

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

2025 (24) 4

қазан- желтоқсан

ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

БАС РЕДАКТОР:

Исахов Асылбек Абдишимович — есептеу теориясы саласында математика бойынша PhD доктор, "Компьютерлік ғылымдар және информатика" бағыты бойынша қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Басқарма Төрағасы – Ректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

Ипалакова Мадина Түлегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Лучино Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары

Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры

Өтелбаев Мұхтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Дузаев Нуржан Токсужаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нургуль Абдуллаевна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)

Мұхамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

Абдикаликова Замира Тұрсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Дамелия Максумовна Ескендірова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Бахтиярова Елена Азизбековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Тынымбаев Сахиябай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

Алимереб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Талеуш Валдас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

Мамырбаев Оркен Жұмажанович — PhD, КР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Меншік иесі: АҚ «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігіне мерзімді баспасөз басылымын есепке қою туралы куәлік № KZ82VPY00020475, 20.02.2020 ж. берілген

Тақырып бағыты: ақпараттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 100 дана.

Редакция мекенжайы: 050040 Алматы қ., Манас к., 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2025

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz> © Авторлар ұжымы, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Исахов Асылбек Абдиашимович — доктор PhD по математике в области теории вычислимости, ассоциированный профессор по направлению "Компьютерные науки и информатика", Председатель Правления – Ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучио Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайұлы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайұлы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дамеля Максумовна Ескендирова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай — PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахиябай — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Талеуш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошницкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Тематическая направленность: информационные технологии, информационная безопасность и коммуникационные технологии, цифровые технологии в развитии социально-экономических систем.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

Адрес редакции: 050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

© АО Международный университет информационных технологий, 2025

© Коллектив авторов, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

Assylbek Issakhov — PhD in Mathematics in Computability Theory, associate professor in “Computer Science and Informatics,” Chairman of the Board – Rector of the International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

ACADEMIC SECRETARY

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerai Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurgul Seilova — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yerlan Shildibekov — PhD, associate professor, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Damilya Yeskendirova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aigul Niyazgulova — Candidate of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyzbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association “UKRNET,” Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee No. KZ82VPY00020475, issued on 20.02.2020.

Thematic focus: information technology, digital technologies in the development of socio-economic systems, information security and communication technologies

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

Editorial address: 050040. Manas st. 34/1, Almaty. +7 (727) 244-51-09. E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

© International Information Technology University JSC, 2025

© Group of authors, 2025

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 6. Is. 4. Number 24 (2025). Pp. 190–207

Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz><https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.011>

УДК 520.6.05

ANALYSIS OF STRAYLIGHT IN CATADIOPTIC OPTICAL SYSTEMS**B.R. Zhumazhanov¹, A.T. Zhetpisbayeva², A.Ye. Kulakayeva^{2*}, B.S. Zhumazhanov³**¹«Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan;²International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz**Berik Zhumazhanov** — Head of the Payload and R&D Department, «Ghalam» LLP, 2nd year doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan<http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;**Ainur Zhetpisbayeva** — associate professor, the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, L.N. Gumilyov Eurasian National University, researcher, the Payload and R&D Department, «Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;**Aigul Kulakayeva** — associate professor, the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University, Almaty, KazakhstanE-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;**Beksultan Zhumazhanov** — design engineer, the Payload and R&D Department, «Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan<https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

© B.R. Zhumazhanov, A.T. Zhetpisbayeva, A.Ye. Kulakayeva*, B.S. Zhumazhanov

Abstract. The article discusses methods for calculating and analyzing unwanted components of the light flux that hit the detector of a catadioptric optical system designed for Earth remote sensing (ERS). With increasing requirements for the accuracy and resolution of observations and the tendency for space technology to be compact, restrictions on the number and size of elements blocking straylight are increasing, given that even a small proportion of parasitic radiation can greatly distort the useful signal, worsening the contrast and reducing the SNR. The objective of the work is to develop and test a comprehensive approach to calculating the amount of parasitic radiation hitting the detector and developing methods for minimizing it. The practical importance of the work is in the fact that the detailed calculated indicators

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0

International License



allow designers to identify sources of straylight and make changes to the system design to minimize it. In the payloads of ERS satellites, minimizing straylight increases the contrast and accuracy of data, ensuring the receipt of clear and informative images, which is necessary for reliable analysis of the state of the environment, agriculture and other ERS tasks.

Keywords: straylight, signal to noise ratio, baffle, remote sensing of the Earth, modeling in Ansys Zemax OpticStudio, catadioptric optical system

For citation: B.R. Zhumazhanov, A.T. Zhetpisbayeva, A.Ye. Kulakayeva*, B.S. Zhumazhanov. Analysis of straylight in catadioptric optical systems// International journal of information and communication technologies. 2025. Vol. 6. No. 24. Pp. 190–207. (In Rus.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.011>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

КАТАДИОПТРИКАЛЫҚ ОПТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ПАРАЗИТТІК СӘУЛЕЛЕНУДІ ТАЛДАУ

Б.Р. Жумажанов¹, А.Т. Жетписбаева², А.Е. Кулакаева^{2}, Б.С. Жумажанов³*

¹«Ghalam» ЖШС, Астана, Қазақстан;

²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

Жумажанов Берик — «Ghalam» ЖШС, пайдалы жүктеме және ғылыми әзірлемелер бөлімінің басшысы. Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің 2 курс докторанты, Астана, Қазақстан

<http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Жетписбаева Айнур — «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Ghalam» ЖШС, пайдалы жүктеме және ғылыми әзірлемелер бөлімінің ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Кулакаева Айгуль — «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Жумажанов Бексултан — «Ghalam» ЖШС, Пайдалы жүктеме және ғылыми әзірлемелер бөлімінің Инженер-конструкторы, Астана, Қазақстан
<https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

© Жумажанов Б.Р., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жумажанов Б.С.

Аннотация. Мақалада Жерді қашықтықтан зондтауға (ЖКЗ) арналған



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

катадиоптриялық оптикалық жүйенің детекторына түсетін жарық ағынының паразиттік компоненттерін есептеу және талдау әдістері қарастырылады. Бақылаулардың дәлдігі мен ажыратымдылық қабілетіне қойылатын талаптар артқан сайын, ал ғарыштық техниканың ықшамдалу үрдісін ескере отырып, паразиттік сәулеленуді бөгейтін элементтердің саны мен өлшемдеріне қойылатын шектеулер де күшейе түсуде. Бұл ретте тіпті аз ғана мөлшердегі паразиттік сәулеленудің өзі пайдалы сигналды едәуір бұрмалап, контрастты төмендетіп және С/Ш қатынасын нашарлатуы мүмкін. Жұмыста детекторға түсетін паразиттік сәулелену мөлшерін есептеудің кешенді тәсілін әзірлеу және оны азайту әдістерін ұсыну міндеті қойылған. Жұмыстың практикалық маңызы болып есептелген көрсеткіштер жобалаушыларға паразиттік сәулелену көздерін анықтауға және оны азайту үшін жүйе құрылымына өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді. ЖҚЗ ғарыш аппараттарының пайдалы жүктемесінде паразиттік сәулеленуді азайту контраст пен деректердің дәлдігін арттырады, бұл өз кезегінде қоршаған ортаның жай-күйін, ауыл шаруашылығын және ЖҚЗ-ға қатысты басқа да міндеттерді сенімді талдауды қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: паразиттік сәулелер, сигнал / шу қатынасы, бленда, Жерді қашықтықтан зондтау, Ansys Zemax OpticStudio модельдеу, катадиоптрикалық оптикалық жүйе

Дәйексөздер үшін: Жумажанов Б.Р., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жумажанов Б.С. катадиоптикалық оптикалық жүйелердегі паразиттік сәулеленуді талдау////Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2025. Т. 6. No. 23. Стр. 190–207. (орыс тіл.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.011>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АНАЛИЗ ПАРАЗИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КАТАДИОПТРИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Б.Р. Жумажанов¹, А.Т. Жетписбаева², А.Е. Кулакаева^{2*}, Б.С. Жумажанов³

¹ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан;

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

Жумажанов Берик — руководитель отдела полезной нагрузки и научных разработок, ТОО «Ghalam». докторант 2 года обучения, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
<http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Жетписбаева Айнур — ассоциированный профессор, кафедра радиотехники, электроники и телекоммуникации, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, научный сотрудник отдела полезной нагрузки и научных разработок, ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Кулакаева Айгуль — ассоциированный профессор, кафедра радиотехники, электроники и телекоммуникации, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>;

Жумажанов Бексултан — инженер-конструктор, отдел полезной нагрузки и научных разработок, ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан

<https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

© Жумажанов Б.Р., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жумажанов Б.С.

Аннотация. В статье рассматриваются методы расчета и анализа нежелательных компонентов светового потока, которые попадают на детектор катадиоптрической оптической системы, предназначенной для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С ростом требований к точности и разрешающей способности наблюдений при тенденции к компактности космической техники, возрастают ограничения к количеству и размерам элементов блокирования паразитного излучения, при том, что даже незначительная доля паразитного излучения способна сильно исказить полезный сигнал, ухудшая контраст и снижая отношение С/Ш. В работе ставится задача разработать и опробовать комплексный подход расчета количества паразитного излучения, попадающего на детектор и разработки методов их минимизации. Практическая важность работы заключается в том, что детально рассчитанные показатели позволяют проектировщикам выявить источники паразитного излучения и внести изменения в конструкцию системы для его минимизации. В полезных нагрузках космических аппаратов ДЗЗ минимизация паразитного излучения повышает контрастность и точность данных, обеспечивая получение четких и информативных изображений, что необходимо для достоверного анализа состояния окружающей среды, сельского хозяйства и других задач ДЗЗ.

Ключевые слова: паразитное излучение, отношение сигнал/шум, блэнда, дистанционное зондирование Земли, моделирование в Ansys Zemax OpticStudio, оптическая система

Для цитирования: Жумажанов Б.Р., Жетписбаева А.Т., Кулакаева А.Е., Жумажанов Б.С. Анализ паразитного излучения в катадиоптрических оптических системах //Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. 2025. Т. 6. No. 24. Стр. 190–207. (На рус.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.011>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

интересов.

Данное исследование финансировалось Аэрокосмическим комитетом Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан (BR21982462 «Разработка и тестирование малого спутника на основе отечественных технологий»).

Введение

Паразитное излучение, проникающее на детектор помимо основного оптического пути, способно существенно ухудшить качество получаемых данных. В высокоточных оптических системах, таких как астрономические телескопы или аппараты для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), даже незначительная доля рассеянного или прямого света может исказить результаты измерений и затруднять анализ слабых сигналов. По мере увеличения требований к точности наблюдений, включая задачи мониторинга поверхности и атмосферы Земли, актуальной становится проблема выявления возможных источников паразитного излучения в оптическом тракте и разработки эффективных методов его подавления.

В сложных конструкциях оптических систем, где помимо основных зеркал или линз могут присутствовать дополнительные оптические и механические элементы (бленды, оправы, внутренние диафрагмы и т. д.), формируется множество каналов, через которые избыточное излучение может достичь детектора. Это явление приводит к снижению контрастности изображения, увеличению уровня шума и затрудняет выполнение научных и прикладных задач. Для приборов, осуществляющих наблюдения Земли, минимизация паразитного излучения особенно критична, так как оно может маскировать слабые сигналы от земной поверхности, снижая точность и достоверность получаемой информации.

В настоящее время представлены комплексные оптикомеханические решения для подавления паразитного света в самых разных системах. Так, для фотоэлектрической системы зондирования была разработана асферическая воздушная камера с блендой и светозащитными кольцами, в которой моделирование в TracePro показало резкое снижение значения коэффициента пропускания точечного источника уже при угле падения $> 0,5^\circ$, а к 30° – до $\sim 10^{-8}$, что значительно улучшает контраст изображений (Li et al., 2022: 10). Аналогично, в подводном спектральном радиометре с плоскополевым вогнутым голографическим дифракционным элементом проанализированы источники паразитного света и предложены методы его подавления. Благодаря этому удалось снизить уровень засветки до $\sim 10^{-4}$, повысить отношение сигнал/шум и подтвердить спектральное разрешение < 3 нм, а также установить количественную зависимость между спектральной освещенностью и цифровым выходом прибора (Zhang et al., 2024: 1). Для космических оптикоэлектронных систем был испытан бронеситалл – легкая и технологичная

бронестеклокерамика – вместе с сегментированными зеркалами, удлиненными блендами и переходными блоками. Баллистические испытания показали, что единичные каверны на кварце лишь незначительно влияют на оптику, тогда как алюминиевые зеркала деформируются и дают рикошет, подтверждая эффективность предложенных пассивных средств защиты (Медунецкий и др. 2023: 587-591). В компактной системе SOCD с «наводящим» зеркалом и афокальным участком авторы учли ошибки формы и микрошероховатости, спроектировали фигурную входную диафрагму и нестандартный козырек, оптимизировали крепления и покрытия, что позволило в моделировании и экспериментах сократить засветку при углах до $60\text{--}80^\circ$ и повысить точность независимо от ориентации платформы (Han et al., 2023: 2–8). При моделировании рамановского спектрометра Черни–Тернера с алгоритмом POP в Ansys Zemax OpticStudio были проанализированы spot-диаграммы, MTF и encircled energy в диапазоне 530–630 нм (возбуждение 527 нм), что показало высокую эффективность формирования спектра и достаточное пространственное разрешение для компактного недорогого прибора (Naeem et al., 2022: 2–6). Для средневолнового ИКФурьеспектрометра на двойном качающемся зеркале предложили наружный кожух с углом избегания $\geq 30^\circ$ и внутренние кольцевые диафрагмы на зеркалах Кассегрена, а также введение клинового угла и наклона у пластин, что снизило PST с 10^{-4} до $10^{-7}\dots 10^{-8}$ и восстановило контраст интерференционных полос (Ben et al., 2024: 6–15). Также, на основе моделирования орбитальной геометрии спутника FY-3C в STK и трассировки лучей в TracePro с учетом BRDF-параметров конструктивных поверхностей прибора VIRR показано, что внешнее паразитное излучение от Солнца наиболее интенсивно при входе и выходе из тени Земли (углы солнечного зенита $60\text{--}90^\circ$). Сравнение моделируемой картины засветки с реальными артефактами на длине волны 3,7 μm (Band 3) подтвердило достоверность метода, который может быть адаптирован для анализа других орбитальных платформ и приборов (Zhao et al., 2021: 3–16). В интегрированной VIS–IR–THz-системе из-за роста отражения в ТГц диапазоне удлинени переднюю бленду до длины всего оптического пути с кольцевыми диафрагма-мивставками, установили экран между первым и третьим зеркалами с наклонными стенками и отражающую диафрагму перед фокальной плоскостью, а поверхности «осветлены» и охлаждены до 150–200 К, что позволило снизить PST в VIS–IR до $10^{-5}\dots 10^{-7}$ при $10\text{--}20^\circ$ и в ТГц (343 ГГц) до $10^{-7}\dots 10^{-8}$, а собственное излучение системы стало приемлемым (Jiang et al., 2–13). Для спектрометра FY3D/MERSI на солнечносинхронной орбите определили критические углы солнечного освещения при заходе/выходе из тени, спроектировали sunshade и inlet hood, добавили внутренние элементы – диафрагму Лию, ограничитель поля зрения, локальные бленды и специальные покрытия, благодаря чему PST в каналах VIS–NIR упал до $10^{-4}\dots 10^{-5}$ при $10\text{--}20^\circ$, что подтвердили лабораторные измерения, обеспечив паразитную засветку $< 1\%$ от полезного сигнала и создав типовую методику для широкоуголь-



ных спектральных приборов на метеоспутниках (Chen et al., 2–16). В целом, установка для PSTизмерений с полихроматом и пятью лазерами (λ 0,447–2,2 μm), зеркальным коллиматором \varnothing 1 м, двухколонной черной камерой и калибровочной линзой $f = 250$ мм, $F/5$, поле $\pm 6^\circ$ продемонстрировала диапазон PST $10^{-3} \dots 10^{-10}$ при $\theta = \pm 5 \dots \pm 60^\circ$ (Lu et al., 33939-33946).

Основная цель данного исследования состоит в разработке и проверке методики расчета паразитного излучения в катадиоптрической системе на базе программного комплекса Ansys Zemax OpticStudio, а также в оценке его влияния на качество получаемого изображения. Для достижения указанной цели проведен комплекс симуляций, охватывающих как оптические, так и системные аспекты.

На первом этапе выполнено моделирование распространения света с использованием трассировки лучей в программном комплексе Ansys Zemax OpticStudio. Это позволило идентифицировать основные источники паразитного излучения, такие как рассеяние на оптических элементах и отражения от внутренних поверхностей системы. Для более детального анализа проведено моделирование рассеяния света на оптических поверхностях с учетом шероховатостей, дефектов и загрязнений, а также моделирование многократных отражений внутри оптической системы, включая влияние антибликовых покрытий и диафрагм.

Далее проведено моделирование взаимодействия света с механическими элементами конструкции, такими как бленды, оправы и крепления. Это позволило оценить их вклад в формирование паразитного излучения. Кроме того, выполнены тепловые и механические симуляции для анализа влияния деформаций оптической системы, вызванных температурными и механическими нагрузками, на траектории лучей и уровень паразитного излучения.

Для оценки влияния паразитного излучения на качество изображения проведено моделирование работы детектора, включая анализ уровня шума и динамического диапазона. Также выполнены симуляции формирования изображения с учетом паразитного излучения, что позволило оценить его влияние на контрастность, разрешение и общее качество изображения.

На системном уровне проведено моделирование полной оптической системы с учетом всех элементов (оптика, механика, детектор) для комплексной оценки влияния паразитного излучения. Дополнительно выполнены симуляции в условиях эксплуатации, включая влияние внешних факторов, таких как солнечное излучение и фоновая засветка, что особенно актуально для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Для разработки методов подавления паразитного излучения проведена оптимизация конструкции оптической системы с использованием различных конфигураций. Также протестированы защитные меры, такие как бленды, диафрагмы и антибликовые покрытия, для оценки их эффективности.

На заключительном этапе выполнены алгоритмические симуляции для

разработки и тестирования методов обработки изображений, направленных на подавление паразитного излучения. Это включает методы вычитания фона, фильтрации шумов и калибровки системы для компенсации влияния паразитного излучения.

Проведенные симуляции позволили всесторонне изучить влияние паразитного излучения на качество изображения и разработать эффективные методы его минимизации. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации конструкции катадиоптрических систем и повышения точности получаемых данных в условиях, где паразитное излучение может существенно влиять на результаты измерений.

Совместное использование в данной оптической системе наружной и внутренней бленд в сочетании с антиотражательными покрытиями обеспечивает наиболее выраженный эффект снижения влияния паразитного излучения. Такой подход не допускает прямого попадания света на детектор и за счет многократного отражения на внутренних элементах оптической системы минимизирует уровень нежелательного светового фона.

Новизна данного исследования заключается в интегральном подходе, который объединяет моделирование различных типов избыточных компонентов светового потока – от рассеянного фона под малыми углами до мощного прямого попадания – с анализом разнообразных конфигураций использования бленд и покрытий в оптической системе. Использование программного комплекса Ansys Zemax OpticStudio позволяет не только оценивать количественные показатели, такие как суммарная мощность и количество паразитных лучей, достигших детектора, но и детально анализировать траектории их распространения, идентифицировать основные источники нежелательного излучения и оптимизировать конструкцию системы для минимизации его влияния. Кроме того, с помощью Ansys Zemax OpticStudio возможно моделировать различные сценарии эксплуатации, включая изменение углов падения света, уровней засветки и температурных условий, что обеспечивает всестороннюю оценку устойчивости оптической системы к паразитному излучению. Это особенно важно для разработки высокоточных приборов, работающих в сложных условиях, таких как космические аппараты дистанционного зондирования Земли, где даже незначительные искажения могут существенно повлиять на качество получаемых данных.

Результаты проведенного моделирования могут быть применены при проектировании высокоточных оптических приборов, включая системы, работающие на орбите и предназначенные для дистанционного зондирования Земли. В таких приложениях надежная изоляция детектора от паразитного излучения является критически важной для обеспечения высокой точности и достоверности получаемых данных.

Материалы и методы

Объектом исследования выступает зекально-линзовая оптическая



система, разработанная специалистами ТОО «Ghalam», предназначенная для использования в составе полезных нагрузок космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ). Для анализа паразитного излучения и его влияния на качество изображения использовался программный комплекс Ansys Zemax OpticStudio, который поддерживает моделирование распространения света в режиме непоследовательного распространения излучения (Non-sequential mode), что позволяет учитывать многократные отражения, рассеяние на шероховатых поверхностях, а также взаимодействие света с трехмерными механическими элементами, такими как бленды, оправы и диафрагмы. Этот режим также обеспечивает возможность анализа случайных путей проникновения света, включая отражения и рассеяние, что критически важно для изучения паразитного излучения и его влияния на качество изображения. Параметры оптического телескопа приведены в таблице 1 (В симуляции все покрытия близки к идеальному).

Таблица 1. Основные параметры телескопа Ричи-Кретьен, использованного в моделировании паразитного излучения

Параметры	Значения
Тип телескопа	Ричи-Кретьен
Фокусное расстояние	550 мм
Длина волны	Видимый свет 400-700 нм
Апертура	85 мм
Относительное отверстие	1/6,47
Количество лучей	Для сценария ambient straylight использовался один источник с количеством лучей 10^6 , а для сценария direct-hit straylight – несколько источников с суммарным количеством до 10^5
Покрытие линз	AR покрытия с идеальной пропускной способностью
Зеркала	С идеальным отражательным покрытием
Бленды и поверхность трубы	Полностью поглощают попадающий свет
Размер детектора	4096×3072 пикселей, однако для ускорения моделирования он был уменьшен до 250×250 пикселей

Алгоритм проведения моделирования паразитного излучения в исследуемой оптической системе приведен на рисунке 1.

Основные параметры, анализируемые в ходе моделирования, включали суммарную мощность паразитного излучения, максимальную освещенность на детекторе и количество лучей, достигающих детектора в обход основного оптического пути.

Экспериментальная часть исследования заключается в проведении виртуальных симуляций, включающих моделирование многократных отражений, рассеяния света и взаимодействия с механическими элементами, такими как бленды и диафрагмы.

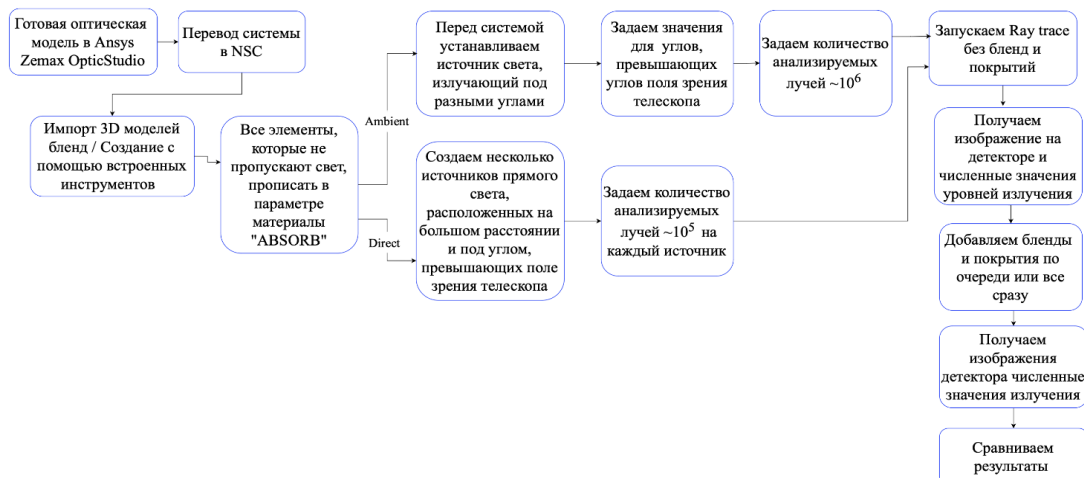


Рис. 1. Алгоритм моделирования паразитного излучения

Анализируются различные конфигурации системы, включая антиотражательные покрытия, для оценки их эффективности в минимизации паразитного излучения. Также моделируются условия эксплуатации, такие как изменение углов падения света и уровней засветки, что позволяет выявить оптимальные конструктивные решения для повышения качества изображения. Все симуляции проводились на этапе проектирования, что позволило принять меры для снижения уровня паразитного излучения.

Методология исследования базируется на сравнительном анализе различных конфигураций оптической системы, включая варианты с использованием наружных и внутренних бленд, а также антиотражательных покрытий. Такой подход позволяет выявить оптимальный набор защитных мер, обеспечивающих минимальное проникновение нежелательных лучей к детектору.

Полученные результаты могут быть применены при проектировании высокоточных оптических приборов для дистанционного зондирования Земли, где минимизация паразитного излучения является критически важной для обеспечения достоверности и точности получаемых данных.

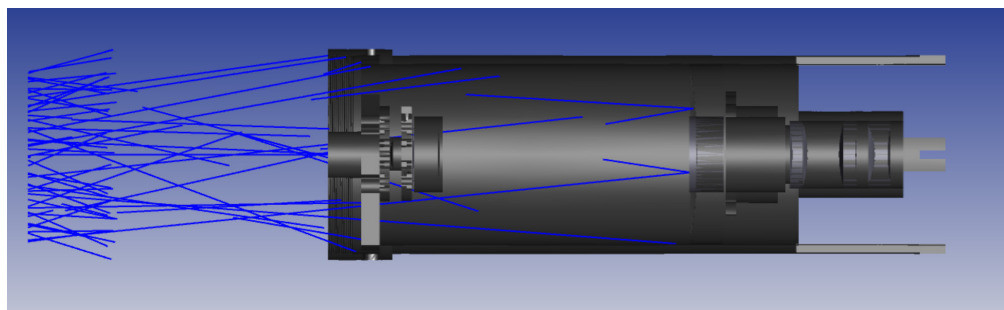
Результаты и обсуждение

Анализ паразитного излучения необходим для минимизации нежелательных помех, которые могут исказить данные, получаемые приборами дистанционного зондирования Земли. Данный анализ позволяет выявить источники паразитного излучения, такие как внутренние отражения и внешние факторы, а также определить меры по их снижению. В результате повышается отношение сигнал/шум и возрастает точность регистрируемых данных.

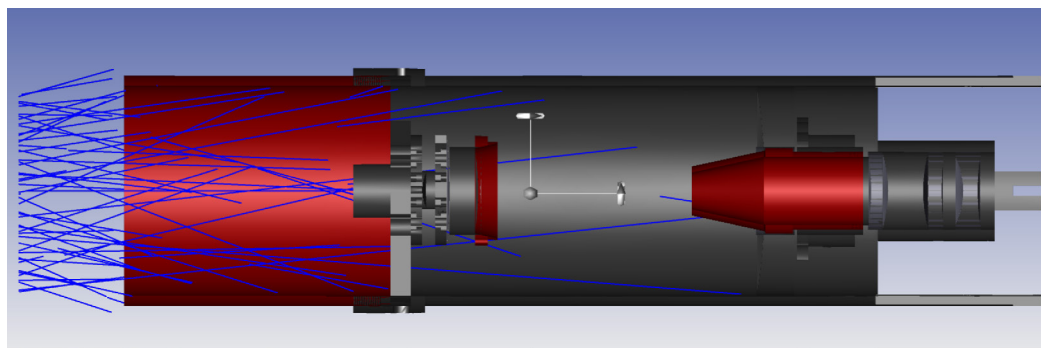
Паразитное излучение окружающей среды (Ambient straylight) – рассеянный свет, поступающий в оптическую систему из внешних источников, не связанных напрямую с целевым объектом наблюдения. Такой свет может проникать в оптическую систему, вызывая искажения изображения и снижение

его контраста, что ухудшает общую производительность системы.

Для оценки воздействия паразитного излучения окружающей среды в программном комплексе Ansys Zemax OpticStudio перед 3D-моделью оптической системы устанавливается источник света, имитирующий данное излучение. На рисунке 2 представлена 3D-модель с источником света и трассировкой 100 лучей. В ходе анализа было проверено 10^6 лучей от 20 источников излучения с углами падения на телескоп от $1,5^\circ$ до 30° . Рисунок 2 (а) демонстрирует телескоп без бленд, тогда как вариант (б) иллюстрирует ту же конструкцию, но с добавлением всех необходимых экранов (красным цветом выделены наружная бленда, а также бленды для вспомогательного и главного зеркал). В каждом случае прослеживается траектория лучей, чтобы оценить, насколько защитные элементы предотвращают попадание нежелательного излучения внутрь прибора.



а) система без бленд



б) система с установленными блендами

Рис. 2. Трассировка световых лучей внутри телескопа

Сопоставление рисунков 2(а) и 2(б) подтверждает, что установка бленд значительно уменьшает количество лучей, способных попасть на основные оптические поверхности. Это приводит к сокращению нежелательных компонентов световых потоков и повышению качества регистрируемого изображения. Таким образом, внедрение экранирующих конструкций является одним из основных способов борьбы с нежелательным рассеянным светом в телескопических системах, применяемых в том числе и для дистанционного

зондирования Земли.

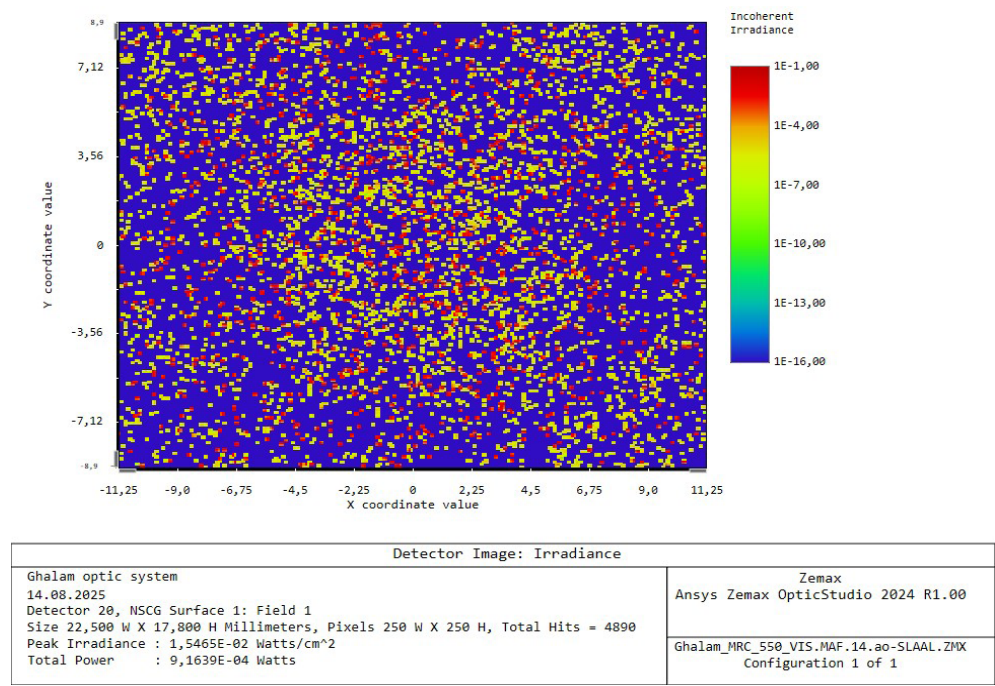
Кроме этого, изображения на детекторах показаны на рисунке 3, а подробные результаты приведены в таблице 2. Результаты моделирования, демонстрирующие распределение нежелательных компонентов световых потоков на детекторе при отсутствии защитных экранов (рисунок 3(а)), а на рисунке 3(б), та же система, но с установленными блендами. В первом случае нежелательные лучи беспрепятственно проникают на детектор и увеличивают общий фоновый уровень, а во втором блокирующие элементы заметно снижают паразитное освещение.

Сопоставление рисунков 3(а) и 3(б) наглядно свидетельствует о высокой эффективности бленд при подавлении нежелательных лучей. Это обеспечивает более низкий уровень шумов и, как следствие, улучшает контрастность изображения, что особенно важно для точных измерений и наблюдений. Прямое попадание рассеянного света (Direct hit straylight) – свет, который проникает в оптическую систему непосредственно от интенсивного внешнего источника, распространяясь без значительного рассеяния. Это приводит к появлению артефактов и снижению качества изображения из-за прямого воздействия на элементы оптики.

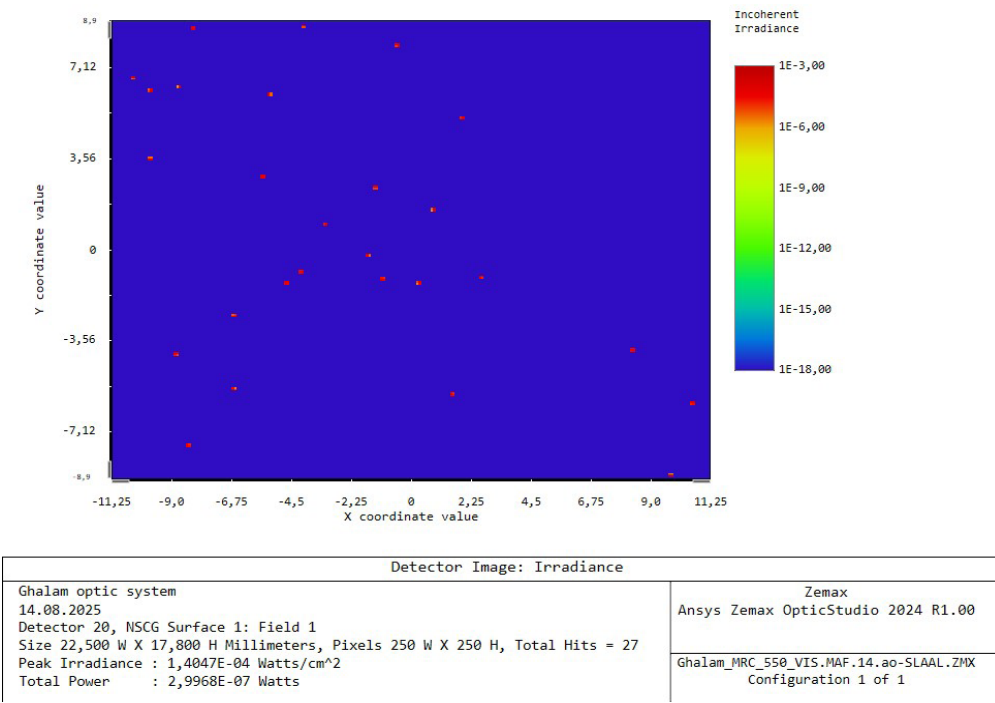
Таблица 2. Результаты анализа паразитного излучения прямого попадания

Конфигурация телескопа	Попадание лучей	Общая мощность, Вт	Максимальная освещенность, Вт/см ²
Без бленд, без покрытия	4813	9,15E-04	1,46E-02
Наружная бленда, без покрытия	3622	7,03E-04	1,41E-02
Бленда главного зеркала, без покрытия	500	1,35E-06	3,54E-04
Наружная и ГЗ бленды, без покрытия	401	1,23E-06	3,52E-04
Без бленд, AR покрытие	998	8,14E-04	1,73E-02
Наружная бленда, AR покрытие	27	2,89E-07	1,42E-04
Бленда ГЗ, AR покрытие	994	7,92E-04	1,86E-02
Наружная и ГЗ бленды, AR покрытие	708	5,55E-04	1,43E-02

Для анализа прямого попадания паразитного излучения перед телескопом на большом расстоянии размещаются 8 источников света с углами падения от 5° до 30°. В рамках исследования было проверено 10^5 лучей для каждого источника. На рисунке 4 показана ситуация, когда яркий внешний источник света попадает на телескоп практически напрямую, без значительного рассеяния.



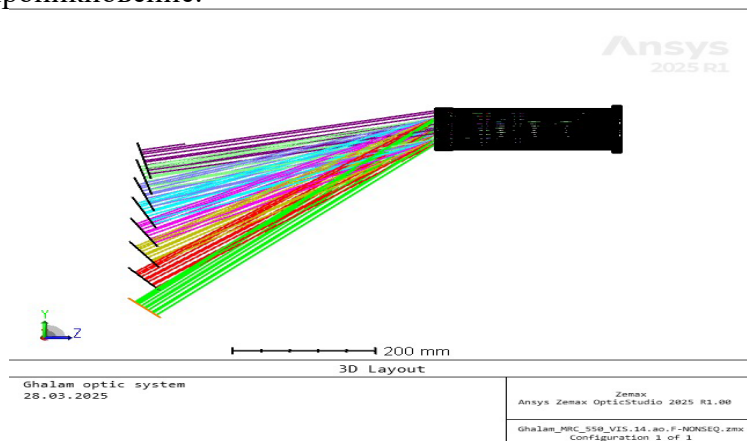
а) изображение на детекторе телескопа без бленд



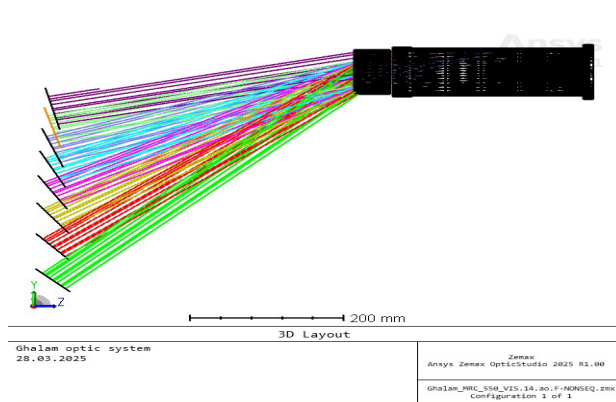
б) изображение на детекторе телескопа с блендами

Рис. 3. Изображение на детекторе телескопа

На рисунке 4(а) представлена конфигурация без бленд, а на рисунке 4(б) показана та же система, но уже с установленными экранами (наружная бленда, а также бленды для вторичного и главного зеркал, выделенные красным цветом). Цветные лучи отражают ход света от источника к оптической системе и позволяют наглядно оценить, насколько эффективно экраны блокируют нежелательное проникновение.



а) в телескопе без бленд



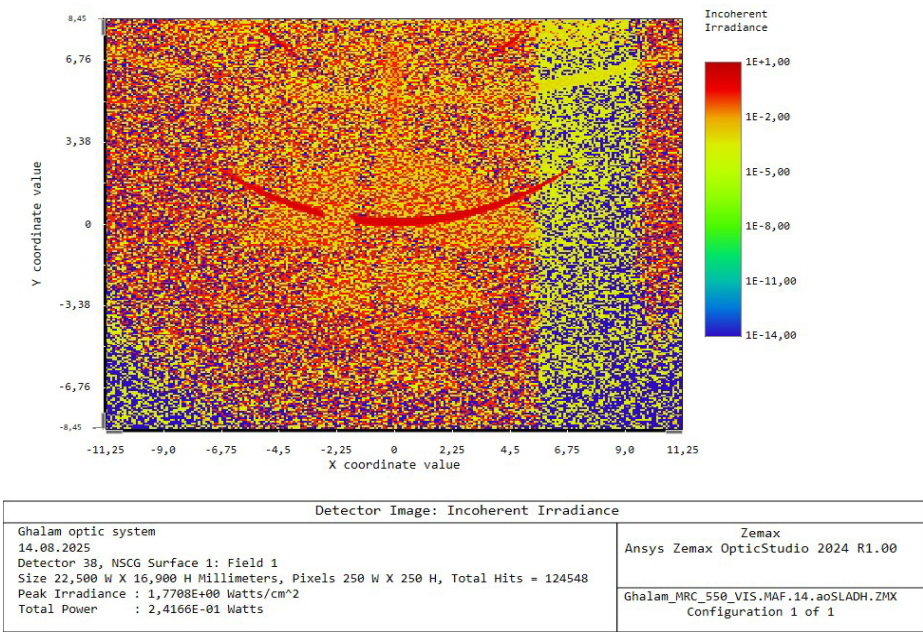
б) в телескопе со всеми блендами

Рис. 4. Ход лучей при симуляции прямого попадания рассеянного света

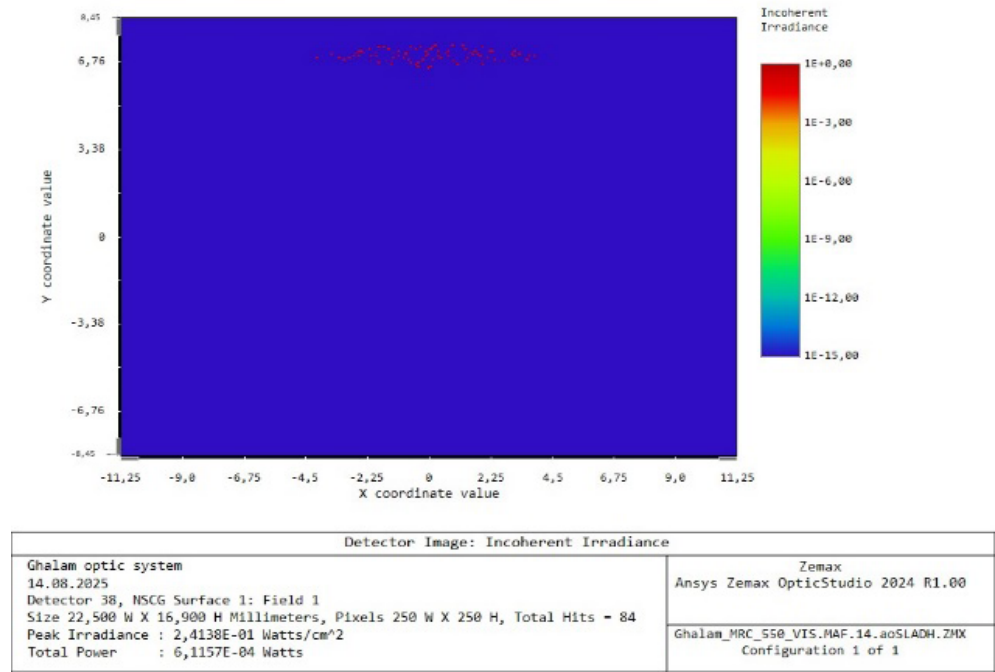
Таким образом, использование защитных экранов становится критически важным при наличии интенсивных источников света, способных вызывать ощутимых нежелательных компонентов светового потока в оптических системах.

На рисунке 5 показаны распределения нежелательного освещения на детекторе при двух различных конфигурациях телескопа. Рисунок 5(а) когда бленды отсутствуют, и рисунок 5(б) когда они установлены в полном объеме. На каждом из изображений цветовая шкала показывает уровень интенсивности, что позволяет оценить общее количество посторонних лучей и характер их распределения по площади детектора.





а) изображение на детекторе телескопа без бленд



б) изображение на детекторе телескопа со всеми блендами

Рис.5. Влияние бленд на изображение телескопа

Таблица 3 содержит сравнительные данные по различным вариантам конструкции телескопа в условиях прямого попадания внешнего источника на оптическую систему. Для каждой конфигурации приводятся три основных параметра: общее число лучей, достигших детектора, их суммарная мощность (Вт) и максимальная освещенность детектора (Вт/см²). Такие показатели позволяют оценить, как конкретное сочетание бленд и антирефлектных покрытий влияет на уровень нежелательного освещения.

Таблица 3. Результаты анализа паразитного излучения прямого попадания

Конфигурация телескопа	Попадание лучей	Общая мощность, Вт	Максимальная освещенность, Вт/см ²
Без бленд, без покрытия	124703	2,41E-01	1,80E+00
Наружная бленда, без покрытия	77482	1,43E-01	1,78E+00
Бленда главного зеркала, без покрытия	16997	1,47E-03	2,04E-01
Наружная и ГЗ бленды, без покрытия	15174	7,11E-04	2,05E-01
Без бленд, AR покрытие	33594	2,79E-01	2,12E+00
Наружная бленда, AR покрытие	20344	1,65E-01	2,10E+00
Бленда ГЗ, AR покрытие	192	1,46E-03	2,39E-01
Наружная и ГЗ бленды, AR покрытие	90	6,12E-04	2,40E-01

Из приведенных сведений видно, что наибольшее число лучей, а также самые высокие мощность и освещенность фиксируются в конфигурациях без бленд и без специальных покрытий. Напротив, комбинированное использование наружной бленды, бленды главного зеркала (ГЗ) и антиотражающее покрытие (AR-покрытие) дает наиболее эффективное подавление паразитного света. Данные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к защите системы, потому что нежелательный или слишком яркий свет может перегрузить чувствительный элемент, исказив полезный сигнал и приводя к неточным результатам.

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что основной вклад в общий уровень нежелательного света в телескопической системе вносят прямые пролеты от ярких источников при отсутствии достаточной экранировки, а также

многократные отражения внутри прибора. Установка наружной и внутренней бленд позволила существенно сократить число паразитных лучей и заметно уменьшить общую мощность, регистрируемую детектором.

Ограничением данного исследования является идеализированная среда компьютерного моделирования, в которой не учитываются возможные неточности сборки оптики, загрязнения покрытий и нестабильность внешних источников. Также в реальных условиях могут проявляться дополнительные факторы, связанные с дифракцией на краях бленд или со смещением оптических элементов. Тем не менее, проведенные расчеты дают достоверную оценку основных путей проникновения нежелательного освещения и способов их блокировки, что очень важно при проектировании приборов для дистанционного зондирования Земли.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что инженеры и конструкторы, получив готовый набор количественных показателей (число лучей, мощность, максимальная освещенность), могут заранее планировать расстановку бленд и выбор антирефлектных покрытий, не доводя дело до дорогостоящих переделок после изготовления системы.

Однако все еще остаются открытыми вопросы по более детальному учету рассеяния на микрошероховатостях и реальных свойствах материалов, особенно в широком спектральном диапазоне. Также требует внимания моделирование мелких механических деталей, способных вызывать неоднородное рассеяние или непрогнозируемые зеркальные блики.

Заключение

Проведенные моделирования и расчеты четко показали, что при отсутствии эффективных мер экранирования даже небольшое количество нежелательных компонентов светового потока, попадающих в телескоп, может существенным образом искажать изображение. В результате снижается контраст, понижается отношение сигнал/шум и возрастает риск перенасыщения детектора. Установка наружной бленды, дополнительной бленды главного зеркала и применение антирефлектных покрытий позволили на порядок сократить интенсивность и число паразитных лучей, тем самым значительно повысив качество регистрируемых данных. Это особенно важно для аппаратов дистанционного зондирования Земли, где избыточное освещение от посторонних источников способно скрыть слабые сигналы, исказить измерения и усложнить научный анализ. Значимость таких результатов заключается в том, что предложенная методика позволяет проектировщикам еще на стадии виртуального моделирования выявлять основные пути проникновения лишнего света и оптимизировать расстановку экранирующих элементов и покрытий, избегая дорогостоящих корректировок после изготовления приборов.

Также рекомендуется заранее закладывать в конструкцию систему экранирующих элементов, ориентируясь на расчеты в программных пакетах наподобие Ansys Zemax OpticStudio, с учетом возможного внешнего рассеянного

света и прямых попаданий ярких источников. Качественное просветление оптики и обеспечение надежного блокирования самых проблемных путей проникновения лучей позволяют избежать существенного увеличения уровня фоновой засветки и гарантировать высокую точность получаемых данных.

REFERENCES

- Ben C., Shen H., Yu X., Meng L., Cheng H., Jia P. (2024). Stray light analysis and suppression for an infrared Fourier imaging spectrometer // *Photonics*. — 2024. — Vol. 11. — No. 2. — P. 173.
- Chen S., Niu X. (2023). Analysis and suppression design of stray light pollution in a spectral imager loaded on a polar-orbiting satellite // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23. — No. 17. — P. 7625.
- Han P., Guo J., Zhang M., Xue R., Ren G., Liu Y. (2023). Stray light control for the space-agile optical system with a pointing mirror // *Applied Optics*. — 2023. — Vol. 62. — No. 12. — Pp. 3132–3141.
- Jiang H., Niu X. (2023). Stray light analysis and suppression of the visible to terahertz integrated cloud detection optical system // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23. — No. 8. — P. 4115.
- Li J., Yang Y., Qu X., Jiang C. (2022). Stray light analysis and elimination of an optical system based on the structural optimization design of an airborne camera // *Applied Sciences*. — 2022. — Vol. 12. — No. 4. — P. 1935.
- Lu Y., Xu X., Zhang N., Lv Y., Xu L. (2024). Study on stray light testing and suppression techniques for large-field of view multispectral space optical systems // *IEEE Access*. — 2024. — Vol. 12. — Pp. 33938–33948.
- Медунецкий В. М., Добряков Б. Н., Солк С. В., Меркулов Ю. Ю., Сильников Н. М. (2023). Экспериментальные методы и средства защиты оптико-электронных систем космического базирования от механических воздействий // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. — 2023. — Т. 66. — № 7. — С. 585–593.



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

<https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет
информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Мрзабаева Раушан Жалиқызы

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР
Ермакова Вера Александровна

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Рашидинов Дамир Рашидинович

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА
Асанова Жадыра

Подписано в печать 15.12.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф. 9,0 п.л. Тираж 100
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

Издание Международного университета информационных технологий
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59