УДК 519.813.7

М. Е. Королёв, канд. физ.-мат. наук, Е. А. Королёв, канд. физ.-мат. наук,
Д. С. Никульшин

Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЯХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Обобщен опыт использования моделей прикладной математики в области принятия решений в условиях неопределенности в интеллектуальных транспортных системах. Проанализированы проблемы и перспективы применения математических методов в конфликтных ситуациях и принятий решений в условиях неопределенности. Обсуждены принципы применения методов в моделях транспортных технологий.

Ключевые слова: *условия неопределенности, конфликт интересов, критерий оптимальности, транспортные системы, принцип недостаточного обоснования, критерий сожаления*

Введение

В математических моделях интеллектуальных транспортных систем возможно использование таких методов многомерного статистического анализа, как алгоритм Торгенсона [1], Такера, Хоттелинга, неметрических методов [2], методов многомерного шкалирования [3]. Но как поступить прикладному математику, если в исходных данных для транспортно-технологических систем присутствует неопределенность и конфликт интересов?

Основное отличие моделей принятия решений в условиях неопределенности от моделей, которые рассматриваются в теории игр применительно к интеллектуальным транспортным системам при решении проблем и задач транспортно-технологических систем и комплексов, заключается в том, что лицу, принимающему решение, противостоит так называемая «природа». Это означает, что противник не преследует собственных целей, противоположных целям лица, принимающего решение. «Природа» не пытается своими действиями навредить «противнику». В общей теории игр противник принимает сознательные решения, направленные на отстаивание собственных интересов, обычно противоположных интересам другого игрока. В качестве «природы» могут выступать экономические и физические факторы [4].

Данные, необходимые для принятия решений в условиях неопределенности, обычно задаются в форме матрицы, строки которой соответствуют возможным действиям лица, принимающего решение, а столбцы – возможным состояниям системы (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица принятия решений в условиях неопределенности

	θ_1	θ_2	…	θ_n
a_1	$\nu(a_1,\theta_1)$	$\nu(a_1,\theta_2)$	…	$\nu(a_1,\theta_n)$
a_2	$\nu(a_2,\theta_1)$	$\nu(a_2,\theta_2)$	…	$\nu(a_2,\theta_n)$
…	…	…	…	…
a_m	$\nu(a_m,\theta_1)$	$\nu(a_m,\theta_2)$	…	$\nu(a_m,\theta_n)$

Цель работы – выявление проблем и определение перспектив применения моделей прикладной математики в интеллектуальных транспортных системах.

Основной материал исследования

Разработаем математическую модель применения критериев принятия решений в условиях неопределенности для проблем и задач транспортно-технологических систем и комплексов интеллектуальных транспортных систем.

Муниципалитет планирует выделение средств с целью модернизации транспортной инфраструктуры на:

a_1) создание условий для сокращения времени поездок пассажирами всеми видами наземного транспорта;

a_2) увеличение пропускной способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков и формирования предупредительной информации об условиях дорожного движения;

a_3) возможность выбора пассажирами оптимального маршрута движения общественным транспортом от начальной до конечной точки с учетом маршрутов и расписаний движения общественного транспорта, а также дорожной ситуации и плотности транспортных потоков;

a_4) оптимизацию маршрутов движения транспортных средств с учетом актуального состояния дорожного движения и миграции заторовых ситуаций.

Точное количество пассажиропотока неизвестно, но ожидается, что оно может принимать одно из четырех значений (n1, n2, n3 или n4). Для каждого из этих возможных значений существует лучшая услуга (с точки зрения возможных затрат). Ниже приведена матрица, определяющая расходы на обеспечение модернизации транспортно-технологических систем и комплексов в миллионах рублей (таблица 2).

Таблица 2 – Затраты на модернизацию транспортно-технологических систем

		Пассажиропоток			
Модернизация транспортно-технологических систем		n1	n2	n3	n4
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
	a_1	22331,41	27335,56	35333,49	42339,68
	a_2	25350,89	24347,57	25350,89	40332,54
	a_3	38349,37	35333,49	29335,63	38349,37
	a_4	47331,12	39340,91	36342,50	32347,50

Методы решения. Для принятия решений в условиях неопределенности используем следующие критерии:

1) критерий Лапласа (принцип недостаточного обоснования);
2) минимаксный критерий (лучшее из худшего);
3) критерий Сэвиджа (сожаления);
4) критерий Гурвица (баланс между оптимизмом и пессимизмом).

Критерий Лапласа опирается на известный принцип недостаточного обоснования. Поскольку вероятности состояний θ_1, $\theta_2,\ldots,\theta_n$ неизвестны, отсутствует необходимая информация для того, чтобы сделать вывод, что эти вероятности различны. В противном случае можно было бы определить эти вероятности и ситуация не отвечала бы модели принятия решений в условиях неопределенности. Согласно принципу недостаточного обоснования, состояния θ_1, $\theta_2,\ldots,\theta_n$ имеют равные вероятности. Итак, задачу можно рассматривать как задачу принятия решения в условиях риска, когда избирается действие a_i, дающее наибольший ожидаемый выигрыш. Другими словами, необходимо найти действия a_i^*, соответствующие:

$\max\limits_{a_i}\left\{\dfrac{1}{n}\sum\limits_{j=1}^{n}\nu(a_i,\theta_j)\right\}$ (постановка модели «прибыли»),

где $\dfrac{1}{n}$ – вероятность реализации состояния θ_j, $\left(j=1,2,\ldots,n\right)$.

Такая постановка задачи касается оптимизации прибыли. Если бы шла речь об оптимизации расходов, то необходимо было бы находить минимум функции.

Минимаксный или максиминный критерий (лучшее из худшего) считается «осторожным», поскольку он базируется на выборе лучшей среди худших возможностей. Если результат $\nu(a_i,\theta_j)$ представляет собой расходы (потери или затраты) лица, принимающего решения, для действия a_i наибольшие расходы, независимо от возможного состояния θ_j, будут равны $\max\limits_{\theta_j}\left\{\nu(a_i,\theta_j)\right\}$. По минимаксному критерию должно избираться действие a_i, что дает $\min\limits_{a_i}\max\limits_{\theta_j}\left\{\nu(a_i,\theta_j)\right\}$. Аналогично в том случае, когда $\nu(a_i,\theta_j)$ представляет выигрыш (прибыль), согласно минимаксному критерию избирается действие a_i, что дает $\max\limits_{a_i}\min\limits_{\theta_j}\left\{\nu(a_i,\theta_j)\right\}$. Критерий минимакса является настолько «пессимистическим», что иногда приводит к нелогичным выводам.

Критерий Сэвиджа «исправляет» ситуацию путем введения новой матрицы сожаления (потерь), в которой $\nu(a_i,\theta_j)$ меняем на $r(a_i,\theta_j)$, которые находим по формуле:

$$r(a_i,\theta_j)=\begin{cases}\max\limits_{a_k}\left\{\nu(a_k,\theta_j)\right\}-\nu(a_i,\theta_j)\\ \nu(a_i,\theta_j)-\min\limits_{a_k}\left\{\nu(a_k,\theta_j)\right\}.\end{cases}$$

Первая строка функции $r(a_i,\theta_j)$ соответствует прибыли, а вторая – затратам (потерям). Это означает, что $r(a_i,\theta_j)$ является разницей между лучшим значением в столбце θ_j и значением $\nu(a_i,\theta_j)$ при том же θ_j. По сути $r(a_i,\theta_j)$ выражает «сожаление» лица, принимающего решения, по поводу того, что он не выбрал лучшего действия относительно состояния θ_j. Функция $r(a_i,\theta_j)$ называется матрицей сожаления.

Критерий Гурвица (баланс между оптимизмом и пессимизмом) охватывает различные подходы к принятию решений: от наиболее оптимистичного до наиболее пессимистичного. При самом оптимистичном подходе можно выбрать действие, которое дает $\max\limits_{a_i}\max\limits_{\theta_j}\left\{\nu(a_i,\theta_j)\right\}$ (предполагая, что $\nu(a_i,\theta_j)$ представляет прибыль). Аналогично, при наиболее пессимистичных предположениях избираемое действие соответствует $\max\limits_{a_i}\min\limits_{\theta_j}\left\{\nu(a_i,\theta_j)\right\}$. Критерий Гурвица устанавливает баланс между случаями крайнего оптимизма и крайнего пессимизма путем взвешивания обоих способов поведения с соответствующими весами α и $1-\alpha$, где $0\le\alpha\le 1$. В том случае, когда $\nu(a_i,\theta_j)$ представляет прибыль, выбирается действие:

$$\max\limits_{a_i}\left\{\alpha\max\limits_{\theta_j}\nu(a_i,\theta_j)+(1-\alpha)\min\limits_{\theta_j}\nu(a_i,\theta_j)\right\}.$$

В том случае, когда $\nu(a_i,\theta_j)$ представляет затраты, критерий выбирает действие, дающее:

$$\min_{a_i}\left\{\alpha \min_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)+(1-\alpha)\max_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)\right\}.$$

Первое слагаемое определяет долю оптимизма, а второе – долю пессимизма.

Параметр α определяется как показатель оптимизма: при $\alpha = 1$ критерий слишком оптимистичен; при $\alpha = 0$ – слишком пессимистичен. Значение α между 0 и 1 может определяться в зависимости от склонности лица, принимающего решение, к пессимизму или оптимизму. При отсутствии ярко выраженной склонности $\alpha = \frac{1}{2}$ представляется наиболее разумным.

Перейдем к определению критерия Лапласа (принцип недостаточного обоснования).

Принцип Лапласа предполагает, что θ_1, θ_2, θ_3, θ_4 равновероятны. Следовательно, $P\{\theta = \theta_j\} = \frac{1}{4}$, $j = 1,2,3,4$, и ожидаемые расходы от различных воздействий a_1, a_2, a_3, a_4 составляют (таблица 3):

Таблица 3 – Реализация критерия Лапласа

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	
a1	22331,41	27335,56	35333,49	42339,68	31835,03
a2	25350,89	24347,57	25350,89	40332,54	28845,47
a3	38349,37	35333,49	29335,63	38349,37	35341,96
a4	47331,12	39340,91	36342,50	32347,50	38840,51
				min:	**28845,47**

Из полученных значений выбираем наименьшее – 28845,47. Таким образом, лучшее предложение, согласно критерию Лапласа, будет a_2.

Применим минимаксный критерий (лучшее из худшего) (таблица 4).

Таблица 4 – Реализация минимаксного критерия

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	max
a1	22331,4108	27335,5598	35333,4901	42339,6765	42339,68
a2	25350,8936	24347,5699	25350,8936	40332,5378	40332,54
a3	38349,3666	35333,4901	29335,6343	38349,3666	38349,37
a4	47331,1197	39340,9115	36342,4988	32347,5029	47331,12
				min:	**38349,37**

В последнем столбце выбираем наименьшее значение – 38349,37. Ему соответствует стратегия a_3.

Применим критерий Сэвиджа (сожаления).

Составим матрицу сожаления (таблица 5). Для этого найдем минимальный элемент каждого столбца и вычтем его из всех элементов этого столбца.

Таблица 5 – Матрица сожаления

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	max
a1	0	2987,98992	9982,59655	9992,1736	9992,174
a2	3019,48283	0	0	7985,03492	7985,035
a3	16017,9558	10985,9203	3984,74069	6001,86368	16017,96
a4	24999,7089	14993,3416	10991,6052	0	24999,71
				min:	**7985,035**

В последнем (максимальном) столбце выбираем наименьшее значение – 7985,035. Ему соответствует стратегия a_2.

Применим критерий Гурвица (баланс между оптимизмом и пессимизмом). По статистическим данным [5] сложившейся транспортно-экономической ситуации предыдущих отчетных периодов считаем параметр α равным 0,3 (таблица 6).

Таблица 6 – Реализация критерия Гурвица α равным 0,3

	$\min\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$ минимум строки	$\max\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$ максимум строки	$\alpha \cdot \min\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j) + (1-\alpha)\cdot \max\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$
a_1	22331,41076	42339,67648	36337,19676
a_2	24347,56987	40332,5378	35537,04742
a_3	29335,63427	38349,36656	35645,24687
a_4	32347,50288	47331,11968	42836,03464

В последнем столбце выбираем наименьшее значение – 35537,04742. Ему отвечает стратегия a_2.

При расчетах наиболее пессимистичного прогноза финансирования транспортной инфраструктуры (таблица 7) считаем параметр $\min \alpha$ равным 0,1. Получим:

Таблица 7 – Реализация критерия Гурвица α равным 0,1

	$\min\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$ минимум строки	$\max\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$ максимум строки	$\alpha \cdot \min\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j) + (1-\alpha)\cdot \max\limits_{\theta_j} \nu(a_i,\theta_j)$
a_1	22331,41076	42339,67648	40338,84991
a_2	24347,56987	40332,5378	38734,041
a_3	29335,63427	38349,36656	37447,99333
a_4	32347,50288	47331,11968	45832,758

В последнем столбце выбираем наименьшее значение – 37447,99333. Ему отвечает стратегия a_3. Результаты использования четырех методов приведем в таблице 8.

Мы рассмотрели случай, когда матрица исходных данных выражает расходы. Можно получить оптимальную стратегию в условиях неопределенности по модернизации транспортно-технологической ситуации, считая, что матрица $\nu(a_i,\theta_j)$ построена для прибыли.

Таблица 8 – Результаты рассмотреных критериев

Метод	Результат
Критерий Лапласа (принцип недостаточного обоснования)	a_2
Минимаксный критерий (лучшее из худшего)	a_3
Критерий Сэвиджа (сожаления)	a_2
Критерий Гурвица при α = 0,3 или α = 0,1 (баланс между оптимизмом и пессимизмом)	a_2 или a_3

Выводы

1. Обобщен опыт применения моделей прикладной математики в транспортных системах.

2. Обсуждены проблемы и перспективы использования принятий решений в условиях неопределенностей в интеллектуальных транспортных системах.

3. Проанализированы особенности применения критериев при управлении транспортным комплексом в условиях неопределенности и конфликтных ситуациях.

4. Поскольку большинство критериев при удовлетворительном финансировании ($\alpha \geq 0,3$) транспортной инфраструктуры дали ответ a_2, рекомендуем в первом приближении применить модернизацию вида a_2, т. е.: в сложившейся экономической и транспортно-технологической ситуации запланировать увеличение пропускной способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков и формирования предупредительной информации об условиях дорожного движения.

Список литературы

1. Василенко, Т. Є. Подача и первичная обработка статистических данных в многомерном шкалировании. Классическая модель многомерного шкалирования Торгерсона / Т. Є. Василенко, Є. О. Корольов, М. Є. Корольов // Вести Автомобильно-дорожного института. –2013. – № 1. – С. 67–73.
2. Королёв, М. Е. Применение метода экспертной оценки при изучении особенностей движения автомобиля / М. Е. Королёв, Н. Н Дудникова // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2017. – № 2 (21). – С. 25–34.
3. Королёв, М. Е. Применение неметрических методов многомерного шкалирования при выборе модели управления автотранспортным предприятием / М. Е. Королёв, Е. А. Королёв, В. Л. Гетьманская // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2013. – № 2 (17). – С. 20–33.
4. Multidimensional Statistical Methods of the Factor Analysis in the Car Market Research / M. E. Korolev, N. N. Dudnikova, E. A. Korolev, O. N. Kuktenko // Вести автомобильно-дорожного института. – 2016. – № 1 (18). – С. 37–45.
5. Королёв, М. Е. Неметрические методы статистики. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / М. Е. Королёв, С. А. Чубучный. – 2015. – Т. 3, № 8-1 (19-1). – С. 405–408.
6. Королёв, М. Е. Исследование операций и методы оптимизации : учеб. пособие / М. Е. Королёв, В. И. Павленко. – К. : Университет «Украина», 2007. – 177 с.
7. Эддоус, М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стэнфилд. – М. : ЮНИТИ, 2012.
8. Фатхутдинов, Р. А. Управленческие решения : учеб. / Р. А. Фатхутдинов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2010. – 344 с.
9. Лукичёва, Л. И. Управленческие решения / Л. И. Лукичёва, Д. Н. Егорычев ; под ред. Ю. П. Анискина. –М., 2014.
10. Балдин, К. В. Управленческие решения: теория и технология принятия : учеб. для вузов / К. В. Балдин, С. Н. Воробьев. – М. : Проект, 2012.
11. Тронин, Ю. Н. Управленческие решения : учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Тронин, Ю. С. Масленченков. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2011.

М. Е. Королёв, Е. А. Королёв, Д. С. Никульшин
Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Управленческие решения в конфликтных ситуациях транспортных систем

Обсуждены проблемы и перспективы использования принятия решений в условиях неопределенностей в интеллектуальных транспортных системах.

Обобщен опыт использования моделей прикладной математики в области принятия решений в условиях неопределенности в интеллектуальных транспортных системах.

Проанализированы проблемы и перспективы применения математических методов в конфликтных ситуациях и при принятии решений в условиях неопределенности.

Обсуждены принципы применения методов в моделях транспортных технологий.

Проанализированы особенности применения критериев при управлении транспортным комплексом в условиях неопределенности и конфликтных ситуациях.

УСЛОВИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ, КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ, ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРИНЦИП НЕДОСТАТОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ, КРИТЕРИЙ СОЖАЛЕНИЯ

M. E. Korolev, E. A. Korolev, D. S. Nikulshin
Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Managerial Decision in Conflict Situations of Transport Systems

Problems and perspectives of decision-making use under conditions of uncertainty in intelligence transport systems are discussed.

Experience of applied mathematics models use in the area of decision-making under conditions of uncertainty in intelligence transport systems is generalized.

Problems and perspectives of mathematical methods use in conflict situations and at decision-making under conditions of uncertainty are analyzed.

Principles of methods use in models of transport technologies are discussed.

Application features of criteria at transport complex management under conditions of uncertainty and conflict situations are analyzed.

CONFLICT OF INTERESTS, CRITERION OF OPTIMALITY, TRANSPORT SYSTEMS, PRINCIPLE OF INSUFFICIENT JUSTIFICATION, REGRET CRITERION, CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Сведения об авторах:

М. Е. Королёв
SPIN-код: 4980-9607
Телефон: +38 (050) 538-51-68
Эл. почта: kustokust@gmail.com

Е. А. Королёв
Телефон: +38 (095) 676-80-62
Эл. почта: kustokust@gmail.com

Д. С. Никульшин
Телефон: +38 (0624) 55-22-89
Эл. почта: sergNuN@gmail.com

Статья поступила 14.06.2017

Рецензент: Никульшин С. В., канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»