

УДК 656.13

Парра С.А. аспирант 2 г.о., кафедра Транспортно-технологических процессов и машин Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, E-mail: zuny1503@gmail.com;

Сафиуллин Р.Н. д.т.н., профессор, кафедра Транспортно-технологических процессов и машин Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, E-mail: safravi@mail.ru;

Сорванов А.В. студент, кафедра Транспортно-технологических процессов и машин Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, E-mail: rasenmaher@yandex.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Аннотация: В статье предложена сформированная методика оценки эффективности систем пассажирских перевозок на основе интеграции нечеткой логики с многокритериальной системой принятия решений. Устраняя ограничения традиционных подходов в работе с субъективными и неопределенными данными, предлагается структура, которая синтезирует экономические, эксплуатационные, социальные, экологические критерии и безопасность. В методике используются гауссовские нечеткие функции принадлежности и система выводов на основе правил для количественной оценки эффективности, что позволяет динамически оптимизировать транспортные маршруты. Данный подход предоставляет транспортным операторам масштабируемый инструмент для повышения качества обслуживания, устойчивости и удовлетворенности пассажиров в городских системах мобильности.

Ключевые слова: эффективность общественного транспорта, нечеткая логика, многокритериальное принятие решений, устойчивая мобильность, интеллектуальные транспортные системы.

Введение

Городские системы пассажирского транспорта сталкиваются с возрастающими вызовами, вызванными повышенным спросом на мобильность, экологическими проблемами и требованиями к безопасности. Этот транспорт играет ключевую роль в обеспечении мобильности и доступности городских

территорий, и с ростом транспортных потоков возникает острая необходимость в более эффективном управлении. В этой сфере всё более значимыми становятся интеллектуальные технологии. Одновременно системы городского пассажирского транспорта усложняются из-за противоположных интересов заинтересованных сторон: операторы ориентируются на повышение экономической эффективности, пассажиры требуют высокого качества обслуживания, а регулирующие органы — на устойчивое развитие.

Традиционные подходы, такие как статистический анализ, регрессионные модели и оценка затрат и выгод, нередко оказываются недостаточно эффективными при работе с неточными или субъективными данными. Они не учитывают неопределенности, присущие качественным факторам, таким как комфорт пассажиров или надежность услуг, а также показателям, например, «комфорт для пользователя» или «воздействие на окружающую среду».

2. Состояние проблемы.

Однако оценка эффективности транспортного процесса является сложной задачей, требующей учета различных факторов. К ним относятся: скорость движения, плотность пассажиропотока, цена билета и уровень сервиса. Существует множество подходов к оценке эффективности[1], включая экономические показатели[2,3], качество обслуживания пассажиров, тарифы, комфорт[4–6], доступность[7] [8,9]. Оптимизация маршрутов и улучшение управления движением это ключевые преимущества интеллектуальных технологий. Однако важно иметь объективные критерии оценки эффективности, чтобы гарантировать достижение поставленных целей. Некоторые исследователи также рассматривают факторы, такие как выбросы парниковых газов[10,11], углеродный след[12–14] и технические показатели.

Нечеткая логика, представленная Заде в 1965 году, обеспечивает математическую основу для моделирования неопределенности с помощью нечетких множеств и лингвистических правил. Хотя нечеткая логика (Zadeh, 1965) уже применялась для оптимизации транспортных маршрутов (Meethom & Koohathongsumrit, 2020), существующим системам не хватает интеграции

количественной оценки рисков для исходных данных, связанных с методом многокритериального принятия решений (MCDM).

Многие авторы использовали нечеткую логику для оценки, распределения и выбора транспортных маршрутов и видов транспорта. Meethom и Koohathongsumrit (2020) [15] разработали концепцию асимметричной системы поддержки принятия решений на основе нечетких чисел (FANP) и многослойного объектного программирования «ноль-один» для ранжирования маршрутов распределения. Shen и др. (2021) [16] представили модель принятия решений, объединяющую метод Дельфи и нечеткое последовательное предпочтение (CFPR), для оценки мультимодальных коридоров между Вьетнамом и Китаем. Lu и др. (2021) [17] использовали CFPR для решения задачи выбора маршрута для перевозки негабаритных грузов между Кореей и Балхашем. Wan и др. (2024) [18] определили оптимальный маршрут контейнерных перевозок с помощью интеграции трапецеидальной и облачной многоцелевой оптимизации на основе анализа отношений. Koohathongsumrit и др. (2024) [19] предлагают новый метод принятия решений, объединяющий метод наилучшего-худшего (BWM), нечеткую иерархическую оценку рисков (FHRA) и оценку аддитивного соотношения (ARAS). Этот подход декомпозирует проблему в иерархическую структуру и определяет оптимальное решение на трех отдельных этапах. Учитывая вышесказанное, существующие подходы позволяют определить наиболее подходящую альтернативу, но не позволяют рассчитать величины критериев риска в качестве исходных данных для методов множественного принятия решений.

Цель данной статьи заключается в устранении существующего пробела путем представления комплексной методики построения автоматизированной системы оценки перевозочного процесса пассажирского транспорта на основе нечеткой логики. В данной методике делается акцент на системном подходе к определению соответствующих показателей эффективности, построению систем нечетких выводов и интеграции этих систем для целостной оценки эффективности перевозок.

3. Методы и материалы

Для комплексной оценки эффективности перевозочного процесса пассажирского транспорта требуется многокритериальный подход, учитывающий данные о видах транспорта, применяемых на каждом маршруте. Предлагаемая методика включает несколько ключевых этапов (см. рис. 1).

На этапе сбора данных собирается подробная информация о существующих маршрутах и остановочных пунктах. Эти данные служат основой для расчета показателей эффективности на последующих этапах.

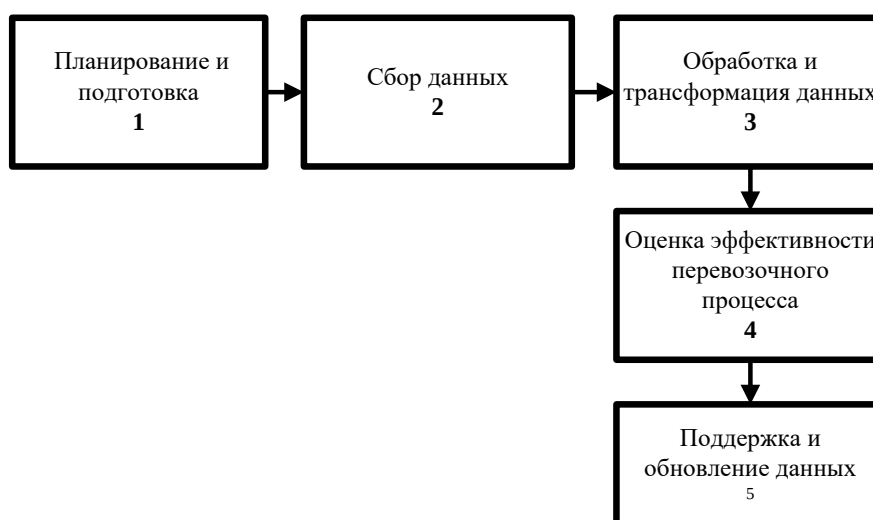


Рис. 1 Последовательность шагов оценки эффективности перевозочного процесса пассажирского транспорта [составлено авторами]

На этапе обработки и трансформации данных рассчитываются атрибуты, которые не собираются напрямую, например, общая длина маршрута и зона обслуживания. Данные нормализуются и приводятся к единому формату, удаляются дубликаты и исправляются ошибки. На основе собранных данных рассчитываются значения показателей эффективности (см. шаг 4).

Оценка эксплуатационных показателей эффективности включает в себя структурированный процесс (см. Рис. 2).

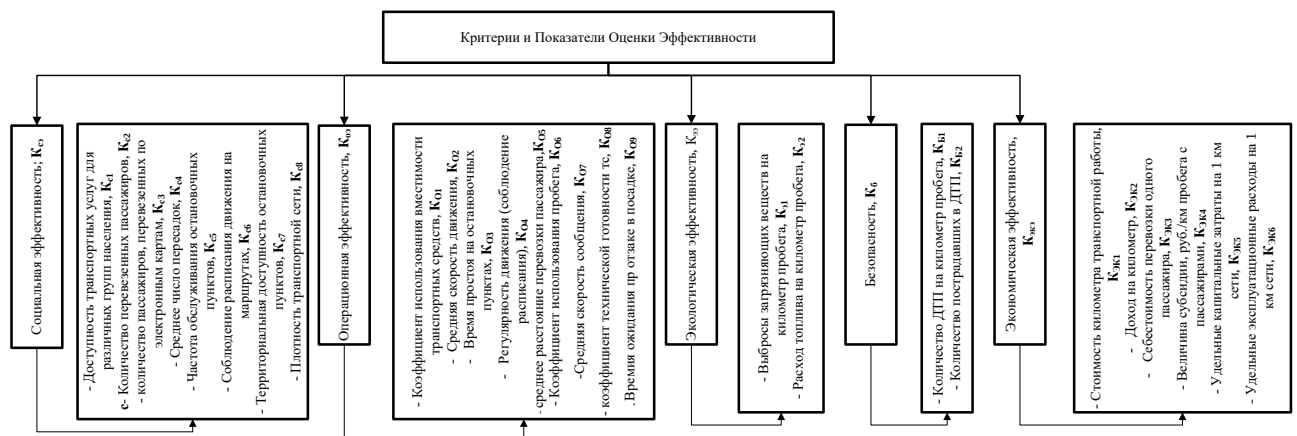


Рис. 2 Критерии и показатели для оценки эффективности перевозочного процесса пассажирского транспорта [составлено авторами]

Как видно на рисунке 2, оценка охватывает пять ключевых критериев: экономический, эксплуатационный, социальный, безопасность и экологический. Для каждого маршрута и вида транспорта определяются показатели эффективности, соответствующие этим критериям. Затем значения этих показателей сравниваются с установленными стандартами и эталонами для других маршрутов и видов транспорта. Такое сравнение помогает выявить области, требующие улучшения, что, в свою очередь, приводит к разработке целевых планов действий. Общая оценка эффективности рассчитывается как взвешенная сумма оценок по отдельным критериям (уравнение 1).

$$f = \int (\alpha_1 K_{cs} + \alpha_2 K_{os} + \alpha_3 K_{экэ} + \alpha_4 K_6 + \alpha_5 K_{ээ}) \quad (1)$$

где: f - Общая оценка эффективности, K_{cs} - критерий социальной эффективности, K_{os} - критерий эксплуатационной эффективности, $K_{экэ}$ -критерий экологической эффективности, $K_{ээ}$ - критерий экономической эффективности, K_6 - критерий безопасности. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - коэффициенты представляют собой весовые значения, присвоенные каждому критерию, которые отражают их относительную важность

Для разработки нечеткой модели (см. Рис. 3) вначале были определены входные и выходные параметры нечеткой логической системы. В данной статье для оценки социальной, эксплуатационной, экологической, экономической

эффективности и безопасности были заданы входные параметры: $K_{сз}$, $K_{оз}$. Выходной параметр был определен как эффективность транспортной системы.

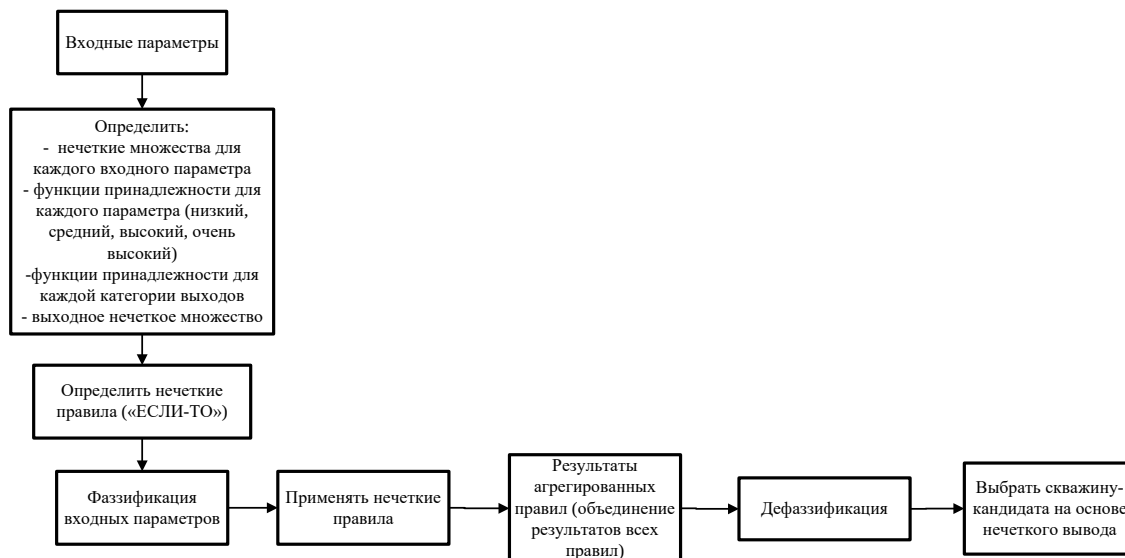


Рис. 3 Схема системы вывода [составлено авторами]

Создание системы нечеткой логики состоит из четырех основных этапов:

- 1) Для каждой переменной, будь то входная или результирующая переменная, должен быть определен набор функций принадлежности. Слово, такое как высокий, средний или низкий, служит типичным представлением функции принадлежности, которая определяет степень принадлежности значения переменной к группе относительно совокупности рассуждений.
- 2) Определяются утверждения или правила, связывающие функции принадлежности каждой переменной с результатом, обычно с помощью серии утверждений IF-THEN. Правила также взвешиваются в порядке важности относительно их лингвистической переменной. Правило может быть следующим: Если стоимость ожидания низкая, а время в пути между остановками короткое, а стоимость времени в пути низкая, а коэффициент использования вместимости высокий, то эффективность высокая.
- 3) Выполняется математическая оценка правил и результаты объединяются. Агрегирование - это метод, используемый для оценки каждого правила.
- 4) Дефазификация - это метод, используемый для оценки результирующей функции в виде острого числа.

Утверждения или правила, связывающие функции принадлежности (ФП) каждой переменной с результатом, определяются, как правило, с помощью ряда утверждений ЕСЛИ-ТО. Правила также взвешиваются в порядке важности для их лингвистической переменной [21].

Архитектура нечеткой логики описывается следующим образом.

1. Четкие входные данные: относятся к конкретным и точным числовым значениям, вводимым в систему нечеткой логики. В отличие от нечетких входных данных, которые связаны со степенями принадлежности и могут представлять собой расплывчатость или неопределенность, эти данные являются четкими и четко определенными.

2. Нечеткая обработка: На этом этапе входные значения преобразуются в нечеткие значения с помощью функций принадлежности.

3. База знаний: Включает в себя базу данных функций и базу правил, определяющую правила нечеткой логики. Функции принадлежности определяют, как каждая входная переменная преобразуется в степень принадлежности к нечеткому множеству. База правил включает набор правил «ЕСЛИ-ТО», которые определяют отношения между входными и выходными нечеткими наборами.

4. Механизм вывода: этот компонент применяет нечеткие правила к нечетким входам для генерации нечетких выходов.

5. Дефаззификация: На этом этапе нечеткие выходные значения преобразуются в четкие, чтобы получить результаты, пригодные для практического применения.

6. Неточный вывод: означает конкретный и точный числовой результат, полученный в результате процесса нечеткой логики. В отличие от нечетких выводов, которые могут быть расплывчатыми и представлены степенями принадлежности к различным множествам, точный результат - это единое, определенное значение, которое может быть использовано непосредственно для принятия решений или управления (см. Рис. 4).

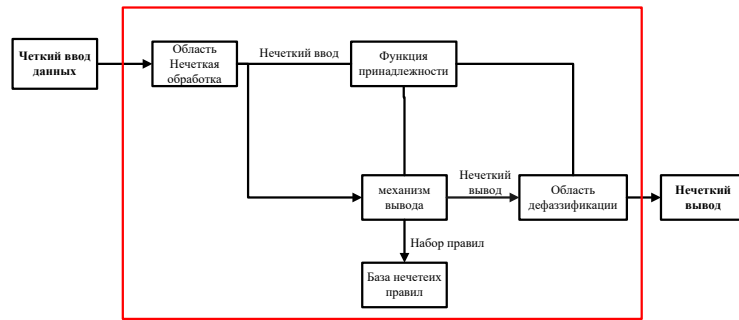


Рис. 4 Схема архитектуры нечеткой логики [21]

Далее были определены функции принадлежности. В данной статье использовались следующие лингвистические переменные: «Очень низкий» (ОН), «низкий» (Н), «средний» (С), «высокий» (В) и «очень высокий» (ОВ); «короткий» (К), «средний» (С), «длинный» (Д) и «очень длинный» (ОД).

В данном исследовании для отражения оценок эффективности лиц, принимающих решения, использовались гауссовские нечеткие числа.

Все маршруты обладают отличительными свойствами, а критерии имеют разные приоритеты. Для решения этой задачи необходимо найти оптимальные критерии между социальной, эксплуатационной и экономической эффективностью и весами для получения оптимального результата.

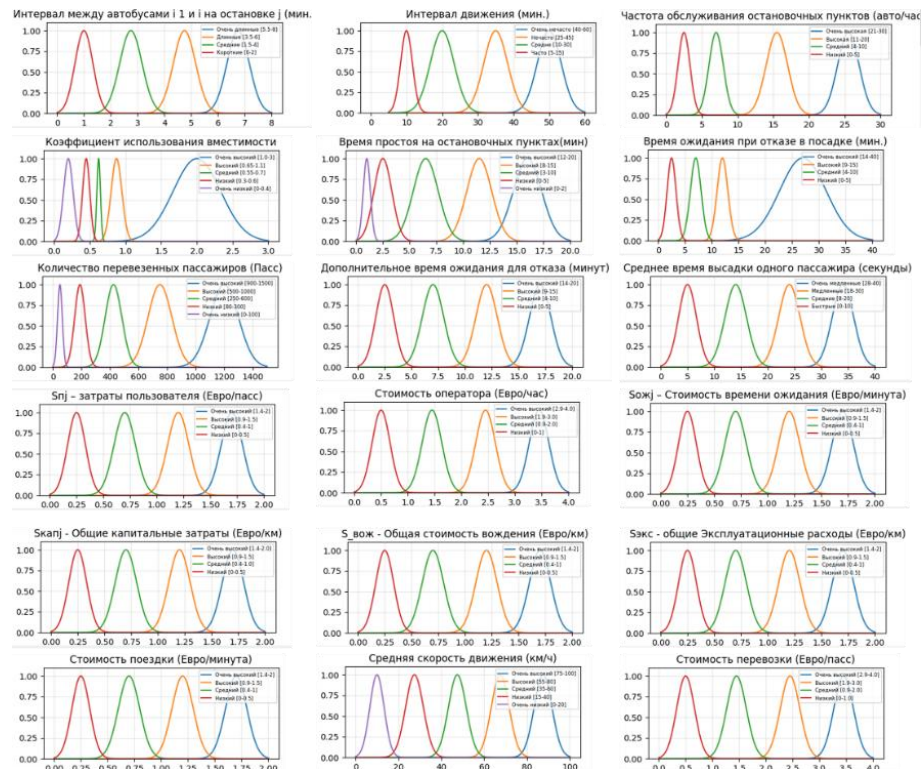


Рис. 5 Функция принадлежности к показателю [составлено авторами]

Все маршруты обладают отличительными свойствами, а критерии имеют разные приоритеты. Для решения этой задачи необходимо найти оптимальные критерии между социальной, эксплуатационной и экономической эффективностью и весами для получения оптимального результата.

Эти лингвистические переменные являются входными данными для данной системы и представлены визуально с помощью гауссовой функции принадлежности для показателей (рис.5).

Таблица 1 - Диапазон уровней показателей для обработки данных
[составлено авторами]

Критерии	Показатели	Диапазон уровней показателей				
К _{сэ}	К _{с1} (м)	ОН [0;200]	Н [150;400]	С [350;700]	В [650;900]	ОВ [850;1000]
	К _{с2} пасс	ОН [0;160]	Н [140;400]:	С [350;700]	В [600;1500]	ОВ [1400;2000]
	К _{с3} пасс.	ОН [0;100]	Н [80;300]	С [250;600]	В [500;1000]	ОВ [900;1500]
	К _{с4} пересадок	ОН [0;0,5]	Н [0,4;1]	С [0,8;1,5]	В [1,2;2]	ОВ [1,8;3]
	К _{с5} авто/час	ОН [0;2]	Н [1,5;5]	С [4;10]	В [9;20]	ОВ [18;30]
	К _{с6} %	ОН [0–20]	Н [15;40]	С [35;70]	В [65;90]	ОВ [85;100]
	К _{с7} м	ОН [0;200]	Н [150;400]	С [350;700]	В [650; 900]	ОВ [850;1000]
	К _{с8} км/км ²	ОН [0;2]	Н [1,5;5]	С [4;10]	В [9;20]	ОВ [18;30]
К _{оэ}	К _{о1}	ОН [0;0,2]	Н [0,15;0,4]	С [0,35;0,7]	В [0,65;0,9]	ОВ [0,85;1,0]
	К _{о2} км/ч	ОН [0;20]	Н [15;40]	С [35;60]	В [55;80] к	ОВ [75;100]
	К _{о3} минут	ОН [0;2]	Н [0;5]	С [3;10]	В [8;15]	ОВ: [12;20]
	К _{о4} %	ОН [0–20]	Н [15;40]	С [35;70]	В [65;90]	ОВ [85;100]
	К _{о5} km	ОК [0;2]	К [1,5; 5]	С [4;10]	Д [9;20]	ОД [18;30]
	К _{о6}	ОН [0;0,2]	Н [0,15;0,4]	С [0,35;0,7]	В [0,65;0,9]	ОВ [0,85;1,0]
	К _{о7}	ОН	Н	С	В	ОВ

Критерии	Показатели	Диапазон уровней показателей				
	км/ч	[0;20]	[15;40]	[35;60]	[55;80]	[75;100]
К _{ээ}	К _{э1}	ОН	Н	С	В	ОВ
	г/км	[0;50]	[40;100]	[90;150]	[140;200]	[190;300]
	К _{э2}	ОН	Н	С	В	ОВ
	л/км	[0;2]	[1,5;4]	[3,5;6]	[5,5;8]	[7,5;8]
К _б	К _{б1} аварий/км	ОН	Н	С	В	ОВ
		[0;0,1]	[0,05;0,3]	[0,2;0,5]	[0,4;0,8]	[0,7;1,0]
	К _{б2}	ОН	Н	С	В	ОВ
	ранений	[0;1]	[0,5;3]	[2;5]	[4;8]	[7;10]
К _{экэ}	К _{эк1}	ОН	Н	С	В	ОВ
	\$/км	[0; 1]	[0,8; 2]	[1,5;3]	[2,5;5]	[4;10]
	К _{эк2}	ОН	Н	С	В	ОВ
	\$ /км	[0;2]	[1,54]	[3,5;6]	[5,5;8]	[7,5;10]
	К _{эк3}	ОН	Н	С	В	ОВ
	\$/пассажир	[0;0,5]	[0,4;1]	[0,8;1,5]	[1,2;2]	[1,8;3]
	К _{эк4}	ОН	Н [8;20]	С	В	ОВ
	руб./км	[0;10]		[18;40]	[35;60]	[55;80]
	К _{эк5}	ОН	Н	С	В	ОВ
	\$/км	[0;10,00 0]	[8,000;20,00 0]	[18,000;4 0,000]	[35,000;60,00 0]	[55,000;80,00 0]
	К _{эк6}	ОН	Н	С	В	ОВ
	\$/км	[0;500]	[00;\$1,000]	[800;1,50 0]	[1,200;2,000]	[1,800;3,000]

Эти лингвистические переменные являются входными данными для данной системы и представлены визуально с помощью гауссовой функции принадлежности для показатели, как показано на рис. 5.

Для каждого нечеткого множества задается функция принадлежности, которая определяет степень принадлежности конкретного значения к этому множеству. После определения нечетких множеств устанавливаются нечеткие правила, которые соотносят показатели с наиболее удобным названием.

- Если общая стоимость перевозки высокая, а скорость движения низкая, то эффективность низкая.
- Если время в пути между остановками короткое, а количество перевезенных пассажиров/км высокое, то эффективность высокая.
- Если дополнительное время ожидания из-за отказа высоко, а коэффициент использования вместимости низкий, то эффективность низкая.

- Если частота обслуживания высокая, а затраты оператора средние, то эффективность средняя.
- Если время ожидания посадки короткое, а эксплуатационные расходы низкие, то эффективность высокая.
- Если затраты оператора очень высоки, а пассажиро-километры низкие, то эффективность низкая.
- Если затраты оператора средние, а частота обслуживания высокая, то эффективность высокая.
- Если затраты оператора высоки, а коэффициент использования вместимости высокий, то эффективность средняя
- Если стоимость перевозки пассажира очень высокая, а пассажиро-км низкий, то эффективность низкая.
- Если стоимость пассажирских перевозок средняя, а коэффициент использования вместимости высокий, то эффективность высокая .
- Если стоимость пассажира низкая, а частота обслуживания высокая, то эффективность высокая.
- Если стоимость ожидания низкая, а время в пути между остановками короткое, а стоимость времени в пути низкая, а коэффициент использования вместимости высокий, то эффективность высокая.
- Если эксплуатационные затраты высоки и количество перевезенных пассажиров на километр пути низкое и частота обслуживания низкая, то эффективность низкая
- Если стоимость ожидания низкая, а время в пути между остановками короткое, а стоимость времени в пути низкая, а коэффициент использования вместимости высокий, то эффективность высокая.
- Если эксплуатационные затраты высоки и количество перевезенных пассажиров на километр пути низкое и частота обслуживания низкая, то эффективность низкая.
- Если дополнительное время ожидания отказа в посадке высокое и время ожидания посадки и высадки длинное, то эффективность низкая.

- Если скорость движения высокая и интервал между остановками короткий и общие транспортные затраты средние, то эффективность средняя.
- Если затраты оператора низкие и затраты пассажиров низкие и затраты на пребывание в автобусе низкие, то эффективность высокая.

Таким образом, транспортный маршрут с наибольшей степенью эффективности считается наиболее эффективным.

Транспортные маршруты имеют свои особенности, и критерии оценки имеют разные приоритеты. Поэтому для решения этой проблемы с помощью методов анализа фактических данных были определены оптимальные критерии и весовые коэффициенты между социальной, эксплуатационной и экономической эффективностью.

На этапе дефаззификации применяется метод центроида для получения комплексных оценок эффективности в диапазоне от 0 до 100% (см. уравнение 1)

$$Y_d = \frac{\sum_{l=1}^R \delta_l \mu_{B_l(\delta l)}}{\sum_{l=1}^R \mu_{B_l(\delta l)}}$$

Где δ_l - центр тяжести нечеткого множества выхода B_l l -го правила, R - количество правил.

На этапе "Ведение и обновление данных" разрабатывается процедура внесения изменений в базу данных. Качество данных периодически проверяется, а ошибки исправляются.

Методика, представленная в данной статье, предлагает надежный и гибкий подход к оценке эффективности пассажирских перевозок. В отличие от классических методов, таких как регрессионные модели, которые требуют точных данных и сталкиваются с качественными критериями, подход на основе нечеткой логики эффективно учитывает лингвистические переменные и справляется с неопределенностями, присущими реальным транспортным системам.

В отличие от классических методов оценки (например, регрессионных моделей), которые обычно требуют точных данных и не учитывают неточности некоторых качественных критериев, нечеткий подход продемонстрировал большую гибкость, включив в оценку лингвистические переменные (например, "очень высокий", "высокий", "средний", "низкий", "очень низкий").

Выводы

Предложенная методика обеспечивает эффективный, обновленный и основанный на реальных данных учет, облегчая принятие решений. Система представляет собой вспомогательный инструмент для транспортных органов и операторов, позволяющий оптимизировать планирование и повысить удовлетворенность пользователей.

В статье представлен комплексный подход, иллюстрирующий возможности нечеткой логики для повышения точности оценки и повышения эффективности пассажирского транспорта. Совмещение методов нечеткой логики помогает справляться с неопределенностью и сложностью показателей, предоставляя действенный инструмент для принятия решений.

В дальнейшем возможна интеграция других методов искусственного интеллекта с целью усовершенствования модели. Испытание разработанной модели на конкретном примере даст практические подтверждения ее реализуемости и способности масштабироваться.

Список использованных источников

1. Kurganov V.M, Gryaznov M.V, Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes // Journal of Mining Institute. 2020. Vol. 241. p. 10-21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
2. Semenova T., Martínez Santoyo J.Y. Determining Priority Areas for the Technological Development of Oil Companies in Mexico // Resources. 2025. Vol. 14, № 1. <https://doi.org/10.3390/resources14010018>.

3. Safiullin R., Efremova V., Ivanov B. The Method of Multi-criteria Evaluation of the Effectiveness of the Integrated Control System of a Highly Automated Vehicle. *Open Transp J*, 2024; 18: e18744478309909. <http://dx.doi.org/10.2174/0118744478309909240807051315>.
4. Bruzzone F., Cavallaro F., Nocera S. Environmental and energy performance of integrated passenger–freight transport // *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 2023. Vol. 22. P. 100958. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100958>.
5. Ong A.K.S. et al. Utilizing a machine learning ensemble to evaluate the service quality and passenger satisfaction among public transportations // *J. Public Transp.* 2023. Vol. 25. P. 100076. <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2023.100076>.
6. Kaledina N.O., Malashkina V.A. Indicator assessment of the reliability of mine ventilation and degassing systems functioning // *Journal of Mining Institute.* 2021. Vol. 250. p. 553-561. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.8.
7. Dömény I., Dolinayová A., Čarný Š. Methodology Proposal of Monitoring Economic Indicators in a Railway Passenger Transport Company Using Controlling Tools // *Transp. Res. Procedia.* 2021. Vol. 55. P. 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.06.015>.
8. Балгабеков Т.К., Каиржан Б.Б. Повышение Эффективности Исполнения Транспортных Средств При Транспортировке Грузов // *Наука И Мир.* 2018. № № 10-2(62). P. 10–13.
9. Grube T. et al. Passenger car cost development through 2050 // *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 2021. Vol. 101. P. 103110. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103110>.
10. Kim K., Matsushashi K., Ishikawa M. Analysis of primary-party traffic accident rates per driver in Japan from 1995 to 2015: Do older drivers cause more accidents? // *IATSS Res.* 2023. Vol. 47, № 4. P. 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2023.09.001>.
11. Li X. et al. Comprehensive evaluation model of the urban low-carbon passenger transportation structure based on DPSIR // *Ecol. Indic.* 2023. Vol. 146. P. 109849. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109849>.

12. Rojas C. et al. Short run “rebound effect” of COVID on the transport carbon footprint // Cities. 2022. Vol. 131. P. 104039. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104039>.
13. Maksimov A.L et al. Physico-chemical aspects and carbon footprint of hydrogen production from water and hydrocarbons // Journal of Mining Institute. 2024. Vol. 265. p. 87-94. EDN HWCPDC.
14. Shojaee Barjoe S., Rodionov V., Vaziri Sereshk A.M. Noise climate assessment in ceramic industries (Iran) using acoustic indices and its control solutions // Adv. Environ. Technol. 2025. Vol. 11, № 1. P. 91–115. <https://doi.org/10.22104/aet.2024.6922.1899>.
15. Meethom W., Koohathongsumrit N. A decision support system for road freight transportation route selection with new fuzzy numbers // foresight. Emerald Publishing Limited, 2020. Vol. 22, № 4. P. 505–527. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2019-0090>.
16. Shen, L., et al. Transportation routes evaluation: A delphi and CFPR approach. J. Intell. Fuzzy Syst. 41 (4), 4841–4854. <https://doi.org/10.3233/jifs-189969>. 2021. <https://doi.org/10.3233/jifs-189969>.
17. Lu W., Choi S.-B., Yeo G.-T. Resilient route selection of oversized cargo transport: the case of South Korea–Kazakhstan // Int. J. Logist. Manag. Emerald Publishing Limited, 2022. Vol. 33, № 2. P. 410–430. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2020-0445>.
18. Wang N., Chen M., Wang N. An Improved CBBA Generation Method Based on Triangular Fuzzy Numbers // Int. J. Comput. Intell. Syst. 2024. Vol. 17, № 1. P. 22. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00398-0>.
19. Koohathongsumrit N., Chankham W., Meethom W. Multimodal transport route selection: An integrated fuzzy hierarchy risk assessment and multiple criteria decision-making approach // Transp. Res. Interdiscip. Perspect. 2024. Vol. 28. P. 101252. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101252>.
20. Safiullin R. N., Parra A. Z. Comprehensive Assessment of the Effectiveness of Passenger Transportation Processes using Intelligent Technologies // Open

Transp. J. 2024. Vol. 18.

<https://doi.org/10.2174/0126671212320514240611100437>.

21. Ohia N.P. et al. Artificial intelligence-driven fuzzy logic approach for optimal well selection in gas lift design: A brown field case study // Results Eng. 2025. Vol. 25. P. 103927. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.103927>.

Parra S. A. Postgraduate student of the 2nd year. , E-mail: zuny1503@gmail.com, Departments of Transport and Technological Processes and Machines Empress Catherine II St. Petersburg Mining University.

Safiullin R. N. Dr.Sc., Professor, E-mail: safravi@mail.ru, Departments of Transport and Technological Processes and Machines Empress Catherine II St. Petersburg Mining University.

Sorvanov A.F., Departments of Transport and Technological Processes and Machines Empress Catherine II St. Petersburg Mining University.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF THE PASSENGER TRANSPORTATION PROCESS IN URBAN AGGLOMERATION

Abstract: The article proposes a formed method for assessing the efficiency of passenger transport systems based on the integration of fuzzy logic with a multi-criteria decision-making system. Addressing the limitations of traditional approaches in handling subjective and uncertain data, we propose a framework that synthesises economic, operational, social, environmental and safety criteria. The methodology employs Gaussian fuzzy membership functions and a rule-based inference system to quantify efficiency, enabling dynamic optimisation of transport routes. This approach provides transport operators with a scalable tool to improve service quality, sustainability and passenger satisfaction in urban mobility systems.

Keywords: public transport efficiency, fuzzy logic, multi-criteria decision making, sustainable mobility, intelligent transport systems.