

ISSN: 1991-346X (Print)
ISSN: 2518-1726 (Online)

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**Nº4
2025**

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2025 • 4



ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

Editor-in-Chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Editorial Board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daejeon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

BERSIMBAEV Rakhatkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagayevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № KZ93VPY00121157 issued 05.06.2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Бас редактор:

ЖУРЫНОВ Мурат Жүрінұлы, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, КР ҰҒА РКБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакция ұжымы:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәліұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингтің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбітұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеттің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

ӘБИЕВ Рұфат, техникағылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының мөнгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

ОЛИМЬЕРО Rossi Cesare, PhD (химия), Калабрия университеттің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=5722137597>

ТИГИНИНУ Ион Михайлович, физика-математикағылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университетті (Кишинев, Молдова) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, арохимия), профессор, Корея Биогылым және биотехнологияғылыми-зерттеу институты (KRIBB), осімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқұлы Ескендеріұлы, биологияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетті (Астана, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанокүрьымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Қуантай Авғазғыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фарабийнадағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

Бұркітбаев Мұхамбетқали, химияғылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университетті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математикағылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математикағылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Колданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

ТАКІБАЕВ Нұргали Жабагаұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербұланович, физика-математикағылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

ӘБІШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математикағылымдарының докторы, профессор, КР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнутталайұлы, химияғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Отын, катализ және электрохимия институты» АҚ бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасоз басылымын, ақпарат агенттігін және желелік басылымды қайта есепке қою туралы КР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № KZ93VPY00121157 Қуалық.

Такырыптық бағыты: *физика, химия*.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

РАМАЗАНОВ Тлеекабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

ОЛИВЬЕРО Rossi Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрия (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

ТИГИНИЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионики и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

БЕРСИМБАЕВ Раҳметқажи Исқендирович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

БОШКАЕВ Куантай Авғазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

БҮРКИТТАЕВ Мұхамбетқали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

ЖУСПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

АБИШЕВ Медеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

АБИЛЫМАГЖАНОВ Арлан Зайнутталаевич, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан 05.06.2025

Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

CONTENTS**PHYSICS**

U.A. Ualikhanova, Y.Y. Kurban, A.M. Syzdykova, A.B. Altaibayeva, G.S. Altayeva Dynamical systems analysis of the Starobinsky cosmological model.....	11
M.B. Zhassybayeva, Z. Myrzakulova, M. Abeuova Darboux transformation for the two-layer M-LXXII equation.....	24
G.K. Beketova, N.N. Zhanturina, Z.K. Aimaganbetova Cs ₂ AgBiBr ₆ double halide perovskites as advanced materials for high-efficiency solar cells.....	38
L.I. Shestakova, R.R. Spassuk Spectral studies of the k-f corona interface at 5000–6000 Å.....	52
A.Khazhidinova, A. Khazhidinov On the issue of fuel consumption of a thermal power plant.....	66
T.B. Koshtybayev, K.K. Zhantleuov, M.E. Aliyeva Greens function in the theory of quantum fluids.....	77
A.V. Serebryanskiy, Ch.B. Akniyazov, Ch.T. Omarov, S. Sittykova, D. Kadyrova Analysis of lunar impact flashes statistics.....	91
G.T. Omarova, Zh.T. Omarova The Lagrange - Jacobi equation and its application to the N - body problem.....	105
Zh. Muratkhan, M. Khassanov Methods for estimation of stellar wind parameters in high-mass X-ray binary systems with neutron stars.....	113
V. Mukamedenkyzy, A. Izbasar, A. Aqikat Investigation of structured flows induced by concentration-driven convection in ternary gases systems.....	127
K. Saurova, S. Nysanbaeva, G. Turlybekova Modeling of the optical system of a star tracker for accurate spacecraft attitude determination.....	140

CHEMISTRY

B.S. Serikbayeva, M.S. Satayev, N.K. Sarypbekova Study of the electroplating process on polypropylene using a conductive layer.....	157
A.P. Auyeshov, Ch.Z. Yeskibayeva, A.K. Dikanbayeva Resource-efficient utilization of serpentinite waste for magnesium sulfate production.....	172
A.K. Kozybaev, Zh.D. Alimkulova, S.O. Abilkasova Kinetic and thermodynamic studies of heavy metal adsorption onto water-washed Ca-montmorillonite clay.....	184
A.Abdrakhmanova, V. Krivchenko, A. Sabitova1, B. Kuderina DOL-enhanced electrolytes as a route to stable anodes in Li–V ₂ O ₅ systems.....	196
B.K. Massalimova, A.S. Shayakhmetova, A.S.Darmenbayeva Water resources of Northern Kazakhstan: environmental monitoring and sustainable anagement.....	208
A. Rakhimov, N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova, A.K. Sviderskiy Investigation of lead slag processing waste as raw material for cement industry.....	227
L.M. Kalimoldina, K.Zh. Zhalgasbayev, A.S. Dauletbayev Comparative study of industrial wastewater treatment methods.....	241
A. Nurlan, S.R. Konuspayev, T.S. Abildin, K. Toshtay Transformations of hydrocarbons during the hydrogenation of gasoline containing benzene.....	256
G.J. Baisalova, B.K. Yertay, A.A. Taltenov, P. Kuzhatova, G. Saspuagayeva A quantitative determination of the phenol compounds sum in the thallus of <i>Parmelia sulcata</i>	274
B.E. Myrzabekov, A.B. Makhanbetov, T.E. Gaipov, B.S. Abzhalov, N.N. Nurgaliyev Electrochemical reduction of manganese (II) ions on titanium and lead electrodes.....	286
A.S. Darmenbayeva, G.M. Zhussipnazarova, R. Reshmy, Zh.B. Mukazhanova, V.A. Rube Biocoatings based on flax stem cellulose and their properties.....	298



МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Құрбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Старобинскийдің космологиялық моделін динамикалық жүйелер арқылы талдау.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзакулова, М. Абейова Көс қабатты M-LXXII теңдеуі үшін дарбу түрлендіруі.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурина, З.К. Аймаганбетова $Cs_2AgBiBr_6$ қос галоидты первовскиттер: күн батареяларына арналған тиімділігі жогары жаңа озық материалдары.....	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк 5000–6000 Å диапазонында k- және f-короналар арасындағы өтпелі аймақты спектрлік зерттеу.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов Жылу электр станциясының отын тұтыну мәселесі.....	66
Т.Б. Қоштыбаев, К.Қ. Жантлеуов, М.Е. Алиева Кванттық сұйықтар теориясындағы Грин функциялары.....	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Айдын беткі қабатына метеоридтардың соқтығысының статистикалық түрғыда зерттеу.....	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Лагранж – Якоби түндеуі және оны N -денелі есепке қолдану.....	105
Ж. Мұратхан, М. Хасанов Нейтрон жүлдіздары бар массивті рентгендік екілік жүйелердегі жүлдіздық жел параметрлерін бағалау әдістері.....	113
В. Мукамеденқызы, А. Ізбасар, А. Ақиқат Үшкомпонентті газ жүйелеріндегі концентрациялық конвекцияның әсерінен құрылымдық ағындардың пайда болуын зерттеу.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Фарыш аппараттарының ориентациясын нақты анықтау үшін жүлдіз сенсорының оптикалық жүйесін модельдеу.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыбекова Электроткізгіш қабатты қолданып, полипропиленге гальваникалық қаптама алу процесін зерттеу.....	157
А.П. Аушев, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева Серпентинит қалдығынан магний сульфатын алудың техникалық-экономикалық зерттеуі.....	172
А.Қ. Қозыбаев, Ж.Д. Әлімқұлова, С.О. Әбілқасова Сүмен жуылған са-монтажориллонит сазында ауыр металдардың сорбциясының кинетикасы мен термодинамикасы.....	184
А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. Кудерина Li–V ₂ O ₅ жүйесіндегі тұрақты анодтарға қол жеткізуге арналған DOL-мен модификацияланған электролиттер.....	196
Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дағменбаева Солтүстік Қазақстанның су ресурстары: экологиялық мониторинг және ұтымды басқару.....	208
А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свидерский Цемент өнеркәсібі үшін шикізат ретінде қорғасын қожын өңдеу қалдықтарын зерттеу.....	227
Л.М. Калимолова, Қ.Ж. Жалгасбаев, А.С. Даuletbaev Өнеркәсіптік сарқынды суларды тазартудың әдістерін салыстырмалы түрде зерттеу.....	241
Ә. Нұрлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, Қ. Тоштай Құрамында бензол бар бензинді гидрлеу кезінде көмірсутектердің өзгеруі.....	256
Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А.Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева <i>PARMELIA SULCATA</i> талломындағы фенолды қосылыстардың жиынтық мөлшерін сандық анықтау.....	274
Б.Ә. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Ә. Гаипов, Б.С. Абжолов, Н.Н. Нұргалиев Марганец (II) ионының титан және қорғасын электродында электрохимиялық тотықсыздануы.....	286
А.С. Дағменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе Зығыр сабағынан алынған целлюлоза негізіндегі биожабындар және олардың қасиеттері.....	298



СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

У.А. Уалиханова, Е.Е. Курбан, А.М. Сыздыкова, А.Б. Алтайбаева, Г.С. Алтаева Анализ космологической модели старобинского с помощью динамических систем.....	11
М.Б. Жасыбаева, Ж. Мырзакулова, М. Абеуова Преобразование Дарбу для двухслойного уравнения M-LXXII.....	24
Г.К. Бекетова, Н.Н. Жантурин, З.К. Аймаганбетова $Cs_2AgBiBr_6$: двойные галоидные перовскиты как передовые материалы для высокоэффективных солнечных элементов	38
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк Спектральные исследования области перехода между K и F короной в диапазоне 5000–6000Å.....	52
А. Хажидинова, А. Хажидинов К вопросу о расходе топлива на тепловой электростанции.....	66
Т.Б. Коштыбаев, К.К. Жантлеуов, М.Е. Алиева Функции Грина в теории квантовых жидкостей	77
А.В. Серебрянский, Ч.Б. Акниязов, Ч.Т. Омаров, С. Ситтыкова, Д. Кадырова Исследование статистики ударов метеороидов о поверхность луны	91
Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова Уравнение Лагранжа – Якоби и его применение к задаче N -тел.....	105
Ж. Муратхан, М. Хасанов Методы оценки параметров звездного ветра в массивных двойных рентгеновских системах с нейтронными звездами.....	113
В. Мукамеденкызы, А. Избасар, А. Акикат Исследование возникновения структурированных течений, обусловленных концентрационной конвекцией в трёхкомпонентных газовых системах.....	127
К. Саурова, С. Нысанбаева, Г. Турлыбекова Моделирование оптической системы звёздного датчика для точного определения ориентации космических аппаратов.....	140

ХИМИЯ

Б.С. Серикбаева, М.С. Сатаев, Н.К. Сарыпбекова	
Исследование процесса гальванопокрытия на полипропилене с использованием электропроводного слоя.....	157
А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева	
Технико-экономическое исследование получения сульфата магния из серпентинитового отхода.....	172
А.К. Козыбаев, Ж.Д. Алимкулова, С.О. Абилкасова	
Кинетика и термодинамика сорбции тяжелых металлов на промытой водой кальциево-монтмориллонитовой глине.....	184
А. Абдрахманова, В. Кривченко, А. Сабитова, Б. Кудерина	
DOL – модифицированные электролиты как путь к стабильным анодам в системах $\text{Li}-\text{V}_2\text{O}_5$	196
Б.К. Масалимова, А.С. Шаяхметова, А.С. Дарменбаева	
Водные ресурсы Северного Казахстана: экологический мониторинг и устойчивое управление.....	208
А. Рахимов, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова, А.К. Свидерский	
Исследование отходов переработки свинцового шлака в качестве сырья для цементной промышленности.....	227
Л.М. Калимoldина, К.Ж. Жалгасбаев, А.С. Дэулетбаев	
Сравнительное исследование методов очистки промышленных сточных вод	241
А. Нурлан, С.Р. Конуспаев, Т.С. Абильдин, К. Тоштай	
Превращения углеводородов при гидрировании бензина, содержащего бензол.....	256
Г.Ж. Байсалова, Б.К. Ертай, А.А. Талтенов, П. Кужатова, Г.Е. Саспугаева	
Количественное определение суммы фенольных соединений в талломе <i>PARMELIA SULCATA</i>	274
Б.Э. Мырзабеков, А.Б. Маханбетов, Т.Э. Гайпов, Б.С. Абжалов, Н.Н. Нургалиев	
Электрохимическое восстановление ионов марганца (II) на титановом и свинцовом электродах.....	286
А.С. Дарменбаева, Г.М. Жусипназарова, Р. Решми, Ж.Б. Мукажанова, В.А. Рубе	
Биопокрытия на основе целлюлозы из стебля льна и их свойства.....	298



ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 4.
Number 356 (2025), 140–156

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1483.390>

UDC 629.78(075.8)

©K. Saurova^{1*}, S. Nysanbaeva¹, G. Turlybekova², 2025.

¹Almaty University of Energy and Communications named after. G. Daukeev,
Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty.
Kazakhstan. E-mail: k.saurova@aues.kz

MODELING OF THE OPTICAL SYSTEM OF A STAR TRACKER FOR ACCURATE SPACECRAFT ATTITUDE DETERMINATION

Saurova Kamila — Master, Art. Lecturer at the Department of Space Engineering, Almaty University of Energy and Communications named after. G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: k.saurova@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7960-8106>;

Nyssanbaeva Saltanat — PhD, Associate Professor of the Department of Space Engineering, Almaty University of Energy and Communications named after. G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: s.nysanbaeva@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9254-3819>;

Turlybekova Gulzhan — candidate of technical sciences, associate professor. Kazakh National Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan, E-mail: g.turlybekova@satbayev.university; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-4931>.

Annotation. Modern space technologies impose increasing requirements on the accuracy, reliability, and autonomy of spacecraft control systems. One of the key challenges is the high-precision determination of the spatial orientation of platforms, which ensures the correct operation of onboard systems, accurate targeting of payloads, execution of flight programs, and successful mission management. Insufficient orientation accuracy reduces the effectiveness of scientific observations, navigation operations, and equipment utilization, making the development of high-precision orientation systems a priority scientific and technical task.

Star trackers are leading orientation instruments due to their high angular accuracy, resistance to interference, and autonomy from ground-based infrastructure. Their performance is determined by the parameters of the optical system, including light-gathering power, resolution, level of aberrations, quality of the photosensitive matrix, and resistance to external factors such as vibrations, radiation, and temperature fluctuations. Optical distortions, noise, or stray illumination can significantly reduce measurement accuracy, emphasizing the critical importance of optimizing the optical system.

Modeling the optical system of a star tracker at the design stage allows predicting the influence of structural and physical factors on orientation accuracy, investigating



aberrations, diffraction effects, and sensor noise, as well as evaluating the efficiency of image processing algorithms. The use of modeling methods enables optimization of system parameters, improvement of tracker accuracy and reliability, and reduction of costs associated with experimental testing.

Therefore, the research and modeling of the optical system of a star tracker is a highly relevant scientific and technical task, crucial for the development of modern and advanced spacecraft, including astrophysical observations, Earth remote sensing, and autonomous navigation.

Keywords: spacecraft, star tracker, orientation detection system, a way to increase accuracy, optics, error models, range, adaptive signal filtering, the centroid algorithm, the direction of the sensor to the starry sky, flight simulation

©К. Саурова^{1*}, С. Нысанбаева¹, Г. Турлыбекова², 2025.

¹Ф. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан;

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан.
E-mail: k.saurova@aues.kz

ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНЫҢ ОРИЕНТАЦИЯСЫН НАҚТЫ АНЫҚТАУ ҮШИН ЖҰЛДЫЗ СЕНСОРЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Саурова Камила — магистр, аға оқытушы «Ғарыштық инженерия» кафедрасы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: k.saurova@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7960-8106>;

Нысанбаева Салтанат — PhD, доцент, «Ғарыштық инженерия» кафедрасы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: s.nysanbaeva@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9254-3819>;

Турлыбекова Гулжан — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор. Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: g.turlybekova@satbayev.university; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-4931>.

Аннотация. Қазіргі космостық технологиялардың дамуы ғарыш аппараттарын басқару жүйелерінің дәлдігі, сенімділігі және автономдылығына қойылатын талаптардың артуымен сипатталады. Негізгі міндеттердің бірі — ғарыштық платформалардың кеңістіктегі орналасуын жоғары дәлдікпен анықтау, себебі ол борттық жүйелердің дұрыс жұмыс істеуін, жүк аппаратурасын дәл бағыттауды, ұшу бағдарламаларын орындауды және миссияны тиімді басқаруды қамтамасыз етеді. Ориентацияның жеткіліксіз дәлдігі ғылыми бақылаудардың, навигациялық операциялардың және аппараттық құралдардың тиімділігін төмendetуі мүмкін, сондықтан жоғары дәлдікті ориентациялық жүйелерді әзірлеу маңызды ғылыми-техникалық міндет болып табылады.

Жұлдызды датчиктер жоғары бұрыштық дәлдігі, кедергілерге төзімділігі

және жердегі инфрақұрылымға тәуелсіз автономды жұмыс мүмкіндігі арқасында ориентация құралдары арасында жетекші орын алады. Олардың тиімділігі оптикалық жүйенің параметрлеріне, соның ішінде жарық жинау қабілетіне, аберрациялар деңгейіне, фотожеткізгіш матрицаның сапасына және сыртқы әсерлерге (дірілдер, радиация және температуралық ауытқулар) төзімділігіне тәуелді. Кез келген оптикалық бұрмаланулар, шудың болуы немесе паразиттік жарық өлшеулердің дәлдігін айтارлықтай төмендетуі мүмкін, бұл оптикалық жүйені оңтайландырудың аса маңызды екенін көрсетеді.

Жұлдызыды датчиктің оптикалық жүйесін жобалау кезінде модельдеу конструкциялық және физикалық факторлардың ориентация дәлдігіне әсерін болжауға, аберрацияларды, дифракциялық эффектілерді және фотожеткізгіш матрицаның шударын зерттеуге, сондай-ақ бейне өндеу алгоритмдерінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Модельдеу әдістерін қолдану жүйенің параметрлерін оңтайландыруға, датчиктің дәлдігі мен сенімділігін арттыруға және эксперименттік сынақтарға кететін шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты жұлдызыды датчиктің оптикалық жүйесін зерттеу және модельдеу қазіргі заманғы және перспективалық ғарыш аппараттарын, оның ішінде астрономиялық бақылаулар, Жерді қашықтықтан зондтау және автономды навигация міндеттерін жасау үшін маңызды ғылыми-техникалық міндет болып табылады.

Тұйін сөздер: ғарыш кемесі, жұлдыз сенсоры, бағдарлауды анықтау жүйесі, дәлдікті арттыру әдісі, оптика, қателік модельдері, ауқымы, адаптивті сигналды сүзу, центроид алгоритмі, сенсордың жұлдызыды аспанға бағыты, ұшуды модельдеу

©К. Саурова¹, С. Нысанбаева¹, Г. Турлыбекова², 2025.

¹Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева,

Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный исследовательский технический университет

им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

E-mail: k.saurova@aues.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗВЁЗДНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Саурова Камила — магистр, старший преподаватель кафедры космической техники, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,

E-mail: k.saurova@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7960-8106>;

Нысанбаева Салтанат — PhD, доцент кафедры космической техники, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,

E-mail: s.nysanbaeva@aues.kz; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9254-3819>;

Турлыбекова Гулжан — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

E-mail: g.turlybekova@satbayev.university; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-4931>.



Аннотация. Современные космические технологии предъявляют повышенные требования к точности, надёжности и автономности систем управления космическими аппаратами. Одним из ключевых аспектов является высокоточное определение пространственной ориентации платформ, обеспечивающее корректное функционирование бортовых систем, точное наведение полезной нагрузки, выполнение программ полёта и успешное управление миссией. Недостаточная точность ориентации снижает эффективность научных наблюдений, навигационных операций и эксплуатации аппаратуры, что делает разработку высокоточных систем ориентации приоритетной научно-технической задачей.

Звёздные датчики являются ведущими средствами ориентации благодаря высокой угловой точности, помехоустойчивости и автономности от наземной инфраструктуры. Их эффективность определяется параметрами оптической системы, включая светосилу, разрешающую способность, уровень aberrаций, качество фотоприёмной матрицы и устойчивость к внешним воздействиям, таким как вибрации, радиация и температурные колебания. Оптические искажения, шумы или паразитное освещение могут существенно снижать точность измерений, что подчёркивает необходимость оптимизации оптической системы.

Моделирование оптической системы звёздного датчика на этапе проектирования позволяет прогнозировать влияние конструктивных и физических факторов на точность ориентации, исследовать aberrации, дифракционные эффекты и шумы фотоприёмной матрицы, а также оценивать эффективность алгоритмов обработки изображений. Применение методов моделирования обеспечивает оптимизацию параметров системы, повышение точности и надёжности работы датчика, а также сокращение затрат на экспериментальные испытания.

Таким образом, исследование и моделирование оптической системы звёздного датчика является актуальной научно-технической задачей, критически важной для разработки современных и перспективных космических аппаратов, включая астрофизические наблюдения, дистанционное зондирование Земли и автономную навигацию.

Ключевые слова: космический аппарат, звёздный датчик, система определения ориентации, способ повышения точности, оптика, модели погрешности, диапазон, адаптивная фильтрация сигнала, алгоритм центроида, направление датчика на звёздное небо, моделирование полёта

Введение. В последние десятилетия задача ориентации космических аппаратов (КА) получила широкое освещение в научной и технической литературе. Она охватывает как аппаратные средства (гироскопы, акселерометры, звездные и магнитные датчики), так и алгоритмическую базу, включая классические и интеллектуальные методы обработки данных. Одним из ключевых аспектов функционирования космических аппаратов является их ориентация в пространстве. Правильное определение ориентации аппарата критически важно для обеспечения его работоспособности, выполнения научных задач и успешного взаимодействия с другими объектами в космосе. В условиях постоянного роста числа спутников и

исследовательских миссий, а также увеличения сложности задач, стоящих перед космическими аппаратами, необходимость в эффективных и надежных методах определения ориентации становится особенно актуальной. Благодаря многолетним исследовательским достижениям разработчики получили глубокое понимание ошибок звездных датчиков. Таким образом, можно еще больше повысить точность измерений звездных датчиков.

Звёздный датчик, как устройство для абсолютного измерения ориентации, получил широкое применение в космических аппаратах, спутниках, баллистических ракетах и навигационных системах на морском транспорте благодаря своей точности на уровне долей угловой секунды (C.C. Liebe, 1995; J.L. Joergensen, et al, 2005; C. Liu, et al, 2010; L. Ma, et al, 2018). Работая на основе получения изображений звёзд с помощью оптических датчиков (за исключением Солнца), он выполняет последовательные процедуры, включая предварительную обработку изображения звёзд, определение центроидов звёзд, идентификацию звёзд и определение ориентации, чтобы установить пространственную ориентацию относительно инерциальной небесной системы координат на основе системы координат корпуса.

Звездные датчики (англ. *star trackers*) — это оптические сенсоры, предназначенные для определения ориентации космического аппарата по положению звёзд. Они являются одними из наиболее точных систем ориентации, особенно востребованных в научных и астрономических миссиях. Принцип работы основан на со-поставлении наблюдаемого изображения звёзд с эталонным звездным каталогом, что позволяет точно рассчитать ориентацию аппарата в пространстве.

Оптические системы наблюдения для космических аппаратов играют ключевую роль в выполнении множества задач: от мониторинга поверхности Земли до изучения глубокого космоса. Эти системы должны обеспечивать высокую точность и минимальные искажения при передаче данных. Разработка такой системы включает определение основных параметров оптического тракта, моделирование углового разрешения и поля зрения, а также анализ влияния типичных оптических искажений.

Таким образом, целью данной работы является разработка и моделирование оптической системы звёздного датчика для космического аппарата с обеспечением высокой точности определения ориентации, надёжности и устойчивости к внешним воздействиям.

Задачи работы:

1. Провести расчет основных характеристик оптического тракта звёздного датчика, включая относительное отверстие и дифракционный предел.
2. Определить угловое разрешение системы и поле зрения, обеспечивающее необходимую точность ориентации космического аппарата.
3. Смоделировать и проанализировать оптические aberrации, в том числе бочкообразное искажение и кому, и оценить их влияние на формирование изображения.
4. Оценить качество оптической системы с использованием модуляционной передачи контраста (MTF) для количественной характеристики разрешающей способности.



Материалы и методы. Современные звёздные датчики обеспечивают одну из самых высоких точностей в системах ориентации, однако для малых КА важно не только качество, но и надёжность в условиях ограниченных вычислительных и энергетических ресурсов. Разные авторы предлагают различные методы повышения точности звёздных сенсоров — от аппаратных улучшений до алгоритмической оптимизации. Основными вызовами в их разработке являются устойчивость к космическому излучению, минимизация влияния паразитного света и обеспечение высокой точности при ограниченных габаритах.

Космическая среда характеризуется высоким уровнем радиации, что может негативно сказаться на функциональности оптической системы: под воздействием ионизирующего излучения оптические материалы, включая линзы и покрытия, теряют прозрачность, что снижает эффективность передачи света; радиация может вызывать накопление шумов в фотоматрицах (CCD, CMOS), ухудшая качество изображения; кроме того, радиация способна нагревать оптические компоненты, вызывая их термическую деформацию. В динамических условиях длина размытого изображения звезды может составлять десятки пикселей, значительно превышая статическую функцию рассеяния точки (PSF) (C.C. Liebe, 2002).

В разработке звездных датчиков посвящено много исследований, в которых решены вопросы влияющих на эффективность и точность движения по орбите и исполнения маневров, а также задачи повышения точности определения ориентации по звездам. Например, в работе (M.Moldabekov et al, 2014) описаны основные этапы проектирования оптической системы, включая разработку требований, выбор оптической системы путем анализа с помощью САПР, проектирование бленда с помощью моделирования, а также основные этапы изготовления ее компонентов (линз) и контроля качества изготовления оптической системы. В работе (D. Akhmedov, 2016) представлены результаты тестирования программного и математического обеспечения с помощью комплекса программного моделирования с использованием различных конфигураций дефектов, включая шумы датчика изображения, моделирование функции разброса точек, искажения оптической системы до 2%. Анализ результатов испытаний показал, что точность определения ориентации звездного трекера находится в допустимом диапазоне. В статье (K.L. Alipbayev et al, 2021) исследованы и рассмотрены первичные разработки математического и программного имитирования звездного датчика, а также математический модель звездного датчика и описаны как один из инструментов ориентации космического аппарата. В работе (Zbrutskii, A.V., et al, 2016) разработана нелинейная математическая модель, позволяющая значительно повысить точность вычислений и уменьшить их объем при автоматизированном анализе движения динамически перестраиваемых гироскопов. В модели используются усредненные уравнения движения динамически настраиваемых гироскопов, полученные из уравнений движения, записанных в системе координат, вращающейся вместе с гироскопами в терминах углов кручения. Для систем управления с привязкой рекомендуется использовать динамически настраиваемый гироскоп с одним кольцом на эластичной подвеске. В статье В.И. (И.М. Заварзин,

2023) рассмотрена актуальность создания малогабаритных оптических систем высокого разрешения для малых космических аппаратов. Приведено описание текущего состояния отечественных и зарубежных средств дистанционного зондирования Земли формата CubeSat, подтвердившее необходимость разработки отечественных многосоставных спутниковых группировок.

Для повышения точности звёздного датчика важно не только улучшать аппаратную часть, но и разрабатывать умные программные методы, учитывать реальную среду космоса и выстраивать комплексную систему ориентации. Объединение современных технологий и междисциплинарного подхода открывает широкие перспективы для будущих космических. В работе (K.L. Alipbayev, 2022) исследуется повышения точности измерения параметров ориентации космического аппарата звездными датчиками. Применен метод вычислений, использующий алгоритм точной оценки центроида, восстанавливающий функцию разброса точек по записанным астрономическим изображениям. Предложена минимизация эффектов турбулентности атмосферы и шумов системы на изображениях с длительной экспозицией, полученных наземным телескопом.

На точность звездного датчика влияют различные факторы. Одним из наиболее значимых факторов является шум. Шум может быть вызван датчиком камеры, электроникой и алгоритмами обработки. Рассеянный свет - еще один фактор, который может повлиять на точность звездного датчика. Рассеянный свет — это свет, попадающий в камеру из источников, отличных от звезд, таких как Солнце, Луна или атмосфера Земли. Ошибки калибровки также являются существенным источником ошибок в звездчатом датчике. Ошибки калибровки могут быть вызваны с плохим освещением (затуманиванием) камеры, колеса фильтра или процессора. В статье (К.А. Алипбаев et al., 2025) рассматривается разработка и моделирование алгоритма для звездных датчиков, который использует уникальный подход без необходимости перебора всех возможных конфигураций звезд. Значимость этой работы подчеркивается острым запросом на улучшение технологий навигации космических аппаратов, особенно в условиях увеличивающегося количества космических миссий, как государственных, так и коммерческих. Предлагаемый метод, основанный на использовании разреженного признакового пространства, позволяет значительно сократить время обработки данных за счет более эффективного поиска и сопоставления звездных паттернов. В работе (Carmeli, 2023) исследованы потребности в надёжных, недорогих и высокопроизводительных звёздных трекерах, способных точно распознавать звёздные узоры на снимках неба с вероятностью успеха около 98% за 870 микросекунд. Методы фильтрации и оценки ориентации, включая фильтр Калмана, рассматриваются в ряде работ (J.L. Crassidis, 2011; M.L. Psiaki, 2001). В работе (J.L. Crassidis, 2011) проводят классификацию и сравнение различных оценочных алгоритмов (KF, EKF, UKF), применяемых в условиях гауссовского и негауссовского шума. Работа (M.L. Psiaki, 2001) отдельно выделяет проблему определения ориентации с помощью EKF и адаптивных методов на борту малых спутников.

Кроме того, точность определения положения звезды относится к числу



основных характеристик функционирования звёздного датчика и во многом определяется уровнем aberrаций оптической системы, тогда как погрешность измерения координат звезды является критическим фактором, формирующим суммарную ошибку и подлежащим минимизации на стадии проектирования. Ошибки положения звёзд, обусловленные aberrациями, рассчитываются в рамках модели оптической системы звёздного датчика и учитываются при анализе точностных характеристик. Одной из приоритетных задач разработки является обеспечение высокой точности работы системы при жёстких ограничениях по массе и габаритам, что достигается за счёт применения асферических линз, позволяющих сократить число оптических элементов без ухудшения качества изображения, использования адаптивных элементов для компенсации aberrаций и термических деформаций, внедрения конструкций из алюминия или углепластиков для снижения массы, а также применения компактных оптических модулей, включая микрообъективы, что способствует уменьшению размеров и конструктивной сложности системы. В статье (Kamila Saurova, et al., 2025) исследованы методы повышения точности звездного датчика и проанализированы требования к качеству изображения, получаемого с помощью объектива звездного датчика. Для детального моделирования и анализа оптической системы звездного датчика использовалось программное обеспечение OSLO. Были оценены различные варианты конструкции оптической системы звездного датчика, включая параметры оптических компонентов объектива и характеристики приемника оптического излучения, которые влияют на точность датчика, а также были рассмотрены функциональные возможности этих компонентов. В статье также исследуются стратегии повышения точности датчика, в результате чего была разработана модель оптической системы звездного датчика.

Важным этапом в процессе разработки модели погрешностей звездного датчика является проведение испытаний для оценки качества работы звездного датчика и устранению погрешностей. Следующим не менее важным этапом является отработка звездного датчика в условиях космоса или получение летной истории. Одним из возможных вариантов является использование звездного датчика в качестве полезной нагрузки на микроспутнике. Погрешность ориентации многих современных звёздных датчиков определяется систематическими ошибками. В работе (Maksim Tuchin et al., 2013) рассматривается влияние случайных и различных систематических ошибок датчиков на точность ориентации звёздных датчиков. Обсуждаются результаты моделирования основных систематических ошибок, прежде всего, обусловленных недооценкой неоднородности темнового тока. Предложены методы учёта основных систематических ошибок и снижения их влияния на точность ориентации звёздных датчиков. В статье (Gian Paolo Candini et al., 2012) описаны основные характеристики разработанной системы и результаты испытаний. В работе описывается миниатюрная система управления ориентацией, подходящая для наноспутников, разработанная исключительно с использованием коммерческих компонентов. Система может работать как система маневрирования в реальном времени, выполняя команды,

передаваемые с Земли, или как автономная система управления ориентацией, получающая данные о состоянии солнечной батареи от спутника-хозяина и эфемериды спутника, передаваемые на наземной станции.

В статье (Клебанов и др., 2017) рассматривается методика компенсаций аберраций волнового фронта в телескопе космического аппарата. В соответствии с предлагаемой методикой сначала выполняется расчет функции рассеяния точки для диапазона параметров температурного поля и положений зеркал. Затем выбирается наиболее близкое к измеренному расчетное значение функции рассеяния точки, которое принимается за исходное для процедуры оптимизации, в соответствии с которой определяется набор параметров, наиболее точно аппроксимирующих измеренную функцию рассеяния точки. В работе (Bo Sun et al., 2025) представлен метод коррекции низкочастотных ошибок в звездных датчиках путем выявления и компенсации изменений во внутренних элементах ориентации датчика. В исследовании используется алгоритм наименьших квадратов с фиксированной памятью и улучшенный кубатурный фильтр Калмана с квадратным корнем для решения таких проблем, как расхождение фильтров и ковариация ошибок с неопределенной положительной величиной. В конечном счете этот подход направлен на повышение точности и надежности измерений звездных датчиков за счет уменьшения низкочастотных ошибок, вызванных такими факторами, как термоупругая деформация.

Важным аспектом работы звездных датчиков является их калибровка. Калибровка позволяет устранить систематические ошибки, которые могут возникать из-за несовершенства оптики, характеристик сенсоров и других факторов. Калибровка включает в себя как статические процедуры, так и динамические тесты, которые проводятся в различных условиях. Современные звездные датчики могут быть оснащены специальными системами для автоматической калибровки, что позволяет значительно упростить процесс их настройки и повысить надежность работы. В статье (Wenfeng Tan, et al., 2018) предлагается комплексный метод калибровки интегрированной системы звёздного датчика и гирокопических блоков с точки зрения глобальной перспективы. Интеграция звёздного датчика и гирокопических блоков позволяет в полной мере использовать преимущества каждого из них и обеспечивать непрерывную и точную информацию об ориентации с высокой частотой обновления. В статье (Hao Zhang et al., 2017) предлагается новый метод калибровки для орбитальных звёздных датчиков без априорной информации. Результаты моделирования и экспериментов показывают, что калибровка проста в эксплуатации, отличается высокой точностью и надежностью. Предлагаемый метод обладает преимуществами самоинициализации и не требует определения ориентации или предустановленных параметров датчика.

Результаты и обсуждения. Современные звёздные датчики сталкиваются с рядом ограничений, связанных с массой, габаритами и устойчивостью к внешним воздействиям, что оказывает существенное влияние на точность определения положения звёзд. Существующие методы повышения точности, несмотря на их эффективность, не всегда позволяют одновременно минимизировать оптические



аберрации и обеспечить компактность и надёжность системы. В связи с этим в работе предложен комплексный метод исследования, направленный на оптимизацию оптической конструкции и алгоритмов обработки сигналов с целью повышения точности работы звёздного датчика.

Предлагаемый метод основан на использовании асферических линз, позволяющих сократить количество оптических элементов без снижения качества изображения, а также на внедрении адаптивных оптических элементов, компенсирующих aberrации и термические деформации. Для количественной оценки эффективности метода разрабатывается математическая модель оптической системы звёздного датчика, включающая учёт aberrаций, фотонного и электронного шумов, дискретизации изображения и особенностей алгоритмов центроидирования. На её основе проводится расчёт погрешностей измерения положения звёзд и определяется оптимальная конфигурация элементов системы.

Методика исследования включает последовательность действий: моделирование оптической системы, анализ влияния aberrаций и шумов на точность, внедрение адаптивных и корректирующих элементов, а также оценка точностных характеристик с последующим сравнительным анализом с существующими подходами. Применение предложенного метода позволяет достичь снижения ошибок определения положения звёзд, уменьшения массы и габаритов системы, повышения устойчивости к внешним воздействиям и температурным колебаниям, а также обеспечивает возможность интеграции в современные космические аппараты с жёсткими ограничениями по параметрам.

Изложение результатов. Звёздный датчик — это оптическое устройство, которое определяет ориентацию КА относительно направление звезд в полученном изображении на приемнике оптического излучения звездного датчика.

Звёздный датчик с точностью менее 1" попадает в разряд высокоточных звёздных датчиков. Большое значение имеет разработка сверхточных звёздных датчиков для задач наблюдения Земли и астрономических наблюдений с высоким разрешением.



Рис. 1 - Состав звёздного датчика

Для обеспечения максимально высоких характеристик звездного датчика требования формируются исходя из необходимости одновременно обеспечить детектирование звезды, идентификацию её блеска и определение углового положения с максимальной точностью.

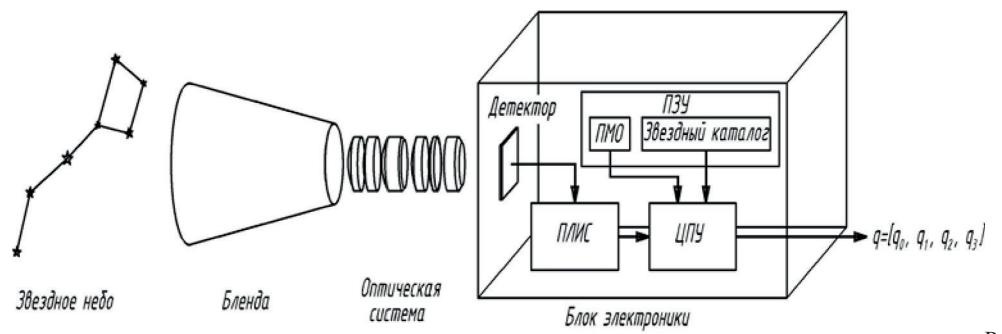


Рис.

2 - Принцип работы звездного датчика

Оптический тракт системы определяется её геометрическими параметрами: фокусным расстоянием, диаметром апертуры и длиной волны света. Эти параметры влияют на светосилу и разрешающую способность системы.

Дифракционный предел показывает теоретическую границу разрешения оптической системы. Он рассчитывается по формуле (1):

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

где λ — длина волны, D — диаметр апертуры.

Угловое разрешение — минимальный угол, под которым система может различить два объекта. Оно определяется через размер пикселя и фокусное расстояние.

Поле зрения (FOV) — область, наблюдаемая системой, зависит от размеров сенсора и фокусного расстояния.

Оптические искажения (бочкообразное искажение, кома) — это отклонения изображения от идеального из-за несовершенства системы.

Модуляционная передача контраста (MTF) характеризует способность системы передавать контраст на различных пространственных частотах.

Функция рассеяния точки (PSF) — распределение интенсивности света от точечного источника, отражающее разрешающую способность системы.

Для выполнения поставленных задач использовалась программная среда MATLAB. Были выполнены следующие этапы:

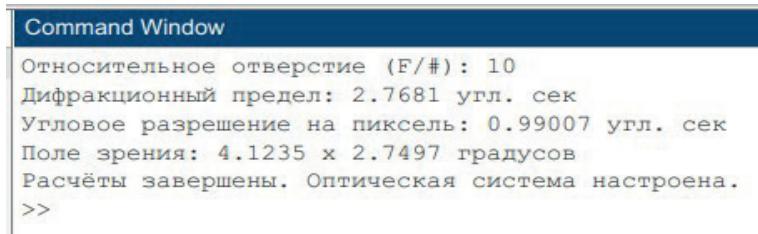
1. Расчёт основных параметров оптического тракта (относительное отверстие, дифракционный предел).
2. Определение углового разрешения и поля зрения системы.



3. Моделирование геометрических искажений (бочкообразных и комы).
4. Построение графиков МТФ и PSF для оценки качества системы.

Результаты расчётов в командном окне. Относительное отверстие (F/#): 10: Отношение фокусного расстояния к диаметру апертуры, указывающее на светосилу системы.

- Дифракционный предел: 2.7681 угл. сек: максимально достижимая угловая разрешающая способность оптической системы.
- Угловое разрешение на пиксель: 0.99007 угл. сек: Способность различать минимальные детали в изображении при заданном размере пикселя.
- Поле зрения: 4.1235 × 2.7497 градусов: Угол пространства, который охватывает система наблюдения.



```

Command Window

Относительное отверстие (F/#): 10
Дифракционный предел: 2.7681 угл. сек
Угловое разрешение на пиксель: 0.99007 угл. сек
Поле зрения: 4.1235 x 2.7497 градусов
Расчёты завершены. Оптическая система настроена.
>>

```

Рис. 3 - Результаты расчётов

Моделирование оптических искажений. Исходное изображение моделируется в виде Гауссова пятна, которое представляет собой идеальный объект наблюдения с равномерной яркостью и симметричной интенсивностью по центру. Такое изображение служит эталоном для оценки влияния оптических искажений на формирование изображения в системе звёздного датчика.

Искажённое изображение демонстрирует эффект бочкообразного искажения, при котором происходит растяжение краевых областей изображения относительно центра. В данном моделировании бочкообразное искажение с коэффициентом -0.5 вызвало заметное искривление изображения по краям, что характерно для широкоугольных оптических систем. Помимо визуального искривления, бочкообразное искажение приводит к изменению углового размера объектов, что может снижать точность определения положения звёзд и центроидов светил на фотоприёмном устройстве.

Для количественной оценки влияния искажений на качество изображения дополнительно построены функции распределения точки (PSF) и модуляционная передача контраста (MTF). Анализ PSF показывает размывание краевых участков пятна и увеличение размера точки, а графики МТФ демонстрируют снижение контрастной передачи на высоких пространственных частотах. Это позволяет выявить критические области, где искажения наиболее значимы, и определить необходимость применения корректирующих элементов оптической системы, таких как асферические линзы или адаптивные элементы.



Рис. 4 - Искажённое изображение

Аберрации. Кома проявляется как вытянутые световые пятна на изображении, ухудшая точность передачи деталей. Кома с коэффициентом 0.3 привела к вытяжению световых пятен, особенно заметному на периферии изображения.



Рис. 5 — Изображение с комой

Функция рассеяния точки (psf). Изображение центрального максимума показывает, что система способна фокусировать свет с минимальным рассеянием, сохраняя высокую разрешающую способность. Центральный дифракционный максимум узкий, что подтверждает высокую разрешающую способность системы. Дифракционные кольца слабы, что минимизирует потери света и искажения.

В ходе данной работы была проведена оценка эффективности работы целевой аппаратуры космического аппарата. На основе смоделированных данных было выполнено:

- 1) Оценка разрешения системы, которая показала минимальное разрешение на уровне 0.20 градусов.
- 2) Анализ объема данных за один кадр и общего объема передаваемых данных за секунду, который выявил превышение пропускной способности системы.
- 3) Оценка эффективности работы системы, которая составила всего 3.90%.

На основании полученных результатов было выявлено, что пропускная способность системы недостаточна для передачи всех данных с заданной частотой съемки и углом обзора.

Для повышения эффективности целевой аппаратуры предложены следующие рекомендации:

- 1) Уменьшить частоту съемки или разрешение системы для сокращения объема передаваемых данных.
- 2) Рассмотреть возможность увеличения пропускной способности передачи данных, что позволит сохранять высокое качество съемки и детализированность данных.

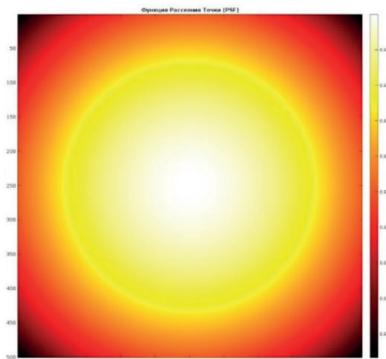


Рис. 6 — Функция рассеяния точки

В ходе работы проведена комплексная оценка эффективности работы целевой аппаратуры космического аппарата на основе смоделированных данных. Анализ показал, что минимальное разрешение системы составляет 0,20 градусов, что соответствует заявленным требованиям к точности определения положения объектов. Одновременно проведённый анализ объёма данных выявил превышение пропускной способности системы, что ограничивает возможность передачи всех данных с заданной частотой съемки и углом обзора. Эффективность работы системы в текущей конфигурации составила всего 3,90%, что свидетельствует о необходимости оптимизации её параметров.

Проведённое моделирование оптической системы звёздного датчика позволило комплексно оценить влияние основных параметров оптического тракта на точность определения ориентации космических аппаратов. Полученные данные подтверждают, что угловое разрешение и поле зрения системы являются ключевыми характеристиками, определяющими качество формирования звёздного изображения и точность вычислений положения аппарата. Анализ геометрических aberrаций, включая бочкообразные и кома, показал, что даже незначительные искажения приводят к смещению центров световых пятен на фотоприёмной матрице, что непосредственно сказывается на точности измерений.

Построенные графики MTF и PSF обеспечили количественную оценку влияния оптических искажений и шумов фотоприёмного устройства на качество изображения. Результаты выявили, что дискретизация изображения и ограниченная пропускная способность канала передачи данных могут существенно ограничивать

эффективность системы, даже при оптимальных оптических характеристиках. Это подчёркивает необходимость комплексного подхода к проектированию, учитывающего как оптические, так и цифровые компоненты обработки сигнала.

Предложенные меры по повышению точности, включая использование асферических и адаптивных оптических элементов, применение лёгких и устойчивых конструктивных материалов, оптимизацию частоты съёмки и разрешения системы, направлены на минимизацию aberrаций и повышение помехоустойчивости. Их реализация позволит снизить массу и габариты датчика, увеличить пропускную способность канала передачи информации и обеспечить стабильное функционирование в условиях космической эксплуатации.

Таким образом, результаты моделирования подтверждают значимость системного подхода к проектированию оптической системы звёздного датчика и демонстрируют возможности её оптимизации для обеспечения высокой точности и надёжности определения ориентации космических аппаратов.

Вывод. В рамках выполненной работы проведено моделирование оптической системы звёздного датчика с целью обеспечения высокой точности определения ориентации космических аппаратов. Были рассчитаны основные параметры оптического тракта, включая относительное отверстие и дифракционный предел, выполнено определение углового разрешения и поля зрения системы, а также проведено моделирование геометрических aberrаций, таких как бочкообразные и кома. Дополнительно построены графики MTF и PSF для оценки качества изображения и анализа влияния оптических искажений на точность измерений.

На основании результатов моделирования выявлены ключевые факторы, влияющие на точность определения положения звёзд, включая aberrации оптической системы, шумы фотоприёмного устройства и дискретизацию изображения. Оценка эффективности работы системы показала, что существующие параметры требуют оптимизации для достижения необходимого уровня точности и рационального использования пропускной способности передачи данных.

Предложены меры по повышению точности и эффективности работы звёздного датчика, включая использование асферических и адаптивных оптических элементов, применение лёгких и устойчивых конструктивных материалов, оптимизацию частоты съёмки и разрешения системы, а также увеличение пропускной способности канала передачи информации. Реализация этих подходов позволит обеспечить надёжное и точное определение ориентации космических аппаратов, уменьшить массу и габариты системы и повысить её эксплуатационные характеристики в условиях космической эксплуатации.

Литература

Akhmedov D., Yelubayev S., Ten V., Bopayev T., Alipbayev K., Sukhenko A. (2016) Proceedings of the SPIE. The International Society for Optical Engineering, Software and mathematical support of Kazakhstan star tracker.

Alipbayev K., Saurova K., (2022) Method of increasing the accuracy of the star sensor. Mechanics Of Gyroscopic Systems. DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771412021269247>

Alipbayev K., Saurova K., Demesinova S., Sydykov R., Balbayev G. (2021) Mathematical Modeling of



a Star Sensor. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1248102020>

Bo Sun, Liu Zhang, He Liu, Yang Xiao, Guowei Fan. (2025) Star sensor low-frequency error correction method based on identification and compensation of interior orientation elements. Measurement. — Volume 246. — P. 116746 https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4935521

C. Liu, G. Liu, X. Wang, A. Li. (2010) Star Sensor Principle and Application Strapped on Missile, National Defense Industry Press. Beijing. DOI: 10.4236/opj.2013.32B027

C.C. Liebe. (2002) Accuracy performance of star trackers — a tutorial, IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst. — 38 (2). — P. 587-599. DOI: 10.1109/TAES.2002.1008988.

Carmeli & Ben-Moshe. (2023) AI-Based Real-Time Star Tracker. Electronics. — 12 (9). <https://doi.org/10.3390/electronics12092084>

Crassidis, J. L., & Junkins, J. L. (2011). Optimal estimation of dynamic systems. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11154>

Gian Paolo Candini ^a, Fabrizio Piergentili ^b, Fabio Santoni ^c. (2012) Miniaturized attitude control system for nanosatellites. Acta Astronautica. — Volume 81. — P. 325-334. https://www.researchgate.net/publication/256935238_Miniaturized_attitude_control_system_for_nanosatellites

Hao Zhang, Yanxiong Niu, Jiazheng Lu, Chengfen Zhang and Yanqiang Yang. (2017) On-orbit calibration for star sensors without priori information. Optics Express. — Vol. 25. — P. 18393-18409

J.L. Joergensen, T. Denver, M. Betto, P. Van den Braembussche. (2005) The PROBA satellite star tracker performance. Acta Astronaut. — 56 (1). — P. 153-159.

Kamila Saurova, Alexandr Shamro, Kuanysh Alipbayev, Saltanat Nysanbaeva, Beibit Karibayev, Bakyt Khaniyev, Nursultan Uzbekov, Sabyrzhan Orynbassar, Zhanzira Geroyeva and Nursultan Meirambekuly. (2025) Research of Methods to Improve the Accuracy of the Star Sensor for Global Navigation Satellite System Technology. Engineered Science. — Volume 33, DOI:10.30919/es1351

L. Ma, D. Zhu, C. Sun, D. Dai, S. Qin. (2018) Three-axis attitude accuracy of better than 5 arcseconds obtained for the star sensor in a long-term on-ship dynamic experiment, Appl. Opt. — 57 (32). — P. 9589-9595 <https://doi.org/10.1364/AO.57.009589>

Maksim Tuchin, A. Biryukov, M. G. Nickiforov, Mikhail Prokhorov. (2013) On Random and Systematic Errors of a Star Tracker. Conference on Small Satellite. January https://www.researchgate.net/publication/275660620_On_Random_and_Systematic_Errors_of_a_Star_Tracker

Moldabekov M., Akhmedov D., Yelubayev S., Ten V., Bopayev T., Alipbayev K., Sukhenko A. (2014) Proceedings of the SPIE. The International Society for Optical Engineering. Amsterdam. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9241/924122/Features-of-design-and-development-of-the-optical-head-of/10.1117/12.2067050.short>

Psiaki, M. L. (2001). Attitude-determination filtering via extended Kalman filtering. Journal of Guidance, Control and Dynamics. — 23(2) DOI: 10.2514/2.4540

Wenfeng Tan, Dongkai Dai, Wei Wu, Xingshu Wang, Shiqiao Qin. (2018) A Comprehensive Calibration Method for a Star Tracker and Gyroscope Units Integrated System. Sensors. <https://doi.org/10.3390/s18093106>

Zbrutskii A. V.; Maresh V. R.; Balabanova T. V. (2016) Polarization studies of the Earth stratospheric layer by means of picosatellite. 5th International conference "Aerospace technologies for sustainable development and security". Mekhanika Giroskopicheskikh Sistem. Kyiv, Ukraine. — October 10—14. — P. 69-71

Алипбаев К.А., Саурова К.С., et al. (2025) Методы повышения точности звездного датчика. БАГДАР ОРИЕНТИР. — № 2. — Р. 249-57

В.И. Заварзин, И.М. Зайцев, С.В. Якубовский. (2023) Оптическая система для малогабаритного космического аппарата дистанционного зондирования земли формата cubesat. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. № 3 DOI: 10.18698/0236-3933-2023-3-18-32

References

Akhmedov D., Elubaev S., Ten V., Bopayev T., Alipbaev K., Sukhenko A. (2016) Proceedings of SPIE. International Society for Optical Engineering, Software and Mathematical Support of the Kazakhstan star Tracker.



Alipbaev K.A., Saurova K.S. et al. (2025) Methods for improving the accuracy of the star sensor. DIETARY SUPPLEMENT ORIENT. — N 2. — P. 249-57

Alipbayev K., Saurova K., (2022) A way to improve the accuracy of the star sensor. Mechanics of gyroscopic systems. DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771412021269247>

Alipbayev K., Saurova K., Demesinova S., Sydykov R., Balbaev G.. (2021) Mathematical modeling of the Star sensor. International Journal of New Trends in Engineering Research. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/1248102020>

Bo Song, Liu Zhang, He Liu, Yang Xiao, Gouei Fan. (2025) A method for correcting low-frequency errors of a star sensor based on the identification and compensation of internal orientation elements. Measurement. — Volume 246. — P. 116746 https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4935521

Carmeli and Ben Moshe. (2023) Real-time tracking of stars based on artificial intelligence. Electronics. — 12(9). <https://doi.org/10.3390/electronics12092084>

Crassidis, J. L., & Junkins, J. L. (2011). Optimal estimation of dynamic systems. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11154>

Gian Paolo Candini, Fabrizio Piergentili, Fabio Santoni (2012). A miniature nanosatellite orientation system. Acta Astronautica. — Volume 81. — P. 325-334 https://www.researchgate.net/publication/256935238_Miniaturized_attitude_control_system_for_nanosatellites

Hao Zhang, Yanxiong Niu, Jiazen Lu, Chengfen Zhang, and Yanqiang Yang. (2017) Calibration of stellar sensors in orbit without prior information. Optics Express. — Volume 25. — P. 18393-18409

J.L. Jorgensen, T. Denver, M. Betto, P. Van den Brambusche. (2005) The effectiveness of satellite tracking of stars PROBA. Acta astronaut. — 56 (1). — P. 153-159.

Kamila Saurova, Alexander Shamro, Kuanysh Alipbayev, Saltanat Nysanbayeva, Beibit Karibayev, Bakyt Khaniev, Nursultan Uzbekov, Sabyrzhan Orynbasar, Zhanzira Geroeva and Nursultan Meirambekuly. (2025) Investigation of methods to improve the accuracy of the star sensor for the technology of the global navigation satellite system. Engineering science. — Volume 33. DOI: 10.30919/es1351

L. Ma, D. Zhu, K. Song, D. Dai, S. Qin. (2018) The accuracy of determining the position along three axes, exceeding 5 arc seconds, obtained for the star sensor during a long-term dynamic experiment on the ship, appendix. — No. 57 (32). — P. 9589-9595 <https://doi.org/10.1364/AO.57.009589>

Maksim Tuchin, A. Biryukov, M. G. Nickiforov, Mikhail Prokhorov. (2013) On Random and Systematic Errors of a Star Tracker. Conference on Small Satellite. — January https://www.researchgate.net/publication/275660620_On_Random_and_Systematic_Errors_of_a_Star_Tracker

Moldabekov M., Akhmedov D., Elubaev S., Ten V., Bopeev T., Alipbaev K., Sukhenko A. (2014) Proceedings of SPIE. —International Society of Optical Engineering, Amsterdam. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9241/924122/Features-of-design-and-development-of-the-optical-head-of/10.1117/12.2067050.short>

Psiaki, M. L. (2001). Filtering to determine the relationship using advanced Kalman filtering. Management magazine. Control and dynamics. — 23(2). DOI: 10.2514/2.4540

S. Liu, G. Liu, H. Wang, A. Li. (2010) The principle of operation of the star sensor and its application on a rocket, National Press of the Defense Industry. Beijing. DOI: 10.4236/opj.2013.32B027

S.S. Liebe. (2002) Accuracy indicators of star trackers - a textbook, IEEE Trans. Arespace Electron. Sistema. — 38 (2). — P. 587-599. DOI: 10.1109/TAES.2002.1008988.

Tang Wenfeng, Dongkai Dai, Wei Wu, Xingshu Wang, Shiqiao Qin. (2018) Comprehensive calibration method for an integrated star tracker system and gyroscopic devices. — Sensors. <https://doi.org/10.3390/s18093106>

V.I. Zavarzin, I.M. Zaitsev, S.V. Yakubovskiy. (2023) Optical system for small-sized space operator earth sensing by cubesat satellite. — Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument engineering. — № 3. DOI: 10.18698/0236-3933-2023-3-18-32

Zbrutsky A.V., Maresh V. R., Balabanova T. V. (2016) Polarizing studies of the stratosphere of the Earth using a picosatellite. 5th International Conference "Aerospace Technologies for Sustainable Development and Safety". Mechanics of Gyroscopic Systems. Kiev, Ukraine. — October 10-14. — P. 69-71.



**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www:nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60x88^{1/8}.

18,0 п.л. Заказ 4.