

УДК 656.072.52

С. П. ЯКУБОВИЧ

Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО МАРШРУТИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

В статье приведена информация о моделировании процесса оценки системы наземного городского маршрутизированного транспорта на основе обобщенного показателя качества. Моделирование выполнено с помощью табличного редактора Microsoft Excel, показано использование полученных результатов при разработке программного обеспечения предназначенного для оценки качества исследуемых перевозок пассажиров.

Оценка качества перевозок пассажиров наземным городским маршрутизированным транспортом (далее – НГМТ) сопряжена с рядом проблем, связанных с необходимостью одновременного отслеживания и анализа изменений значительного количества показателей качества. Показатель качества – объективный измеритель степени проявления свойства. В зависимости от степени проявления свойства показатель принимает определенное значение. Под оценкой качества понимают процедуру сравнения фактического уровня значений показателей с нормативными значениями, выявление расхождений и установление их причин. На основе оценки качества по каждому отдельно взятому показателю (дифференциальной оценке качества) устанавливают общую (комплексную, интегральную) оценку качества. Оценки качества используют для управления системой НГМТ в соответствии с установленными нормативами и целями.

Необходимость одновременного отслеживания и анализа изменений значительного количества показателей качества делает процесс оценки качества весьма трудоемким. Для того чтобы облегчить и упростить работу исследователя и при этом не потерять качество и достоверность самих результатов оценки, необходимо максимально автоматизировать процесс оценки – разработать и отладить модель процесса оценки качества, т. е. выполнить моделирование самого процесса оценки качества. В общем смысле моделирование – это процесс замещения объекта моделирования его макетом –

моделью, и проведение исследований на полученной модели. Существует ряд методов моделирования различных процессов. Наглядное представление – визуализация, как основных компонентов процесса, так и результатов его окончания может быть достигнуто за счет графических и текстовых средств. Математическое моделирование – универсальный метод, позволяющий посредством математических зависимостей описать работу, определить различные характеристики объекта моделирования, исследовать изменение этих характеристик с учетом внешних и внутренних воздействий.

Упрощенно методы математического моделирования можно разделить на четыре класса, опираясь на которые, можно получить следующие модели: аналитические, имитационные, эмпирико-статистические модели и модели, в которых в определенной степени и форме представлены идеи искусственного интеллекта. Для целей оценки качества предлагается использовать эмпирико-статистическую модель процесса оценки. Цель построения такой модели состоит в следующем: упорядочение или агрегирование информации; поиск, количественная оценка и содержательная интерпретация причинно-следственных связей между показателями качества; оценка достоверности и продуктивности различных гипотез о взаимном влиянии показателей качества и воздействующих на них факторов; идентификация параметров расчетных уравнений различного назначения.

Для выявления зависимостей, описывающих рассматриваемый процесс, а также узких мест в области качества, анализа данных статистической отчетности и натуральных обследований, адекватной оценки показателей качества вне зависимости от единиц их измерения предлагается использовать поиск отклонений значений показателей качества с последующим анализом результатов. Учитывая подходы, изложенные в [1], показатели качества разбиты на три группы:

- 1) показатели, имеющие локальные **оптимальные** значения Z_{io} ;
- 2) показатели, при которых самое высокое качество обеспечивается, когда они стремятся к технически возможным минимальным значениям, т. е. имеют приемлемые (**базовые**) значения показателей, которые стремятся к минимуму – $Z_{\text{мнн}}$;
- 3) показатели, при которых самое высокое качество обеспечивается, когда они стремятся к технически возможному максимальному значению, т. е. имеют максимально возможные (**предельные**) значения показателей, которые стремятся к максимуму – $Z_{\text{мнн}}$.

В качестве единичного критерия качества предлагается использовать относительные отклонения изменения значения показателя, рассчитываемые по формуле

$$Z_i = \frac{\Delta Z_i}{Z_{\text{ни}}}, \quad (1)$$

где ΔZ_i – значение i -го единичного показателя качества в сложившихся условиях; $Z_{\text{пi}}$ – оптимальное (базовое, максимальное) значение единичного i -го показателя качества.

В качестве обобщенной оценки качества выполнения перевозок в системе НГМТ (Z_0) предложено использовать суммирование по группам показателей сумм относительных отклонений значений единичных показателей от оптимальных (базовых, предельных) значений, которое рассчитывается по формуле

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n_0} \frac{abs(Z_i - Z_{i0})}{Z_{i0}} + \sum_{j=1}^{n_{\text{МН}}} \frac{Z_{\text{МН}j}}{Z_{\text{МНН}}} + \sum_{k=1}^{n_{\text{ММ}}} \frac{(Z_{\text{ММН}} - Z_{\text{ММ}k})}{Z_{\text{ММН}}}, \quad (2)$$

где $Z_i, Z_{\text{МН}j}, Z_{\text{ММ}k}$ – значение единичного показателя качества в сложившихся условиях выполнения перевозок пассажиров НГМТ; Z_{i0} – оптимальное значение i -го единичного показателя качества [1]; $Z_{\text{МНН}}$ – приемлемое минимальное (базовое) значение j -го единичного показателя качества; $Z_{\text{ММН}}$ – максимально возможное (предельное) значение k -го единичного показателя качества; $n_0, n_{\text{МН}}, n_{\text{ММ}}$ – число показателей соответствующей группы показателей качества.

Принятая формула (2) описывает обобщенную целевую функцию, определяющую оценку качества перевозок пассажиров НГМТ [1].

Для комплексной оценки качества перевозок пассажиров НГМТ предлагается применять значение обобщенного показателя качества $K_{\text{общ}}$, который должен стремиться к максимуму, как обратная величина значению Z_0 :

$$K_{\text{общ}} = 1/Z_0 = \max. \quad (3)$$

Таким образом, формулы (2) и (3) позволяют рассчитывать обобщенный (интегрированный) показатель качества перевозок пассажиров в системе НГМТ.

Для моделирования процесса оценки качества предложено применить табличный редактор Microsoft Excel (далее – Excel). Для этого формула (2) представлена в виде формулы для выполнения расчетов в Excel.

Части формулы на примере ячейки «K5» листа книги «Итоговая таблица вариантов LAST расчет.xlsx» (на рисунке 1 ячейка «K5» выделена зеленым цветом) следующие:

1 Для показателей, имеющих локальные **оптимальные** значения Z_{i0} : утверждение о том, что оптимум – это совокупность наиболее благоприятствующих чему-либо условий; наилучший вариант решения задачи или путь достижения цели при данных условиях и ресурсах позволяет сделать вывод о том, что отклонение в ту или иную сторону (в «+» или в «-») значения

сравниваемого показателя качества от его оптимального значения однозначно сигнализирует об ухудшении параметра качества.

Следовательно формула для расчета с учетом локального оптимального значения показателя (Z_{i0}) имеет вид

$$=ЕСЛИ(\$G5=0;0;ABS(J5-\$G5)/\$G5) \quad (4)$$

Оператор «ЕСЛИ($\$G5=0;0;...$)» позволяет исключить проведение расчетов в случае отсутствия соответствующего нормативного значения. Аналогичный оператор применен и в последующих формулах.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		№	Показатель	Стремление	Единица измерения	Расчетная формула	Локальное оптимальное значение показателя (Z_{i0})	приемлемое (базовое) значение показателя стремится к min ($Z_{мин}$)	возможное (предельное) значение показателя стремится к max (Z_{max})	B1 3H (Z_0)	B1 Δ	B1 3I (Z)
4												
5		1	Удельное число дорожно-транспортных происшествий	min	ДТП/км	$N_{\text{удел}} = N_{\text{итг}} / L$	0	0,455	0	0,455	0	с
6		2	Соблюдение скоростных режимов движения	min	-	$K_{25} = 1000L_{25} / L$	0	0,394	0	0,394	0	с

Рисунок 1 – Фрагмент листа книги Excel, где ячейка «K5» выделена зеленым цветом

2 Для расчета отклонений показателей с учетом их приемлемого (базового) значения, которые стремятся к минимуму ($Z_{мин}$), формула имеет вид

$$=ЕСЛИ(\$H5=0;0;ЕСЛИ(\$H5=J5;0;ЕСЛИ(\$H5>J5;(-J5/\$H5);J5/\$H5))) \quad (5)$$

Применение оператора «ЕСЛИ($\$H5>J5;(-J5/\$H5);J5/\$H5$)» позволяет учесть, что для группы показателей, имеющих базовые значения, превышение значения исследуемого показателя над его базовым значением ухудшает параметр качества. И наоборот, при занижении значения исследуемого параметра относительно его базового значения улучшается параметр качества.

3 Для расчета отклонений показателей с учетом их максимально возможных (предельных) значений, которые стремятся к максимуму (Z_{max}), формула имеет вид

$$=ЕСЛИ(\$I5=0;0;ЕСЛИ(\$I5=J5;0;(\$I5-J5)/\$I5))) \quad (6)$$

Применение оператора «ЕСЛИ($\$I5=J5;0;(\$I5-J5)/\$I5$)» позволяет учесть, что в случае превышения исследуемым показателем его предельного значения параметр качества улучшается, а в случае занижения – ухудшается. При

этом при вводе исследуемых параметров необходимо искусственно отсекай заведомо некорректные значения. Корректность либо не корректность исследуемых значений оценивается исходя из условий, для которых выполняются расчеты путем экспертной оценки технических возможностей Перевозчика, маршрутной либо улично-дорожной сети и т. д.

Предварительный вариант формулы получен слиянием формул (4–6) в одну формулу путем суммирования:

$$=ЕСЛИ(\$G5=0;0;ABS(J5-\$G5)/\$G5+ЕСЛИ(\$H5=0;0;ЕСЛИ(\$H5=J5;0;ЕСЛИ(\$H5>J5;(-J5/\$H5);J5/\$H5)))+ЕСЛИ(\$I5=0;0;ЕСЛИ(\$I5=J5;0;(\$I5-J5)/\$I5))) \quad (7)$$

Для исключения некорректного ввода исследуемых показателей добавлена защита от этого, которая реализована путем проверки исследуемых показателей на отрицательное значение – оператор «ЕСЛИ(J5<0;0;(...))». В результате окончательный вариант формулы (7) принял вид:

$$=ЕСЛИ(J5<0;0;(ЕСЛИ(\$G5=0;0;ABS(J5-\$G5)/\$G5))+(ЕСЛИ(\$H5=0;0;ЕСЛИ(\$H5=J5;0;ЕСЛИ(\$H5>J5;(-J5/\$H5);J5/\$H5)))+ЕСЛИ(\$I5=0;0;ЕСЛИ(\$I5=J5;0;(\$I5-J5)/\$I5))) \quad (8)$$

Формула (8) одновременно позволяет учитывать, что исследуемый показатель введен корректно (не отрицательный), а также снижение либо превышение исследуемых значений показателей относительно их приемлемого (базового) значения нормативного показателя, которое стремится к минимуму ($Z_{\text{мин}}$) или их максимально возможного (предельного) значения нормативного показателя, которое стремится к максимуму ($Z_{\text{макс}}$).

Формула (8) продублирована во все ячейки столбцов с обозначением Δ листа книги «Итоговая таблица вариантов *LAST* расчет.xlsx». Сумма отклонений по всем показателям качества, вне зависимости от их принадлежности к той или иной группе показателей, вычисляется с помощью оператора «СУММ(...))», формула для столбца «К» имеет вид

$$=СУММ(K5:K27) \quad (9)$$

Для комплексной оценки качества и визуализации результатов по формуле (3) рассчитывается значение обобщенного показателя качества $K_{\text{общ}}$. Формула для выполнения расчетов в Excel по столбцу «К» имеет вид:

$$=ОКРУГЛ(ЕСЛИ(K28=0;1;1/K28);3) \quad (10)$$

Применение оператора «ОКРУГЛ(...;3)» позволяет ограничить количество знаков после запятой тремя знаками, что вполне достаточно для оценочных расчетов. Применение оператора «ЕСЛИ(K28=0;1;...)» позволяет учесть, что

при отсутствии отклонений исследуемых показателей от их оптимальных, базовых либо предельных значений уровень качества максимальный.

Визуализация результатов расчетов выполняется путем построения гистограммы (рисунок 2), отображающей каждый из вариантов набора значений исследуемых показателей качества. Наилучший вариант набора исследуемых показателей качества определяется исходя из того, что значение обобщенного показателя качества такого варианта должно максимально приближаться к единице.

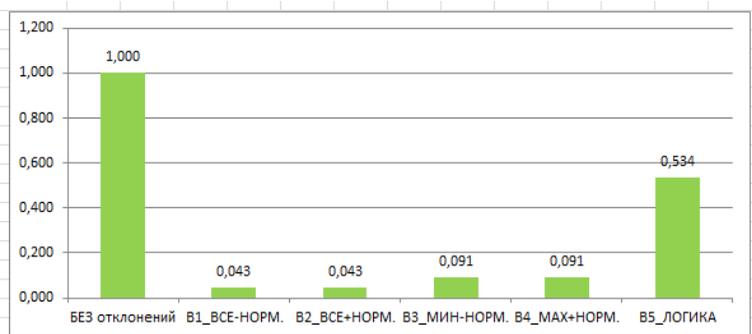


Рисунок 2 – Пример визуализации результатов расчетов по условным данным

Для тестирования полученной модели выполнены серии расчетов по условным данным. По результатам расчетов в механизм реализации внесены необходимые корректировки. Результаты моделирования процесса оценки качества системы НГМТ легли в основу разработки программного обеспечения для анализа и визуализации результатов оценки качества перевозок пассажиров НГМТ. Такое программное обеспечение существенно облегчает проведение исследований путем автоматизации процессов исследования поведения целевой функции оценки качества перевозок пассажиров в зависимости от значений единичных показателей качества и сравнения значений единичных показателей качества перевозок пассажиров, полученных по результатам обследования либо расчетным путем, с заданными нормативными. Применение для описанной модели компьютерной программы позволяет выполнить вычисление отклонений единичных показателей качества от их нормативных (либо приемлемых для конкретных условий) значений и вычисление значений целевой функции оценки качества с учетом заданной многовариантности изменений любого из единичных показателей оценки качества. Компьютерная программа обеспечивает визуализацию на экране компьютера (в табличном и графическом виде) одновременно всех вариантов значений единичных показателей и значений их отклонений от нормативных (либо приемлемых для конкретных условий) значений, полученных в результате изменения единичных

показателей качества, и соответствующих им значений целевой функции, выдает рекомендации на экран компьютера о варианте с наименьшим (оптимальным) значением целевой функции и обеспечивает накопление, систематизацию и хранение результатов исследований [2].

Таким образом, созданная в табличном редакторе Microsoft Excel эмпирико-статистическая модель процесса оценки качества системы НГМТ, может быть использована для облегчения и упрощения работы исследователя, без потери качества и достоверности результатов оценки. Применение указанных разработок на практике позволит сократить сроки и повысить эффективность проведения научных исследований в области оценки качества перевозок пассажиров НГМТ в различных населенных пунктах. Кроме того, программное обеспечение, разработанное на основе указанной модели, позволит в автоматическом режиме визуализировать, систематизировать, накапливать и хранить результаты исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Седюкевич, В. Н. Оценка качества перевозок пассажиров городским наземным маршрутизированным транспортом / В. Н. Седюкевич, С. П. Якубович // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конференции. – Минск : БНТУ, 2017. – Т. 3. – С. 180.

2 Якубович, С. П. Программное обеспечение для анализа и визуализации результатов оценки качества перевозок пассажиров наземным городским маршрутизированным транспортом / С. П. Якубович // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : Третья Междунар. науч.-практ. конф., 28 апр. 2020 г. – Тюмень, 2020. – Т. 2 : Транспорт в логистике и цепях поставок. – С. 449–455.

S. YAKUBOVICH

Belarusian Research Institute of Transport “Transtekhnika”

MODELING OF THE PROCESS OF ASSESSMENT OF THE URBAN GROUND TRANSPORT SYSTEM BASED ON A GENERALIZED QUALITY INDICATOR

The article provides information about modeling the process of evaluating the ground urban routed transport system based on a generalized quality indicator. The simulation was performed using the Microsoft Excel table editor, the results obtained are shown to be used in the development of software designed to assess the quality of passenger transportation under study.

Получено 28.08.2020