

РАЗДЕЛ IV. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 51-74

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СУТОЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Е.В. Печатнова
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема учета колебаний интенсивности движения. На основе анализа значений фактической интенсивности движения предложена математическая модель в виде функциональной зависимости, учитывающей месяц, день недели и время суток. Кроме того, при моделировании учтены различные распределения интенсивности в различные дни недели, праздничные и предпраздничные дни. Проведена оценка адекватности модели и сравнение ее с существующими методами, которая показала, что предлагаемая зависимость может использоваться для расчета интенсивности в любое заданное время.

Ключевые слова: интенсивность движения, моделирование колебаний интенсивности, дорожная сеть, коэффициент неравномерности.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивность движения является одним из важнейших факторов определяющим безопасность дорожного движения. Ее значения используются при планировании и проведении дорожно-строительных работ на автомобильных дорогах, определении категории дороги, разработке планов и мероприятий по развитию дорожной сети, определении объема инвестиций в дорожную отрасль. Интенсивность необходима для расчета коэффициента загрузки движением, который является комплексным показателем, отражающим условия безопасности, скорости и удобства движения [1], потому определение значения интенсивности на автомобильных дорогах является одной из первостепенных задач при изучении характеристик движения.

Под интенсивностью понимают количество транспортных средств (ТС), проходящих в единицу времени через определенное сечение дороги [2]. Ее значения изменяются в зависимости от времени года, дня недели, вре-

мени суток [3, 4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При оценке безопасности дорожного движения часто используют максимальное (пиковое) или среднегодовое значение интенсивности движения. При этом интенсивность движения неравномерна в течении суток, поэтому и аварийность на дороге будет изменяться в этот период, что указывает на необходимость учета колебаний интенсивности в течение суток в различные дни недели.

В литературе приведено достаточно много расчетов, посвященных изменениям интенсивности в течение суток, недели и года [3, 6, 7, 8, 9]. Однако в большинстве исследований приняты допущения об одинаковом распределении в течении суток в различные дни недели, не учтено распределение в праздничные и предпраздничные дни. Также часто не представлена итоговая закономерность, позволяющая рассчитать интенсивность в любой момент времени.

Таким образом, цель работы заключается в моделировании колебаний суточной интенсивности движения всех дней недели с учетом сезонности.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СУТОЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

В качестве объекта исследования выбрана интенсивность движения на трассе А-322 Барнаул – Рубцовск – государственная граница с Республикой Казахстан в пригородной зоне Барнаула.

При исследовании использованы значения интенсивности на выбранной дороге на учетном пункте Барнаул (11км+777) в 2015 году.

В результате анализ полученных с датчиков данных об интенсивности движения выявлено, что в течение суток наблюдаются значительные колебания интенсивности движения (рис. 1).

Характер кривых схож, а различная амплитуда вызвана сезонными колебаниями интенсивности движения.

Для исключения сезонного влияния на интенсивность движения рассчитана относительная интенсивность, характеризующая изменение интенсивности движения в течение суток независимо от сезонных колебаний:

$$I_i^{отн} = \frac{I_i^k}{I_{i,ср}^j}, \tag{1}$$

где I_i^k – интенсивность движения в k -й час i -го дня недели;

$I_{i,ср}^j$ – средняя интенсивность в i -й день недели в j -й месяц.

Выявлено, что относительная интенсивность одноименного дня недели в течение года постоянна т. е.:

$$I_i^{отн} = const, \tag{2}$$

Изменения интенсивности во вторник, среду и четверг отличаются незначительно (<3 %), поэтому с достаточной степенью точности можно использовать их среднюю величину:

$$I_{2-4} = \frac{I_2 + I_3 + I_4}{3}, \tag{3}$$

где I_2, I_3, I_4 – закон изменения интенсивности во вторник, среду и четверг соответственно.

Колебания суточной интенсивности в выходные дни значительно отличаются от колебаний в будничные дни.

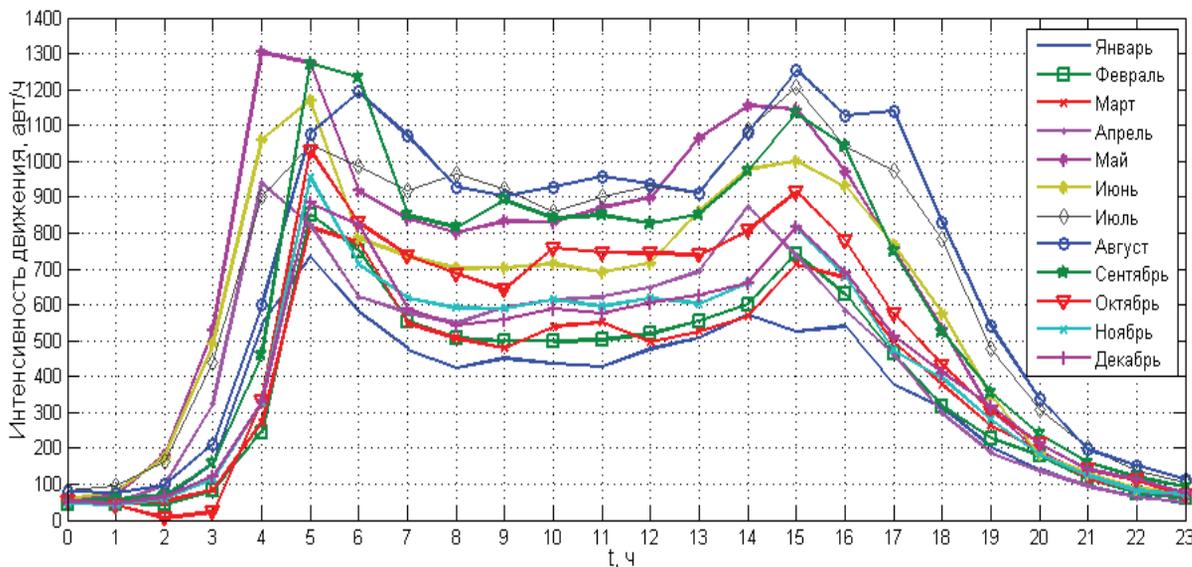


Рисунок 1 – Колебания интенсивности (средние за месяц) в течение дня в понедельник

Изменение интенсивности движения от времени t в i -й день недели показано на рисунке 2.

В ходе исследования проведена оценка изменения интенсивности движения в праздничные дни. Анализ показал, что в праздничные дни, выпадающие на будни, интенсивность движения меняется аналогично воскресному дню. Таким образом, получено несколько законов изменения относительной интенсивности движения, учитывающие её колебания в течение недели и времени суток.

Для нахождения распределения фактической интенсивности в течение суток для любого месяца этот закон необходимо учитывать сезонные колебания интенсивности движения, характеризуемые коэффициентом K_M , рассчитанный по формуле:

$$K_M = \frac{I_M^j}{I_q^{200d}} \quad (4)$$

где I_M^j – средняя часовая интенсивность движения в j -й месяц;

I_q^{200d} – средняя часовая интенсивность в год.

Исследуя динамику роста интенсивности на трассе А-322 начиная с 2011 года, выявлено, что общая годовая интенсивность (I_q^{200d}) ежегодно возрастает в среднем на 4 %, что необходимо учитывать при прогнозировании интенсивности движения в последующие годы.

Используя инструменты анализа данных пакета программ Matlab, подобрано распределение, наиболее полно описывающее изменение относительной интенсивности движения ($R^2 \approx 0,99$) и получены численные значения коэффициентов a_i^j, b_i^j, c_i^j рассчитанного распределения.

Закон изменения интенсивности движения в любой час года примет вид:

$$f(x) = N_q^{200d} \cdot K_\Gamma \cdot K_M \cdot \begin{cases} \sum_{i=1}^4 a_i^1 \cdot e^{-\left(\frac{t-b_i^1}{c_i^1}\right)^2}, & \text{при } И=И_1 \\ \sum_{i=1}^4 a_i^2 \cdot e^{-\left(\frac{t-b_i^2}{c_i^2}\right)^2}, & \text{при } И=И_{2-4} \\ \sum_{i=1}^4 a_i^5 \cdot e^{-\left(\frac{t-b_i^5}{c_i^5}\right)^2}, & \text{при } И=И_5 \\ \sum_{i=1}^3 a_i^6 \cdot e^{-\left(\frac{t-b_i^6}{c_i^6}\right)^2}, & \text{при } И=И_6 \\ \sum_{i=1}^3 a_i^7 \cdot e^{-\left(\frac{t-b_i^7}{c_i^7}\right)^2}, & \text{при } И=И_7 \end{cases} \quad (5)$$

где K_Γ – годовой коэффициент, для 2015 года. $K_\Gamma=1$;

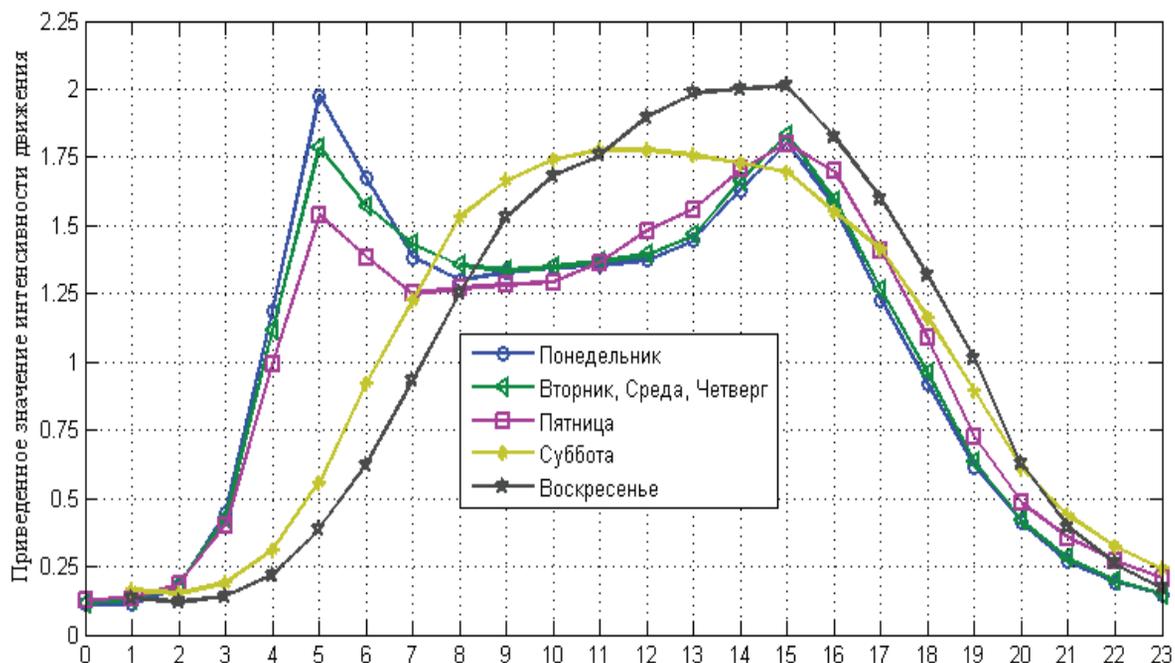


Рисунок 2 – Колебания интенсивности движения в i-й день недели

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

В настоящее время для реализации целей и задач управления автомобильными дорогами регионов, связанных с использованием значений интенсивности движения Федеральным дорожным агентством (Росавтодор) разработаны методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог (ОДМ 218.2.020-2012). С помощью них можно произвести расчет суточной и часовой интенсивности в течение года. Для разработки мероприятий по повышению безопасности дорожного движения используется часовая интенсивность (авт/час), которую, согласно методике, можно рассчитать по следующей формуле [1]:

$$N_{ч} = \frac{N_{сут} \cdot 365 \cdot K_t \cdot K_n \cdot K_r}{4}, \quad (6)$$

где $N_{сут}$ – среднегодовая суточная интенсивность движения авт/сут,

K_t – коэффициент неравномерности движения по часам суток,

K_n – коэффициент неравномерности движения по дням недели,

K_r – коэффициент неравномерности движения по месяцам года

Используя коэффициенты K_t , K_n , K_r из таблицы В.1 методики, реальную среднегодовую суточную интенсивность движения на автомобильной дороге А 322 по формуле (6) рассчитаны часовые интенсивности движения для случайных дат (4 апреля, 9 марта, 7 сентября, 17 декабря).

Сравнение фактических данных, результата расчета по полученному в ходе исследования распределению (5) и с использованием формулы (6) показаны на рисунке 3.

Оценка адекватности модели проведена по F-критерию Фишера [10], для чего были рассчитаны дисперсии значений, полученных по формулам (5), (6) и фактических значений в случайно выбранные даты. Расчет подтвердил адекватность предлагаемого распределения. Значения, полученные по формуле (6) существенно отличаются от фактических и согласно сравнению рассчитанных значений F-критерия адекватность формулы (6) не подтверждается.

Существенная разница между фактическими значениями и расчетными по методике Росавтодора объясняется отсутствием учета

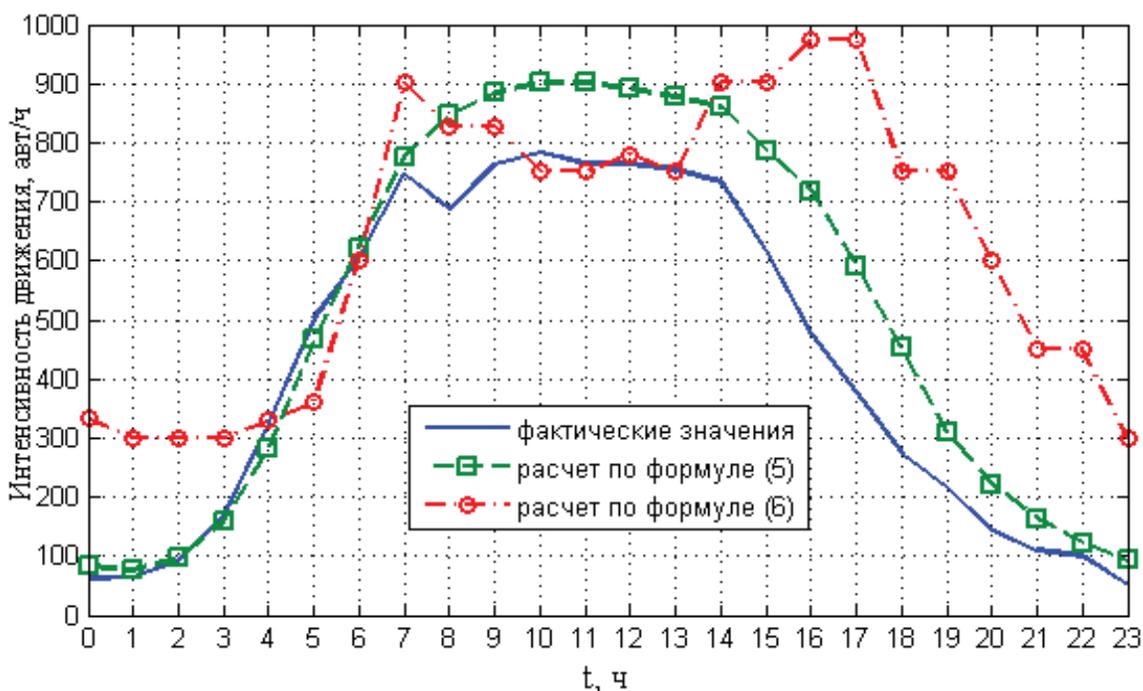


Рисунок 3 – Сравнение результатов расчета интенсивности движения по различным методикам с фактическими значениями

различного распределения интенсивности по часам в течение дней недели, отсутствием учета праздничных дней, кроме того, предложенный коэффициент неравномерности движения по часам суток предполагает меньшую амплитуду колебания в ночное и дневное время суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования выявлено, что в течение суток наблюдаются существенные колебания интенсивности движения. Закон изменения интенсивности в течение суток одинаков для каждого месяца. Предложена модель для оценки интенсивности в любое заданное время. Следует учитывать, что в случае если будний день является нерабочим (или праздничным), то его интенсивность будет изменяться согласно закону изменения интенсивности воскресного дня, а в предпраздничные по закону изменения интенсивности пятницы. Согласно проведенной оценке адекватности полученной модели (распределения) результаты могут использоваться при разработке мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, а также при планировании и проведении дорожно-строительных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин Б.Б. Система автоматизированного учета интенсивности и состава движения на автомобильных дорогах федерального значения / Б.Б. Анохин // Дороги и мосты. – 2010. – №24. – С 196-218
2. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М: Росавтодор, 2012 г. – 148 с.
3. Малюгин П.Н. Теория и моделирование транспортных потоков и систем: конспект лекций по дисциплине «Теория и моделирование транспортных потоков и систем» / П.Н. Малюгин. – Омск: СибАДИ, 2012. – 45 с.
4. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. Пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных–Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007.– 208 с.
5. Акулов В.В. Анализ методов учёта интенсивности движения на автомобильных дорогах / В.В. Акулов // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – №4(13) . – С.141-148
6. Игнатов, А.В. Совершенствование управления перевозками с учетом риска возникновения транспортного затора на улично-дорожной сети города: дисс. канд. техн. наук: 05.22.10 / Игнатов Антон Валерьевич. – Саратов, 2015. – 149 с.

7. Брехман А.И. Исследование транспортно-эксплуатационных показателей и определение их закономерностей на обходных автомобильных дорогах вокруг средних и малых городов Республики Татарстан / А.И. Брехман, В.И. Мусин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №4. – С.313-319

8. Jung-Ah Ha Estimating Annual Average Daily Traffic Using Daily Adjustment Factor / Jung-Ah Ha, Ju-Sam Oh // Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences. –

2014. – №5. – pp. 580-587

9. Dr. Md. Shamsul Hoque Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh / Dr. Md. Shamsul Hoque, Muhammad Ahad Ullah. Dr. Hainid Nikraz // International journal of civil engineering and technology (IJCET) . – 2013. – №4. – pp. 55-65

10. Чуян, Р.К. Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов: учеб. Пособие / Р.К. Чуян. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

MATHEMATICAL MODELING OF CHANGES DAILY TRAFFIC VOLUME

E. Pechatnova

Annotation. *The problem of taking into account traffic density fluctuations. Based on the analysis of actual traffic intensity values of the mathematical model in the form of a functional relationship, taking into account the month of the year, day of week and time of day. In addition, in the simulation takes into account the different intensity distribution in the different days of the week, holidays and pre-holidays. The evaluation of the adequacy of the model and its comparison with existing methods, which showed that the proposed relationship can be used to calculate the intensity at any given time.*

Keywords: *traffic, simulation of oscillations of traffic, road network, coefficient of uniformity.*

REFERENCES

1. Anohin B.B. Sistema avtomatizirovannogo ucheta intensivnosti i sostava dvizhenija na avtomobil'nyh dorogah federal'nogo znachenija [The system of automated accounting of the intensity and composition of traffic on motor roads of Federal importance]. Dorogi i mosty, 2010, no 24, pp. 196-218.

2. ODM 218.2.020-2012. Metodicheskie rekomendacii po ocenke propusknnoj sposobnosti avtomobil'nyh dorog [Guidelines for the assessment of road capacity]. Moscow, Rosavtodor, 2012, 148 p.

3. Maljugin P.N. Teorija i modelirovanie transportnyh potokov i sistem: konspekt lekcij po discipline «Teorija i modelirovanie transportnyh potokov i sistem» [Theory and modelling of transport flows and systems: the abstract of lectures on discipline «Theory and simulation of transport flows and systems»]. Omsk, SibADI, 2012. 45 p.

4. Levashev A.G., Mihajlov A.Ju., Golovnyh I.M. Proektirovanie reguliruemyh peresechenij [Design of controlled intersections]. Irkutsk, IrGTU, 2007. 208 p.

5. Akulov V.V. Analiz metodov uchjota intensivnosti dvizhenija na avtomobil'nyh dorogah [Analysis of methods of capturing traffic on the

roads]. Internet-zhurnal Naukovedenie, 2012, no 4(13), pp. 141-148.

6. Ignatov A.V. Sovershenstvovanie upravlenija perevozkami s uchetom riska vznikovenija transportnogo zatora na ulichno-dorozhnoj seti goroda: diss. kand. tehn. nauk: 05.22.10 [Improvement of management of transportation, taking into account risk of occurrence of traffic congestion on the road network of the city]. Saratov, 2015. 149 p.

7. Brehman A.I., Musin V.I. Issledovanie transportno-jekspluatacionnyh pokazatelej i opredelenie ih zakonemnostej na obhodnyh avtomobil'nyh dorogah vokrug srednih i malyh gorodov Respubliki Tatarstan [The study of transport performance indicators and determination of their regularities on bypass roads around small and medium cities of the Republic of Tatarstan], Izvestija Kazanskogo gosudartsvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2014, no 4, pp. 313-319

8. Jung-Ah Ha, Ju-Sam Oh Estimating Annual Average Daily Traffic Using Daily Adjustment Factor [Estimating Annual Average Daily Traffic Using Daily Adjustment Factor], Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, 2014, no 5, pp. 580-587

9. Dr. Md. Shamsul Hoque, Muhammad Ahad

Ullah. Dr. Hainid Nikraz Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh [Nikraz Investigation of traffic flow characteristics of Dhaka-Syijiet highway (N-2) of Bangladesh], International journal of civil engineering and technology (IJCET), 2013, no 4, pp.55-65

10. Chujan R.K. Metody matematicheskogo modelirovaniya dvigatelej letatel'nyh apparatov [Methods of mathematical modeling of aircraft engines], Moscow, Mashinostroenie, 1988. 288 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Печатнова Елена Владимировна (Барнаул, Россия) – аспирант кафедры «Теоретическая кибернетика и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (656049, Барнаул, пр. Ленина, 61, e-mail: phukcia@yandex.ru).

Pechatnova Elena Vladimirovna (Barnaul, Russia) – postgraduate «Theoretical Cybernetics and Applied Mathematics» Altai State University (656049, Barnaul, Lenin av., 61, e-mail: phukcia@yandex.ru).

.....