

## ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И СЛЕЖЕНИЯ ЗА ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ В АТМОСФЕРЕ

И. Л. Фуфурин<sup>1\*</sup>, И. Б. Винтайкин<sup>1</sup>, А. Л. Назолин<sup>1</sup>, Д. Р. Анфимов<sup>1</sup>,  
Ил. С. Голяк<sup>1</sup>, С. И. Светличный<sup>2</sup>, М. С. Дроздов<sup>2</sup>, Иг. С. Голяк<sup>1</sup>,  
А. В. Щербакова<sup>1</sup>, А. Н. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва,  
Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова  
Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: [igfil@mail.ru](mailto:igfil@mail.ru)

### Аннотация

Прогресс в области разработки инфракрасных лазерных диодов, фотоприемных элементов матриц видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, а также лидарных систем позволяет применять методы оптической локации для обнаружения и сопровождения движущихся объектов в атмосфере. В первую очередь, речь идет о беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), которые находят широкое применение во многих областях человеческой деятельности. В настоящей работе описана экспериментальная установка, позволяющая на расстоянии более 1 км обнаружить в атмосфере движущийся объект, определить расстояние до него и в автоматическом режиме осуществить его сопровождение. Установка состоит из матричного фотоприемника видимого и ИК-диапазонов, источника активной подсветки в виде лазерного диода ИК-диапазона, излучающего на длине волны  $\lambda = 808$  нм с выходной мощностью 30 Вт, и инфракрасного лидарного модуля с энергией в импульсе до 15 мДж, излучающего на длине волны  $\lambda = 1540$  нм. Показано, что совокупность пассивных и активных оптических методов позволяет обнаружить в атмосфере движущиеся объекты, например аэрозольные облака или БПЛА. Для автоматического обнаружения движущихся объектов различных типов в процессе обработки изображений в видимом и ИК-диапазонах используются методы глубокого обучения (сверточные нейронные сети). С помощью описанной установки на нескольких трассах протяженностью до 1 км включительно проведены оценки линейных размеров беспилотных летательных аппаратов.

**Ключевые слова:** оптическая локация, детектирование, беспилотный летательный аппарат, лидар, глубокое обучение, мониторинг атмосферы.

**DOI: 10.31857/S0207401X2205003X**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубков Г.В., Манжелей М.И., Берлин А.А. и др. // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 3. С. 86.
2. Cromwell E., Flynn D. // Proc. 2019 IEEE Wint. Conf. Appl. Comp. Vision (WACV). Waikoloa: IEEE, 2019. P. 619.
3. Pepe M., Fregonese L., Scaioni M. // Eur. J. Rem. Sens. 2018. V. 51. № 1. P. 412.
4. Hammer M., Borgmann B., Hebel M. et al. // Laser Radar Technology and Applications XXIV / Eds. Turner M.D., Kamerman G.W. Proc. SPIE. 2019. V. 11005. 110050E.
5. Borchevkina O.P., Adamson S.O., Dyakov Y.A. et al. // Atmosphere. 2021. V. 12. № 9. 1116.
6. Borchevkina O.P., Kurdyayeva Y.A., Dyakov Y.A. et al. // Atmosphere. 2021. V. 12. № 11. 1384.
7. Nemer I., Sheltami T., Ahmad I. et al. // Sensors. 2021. V. 21. № 6. 1947.
8. Филин Е.Д., Куричек Р.В. // Инф. техн. телеком. 2018. Т. 6. № 2. С. 87.
9. Stary V., Krivanek V., Stefek A. // J. Com. Net. 2018. V. 20. № 5. P. 464.
10. Parker D.A., Stern D.E., Pierce L.S. U.S. Patent 9715009 B1 // USA, 2017.

11. *Alves M.A., Folgueras L.C., Martin I.M. et al.* // Proc. 2017 SBMO/IEEE MTT-S Intern. Microwave and Optoelectronics Conf. (IMOC). Aguas de Lindoia: IEEE, 2017. P. 1.
12. *Kim B.H., Kim M.Y.* // Proc. 17th Intern. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS). Jeju: IEEE, 2017. P. 1692.
13. *Kim B., Khan D., Bohak C. et al.* // Sensors. 2018. V. 18. № 11. 3825.
14. *Müller T.* // Proc. Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR VIII / Eds. Pham T., Kolodny M.A. Proc. SPIE. 2017. V. 10190. 1019018.
15. *Hornung A., Wurm K.M., Bennewitz M. et al.* // Autonom. Rob. 2013. V. 34. № 3. P. 189.
16. *Wang C., Wang T., Wang E. et al.* // Sensors. 2019. V. 19. № 9. 2168.
17. *Klasing K., Wollherr D., Buss M.* // Proc. 2008 IEEE Intern. Conf. Rob. Automat. Pasadena: IEEE, 2008. P. 4043.
18. *Ren S., He K., Girshick R. et al.* // IEEE Trans. Pat. Analys. Mach. Intel. 2017. V. 39. № 6. P. 1137.
19. *Redmon J., Farhadi A.* // Proc. 2017 IEEE Conf. Comp. Vis. Pat. Recogn. (CVPR). Honolulu: IEEE, 2017. P. 6517.
20. *Liu W., Anguelov D., Erhan D. et al.* // Proc. Comp. Vis. (ECCV) / Eds. Leibe B., Matas J., Sebe N., Welling M. Lect. Not. Comp. Sci. V. 9905. Cham: Springer Int. Publ., 2016. P. 21.
21. *Li X., Zhou Y., Pan Z. et al.* // Proc. 2019 IEEE/CVF Conf. Comp. Vis. Pat. Rec. (CVPR). Long Beach: IEEE, 2019. P. 9137.
22. *Girshick R., Donahue J., Darrell T. et al.* // Proc. 2014 IEEE Conf. Computer Vis. Pat. Rec. Columbus: IEEE, 2014. P. 580.
23. *Коханенко Г., Макогон М.* // Фотоника. 2010. Т. 118. № 4. С. 50.
24. *Razeghi M., Zhou W., Slivken S. et al.* // Appl. Opt. 2017. V. 56. № 31. P. H30.
25. *Goyal A.K., Wood D., Lee V. et al.* // Opt. Eng. 2020. V. 59. № 9. 092003.
26. *Robinson T.S., Price W.C.* // Proc. Phys. Soc. Sec. B. 1953. V. 66. № 11. P. 969.
27. *Fufurin I.L., Tabalina A.S., Morozov A.N. et al.* // Opt. Eng. 2020. V. 59. № 6. 061621.
28. *Скворцов Л.А.* Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. М.: Техносфера, 2014.
29. *Hugger S., Fuchs F., Jarvis J. et al.* // Proc. Quant. Sens. Nano Electr. Photon. XIII / Ed. Razeghi M. Proc. SPIE. 2016. V. 9755. 97550A.
30. *Rayner T., Weida M., Pushkarsky M. et al.* // Proc. Opt. Photon. Glob. Homeland Sec. III / Eds. Saito T.T., Lehrfeld D., DeWeert M.J. Proc. SPIE. 2007. V. 6540. 65401Q.
31. *Набиев Ш.Ш., Григорьев Г.Ю., Лагутин А.С. и др.* // Хим. физика. 2019. Т. 38. № 7. С. 49.
32. *Набиев Ш.Ш., Иванов С.В., Лагутин А.С. и др.* // Хим. физика. 2019. Т. 38. № 10. С. 3.
33. *Винтайкин И.Б., Голяк И.С., Королев П.А. и др.* // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 5. С. 9.
34. *Фуфурин И.Л., Шлыгин П.Е., Позвонков А.А. и др.* // Хим. физика. 2021. Т. 40. № 10. С. 68.
35. *Fufurin I.L., Anfimov D.R., Kareva E.R. et al.* // Opt. Eng. 2021. V. 60. № 8. 082016.
36. *Padilla-Jiménez A.C., Ortiz-Rivera W., Rios-Velazquez C. et al.* // Opt. Eng. 2014. V. 53. № 6. 061611.
37. *Golyak I.S., Anfimov D.R., Fufurin I.L. et al.* // Proc. SPIE Fut. Sens. Techn. / Eds. Valenta C.R., Shaw J.A., Kimata M. Proc. SPIE. 2020. V. 11525. 115250Y.
38. *Mahto P., Garg P., Seth P. et al.* // Intern. J. Adv. Res. Eng. Techn. 2020. V. 11. № 5. P. 409.
39. *Li Y., Lu Y., Chen J.* // Autom. Constr. 2021. V. 124. 103602.
40. *Pawelczyk M.L., Wojtyra M.* // IEEE Access. 2020. V. 8. P. 174394.
41. *Cheng S., Zhao K., Zhang D.* // Symmetry. 2019. V. 11. № 9. P. 1179.