

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛА С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАСТРОЙКИ МЕСТНОСТИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

М.В. МАМЧЕНКО, В.А. ЗОРИН, М.А. РОМАНОВА

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65

Аннотация. В работе представлена эмпирическая модель расчета затухания сигнала с учетом коэффициента застройки местности для городских условий в диапазоне частот 150–2000 МГц, предназначенная для обеспечения связи и передачи данных между беспилотными транспортными средствами наземного и воздушного базирования, объединенными в смешанные группы. Представлены описание и анализ основных существующих моделей распространения радиоволн и затухания в различных условиях (город, пригородные районы и сельская местность), в том числе учитывающие коэффициент застройки местности при расчете потерь сигнала на трассе между абонентской и базовой станциями. Оценена применимость основных существующих моделей к условиям функционирования смешанной группы беспилотных транспортных средств, в том числе высотам антенн абонентских и базовых станций и расстоянию между ними. Для диапазона частот 1000–2000 МГц на основе известных моделей Хата (Окамура – Хата) и COST231 – Хата сформированы эмпирические выражения, позволяющие учесть коэффициент застройки для расчета потерь сигнала на трассе между воздушными и наземными беспилотными транспортными средствами в составе смешанной группы.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, умный город, потери сигнала, затухание сигнала, эмпирическая модель, модель CCIR, модель Окамура, модель Хата, модель Окамура – Хата, модель COST231 – Хата, модель Эриксона 9999

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Jharko E., Sakrutina E.* Towards the Problem of Creating a Safety Management System in the Transportation Area. IFAC-PapersOnLine. 2017. Vol. 50. No. 1. Pp. 15610–15615.
2. *Jharko E., Abdulova E., Iskhakov A.Y.* Unmanned Vehicles: Safety Management Systems and Safety Functions. Futuristic Trends in Network and Communication Technologies. FTNCT 2020. Communications in Computer and Information Science. 2021. No. 1396. Pp. 112–121.
3. *Iskhakov A., Jharko E.* Approach to Security Provision of Machine Vision for Unmanned Vehicles of “Smart City”. 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2020. Pp. 1–5.
4. *Trefilov P.M., Iskhakov A.Y., Meshcheryakov R.V. et al.* Simulation Modeling of Strapdown Inertial Navigation Systems Functioning as a Means to Ensure Cybersecurity of Unmanned Aerial Vehicles Navigation Systems for Dynamic Objects in Various Correction Modes. 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). 2020. Pp. 1046–1051.
5. *Seybold J.S.* Introduction to RF Propagation. New Jersey: John Wiley and Sons Inc., 2005. 330 p.
6. *Nnadi N.C., Nnadi I.C., Nnadi C.C.* Optimization of CCIR pathloss model using terrain roughness parameter. Mathematical and Software Engineering. 2017. No. 3. Pp. 156–163.

7. Ozuomba S., Johnson E., Rosemary N.C. Characterisation of Propagation Loss for a 3G Cellular Network in a Crowded Market Area Using CCIR Model. *Review of Computer Engineering Research*. 2019. Vol. 5. No. 2. Pp. 49–56.
8. Saliato A., Roig G., Gómez-Barquero D. *et al.* Radio propagation models for DVB-H networks. *Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation*. 2010. Pp. 1–5.
9. Ajose S.O., Imoize A.L. Propagation measurements and modelling at 1800 MHz in Lagos Nigeria. *International Journal of Wireless and Mobile Computing*. 2013. Vol. 6. No. 2. Pp. 165–174.
10. Yaremko I.N., Pavlovskaya K.A. *Analiz modeli rasprostraneniya radiovoln SUI dlya resheniya zadach postroyeniya setey sotovoy svyazi 5G* [Analysis of the SUI radio wave propagation model for solving the problems of building 5G cellular networks]. *Sbornik nauchnykh trudov DonIZHT* [Collection of scientific works of DonIZhT]. 2020. No. 56. C. 26–30. (In Russian)
11. *Rappaport T.S.* *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2nd edition. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 707 p.
12. *Goldsmith A.* *Wireless Communications*. 1st edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 674 p.
13. *Hata M.* Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1980. Vol. 29. No. 3. Pp. 317–325.
14. *Dvornikov S.V., Balykov A.A., Kotov A.A.* A simplified model for calculating signal losses in a radio link obtained by comparing Vvedensky's quadratic formula with existing empirical models. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti* [Control Systems, Communications and Security]. 2019. No. 2. P. 87–99. (In Russian)
15. *Kabaou M.O., Chibani B.R., Abdelkrim M.N.* Path loss models comparison in radio mobile communications. *International Journal of Soft Computing*. 2008. Vol. 3. No. 2. Pp. 88–92.
16. *Milanovic J., Rimac-Drlje S., Bejuk K.* Comparison of Propagation Models Accuracy for WiMAX on 3.5 GHz. 2007 14th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 2007. Pp. 111–114.
17. *Zreikat A., Dordevic M.* Performance Analysis of Path loss Prediction Models in Wireless Mobile Networks in Different Propagation Environments. *Proceedings of the 3rd World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science (EECSS'17)*. 2017. No. VMW 103. C. VMW 103-1–VMW 103-11.
18. *Dvornikov S.V., Dvornikov A.S., Kotov A.A., Muravtsov A.A.* Analysis of attenuation models of radio signals of decimeter waves. *Informatsiya i Kosmos* [Information and Space]. 2018. No. 2. P. 6–11. (In Russian)
19. *Imoize A.L., Dosunmu A.I.* Path Loss Characterization of Long Term Evolution Network for Lagos, Nigeria. *Jordan Journal of Electrical Engineering*. 2018. T. 4. No. 2. Pp. 114–128.
20. *Mollet M.S., Kisangiri M.* Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Mobile Communication. *Computer Engineering and Intelligent Systems*. 2014. Vol. 5. No. 9. Pp. 1–10.

Информация об авторах

Мамченко Марк Владиславович, науч. сотр. лаборатории № 80 «Киберфизические системы», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; 117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65;

markmamcha@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6366-9786>

Зорин Василий Александрович, ведущий инженер лаборатории № 80 «Киберфизические системы», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; 117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65;

V.a.zorin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7308-8387>

Романова Мария Андреевна, науч. сотр. лаборатории № 80 «Киберфизические системы», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук;

117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65;

rma-rda@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5825-209X>