

ISSN (Print) 2616-6836  
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ** сериясы

**PHYSICS. ASTRONOMY** Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№2(131)/2020

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2020

Nur-Sultan, 2020

Нур-Султан, 2020

*Бас редакторы:*  
ф.-м.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ  
**А.Т. Ақылбеков** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары* **Гиниятова Ш.Г.** ф.-м.ғ.к., доцент  
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ (Қазақстан)

*Редакция алқасы*

<b>Арынгазин А.Қ.</b>	ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
<b>Даулетбекова А.Қ.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Ержанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Жұмаділов Қ.Ш.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Здоровец М.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
<b>Қадыржанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Кутербеков Қ.А.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Мырзақұлов Р.Қ.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
<b>Нұрахметов Т.Н.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Тлеукенов С.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф., Коши университеті (Жапония)

*Редакцияның мекенжайы:* 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.  
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:* Г. Мендыбаева

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.**  
**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК  
Мерзімділігі: жылына 4 рет. Басуға 05.06.2020 ж. қол қойылды. Жазылу индексі: 76093  
Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.  
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 102 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

*Editor-in-Chief*

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, ENU  
**A.T. Akilbekov** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*

**Giniyatova Sh.G.**, Candidate of Phys.-Math. Sciences,  
Assoc. Prof., ENU (Kazakhstan)

*Editorial Board*

<b>Aryngazin A.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
<b>Aldongarov A.A.</b>	PhD, ENU (Kazakhstan)
<b>Balapanov M.Kh.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
<b>Bakhtizin R.Z.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
<b>Dauletbekova A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
<b>Hoshi M.</b>	PhD, Prof., Kyushu University (Japan)
<b>Kadyrzhanov K.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
<b>Kainarbay A.Zh.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
<b>Kuterbekov K.A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
<b>Lushchik A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia)
<b>Morzabayev A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
<b>Myrzakulov R.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
<b>Nurakhmetov T.N.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
<b>Sautbekov S.S.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)
<b>Salikhodzha Z. M</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
<b>Tleukenov S.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
<b>Useinov A.B.</b>	PhD, ENU (Kazakhstan)
<b>Yerzhanov K.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
<b>Zdorovets M.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
<b>Zhumadilov K.Sh.</b>	PhD, ENU (Kazakhstan)

*Editorial address:* L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008  
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* G. Mendybayeva

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year. Signed in print 05.06.2020. Subscription index: 76093

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,

Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

*Главный редактор:*  
доктор ф.-м.н., профессор  
**А.Т. Акилбеков**, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**Ш.Г. Гиниятова** к.ф.-м.н., доцент  
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)

*Редакционная коллегия*

<b>Арынгазин А.К.</b>	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
<b>Даулетбекова А.К.</b>	д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Ержанов К.К.</b>	к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Жумадилов К.Ш.</b>	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Здоровец М.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Кадыржанов К.К.</b>	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Кутербеков К.А.</b>	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Мырзакулов Р.К.</b>	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Нурахметов Т.Н.</b>	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Тлеукенов С.К.</b>	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф., Коши университет (Япония)

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.  
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* Г. Мендыбаева

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**  
**Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК

Периодичность: 4 раза в год. Подписано в печать 05.06.2020 г. Подписной индекс: 76093

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№2(131)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Калманова Д.М., Сарбаева Д.С.</i> Нанокұрылымды электродты органикалық күнэлементтері құрылысының сипаттамаларына электрлік әсер ету	8
<i>Ергалиұлы Ғ., Морзабаев А.К., Амангелді Н., Бозтосун И., Мәуей Б., Болат Н., Тәңірберген А.</i> <sup>12</sup> C ядросынан <sup>10</sup> B серпімді шашырауы кезіндегі ауысым механизмдерінің үлесін зерттеу	17
<i>Ергалиев Д.С., Каримов С.Г., Советқажиев А.Е., Алимов Д.А., Қуандыжова А.Г., Социалов Р.С.</i> Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе сигналдарының модуляцияларын зерттеу	23
<i>Базарбек А.Б., Инербаев Т.М., Сағатов Н.Е., Ақилбеков А.Т.</i> Жер ядросының жоғары температуралары мен қысымдарындағы темір фосфидтерінің жай- күйі теңдеулерінің алғашқы ретгі есептері	35
<i>Жакупова А.Е., Ондрисов Д.Б., Канафин М.Ж., Аукатова Н.К., Құрманбек Б.Н.</i> Зымыран-ғарыш техникасының бөлшектерін өндіруде абразивті өңдеу проблемасын шешу	42
<i>Ашуров А.Е., Бақыт М.А.</i> Дифференциалдық көтеруді және тасуды қолдану арқылы жерсеріктердің топтық ұшуын басқаруды зерттеу	50
<i>Нураخمатов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Садыкова Б.М., Жаңылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> және K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -Тl кристалдарындағы меншікті сәулеленудің пайда болуы мен қармау орталықтарының түзілуі	59
<i>Баубекова Г.М., Асылбаев Р.Н., Гиниятова Ш.Г.</i> MgO кристалдарының жылдам ауыр иондармен радиациялық зақымдануы	69
<i>Мұстафинов Е.Қ., Рамазанова Ж.М.</i> «Бәйтерек» жаңа Ғарыш зымыран кешенін әзірлеу мәселелері	78
<i>Ергалиұлы Ғ., Амангелді Н., Мәуей Б., Солдатхан Д.</i> Энергиясы 12-30 МэВ аралығындағы <sup>9</sup> Be ядросының <sup>28</sup> Si ядросынан серпімді шашырауын оптикалық модель негізінде талдау	87
<i>Джансейитов Д.М., Буртебаев Н., Алимов Д., Насурлла М., Мауей Б., Валиолда Д.С., Аймағанбетов А., Ергалиұлы Ғ.</i> Төмен энергияда дейтрондардың <sup>13</sup> C ядросынан серпімді шашырауын эксперименттік зерттеу	92
<i>Сейтбаев А., Скуратов В., Ақилбеков А., Даулетбекова А., Здоровец М.</i> LiF кристалы ионолюминесценциясының кинетикасы	99

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.  
ASTRONOMY SERIES

№2(131)/2020

CONTENTS

<i>Kalmanova D.M., Sarbayeva D.S.</i> Influence of electrical impacts on the device characteristics of organic solar cells with a nanostructure electrode	8
<i>Yergaliuly G., Morzabayev A.K., Amangeldi N., Boztosun I., Mauyey B., Bolat N., Tangirbergen A.</i> Investigation of the contribution of exchange mechanisms to the elastic scattering $^{10}\text{B}$ on the nucleus $^{12}\text{C}$	17
<i>Yergaliyev D.S., Mukanova K.K., Sovetkashiev A.Y., Alimov D.A., Kuandykova A.G., Socialov R.S.</i> Research of Signal Modulations of the Global Navigation Satellite System	23
<i>Bazarbek A.B., Inerbaev T.M., Sagatov N.E., Akilbekov A.T.</i> First principle calculations of iron phosphide state equations at high temperatures and pressures of the Earth's core	35
<i>Zhakupova A.Y., Ondrisov D.B., Kanafin M.Z., Aukatova N.K., Kurmanbek B.N.</i> Solving the Problem of Abrasive Machining in the Production of Rocket and Space Technology Details	42
<i>Ashurov A.E., Bakyt M.A.</i> Study of satellite group flight control using differential lift and transfer	50
<i>Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Dolomatov M.Y., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Z., Daurenbekov D.H., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N.</i> The creation of the intrinsic emission spectrum and the formation of capture centers in $\text{K}_2\text{SO}_4$ and $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-Tl}$ crystals	59
<i>Baubekova G.M., Asylbaev R.N., Giniyatova Sh.</i> Radiation Damage caused by swift heavy ions in $\text{MgO}$ crystals	69
<i>Mustafinov E.K., Ramazanova Zh.M.</i> Development issues of a new SRC "Baiterek"	78
<i>Yergaliuly G., Amangeldi N., Mauyey B., Soldatkhan D.</i> Analysis of elastic scattering of the $^9\text{Be}$ nucleus from $^{28}\text{Si}$ in the energy range of 12-30 MeV in the framework of an optical model	87
<i>Janseitov D.M., Burtebayev N., Alimov D., Nassurlla M., Mauyey B., Valiolda D.S., Aimaganbetov A., Yergaliuly G.</i> Experimental study of deuterons elastic scattering from $^{13}\text{C}$ at low energies	92
<i>Seitbayev A., Skuratov V., Akilbekov A., Dauletbekova A., Zdorovets M.</i> Kinetics of $\text{LiF}$ crystals ion luminescence	99

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№2(131)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Калманова Д.М., Сарбаева Д.С.</i> Влияние электрических воздействий на характеристики устройства органических солнечных элементов с наноструктурированным электродом	8
<i>Ергалиұлы Ғ., Морзабаев А.К., Амангелді Н., Бозтосун И., Мәуей Б., Болат Н., Тәңірберген А.</i> Исследование вклада обменных механизмов в упругое рассеяние $^{10}\text{B}$ на ядре $^{12}\text{C}$	17
<i>Ергалиев Д.С., Каримов С.Ғ., Советкажиев А.Е., Алимов Д.А., Куандыкова А.Ғ., Социалов Р.С.</i> Исследование модуляций сигналов Глобальной навигационной спутниковой системы	23
<i>Базарбек А.Б., Инербаев Т.М., Сагатов Н.Е., Акилбеков А.Т.</i> Первопринципные расчеты уравнений состояния фосфидов железа при высоких температурах и давлениях ядра Земли	35
<i>Жакупова А.Е., Ондрисов Д.Б., Канафин М.Ж., Аукатова Н.К., Курманбек Б.Н.</i> Решение проблемы абразивной обработки при производстве деталей ракетно-космической техники	42
<i>Ашуров А.Е., Бақыт М.А.</i> Исследование управления спутниковым групповым полетом с использованием дифференциального подъема и перетаскивания	50
<i>Нурағметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Развитие низкотемпературных твердооксидных топливных элементов на основе тонкопленочных материалов	59
<i>Баубекова Г.М., Асылбаев Р.Н., Гиниятова Ш.Ғ.</i> Радиационные повреждения, вызванные быстрыми тяжелыми ионами кристаллов MgO	69
<i>Мустафинов Е.К., Рамазанова Ж.М.</i> Проблемы развития нового КРК «Байтерек»	78
<i>Ергалиұлы Ғ., Амангелды Н., Мәуей Б., Солдатхан Д.</i> Анализ упругого рассеяния ядра $^9\text{Be}$ на $^{28}\text{Si}$ в интервале энергий 12-30 МэВ в рамках оптической модели	87
<i>Джансейтов Д.М., Буртебаев Н., Алимов Д., Насурлла М., Мәуей Б., Валиолда Д.С., Аймаганбетов А., Ергалиұлы Ғ.</i> Экспериментальное исследование упругого рассеяния дейтронов на ядре $^{13}\text{C}$ при низких энергиях	92
<i>Сейтбаев А., Скуратов В., Акилбеков А., Даулетбекова А., Здоровец М.</i> Кинетика ионолюминесценции кристаллов LiF	99

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 131, №2, 50-58 беттер*  
*http://bulphysast.enu.kz, E-mail: vest\_phys@enu.kz*

**МРНТИ: 89.23.99**

А.Е. Ашуров, М.А. Бақыт

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*  
*(E-mail: ae\_ashurov@yahoo.com, bakyt.makhabbat@gmail.com)*

### **Дифференциалдық көтеруді және тасуды қолдану арқылы жерсеріктердің топтық ұшуын басқаруды зерттеу**

**Аннотация:** көп жерсеріктік ғарыш жүйелері ғарышты және ғылыми тәжірибелерді игеру барысында үлкен мүмкіндіктерге жол ашады. Салыстырмалы қысқа қашықтыққа ұшатын жерсеріктер станция орбитасында жинау және қашықтықтан зондтаудың үлестірілген жүйесін құру сияқты амбициялық мәселелерді шеше алады. Ол үшін жерсеріктердің салыстырмалы қозғалысын қадағалау қажет. Бұл мақалада аэродинамикалық күшті қолдану арқылы жер маңайындағы орбитада жерсеріктік құрылымдардың топтық ұшу алгоритмі қарастырылады. Күштің көтеруші құраушысын ескеретін аэродинамикалық күштің қарапайым моделі ұсынылады. Бұл талап етілетін аэродинамикалық күшті қамтамасыз ететін кіріс ағынына қатысты жерсеріктің орнын есептеуге мүмкіндік береді. Модельдің берілген параметрлері үшін тиімді басқару аймағы алынады. Сызықты-квадраттық реттегіштің негізінде салыстырмалы қозғалыспен басқару алгоритмі қарастырылады. Алгоритм параметрлерін анықтау әдістемесі ұсынылады.

**Түйін сөздер:** шағын жерсерік, топтық ұшу, аэродинамикалық күш, салыстырмалы қозғалыс, басқару алгоритмі, сызықты-квадраттық реттегіш.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-131-2-50-58>

Түсті: 11.03.2020 / Қайта түзетілді: 04.05.2020 / Жарияланымға рұқсат етілді: 29.05.2020

**Кіріспе.** Шағын жерсеріктердің ұшу миссияларында кең таралуымен байланысты отынды шығындамайтын бақылау өтулері ең маңызды мәнге ие. Электромагниттік күштерді, байлаулы жүйелерді, импульспен алмасу [1, 392 б.] және т.б. қолдану арқылы бірнеше тәсілдер ұсынылды. Сонымен бірге, жер маңайындағы орбитада (ЖМО) аэродинамикалық күштерді ресурсты қадағалау ретінде қолдануға болады. Жерсеріктер осы ресурсты қолдану үшін өзінің көлденең қимасының ауданын кіріс ағынға қатысты өзгерту (мысалы, қатынасты өзгерту арқылы) мүмкіндігіне ие болуы қажет [2, 6 б.].

Аэродинамикалық күш екі құрауышқа бөлінуі мүмкін. Аэродинамикалық кедергі жылдамдық векторына қарсы бағытталған. Көтеруші күш жерсеріктің бетіне түсірілген нормаль бойынша түзеледі. Кедергі күші көтеруші күшке қарағанда, ЖМО-да көбірек. Осылайша, лифт құраушысы әдетте басқару алгоритмдерінде еленбейді. Дегенмен, бұл орбита жазықтығынан тыс басқарудың потенциалдық өкілеттілігінің жоғалуына әкеледі. Бұл рандеву жерсерігі немесе түйісу траекториялары секілді салыстырмалы траекториялар қатарының қолжетімсіз екендігін білдіреді [3, 445 б.]. Берілген мақалада кедергі күшін, сондай-ақ, көтеруші күшті ескеретін аэродинамикалық күш моделі қарастырылады. Бұл жерсеріктер тобының ішінде толығымен бақыланатын үш өлшемді салыстырмалы қозғалысты алуға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыста аэродинамикалық күштің қарапайым моделі қолданылады. Қажетті күшті қамтамасыз ету мақсатында нақты қатынас есептеледі. Сондай-ақ, жұмыстарда өтпелі процестердің алгоритмдер параметрлерінен тәуелділігі зерттелмейді, бұл олардың қолданылуы үшін маңызды аспект болып табылады. Аэродинамикалық күш мәнін шектеуге байланысты есептік бақылау мүмкіндігі болмауы мүмкін. Бұл конвергенция уақытына әсер етуі немесе тіпті, жүйені басқарылмайтын етуі ықтимал. Бұл мәселе осы мақалада зерттеледі.



Берілген мақалада алдымен, көтеруші күш құрауышын ескеретін аэродинамикалық күш моделі қарастырылады. Ол жерсеріктердің кіріс ағынына қатысты бағдарын есептеу үшін қолданылады. Қатынас, қажетті аэродинамикалық күшті жасау үшін құрастырылған. Модельдің параметрлері аэродинамикалық күш параметрлерінің жинағында басқарудың мүмкін аймағын анықтайды. Сәйкесінше, мәселе есептеп табылған басқару күшінің орындалатындығын немесе, кем дегенде, орындалуға жақын екендігіне кепіл беретін басқару алгоритмінің параметрлерін анықтауда болып табылады. Кейін басқару алгоритмінің параметрлер аймағын анықтау әдіснамасы ұсынылады. Әдіснама сызықты-квадраттық реттегіштің (СКР) негізінде басқару алгоритміне қатысты қолданылады. СКР жұлдыз маңындағы орбиталары бойымен салыстырмалы қозғалыстың және атмосфераның тұрақты тығыздығының сызықты моделі үшін жасалған.

**Мәселенің қойылуы.** Екі жерсеріктен тұратын топтық ұшудың жер маңайындағы орбиталардағы қарапайым тұжырымдамасын қарастырамыз. Екі жерсеріктің салыстырмалы қозғалыс теңдеулерінің жалпы түрі аналитикалық қарастыру үшін өте күрделі, сондықтан, Хилл-Клохесси-Уилтшир теңдеулері қолданылады. Бұл модель орталық гравитациялық өрісте жақын дөңгелек орбиталарда ұшатын екі жерсеріктің салыстырмалы қозғалысын сипаттайды. Орбиталық санақ жүйесі (ОСЖ) қолданылады, оның басы (санақ нүктесі) радиусы  $r_0$  дөңгелек орбита бойымен  $\omega = \sqrt{\mu/r_0^3}$  орбитаның бұрыштық жылдамдығымен қозғалады, мұндағы,  $\mu$  – Жердің гравитациялық параметрі.  $Oz$  осі Жер центрінен санақ нүктесіне дейін вектор бойынша түзетілген,  $Oy$  осі орбита жазықтығына түсірілген нормаль бойымен бағытталған,  $Ox$  осі санақ жүйесін оң жаққа дейін толтырылды [4, 2680 б.].

$r_1 = (x_1, y_1, z_1)$  және  $r_2 = (x_2, y_2, z_2)$  – ОСЖ-дегі бірінші және екінші жерсеріктің радиус-векторлары болсын. Онда салыстырмалы орын векторының құрауыштары  $r = r_2 - r_1 = (x, y, z)$  келесі теңдеулермен анықталады:

$$\ddot{x} = -2\dot{z}\omega + \Delta f_x; \quad \ddot{y} = -y\omega^2 + \Delta f_y; \quad \ddot{z} = -2\dot{x}\omega + 3z\omega^2 \Delta f_z, \quad (1)$$

мұндағы,  $\Delta f = [\Delta f_x \ \Delta f_y \ \Delta f_z]^T = f_2 - f_1$  – жерсеріктерге әсер ететін аэродинамикалық күштердің айырмасы.

Екі жерсерік те қатаң және бірдей формаға ие деп есептейміз. Жерсеріктер негізгі сфералық денеден және жұқа жазық күн панельдерінен тұрады. Аэродинамикалық күш әрбір жерсеріктің денесіне және күн панеліне әсер етеді [5, 1 б.]. Алайда, организмге әсер ететін аэродинамикалық күш дүниетанымға байланысты емес. Ол екі жерсерік үшін бірдей. Панельге әсер ететін күштер панельдің кіріс әуе ағынының бағытына қатысты күйіне тәуелді.

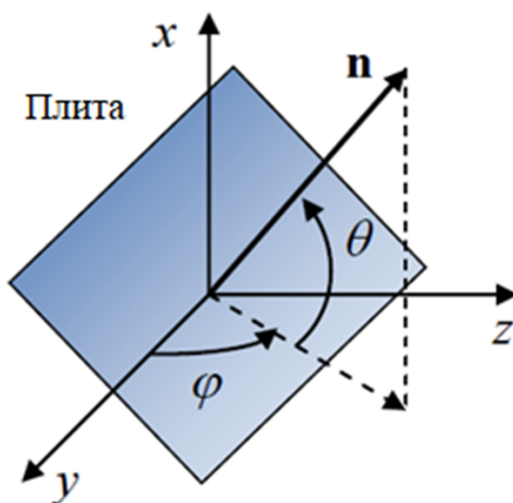
Атмосфералық бөлшектердің жерсерік бетімен физикалық әрекеттесу үдерістері күрделі. Алайда бұл әрекеттесулердің айтарлықтай қарапайым моделін эмпирикалық коэффициенттердің шектеулі санын қолданып құруға болады. Бұл әрекеттесу механикалық екі сұлба арқылы – молекуланың беттен шағылуы абсолютті серпімді болатын айналы және абсолютті серпімді емес соқтығысу жағдайындағы диффузиялы түрде өтеді деп болжаймыз. Молекулалардың белгілі бір бөлігі  $\varepsilon$  айналы шағылады, ал қалған бөлігі  $(1 - \varepsilon)$   $T_r$  температурасына сәйкес Максвелл үлестіруімен серпімді емес шағылады деп есептеп, нақты шағылуды осы екі әрекеттесу сұлбаларының сызықты интерполяциясы ретінде анықтаймыз. Бұл жағдайда, панельге әсер ететін аэродинамикалық күш үшін өрнек келесі түрге ие болады:

$$\mathbf{f}_i = -\frac{1}{m} \rho V^2 S \left\{ (1 - \varepsilon)(\mathbf{e}_V, \mathbf{n}_i)\mathbf{e}_V + 2\varepsilon(\mathbf{e}_V, \mathbf{n}_i)^2 \mathbf{n}_i + (1 - \varepsilon) \frac{\nu}{V} (\mathbf{e}_V, \mathbf{n}_i) \mathbf{n}_i \right\}, \quad (2)$$

мұндағы,  $\rho$  – атмосфера тығыздығы,  $m$  – спутника жерсерік массасы,  $V$  – әуе ағынының жылдамдығы,  $S$  – пластина ауданы,  $\mathbf{n}_i$  – пластинаға түсірілген бірлік нормаль векторы,  $\mathbf{e}_V$  – кіріс әуе ағынының жылдамдығы бойымен бағытталған бірлік вектор,  $\nu = \sqrt{\pi R T_r / 2}$  – диффузиялы шағылысқа молекулалардың ең ықтимал жылу жылдамдығына пропорционал параметр,  $R$  – газ тұрақтысы,  $i = 1, 2$ . (2) бірінші қосылғышы әуе ағынының жылдамдығына қарсы бағытталған кедергінің аэродинамикалық күшін анықтайды. Екінші және үшінші қосылғыштар көтеруші күшті анықтайтын плитаға түсірілген нормальға қарсы бағытталған күш құрауыштары болып табылады. Аэродинамикалық күш моделінде (1) екі әрекеттесу

параметрі бар,  $\varepsilon$  және  $\eta = \nu/V$ . Әдетте, олар тұрақты емес және шабуыл бұрышынан, құламалы бөлшектердің жылдамдығынан және газ бен беттің басқа сипаттамаларынан тәуелді. Алайда бұл мақалада біз  $\varepsilon$  және  $\eta$  параметрлерінің кейбір орташа мәндерін қарастырамыз және олар тұрақты және қатынастан тәуелсіз деп болжаймыз. Протонды жерсеріктердің қозғалыс ұшуы туралы деректерді қолданып осы параметрлерді анықтаудың кері мәселесі шешілді. Осы бағалауларға сәйкес ЖМО-да газдың жерсерік бетімен әрекеттесу сұлбасы келесі шартты қанағаттандырады:  $\varepsilon \approx 0.1$  және  $\eta \approx 0.1$ .

Күш құрауыштары үшін (2) өрнегін панель бетіне түсірілген нормаль векторын көрсететін  $\theta$  және  $\varphi$  бұрыштарын қолданып қайта жазамыз (Сурет 1 қараңыз).



Сурет 1 – Панельге түсірілген нормаль векторын анықтайтын бұрыштар

$$\mathbf{n}_i = \begin{bmatrix} \sin\theta_i \\ \cos\theta_i \cos\varphi_i \\ \cos\theta_i \sin\varphi_i \end{bmatrix},$$

$\theta$  бұрышта аэродинамикалық күш  $\theta = 0$  кезінде жерсерікке әсер етпейтіндей болып таңдалады.  $\theta \in [0; \pi/2]$ , егер  $\theta < 0$  болса, онда панельдің басқа жағын қарастыруға болады. Бұрыш  $\varphi \in [0, 2\pi]$ .

Кіріс әуе ағынының векторы ОСЖ-де  $\mathbf{e}_V = [1 \ 0 \ 0]^T$  құрайды.  $\mathbf{n}_i$  және  $\mathbf{e}_V$  мәндерін аэродинамикалық күштің (2) өрнегіне қоямыз,

$$\mathbf{f}_i = k \begin{bmatrix} -2\varepsilon(\sin\theta_i)^3 + \eta(\varepsilon - 1)(\sin\theta_i)^2 + (\varepsilon - 1)\sin\theta_i \\ -\cos\theta_i \sin\theta_i (\eta - \varepsilon\eta + 2\varepsilon \sin\theta_i) \cos\varphi_i \\ -\cos\theta_i \sin\theta_i (\eta - \varepsilon\eta + 2\varepsilon \sin\theta_i) \sin\varphi_i \end{bmatrix},$$

мұндағы,  $k = \frac{1}{m} \rho V^2 S$ . Келесі функцияларды көрсетеміз:

$$\begin{aligned} p(\theta_i) &= -2\varepsilon(\sin\theta_i)^3 + \eta(\varepsilon - 1)(\sin\theta_i)^2 + (\varepsilon - 1)\sin\theta_i, \\ g(\theta_i) &= -\cos\theta_i \sin\theta_i (\eta - \varepsilon\eta + 2\varepsilon \sin\theta_i). \end{aligned} \quad (3)$$

Онда аэродинамикалық күш үшін өрнек ықшамдалады:

$$\mathbf{f}_i = k \begin{bmatrix} p(\theta_i) \\ g(\theta_i) \cos\varepsilon_i \\ g(\theta_i) \sin\varepsilon_i \end{bmatrix}, \quad (4)$$

(4)-тен, аэродинамикалық күштің  $Ox$  құрауышының тек  $\theta$  бұрышынан тәуелді екендігі шығады. Күштің  $Oyz$  жазықтығына проекциясы  $g(\theta_i)$  функциясымен, ал оның күйі  $\varphi$  бұрышымен анықталады.

Аэродинамикалық күштің  $f_x$  құрауышының максимал мәні  $\theta = 90$  градус ( $p \approx 1,2$  жағдайында) кезінде, яғни, пластина келіп түсетін әуе ағынына перпендикуляр болған кезде орындалады. Күштің  $Oyz$  жазықтығына максимал проекциясы бір ретке кіші. Сөз  $\theta \approx 0.1$  градус кезіндегі  $g \approx 0,12$  туралы. Сондай-ақ,  $\theta = 0$  және  $\theta = 90$  градус кезінде  $g$  функциясы нөлге тең. Бұл күштің  $Oyz$  жазықтығындағы қосымшасы  $Ox$  осі бойымен нөлдік емес және максимал емес күш кезінде ғана мүмкін болатындығын білдіреді.

Бұл мақалада жерсеріктің салыстырмалы қозғалысын басқару қарастырылады, сондықтан, екі жерсерікке әсер ететін аэродинамикалық күштердің айырмасын қолдану қажет:

$$\Delta \mathbf{f} = \mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_2 = k \begin{bmatrix} p(\theta_1) - p(\theta_2) \\ g(\theta_1)\cos\varphi_1 - g(\theta_2)\cos\varphi_2 \\ g(\theta_1)\sin\varphi_1 - g(\theta_2)\sin\varphi_2 \end{bmatrix},$$

Осылайша, дифференциалды аэродинамикалық күш төрт бұрышпен  $\theta_1, \theta_2, \varphi_1, \varphi_2$  анықталады. Күштің  $Oyz$  жазықтығына түсірілген проекциясының шамасы аз. Сондықтан, оны  $\varphi_2 = \varphi_1 + \pi$  орнату арқылы максималдау дұрыс, яғни, жерсеріктер  $Ox$  осінің қарама-қарсы бағыттарымен айналады. Бұл жағдайда  $\Delta f_{yz}$  құрауышының мәні  $g(\theta_1) + g(\theta_2)$  функциясымен анықталады:

$$\Delta \mathbf{f} = k \begin{bmatrix} p(\theta_1) - p(\theta_2) \\ (g(\theta_1) + g(\theta_2)) \cos\varphi_1 \\ (g(\theta_1) + g(\theta_2)) \sin\varphi_1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$\Delta f_{yz}$  максимал мәні бір күштің проекция мәніне қарағанда екі есе үлкен. Бұл дифференциалды  $\Delta f$  аэродинамикалық күш құрауыштарының  $\theta_1$  және  $\theta_2$  бұрыштарынан тәуелділігінен шығады.

**Нәтижелер.** Бортта шектеулі есептеуіш қуаты бар шағын жерсеріктер үшін айтарлықтай қарапайым басқару алгоритмін жүзеге асыру орынды. Жерсеріктер салыстырмалы күй векторын бағалауға қабілетті салыстырмалы қозғалысты анықтау жүйесімен жабдықталған деп болжаймыз. Мысалы, бұл [6, 365 б.] көрсетілген визуалды навигациялық жүйенің көмегімен орындалауы мүмкін. Жерсеріктер [7, 23 б.] сипатталған датчиктер жинағын құрайтын бағдарды анықтау жүйесімен және реактивті дөңгелек негізінде бағдарды басқару жүйесімен жабдықталған болсын. Бұл қажетті аэродинамикалық күшті құру қатынасын қамтамасыз етеді. Сонымен бірге, жерсеріктер арасында бұрыштық қозғалыс деректерін, сондай-ақ, бағдарлауды басқару жүйесі үшін басқару командаларын жіберу үшін ақпаратпен алмасуға арналған радиобайланыс бар деп есептейміз. Басқару мақсаты (1) сәйкес еркін салыстырмалы қозғалыспен анықталатын қалаулы салыстырмалы траекторияға қол жеткізу болып табылады. СКР негізінде кері байланыспен басқару алгоритмі осы жорамалдарға сәйкес жасалды.

(1) матрицалы-векторлық түрде қайта жазамыз:

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

мұндағы,  $\mathbf{x} = [\mathbf{r}^T \mathbf{v}^T]^T$  – күй векторы,  $A$  – динамикалық матрица

$$A = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & E \\ C & D \end{bmatrix}, \quad E - 3 \times 3 \text{ өлшемді бірлік матрица,}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\omega^2 & 0 \\ 0 & 0 & 3\omega^2 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2\omega \\ 0 & 0 & 0 \\ 2\omega & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$B$  – бақылау матрицасы,

$$B = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} \\ E \end{bmatrix},$$

$\mathbf{u}$  – бақылау векторы. Дифференциалды аэродинамикалық күшпен басқарылатын ұшатын пласт үшін басқару векторы:  $\mathbf{u} = \Delta \mathbf{f}$ .

Қажетті салыстырмалы қозғалыс келесі теңдеумен сипатталатын жүйенің еркін қозғалысына сәйкес келеді:

$$\dot{\mathbf{x}}_d = A\mathbf{x}_d,$$

мұндағы,  $\mathbf{x}_d$  – қалаулы күй векторы. Онда қалаулы траекториядан ауытқу динамикасының сызықты теңдеуін алуға болады:

$$\dot{\mathbf{e}} = A\mathbf{e} + B\mathbf{u}, \quad (6)$$

мұндағы,  $\mathbf{e} = [\mathbf{x}^T - \mathbf{x}_d^T]^T$ .

Сызықты-квадраттық реттегіш – бұл траектория бойы мен келесі функционалдардың минимумын қамтамасыз ететін  $\mathbf{u} = K\mathbf{e}$  кері байланысы бар басқару:

$$J = \int_0^\infty (\mathbf{e}^T Q \mathbf{e} + \mathbf{u}^T R \mathbf{u}) dt.$$

Мұндағы,  $Q$ ,  $R$  – сәйкесінше күй векторы үшін қателіктер салмағын және басқару ресурстарын тұтыну салмағын анықтайтын белгілі бір оң матрицалар.

Функционалды минимумдаушы кері байланыс келесі теңдеумен анықталады:

$$\mathbf{u} = R^{-1} B^T P \mathbf{e}, \quad (7)$$

мұндағы,  $P$  матрицасы Риккати теңдеуінің шешімі ретінде алынды:

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0, \quad (8)$$

Риккати теңдеуі (8) егер  $Q$  және  $R$  салмақ матрицалары белгілі болса,  $P$  матрицасын алу үшін шешілуі мүмкін. Кейін  $\mathbf{u}$  басқару векторы (7) сәйкес  $\mathbf{e}$  траектория ауытқуының ағымдағы векторын қолданып есептеледі.  $Q$  және  $R$  матрицалары алгоритм параметрлері болып табылады. Олар өтпелі үдерістерді сипаттайды. Мәселе  $Q$  және  $R$  матрицалары берілген шектеулі басқару кезінде алгоритмнің қажетті өнімділігін қамтамасыз ететіндей таңдап алу болып табылады.

Берілген басқару үшін жерсеріктің орнын есептеу. Жерсеріктің бағдары  $\theta_1, \theta_2, \varphi$  аэродинамикалық күштердің айырмасын (5) қолданып  $\mathbf{u}$  басқару векторын жүзеге асыру үшін есептелуі керек. Сызықты емес теңдеулер шешілуі керек:

$$p(\theta_1) - p(\theta_2) = \tilde{u}_1; \quad g(\theta_1) + g(\theta_2) = \sqrt{\tilde{u}_2^2 + \tilde{u}_3^2}, \quad (9)$$

Мұндағы,  $p(\theta), g(\theta)$  – (3) анықталған функциялар,  $\tilde{\mathbf{u}} = u/k = [\tilde{u}_1 \ \tilde{u}_2 \ \tilde{u}_3]^T$  – өлшемсіз басқару векторы.  $\varphi$  бұрышы келесі теңдеулермен есептеледі:

$$\cos \varphi = \frac{u_2}{\sqrt{u_2^2 + u_3^2}}; \quad \sin \varphi = \frac{u_3}{\sqrt{u_2^2 + u_3^2}},$$

(9) теңдеулерінің  $\tilde{\mathbf{u}}$  векторының шамасына тәуелді шешімі болмауы, бір шешім немесе екі шешім болуы мүмкін.  $\tilde{u}_1 = \text{const}$  теңдеуімен берілген жазықтық  $p(\theta_1) + p(\theta_2)$  бетін қандай да бір қисық бойымен қияды. Бұл қисық  $p(\theta_1) - p(\theta_2) = \tilde{u}_1$  теңдеуінің шешімдер жиынын анықтайды. Егер осы көптүрлілікте функция графигін құрып,  $\sqrt{\tilde{u}_2^2 + \tilde{u}_3^2} = \text{const}$  жазықтығымен қиылысу нүктесін тапсақ, онда бұл нүктелер (9) теңдеулерінің шешімі болады. Қиылысу нүктелері болмаған кезде (9) теңдеулерінің шешімі жоқ және есептік басқару орындалмайды. Екі қиылысу нүктесі болған кезде, тек бір шешім таңдалуы қажет. Жерсеріктерге әсер ететін кедергінің аэродинамикалық күшінің абсолют шамасын азайтып,

сол арқылы жерсеріктердің қызмет ету мерзімін арттыру үшін  $\theta_1 + \theta_2$  қосындысының ең азына сәйкес келетін нұсқаны таңдау орынды болып саналады.

Егер есептеп табылған  $\check{y}_1$  басқаруы  $[-1,19;1,19]$  интервалында болмаса және  $\sqrt{\check{u}_2^2 + \check{u}_3^2} \notin [0; 0,24]$  болса басқару орындалмайды. Бұл егеп басқару алгоритмдерінің параметрлері нашар таңдалса орын алуы мүмкін. Алайда егер (9) теңдеулерінің шешімі болмаса, басқару бұл интервалдарда іске аспауы да мүмкін. Орындалмайтын бақылау бұл жағдайы тәуелсіз қарастырылуы керек.

Егер есептелген  $\check{y}$  басқару векторының кейбір құрауыштары ғана жарамды болса, тым болмаса соларды жүзеге асыру орынды болып табылады. Ең үлкен басқару ресурсы  $\check{y}_1$  құрауышы үшін қолжетімді және сонымен бірге,  $Ox$  осі бойымен басқару (1) қозғалыс теңдеулерінен байқалатындай  $Oz$  осі бойымен қозғалысқа әсер етеді. Сәйкесінше, басқарушы  $\check{y}_1$  құрауышын жүзеге асыру үшін приоритетті көрсетуге болады.  $\check{y}_1 \notin [-1,19; 1,19]$  кезінде  $\check{y}_1$  белгісіне тәуелді  $\Delta f_1 = -1.19$  немесе  $\Delta f_1 = 1.19$  шекті мәнін жүзеге асыру қажет, ал қалған құрауыштар  $\Delta f_2, \Delta f_3$  нөлге тең. Егер  $\check{y}_1 \notin [-1,19; 1,19]$  болса және (9) теңдеулерінің шешімі болмаса, онда  $\Delta f_1 = \check{y}_1$  анық жүзеге асыруға болады. Сонымен бірге,  $|g(\theta_1^*) + g(\theta_2^*)|$  мәні максимал болатын  $p(\theta_1^*) + p(\theta_2^*) = \check{y}_1$  қанағаттандыратын  $\theta_1^* + \theta_2^*$  таңдаймыз. Сосын,

$$\Delta f_2 = \frac{(g(\theta_1^*) + g(\theta_2^*))\check{u}_2}{\sqrt{\check{u}_2^2 + \check{u}_3^2}}; \quad \Delta f_3 = \frac{(g(\theta_1^*) + g(\theta_2^*))\check{u}_3}{\sqrt{\check{u}_2^2 + \check{u}_3^2}},$$

Бұл жағдайда,  $\Delta f_2$  және  $\Delta f_3$  сәйкесінше  $\check{u}_2$  және  $\check{u}_3$  есептік мәндеріне пропорционал болады.

Осылайша, басқа субтиімді басқару векторы, егер тиімді басқару векторы орындалмайтын болса жүзеге асады. Осындай тиімді емес басақарудың өзі траекторияның эталонды мәнге жинақылығына әкелетіндігін дәлелдеу қажет. Оны әртүрлі бастапқы ауытқулар кезінде көптеген сандық есептеулер көмегімен көрсетуге болады. Бастапқы ауытқуларды фазалық кеңістіктегі белгілі бір эллипсоидтан таңдаған жөн.

Бақылаудың қанығуына әкелмейтін және сонымен бірге, жинақылықтың ең абзал жылдамдығын қамтамасыз ететін СКР параметрлерін таңдау керек. Келесі тәсіл траектория ауытқуын модельдеу үшін қолданылады. Траекторияның ауытқуы  $\mathbf{e}_0$  бастапқы уақыт мезетінде эллипсоид ішінде болсын:

$$\mathbf{e}_0^T P_0^{-1} \mathbf{e}_0 = 1.$$

Мұндағы,  $P_0$  – белгілі бір оң матрица. Егер бастапқы ауытқу  $\mathbf{e}_0$  қалыпты үлестірілген болса, ол ковариациялық матрица ретінде анықталады:

$$P_0 = M(\mathbf{e}_0 \mathbf{e}_0^T).$$

Бұл эллипсоид ішінде қандай да бір кездейсоқ векторды  $\mathbf{e}_0$  табу ықтималдығын анықтайды. Алайда  $P_0$  максимал мүмкін ауытқулар туралы ақпаратты қолданып,  $\mathbf{e}_0$  векторы кездейсоқ болып табылуы болжамын ескермей эллипсоидты көрсетуі мүмкін. Бұл ақпарат мысалы, жерсеріктердің зымыран-тасығыштан бөлінуінің белгілі қателіктері кезінде немесе салыстырмалы бір орбитадан басқасына алдын ала белгілі маневр жасау кезінде қолжетімді. Траекторияның  $e_i$  құрауышы үшін максимал ауытқуы  $\sigma_1$  тең деп болжанады және  $\mathbf{e}_0$  векторының құрауыштары арасында корреляция жоқ. Онда  $P_0$  матрицасы диагоналды болады:

$$P_0 = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \sigma_4^2, \sigma_5^2, \sigma_6^2).$$

Жерсеріктердің салыстырмалы дрейфі  $c_1$  бастапқы уақыт мезетінде нөлге тең емес болсын. Бұл салыстырмалы қашықтықтың осі бойымен шексіз ұлғаюына әкеледі. Бұл проблема мүмкіндігінше тез шешілуі қажет. Оған қол жеткізу үшін жерсеріктерге салыстырмалы дрейфке қарама-қарсы таңбамен максимал  $\Delta f_x$  күш салу керек. Жерсеріктердің бірінің панельдері келетін ағынға перпендикуляр болуы, ал басқасы ағын бойымен бағдарлануы қажет. Бұл дрейфті жоюға арналған айтарлықтай айқын бақылау. Сонымен, нөлдік бастапқы салыстырмалы дрейм  $c_1$  деп аламыз.

$Ox$  осі бойымен  $\sigma_4$  және  $Oz$  осі бойымен  $\sigma_3$  жылдамдық ауытқулары арасында корреляция енгізілді. Ол нөлдік емес көшіруі бар траекторияны есепке алмай  $P_0$  матрицасын қолданып барлық мүмкін болатын бастапқы ауытқуларды анықтайды:

$$\sigma_4 = -2\omega\sigma_3.$$

$e$  векторының қалған құрауыштары корреляцияланбаған деп болжанады.

Қалаулы траекториядан ауытқу динамикасы (6) формуласымен анықталады. (7) басқарудың кері байланысын ескеріп алынған теңдеу:

$$\dot{e} = (A - BK)e.$$

Риккати теңдеуі:

$$\dot{P} = FP + PF^T, \quad (10)$$

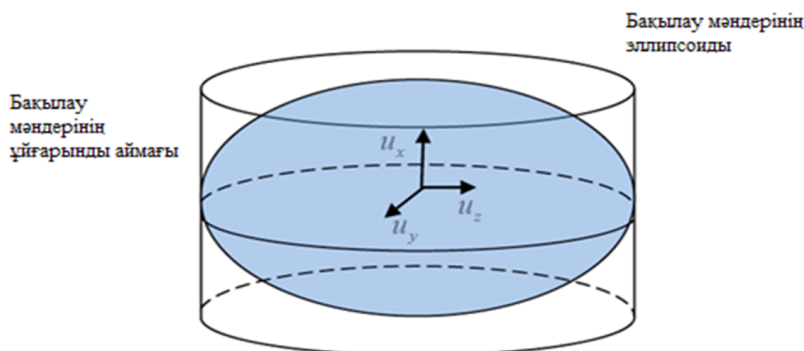
$P$  матрицасын есептеу үшін қолданылады, мұндағы,  $F = A - BK$ .

Ауытқулар эллипсоидын (10) матрицасын интегралдау арқылы кез келген уақытта алуға болады.  $F$  матрицасының өзіндік мәні максимал шынайы бөлігімен басқарылатын жүйенің жинақылық жылдамдығын анықтайды.

$P$  матрицасымен анықталатын ауытқулар эллипсоидының түрленуін анықтайды, матрицамен басқару кеңістігінің эллипсоидында:

$$P_u = KPK^T, \quad (11)$$

Басқарудың қанығуын алдын алу үшін  $P_u$  эллипсоиды  $\Delta f$  күштер айырмасының ұйғарынды мәндер аймағының шегінде болуы керек. Алайда бақылау мәндерінің бұл тиімді аймағы айтарлықтай күрделі. Оны цилиндрдің көмегімен жуықтаймыз. Онда, егер бақылау эллипсоиды Сурет 2 көрсетілгендей осы цилиндр ішіне енгізілсе, бақылау қанықпаған болады. Цилиндр көлемінің эллипсоидқа қарағанда үлкен екендігіне көңіл аударамыз, сондықтан, кейбір басқару векторлары тиімді болмауы мүмкін. Сонымен бірге, эллипсоид ішінде (9) шешімі болмайтын оғаш формадағы аймақтар бар. Бақылау аймағының цилиндрге енгізілуі туралы болжам бақылау параметрлерін есептеуді оңайлатады. Цилиндр ішінде барлық бақылау мәндері мүмкін емес. Бұл алгоритмнің жинақылық қасиетіне әсер етеді.



СУРЕТ 2 – Бақылау мәндерінің ұйғарынды аймағына енгізілген бақылау эллипсоиды

Келесі әдістеме қанығудың болмауын қамтамасыз ететін басқару алгоритмдерінің параметрлерін таңдау үшін қолданылуы керек. Ковариациялық матрица  $P_0$  максималды бастапқы траектория ауытқуларының берілген мәндерін  $e_0$  қолдану арқылы құрылады.  $P_0$  матрицасы Риккати теңдеуі (10) үшін бастапқы болжам ретінде қолданылады.  $K$  күшейту матрицасы СКР  $Q$  және  $R$  матрицалары үшін басқару алгоритмдерінің параметрлерін қамтиды. Бұл параметрлердің өзгеруі жүйенің динамикасына және сәйкесінше,  $P$  матрицасының өзгеруіне әсер етеді. Басқарушы матрицаның  $P_u$  мәндері (11) қолдану арқылы есептеледі, матрицасы Риккати теңдеуін бір орбита бойымен интегралдау жолымен алынады. Риккати теңдеуін интегралдау эллипсоидтың динамика бойынша уақытша бастапқыдан үлкен

болатын жағдайдың алдын алу үшін қажет. Алгоритм параметрлері  $P_i$  матрицасымен анықталатын эллипсоидтың орбита бойымен әрбір нүктеде бақылау мәндерінің орынды аймағына енетіндей таңдалуы қажет.

**Қорытынды.** Мақалада аэродинамикалық күштің қарапайым моделінің үш өлшемді салыстырмалы қозғалысын басқаруды қамтамасыз ететіндігі дәлелденді. Модель көтеруші құрауышты ескереді. Салыстырмалы қозғалыстың және атмосфера тығыздығының қарапайым модельдері борттық басқару алгоритмін есептеу кезінде қолданылады. Бұл есептеу күрделілігін әлдеқайда оңайлатады. СКР негізінде нақты басқару алгоритмі зерттеледі. Траекторияның қажет мәннен берілген ауытқулары кезінде басқарудың қанықпауын қамтамасыз ететін басқару алгоритмдерінің параметрлерін табуға мүмкіндік беретін талдау әдісі ұсынылады.

### Әдебиеттер тізімі

- 1 Иванов Д., Овчинников М., Шестаков С. Массаман алмасу жолымен жерсеріктік құрылымдардың ұшуын басқару // «Acta Astronaut» мақалалар жинағы, Лондон: Халықаралық астронавтика академиясы. - 2014. - Т. 102.- Б. 392–401.
- 2 Пасторелли М., Бевилаква Р., Пасторелли С. Зымыран отынысыз ғарыш кемесі үшін дифференциалды кедергі негізінде роторлы-трансляциялық басқару // «Acta Astronaut» мақалалар жинағы, Лондон: Халықаралық астронавтика академиясы. - 2015. - Т. 114.- Б. 6–21.
- 3 Хорсли М., Николаев С., Перика А. Дифференциалды көтеру және тасу арқылы шағын жерсеріктердің кездесуі // «AIAA» мақалалар жинағы, Эймс: Америкалық аэроавиатика және космонавтика институты. - 2013. - Т. 36. № 2.- Б. 445–453.
- 4 Смит Б. және басқалар. Дифференциалды лифт негізінде рандеву ғарыш аппараттарының тиімділігін зерттеу // «AIAA» мақалалар жинағы, Эймс: Америкалық аэроавиатика және космонавтика институты.- 2017.- Т. 40. - № 10. - Б. 2680–2687.
- 5 Сан Р. және басқалар. Аэродинамикалық күштерді қолданатын ғарыштық аппараттарды қалыптастыру үшін нейрон жүйелерінің негізінде сырғымалы режиммен адаптивті басқару // «AIAA» мақалалар жинағы, Эймс: Америкалық аэроавиатика және космонавтика институты.- 2017.- Т. 41. - № 3. - Б. 1–13.
- 6 Иванов Д. және басқалар. Суреттерді өңдеу арқылы бөлу кезінде жерсеріктің салыстырмалы қозғалысын анықтау // «Международный журнал космической науки и техники» мақалалар жинағы, Торонто: Йорк университеті.- 2014.- Т. 2. - № 4. - Б. 365–379.
- 7 Иванов Д. және басқалар. Шағын жерсеріктің бағдарын анықтау алгоритмдерін аналитикалық зерттеу // «Acta Astronaut» мақалалар жинағы, Лондон: Халықаралық астронавтика академиясы. - 2015. - Т. 116. - Б. 339–348.

А.Е. Ашуров, М.А. Бақыт

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

#### **Исследование управления спутниковым групповым полетом с использованием дифференциального подъема и перетаскивания**

**Аннотация.** Многоспутниковые космические системы обещают прорыв в освоении космоса и научных экспериментах. Спутники, летящие на короткие относительные расстояния, могут решать амбициозные задачи, такие как сборка на орбите станции и создание распределенной системы дистанционного зондирования. Для этого необходимо контролировать относительное движение спутников. В данной статье рассмотрен алгоритм управления полетом спутниковых образований на околоземной орбите с использованием аэродинамической силы. Предложена простая модель аэродинамической силы, которая учитывает подъемную составляющую силы. Это позволяет нам рассчитать положение спутника относительно входящего потока, который обеспечивает требуемую аэродинамическую силу. Для заданных параметров модели получена приемлемая область управления. Рассмотрен алгоритм управления относительным движением на основе линейно-квадратичного регулятора. Предложена методика определения параметров алгоритма.

**Ключевые слова:** малый спутник, групповой полет, аэродинамическая сила, относительное движение, алгоритм управления, линейно-квадратичный регулятор.

A.E. Ashurov, M.A. Bakyt

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

### Study of satellite group flight control using differential lift and transfer

**Abstract.** Many satellite space systems promise a breakthrough in space exploration and scientific experiments. Satellite networks can create ambitious tasks, as well as create a distributed remote sensing system. For this, it is necessary to control the relative motion of the satellites. This article describes the algorithm of controlling the flight of satellite formations in near-Earth orbit using aerodynamic force. A simple model of aerodynamic force is proposed, which takes into account the lifting component of the force. This allows us to calculate the position of the satellite relative to the incoming stream. An acceptable control area is obtained for the given model parameters. A relative motion control is considered algorithm based on a linear-quadratic controller. There is also proposed technique for determining the parameters of the algorithm.

**Keywords:** small satellite, formation flight, aerodynamic force, relative motion, control algorithm, linear-quadratic controller.

## References

- 1 Ivanov D., Ovchinnikov M., Shestakov S. Massamen almasu zholyumen zherseriktik kurylymdardyn ushuyn baskaru [Satellite formation flying control by mass exchange], Acta Astronaut, 102, 392–401 (2014).
- 2 Pastorelli M., Bevilacqua R., Pastorelli S. Otynsyz garysh apparattary ushin differensialdy kedergi negizinde Roto-udemeli baskaru [Differential-drag-based roto-translational control for propellant-less spacecraft], Acta Astronaut, 114, 6–21 (2015).
- 3 Horsley M., Nikolaev S., Pertica A. Differensialdy koterudi zhane kedergini paidalanatyn Randevu kishi sputnikteri [Small Satellite Rendezvous Using Differential Lift and Drag], AIAA, 36, 2, 445–453 (2013).
- 4 Smith B. et al. Differensialdy koteru kushi negizinde garysh apparattarynyn jakyndasuynyn oryndylygyn zertteu [Investigation into the Practicability of Differential Lift-Based Spacecraft Rendezvous], AIAA, 40, 10, 2680–2687 (2017).
- 5 Sun R. et al. Aerodinamikalyk kushterdi paidalana otyryp, garysh apparattaryn kalyptastyrudyn zhylyzhymaly rezhimin neurozhelilik adaptivti baskaru [Neural-Network-Based Sliding-Mode Adaptive Control for Spacecraft Formation Using Aerodynamic Forces], AIAA, 41, 3, 1–13 (2017).
- 6 Ivanov D. et al. Suretterdi ondeu arkyly bolu kezinde sputniktin salystyrmaly kozgalysyn anyktau [Satellite relative motion determination during separation using image processing], IMCST, 4, 365–379 (2014).
- 7 Ivanov D. et al. Mikrosputnikterdin bagdaryn anyktau algoritmderin analitikalyk zertteu [Analytical study of microsatellite attitude determination algorithms], Acta Astronaut, 116, 339–348 (2015).

#### Сведения об авторах:

*Ashurov A.E.* – физика-математика ғылымдарының кандидаты, физика-техникалық факультетінің Ғарыштық техника және технологиялар кафедрасының доценті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 11, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Bakyt M.A.* – физика-техникалық факультетінің Ғарыштық техника және технологиялар мамандығының 1 курс магистранты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көшесі, 11, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Ashurov A.E.* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate prof. of “Space Technique and Technology” Departments of Physics and Technology faculty, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan st., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Bakyt M.A.* – 1th year undergraduate of the specialty «Space Technique and Technologies» of the Physics and Technology faculty, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan st., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.



«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы» журналында мақала жариялау ережесі

Журнал редакциясы авторларға осы нұсқаулықпен толық танысып, журналға мақала әзірлеу мен дайын мақаланы журналға жіберу кезінде басшылыққа алуды ұсынады. Бұл нұсқаулық талаптарының орындалмауы сіздің мақалаңыздың жариялануын кідіртеді.

**1. Журнал мақсаты.** Физика мен астрономия салаларының теориялық және эксперименталды зерттелулері бойынша мұқият тексеруден өткен ғылыми құндылығы бар мақалалар жариялау.

**2. Баспаға** (барлық жариялаушы авторлардың қол қойылған қағаз нұсқасы және электронды нұсқа) журналдың түпнұсқалы стильдік файлының міндетті қолданысымен LaTeX баспа жүйесінде дайындалған Tex- пен Pdf-файлындағы жұмыстар ұсынылады. Стильдік файлды *bulphysast.enru.kz* журнал сайтынан жүктеп алуға болады. Сонымен қатар, автор(лар) **ілеспе хат** ұсынуы керек.

**3. Автордың қолжазбаны редакцияға жіберуі** мақаланың Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысында басуға келісімін, шетел тіліне аударылып қайта басылуына келісімін білдіреді. Автор мақаланы редакцияға жіберу арқылы автор туралы мәліметтің дұрыстығына, мақала көшірілмегендігіне (плагиаттың жоқтығына) және басқа да заңсыз көшірмелердің жоқтығына кепілдеме береді.

**4. Мақаланың көлемі** 18 беттен аспауға тиіс (6 беттен бастап).

**FTAMPK** <http://grnti.ru/>

**Автор(лар)дың аты-жөні**

**Мекеменің толық атауы, қаласы, мемлекеті** (егер авторлар әртүрлі мекемеде жұмыс жасайтын болса, онда әр автор мен оның жұмыс мекемесі қасында бірдей белгі қойылу керек)

**Автор(лар)дың E-mail-ы**

**Мақала атауы**

**Аңдатпа** (100-200 сөз; күрделі формулаларсызсыз, мақаланың атауын мейлінше қайталамауы қажет; әдебиеттерге сілтемелер болмауы қажет; мақаланың құрылысын (кіріспе мақаланың мақсаты/ міндеттері /қарастырылып отырған сұрақтың тарихы /зерттеу /әдістері нәтижелер/талқылау, қорытынды) сақтай отырып, мақаланың қысқаша мазмұны берілуі қажет).

**Түйін сөздер** (6-8 сөз не сөз тіркесі. Түйін сөздер мақала мазмұнын көрсетіп, мейлінше мақала атауы мен аннотациядағы сөздерді қайталамай, мақала мазмұнындағы сөздерді қолдану қажет. Сонымен қатар, ақпараттық-ізвестіру жүйелерінде мақаланы жеңіл табуға мүмкіндік беретін ғылым салаларының терминдерін қолдану қажет).

**Негізгі мәтін** мақаланың мақсаты/ міндеттері/ қарастырылып отырған сұрақтың тарихы, зерттеу әдістері, нәтижелер/талқылау, қорытынды бөлімдерін қамтуы қажет.

**5. Таблица, суреттер** – Жұмыстың мәтінде кездесетін таблицалар мәтіннің ішінде жеке нөмірленіп, мәтін көлемінде сілтемелер түрінде көрсетілуі керек. Суреттер мен графиктер PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX форматындағы стандарттарға сай болуы керек. Нүктелік суреттер кеңейтілімі 600 dpi кем болмауы қажет. Суреттердің барлығы да айқын әрі нақты болуы керек.

Мақаладағы **формулалар** тек мәтінде оларға сілтеме берілсе ғана номерленеді.

Жалпы қолданыста бар **аббревиатуралар** мен **қысқартулардан** басқалары міндетті түрде алғаш қолданғанда түсіндірілуі берілуі қажет. **Қаржылай көмек туралы** ақпарат бірінші бетте көрсетіледі.

**6. Жұмыста** қолданылған әдебиеттер тек жұмыста сілтеме жасалған түпнұсқалық көрсеткішке сай (сілтеме беру тәртібінде немесе ағылшын әліпбиі тәртібі негізінде толтырылады) болуы керек. Баспадан шықпаған жұмыстарға сілтеме жасауға түйым салынады.

Сілтемені беруде автор қолданған әдебиеттің бетінің нөмірін көрсетпей, келесі нұсқаға сүйеніңіз дұрыс: тараудың номері, бөлімнің номері, тармақтың номері, теораманың (лемма, ескерту, формуланың және т.б.) номері көрсетіледі. Мысалы: қараңыз [3; § 7, лемма 6]», «...қараңыз [2; 5 теорамдағы ескерту]». Бұл талап орындалмаған жағдайда мақаланы ағылшын тіліне аударғанда сілтемелерде қателіктер туындауы мүмкін.

**Әдебиеттер тізімін рәсімдеу мысалдары**

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. –М: Физматлит, –1994, –376 стр. – **кітап**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики –2014. –Т.54. № 7. –С. 1059-1077. - **мақала**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. – **конференция еңбектері**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. –Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. –С.7. – **газеттік мақала**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия –2017. –Т.14. –С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. – URL: <http://semf.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронды журнал**

**7. Әдебиеттер тізімінен** соң автор өзінің библиографиялық мәліметтерін орыс және ағылшын тілінде (егер мақала қазақ тілінде орындалса), қазақ және ағылшын тілінде (егер мақала орыс тілінде орындалса), орыс және қазақ тілінде (егер мақала ағылшын тілінде орындалса) жазу қажет. Сонынан транслиттік аударма мен ағылшын тілінде берілген әдебиеттер тізімінен соң әр автордың жеке мәліметтері (қазақ, орыс, ағылшын тілдерінде – ғылыми атағы, қызметтік мекенжайы, телефоны, e-mail-ы) беріледі.

**8. Редакцияға** түскен мақала жабық (анонимді) тексеруге жіберіледі. Барлық рецензиялар авторларға жіберіледі. Автор (рецензент мақаланы түзетуге ұсыныс берген жағдайда) он күн аралығында қайта қарап, қолжазбаның түзетілген нұсқасын редакцияға қайта жіберуі керек. Рецензент жарамсыз деп таныған мақала қайтара қарастырылмайды. Мақаланың түзетілген нұсқасы мен автордың рецензентке жауабы редакцияға жіберіледі.

**9. Төлемақы.** Басылымға рұқсат етілген мақала авторларына төлем жасау туралы ескертіледі. Төлем көлемі 4500 тенге – ЕҰУ қызметкерлері үшін және 5500 тенге басқа ұйым қызметкерлеріне.

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк  
Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

**Provision on articles submitted to the journal "Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy series"**

*The journal editorial board asks the authors to read the rules and adhere to them when preparing the articles, sent to the journal. Deviation from the established rules delays the publication of the article.*

**1. Purpose of the journal.** Publication of carefully selected original scientific.

2. The scientific publication office accepts the article (in electronic and printed, signed by the author) in Tex- and Pdf-files, prepared in the LaTeX publishing system with mandatory use of the original style log file. The style log file can be downloaded from the journal website *bulphysast.enu.kz*. And you also need to provide the **cover letter** of the author(s). Language of publications: Kazakh, Russian, English.

**3. Submission of articles to the scientific publication office means the authors' consent to the right of the Publisher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, to publish articles in the journal and the re-publication of it in any foreign language. Submitting the text of the work for publication in the journal, the author guarantees the correctness of all information about himself, the lack of plagiarism and other forms of improper borrowing in the article, the proper formulation of all borrowings of text, tables, diagrams, illustrations.**

4. The volume of the article should not exceed 18 pages (from 6 pages).

The text of the article begins with the IRSTI (International Rubricator of Scientific and Technical Information, defined by the link <http://grnti.ru/>), then followed by the Initials and Surname of the author (s); full name of organization, city, country; E-mail of the author (s); the article title; abstract. Abstract should consist of 150-250 words, it should not contain cumbersome formulas, the content should not repeat the article title, abstract should not contain references to the text of the article and the list of literature), abstract should be a brief summary of the article content, reflecting its features and preserving the article structure.

Potential authors of the journal should adhere to the following rules on the structure of the article point by point with headings:

- The necessary notation and definitions to ensure understanding of the text of the article;
- Statement of the problem, the solution of which the article is devoted to;
- Historical information on the statement of the problem - by whom and when the results were obtained that preceded the topic of the article with the corresponding full links;
- Justification of the necessity and relevance of the task of the article, as the most critical part of any scientific work;
- The exact wording and description of the solution to the problem presented in the article;
- A detailed justification of the novelty of the result (s) of an article in the context of a previously known one;
- The solution to the problem should be provided with detailed justifications (evidence).

If at least one of these requirements is not observed, the article is not accepted for consideration. Tables are included directly in the text of the article; it must be numbered and accompanied by a reference to them in the text of the article. Figures, graphics should be presented in one of the standard formats: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Bitmaps should be presented with a resolution of 600 dpi. All details must be clearly shown in the figures.

In the article, only those **formulas** are numbered, to which the text has references.

All **abbreviations**, with the exception of those known to be generally known, must be deciphered when first used in the text.

Information on **the financial** support of the article is indicated on the first page in the form of a footnote.

**6.** The list of literature should contain only those sources (numbered in the order of quoting or in the order of the English alphabet), which are referenced in the text of the article. References to unpublished issues, the results of which are used in evidence, are not allowed. Authors are recommended to exclude the reference to pages when referring to the links and guided by the following template: chapter number, section number, paragraph number, theorem number (lemmas, statements, remarks to the theorem, etc.), number of the formula. For example, "... see [3, § 7, Lemma 6]"; "... see [2], a remark to Theorem 5". Otherwise, incorrect references may appear when preparing an English version of the article.

#### **Template**

1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр.-**book**

2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **journal article**

3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - - **Conferences proceedings**

4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. **newspaper articles**

5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **Internet resources**

**7.** At the end of the article, after the list of references, it is necessary to indicate bibliographic data in Russian and English (if the article is in Kazakh), in Kazakh and English (if the article is in Russian) and in Russian and Kazakh languages (if the article is English language). Then a combination of the English-language and transliterated parts of the references list and information about authors (scientific degree, office address, telephone, e-mail - in Kazakh, Russian and English) is given.

**8. Work with electronic proofreading.** Articles received by the Department of Scientific Publications (editorial office) are sent to anonymous review. All reviews of the article are sent to the author. The authors must send the proof of the article within ten days. Articles that receive a negative review for a second review are not accepted. Corrected versions of articles and the author's response to the reviewer are sent to the editorial office. Articles that have positive reviews are submitted to the editorial boards of the journal for discussion and approval for publication.

**Periodicity of the journal:** 4 times a year.

**9. Payment.** Authors who have received a positive conclusion for publication should make payment on the following requisites (for ENU employees - 4,500 tenge, for outside organizations - 5,500 tenge):

Реквизиты:

1)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпн 859- за статью

2)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

3)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпн 859 - за статью

4)РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпн 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

**Положение о рукописях, представляемых в журнал «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия: Физика. Астрономия»**

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

**1. Цель журнала.** Публикация тщательно отобранных оригинальных научных работ по актуальным проблемам теоретических и экспериментальных исследований в области физики и астрономии.

**2.** В редакцию (в бумажном виде, подписанном всеми авторами и в электронном виде) представляются Tex- и Pdf-файлы работы, подготовленные в издательской системе LaTeX, с обязательным использованием оригинального стилевого файла журнала. Стилиевой файл можно скачать со сайта журнала *bulphysast.enu.kz*. Автору (авторам) необходимо предоставить **сопроводительное письмо**.

**Язык публикаций:** казахский, русский, английский.

**3. Отправление статей в редакцию означает согласие авторов на право Издателя, Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, издания статей в журнале и переиздания их на любом иностранном языке. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправомерного заимствования в рукописи, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций.**

**4.** Объем статьи не должен превышать 18 страниц (от 6 страниц).

Текст работы начинается с рубрикатора МРНТИ (Международный рубрикатор научно-технической информации; определяется по ссылке <http://grnti.ru/>), затем следуют инициалы и фамилия автора(ов), полное наименование организации, город, страна, e-mail автора(ов), заглавие статьи, аннотация. Аннотация должна состоять из 150-250 слов, не должна содержать громоздкие формулы, не должна повторять по содержанию название статьи, не должна содержать ссылки на текст работы и список литературы, должна быть кратким изложением содержания статьи, отражая её особенности и сохраняя структуру статьи.

Потенциальные авторы журнала должны в соответствии с заголовками придерживаться следующих правил по структуре статьи:

- Необходимые обозначения и определения для обеспечения понимания текста статьи;
- Постановка задачи, решению которой посвящена статья;
- Исторические сведения по постановке задачи с соответствующими полными ссылками - кем и когда были получены результаты, предшествующие теме статьи;
- Обоснование необходимости и актуальности задачи статьи как самая важная часть любой научной работы;
- Точная формулировка и описание представленного в статье решения поставленной задачи;
- Подробное обоснование новизны результата (ов) статьи в контексте ранее известного;
- Решение задачи должно быть снабжено подробными обоснованиями (доказательствами).

При несоблюдении хотя бы одного из этих требований статья не принимается к рассмотрению.

Таблицы включаются непосредственно в текст работы, они должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте работы. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали.

В статье нумеруются лишь те **формулы**, на которые по тексту есть ссылки.

Все **аббревиатуры и сокращения**, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

Сведения о **финансовой поддержке** работы указываются на первой странице в виде сноски.

**6.** Список литературы должен содержать только те источники (пронумерованные в порядке цитирования или в порядке английского алфавита), на которые имеются ссылки в тексте работы. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются.

Авторам рекомендуется при оформлении ссылок исключить упоминание страниц и руководствоваться следующим шаблоном: номер главы, номер параграфа, номер пункта, номер теоремы (леммы, утверждения, замечания к теореме и т.п.), номер формулы. Например, "..., см. [3; § 7, лемма 6]"; "..., см. [2; замечание к теореме 5]". В противном случае при подготовке англоязычной версии статьи могут возникнуть неверные ссылки.

**Примеры оформления списка литературы**

- 1 Воронин С. М., Карацуба А. А. Дзета-функция Римана. -М: Физматлит, -1994, -376 стр. - **книга**
- 2 Баилов Е. А., Сихов М. Б., Темиргалиев Н. Об общем алгоритме численного интегрирования функций многих переменных // Журнал вычислительной математики и математической физики -2014. -Т.54. № 7. -С. 1059-1077. - **статья**
- 3 Жубанышева А.Ж., Абикенова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. - Москва, 2015. -С.141-142. - **труды конференции**
- 4 Нуртазина К. Рыцарь математики и информатики. -Астана: Каз.правда, 2017. 19 апреля. -С.7. - **газетная статья**
- 5 Кыров В.А., Михайличенко Г.Г. Аналитический метод вложения симплектической геометрии // Сибирские электронные математические известия -2017. -Т.14. -С.657-672. doi: 10.17377/semi.2017.14.057. - URL: <http://semr.math.nsc.ru/v14/p657-672.pdf>. (дата обращения: 08.01.2017). - **электронный журнал**
- 7.** После списка литературы, необходимо указать библиографические данные на русском и английском языках (если статья оформлена на казахском языке), на казахском и английском языках (если статья оформлена на русском языке) и на русском и казахском языках (если статья оформлена на английском языке). Затем приводится комбинация англоязычной и транслитерированной частей списка литературы и сведения по каждому из авторов (научное звание, служебный адрес, телефон, e-mail - на казахском, русском и английском языках).

**8. Работа с электронной корректурой.** Статьи, поступившие в Отдел научных изданий (редакция), отправляются на анонимное рецензирование. Все рецензии по статьям отправляются автору. Авторам в течение десяти дней необходимо отправить корректуру статьи. Статьи, получившие отрицательную рецензию, к повторному рассмотрению не принимаются. Исправленные варианты статей и ответ автора рецензенту присылаются в редакцию. Статьи, имеющие положительные рецензии, представляются редколлегии журнала для обсуждения и утверждения для публикации.

**Периодичность журнала:** 4 раза в год.

**9. Оплата.** Авторам, получившим положительное заключение к опубликованию, необходимо произвести оплату по следующим реквизитам (для сотрудников ЕНУ – 4500 тенге, для сторонних организаций – 5500 тенге): Реквизиты:

Реквизиты:

1) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК

АО "Банк ЦентрКредит"

БИК банка: КСЖВКЗКХ

ИИК: KZ978562203105747338

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

2) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Bank RBK"

Бик банка: KINCKZKA

ИИК: KZ498210439858161073

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

3) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "ForteBank"

БИК Банка: IRTYKZKA

ИИК: KZ599650000040502847

Кбе 16

Кпп 859 - за статью

4) РГП ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева МОН РК АО "Народный Банк Казахстан"

БИК Банка: HSBKKZKX

ИИК: KZ946010111000382181

Кбе 16

Кпп 859.

"За публикацию в Вестнике ЕНУ ФИО автора"

Ректору  
ЕНУ имени Л.Н. Гумилева

### СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Настоящим письмом авторы гарантируют, что размещение научной статьи "НАЗВАНИЕ СТАТЬИ" (Произведение) авторов ФИО АВТОРА(ОВ) в журнале "Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия Физика. Астрономия" не нарушает ничьих авторских прав. Авторы предоставляют издателю журнала, Евразийскому национальному университету имени Л.Н. Гумилева исключительные права на неограниченный срок:

- право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров, право на распространение Произведения любым способом. При этом каждый экземпляр произведения должен содержать имя автора (ов) Произведения;

- право на включение в составное произведение;

- право на доведение до всеобщего сведения;

- право на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы, полный текст Произведения и пр.) Произведения путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы, в том числе полнотекстовых версий опубликованного Произведения.

Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

Автор(ы) также предоставляют издателю журнала право хранения и обработки своих персональных данных без ограничения по сроку (фамилия, имя, отчество, сведения об образовании, сведения о месте работы и занимаемой должности). Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

**Автор(ы)** в полном объеме несут ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан.

Настоящим письмом автор(ы) дают свое согласие на проверку Произведения на предмет плагиата издателем журнала.

**Автор(ы)** подтверждают, что направляемое Произведение нигде ранее не было опубликовано, не направлялось и не будет направляться для опубликования в другие научные издания.

*\*Сопроводительное письмо оформляется на официальном бланке организации и подписывается руководителем организации (для вузов - курирующим проректором по научно-исследовательской работе).*

*\*\* Сопроводительное письмо авторов, являющихся сотрудниками ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, заверяется деканом факультета.*

Исп.: ФИО автора(ов)

## Мақаланы рәсімдеу үлгісі

МРНТИ 535.37

**Ж.Т. Карипбаев, А.У. Абуова, Г.К. Алпысова, К.М. Сарсенғалиева<sup>1</sup>,  
К.А. Байжолов, А.Б. Куkenова, М.В. Здоровец**

<sup>1</sup> *Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан* <sup>1,2</sup> *Томский политехнический университет, Томск, Россия*

<sup>3</sup> *Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан*  
(Email: Fatika\_82@mail.ru)

### Люминесценция кристаллов ZnWO<sub>4</sub> с введенным кислородом

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика.*

*Астрономия сериясы, 2020, том 131, №2, 117-109 беттер*

*http://bulphysast.enu.kz, E-mail: vest\_phys@enu.kz*

**МРНТИ: 539.534.9; 621.039.542.34**

**А. Сейтбаев<sup>1,2</sup>, В. Скуратов<sup>3</sup>, А. Акилбеков<sup>1</sup>, А. Даулетбекова<sup>1</sup>, М. Здоровец<sup>2,4</sup>**

<sup>1</sup> *Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>2</sup> *Институт ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан*

<sup>3</sup> *Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

<sup>4</sup> *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

(E-mail: Seitbayevaibek@gmail.com)

### Кинетика ионолюминесценции кристаллов LiF<sup>1</sup>

**Аннотация:** Приведены результаты исследования спектральных характеристик фото- и катодолюминесценции кристаллов вольфрамата цинка, подвергнутых термической обработке в атмосфере кислорода или облучению потоками высокоэнергетических ионов кислорода. Введение кислорода приводит к снижению эффективности фотолюминесценции. Кроме того, введение посредством термической обработки приводит и к изменению спектра возбуждения. Предполагается, что наблюдаемое изменение характеристик фотолюминесценции обусловлено разрушением сформированных при синтезе кристалла комплексов, включающих в свой состав центры свечения. При термической обработке в атмосфере кислорода разрушение излучающих комплексов происходит на глубине, сопоставимой с глубиной проникновения возбуждающих фотонов. Резкое снижение эффективности возбуждения люминесценции с ростом энергии возбуждающих фотонов объясняется наличием градиента концентрации вошедшего диффузией кислорода и, соответственно, разрушенных излучающих комплексов. Сделана оценка глубины вхождения кислорода, характеристическая глубина вхождения составляет 20 нм при обработке в течение 7 часов при 900°C.

**Ключевые слова:** вольфраMAT цинка, фото и катодолюминесценция, кислород, комплексные дефекты.

**Основной текст** статьи должен быть разбит на четко определенные и пронумерованные разделы (подразделы). Подразделы должны быть пронумерованы 1.1, 1.2 и т. д. Рекомендуемые разделы статьи:

**Введение.** Вводная информация, касающаяся темы статьи. Разъяснение цели предпринятого исследования.

**Материалы и методы.** Описание последовательности выполнения исследования и обоснование выбора используемых методов.

**Результаты и обсуждения.** Описание результатов экспериментов. В данной части статьи должен быть представлен авторский аналитический или статистический материал.

**Заключение.** Краткая формулировка результатов исследования. Сжатое повторение главных мыслей основной части работы.

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках грантового проекта МОН РК AP 05134257.



Также авторы могут указать источник финансирования либо финансовой поддержки, оказываемой в рамках исследования. Благодарность должна быть выражена кратко, лаконично.

## 2. Формулы, таблицы, рисунки

$$\delta_N(\varepsilon_N; D_N)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; D_N)_Y \equiv \inf_{(l^{(N)}, \varphi_N) \in D_N} \delta_N \left( \varepsilon_N; \left( l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y, \quad (1)$$

где  $\delta_N \left( \varepsilon_N; \left( l^{(N)}, \varphi_N \right) \right)_Y \equiv \delta_N(\varepsilon_N; T; F; \left( l^{(N)}, \varphi_N \right))_Y \equiv$

$$\equiv \sup_{\substack{f \in F \\ |\gamma_N^{(\tau)}| \leq 1 (\tau=1, \dots, N)}} \left\| Tf(\cdot) - \varphi_N \left( l_N^{(1)}(f) + \gamma_N^{(1)} \varepsilon_N^{(1)}, \dots, l_N^{(N)}(f) + \gamma_N^{(N)} \varepsilon_N^{(N)}; \cdot \right) \right\|_Y.$$

Таблицы, рисунки необходимо располагать после упоминания. С каждой иллюстрацией должна следовать надпись.

Таблица 1 – Название таблицы

Простые	Не простые
2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29	4, 6, 8, 9, 10, 12, 14



Рисунок 1 – Название рисунка

## 3. Ссылки и библиография

Для ссылок на утверждения, формулы и т. п. можно использовать метки. Например, теорема ??, Формула (1)

Для руководства по L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X и в качестве примера оформления ссылок, см., например, *Львовский С.М.* Набор и верстка в пакете L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Москва: Космосинформ, 1994.

Список литературы оформляется следующим образом.

### Список литературы

- 1 Локуциевский О.М., Гавриков М.Б. Начала численного анализа. –М.: ТОО "Янус", 1995. –581 с. - **книга**
- 2 Степаненко В.Ф., Эндо С., Каприн А.Д., Иванов С.А., Каджимото Т., Танака К., Колыженков Т.В., Петухов А.Д., Ахмедова У.А., Богачёва В.В., Коротков В.А., Хоши М. Опыт инструментальной оценки накопленных доз внешнего облучения с использованием метода ретроспективной люминесцентной дозиметрии по единичным микрокристаллам кварца из кварцосодержащих образцов, отобранных в префектуре Фукусима, Япония // Радиация и риск. - 2018. – Т. 27. - № 3. - С. 79-90. doi: ... **(при наличии)** - **статья**
- 3 Жубанышева А.Ж., Абикинова Ш. О нормах производных функций с нулевыми значениями заданного набора линейных функционалов и их применения к поперечниковым задачам // Функциональные пространства и теория приближения функций: Тезисы докладов Международной конференции, посвященная 110-летию со дня рождения академика С.М.Никольского, Москва, Россия, 2015. – Москва, 2015. –С.141-142. - **труды конференций**
- 4 Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гипополидемическая активность леукомизина. –Алматы: Бастау, 2007. –С. 3-5 - **газетные статьи**
- 5 Dovesi R., Saunders V.R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C.M., Pascale F., Civalieri B., Doll K., Harrison N.M., Bush I.J., D’Arco P., and Llunell M. CRYSTAL14 User’s Manual University of Torino, Italy. [Electronic resource]. Available at: <http://www.crystal.unito.it> (Accessed: 20.01.2019). - **электронный журнал**

Ж.Т. Карипбаев<sup>1,2</sup>, А.У. Абуова<sup>1</sup>, Г.К. Алпысова<sup>1</sup>, К.М. Сәрсенғалиева<sup>1</sup>, К.А. Байжолов<sup>1</sup>, А.Б. Кукунова<sup>1</sup>, М.В. Здоровец<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

<sup>3</sup> Ядролық физика институты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

#### Оттегі енгізілген ZnWO<sub>4</sub> кристалдарының люминесценциясы

**Аннотация:** Оттегі атмосферасында термиялық өңдеуден өткен немесе жоғары энергиялы оттегі иондарымен сәулеленуге ұшыраған мырыш вольфрам кристалдарының фото және катодолуминесценциясының спектрлік сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Оттегінің енгізілуі фотолуминесценция тиімділігінің төмендеуіне және термиялық өңдеудің енгізілуі қозу спектрінің өзгеруіне әкеледі. Фотолуминесценция сипаттамаларының байқалған өзгерісі кристалл синтезі кезінде пайда болған кешендердің, соның ішінде жарқыл орталықтарының бұзылуымен байланысты деп болжанады. Оттегі атмосферасында термиялық өңдеу кезінде шығаратын кешендердің бұзылуы қоздырғыш фотондардың ену тереңдігімен салыстырылатын тереңдікте жүреді. Люминесценттік қозу тиімділігінің күрт төмендеуі диффузияға енетін оттегінің шоғырлану градиентінің және сәйкесінше жойылған эмитенттік комплекстердің болуымен түсіндіріледі. Оттегінің кіру тереңдігін бағалау жүргізілді, сипаттамалық кіру тереңдігі 900 °C температурада 7 сағат бойы өңделген кезде 20 нм болды.

**Түйін сөздер:** мырыш вольфрамасы, фото және катодолуминесценция, оттегі, күрделі ақаулар.

Zh.T.Karipbaev<sup>1,2</sup>, A.U. Abuova<sup>1</sup>, G. K. Alpyssova<sup>1</sup>, K.M. Sarsengalieva<sup>1</sup>, K.A. Baozholov<sup>1</sup>, A.B. Kukunova<sup>1</sup>, M.V. Zdorovets<sup>3</sup>

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan

#### Luminescence of ZnWO<sub>4</sub> crystals with oxygen introduced

**Abstract:** The results of studying the spectral characteristics of the photo- and cathodoluminescence of zinc tungstate crystals subjected to heat treatment in an oxygen atmosphere or irradiation with high-energy oxygen ions are presented. The introduction of oxygen leads to a decrease in the efficiency of photoluminescence. In addition, the introduction by heat treatment leads to a change in the excitation spectrum. It is assumed that the observed change in the characteristics of photoluminescence is due to the destruction of complexes formed during crystal synthesis, including glow centers. During heat treatment in an oxygen atmosphere, the destruction of emitting complexes occurs at a depth comparable to the penetration depth of exciting photons. A sharp decrease in the efficiency of luminescence excitation with increasing energy of exciting photons is explained by the presence of a concentration gradient of oxygen entering the diffusion and, accordingly, of destroyed emitting complexes. An assessment was made of the oxygen entry depth; the characteristic entry depth was 20 nm when processed for 7 hours at 900 °C.

**Keywords:** zinc tungstate, photo and cathodoluminescence, oxygen, complex defects.

## References

- 1 Lokucievskij O.M., Gavrikov M.B. Nachala chislenogo analiza [Elements of numerical analysis] (Yanus, Moscow, 1995). [in Russian]
- 2 Stepanenko V.F., Endo S., Kaprin A.D., Ivanov S.A., Kadzhimoto T., Tanaka K., Kolyzhenkov T.V., Petuhov A.D., Ahmedova U.A., Bogachyova V.V., Korotkov V.A., Hoshi M. Opyt instrumental'noj ocenki nakoplennoy doz vneshnego obluchenija s ispol'zovaniem metoda retrospektivnoj ljuminescentnoj dozimetrii po edinichnym mikrokrystalлам kvarca i zkvarcosoderzhashhiih obrazcov, otobrannyh v prefecture Fukusima, Japonija [An experience of instrumental estimation of cumulative external doses using single grain luminescence retrospective dosimetry method with quartz containing samples from Fukushima prefecture, Japan], Radiacija i risk [Radiation and Risk], 27(3), 79-90 (2018). [in Russian]
- 3 Zhubanysheva A.Zh., AbikenovaSh.K. O normah proizvodnyh funkcionov s nulevymi znachenijami zadannogo nabora linejnyh funkcionalov i ih primenenija k poperechnikovym zadacham [About the norms of the derivatives of functions with zero values of a given set of linear functionals and their application to the width problems]. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennaja 110-letiju so dnja rozhdenija akademika S.M.Nikol'skogo "Funkcional'nye prostranstva i teoriya priblizhenija funkcionov" [International conference on Function Spaces and Approximation Theory dedicated to the 110th anniversary of S. M. Nikol'skii]. Moscow, 2015, pp. 141-142. [in Russian]
- 4 Kurmukov A. A. Angioprotektornaja i gipolipidemicheskaia aktivnost' leukomizina [Angioprotective and lipid-lowering activity of leukomycin] (Bastau, Almaty, 2007, P. 3-5). [in Russian]
- 5 Dovesi R., Saunders V.R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C.M., Pascale F., Civalieri B., Doll K., Harrison N.M., Bush I.J., D'Arco P., and Llunell M. CRYSTAL14 User's Manual University of Torino, Italy. [Electronic resource]. Available at: <http://www.crystal.unito.it> (Accessed: 20.01.2019).

#### Сведения об авторах:

Карипбаев Ж.Т. - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Сұлтан, Казахстан.

- Абуова А.У.* - доктор PhD, и.о. доцента кафедры технической физики, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, улица Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Алтысова Г.К.* - докторант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Сәрсенғалиева К.М.* - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Байжолов К.А.* - магистрант 2 года обучения специальности "Техническая физика", Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Кукенова А.Б.* - магистрант 1 года обучения специальности «Нanomатериалы и нанотехнологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Нур-Султан, Казахстан.
- Здоровец М.В.* - к.ф.-м.н., директор Института ядерной физики, Нур-Султан, Казахстан.
- Karipbayev Zh.T.* - Ph.D., L.N. Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Abuova A.U.* - Doctor of Philosophy, LN Gumilyov Eurasian National University, acting associate professor of the Department of Technical Physics, K.Munaytpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Alpyssova G.K.* - 2<sup>nd</sup> year PhD student of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Sarsengaliyeva K.M.* - 2<sup>nd</sup> year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Bayzholov K.A.* - 2<sup>nd</sup> year MSc of the specialty "Technical Physics", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Kukenova A.B.* - 1<sup>st</sup> year year MSc of specialty "Nanomaterials and nanotechnologies", L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Munaitpasov St., 13. Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Zdorovets M.V.* - Candidate of Physico-mathematical Sciences, Director of the Astana branch of the Institute of Nuclear Physics, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Редакторы: А.Т. Ақылбеков

Шығарушы редактор, дизайн: Г. Мендыбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің  
Хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы.  
-2020 - 2(131) - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. 121-б.  
Шартты б.т. - 9,375 Таралымы - 25 дана. Басуға 05.06.2020 ж. қол қойылды.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Мазмұнына типография жауап бермейді.

Редакция мекен-жайы: 010008, Нұр-Сұлтан қ.,  
Сәтбаев көшесі, 2.  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті  
Тел.: +7(7172) 70-95-00(ішкі 31-428)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды