPSIS	COPRAS	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	MARCOS	Среднее
SAW	1.000	0.880	0.922	0.723	0.990	0.985	0.875	0.924	0.875	0.946	1.000	0.9200
TOPSIS	0.880	1.000	0.762	0.779	0.890	0.890	0.765	0.885	0.765	0.892	0.880	0.8534
COPRAS	0.922	0.762	1.000	0.681	0.924	0.909	0.858	0.885	0.858	0.853	0.922	0.8703
MOORA	0.723	0.779	0.681	1.000	0.721	0.728	0.831	0.711	0.831	0.711	0.723	0.7672
ARAS	0.990	0.890	0.924	0.721	1.000	0.978	0.858	0.919	0.858	0.963	0.990	0.9173
WASPAS	0.985	0.890	0.909	0.728	0.978	1.000	0.875	0.929	0.875	0.904	0.985	0.9144
MAIRCA	0.875	0.765	0.858	0.831	0.858	0.875	1.000	0.892	1.000	0.770	0.875	0.8725
EDAS	0.924	0.885	0.885	0.711	0.919	0.929	0.892	1.000	0.892	0.858	0.924	0.8926
MABAC	0.875	0.765	0.858	0.831	0.858	0.875	1.000	0.892	1.000	0.770	0.875	0.8725
CODAS	0.946	0.892	0.853	0.711	0.963	0.904	0.770	0.858	0.770	1.000	0.946	0.8739
MARCOS	1.000	0.880	0.922	0.723	0.990	0.985	0.875	0.924	0.875	0.946	1.000	0.9200

Анализ табл. 4 и 5 показывает, что наиболее предпочтительной альтернативой является инструмент I₁₁ – «Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ» (первый ранг во всех 11 методах), наименее предпочтительной альтернативой I₁₂ – инструмент «Отключение двигателя транспортного средства во время выполнения погрузочно-разгрузочных работ» (семинадцатый ранг во всех 11 методах). Среди альтернатив с высоким рангом выделяется инструмент I₁₄ – «Оптимизация уровня запасов на основе использования систем управления запасами и современных логистических

концепций», I₁₅ – «Оперативный контроль параметров системы управления запасами» и I₇ – «Использование энерго- и ресурсосберегающего оборудования».

Несмотря на то, что в рассмотренных MCDM методах используются разные способы нормализации и агрегации данных, при ранжировании альтернатив была достигнута высокая согласованность результатов. Средний коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил 0.88. Наиболее согласованы результаты методов SAW, ARAS, WASPAS и MARCOS (коэффициент ранговой корреляции Спирмена более 0.9). Наименее согласованным по сравне-

нию с другими методами является метод MOORA (коэффициент ранговой корреляции составил 0.76).

5. Заключение

В статье исследованы вопросы применения многокритериальных методов принятия решений в складской деятельности при управлении зелёными цепями поставок. Разработанная комбинированная MCDM модель оценки и выбора инструментов зелёной логистики включает 17 альтернатив (инструменты зелёной логистики). Оценка и выбор альтернатив производилась по 15-и критериям – показатели логистических потоков. Вес критериев определялся комбинированным DEMATEL-ANP методом, ранжирование альтернатив осуществлялось с использовани-

ем одиннадцати методов – SAW, TOPSIS, COPRAS, MOORA, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS и MARCOS.

Расчётный пример реализации разработанной методики показал высокую корреляцию результатов (коэффициент ранговой корреляции 0.88). Наиболее согласованными методами являются SAW, ARAS, WASPAS и MARCOS, наименее согласованным методом MOORA. Наиболее предпочтительной альтернативой является инструмент «Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных и складских работ» (I_{11}), наименее предпочтительной альтернатива «Отключение двигателя транспортного средства во время выполнения погрузочно-разгрузочных работ» (I_{12}).

Список литературы

1. Bartolini M., Bottani E., Grosse E. H. Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Т. 226. С. 242-258. <https://www.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.055>.
2. European Outlook 2022: Brought to you by our local experts, the European Outlook provides a high-level summary of our view on the European real estate markets in 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.knightfrank.com/research/article/2021-12-16-european-outlook-2022>.
3. Buntak K., Kovačić M., Mutavdžija M. Internet of things and smart warehouses as the future of logistics // *Tehnički glasnik*. 2019. Т. 13. № 3. С. 248-253. <https://www.doi.org/10.31803/tg-20190215200430>.
4. Kamali A. Smart warehouse vs. traditional warehouse: Review // *CiiT International Journal of Automation and Autonomous System*. 2019. Т. 11. № 1. С. 9-16.
5. Osintsev N., Kazarmshchikova E. Factors of sustainable development of transport and logistics systems // *Modern Problems of Russian Transport Complex*. 2017. Т. 7. № 1. С. 13-21. <https://www.doi.org/10.18503/2222-9396-2017-7-1-13-21>.
6. Osintsev N., Rakhmangulov A., Śladkowski A., Dyorina N. Logistic Flow Control System in Green Supply Chains. // *Ecology in Transport: Problems and Solutions / A. Śladkowski*. Cham: Springer International Publishing, 2020. С. 311-380. https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-42323-0_6.
7. Wu K.-J., Tseng M.-L., Vy T. Evaluation the drivers of green supply chain management practices in uncertainty // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011. Т. 25. С. 384-397. <https://www.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.049>.
8. Popović V., Kilibarda M., Andrejić M., Jereb B., Dragan D. A new sustainable warehouse management approach for workforce and activities scheduling // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 4. С. 2021. <https://www.doi.org/10.3390/su13042021>.
9. Wahab S. N., Sayuti N. M., Ab Talib M. S. Antecedents of green warehousing: A theoretical framework and future direction // *International Journal of Supply Chain Management*. 2018. Т. 7. № 6. С. 382-388.
10. Yener F., Yazgan H. R. Optimal warehouse design: Literature review and case study application // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Т. 129. № 8. С. 1-13. <https://www.doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.006>.
11. Gu J., Goetschalckx M., McGinnis L. F. Research on warehouse operation: A comprehensive review // *European Journal of Operational Research*. 2007. Т. 177. № 1. С. 1-21. <https://www.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>.
12. Carli R., Digiesi S., Dotoli M., Facchini F. A control strategy for smart energy charging of warehouse material handling equipment // *Procedia Manufacturing*. 2020. Т. 42. С. 503-510.
13. Zajac P. Evaluation Method of Energy Consumption in Logistic Warehouse Systems. Cham: Springer International Publishing, 2015. 158 с. <https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-22044-4>.
14. Freis J., Vohlidka P., Günthner W. Low-Carbon Warehousing: Examining Impacts of Building and Intra-Logistics Design Options on Energy Demand and the CO2 Emissions of Logistics Centers // *Sustainability*. 2016. Т. 8. № 5. С. 448. <https://www.doi.org/10.3390/su8050448>.
15. Lewczuk K., Kłodawski M., Gepner P. Energy consumption in a distributional warehouse: A practical case study for different warehouse technologies // *Energies*. 2021. Т. 14. № 9. С. 2709. <https://www.doi.org/10.3390/en14092709>.
16. Modica T., Perotti S., Melacini M. Green warehousing: Exploration of organisational variables fostering the adoption of energy-efficient material handling equipment // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 23. С. 13237. <https://www.doi.org/10.3390/su132313237>.

17. Darko A., Zhang C., Chan A. P. Drivers for green building: A review of empirical studies // *Habitat International*. 2017. Т. 60. С. 34-49. <https://www.doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.12.007>.
18. Doan D. T., Ghaffarianhoseini A., Naismith N., Zhang T., Ghaffarianhoseini A., Tookey J. A critical comparison of green building rating systems // *Building and Environment*. 2017. Т. 123. С. 243-260.
19. Illankoon I. M. C. S., Tam V. W. Y., Le K. N., Tran C. N. N., Ma M. Review on green building rating tools worldwide: recommendations for Australia // *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*. 2019. Т. 25. № 8. С. 831-847. <https://www.doi.org/10.3846/jcem.2019.10928>.
20. Гнедкова А., Осинцев Н. Выбор "зелёных" стандартов при проектировании складов // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 78 междунар. науч. техн. конф.* 2020. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. С. 20.
21. Stojčić M., Zavadskas E., Pamučar D., Stević Ž., Mardani A. Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008–2018 // *Symmetry*. 2019. Т. 11. № 3. С. 350. <https://www.doi.org/10.3390/sym11030350>.
22. Khan S. A., Chaabane A., Dweiri F. T. Multi-criteria decision-making methods application in supply chain management: A systematic literature review. // *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management / V. A. P. Salomon*. InTech, 2018. <https://www.doi.org/10.5772/intechopen.74067>.
23. Mardani A., Zavadskas E. K., Khalifah Z., Jusoh A., Nor K. M. D. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature // *Transport*. 2016. Т. 31. № 3. С. 359-385. <https://www.doi.org/10.3846/16484142.2015.1121517>.
24. Wątróbski J. Outline of multicriteria decision-making in green logistics // *Transportation Research Procedia*. 2016. Т. 16. С. 537-552. <https://www.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.051>.
25. Özcan T., Çelebi N., Esnaf Ş. Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem // *Expert Systems with Applications*. 2011. Т. 38. № 8. С. 9773-9779. <https://www.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.022>.
26. Karmakera C. L., and M. Saha M. Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods // *Decision Science Letters*. 2015. № 4. С. 315-334.
27. Emeç Ş., Akkaya G. Stochastic AHP and fuzzy VIKOR approach for warehouse location selection problem // *Journal of Enterprise Information Management*. 2018. Т. 31. № 6. С. 950-962. <https://www.doi.org/10.1108/JEIM-12-2016-0195>.
28. Dey B., Bairagi B., Sarkar B., Sanyal S. K. A hybrid fuzzy technique for the selection of warehouse location in a supply chain under a utopian environment // *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 2013. Т. 8. № 4. С. 250-261. <https://www.doi.org/10.1080/17509653.2013.825075>.
29. Alidrisi H. DEA-Based PROMETHEE II Distribution-Center Productivity Model: Evaluation and Location Strategies Formulation // *Applied Sciences*. 2021. Т. 11. № 20. С. 9567. <https://www.doi.org/10.3390/app11209567>.
30. Eko Saputro T., Daneshvar Rouyendegh A hybrid approach for selecting material handling equipment in a warehouse // *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 2014. Т. 11. № 1. С. 34-48. <https://www.doi.org/10.1080/17509653.2015.1042535>.
31. Ulutaş A., Karabasevic D., Popovic G., Stanujkić D., Nguyen P. T., Karaköy Ç. Development of a Novel Integrated CCSD-ITARA-MARCOS Decision-Making Approach for Stackers Selection in a Logistics System // *Mathematics*. 2020. Т. 8. № 10. С. 1672. <https://www.doi.org/10.3390/math8101672>.
32. Stojčić M., Stević Ž., Nikolić A., Božičković Z. A multi-criteria model for evaluation and selection of AGV's in a warehouse // *Modern Problems of Russian Transport Complex*. 2019. Т. 9. № 1. С. 4-20. <https://www.doi.org/10.18503/2222-9396-2019-9-1-4-20>.
33. Stević Ž., Stjepanović Ž., Božičković Z., Das D., Stanujkić D. Assessment of conditions for implementing information technology in a warehouse system: A novel fuzzy PIPRECIA method // *Symmetry*. 2018. Т. 10. № 11. С. 586. <https://www.doi.org/10.3390/sym10110586>.
34. Osintsev N., Rakhmangulov A., Baginova V. Evaluation of logistic flows in green supply chains based on the combined DEMATEL-ANP method // *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. 2021. Т. 19. № 3. С. 473-498. <https://www.doi.org/10.22190/FUME210505061O>.
35. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Muravev D. Green logistics: a system of methods and instruments - part 2 // *Naše more*. 2018. Т. 65. № 1. С. 49-55. <https://www.doi.org/10.17818/NM/2018/1.7>.
36. A. Gabus, E. Fontela *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Centre: Battelle Geneva Research Centre, 1972.
37. Saaty T. L., Vargas L. G. *Decision making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. New York, N.Y.: Springer, 2006. МПКТ.95. 278 с.

38. Churchman C. W., Ackoff R. L. An Approximate Measure of Value // Journal of the Operations Research Society of America. 1954. Т. 2. № 2. С. 172-187. <https://www.doi.org/10.1287/opre.2.2.172>.
39. Hwang C.-L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. МПКТ.186. 1 Online-Ressource (XII, 270 Seiten 1 Illustration).
40. Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Sarka V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects // Technological and Economic Development of Economy. 1994. Т. 1. № 3. С. 131-139.
41. Brauers, W.K.M.; Zavadskas, E.K.: The MOORA method and its application to privatization in a transition economy // Control and Cybernetics. 2006. Т. 35. № 2. 445–469.
42. Zavadskas E. K., Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making // Technological and Economic Development of Economy. 2010. Т. 16. № 2. С. 159-172. <https://www.doi.org/10.3846/tede.2010.10>.
43. Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J. Optimization of weighted aggregated sum product assessment // Electronics and Electrical Engineering. 2012. Т. 122. № 6. <https://www.doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>.
44. Pamučar D., Vasin L., & Lukovac V. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA. / Под ред. Dušan Stamenković, Miloš Milošević, Bane. Faculty of Mechanical Engineering. С. 89-92.
45. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., OLFAT L., Turskis Z. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS) // Informatica. 2015. Т. 26. № 3. С. 435-451. <https://www.doi.org/10.15388/Informatica.2015.57>.
46. Pamučar D., Čirović G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC) // Expert Systems with Applications. 2015. Т. 42. № 6. С. 3016-3028. <https://www.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>.
47. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J. A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making // Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research. 2016. Т. 50. № 3. С. 25-44.
48. Stević Ž., Pamučar D., Puška A., Chatterjee P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS) // Computers & Industrial Engineering. 2020. Т. 140. С. 106231. <https://www.doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>.

References

1. Bartolini M., Bottani E., Grosse E. H. *Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis* // Journal of Cleaner Production. 2019, vol. 226, pp. 242–258. <https://www.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.055>.
2. European Outlook 2022: Brought to you by our local experts, the European Outlook provides a high-level summary of our view on the European real estate markets in 2022. Available at: <https://www.knightfrank.com/research/article/2021-12-16-european-outlook-2022>.
3. Buntak K., Kovačić M., Mutavdžija M. *Internet of things and smart warehouses as the future of logistics* // Tehnički glasnik. 2019, vol. 13, no. 3, pp. 248–253. <https://www.doi.org/10.31803/tg-20190215200430>.
4. Kamali A. *Smart warehouse vs. traditional warehouse* // CiiT International Journal of Automation and Autonomous System. 2019, vol. 11, no. 1, pp. 9–16.
5. Osintsev N., Kazarmshchikova E. *Factors of sustainable development of transport and logistics systems* // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2017, vol. 7, no. 1, pp. 13–21. <https://www.doi.org/10.18503/2222-9396-2017-7-1-13-21>.
6. Osintsev N., Rakhmangulov A., Śladkowski A., Dyorina N. *Logistic Flow Control System in Green Supply Chains* // Ecology in Transport: Problems and Solutions: Lecture Notes in Networks and Systems]. 2020. vol. 124, Cham: Springer International Publishing, pp. 311–380.
7. Wu K.-J., Tseng M.-L., Vy T. *Evaluation the drivers of green supply chain management practices in uncertainty* // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2011, vol. 25, pp. 384–397. <https://www.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.049>.
8. Popović V., Kilibarda M., Andrejić M., Jereb B., Dragan D. *A new sustainable warehouse management approach for workforce and activities scheduling* // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 4, p.2021. <https://www.doi.org/10.3390/su13042021>.
9. Wahab S. N., Sayuti N. M., Ab Talib M. S. *Antecedents of green warehousing* // International Journal of Supply Chain Management. 2018, vol. 7, no. 6, pp. 382–388.
10. Yener F., Yazgan H. R. *Optimal warehouse design* // Computers & Industrial Engineering. 2019, vol. 129, no. 8, pp. 1–13. <https://www.doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.006>.

11. Gu J., Goetschalckx M., McGinnis L. F. *Research on warehouse operation* // European Journal of Operational Research. 2007, vol. 177, no. 1, pp. 1–21. <https://www.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>.
12. Carli R., Digiesi S., Dotoli M., Facchini F. *A control strategy for smart energy charging of warehouse material handling equipment* // Procedia Manufacturing. 2020, vol. 42, pp. 503–510.
13. Zajac P. *Evaluation Method of Energy Consumption in Logistic Warehouse Systems*. Cham: Springer International Publishing. 2015. 158 p.
14. Freis J., Vohlidka P., Günthner W. *Low-Carbon Warehousing* // Sustainability. 2016, vol. 8, no. 5, p. 448. <https://www.doi.org/10.3390/su8050448>.
15. Lewczuk K., Kłodawski M., Gepner P. *Energy consumption in a distributional warehouse* // Energies. 2021, vol. 14, no. 9, p. 2709. <https://www.doi.org/10.3390/en14092709>.
16. Modica T., Perotti S., Melacini M. *Green warehousing* // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 23, p. 13237. <https://www.doi.org/10.3390/su132313237>.
17. Darko A., Zhang C., Chan A. P. *Drivers for green building* // Habitat International. 2017, vol. 60, pp. 34–49. <https://www.doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.12.007>.
18. Doan D. T., Ghaffarianhoseini A., Naismith N., Zhang T., Ghaffarianhoseini A., Tookey J. *A critical comparison of green building rating systems* // Building and Environment. 2017, vol. 123, pp. 243–260.
19. Illankoon I. M. C. S., Tam V. W. Y., Le K. N., Tran C. N. N., Ma M. *Review on green building rating tools worldwide* // JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT. 2019, vol. 25, no. 8, pp. 831–847. <https://www.doi.org/10.3846/jcem.2019.10928>.
20. Gnedkova A., Osintsev N. *The choice of "green" standards in the design of warehouses* // Actual problems of modern science, technology, and education: International scientific conference 2020, Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publishing House, p. 20.
21. Stojčić M., Zavadskas E., Pamučar D., Stević Ž., Mardani A. *Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008–2018* // Symmetry. 2019, vol. 11, no. 3, p. 350. <https://www.doi.org/10.3390/sym11030350>.
22. Khan S. A., Chaabane A., Dweiri F. T. *Multi-criteria decision-making methods application in supply chain management: A systematic literature review* // Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management. 2018, : InTech.
23. Mardani A., Zavadskas E. K., Khalifah Z., Jusoh A., Nor K. M. D. *Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems* // Transport. 2016, vol. 31, no. 3, pp. 359–385. <https://www.doi.org/10.3846/16484142.2015.1121517>.
24. Wątróbski J. *Outline of multicriteria decision-making in green logistics* // Transportation Research Procedia. 2016, vol. 16, pp. 537–552. <https://www.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.051>.
25. Özcan T., Çelebi N., Esnaf Ş. *Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem* // Expert Systems with Applications. 2011, vol. 38, no. 8, pp. 9773–9779. <https://www.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.022>.
26. Karmakera C. L., and M. Saha M. *Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods* // Decision Science Letters. 2015, no. 4, pp. 315–334.
27. Emeç Ş., Akkaya G. *Stochastic AHP and fuzzy VIKOR approach for warehouse location selection problem* // Journal of Enterprise Information Management. 2018, vol. 31, no. 6, pp. 950–962. <https://www.doi.org/10.1108/JEIM-12-2016-0195>.
28. Dey B., Bairagi B., Sarkar B., Sanyal S. K. *A hybrid fuzzy technique for the selection of warehouse location in a supply chain under a utopian environment* // International Journal of Management Science and Engineering Management. 2013, vol. 8, no. 4, pp. 250–261. <https://www.doi.org/10.1080/17509653.2013.825075>.
29. Alidrisi H. *DEA-Based PROMETHEE II Distribution-Center Productivity Model* // Applied Sciences. 2021, vol. 11, no. 20, p. 9567. <https://www.doi.org/10.3390/app11209567>.
30. Eko Saputro T., Daneshvar Rouyendegh *A hybrid approach for selecting material handling equipment in a warehouse* // International Journal of Management Science and Engineering Management. 2014, vol. 11, no. 1, pp. 34–48. <https://www.doi.org/10.1080/17509653.2015.1042535>.
31. Ulutaş A., Karabasevic D., Popovic G., Stanujkic D., Nguyen P. T., Karaköy Ç. *Development of a Novel Integrated CCSD-ITARA-MARCOS Decision-Making Approach for Stackers Selection in a Logistics System* // Mathematics. 2020, vol. 8, no. 10, p. 1672. <https://www.doi.org/10.3390/math8101672>.
32. Stojčić M., Stević Ž., Nikolić A., Božičković Z. *A multi-criteria model for evaluation and selection of AGV's in a warehouse* // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 4–20. <https://www.doi.org/10.18503/2222-9396-2019-9-1-4-20>.
33. Stević Ž., Stjepanović Ž., Božičković Z., Das D., Stanujkić D. *Assessment of conditions for implementing information technology in a warehouse system* // Symmetry. 2018, vol. 10, no. 11, p. 586. <https://www.doi.org/10.3390/sym10110586>.

34. Osintsev N., Rakhmangulov A., Baginova V. *Evaluation of logistic flows in green supply chains based on the combined DEMATEL-ANP method* // Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 473–498. <https://www.doi.org/10.22190/FUME2105050610>.
35. Rakhmangulov A., Sladkowski A., Osintsev N., Muravev D. *Green logistics: a system of methods and instruments - part 2* // Naše more. 2018, vol. 65, no. 1, pp. 49–55. <https://www.doi.org/10.17818/NM/2018/1.7>.
36. Gabus A., Fontela E. *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Centre. 1972, pp. 1–8.
37. Saaty T. L., Vargas L. G. *Decision making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks: International Series in Operations Research & Management Science*. New York, N.Y. Springer. 2006. 278 p.
38. Churchman C. W., Ackoff R. L. *An Approximate Measure of Value* // Journal of the Operations Research Society of America. 1954, vol. 2, no. 2, pp. 172–187. <https://www.doi.org/10.1287/opre.2.2.172>.
39. Hwang C.-L., Yoon K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 1981. 1 Online-Ressource (XII, 270 Seiten 1 Illustration).
40. Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Sarka V. *The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects* // Technological and Economic Development of Economy. 1994, vol. 1, no. 3, pp. 131–139.
41. Brauers, W.K.M.; Zavadskas, E.K. // Control and Cybernetics. 2006, vol. 35, no. 2, 445–469.
42. Zavadskas E. K., Turskis Z. *A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making* // Technological and Economic Development of Economy. 2010, vol. 16, no. 2, pp. 159–172. <https://www.doi.org/10.3846/tede.2010.10>.
43. Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J. *Optimization of weighted aggregated sum product assessment* // Electronics and Electrical Engineering. 2012, vol. 122, no. 6. <https://www.doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810>.
44. Pamučar D., Vasin L., & Lukovac V. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA // XVI Scientific-Expert Conference on Railways, RAILCON '14: Proceedings : October 09-10, 2014, Niš, Serbia / D. Stamenković, M. Milošević, and Banej . 2014, Niš: Faculty of Mechanical Engineering, pp. 89–92.
45. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., OLFAT L., Turskis Z. *Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS)* // Informatica. 2015, vol. 26, no. 3, pp. 435–451. <https://www.doi.org/10.15388/Informatica.2015.57>.
46. Pamučar D., Čirović G. *The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC)* // Expert Systems with Applications. 2015, vol. 42, no. 6, pp. 3016–3028. <https://www.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>.
47. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J. *A new combinative distance-based assessment (CODAS) method for multi-criteria decision-making* // Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research. 2016, vol. 50, no. 3, pp. 25–44.
48. Stević Ž., Pamučar D., Puška A., Chatterjee P. *Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS)* // Computers & Industrial Engineering. 2020, vol. 140, p. 106231. <https://www.doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>.