

УДК 004.89:005.934:656.056.4(470.56-25)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРНЫМ ОБЪЕКТОМ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

И. П. Болодурина¹, С. Т. Дусакаева², А. И. Агапова³, А. Р. Иликаева⁴

¹prmat@mail.osu.ru, ²slushashdusakaeva@rambler.ru, ³agapova_200@mail.ru, ⁴alsu.ilikaeva.00@mail.ru

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» (ОГУ)

Поступила в редакцию 29 октября 2021 г.

Аннотация. Предложен основанный на нечеткой модели Мамдани подход к процессу создания системы управления, регулирующей время работы светофорного объекта в режиме зеленого света в зависимости от количества подъезжающих к перекрестку машин. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена сложной обстановкой, сложившейся на дорогах Оренбургской области. По мнению экспертов, большая часть дорожно-транспортных происшествий (ДТП) концентрируется на нерегулируемых перекрестках, что свидетельствует о необходимости установки светофорных объектов на опасных участках. Помимо этого насыщенная логистика пассажирских и грузовых перевозок усугубляет сложившееся положение, что влечет за собой ухудшение условий движения и приводит к росту числа ДТП. Задача регулирования времени работы светофорного объекта в режиме зеленого света в зависимости от количества подъезжающих к перекрестку машин относится к задаче принятия решений в условиях неопределенности. Нечеткий характер интенсивности движения на перекрестках дает право применять аппарат нечеткой логики в качестве инструмента для разработки системы управления светофорным объектом.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие; перекресток; светофорный объект; нечеткая система; алгоритм Мамдани; правила нечеткого вывода.

ВВЕДЕНИЕ

По ряду экономических, технических и социальных причин неуклонно возрастает количество автолюбителей на дорогах. Согласно статистическим данным [1], ежегодно количество автовладельцев увеличивается, что свидетельствует о высоком темпе роста продаж транспортных средств. В частности, в Оренбургской области на 1000 человек приходится около 290 автомобилей [2]. Очевидно, что увеличение количества участников дорожного движения значительно повышает риски создания аварийных ситуаций на дорогах. Помимо этого насыщенная логистика пассажирских и грузовых перевозок усугубляет сложив-

шееся положение, что влечет за собой ухудшение условий движения и приводит к росту числа ДТП.

Затрудненное движение автотранспорта на дорогах Оренбургской области, выражающееся в ежедневных пробках, свидетельствует о том, что местная инфраструктура транспорта не справляется с упомянутыми темпами роста.

По статистическим данным на перекрестках концентрируется более 30 % всех дорожно-транспортных происшествий, поэтому проблема регулирования перекрестков светофорными объектами остается по-прежнему актуальной. По мнению экспертов, большая часть ДТП концентрируется

на нерегулируемых перекрестках, что свидетельствует о необходимости установки светофорных объектов на опасных участках.

Однако слабая изученность задач автоматизации организационно-техническими системами, отсутствие методов синтеза интеллектуальных систем управления организационно-техническими системами обуславливают необходимость научных исследований в данном направлении [3].

Нечеткий характер интенсивности движения транспортных средств обосновывает применение к процессу моделирования рассматриваемой организационно-технической системы нечеткой модели типа Мамдани.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРНЫМ ОБЪЕКТОМ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ

Нечеткие множества и нечеткая логика послужили основой для создания огромного количества методов и алгоритмов для управления объектами, свойства которых описаны лишь качественно в нематематической форме [4–9]. На основе теории нечетких множеств разработаны методы синтеза нечетких регуляторов. Кроме того, нечеткий подход используется для перенастройки систем управления в нестандартных, в том числе аварийных производственных ситуациях [10].

Отдельные нечеткие системы управления применяются для воспроизведения действий человека-оператора в системах организационного и организационно-технического управления верхнего уровня для контроля, диагностики и оптимизации сложного технологического объекта управления [11].

Рассматриваемая в рамках данной статьи организационно-техническая система обладает практически всеми перечисленными свойствами, поэтому использование аппарата нечеткой логики к созданию системы управления ею является перспективным направлением.

Разработаем систему управления светофорным объектом, которая будет регулировать время работы светофора в режиме зеленого света в зависимости от количества приближающихся к перекрестку машин. Согласно источникам [12, 13], традиционно

система нечеткого вывода по типу Мамдани реализуется по схеме, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Схема этапов нечеткого вывода

Рассмотрим работу нечеткого светофорного объекта на перекрестке улиц Север-Юг (СЮ) и Запад-Восток (ЗВ). Общая схема рассматриваемой ситуации приведена на рис. 2.

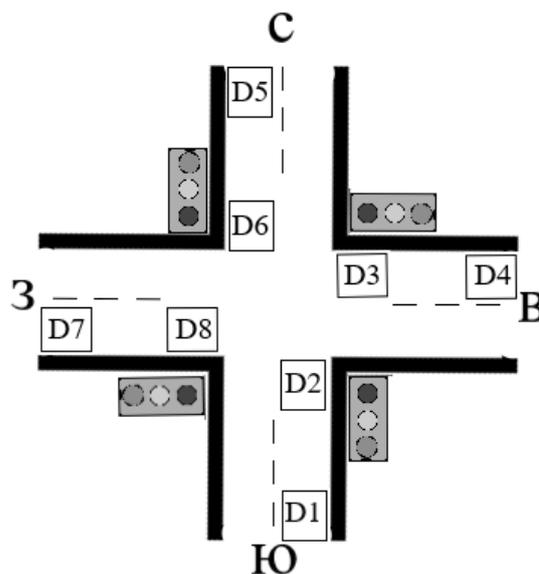


Рис. 2. Расположение датчиков на перекрестке

Из рис. 2 видно, что для регулирования интенсивности движения транспортных средств нужно установить 8 датчиков, которые фиксируют количество проезжающих мимо машин.

Для работы нечеткого светофорного объекта воспользуемся разностями показаний четырех пар датчиков: (D1–D2), (D3–D4), (D5–D6) и (D7–D8). То есть, когда на улице СЮ горит зеленый свет, машины проезжают мимо датчиков, показания которых в этот момент равны: $D1 = D2$ и $D5 = D6$. В это время на ЗВ автомобили, проехавшие датчики D4 и D7, останавливаются перед датчиками D3 и D8 [3]. Общее количество машин на данной улице можно посчитать следующим образом: $(D4 - D3) + (D7 - D8) = (D4 - 0) + (D7 - 0) = D4 + D7$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Так как на работу нечеткого светофорного объекта влияет число машин на двух улицах и текущее время работы зеленого света, то в системе можно рассмотреть следующие входные переменные: фаза светофора (время работы зеленого света нечеткого светофорного объекта); интенсивность на улице СЮ (число автомобилей по окончании цикла на улице СЮ); интенсивность на улице ЗВ (число автомобилей по окончании цикла на улице ЗВ).

Целью создания нечеткой системы управления является регулирование перекрестков светофорными объектами, поэтому в качестве выходного параметра выбирается управляющий сигнал, призванный разгрузить интенсивность движения на перекрестке и выражающийся изменением фазы работы светофора. Значит, в качестве выходного параметра следует выбрать изменение фазы.

ВЫБОР ТЕРМ-МНОЖЕСТВ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ И ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

При определении терм-множеств выбираем 3–5 возможных значений [14, 15].

Сформируем для введенных лингвистических переменных соответственно базовые терм-множества:

– Терм-множество T1 = {Малое, Среднее, Большое} или в символьном виде {М, С, Б};

– Терм-множество T2 = {Очень малое, Малое, Среднее, Большое, Очень большое} или в символьном виде {Ом, М, С, Б, Об};

– Терм-множество T3 = {Очень малое, Малое, Среднее, Большое, Очень большое} или в символьном виде {Ом, М, С, Б, Об};

– Терм-множество T4 = {Уменьшить, Не менять, Увеличить} или в символьном виде {Ум, Нм, Ув}.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРАВИЛ РАБОТЫ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ

Сформулируем правила работы нечеткой системы на основе данных о работе светофорных объектов. Например, если время зеленого света на улице СЮ большое, на улице СЮ количество машин выражает-

ся малым числом, на улице ЗВ количество машин выражается большим числом, то время зеленого света следует уменьшить.

Для эффективной работы системы регулирования светофорного объекта сформулировано 50 нечетких правил, основанных на мнениях экспертов. На рис. 3 приведено окно просмотра правил.

Для наглядности и удобства восприятия нечеткие правила вывода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Правила нечеткого вывода

№	Фаза светофора	Интенсивность движения на улице СЮ	Интенсивность движения на улице ЗВ	Изменить фазу
1	М	Ом	Ом	Ум
...				
2	С	Б	Ом	Нм
5				
...				
5	Б	Об	Об	Ув
0				

На рис. 3 представлены правила нечеткого вывода в браузере FIS редактора.

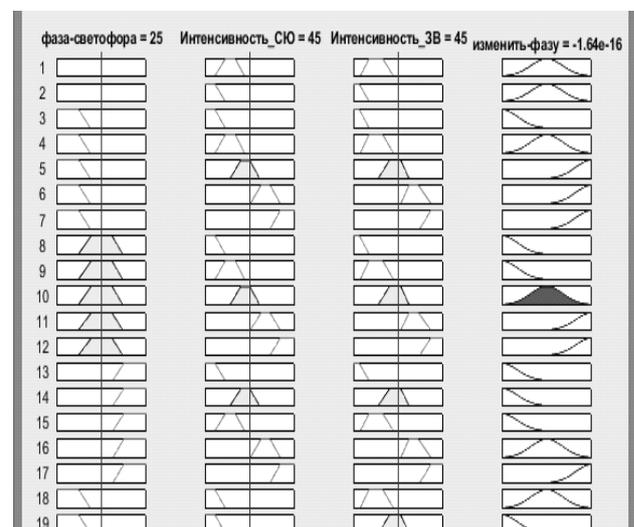


Рис. 3. Просмотр логических правил в браузере FIS редактора

В основу исследовательской работы предлагаемой системы управления светофорным объектом положен алгоритм Мамдами [6, 8, 9], реализуемый приведенной ниже формулой:

$$\mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}.$$

АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

В ходе применения метода Мамдани создана система управления, которая регулирует время работы светофорного объекта в режиме зеленого света в зависимости от количества подъезжающих к перекрестку машин.

Разработанная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики модель позволяет регулировать работу светофорного объекта в режиме зеленого света в зависимости от количества подъезжающих к перекрестку машин.

На рис. 4 приведена практическая реализация нечеткого вывода системы управления светофорным объектом.

В частности, из построенной на основе нечеткого вывода поверхности, можно заключить, что если время работы зеленого света на улице СЮ выражается малым числом, количество машин на улице СЮ выражается малым числом, количество машин на улице ЗВ выражается очень малым числом, то время зеленого света следует уменьшить.

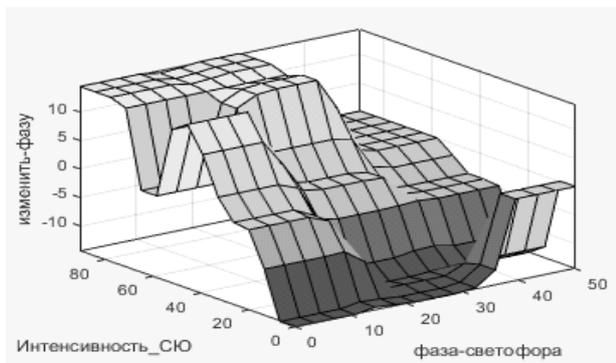


Рис. 4. Характеристика нечеткого регулятора по параметрам интенсивность движения по направлениям СЮ – ВЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы предложен подход к решению актуальной социально-экономической проблемы управления организационно-технической системы, выбран и обоснован метод решения, разработана и апробирована нечеткая модель управления, получены и интерпретированы результаты исследования.

Повышение эффективности функционирования организационно-технической системы за счет регулирования протекающих процессов на основе удачно использованной модели позволяет разгрузить интенсивность движения автомобилей на улицах, что в свою очередь повлечет улучшение дорожной ситуации и предотвращение части происшествий на дорогах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-01065, а также гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-2502.2020.9)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Независимый** информационный портал Оренбуржья. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ural56.ru/news/516830/> (дата обращения 28.08.2021). [Independent information portal of the Orenburg region (2021, Aug. 28). [Online]. Available: <https://www.ural56.ru/news/516830/>]
2. **Новостной** портал Оренбурга. [Электронный ресурс]. URL: <https://56orb.ru/news/society/21-08-2013\orenburzhie-biet-rekordy-po-kolichestvu-avto?amp=1> (дата обращения 28.08.2021). [Orenburg news portal (2021, Aug. 28). [Online]. Available: <https://56orb.ru/news/society/21-08-2013\orenburzhie-biet-rekordy-po-kolichestvu-avto?amp=1>]
3. **Антамошин А. Н.** Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под ред. проф. А. А. Большакова. М.: Горячая линия – Телеком, 2016. 160 с. [A. N. Antamoshin, *Intelligent management systems of organizational and technical systems*, (in Russian). A. A. Bolshakov (ed.). Moscow: Goryachaya liniya - Telecom, 2016.]
4. **Болодурина И. П., Дусакаева С. Т.** Учет метода экспертных оценок в интеллектуальной системе поддержки принятия решений о приобретении печатного издания в библиотечный фонд вузовской библиотеки // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. № 9 (1). С. 1–10. [I. P. Bolodurina, S. T. Dusakaeva, "Taking into account the method of expert assessments in the intellectual decision support system for the purchase of a printed publication in the library fund of the university library", (in Russian), in *Modelirovaniye, optimizaciya i informacionniye tehnologii*, no. 9 (1), pp. 1-10, 2021.]
5. **Болодурина И. П., Дусакаева С. Т.** Моделирование процесса принятия решений при открытии нового офиса продаж сотовой связи в нечетких условиях // Труды VIII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых) «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений». Уфа: УГАТУ, 2020. Т. 1. С. 15–18. [I. P. Bolodurina, S. T. Dusakaeva, "Modeling the decision-making process when opening a new cellular sales office in fuzzy conditions", (in Russian), in *Mate-*

rials of the VIII All-Russian Scientific Conference (with the invitation of zsa Rubezh scientists) "Information technologies of intellectual decision-making support", 2020, vol. 1, pp. 15-18.]

6. **Болодурина И. П., Дусакаева С. Т.** Модели и методы принятия решений при заказе востребованной учебной литературы в процессе комплектования библиотечного фонда // *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9, № 3 (33). С. 369–381. [I. P. Bolodurina, S. T. Dusakaeva, "Models and methods of decision-making when ordering popular educational literature in the process of completing the library fund", (in Russian), in *Ontologiya proektirovaniya*, vol. 9, no. 3 (33), pp. 369-381, 2019.]

7. **Дусакаева С. Т., Агапова А. И., Иликаева А. Р.** Создание системы управления светофорного объекта на основе нечеткого вывода Мамдани // *Символ науки*. 2021. № 4. С. 28–31. [S. T. Dusakaeva, A. I. Agapova, A. R. Ilikaeva, "Creation of a traffic light control system based on the fuzzy output of Mamdani", (in Russian), in *Simvol Nauki*, no. 4, pp. 28-31, 2021.]

8. **Хохлова К. В., Богданова Д. Р., Юсупова Н. И.** Поддержка принятия решений при реинжиниринге бизнес-процессов управления пробками в испытательной лаборатории // *Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений* : тр. VIII Всерос. науч. конф. (с приглашением зарубежных ученых), (Уфа, 6–9 окт. 2020) в 2 т. Уфа: УГАТУ, 2020. Т. 1. С. 164–168. [K. V. Khokhlova, D. R. Bogdanova, N. I. Yusupova, "Decision support during reengineering of sample management business processes in the testing laboratory", (in Russian), in *Information technologies of intellectual decision-making support* : tr. VIII All-Russian Scientific Conference (with the invitation of zsa Rubezh scientists), 2020, vol. 1, pp. 164-168.]

9. **Юсупова Н. И., Шахмаметова Г. Р.** Интеграция инновационных информационных технологий : теория и практика // *Вестник УГАТУ*. 2010. Т. 14, № 4 (39). С. 112–118. [N. I. Yusupova, G. R. Shakhmametova, "Integration of innovative information technologies : theory and practice", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 14, no. 4 (39), pp. 112-118, 2010.]

10. **Зак Ю. А.** Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 352 с. [Yu. A. Zak, *Decision-making in the conditions of fuzzy and blurred data: Fuzzy technologies*, (in Russian). Moscow: Knizhnyj dom "LIBROCOM", 2013.]

11. **Болодурина И. П., Дусакаева С. Т.** Введение в теорию нечетких множеств и систем: учеб. пособие. Оренбург: ОГУ, 2021. 172 с. [I. P. Bolodurina, S. T. Dusakaeva, *Introduction to the theory of fuzzy sets and systems: textbook*, (in Russian). Orenburg: OGU, 2021.]

12. **Круглова Т. Н.** Методы нечеткой логики в нефтегазовой отрасли: учебно-методическое пособие. Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2015. 42 с. [T. N. Kruglova, *Fuzzy logic methods in the oil and gas industry*, (in Russian). Novochech-kassk: YURGTU (NPI), 2015.]

13. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 736 с. [A. V. Leonenkov, *Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH*, (in Russian), St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2003.]

14. **Шифрин Б. М.** Принятие решений в условиях неопределенности: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. 60 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/179186> (дата обращения 20.09.2021). [B. M. Shifrin (2021, Sep. 20), *Decision-making in*

conditions of uncertainty: study guide, (in Russian). [Online]. Saint Petersburg: SPbGLTU, 2021. Available: <https://e.lanbook.com/book/179186>]

15. **Веремчук Н. С.** Элементы теории принятия решений: учебно-методическое пособие. Омск: СибАДИ, 2021. 54 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/179224> (дата обращения 20.09.2021). [N. S. Veremchuk (2021, Sep. 20), *Elements of decision theory* (in Russian), [Online]. Омск: SibADI, 2021. Available: <https://e.lanbook.com/book/179224>]

ОБ АВТОРАХ

БОЛОДУРИНА Ирина Павловна, зав. каф. прикладной математики Оренбургского государственного университета. Дипл. математик (Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, 1993). Д-р техн. наук по управлению в соц. и экон. сист. (ЮрГУ, 2003), проф. Иссл. в обл. цифровых интеллектуальных технологий для распределенной обработки больших данных и управления в организационно-технических системах.

ДУСАКАЕВА Слушаш Тугайбаевна, доц. каф. прикладной математики Оренбургского государственного университета. Дипл. математик (Оренбургский государственный педагогический университет им. В. П. Чкалова, 1999). Канд. техн. наук по управлению в соц. и экон. сист. (УГАГУ, 2019). Иссл. в обл. интеллектуальных технологий поддержки принятия решений в организационно-технических системах.

АГАПОВА Алена Игоревна, студент гр. 18ПМИ(ба)ОП ф-та математики и информационных технологий Оренбургского государственного университета. Иссл. в обл. интеллектуальных технологий поддержки принятия решений в организационно-технических системах в нечетких условиях.

ИЛИКАЕВА Алсу Римовна, студент гр. 18ПМИ(ба)ОП ф-та математики и информационных технологий Оренбургского государственного университета. Иссл. в обл. интеллектуальных технологий поддержки принятия решений в организационно-технических системах в нечетких условиях.

METADATA

Title: Intellectualization of the process of controlling a traffic light object in fuzzy conditions.

Authors: I. P. Bolodurina¹, S. T. Dusakaeva², A. I. Agapova³, A. R. Ilikaeva⁴

Affiliation: Orenburg State University (OSU), Russia.

Email: ¹prmat@mail.osu.ru, ²slushashdusakaeva@rambler.ru, ³agapova_200@mail.ru, ⁴alsu.ilikaeva.00@mail.ru

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 3, no. 3 (7), pp. 59-64, 2021. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: Realization The article proposes an approach based on the fuzzy Mamdani model to the process of creating a control system that regulates the operating time of a traffic light object in green light mode, depending on the number of cars approaching the intersection. The urgency of the problem under consideration is due to the difficult situation that has developed on the roads of the Orenburg region. According to experts, most of the traffic accidents

are concentrated at unregulated intersections, which indicates the need to install traffic lights in dangerous areas. In addition, the saturated logistics of passenger and cargo transportation aggravates the current situation, which leads to a deterioration of traffic conditions and leads to an increase in the number of accidents. The task of regulating the operating time of a traffic light object in the green light mode, depending on the number of cars approaching the intersection, relates to the task of decision-making in conditions of uncertainty. The fuzzy nature of the traffic intensity at intersections gives the right to use the fuzzy logic apparatus as an instrument for the development of a traffic light control system.

Key words: traffic accident; intersection; traffic light object; fuzzy system; Mamdani algorithm; fuzzy inference rules.

About authors:

BOLODURINA, Irina Pavlovna, Head of the Dept. of Applied Mathematics of Orenburg State University. Degree in Mathematics (Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky, 1993). Dr of Tech. Sci. in Management in Social and Economic Systems (Susu, 2003), Prof. Research in the field of digital intelligent technologies for distributed big data processing and management in organizational and technical systems.

DUSAKAEVA, Slushash Tugaibaevna, Assoc. Prof., Dept. of Applied Mathematics of Orenburg State University. Degree in Mathematics (Orenburg State Pedagogical University named after V.P. Chkalov, 1999). Cand. of Tech. Sci. in Management in Social and Economic Systems (UGATU, 2019). Research in the field of intelligent decision support technologies in organizational and technical systems.

AGAPOVA, Alyona Igorevna, student of group 18PM And (ba)OP of the Faculty of Mathematics and Information Technologies of Orenburg State University. Research in the field of intelligent decision support technologies in organizational and technical systems in fuzzy conditions.

ILIKAEVA, Alsu Rimovna, student of group 18PM And (ba)OP of the Faculty of Mathematics and Information Technologies of Orenburg State University. Research in the field of intelligent decision support technologies in organizational and technical systems in odd conditions.