



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

**Маренкова А.В.**

*ФГОБУ ВО "ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ", Москва, Россия (125167, город Москва, Ленинградский пр-кт, д. 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru*

В работе исследуются методы моделирования транспортных потоков. Проведен анализ существующих классификаций видов транспорта и методов моделирования. При построении прогнозных моделей в современных условиях приходится сталкиваться с тем, что имеется существенная доля неопределенности, обусловленная санкционным давлением и сложной политической и военной ситуацией. Основная идея заключается в создании новых моделей с применением сочетаний нескольких методов и нескольких этапов, которые позволяют добиться лучших результатов под конкретную задачу. Показано как применить теорию нечетких множеств и мягких вычислений для повышения качества прогнозирования.

Ключевые слова: Нечеткие числа, транспортные потоки, моделирование, авиаперевозки.

## MODELING OF TRAFFIC FLOWS USING FUZZY VARIABLES

**Marenkova A.V.**

*FINANCIAL UNIVERSITY UNDER THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION, Moscow, Russia (125167, Moscow, Leningradsky Prospekt, 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru*

The paper investigates methods of modeling traffic flows. The analysis of existing classifications of transport modes and modeling methods is carried out. When building forecasting models in modern conditions we have to face the fact that there is a significant share of uncertainty due to the sanctions pressure and complex political and military situation. The main idea is to create new models using combinations of several methods and several stages, which allow to achieve better results for a specific task. It shows how to apply the theory of fuzzy sets and soft computing to improve the quality of forecasting.

Keywords: Fuzzy numbers, transport flows, modeling, air transportation.

### Введение

Развитие транспортной инфраструктуры городов и не прекращающийся технический прогресс не только увеличивают пространственные рамки, но и снижают временные для преодоления расстояний по сравнению с прошлым. Другим результатом этого совершенствования можно посчитать растущее число транспорта для тех или иных видов, что все сильнее влияет на однообразность режимов движения, приводя к пробкам, инцидентам и техническим сбоям аппаратуры, отвечающей за регулирование маршрутов, а также может негативно сказываться на окружающей среде. Следовательно, возникает острая проблема в

необходимости организации управления транспортными потоками, для чего ведутся исследования методов их моделирования. Так, моделирование транспортных потоков относится к непростой задаче, требующей проведения целого ряда предварительных исследований для учёта разных факторов: тип перевозимого груза, вид используемого транспорта, преодолеваемое расстояние и применяемые методы. Сначала можно отметить, что эффективное выстраивание передвижения транспорта, в особенности, если объект перевозки – груз, а не пассажиры, является вопросом логистики, которая должна учитывать все вышеперечисленные факторы и принимать наиболее целесообразный путь. Исходя из этого, деления перевозок только на пассажирские и грузовые узконаправлено, необходимо производить еще сегментирование на виды, включающие автомобильные, воздушные, железнодорожные, морские, речные и трубопроводные перемещения [1]. Последние из них в данной работе рассматриваться не будут ввиду их специфики.

Отдельная область для анализа – классификация самих методов моделирования транспортных потоков. Авторы работы [2] приводят распределение подходов к моделированию по нескольким признакам. Общей классификацией можно назвать группировку моделей по уровню рассмотрения потоков: макроскопические модели – рассмотрение взаимодействия транспортов на глобальном уровне, используя в качестве переменных плотность и интенсивность потока, а также скорость, микроскопические модели – единиц транспорта, мезоскопические модели – их комбинация.

### **Методы моделирования**

Четкое понимание многоэтапности самого моделирования и важность привязки к конкретному виду транспорта описано далее. При моделировании транспортного потока необходимо создать его модель, формирующуюся из матрицы «отправление-назначение», что и является первоочередной задачей. В статье [3] с этой целью проводится литературный обзор с учётом хронологии и сферы применения – авиаперевозки. Как традиционный для автомобильного транспорта, отмечаются гравитационная модель, сравнивающая притяжение людей к определенным районам проживания или работы с физической силой притяжения масс, и энтропийная модель, стремящаяся привести поток к равновесию, что делает их неприменимыми к авиапотокам, отличающимися регулярностью. Основная идея заключается в создании новых моделей с применением сочетаний нескольких методов и нескольких этапов, которые позволяют добиться лучших результатов под конкретную задачу. Такая логика важна для понимания того, что формирование правильной матрицы «отправление – назначения» главным образом влияет на результат моделирования потока, что данный процесс требует учёта многих факторов.

Отдельным этапом в изучении моделирования потоков транспорта, можно считать обращение к теории нечетких множеств [3]. Понятие нечеткой логики известно с 1965 года, а с конца 80-х годов начало применяться в программных пакетах. Её применение даёт гибкость при принятии решений, увеличивая варианты ответа, кроме положительного или отрицательного, допускает учёт неопределённости. Сфера её применения широка – медицина, машиностроение, авиация, бытовая техника и т.д. [2]. Акцентируем внимание на обращении к данному подходу и комбинацию его с другими.

Рассмотрим вопросы моделирования с нечеткими переменными для морского и железнодорожного транспорта. Актуальность нечетких параметров для железных дорог заключается в улучшении движения высокоскоростных поездов. Для железной дороги, в частности высокоскоростных потоков, большое значение имеет оптимизация энергопотребления и режима движения для исключения риска задержки, увеличения энергоэффективности мер управления движением. Так, динамический алгоритм с нечеткими числами решает 2 проблемы и помогает машинисту в реальном времени оценивать маршрут с целью выявления отклонения от расписания и времени отставания для дальнейшего регулирования, что приводит к энергоэкономному и точному следованию поездов [4].

В координации морского транспорта нечёткая логика также нашла своё применение: для интеллектуального авторулевого с использованием эволюционных алгоритмов и алгоритмов машинного обучения [5], навигационной стратегии [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] и маневрирования автономными судами [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В работе [5] затрагивается проблема трудности применения традиционных систем управления ввиду случайности и наличия широкого диапазона изменения параметров системы и внешних воздействий. В качестве пути решения анализируют машинное обучение и эволюционные алгоритмы. Так, примерами применения нечёткой логики стали регулятор с адаптивной нейро-нечеткой системой вывода для удержания на курсе нефтяного танкера и нечёткий регулятор, настраиваемый эволюционным алгоритмом, для морских судов [5]. Принятие интеллектуальных решений выбора стратегии безопасной навигации в схеме разделения внутреннего движения, специфика которого заключается в смене судном полосы для обгона и последующем возвращении, также может быть основано на нечёткой логике [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В статье [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] трудность выбора маневра, эффективность принятия решений автономных судов, касающихся безопасности морского движения, и схожесть действий, определяемых моделью, с человеком решаются нечетким числами.

Нечёткая логика нашла широкое применение для дорог, т.е. разных наземных транспортов. Авторы работы [8] провели оценку применимости методологии количественной оценки уровня заторов на основе нечеткой логики для управления движением на скоростных автомагистралях. Входными данными являлись два нечетких входа – плотность (основной элемент транспортного потока) и скорость (показатель перегруженности - функция снижения скорости), а выходным – уровень загруженности. Применение нечёткой логики привносит гибкость оценки при смене характера движения. Нечёткая логика также взята за основу в исследовании [9] для оптимизации распределения транспортного потока и для прогнозирования транспортных потоков в реальном времени, путём представления значений в виде треугольных нечетких чисел и поиска числа, наиболее удовлетворяющего всем значениям [10]. Для выбора стратегии транзитных потоков в городах или районах с высокой частотой движения автобусов и/или низкой или средней интенсивностью движения может использоваться нечеткая логика типа 2 для поиска компромисса между транзитом и задержкой движения, где главный показатель эффективности – задержка пассажиров автомобилей и автобусов [11]. Необходимо добавить труды, которые содержат объединение нескольких подходов: метод, объединяющий нечеткие множества второго типа и интервальные нейтрософские множества, для управления дорожным движением и улучшенная функция

оценки в условиях неопределённости[12] и метод оценки индекса загруженности дорог, на основе системы нечеткого вывода, оптимизированной с помощью генетического алгоритма[13]. Есть подходы к моделированию транспортных потоков через перекрёстки: построение модели транспортного потока на перекрестке в виде уравнения множественной регрессии, включающую все рассматриваемые типы транспортных средств и построенную на основе методов нечеткой логики[14], последовательное исследование потока, собирающее данные на перекрестке от нейросетевых алгоритмов, кластеризирующее перекрестки и оценивающее влияние потока пешеходов и его непрерывности при помощи нечёткой логики[15], и использование трехэтапной модели нечетких решений для сигнализации дорожного движения в сочетании с сетевыми моделями[16]. Как упоминалось ранее, ряд работ нацелен на светофоры – оптимизацию работы светофора: для сокращения времени ожидания через нечёткую логику при учёте таких факторов как минимизация аварий и угроз человеческой жизни[17], для сокращения времени светофорного цикла на перекрестках через алгоритм, объединяющий нечеткий граф, нечеткое хроматическое число и нечеткую систему выводов [18] и для сокращения времени движения транспортных средств через имитационную и оптимизационную модели[19].

Применение моделирования транспортных потоков в аэропортах имеет более широкий разброс по цели решаемых задач: планирование авиаперевозок и определение новых востребованных маршрутов через нечёткую логику[3], принятие решений в случае образования заторов через интегрированную нечеткую многокритериальную модель для исключения отклонений от расписания и негативных эмоций об аэропорте от пассажиров[20] и разработку модели потока движения будущего маловысотного воздушного городского транспорта, учитывающей передвижение транспорта в сети[21].

### **Заключение**

В заключение следует сказать о том, что нечёткая логика нашла широкое применение для моделирования транспортных потоков в разных сферах. Правильная организация потоков влияет не только на возникновение пробок, но и на безопасность, расход топлива, потерю времени, окружающую среду и т.д. Модели были апробированы на конкретных географических участках. Практическое применение методов мягких вычислений может решить проблему возникновения заторов для разных видов транспортов. Важным фактором для широкого использования моделирования с нечеткими переменными может стать общедоступность специализированного программного обеспечения для проведения вычислений с нечеткими числами.

### **Список литературы**

1. Тацицина Е. С. Развитие логистической системы в авиационном секторе // Бизнес-образование в экономике знаний.–2020.–№.1–С.66-68.
2. Недак А. В., Рудзейт О. Ю., Зайнетдинов А. Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков // Вестник евразийской науки.–2019.–Т.11.–№.6.
3. Sudakov, V. Improving Air Transportation by Using the Fuzzy Origin–Destination Matrix. *Mathematics* 2021, 9, 1236. [https:// doi.org/10.3390/math9111236](https://doi.org/10.3390/math9111236)

4. Fernández-Rodríguez A., Fernández-Cardador A., Cucala A. P. Balancing energy consumption and risk of delay in high speed trains: A three-objective real-time eco-driving algorithm with fuzzy parameters // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*.–2018.–Т.95.–С.652-678.
5. Машинное обучение нейросетевого классификатора для интеллектуального авторулевого на нечеткой логике / Н. А. Седова, Р. И. Баженов, А. С. Дорофеев, С. В. Глушков // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*.–2022.–№1.–С.109-115.–DOI10.37882/2223-2966.2022.01.31. – EDN CLCHUK.
6. Ву Б. и др. Динамическая система принятия решений на основе нечеткой логики для интеллектуальной навигационной стратегии в рамках схем разделения внутреннего движения // *Океанология*.–2020.–Т.197.–С.106909.
7. Сюэ Дж. и др. Многоаспектный метод принятия решений для определения приоритетов безопасности морского движения, влияющих на факторы принятия решений автономными судами о маневрировании, с использованием теорий греша и нечеткости // *Наука о безопасности*.–2019.–Т.120.–С.323-340.
8. Трин Динь Тоан, Ю.Д. Вонг Методология количественной оценки заторов на дорогах, основанная на нечеткой логике // *Физика А: статистическая механика и ее приложения* 3 февраля 2021 г. Том 570 (дата публикации: 15 мая 2021 г.)Статья 125784
9. Темелкан Г., Кокен Х. Г., Албайрак И. Нечеткое моделирование задачи оптимального распределения трафика статической системы с несколькими парами отправления и назначения // *Науки социально-экономического планирования*.–2021.–С.101024.
10. Ахмед Дж. С., Мохаммед Х. Дж., Чалуб И. З. Применение метода нечеткой многоцелевой дефаззификации для решения транспортной задачи // *Материалы сегодня: Труды*.–2021.
11. Йованович А., Теодорович Д. Стратегия транзитного приоритета на основе нечеткой логики 2-го типа // *Экспертные системы с приложениями*.–2022.–Т.187.–С.115875.
12. Нагараджан Д. и др. Новый взгляд на управление дорожным движением с использованием треугольных интервальных нечетких множеств типа 2 и интервальных нейтрософских множеств // *Перспективы исследования операций*.–2019.–Т.6.–С.100099.
13. Тишлярич Л. и др. Система нечеткого вывода для оценки индекса загруженности на основе распределений вероятностей скорости // *Transportation Research Procedia*.–2021.–Т.55.–С.1389-1397.
14. Глушков А. и др. Анализ пропускной способности перекрестка при изменении структуры транспортного потока // *Transportation Research Procedia*.–2021.–Т.57.–С.192-199.
15. Моделирование пропускной способности узлов транспортной городской сети на основе методов нечеткой логики / В. Д. Шепелев, А. И. Глушков, И. С. Слободин [и др.] // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. – 2021. – Т. 15. – № 4. – С. 181-187. – DOI 10.14529/em210419. – EDN IMAPPK
16. Балта М., Озчелик И. Трехэтапная модель дерева нечетких решений для оптимизации светофоров в городских условиях с помощью архитектуры VANET на основе SDN // *Компьютерные системы будущего поколения*.–2020.–Т.104.–С.142-158.

17. Ямуна В., Пракаш К. А. Нечеткая раскраска инцидентности для мониторинга транспортного потока с минимальным временем ожидания // Экспертные системы с приложениями. – 2021. – Т. 186. – С. 115664.
18. Росида И. и др. Алгоритмы Matlab для назначения светофора с использованием нечеткого графа, нечеткого хроматического числа и системы нечеткого вывода // MethodsX. – 2020. – Т. 7. – С. 101136.
19. Моделирование и оптимизация светофоров для движения транспортных средств в зонах с интенсивным движением / Луис Рамирес-Поло, Мигель А. Хименес-Баррос, Владимир Варела Нарваес, Карлос Пароди Даса // Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 198. – С. 548-553
20. Бонго М. Ф., Окампо Л. А. Гибридный нечеткий подход MCDM для снижения загруженности аэропортов: пример международного аэропорта имени Ниноя Акино // Журнал управления воздушным транспортом. – 2017. – Т. 63. – С. 1-16.
21. Хаддад Дж., Миркин Б., Ассор К. Моделирование транспортных потоков и управление с обратной связью для будущего низковысотного воздушного городского транспорта: подход, основанный на MFD // Исследование транспорта, часть С: Новые технологии. – 2021. – Т. 133. – С. 103380.

## References

1. Tatsishchina E. S. Development of the logistics system in the aviation sector // Business education in the knowledge economy. - 2020. – No. 1 – pp. 66-68.
2. Nedyak A.V., Rudzeit O. Yu., Zainetdinov A. R. Classification of methods for modeling traffic flows // Bulletin of Eurasian Science. – 2019. – Vol. 11. – No. 6.
3. Sudakov, V. Improving Air Transportation by Using the Fuzzy Origin–Destination Matrix. Mathematics 2021, 9, 1236. <https://doi.org/10.3390/math9111236>
4. Fernández-Rodríguez A., Fernández-Cardador A., Cucala A. P. Balancing energy consumption and risk of delay in high speed trains: A three-objective real-time eco-driving algorithm with fuzzy parameters // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2018. – Vol. 95. – pp. 652-678.
5. Machine learning of a neural network classifier for intellectual autopilot on fuzzy logic / N. A. Sedova, R. I. Bazhenov, A. S. Dorofeev, S. V. Glushkov // Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences. – 2022. – № 1. – pp. 109-115. – DOI 10.37882/2223-2966.2022.01.31. – EDN KLCHUK.
6. Wu B. et al. Dynamic decision-making system based on fuzzy logic for intellectual navigation strategy within the framework of internal motion separation schemes. – 2020. – Т. 197. – pp. 106909.
7. Xue J. A multidimensional decision-making method for prioritizing maritime traffic safety, influencing decision-making factors by autonomous vessels on maneuvering, using Gray's theories and fuzziness // Safety Science. – 2019. – Т. 120. – pp. 323-340.
8. Trinh Dinh Toan, Y.D. Wong Fuzzy logic-based methodology for quantification of traffic congestion // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 3 February 2021 Volume 570 (Cover date: 15 May 2021) Article 125784

9. Temelcan G., Kocken H. G., Albayrak I. Fuzzy modelling of static system optimum traffic assignment problem having multi origin-destination pair //Socio-Economic Planning Sciences. – 2021. – pp. 101024.
  10. Ahmed J. S., Mohammed H. J., Chalooob I. Z. Application of a fuzzy multi-objective defuzzification method to solve a transportation problem //Materials Today: Proceedings. – 2021.
  11. Jovanović A., Teodorović D. Type-2 fuzzy logic based transit priority strategy //Expert Systems with Applications. – 2022. – Т. 187. – pp. 115875.
  12. Nagarajan D. et al. A new perspective on traffic control management using triangular interval type-2 fuzzy sets and interval neutrosophic sets //Operations Research Perspectives. – 2019. – Т. 6. – pp. 100099.
  13. Tišljarić L. et al. Fuzzy Inference System for Congestion Index Estimation Based on Speed Probability Distributions //Transportation Research Procedia. – 2021. – Т. 55. – С. 1389-1397.
  14. Glushkov A. et al. Analysis of the intersection throughput at changes in the traffic flow structure //Transportation Research Procedia. – 2021. – Т. 57. – pp. 192-199.
  15. Modeling the throughput capacity of transport city network nodes based on fuzzy logic methods / V. D. Shepelev, A. I. Glushkov, I. S. Slobodin [i dr.] // Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. – 2021. – Т. 15. – № 4. – pp. 181-187. – DOI 10.14529/em210419. – EDN IMAPPK
  16. Balta M., Özçelik İ. A 3-stage fuzzy-decision tree model for traffic signal optimization in urban city via a SDN based VANET architecture //Future Generation Computer Systems. – 2020. – Т. 104. – pp. 142-158.
  17. Yamuna V., Prakash K. A. A fuzzy incidence coloring to monitor traffic flow with minimal waiting time //Expert Systems with Applications. – 2021. – Т. 186. – pp. 115664.
  18. Rosyida I. et al. Matlab algorithms for traffic light assignment using fuzzy graph, fuzzy chromatic number, and fuzzy inference system //MethodsX. – 2020. – Т. 7. – pp. 101136.
  19. Simulation and Optimization of Traffic Lights For Vehicles Flow in High Traffic Areas / Luis Ramirez-Polo, Miguel A. Jimenez-Barros, Vladimir Varela Narváez, Carlos Parodi Daza //Procedia Computer Science. – 2022. – Т. 198. – pp. 548-553
  20. Bongo M. F., Ocampo L. A. A hybrid fuzzy MCDM approach for mitigating airport congestion: A case in Ninoy Aquino International Airport //Journal of Air Transport Management. – 2017. – Т. 63. – pp. 1-16.
  21. Haddad J., Mirkin B., Assor K. Traffic flow modeling and feedback control for future Low-Altitude Air city Transport: An MFD-based approach //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2021. – Т. 133. – pp. 103380.
-