

Научная статья
УДК 004.414.23
doi: 10.17586/2713-1874-2022-4-58-65

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

*Гулмет Мухаммедович Пенаев¹, Ровшен Батыр оглы Хыдыров²✉,
Силапберди Овезалиевич Мередов³, Шыхмурат Аннагельдиевич Шыхыев⁴*

^{1,2,3,4}Институт инженерно-технических и транспортных коммуникаций Туркменистана, Ашгабат, Туркменистан

¹tit.we.uki@gmail.com

²hyd.row@yandex.ru ✉

³hydyrow.rh@gmail.com

⁴shyhmyratshyhyyev@gmail.com

Язык статьи – русский

Аннотация: В работе рассматривается модель управления улично-дорожной сетью с выбором алгоритма адаптивных систем управления для более эффективного решения проблемы управления транспортными средствами на перекрестке. С этой целью в светофорном объекте используется нечеткая модель управления для усиления пропускной способности перекрёстка.

Реализация нечеткой логики имеет большие перспективы в сфере нечеткого управления сложными техническими системами. Несмотря на исследования, проведенные в области моделирования и оптимизации транспортных потоков, использование нечеткой логики в дорожном проектировании все еще находится в стадии разработки. Адаптивные системы управления были разработаны с использованием шести параметров: количество транспортных средств, интенсивность движения, коэффициент сцепления автомобильных шин с дорожным покрытием, скорость движения на дороге для автомобилей, количество полос дороги и количество пешеходов. При наличии этих шести параметров в нечетком управлении синхронизацией сигнала с использованием механизма вывода Мамдани может быть установлено правило вывода, в соответствии с которым будет принято решение об изменении зеленой фазы светофора в следующем цикле.

Ключевые слова: адаптивные системы управления, алгоритм, нечеткий логика, модель, перекресток, транспортные потоки

Ссылка для цитирования: Пенаев Г.М., Хыдыров Р.Б., Мередов С.О., Шыхыев Ш.А. Адаптивные системы управления объектами транспортной инфраструктуры // Экономика. Право. Инновации. 2022. № 4. С. 58–65. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-4-58-65>.

ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES

Gulmet M. Penayev¹, Rovshen B. Hydyrov²✉, Silapberdi O. Meredov³, Shyhmyrat A. Shyhyyev⁴

^{1,2,3,4}Institute of Engineering-Technical and Transport Communications of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan

¹tit.we.uki@gmail.com

²hyd.row@yandex.ru ✉

³hydyrow.rh@gmail.com

⁴shyhmyratshyhyyev@gmail.com

Article in Russian

Abstract: The paper considers a road network control model with the choice of an algorithm for adaptive control systems. Determining a more effective solution to the problem of driving vehicles at an intersection with reduced waiting time is one of the main features. In this regard, the use of a fuzzy control model in a traffic light object strengthens the capacity of the intersection.

The implementation of fuzzy logic has great prospects in the field of fuzzy control of complex technical systems. Despite the research conducted in the field of modeling and optimization of traffic flows, many applications of fuzzy logic in road design are still under development and can often be used to determine traffic light signals. Adaptive control systems were developed in accordance with six parameters: the number of vehicles, traffic intensity, the coefficient of adhesion of car tires to the road surface, the speed of traffic on the road for cars, road lanes and the number of pedestrians. In the presence of these sixth parameters, in the fuzzy control of signal synchronization using the Mamdani out-

put mechanism, an output rule can be established, according to which a decision will be made to change the green phase in the next cycle.

Keywords: adaptive control systems, algorithm, fuzzy logic, intersection, model, traffic flows

For citation: Penayev G.M., Hydyrov R.B., Meredov S.O., Shyhyyev Sh.A. Adaptive Control Systems for Transport Infrastructure Facilities. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2022. No. 4. pp. 58–65. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2022-4-58-65>.

Введение. Специалисты в сфере фундаментальных и прикладных наук обширно исследуют проблемы транспортных потоков, и, несмотря на достигнутый опыт, транспортные потоки относятся к малоизученным и малоисследованным группам. Регулирование и контроль за дорожным движением становится серьезной проблемой во многих странах, так как увеличивающееся количество транспортных средств способствовало возникновению пробок на дорогах. Существует множество факторов, которые приводят к пробкам на дорогах, такие как плотность движения транспортных средств, система светофоров и привычки людей. Одним из основных факторов является система светофоров, которая управляет движением на перекрестке. Считается, что при эффективном регулировании дорожного движения на перекрестке можно повысить общую пропускную способность перекрестка и производительность городской транспортной сети. В результате разнообразные задачи, относящиеся к транспортным потокам, считаются значительными и необходимыми для решения [1]. Было предложено множество идей для решения проблемы пробок.

В данной работе использовалась теория нечетких множеств для адаптивных систем управления. При управлении техническими системами адаптивная система управления позволяет принять более оптимальные решения, чем при использовании аналитических моделей [1, 2]. Смысл управления заключается в том, чтобы увеличить результативность соотношения между временем прибытия транспортного средства к перекрестку и временем срабатывания сигналов светофора. Постоянность времени предупреждающих сигналов в одном цикле обыкновенного светофора может вызвать трудности в движении транспортных средств, создавая больше пробки. Применение адаптивных

систем управления с нечеткой логикой может устранить эту проблему во время часа пик.

Адаптивные системы управления – это светофорные объекты с нечеткой логикой, в которых время зеленого сигнала циклически меняется в зависимости от количества автомобилей, приближающихся к перекрестку [3, 4].

Цель и метод исследования. Целью данного исследования является нахождение более оптимального решения проблемы управления транспортным потоком с использованием современных интеллектуальных технологий. Решение предусматривает учет всех показателей, влияющих на пропускную способность регулируемых перекрестков. Для метода разработки адаптивных систем управления для светофора крестообразного перекрестка использовался инструмент нечеткой логики, доступный в MATLAB, и нечеткая модель по алгоритму Мамдани, применяемая для исследования эффективности контроллера светофора на основе различных характеристик трафика, таких как время ожидания, плотность и т.д. В ходе исследования были изучены научные публикации зарубежных авторов, а также функциональность программного обеспечения.

Литературный обзор. В данном разделе мы рассматриваем исследовательские работы [4–11] в области управления светофорами. Первая попытка спроектировать нечеткий контроллер дорожного движения была предпринята в 70-х годах Папписом и Мамдани [5]. После этого Нииттимаки, Кикучи, Чуи и другие исследователи [6] разрабатывали различные алгоритмы и логические контроллеры для нормализации транспортного потока. Келси Р. и Биссет К. также создали симулятор для управления сигналом на изолированном перекрестке с одной полосой движения. Та же работа была проделана Нииттимаки и Пурсулой [7]. Они

увидели, что нечеткий контроллер уменьшает задержку транспортного средства при интенсивном движении. Ниитимаки и Кикучи разработали алгоритм на основе нечеткой логики для пешеходов, переходящих дорогу.

Накацуюма, Нагахаси и Нишизука [8] применили нечеткую логику для управления двумя соседними пересечениями на магистрали с односторонним движением. Правила нечеткого управления были разработаны для определения того, следует ли продлевать или прекращать зеленый сигнал для перекрестка. Чуи был первым, кто использовал нечеткую логику для управления движением на нескольких перекрестках [6]. В этой попытке оценивались только улицы с двусторонним движением без учета каких-либо поворотов.

Шрути К.Р. и Винодха К. [9] опубликовали статью «Контроллер светофора на основе приоритета с применением беспроводных сенсорных сетей». В данном исследовании были рассмотрены два перекрестка, и особое значение уделялось использованию беспроводных детекторов для оптимизации движения машин скорой помощи. Датчики устанавливаются на расстоянии от перекрестков для определения скорости и звуковой волны сирены кареты скорой помощи. Эти датчики взаимодействуют по беспроводным сетям с системой контроля дорожного движения на двух перекрестках, корректируя маршруты машин.

В работе [10] рассмотрены возможные изменения длительности зеленого сигнала светофорного объекта на изолированном перекрестке с четырьмя полосами движения с применением системы нечетких выводов. Предлагается модель Мамдани с пятью входными переменными, такими как:

1. Количество въезжающих автомобилей на каждой полосе дороги.
2. Время зеленого света, назначенное светофору в зависимости от предыдущих фаз.
3. Дневное время в режиме реального времени.
4. Тип дороги, которой должен управлять светофор.

5. Состояние движения на момент принятия решения системой нечетких выводов.

Каждая из этих входных переменных представлена трапецеидальной функцией принадлежности.

Несмотря на все исследования, проведенные по моделированию, симуляции и оптимизации транспортных потоков [10–14], большинство приложений нечеткой логики в дорожной инженерии все еще находится в стадии разработки и может быть использовано для обнаружения сигналов светофора [15], предсказания дорожной ситуации [16], маршрутизации транспортных средств [17], распределения дорожного движения [18], повышения степени полезности [19] и демонстрации групповой модели объема дорожного движения [20], но меньше используется для управления светофорами [21].

Описание адаптивных систем управления. Выбор времени работы светофора с учетом условий входящего движения может быть реализован различными способами. В режиме предварительной синхронизации каждый период фазы и продолжительность цикла определяются на основе некоторых заранее определенных значений. При прогнозировании трафика дальнейший режим оценивается и определяется датчиками на основе измеренной ситуации. В способе сопоставления с образцом информация, полученная датчиками, адаптируется с помощью набора математических операций к существующей ситуации, затем выбирается наиболее близкий к текущим условиям шаблон и соответствующие значения времени применяются к светофорам.

Для создания систем управления использовался алгоритм Мамдани с использованием Fuzzy Logic toolbox, и формально алгоритм может быть представлен следующим образом [22]:

- Создание базы правил систем нечеткого вывода;
- Фазификация входных переменных;
- Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций.
- Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций.
- Аккумуляция заключений нечетких правил продукций.

– Дефазификация выходных переменных.

Эффективность адаптивных систем управления зависит от количества транспортных средств, интенсивности движения, коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, скорости движения автомобилей, количества полос дороги и количества пешеходов. Предварительно необходимо определить эти лингвистические переменные для формирования базы правил. Основываясь на этих показателях, мы получаем шесть входных и одну выходную лингвистическую переменную:

- количества транспортных средств β_1 – «количество автомобильных транспортов»;
- интенсивность движения автомобилей в сутки β_2 – «интенсивность движения»;
- коэффициент сцепления дорожного покрытия β_3 – «коэффициент сцепления»;
- количество полос автомобильной дороги β_4 – «количество полос»;
- скорость движения на автомобильной дороге β_5 – «скорость движения»;
- количества пешеходов на данном перекрестке β_6 – «количество пешеходов»;
- время зеленого сигнала светофорного объекта β_7 – «переменное время светофора».

Для управления светофором существует семь функций принадлежности для каждой входной и выходной нечетких переменных системы. В зависимости от термножества входных и выходных переменных было назначено правило нечеткого вывода.

Формирование термножества переменных является целью этапа фазификации:

$T_1 = \{ \text{“очень мало”}, \text{“меньше”}, \text{“средний”}, \text{“больше”}, \text{“очень большой”} \}$ (Рисунок 1);

$T_2 = \{ \text{“низкий”}, \text{“средний”}, \text{“высокий”} \}$ (Рисунок 2);

$T_3 = \{ \text{“01”}, \text{“02”}, \text{“03”}, \text{“04”}, \text{“05”}, \text{“06”}, \text{“07”}, \text{“08”} \}$ (Рисунок 3);

$T_4 = \{ \text{“одна полоса”}, \text{“две полосы”}, \text{“три полосы”}, \text{“четыре полосы”}, \text{“пять полос”} \}$ (Рисунок 4);

$T_5 = \{ \text{“40”}, \text{“50”}, \text{“60”}, \text{“70”}, \text{“80”}, \text{“90”} \}$ (Рисунок 5);

$T_6 = \{ \text{“меньше”}, \text{“средний”}, \text{“больше”} \}$ (Рисунок 6);

$T_7 = \{ \text{“очень мало”}, \text{“меньше”}, \text{“средний”}, \text{“больше”}, \text{“очень большой”} \}$ (Рисунок 7).

Каждый терм устанавливается функцией принадлежности, которая назначает степень его отношения к нечеткому множеству. В этом случае функция принадлежности первой, второй, четвертой и шестой входных переменных имеет форму трапеции. Соответствующие функции третьей и пятой входных переменных имеют форму треугольника [22]. Функция адаптивной системы управления заключается в изменении времени разрешающего зеленого сигнала, и функция принадлежности данного типа является функцией Гаусса.

Агрегирование определяет степень истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода. После того, как будет проведена база правил (Рисунок 8), фазификация и агрегирование, программа выполняет действия активизации и аккумуляции [22].

Основная функция механизма логического вывода заключается в вычислении уровня точности выходных нечетких множеств по уровням точности входных нечетких множеств. Выходные данные показывают одно значение точности для каждого выходного нечеткого множества. На этом этапе нечеткий оператор применяется для того, чтобы получить единственное число, представляющее результат предшествующего для этого правила. Процедура преобразования каждого агрегированного нечеткого выходного множества в одно четкое значение называется дефазификацией, для выходных переменных выполняется тремя способами (центр тяжести, центр тяжести для одночечных множеств и центр площади) [22].

Как только степень принадлежности каждой выходной нечеткой переменной определена, все запускаемые правила объединяются, и фактический четкий результат получается путем дефазификации (Рисунок 9). В зависимости от входных переменных время зеленого сигнала светофорного объекта будет меняться за цикл, создавая удобство и безопасность участникам дорожного движения.

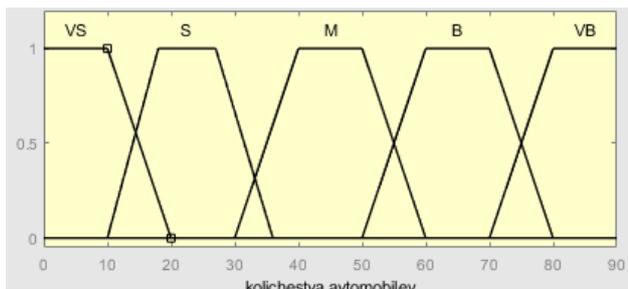


Рисунок 1 –
Принадлежность для количества
транспортных средств

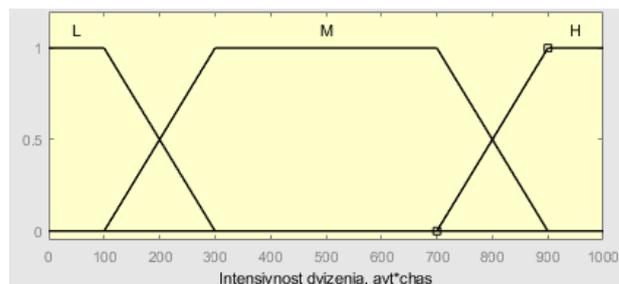


Рисунок 2 –
Принадлежность
для интенсивности движения

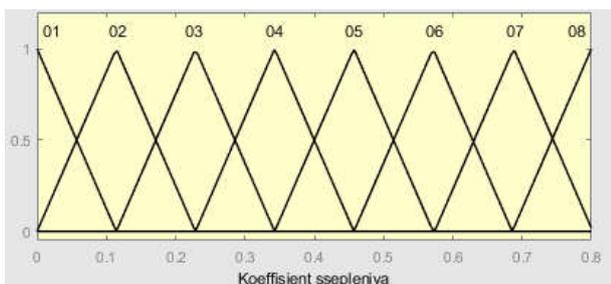


Рисунок 3 –
Принадлежность
для коэффициента сцепления

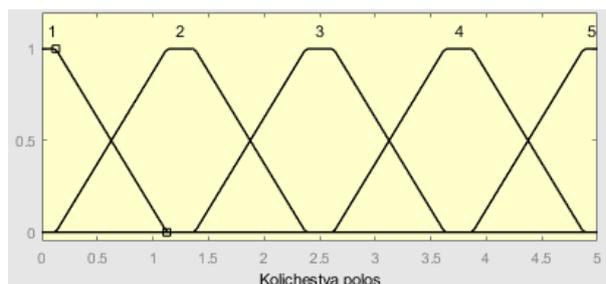


Рисунок 4 –
Принадлежность
для количества полос

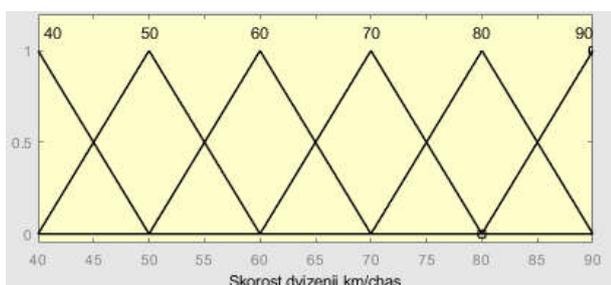


Рисунок 5 –
Принадлежность
для скорости движения

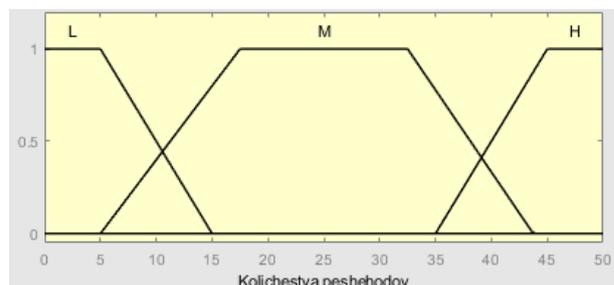


Рисунок 6 –
Принадлежность
для количества пешеходов

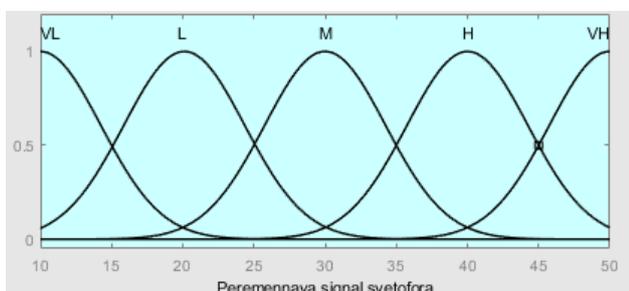


Рисунок 7 –
Принадлежность
для переменного времени

```

1. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 01) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
2. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 02) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
3. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 03) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
4. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 04) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
5. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 05) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
6. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 06) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
7. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 07) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
8. If (b1 is VS) and (b2 is L) and (b3 is 08) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
9. If (b1 is S) and (b2 is M) and (b3 is 05) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
10. If (b1 is S) and (b2 is M) and (b3 is 06) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
11. If (b1 is S) and (b2 is M) and (b3 is 08) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
12. If (b1 is M) and (b2 is M) and (b3 is 04) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)
13. If (b1 is M) and (b2 is M) and (b3 is 05) and (b4 is 1) and (b5 is 40) and (b6 is L) then (b7 is M) (1)

```

Рисунок 8 –
Разработка нечеткого правила
в Fuzzy Logic Toolbox

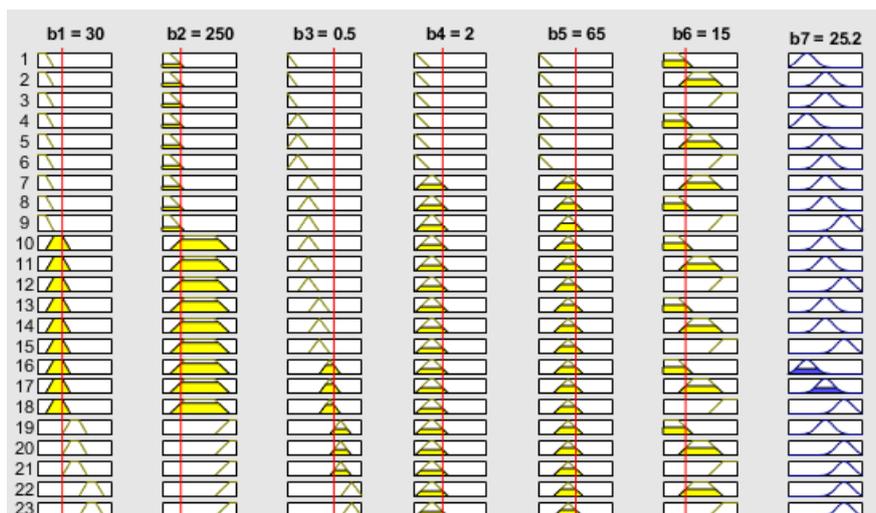


Рисунок 9 – Обзор правил поведения системы на основе модели Мамдани

Выводы. При использовании такого метода поддержки принятия решений, как правило нечеткой логики, производительность системы увеличится. Таким образом, можно определить, что использование этого метода позволяет системе изменять продолжительность зеленого света, улучшая процесс принятия решений, что отражается в повышении ее работоспособности и надежности.

Система светофора с нечеткой логикой работает лучше, чем система фиксированного времени или даже система, приводимая в действие транспортным средством, благодаря своей гибкости. Гибкость заключается в учете количества транспортных средств, оста-

навливающихся на въезжающем перекрестке, и изменении продолжительности зеленого сигнала светофора при изменении интенсивности транспортного потока. В дополнение к упомянутым нечетким переменным, нечеткая система также имеет преимущество в том, что работает в соответствии с правилами лингвистики так, как использовал бы человек. Чтобы применить предложенный метод адаптивной системы управления на практике, необходимо продолжить исследования. Можно добавить дополнительные входные переменные, такие как погодные условия [1, 11] и другие условия окружающей среды, для оптимального управления дорожным движением.

Список источников

1. Кущенко Л.Е., Новиков И.А., Новиков А.Н. Применение нечеткого моделирования в транспортной сфере // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 5 (64). С. 157–162. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-5-157-162.
2. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ. – М.: Мир, 1978.
3. Бабаев А.Б., Хыдыров Р.Б. Выбор интеллектуального средства для регулирования транспортных потоков // Вестник науки и образования: научно-методический журнал. 2022. № 4 (124). С. 20–24. DOI: 10.24411/2312-8089-2022-10401.
4. McNeill F. Martin, Thro Ellen. Fuzzy Logic. A Practical Approach. – Boston: Academic Press, 1994. (In Eng.).
5. Pappis C.P., Mamdani E.H. A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction // IEEE Transactions on

References

1. Kushchenko L.E., Novikov I.A., Novikov A.N. Application of Fuzzy Modeling in the Transport Sector. *Bulletin of Civil Engineers*. 2017. No. 5 (64). pp. 157–162. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-5-157-162.
2. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Making Approximate Decisions: trans. from English. *M.: Mir*. 1978. (In Russ.).
3. Babaev A.B., Hydyrov R.B. The Choice of an Intelligent Means for Regulating Traffic Flows. *Bulletin of Science and Education: Scientific and Methodological journal*. 2022. No. 4 (124). pp. 20–24. DOI: 10.24411/2312-8089-2022-10401. (In Russ.).
4. McNeill F. Martin, Thro Ellen. Fuzzy Logic. A Practical Approach. *Boston: Academic Press*. 1994.
5. Pappis C.P., Mamdani E.H. A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction. *IEEE Transactions on*

- Systems, Man, and Cybernetics. 1977. T. SMC-7. № 10. С. 707–717. (In Eng.).
6. Chiu S. Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic // *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 1992. С. 98–107. (In Eng.).
7. Niittymaki J., Pursula M. Signal Control Using Fuzzy Logic // *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. T. 116. С. 11–22. (In Eng.).
8. Nakatsuyam M., Nagahashi H., Nishizuka N. Fuzzy Logic Phase Controller for Traffic Junctions in the One-Way Arterial Road // *Proceedings of the IFAC Ninth Triennial World Congress*. 1984. С. 2865–2870. (In Eng.).
9. Shruthi K.R., Vinodha K. Priority Based Traffic Lights Controller Using Wireless Sensor Networks // *International Journal of Electronics Signals and Systems (IJESS)*. 2012. T. 1. № 4. С. 58–61. (In Eng.).
10. Castán Rocha J.A., Ibarra Martínez S., Laria Menchaca J., Terán Villanueva J.D., Treviño Berrones M.G., Pérez Cobos J., Uribe Agundis D. Fuzzy Rules to Improve Traffic Light Decisions in Urban Roads // *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. 2018. № 10. С. 36–45. (In Eng.).
11. Alam J., Pandey M.K. Development of Intelligent Traffic Light System Based on Congestion Estimation Using Fuzzy Logic // *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*. 2014. T. 16. № 3. С. 36–44. (In Eng.).
12. Fujimoto R., Leonard J. Grand Challenges in Modeling and Simulating Urban Transportation Systems. – Georgia Institute of Technology, 2001. (In Eng.).
13. Taplin J. Simulation Models of Traffic Flow. – Department of Information Management and Marketing. University of Western Australia, 1999. (In Eng.).
14. Smaldone T. Traffic Light Simulation: A Study into how Long it Takes Vehicles Stopped at a Red Light to go and to Cross the Light After it Turns Green. – Rutgers University, 2001.
15. Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, Sei-Wang Chen. A Vision-based Traffic Light Detection System at Intersections // *Journal of Taiwan National University: Mathematics, Science & Technology*. 2002. T. 47. № 1. С. 67–86. (In Eng.).
16. Kirschfink H., Chadenas C. Traffic Situation Prediction Applying Pattern Matching and Fuzzy Classification. – Orthodox Academy of Crete, 1999. (In Eng.).
17. Khan J.A., Alnuweiri H. A Traffic Engineered Routing Algorithm Based on Fuzzy Logic. – Department of Electrical and Computer Engineering, University of BC, Vancouver, Canada, 2002. (In Eng.).
18. Liu H.X., Ban X., Bin Ran, Mirchandani P.A. Formulation and Solution Algorithm for a Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model. – Institute of Transportation Studies, University of California, 2002. (In Eng.).
- Systems, Man, and Cybernetics*. 1977. Vol. SMC-7. No. 10. pp. 707–717.
6. Chiu S. Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic. *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 1992. pp. 98–107.
7. Niittymaki J., Pursula M. Signal Control Using Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. Vol. 116. pp. 11–22.
8. Nakatsuyam M., Nagahashi H., Nishizuka N. Fuzzy Logic Phase Controller for Traffic Junctions in the One-Way Arterial Road. *Proceedings of the IFAC Ninth Triennial World Congress*. 1984. pp. 2865–2870.
9. Shruthi K. R., Vinodha K. Priority Based Traffic Lights Controller Using Wireless Sensor Networks. *International Journal of Electronics Signals and Systems (IJESS)*. 2012. Vol. 1. No. 4. pp. 58–61.
10. Castán Rocha J.A., Ibarra Martínez S., Laria Menchaca J., Terán Villanueva J.D., Treviño Berrones M.G., Pérez Cobos J., Uribe Agundis D. Fuzzy Rules to Improve Traffic Light Decisions in Urban Roads. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. 2018. No. 10. pp. 36–45.
11. Alam J., Pandey M.K. Development of Intelligent Traffic Light System Based on Congestion Estimation Using Fuzzy Logic. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*. 2014. Vol. 16. No. 3. pp. 36–44.
12. Fujimoto R., Leonard J. Grand Challenges in Modeling and Simulating Urban Transportation Systems. *Georgia Institute of Technology*. 2001.
13. Taplin J. Simulation Models of Traffic Flow. *Department of Information Management and Marketing. University of Western Australia*. 1999.
14. Smaldone T. Traffic Light Simulation: A Study into how Long it Takes Vehicles Stopped at a Red Light to go and to Cross the Light After it Turns Green. *Rutgers University*, 2001.
15. Yun-Chung Chung, Jung-Ming Wang, Sei-Wang Chen. A Vision-based Traffic Light Detection System at Intersections. *Journal of Taiwan National University: Mathematics, Science & Technology*. 2002. Vol. 47. No. 1. pp. 67–86.
16. Kirschfink H., Chadenas C. Traffic Situation Prediction Applying Pattern Matching and Fuzzy Classification. *Orthodox Academy of Crete*, 1999.
17. Khan J.A., Alnuweiri H. A Traffic Engineered Routing Algorithm Based on Fuzzy Logic. Department of Electrical and Computer Engineering, University of BC, Vancouver, Canada, 2002.
18. Liu H.X., Ban X., Bin Ran, Mirchandani P.A. Formulation and Solution Algorithm for a Fuzzy Dynamic Traffic Assignment Model. *Institute of Transportation Studies, University of California*. 2002.

19. Inokuchi H., Kawakami Sh. Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model. – Kanasai University, 2000. (In Eng.).
20. Kaczmarek M. Fuzzy Group Model of Traffic Flow. – Institute of Computing Science, Poznań University of Technology, 1999. (In Eng.).
21. Yetis Sazi Murat, Ergun Gedizlioglu. A New Approach for Fuzzy Traffic Signal Control. – Pamukkale Universit & Istanbul Technical University, Turkey, 2001. (In Eng.).
22. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. 736 с.
19. Inokuchi H., Kawakami Sh. Development of the Fuzzy Traffic Assignment Model. *Kanasai University*, 2000.
20. Kaczmarek M. Fuzzy Group Model of Traffic Flow. *Institute of Computing Science, Poznań University of Technology*. 1999.
21. Yetis Sazi Murat, Ergun Gedizlioglu. A New Approach for Fuzzy Traffic Signal Control. *Pamukkale Universit & Istanbul Technical University, Turkey*. 2001.
22. Leonenkov A.V. Fuzzy Modeling in MATLAB and fuzzyTECH. *SPb: BHV Peterburg*. 2005. 736 p. (In Russ.).