

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ**

*В статье рассматриваются методы решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств для обеспечения эффективной перевозки грузов различными видами транспорта. Проведен анализ возможных рисков и неопределенностей при организации различных видов перевозок и разработана соответствующая информационная технология для решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств.*

*Ключевые слова: информационная технология, мультимодальные перевозки, логистика, метод анализа иерархий.*

Мультимодальные перевозки, основанные на использовании различных видов транспорта для перемещения товаров в пространстве и времени, занимают важное место в транспортной логистике. Следует отметить, что результаты таких перевозок во многом зависят от различного рода неопределенностей и рисков источниками которых являются неравномерность материальных и транспортных потоков, применением различного рода транспортных средств, состоянием транспортных коридоров и узлов, особенностями технологий перевозок и др. Это порождает множество разнообразных задач, для решения которых все большую востребованность получают методы поддержки принятия решений, прогнозирования, оптимизации систем логистики и построения на этой основе прикладных информационных технологий. Анализ существующих моделей и методов принятия решений и оптимизации логистических систем показал, что они направлены либо в сторону выбора решений относительно рисков, либо в сторону решения проблемы относительно выигрышей [1]. Обсуждение вопроса о подходах к совместному учету одновременно и выигрышей, и рисков в современной литературе отобразено явно недостаточно.

В последние годы различным проблемам логистики, в частности, математическим моделям и методам решения различных задач оптимизации и принятия решений посвящено множество работ как отечественных, так и зарубежных исследователей. Так, в работе [1], рассмотрена задача оптимизации системы логистики в бизнесе с использованием теории игр. Работы [2, 3] посвящены анализу критериев выбора различных транспортных средств для мультимодальных перевозок. В работе [5] рассмотрен вероятностный подход к моделированию возникающих неопределенностей в логистике. Достаточно обширный классификатор математических методов и моделей в логистике представлен в работе [6]. Вместе с этим необходимо указать на недостаточность разработки проблемы выбора в условиях многокритериальности, учитывающей не только одновременный учет рисков и выигрышей, но и более широкого круга показателей. В этой связи для решения такой задачи видится перспективным применение модели BOCR: В – Benefits (Выгоды), О – Opportunities (Возможности), С – Costs (Издержки), R – Risks (Риски), основанный на методе анализа иерархий Т. Саати [7].

Цель статьи состоит в описании решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств мультимодальных перевозок с использованием модели BOCR.

Любое решение имеет достоинства и недостатки, которые необходимо тщательно проанализировать, совершая выбор. Некоторые из них отражают вполне определенные аспекты проблемы, другие являются менее ясными и могут иметь место с некоторой вероятностью. Благоприятные аспекты решения, ожидаемые с высокой вероятностью, называются выгодами, в то время как неблагоприятные называются – издержками. Сомнительные аспекты решения также могут быть положительными и отрицательными. Положительные аспекты – это возможности, которые решение могут создать, а отрицательные аспекты называют рисками, которые могут повлечь за собой рассматриваемое решение.

Каждый из четырех указанных аспектов может быть представлен отдельной иерархической структурой и проанализирован с использованием метода анализа иерархий (МАИ) [7] (рис. 1).

В конечном итоге, для каждой из рассматриваемой альтернативы подсчитывается отношение вида:

$$BOCR = \frac{\text{Выгоды} \times \text{Возможности}}{\text{Издержки} \times \text{Риски}}. \quad (1)$$

По величине данного отношения производится окончательный выбор альтернативы или может быть получено их ранжирование. Применение МАИ сопровождается выполнением следующих процедур: для каждого аспекта формируются матрицы попарных сравнений [B] между критериями [K] и между альтернативами [A] относительно каждого из критериев с использованием фундаментальной шкалы (табл. 2.10) [7]; определяются значения собственного вектора (C) этой матрицы с последующим их нормированием и определением весов вектора приоритетов. В формализованном виде данную процедуру можно представить так:

$$\begin{aligned}
 [B] = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix} &\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sqrt[n]{b_{11} \cdot b_{12} \cdot \dots \cdot b_{1n}} \\ \sqrt[n]{b_{21} \cdot b_{22} \cdot \dots \cdot b_{2n}} \\ \dots \\ \sqrt[n]{b_{n1} \cdot b_{n2} \cdot \dots \cdot b_{nn}} \end{array} \right\} \rightarrow \\
 \rightarrow (c_1 + c_2 + \dots + c_n) = C &\rightarrow \left\{ \frac{c_1}{C} = \omega_1; \frac{c_2}{C} = \omega_2; \dots; \frac{c_n}{C} = \omega_n \right\} \rightarrow \\
 &\rightarrow (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n). \quad (2)
 \end{aligned}$$

Далее выполняется проверка согласованности элементов матрицы [B] посредством подсчета отношения согласованности (ОС).  $ОС = ИС/СИ$ , где  $ИС = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$  – индекс согласованности;  $\lambda_{max}$  – максимальное собственное число;  $n$  – число сравниваемых элементов матрицы [B]; СИ – случайный индекс (назначается по табл. 2.11, приведенной в [7]). В конечном итоге ОС не должно превышать 10%.

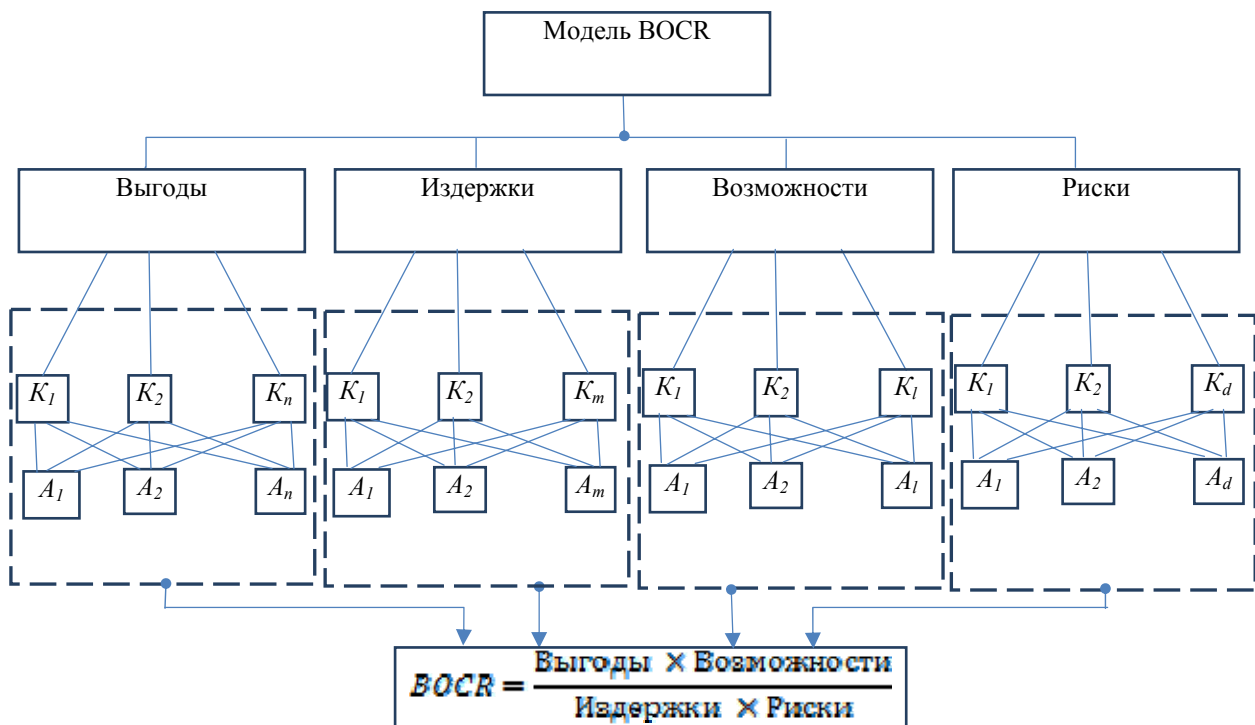


Рис. 1. Структурное представление модели BOCR

Рассмотрим пример решения задачи многокритериального выбора транспортных средств мультимодальных перевозок зерновых грузов с использованием модели BOCR.

С этой целью введем следующие обозначения:

1. Критерии для аспекта «Выгоды»:  $K_1$  – время доставки груза;  $K_2$  – стоимость перевозки;  $K_3$  – частота отправок грузов;  $K_4$  – перевозимый объем груза;

2. Критерии для аспекта «Издержки»:  $K_5$  – финансовые вложения в модернизацию дорог и путей;  $K_6$  – финансовые вложения в подвижные средства транспортировки грузов;  $K_7$  – вложения в производственно-техническую базу транспортных коридоров и узлов;

3. Критерии для аспекта «Возможности»:  $K_8$  – пропускная способность;  $K_9$  – возможность доставки груза в необходимую точку территории;  $K_{10}$  – транспортные тарифы;  $K_{11}$  – погодные условия;

4. Критерии для аспекта «Риски»:  $K_{12}$  – риск невыполнения обязательств, связанных с сохранностью груза;  $K_{13}$  – риск невыполнения обязательств, связанный со сроками доставки груза.

В качестве альтернатив, характеризующих виды транспорта для перевозки зерновых грузов, выберем следующие:

$A_1$  – «Автомобиль – Автомобиль»;  $A_2$  – «Автомобиль – Поезд»;  $A_3$  – «Автомобиль – судно». Структурно задача представлена на рис. 2. Результаты попарных сравнений для всех четырех аспектов даны в табл. 1–4, которые используются для расчета итоговых векторов приоритетов ( $W$ ).

Таким образом, имеем:

1. Для аспекта «Выгоды»

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.62 & 0.10 & 0.57 & 0.07 \\ 0.30 & 0.64 & 0.28 & 0.33 \\ 0.08 & 0.26 & 0.15 & 0.60 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.21 \\ 0.57 \\ 0.14 \\ 0.07 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.28 \\ 0.49 \\ 0.23 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

2. Для аспекта «Издержки»

$$W_2 = \begin{pmatrix} 0.66 & 0.15 & 0.10 \\ 0.19 & 0.60 & 0.26 \\ 0.15 & 0.25 & 0.64 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.61 \\ 0.27 \\ 0.12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.35 \\ 0.20 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

3. Для аспекта «Возможности»

$$W_3 = \begin{pmatrix} 0.54 & 0.64 & 0.10 & 0.10 \\ 0.16 & 0.26 & 0.20 & 0.57 \\ 0.30 & 0.10 & 0.70 & 0.33 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.41 \\ 0.30 \\ 0.10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.40 \\ 0.28 \\ 0.32 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

4. Для аспекта «Риски»

$$W_4 = \begin{pmatrix} 0.55 & 0.65 \\ 0.19 & 0.23 \\ 0.26 & 0.12 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.33 \\ 0.67 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.62 \\ 0.22 \\ 0.16 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

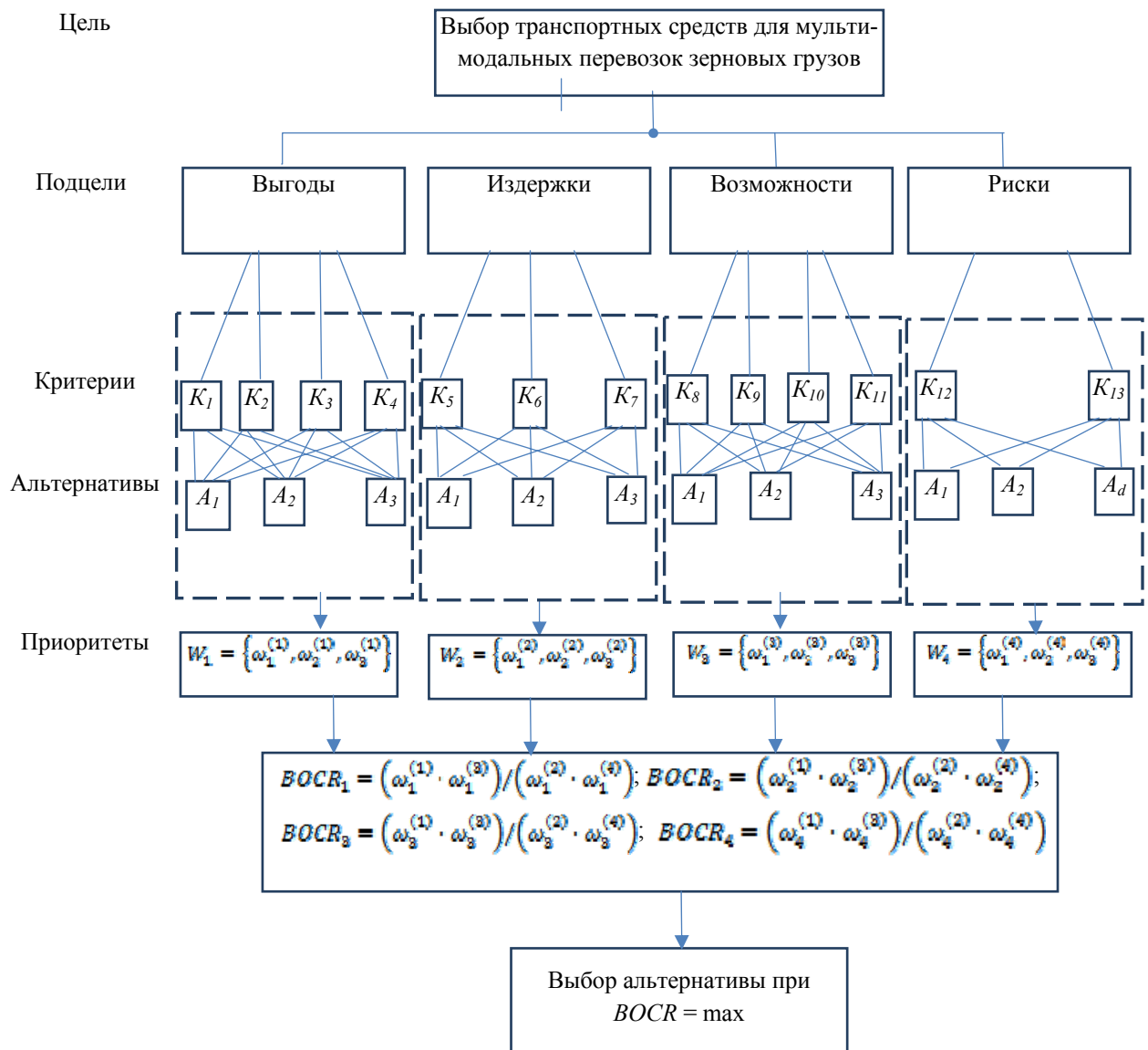


Рис. 2. Структура задачи выбора транспортных средств методом BOCR

Таблица 1

Матрица экспертных суждений для выгод

Критерии	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	Приоритеты ( $\omega$ )	$K_1$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_1$	1	1/4	2	3	0,21	$A_1$	1	3	5	0,62
$K_2$	3	1	5	5	0,57	$A_2$	1/3	1	5	0,30
$K_3$	1/2	1/5	1	3	0,14	$A_3$	1/5	1/5	1	0,08
$K_4$	1/3	1/5	1/3	1	0,07	$K_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_2$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты		$A_1$	1	2	4	0,57
$A_1$	1	1/3	1/5	0,10		$A_2$	1/2	1	2	0,28
$A_2$	3	1	5	0,64		$A_3$	1/4	1/2	1	0,15
$A_3$	5	1/5	1	0,26		$K_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
						$A_1$	1	1/5	1/7	0,07
						$A_2$	5	1	1/2	0,33
						$A_3$	7	2	1	0,60

Таблица 2

## Матрица экспертных суждений для возможностей

Критерии	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	Приоритеты ( $\omega$ )	$K_8$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_8$	1	1/2	1/2	2	0,19	$A_1$	1	2	3	0,54
$K_9$	2	1	2	3	0,41	$A_2$	1/2	1	1/3	0,16
$K_{10}$	2	1/2	1	3	0,30	$A_3$	1/3	3	1	0,30
$K_{11}$	1/2	1/3	1/3	1	0,10	$K_{10}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_9$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты		$A_1$	1	1/3	1/5	0,1
$A_1$	1	1/3	1/5	0,10		$A_2$	3	1	1/5	0,20
$A_2$	3	1	5	0,64		$A_3$	5	5	1	0,70
$A_3$	5	1/5	1	0,26		$K_{11}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
						$A_1$	1	1/3	1/5	0,10
						$A_2$	3	1	3	0,57
						$A_3$	5	1/3	1	0,33

Таблица 3

## Матрицы экспертных суждений для издержек

Критерии	$K_5$	$K_6$	$K_7$	Приоритеты ( $\omega$ )	$K_5$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_5$	1	3	4	0,61	$A_1$	1	5	3	0,66
$K_6$	1/3	1	3	0,27	$A_2$	1/5	1	2	0,19
$K_7$	1/4	1/3	1	0,12	$A_3$	1/3	1/2	1	0,15
$K_6$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )	$K_7$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$A_1$	1	1/3	1/2	0,15	$A_1$	1	1/3	1/5	0,10
$A_2$	3	1	3	0,60	$A_2$	3	1	1/3	0,26
$A_3$	2	1/3	1	0,25	$A_3$	5	3	1	0,64

Таблица 4

## Матрицы экспертных оценок для рисков

Критерии	$K_{12}$	$K_{13}$		Приоритеты ( $\omega$ )	$K_{12}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )
$K_{12}$	1	1/2		0,33	$A_1$	1	2	3	0,55
$K_{13}$	2	1		0,67	$A_2$	1/2	1	1/2	0,19
$K_{13}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Приоритеты ( $\omega$ )	$A_3$	1/3	2	1	0,26
$A_1$	1	3	5	0,65					
$A_2$	1/3	1	2	0,23					
$A_3$	1/5	1/2	1	0,12					

С учетом значений, полученных в выражениях (3), (4), (5), (6), построим таблицу отношений BOCR (табл. 5)

Таблица 5

## Значения отношений BOCR

Альтернативы	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Предпочтения альтернатив
Выгоды	0,28	0,49	0,23	$A_2 > A_1 > A_3$
Издержки	0,45	0,35	0,20	$A_1 > A_2 > A_3$
Выгоды/Издержки	0,62	1,4	1,15	$A_2 > A_3 > A_1$
Возможности	0,40	0,28	0,32	$A_1 > A_3 > A_2$
Риски	0,62	0,22	0,16	$A_1 > A_2 > A_3$
Выгоды/риски	0,45	2,22	1,43	$A_2 > A_3 > A_1$
Выгода/ (Издержки X Риски)	1,0	6,125	7,6	$A_3 > A_2 > A_1$
BOCR	0,4	1,7	2,3	$A_3 > A_2 > A_1$

Из рассмотрения данной таблицы видно, что с учетом значений рассматриваемых аспектов перевозок, полученных в нашем примере, лучшей является альтернатива  $A_3$ , которая соответствует мультимодальной перевозке «Автомобиль – Судно».

В работе рассмотрена информационная технология, позволяющая решать многокритериальную задачу выбора вариантов транспортных средств для мультимодальных перевозок грузов.

В основе данной технологии лежит метод ВОСР, который учитывает ряд качественных показателей перевозок, определяющих их оптимальность и эффективность. Это в конечном итоге, дает возможность в автоматизированном режиме формировать рекомендации для лица, принимающего решение (ЛПР).

#### **Список используемых источников**

1. Айбазова С. Х. Оптимизация системы логистики в бизнесе на основе теоретико-игровой модели: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук. — М., 2014.
2. Алесинская Т. В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления. — Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. — 116 с.
3. Гончарук С. М. Методологические основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. — 227 с.
4. Коваленко И. И. Методы качественного анализа в задачах судостроения, судоремонта и судоходства : учебное пособие. — Николаев : Илион, 2014. — 220 с.
5. Никифоров В. С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика : учебное пособие. — М. : ТрансЛит, 2007. — 272 с.
6. Плоткин Б. К. Экономико-математические методы и модели в логистике. — Спб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. — 96 с.
7. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Научн. ред. А. В. Андрейчиков, О. М. Андрейчикова. — М. : Изд-во ЛКИ, 2008. — 360 с.

**Igor KOVALENKO, Aindrii MANDRA, Sergii BORDUN**  
Mykolaiv

### **INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR THE SELECTION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION OF SHIPMENT**

*This article deals with the methods of solving the multicriteria problem of the transportation means selection to ensure the efficient shipment of goods with the help of various transport facilities.*

*Key words: information technology, multimodal transportation, logistics, hierarchy analysis method.*

**Igor KOVALENKO, Андрій МАНДРА, Сергій БОРДУН**  
Миколаїв

### **ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ**

*У статті розглянуто методи вирішення багатокритеріальної задачі вибору транспортних засобів для забезпечення ефективного перевезення вантажів різними видами транспорту. Проведено аналіз можливих ризиків та невизначеностей при організації різних видів перевезень та розроблено відповідну інформаційну технологію для вирішення багатокритеріальної задачі вибору транспортних засобів.*

*Ключові слова: інформаційна технологія, мультимодальні перевезення, логістика, метод аналізу ієрархій.*

Стаття надійшла до редколегії 04.05.2016