

Система управления транспортными потоками с использованием нечеткого регулятора на перекрестке

О.В. Ермилина, В.Д. Дёмина

Пензенский государственный университет, г. Пенза

Аннотация: Рост числа транспортных средств на улицах городов ведет к неблагоприятным последствиям: увеличению заторов, возникновению дорожно-транспортных происшествий. Для принятия мер по эффективному использованию дорожно-транспортных дорог, чтобы избежать неблагоприятных заторовых ситуаций предложено управлять транспортными потоками с помощью нечеткого регулятора по длине очереди по каждому из конфликтных направлений. Принцип оптимизации основан на минимизации длины очереди транспортных потоков, что позволяет наиболее эффективно использовать транспортное полотно, избегая нежелательных заторовых ситуаций. На разработанной модели перекрестка предлагается система с нечетким регулированием сигналов светофора. Оценивается среднее время простоя с фиксированным циклом светофора и с нечетким регулятором. С использованием нечеткого регулятора средняя очередь на перекрестке уменьшилась на 11 %.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, транспортный поток, перекресток, система управления дорожным движением, алгоритм управления, интенсивность транспортных средств

Введение

Неуклонный рост количества транспорта на улицах городов приводит к заторам и необходимости принятия мер по эффективному использованию дорог. Основы математического моделирования были заложены еще в начале позапрошлого века [1]. В 1963 году американским специалистом была разработана теория транспортного моделирования [2], а в 1972 году была издана одна из крупных монографий по данной теории [3]. Спустя время неуклонно не меняется интерес к моделированию, прогнозированию движения транспортных потоков (ТП) [4, 5]. Со временем выделились два подхода описания транспортных потоков: макроскопический и микроскопический подходы.

В макроскопических моделях ТП представляется потоком жидкости с особыми свойствами [6-8]. Огромный вклад при становлении статических комплексных прогнозных моделей ТП внес ученый Д. Г. Вардроп,

сформировав поведенческие принципы для всех участников дорожного движения на дорожной сети города [9]. В современном микроскопическом подходе преобладают модели имитации движения ТП, базирующиеся на некотором шаге времени [10-12].

В настоящее время математическая теория ТП пополнилась еще мезоскопическим моделированием, которое подразумевает оценку макроскопических показателей на микроуровне [13]. Построим Simulink-модель формирования ТП на перекрестке.

Моделирование транспортного трафика на перекрестке

Светофорная сигнализация (СС) является одним из основных управляющих элементов дорожного движения. Для эффективности регулирования ТП необходимо перенастроить режимы работы СС в зависимости от характера движения ТП.

Пусть на перекрестке (рис. 1) есть два противоположных направления: 1-4 и 2-3, которые разделены на два потока, движущихся навстречу друг другу ТП, причем каждый из четырех входящих ТП может двигаться в трех направлениях: вправо, влево, вправо (без разворота).

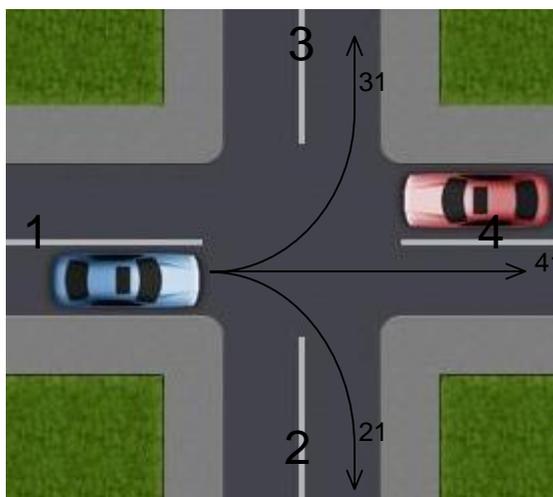


Рис. 1. - Схема перекрестка с направлениями движений

Были зарегистрированы интенсивности входящих ТП, изображенные на рисунке 2, на перекрестках в городе Пенза: а) ул. Володарского; б) ул. Суворова.

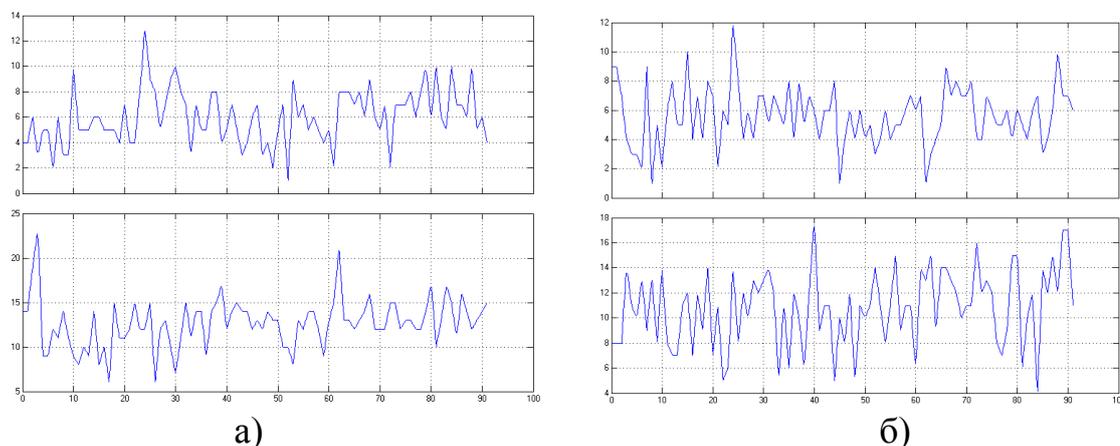


Рис. 2. - Интенсивности входящих ТП на перекрестках

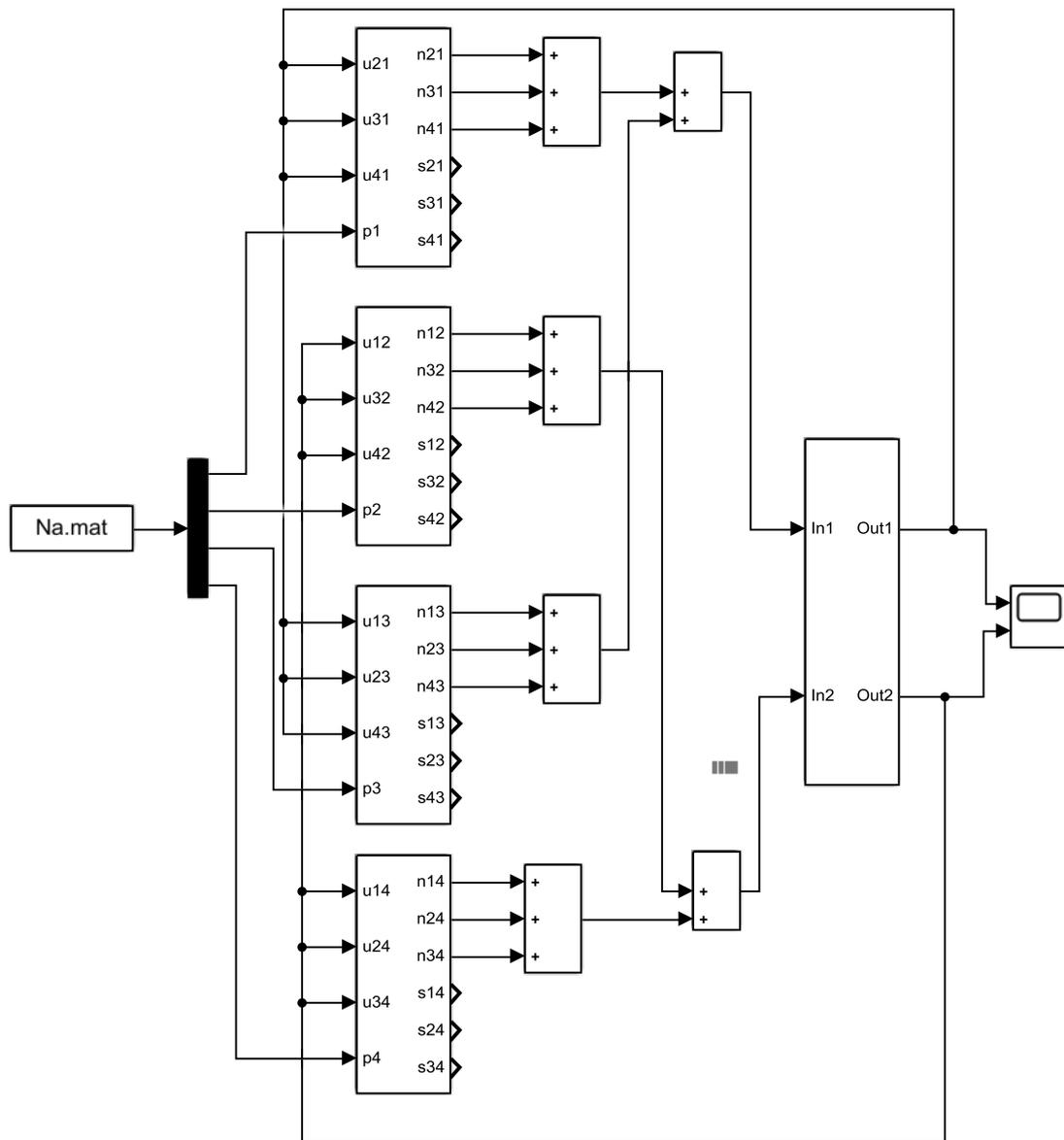
Пусть разрешающий СС рассчитывается, исходя из длины очереди по каждому из конфликтных направлений. Simulink-модель перекрестка по двум конфликтным направлениям представлена на рис. 3.

Рассмотрим подробнее формирование первого ТП, который представлен на рис. 4, состоящим из трех направлений, где разрешающий СС поступает на входы r_{ij} .

При выходе из каждого из блоков на рис. 4 учитывается количество транспортных средств в очереди и количество транспортных средств на выходе из перекрестка.

На рис. 5 представлена модель расчета числа транспортных средств.

Переключатель «Switch» регулирует плотность выходного ТП в первом направлении. Если на данном направлении находятся транспортные средства (выход интегратора не равен нулю), выходной ТП максимален. Если в направлении нет транспортных средств (выход интегратора равен нулю), то выходной ТП равен входному ТП.



u_{ij} - разрешающие СС по конфликтным направлениям;

p_i - плотности входных ТП;

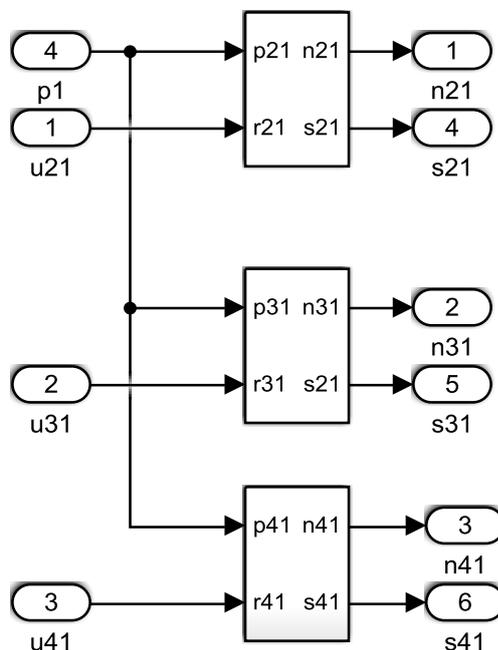
n_{ij} - количество транспортных средств по направлениям;

s_{ij} - плотности выходных ТП по конфликтным направлениям.

Рис. 3. - Simulink-модель рассматриваемого перекрестка

Коэффициенты K и $K1$ определялись с помощью статистики. С помощью подсистемы «Subsystem7», изображенной на рис. 3, подается управляющее воздействие на одно из двух неконфликтных направлений.

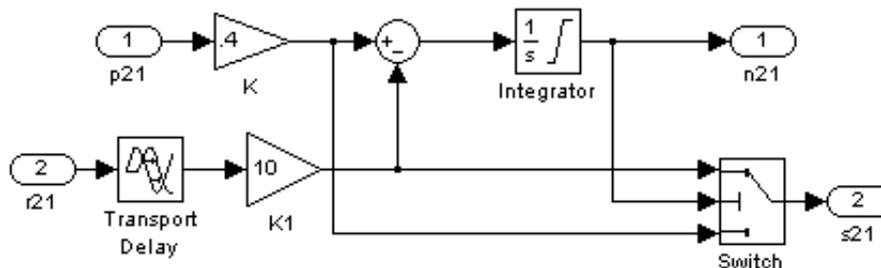
На рис. 6 представлены рассчитанные управляющие воздействия СС, по конфликтным направлениям, которые имеют свою периодичность.



p_{ij} - плотность ТП движущего с i -го на j -е направление;

r_{ij} - разрешающий СС.

Рис. 4. - ТП (подсистема «traffic1»)



$K = 0,4$ - коэффициент распределения второго ТП на первое направление;

$K1 = 10$ - максимальная плотность ТП при разрешении проезда

Рис. 5. - Блок расчета машин на перекрестке

На рис. 7 изображено изменение интенсивности скопления транспортных средств на перекрестке по конфликтным направлениям.

Периодичность разрешающего СС ведет к периодичности выходного ТП при данных интенсивностях транспортных средств.

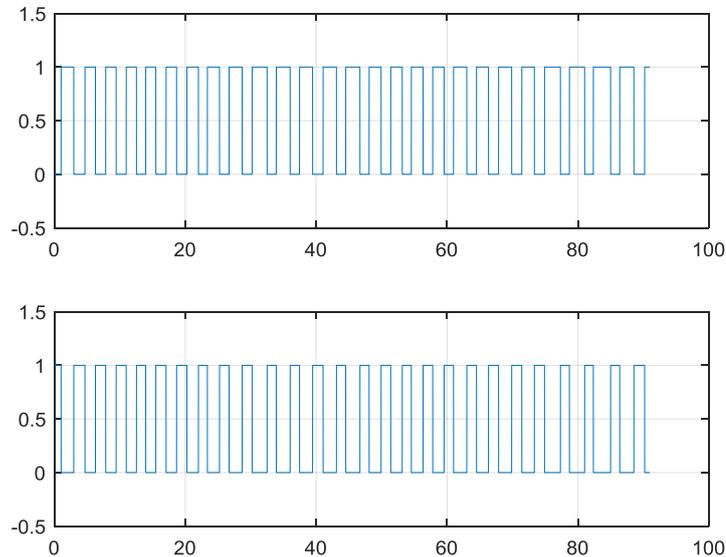


Рис. 6. - Воздействие СС по конфликтным направлениям

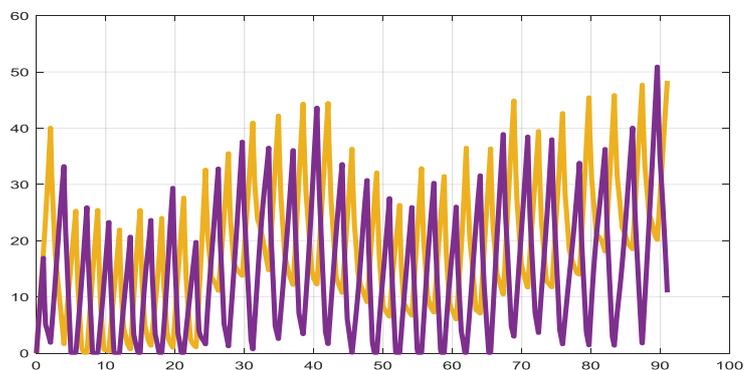


Рис. 7. - Количество ТС на перекрестке

Средняя длина очереди по одному направлению за 15 циклов светофора составила 15,375, по другому конфликтному направлению: 14,1324.

Нечеткий регулятор управления транспорта на перекрестке

Рассмотрим систему управления ТП с использованием нечеткого регулятора, управление ТП на перекрестке по длине очереди по каждому направлению. Поэтому следует выделить базу лингвистических переменных,

состоящих из разницы длин очередей по конфликтным направлениям и из выходных сигналов светофора по каждому направлению. Функции принадлежности представлены на рис. 8 и 9.

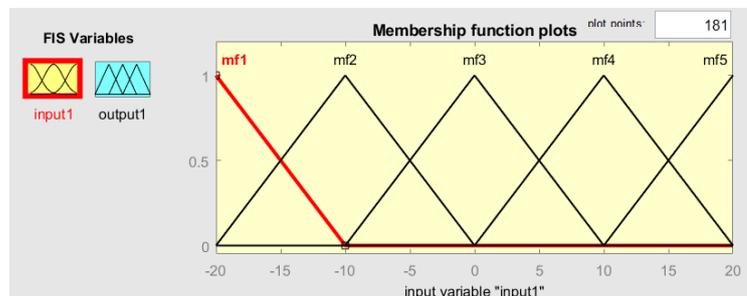


Рис. 8. - Функции принадлежности для входного сигнала: разница длины очереди.

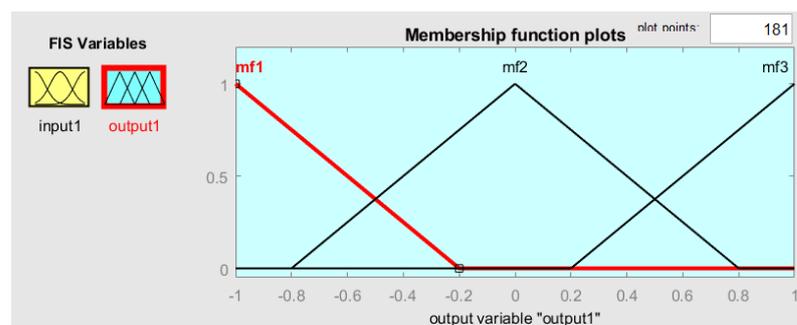


Рис. 9. - Функции принадлежности для выходного сигнала: сигнал светофора.

База правил формировалась, исходя из разницы длин очередей по конфликтному направлению. На рис. 10 представлено переключение СС по конфликтным направлениям. На рис. 11 представлен график изменения длин очереди ТП по двум конфликтным направлениям.

Средняя длина очереди по одному направлению составила 9,8965, по другому конфликтному направлению - 9,0894.

Также стоит отметить, что помимо нечетких правил, необходимо задавать минимальное и максимальное значения циклов светофора, исходя из динамических характеристик транспортных потоков на перекрестке [14].

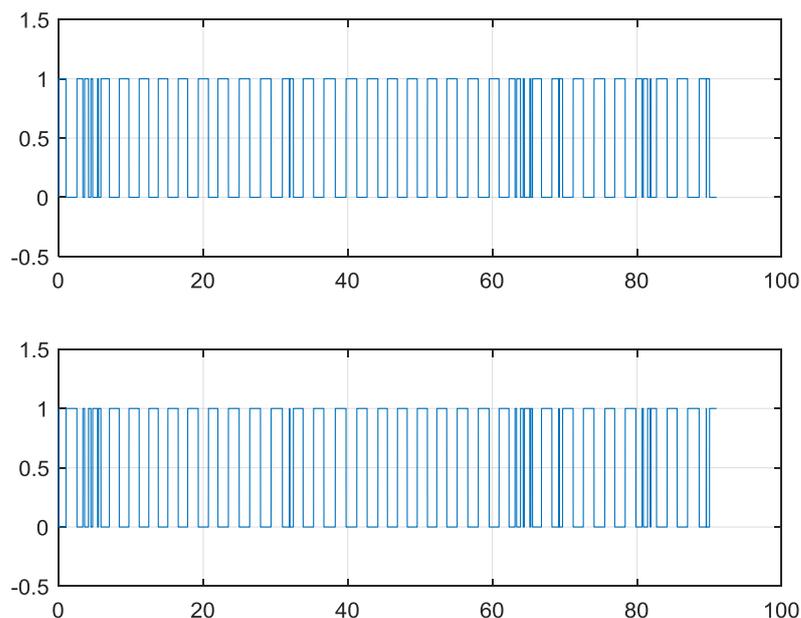


Рис. 10. – Переключение СС на перекрестке

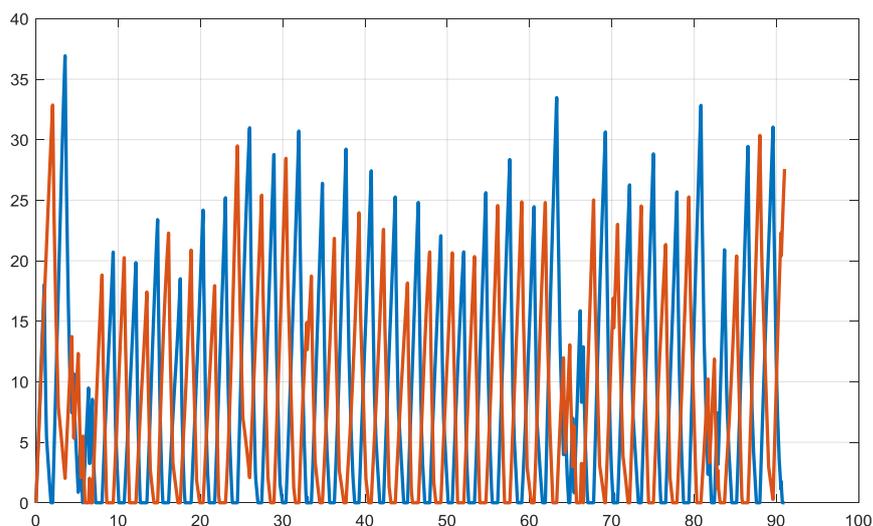


Рис. 11. – Длина очереди по двум конфликтным направлениям

Заключение

Предлагается управлять транспортными потоками с помощью нечеткого регулятора по длине очереди по каждому направлению. Принцип оптимизации основан на минимизации длины очереди транспортных потоков, что позволяет наиболее эффективно использовать транспортное полотно, избегая нежелательных заторовых ситуаций. На разработанной

модели перекрестка предлагается система с нечетким регулированием сигналов светофора. Оценивается среднее время простоя с фиксированным циклом светофора и с нечетким регулятором. С использованием нечеткого регулятора средняя очередь на перекрестке уменьшилась на 11 %.

Статья подготовлена при финансовой поддержке конкурса «Ректорские гранты» Пензенского государственного университета, договор №ХП-78/21 от 19 апреля 2021 г.

Литература

1. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения. 5 изд. М.: Транспорт, 2001. 247 с.
2. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М.: Мир, 1966. 280 с.
3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управления ими. М.: Транспорт, 1972. 478 с.
4. Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Моделирование транспортных систем. М.: Наука, 1977. 408 с.
5. Гаврилов А. А. Моделирование дорожного движения. М.: Транспорт, 1980. 190 с.
6. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МФТИ, 2010. 362 с.
7. Лозе Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для пассажирского и служебного транспорта // 7-я Междунар. науч.-практ. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб.: Издательство СПбГАСУ, 2007. С. 154-179.
8. Лившиц В.В. Математическая модель случайно-детерминированного выбора и ее применение для расчета трудовых корреспонденций. М.: ЦНИИП градостроительства, 1973. С. 39-57.

9. Wardrop J. Some theoretical aspects of road traffic research // Proc. Institution of Civil Engineers II. 1952. pp. 325-378.
10. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H. State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 215, No. 4, 2001. pp. 283-303.
11. Todosiev E.P., Barbosa L.C. A Proposed Model for the Driver-Vehicle System // Traffic Engineering, Vol. 34, 1964. pp. 17-20.
12. Сильянов В.В., Ерёмин В.М., Муравьёва Д.И. Имитационное моделирование транспортных потоков в проектировании дорог. М.: МАДИ, 1961. 119 с.
13. Box G.E., Jenkins G.M., and Reinsel G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th ed. Wiley, 2008. 784 pp.
14. Демина В.Д., Ермилина О.В. Моделирование плотности и динамики транспортного потока на перекрестке // Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии». Самара: Самарский научный центр РАН, 2021. С. 440-444.

References

1. Klinkovshtejn G. I., Afanasev M. B. Organizacija dorozhnogo dvizhenija [Traffic organization]. Moskva: Transport, 2001. 247 p.
 2. Hejt F. Matematicheskaja teorija transportnyh potokov [Mathematical theory of traffic flows]. Moskva: Mir, 1966. 280 p.
 3. Drju D. Teorija transportnyh potokov i upravlenija imi [Theory of traffic flows and their management]. Moskva: Transport, 1972. 478 p.
 4. Brajlovskij N.O., Granovskij B.I. Modelirovanie transportnyh sistem [Modeling transport systems]. Moskva: Nauka, 1977. 408 p.
 5. Gavrilov A. A. Modelirovanie dorozhnogo dvizhenija [Traffic simulation]. Moskva: Transport, 1980. 190 p.
-

6. Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskij E.A., Holodov Ja.A., Shamraj N.B. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Introduction to mathematical modeling of traffic flows]. Moskva: MFTI, 2010.362 p.
7. Loze D. 7-ja Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija v krupnyh gorodah». SPb: Publishing house SPbGASU, 2007.S. pp. 154-179.
8. Livshic V.V. Matematicheskaja model' sluchajno-determinirovannogo vybora i ee primenenie dlja rascheta trudovyh korrespondencij [A mathematical model of randomly determined choice and its application for calculating labor correspondence]. Moskva: TsNIIP Urban Planning, 1973. pp. 39-57.
9. Wardrop J. Proc. Institution of Civil Engineers II. 1952. pp. 325-378.
10. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 215, No. 4, 2001. pp. 283-303.
11. Todosiev E.P., Barbosa L.C. A Proposed Model for the Driver-Vehicle System. Traffic Engineering, Vol. 34, 1964. pp. 17-20.
12. Siljanov V.V., Erjomin V.M., Muravjova D.I. Imitacionnoe modelirovanie transportnyh potokov v proektirovanii dorog [Simulation of traffic flows in road design]. Moskva: MADi, 1961.119 p.
13. Box G.E., Jenkins G.M., and Reinsel G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th ed. Wiley, 2008.784 pp.
14. Demina V.D., Ermilina O.V. Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Perspektivnye informacionnye tekhnologii». Samara: Samarskij nauchnyj centr RAN, 2021, pp. 440-444.