

УДК 656.078.12

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ИЕРАРХИИ СААТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО РЕЖИМА

Е. Ю. РАССАДНИКОВА

rassadnikova\_ekaterina@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 10 июня 2014 г.

**Аннотация.** Сформулирована задача выбора транспортного режима с учетом таких критериев, как: количество видов транспорта, единый оператор перевозки, оплата перевозки, схема взаимодействия участников транспортного процесса, количество договоров, ответственность за груз (обеспечение безопасности груза), количество ответственных лиц, время доставки, стоимость перевозки, надежность соблюдения графика доставки груза, частота отправок, способность доставить груз в любую точку, возможность выбора логистического партнера, время оформления заявки на транспортировку. Рассматриваются разработанная математическая модель и обеспечивающий решение задачи метод иерархии Саати с модифицированной пятибалльной шкалой, позволяющий сократить временные затраты на выбор способа транспортировки и вида транспорта для повышения эффективности транспортного процесса.

**Ключевые слова:** транспортный процесс; управление цепями поставок; логистические системы; методы принятия решений; метод Саати.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема повышения конкурентоспособности товаров и услуг для экономики России является ключевой. Одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на обеспечение конкурентоспособности, выступает процесс транспортировки готовой продукции с обеспечением заранее оговоренного срока доставки, уровня безопасности, сокращения расходов. Таким образом, возникает необходимость разработки и осуществления мероприятий в области управления транспортным процессом (ТП) при перевозке.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО РЕЖИМА

Рассматриваемые в статье исследования проводятся на примере предприятия и его филиалов, выпускающих различные виды нефтехимической готовой продукции (ГП) и поставляющих их клиентам в требуемом объеме. По внутреннему нормативному документу транспортировка реагентов может осуществляться автомобильным или железнодорожным транспортом. Основными требованиями производст-

венного предприятия при транспортировке ГП считаются снижение затрат, удовлетворение требований всех клиентов с учетом предпочтительного времени обслуживания и возвращения транспортных средств в депо в установленный период, обеспечение безопасности доставляемой ГП. Предприятие заинтересовано в осуществлении эффективного ТП. С учетом этой цели и перечисленных выше особенностей требуется:

- выбрать транспортный режим;
- сформировать рациональные маршруты;
- выбрать логистического перевозчика (ЛП) для доставки готовой продукции.

Далее в статье рассматривается задача выбора транспортного режима (ТР), под которым понимается способ транспортировки (униmodalная (одновидовая) транспортировка; смешанная перевозка грузов (смешанная раздельная перевозка); комбинированная перевозка; интермодальная (интегрированная) перевозка; мультимодальная перевозка) и вид транспорта (железнодорожный, автомобильный). В качестве критериев выбора транспортного режима предлагается рассматривать: количество видов транспорта; единый оператор перевозки; оплата перевозки; схема взаимодействия участников ТП; количество договоров; ответственность за груз (обеспечение безопасности груза); количество ответственных лиц; время доставки; стои-

мость перевозки; надежность соблюдения графика доставки груза; частота отправок; способность доставить груз в любую точку; возможность выбора логистического партнера; время оформления заявки на транспортировку.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО РЕЖИМА

Для выбора способов транспортировки введены специальные обозначения:  $S$  – количество способов транспортировки,  $N_s = \{N_1, \dots, N_s\}$  – множество способов транспортировки,  $F$  – количество показателей для сравнения способов транспортировки,  $V_s^f = \{V_{N_1}^f, \dots, V_{N_s}^f\}$  – значения показателей для сравнения способов транспортировки, где  $f = 1, \dots, F$ ,  $s = 1, \dots, S$ .

Для сравнения способов транспортировки выделены количественные или качественные характеристики в виде множеств:  $V_s^1 = \{V_{N_1}^1, \dots, V_{N_s}^1\}$  – количество видов транспорта;  $V_s^2 = \{V_{N_1}^2, \dots, V_{N_s}^2\}$  – количество операторов перевозки;  $V_s^3 = \{V_{N_1}^3, \dots, V_{N_s}^3\}$  – оплата перевозки;  $V_s^4 = \{V_{N_1}^4, \dots, V_{N_s}^4\}$  – схема взаимодействия участников ТП;  $V_s^5 = \{V_{N_1}^5, \dots, V_{N_s}^5\}$  – количество договоров;  $V_s^6 = \{V_{N_1}^6, \dots, V_{N_s}^6\}$  – ответственность за груз;  $V_s^7 = \{V_{N_1}^7, \dots, V_{N_s}^7\}$  – количество ответственных лиц.

Для выбора вида транспорта введены специальные обозначения:  $T$  – количество видов транспорта для перевозки,  $N_t = \{N_1, \dots, N_T\}$  – множество видов транспорта,  $L$  – количество показателей для сравнения видов транспорта,  $V_t^l = \{V_{N_t}^l, \dots, V_{N_T}^l\}$  – значения показателей для сравнения видов транспорта, где  $t = 1, \dots, T$ ,  $l = 1, \dots, L$ .

Для сравнения видов транспорта выделены количественные или качественные характеристики:  $V_t^1 = \{V_{N_t}^1, \dots, V_{N_T}^1\}$  – время оформления заявки на транспортировку;  $V_t^2 = \{V_{N_t}^2, \dots, V_{N_T}^2\}$  – время доставки;  $V_t^3 = \{V_{N_t}^3, \dots, V_{N_T}^3\}$  – частота отправок;  $V_t^4 = \{V_{N_t}^4, \dots, V_{N_T}^4\}$  – способность доставить груз в любую точку;  $V_t^5 = \{V_{N_t}^5, \dots, V_{N_T}^5\}$  – надежность соблюдения графика доставки груза;  $V_t^6 = \{V_{N_t}^6, \dots, V_{N_T}^6\}$  – стоимость перевозки;  $V_t^7 = \{V_{N_t}^7, \dots, V_{N_T}^7\}$  – возможность выбора ЛП.

По каждому способу транспортировки и виду транспорта рассчитываются интегральные оценки:

•  $CE_s(V_{N_s}^1, \dots, V_{N_s}^F)$  – интегральная оценка способа транспортировки  $s$ , где  $s = 1, \dots, S$ ;

•  $CE_t(V_{N_t}^1, \dots, V_{N_t}^L)$  – интегральная оценка вида транспорта  $t$ , где  $t = 1, \dots, T$ .

Требуется выбрать вид транспортного режима с наибольшей обобщенной интегральной оценкой:

$$CE_{st}(CE_{st}, CE_t) \rightarrow \max.$$

## 3. МЕТОД ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО РЕЖИМА

Адаптированный метод (*Ch\_transport*) Саати [1, 2] (рис. 1) обеспечивает выбор способа транспортировки и вида транспорта. При этом выбор должен удовлетворять критерию наилучшей интегральной оценки.

Входными данными для метода *Ch\_transport* являются множества:  $N_s = \{N_1, \dots, N_s\}$  – способов транспортировки;  $V_s^f = \{V_{N_1}^f, \dots, V_{N_s}^f\}$  – значений показателей для сравнения способа транспортировки, где  $s = 1, \dots, S$ ,  $f = 1, \dots, F$ ;  $N_t = \{N_1, \dots, N_T\}$  – видов транспорта;  $V_t^l = \{V_{N_t}^l, \dots, V_{N_T}^l\}$  – значений показателей для сравнения видов транспорта, где  $t = 1, \dots, T$ ,  $l = 1, \dots, L$ .

Выходными данными выступает вид ТР, удовлетворяющий требуемым критериям: количество видов транспорта; единый оператор перевозки; оплата перевозки; схема взаимодействия участников ТП; количество договоров; ответственность за груз (обеспечение безопасности груза); количество ответственных лиц; время доставки; стоимость перевозки; надежность соблюдения графика доставки груза; частота отправок; способность доставить груз в любую точку; возможность выбора логистического партнера; время оформления заявки на транспортировку.

Пошаговая схема адаптированного метода включает следующие четыре шага: формирование иерархии целей, подцелей и критериев; получение оценок альтернатив (ТР), весовых коэффициентов критериев и подцелей для всех уровней иерархии; оценка однородности суждений эксперта; расчет интегральных оценок для альтернатив.

*Шаг 1.* Иерархия выбора ТР (рис. 2) создана с учетом подцелей и критериев. В качестве подцелей выделяются – «Выбор способа транспортировки» и «Выбор вида транспорта».

Критериями выбора способа транспортировки являются:

- критерий 1.1 – Количество видов транспорта ( $V_s^1$ );
- критерий 1.2 – Количество операторов перевозки ( $V_s^2$ );

- критерий 1.3 – Оплата перевозки ( $V_s^3$ );
- критерий 1.4 – Схема взаимодействия участников ТП ( $V_s^4$ );
- критерий 1.5 – Количество договоров ( $V_s^5$ );
- критерий 1.6 – Ответственность за груз ( $V_s^6$ );
- критерий 1.7 – Количество ответственных лиц ( $V_s^7$ ).

Критериями выбора вида транспорта являются:

- критерий 2.1 – Время оформления заявки на транспортировку ( $V_t^1$ );
- критерий 2.2 – Время доставки ( $V_t^2$ );
- критерий 2.3 – Частота отправок ( $V_t^3$ );
- критерий 2.4 – Способность доставить груз в любую точку ( $V_t^4$ );

- критерий 2.5 – Надежность соблюдения графика доставки груза ( $V_t^5$ );
- критерий 2.6 – Стоимость перевозки ( $V_t^6$ );
- критерий 2.7 – Возможность выбора логистического перевозчика ( $V_t^7$ ).

В качестве альтернатив рассматриваются следующие: А1 – Униmodalный способ транспортировки + автомобильный вид транспорта; А2 – Униmodalный способ транспортировки + ж/д вид транспорта; А3 – Смешанный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д); А4 – Комбинированный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д); А5 – Интерmodalный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д); А6 – Мультиmodalный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д).

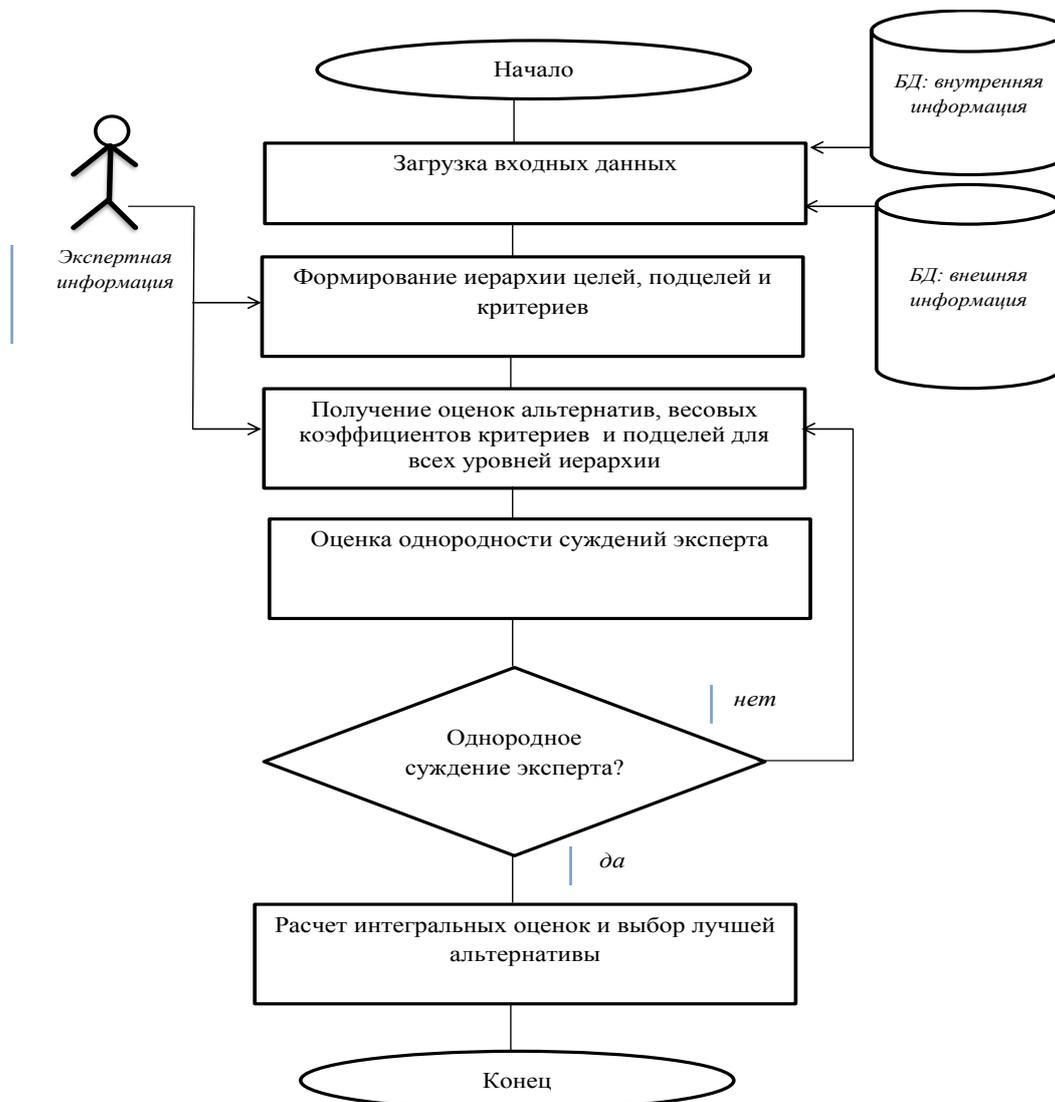


Рис. 1. Общая схема метода иерархии Саати

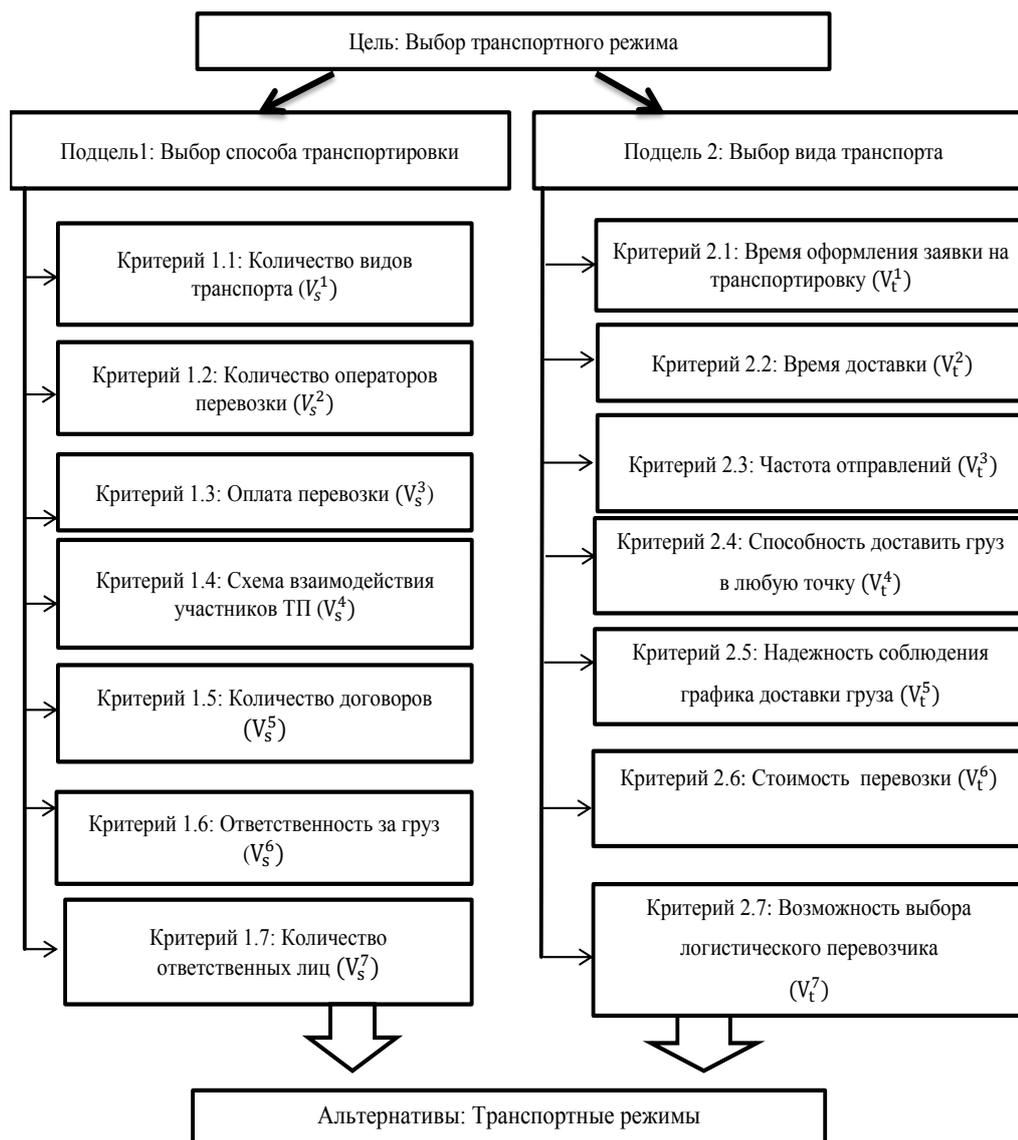


Рис. 2. Иерархия выбора транспортного режима

*Шаг 2.* Для формализации знаний эксперта о значимости расположенных на одном уровне элементов иерархии относительно вышележащего элемента иерархии используется 5-балльная шкала, в отличие от 9-балльной шкалы Саати [1, 2]. В предложенной шкале нет промежуточных оценочных значений [1, 2]. В табл. 1 представлена информация о транспортных режимах. Экспертом логистического отдела предприятия путем оценки альтернатив и критериев на основе метода попарного сравнения получены результаты по выбору транспортного режима. Экспертом оцениваются альтернативы по каждому из выделенных критериев. Фрагмент таблицы, отражающей попарное сравнение альтернатив по критерию «количество видов транспорта», представлен в табл. 2.

Далее полученные результаты оценок необходимо нормировать (табл. 3).

После аналогичного оценивания подцелей экспертом, полученные значения нормируются. Таким образом, получены нормированные оценки альтернатив по каждому критерию, критериев и подцелей.

*Шаг 3.* Следующим шагом является проверка однородности суждений. В рассматриваемой задаче отношение однородности для всех матриц парных сравнений не превышает допустимого значения 0,1, что свидетельствует о логичности суждений эксперта. Далее рассчитываются интегральные оценки альтернатив и выделяется наилучшая.

*Шаг 4.* Интегральная оценка альтернативы определяется как взвешенная сумма значений

подцелей второго уровня, которые в свою очередь вычисляются как взвешенные суммы значений критериев третьего уровня (табл. 4).

Наилучшей альтернативой в полученном рейтинге выбора транспортного режима является унимодальный способ транспортировки +

автомобильный вид транспорта. Таким образом, рекомендуется использовать унимодальный способ транспортировки и доставлять готовую продукцию клиентам автомобильным видом транспорта.

Таблица 1

## Информация о транспортных режимах

	Унимодальный способ транспортировки + автомобильный вид транспорта	Унимодальный способ транспортировки + ж/д вид транспорта	Смешанный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д)	Комбинированный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д)	Интермодальный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д)	Мультимодальный способ транспортировки + (автомобильный вид транспорта+ ж/д)
Количество видов транспорта	один	один	два	несколько	несколько	несколько
Единый оператор перевозки	+	+	-	-	+	+
Оплата перевозки	по конкретному тарифу	по конкретному тарифу	по нескольким отдельным тарифам	по нескольким отдельным тарифам	единая ставка фрахта	единая ставка фрахта
Схема взаимодействия участников ТП	последовательная	последовательная	последовательная	последовательная	последовательно-центральная схема	последовательно-центральная схема
Количество договоров	один	один	несколько	несколько	единый договор	единый договор
Ответственность за груз	высокая	высокая	низкая	низкая	высокая	высокая
Ответственное лицо	перевозчик	перевозчик	два перевозчика	несколько перевозчиков	несколько перевозчиков	единый оператор перевозки
Время оформления заявки на транспортировку	регулируется предприятием	зависит от логистических партнеров	зависит от логистических партнеров	зависит от логистических партнеров	зависит от логистических партнеров	зависит от логистических партнеров
Время доставки	быстрая скорость доставки (70 км/ч)	малая скорость доставки (ср. скорость 9,1 км/ч. - 2012 г.)	зависит от выбора вида транспорта	зависит от выбора вида транспорта	зависит от выбора вида транспорта	зависит от выбора вида транспорта
Частота отправлений	зависит от графика на предприятии (само регулируемая величина)	зависит от логистических партнеров (согласование заявки - 2,3 дня с лог. партнером )	зависит от логистических партнеров (согласование заявки - 2,3 дня с лог. партнером )	зависит от логистических партнеров (согласование заявки - 2,3 дня с лог. партнером )	зависит от логистических партнеров (согласование заявки - 2,3 дня с лог. партнером )	зависит от логистических партнеров (согласование заявки - 2,3 дня с лог. партнером )
Способность доставить груз в любую точку	есть возможность доставки	нет возможности доставки до пункта потребления	есть возможность доставки	есть возможность доставки	есть возможность доставки	есть возможность доставки
Надежность соблюдения графика доставки груза	регулярность (регулируется предприятием)	регулярность (соблюдение графика зависит от внешних обстоятельств)	регулярность (соблюдение графика зависит от внешних обстоятельств)	регулярность (соблюдение графика зависит от внешних обстоятельств)	регулярность (соблюдение графика зависит от внешних обстоятельств)	регулярность (соблюдение графика зависит от внешних обстоятельств)
Стоимость перевозки	затраты на амортизацию ТС + зарплата водителей+ стоимость потраченного топлива+ погрузка +разгрузка +страхование груза	зависит от тарифов поставщика погрузка+разгрузка+ контейнер+ доставка +страхование груза	зависит от тарифов поставщика погрузка+разгрузка+контейнер+ доставка +страхование груза	зависит от тарифов поставщика погрузка+разгрузка+ контейнер+ доставка +страхование груза	зависит от тарифов поставщика погрузка+разгрузка+ контейнер+ доставка +страхование груза	зависит от тарифов поставщика погрузка+разгрузка+ контейнер+ доставка +страхование груза
Возможность выбора логистического перевозчика	широкий выбор	ограниченность выбора	широкий выбор	широкий выбор	широкий выбор	широкий выбор

Таблица 2

## Попарное сравнение альтернатив по критерию «Количество видов транспорта»

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	1	3	5	9	9	9
A2	1/3	1	3	5	5	5
A3	1/5	1/3	1	3	3	3
A4	1/9	1/5	1/3	1	1	1
A5	1/9	1/5	1/3	1	1	1
A6	1/9	1/5	1/3	1	1	1

Таблица 3

**Нормированное значение полученных оценок альтернатив по критерию  
«Количество видов транспорта»**

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Строчная сумма	Нормированное значение
A1	1	3	5	9	9	9	36,00	0,47
A2	1/3	1	3	5	5	5	19,33	0,25
A3	1/5	1/3	1	3	3	3	10,53	0,14
A4	1/9	1/5	1/3	1	1	1	3,64	0,05
A5	1/9	1/5	1/3	1	1	1	3,64	0,05
A6	1/9	1/5	1/3	1	1	1	3,64	0,05
Итого							76,80	

Таблица 4

**Обобщенные интегральные оценки альтернатив**

Альтернативы	Рейтинг
A1	0,35
A2	0,17
A3	0,17
A4	0,15
A5	0,13
A6	0,12

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования был предложен комплексный подход к планированию транспортного процесса перевозки ГП с учетом требований, возникающих в реальном производстве. Одной из выделенных задач этого подхода является задача выбора транспортного режима. Для решения представленной задачи был предложен метод выбора транспортного режима, основанный на методе иерархии Саати, и позволяющий оценивать транспортный режим исходя из предпочтений предприятия. Результаты экспериментальных исследований показывают снижение затрат на доставку готовой продукции, повышение безопасности доставки готовой продукции, сокращение времени простоя в процессе доставки, и используются в планировании транспортного процесса перевозки ГП.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаева М. А., Зотова О. Ф. Методы и алгоритмы принятия решений в примерах и задачах: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2010. 110 с. [ М. А. Nikolaeva, O. F. Zotova, *Methods and algorithms for decision making in the examples and problems: manual*, (in Russian). Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2010. ]
2. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с. [ Т. L. Saaty, *Decision-making. Hierarchy analysis method*, (in Russian). Moscow: Radio i svyaz, 1989. ]
3. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие; 2-е изд. СПб.: Питер, 2008. 448 с. [ V. S. Lukinskiy, *Models and methods of logistics theory: a manual*, (in Russian). St. Petersburg: Piter, 2008. ]
4. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2003. 176 с. [ V. S. Lukinskiy, *Models and methods of logistics theory: manual*, (in Russian). St. Petersburg: Piter, 2003. ]
5. Рассадникова Е. Ю., Коханчиков Л. А. Математическая модель задачи выбора рациональных маршрутов в системе управления транспортировки готовой продукции [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: [www.science-education.ru/111-10244](http://www.science-education.ru/111-10244) (дата обращения: 29.07.2014). [ Е. Yu. Ras-

sadnikova, L. A. Kokhanchikov, "Mathematical model of rational choice of routes in transportation management system of finished product," (in Russian), *Modern problems of science and education*, no. 5, 2013. [Online] Available: [www.science-education.ru/111-10244](http://www.science-education.ru/111-10244) ]

6. Юсупова Н. И., Валеева А. Ф., Рассадникова Е. Ю., Латыпов И. М., Кошечев И. С. Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям // Логистика и управление цепями поставок. 2011. № 46. С. 60–81. [ N. I. Yusupova, A. F. Valeeva, E. Yu. Rassadnikova, I. M. Latypov, I. S. Koshcheyev, "Multicriteria problem of cargo delivery to different consumers," (in Russian), *Logistics and Supply Chain Management*, no. 46, pp. 60-81, 2011. ]

7. Валеев С. С., Уразбахтин Р. Н., Христофоров С. В. Ситуационное управление процессом грузоперевозок в транспортной компании // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 6 (51). С. 234–241. [ S. S. Valeev, R. N. Urazbakhtin, S. V. Khristoforov, "Contingency management of transportation process in a carrier company," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 6 (51), pp. 234-241, 2012. ]

8. Юсупова Н. И., Бабкова Е. В., Габдракипова Н. В. Управление распределением однородных ресурсов в организационных системах на основе имитационного моделирования // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 3 (48). С. 32–37. [ N. I. Yusupova, E. V. Babkova, N. V. Gabdrakipova, "Homogeneous resources management in organizational systems by simulation," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 3 (48), pp. 32-37, 2012. ]

9. Langevin A., Riopel D. *Logistics Systems: Design and Optimization*. Springer, 2005. 408 p. [ A. Langevin, D. Riopel, *Logistics Systems: Design and Optimization*. Springer, 2005. ]

#### ОБ АВТОРЕ

**РАССАДНИКОВА Екатерина Юрьевна**, асп. каф. выч. математики и кибернетики. Дипл. экон.-мат. (УГАТУ, 2011). Готовит дис. об оптимизации транспортного процесса для перевозки нефтехимической готовой продукции.

#### METADATA

**Title:** Modified method of Saaty for problem of transport mode choice.

**Authors:** E. Yu. Rassadnikova

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** rassadnikova\_ekaterina@mail.ru.

**Язык:** английский.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 5 (66), pp. 146-152, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The task of transport mode choice with the following selection criteria is formulated in this article: number of transport modes, single operator of transportation, type of transportation payment, interaction scheme of participants of transport process, number of contracts, responsible for the goods (security of cargo), number of responsible persons, delivery time, transportation cost, reliability of observance of delivery schedule, frequency of departures, the ability to deliver goods to any destination, choice of logistics partner, time of registration applications for transportation. Mathematical model for the formulated problem is developed. Modified method of Saaty with five-point scale is proposed for solving of formulated task, which allows reducing required time to choose for way of transport and type of transport, and thus improve the efficiency of the transport process.

**Key words:** transport process; supply chain management; logistics systems; decision-making methods; method of Saaty.

**About the author:**

**RASSADNIKOVA, Ekaterina Yurevna**, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. Economist-mathematician (USATU, 2011). Preparing thesis about optimization of transport process for carriage of petrochemical finished products.