

Лебедева Ольга Анатольевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: kravhome@mail.ru

Савватеева Екатерина Юрьевна,
бакалавр, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: savvateeva.ket@gmail.com

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРОДСКОЙ СЕТИ
ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА**

Lebedeva O.A., Savvateeva E.Yu.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE URBAN NETWORK THROUGH
THE APPLICATION OF A MULTI-CRITERIA PUBLIC TRANSPORT ASSESSMENT
MODEL**

Аннотация. Городской транспорт общего пользования играет важную роль в реализации программ устойчивого развития городской территории. Анализ производительности стал важным элементом на предприятиях автотранспортного направления в рамках экономического развития региона, охватывая время, затраты, качество оказываемых транспортных услуг, удовлетворенность пользователей и финансовые результаты. Установление показателей оценки и мониторинг помогают обеспечить надлежащее управление ресурсами и контролировать расходы. В этом контексте рассмотрены методы измерения эффективности работы сети общественного транспорта путем многокритериальной оценки.

Ключевые слова: модель, общественный транспорт, многокритериальная оценка.

Abstract. Public urban public transport plays an important role in the implementation of sustainable urban development programs. Performance analysis has become an important element in the road transport industry as part of the economic development of the region, covering time, costs, quality of transport services provided, user satisfaction and financial results. Evaluation metrics and monitoring help ensure proper resource management and cost control. In this context, methods for measuring the effectiveness of the public transport network through multi-criteria assessment are considered.

Keywords: model, public transport, multi-criteria assessment.

В мировой практике многие страны сталкиваются с рядом задач, связанных с обеспечением доступа к различным объектам городского пространства, а также перемещением людей и товаров, сокращением индивидуального автомобильного транспорта и ограничением неблагоприятного воздействия дорожного движения на здоровье человека. Поэтому городской транспорт общего пользования играет важную роль в реализации этих программ, но этот сектор сталкивается с рядом серьезных экономических трудностей и финансовых кризисов, препятствующих устойчивому развитию. Анализ производительности стал важным элементом на предприятиях автотранспортного направления. Он охватывает: время, затраты, качество оказываемых транспортных услуг, удовлетворенность пользователей и финансовые результаты. Кроме того, установление показателей оценки и мониторинг помогают обеспечить надлежащее управление ресурсами и контролировать расходы бюджета. В этом контексте

рассмотрим методы измерения эффективности работы сети общественного транспорта путем многокритериальной оценки.

Области применения модели включают стратегии и планирование, экономический эффект, качество услуг общественного транспорта, инфраструктуру и уровень устойчивого развития. Исследование направлено на изучение модели аналитической иерархии для разработки матрицы критериев оценки работы сети общественного транспорта путем оптимизации транспортной системы.

Исследование можно условно разделить на три этапа: разработка комплексной модели оценки; оценка производительности сети общественного транспорта в сочетании со стандартами детализации — подкритериями; повышение производительности на основе результатов модели.

Общий алгоритм метода принятия многокритериальных решений.

Метод принятия многокритериальных решений должен осуществлять управление задачами, связанными с множеством субъективных и противоречивых критериев по уровням. Алгоритм предлагает упорядоченную структуру вариантов и наиболее часто используется как инструмент для решения многоцелевых задач. Он определяет приоритеты альтернатив в качественном и количественном выражении на основе «набора целей». Факторы на каждом уровне определяются путем попарных сравнений, что требует присвоения относительной важности двум критериям или двум подкритериям. Кроме того, метод также может быть использован для ранжирования производительности.

Метод принятия многокритериальных решений состоит из трех основных процессов:

- выбор приоритета: вес приоритетных элементов на каждом уровне рассчитывается с использованием метода наименьших квадратов или собственных векторов, до тех пор, пока решение не будет принято с использованием глобального веса, эта процедура будет повторяться для каждого уровня иерархии;
- декомпозиция задачи: задача разбивается на элементы (элементы группируются на разных уровнях, образуя иерархическую цепочку), и каждый фактор далее разбивается на подфакторы до самого низкого уровня иерархии;
- сравнительный анализ: относительная важность каждого фактора на определенном уровне измеряется с помощью процесса попарного сравнения. Лица, принимающие решения, используют рейтинговую шкалу для получения числового значения приоритета каждого фактора. Процесс расчета модели показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм метода принятия многокритериальных решений [1]

(1) Сравнение важности между каждой парой: показателю (c_{ig}) присваивается значение от 1 до 9 для определения важности атрибутов (i) и (g); дополнительно, $c_{ig} = \frac{1}{c_{gi}}$. Далее создается матрица решений $C = (c_{ig})$.

(2) Нормализация матрицы попарного сравнения. Матрица попарного сравнения должна быть нормализована с использованием метода нормализованных средних арифметических. После нормализации, матрица C преобразуется в матрицу $D = (d_{ig})$. Матрица D исчисляется следующим образом:

$$d_{ig} = \frac{c_{ig}}{\sum_{i=1}^n c_{ig}} \quad (1)$$

(3) Нахождение весового вектора (w). Вектор приоритизации (w) находится путем вычисления средних арифметических значений из строки нормализованной матрицы сравнения (d_{ig}). Вычисление вектора w проводится следующим образом:

$$w = \frac{\sum_{g=1}^n d_{ig}}{n} \quad (2)$$

(4) Вычисление максимального значения матрицы T_{\max} , которое удовлетворяет условиям:

$$Cw = T_{\max} \text{ и } T_{\max} \approx T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (3)$$

где T_{\max} – наибольшее значение матрицы; n – количество сравниваемых объектов.

(5) Расчет индекса согласованности (CI) и коэффициента согласованности (CR) приведены в Таблице 1. Проводится проверка соответствия оценки данным экспертов.

Показатели CI и CR для каждой матрицы сравнения S рассчитываются следующим образом:

$$CI = \frac{T_{\max} - n}{n-1}, \quad (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (5)$$

где RI – случайный индекс; n – размерность матрицы.

Таблица 1

Значения случайного индекса

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Индекс случайной согласованности	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Когда $CR \leq 10\%$, сравнения считаются внутренне согласованными; в противном случае будет считаться, что в процессе сравнения присутствовала несогласованность.

В этом исследовании рассматривается разработка комплексной многокритериальной модели оценки эффективности сети общественного транспорта для различных уровней применения.

Выбираются критерии предлагаемой модели на основе четырех уровней, которые представляют: уровень экономической выгоды, качество и эффективность обслуживания общественного транспорта, уровень базовой инфраструктуры общественного транспорта и уровень устойчивого развития [2-4]. Исходя из вышеизложенного, критерии выбираются из системы индексов оценки общественного транспорта.

Следуя этим критериям, модель делит их на два уровня: городской и операционный. В частности, модель содержит следующие показатели:

Городской уровень: общественный транспорт рассматривается для оценки управления транспортом и создания необходимой инфраструктуры. К этому уровню относят:

- коэффициент сети общественного транспорта;
- коэффициент охвата общественным транспортом;
- коэффициент наличия оборудованного остановочного пункта;
- коэффициент определения приоритетных полос движения общественного транспорта;
- коэффициент использования общественного транспорта;

- коэффициент использования экологически чистых транспортных средств общественного транспорта;
- энергоемкость общественного транспорта.

Операционный уровень предприятия. Этот уровень рассматривает общественный транспорт для оценки перевозчиков. Рассматриваются следующие показатели:

- тариф за время работы общественного транспорта;
- частота возникновения заторов в часы «пик»;
- тариф на перевозку пассажиров;
- коэффициент аварийности при вождении общественного транспорта;
- коэффициент покрытия;
- коэффициент наличия подвижного состава;
- коэффициент исправности автомобиля.

Модель оценки была применена к городу Ангарск. Площадь территории Ангарского городского округа составляет 114,87 тыс. га. Территория Ангарского городского округа (АГО) неоднородна в пространственном отношении, характеризуется различными социально-экономическими, инфраструктурными и природными условиями, которые определяют основные направления и функциональные приоритеты развития территории. В городе Ангарске средняя плотность населения составляет 11,3 чел./га. Производственные объекты вне границ населенных пунктов, земли транспорта, объекты связи и иного специального назначения занимают 15,67 тыс. га или 13,6 % территории АГО. Городской и пригородный пассажирский транспорт общего пользования Ангарского городского округа представлен автобусами и маршрутными такси, трамваями и пригородными поездами железнодорожного транспорта.

Пассажирские перевозки на территории города Ангарска осуществляются преимущественно автомобильным транспортом. Протяженность городской маршрутной сети транспорта общего пользования, составляет более 910 км. Протяженность автодорог местного значения АГО 459,7 км, из них с твердым покрытием 335,3 км.

При разработке матрицы основных критериев, общий вес уровней: базовой инфраструктуры общественного транспорта составляет 42 %, услуг общественного транспорта — 18 %, экономической выгоды — 9 % и устойчивого развития – 31 %.

На основе установленных уровней оценки можно измерить эффективность общественного транспорта в городе. Результаты показывают, что город Ангарск имеет высокий уровень обслуживания относительно коэффициентов: сети общественного транспорта, охвата общественного транспорта, и использования общественного транспорта.

Проведённый анализ показывает, что, основываясь на существующих стандартах, модель позволяет произвести оценку эффективности городской сети общественного транспорта [2-4]. В частности, установленную модель и стандарты можно использовать в качестве рекомендаций по оптимизации имеющихся ресурсов. Возможно, расширение модели за счет введения дополнительных критериев оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Lin, G.** Evaluating performance of public transport networks by using public transport criteria matrix analytic hierarchy process models / G. Lin, S. Wang, C. Lin, L. Bu, H. Xu // Case study of stonnington, Bayswater, and Cockburn public transport network. sustainability 2021, 13, 6949. <https://doi.org/10.3390/su1312649>.
2. **Антонов, Д. В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д. В. Антонов, О. А. Лебедева // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.
3. **Полтавская, Ю. О.** Качественные характеристики функционирования городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) / Ю. О. Полтавская // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1. С. 260-266.
4. **Гозбенко В. Е.** Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажиро и грузопотоков / В. Е. Гозбенко, А. Н. Иванов, М. Н. Колесник, А. С. Пашкова // Депонированная рукопись № 330-В2008 17.04.2008.