

eISSN 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**

№4(133)/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

Арынгазин А.Қ.	ф.-м.ғ. докторы, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф., Башқұрт мемлекеттік университеті (Ресей)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Жүмаділов Қ.Ш.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Козловский А.Л.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф., Тарту университеті (Эстония)
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., проф., Латвия университеті (Латвия)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ(Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ (Қазақстан)
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Скуратов В.А.	ф.-м.ғ.д., проф., Біріккен ядролық зерттеулер институты (Ресей)
Тлеуқенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ (Қазақстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университеті (Жапония)
Шункеев Қ.Ш.	ф.-м.ғ.д., проф., Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті (Қазақстан)

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

Журнал менеджері: Г. Мендыбаева

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

Меншіктенуші: "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" Коммерциялық емес акционерлік қоғам

Мерзімділігі: жылына 4 рет. 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)

© Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

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

Aryngazin A.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Aldongarov A.A.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., BashSU (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Hoshi M.	PhD, Prof., Kyushu University (Japan)
Kadyrghanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Kozlovskiy A.L.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Tartu (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Popov A.I.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., University of Latvia (Latvia)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., KazNU (Kazakhstan)
Salikhodzha Z. M	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Skuratov V.A.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Joint Institute for Nuclear Research (Russia)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., ENU (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sci., PhD, ENU (Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sci., ENU (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD, ENU (Kazakhstan)
Shunkeyev K.Sh.	Doctor of Phys.-Math. Sci., Prof., Zhubanov University (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

Managing Editor: G. Mendybayeva

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Periodicity: 4 times a year. 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

Арынгазин А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Алдонгаров А.А.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Балапанов М.Х.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Бахтизин Р.З.	д.ф.-м.н., проф., БашГУ (Россия)
Даулетбекова А.К.	д.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Ержанов К.К.	к.ф.-м.н., PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Козловский А.Л.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Кутербек К.А.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., проф., Тартуский университет (Эстония)
Морзабаев А.К.	д.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Попов А.И.	д.ф.-м.н., проф., Латвийский университет (Латвия)
Сауытбеков С.С.	д.ф.-м.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби (Казахстан)
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Скуратов В.А.	д.ф.-м.н., проф., Объединенный институт ядерных исследований (Россия)
Тлеукиенов С.К.	д.ф.-м.н., проф., ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан)
Хоши М.	PhD, проф., Коши университет (Япония)
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., проф., АРГУ имени К. Жубанова (Казахстан)

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

Менеджер журнала: Г. Мендыбаева

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник: Некоммерческое акционерное общество "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева"

Периодичность: 4 раза в год. 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)

© Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

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

№4(133)/2020

МАЗМҰНЫ

<i>Ашуров А.Е., Калманова Д.М., Рахимова А.Д.</i> Геостационарлық жерсеріктің орнын анықтау алгоритмінде аппроксимация әдісін қолдану	8
<i>Сәндібаева Н.А., Айдарбекова А.А.</i> Молекулалық физикадан жалпы оқыту дағдыларын қалыптастыру	16
<i>Қойлық, Н.О., Бактыбаев Қ.Б., Қаптағай Г.Ә., Айдарбекова А.А., Далелханжызы А.</i> γ - орнықсыз ядролардың фермиондық моделі және күй құрылымы	23
<i>Ашуров А.Е., Әбдірашев Ө.К.</i> Түсіретін аппараттың орбитада қозғалысын моделдеу	33
<i>Кутербеков К.А., Балапанов М.Х., Кубенова М.М., Палымбетов Р.Ш., Сахабаева С.М., Кабышев А.М., Бекмырза К.Ж., Куланова К.К.</i> $K_xCu_{2-x}S$ суперионды қорытпаларының электрлік және жылулық қасиеттері	39
<i>Убаев Ж., Шунжеев К., Мясникова Л., Сагимбаева Ш.</i> Нүктелік және серпімді деформация кезіндегі NaCl матрицасының люминесценциясы	49
<i>Ахатаева Ж.О., Шажерхан К.О., Керимбаев А.О., Мукушев Б.А.</i> Центрлік тартылыс күші өрісінде дене қозғалысын компьютерлік модельдеуі	55
<i>Шағдар Н.М., Морзабаев А.К.</i> 2017 жылдың 4-10 қыркүйек аралығында CARPET құрылысында тіркелген ғарыштық сәулелердің вариациясы	61
<i>Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Лисицын В.М., Мусаханов Д.А.</i> YAG:Ce керамикасының радиациялық синтезінің тұрақтылығы	66
<i>Биәсігітов Т., Жумадилов Е.</i> Тұрақты температурада VI-мүз модификациясының Юнг, ығысу модульдері мен онда тарайтын ультрадыбыс толқындарының қысымға тәуелділігін зерттеу	73
<i>Тулеков Е.А., Морзабаев А.К., Махмұтов В.С., Ерхов В.И., Филиппов М.В.</i> ЕҰУ эксперименттік кешенінің бақылау деректері негізіндегі 2016-2019 жж. ғарыштық сәулелердің вариациялары	79
<i>Сеитов Д.Д., Некрасов К.А., Купряжкин А.Я.</i> Күшті криптон-оттекті байланысындағы UO_2 -дегі криптон диффузиясы. Молекулалық динамика модельдеуі	86

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

№4(133)/2020

CONTENTS

<i>Ashurov A.E., Kalmanova D.M., Rahimova A.D.</i> Application of the approximation method in the algorithm for determining the position of a geostationary satellite	8
<i>Sandibaeva N.A., Aidarbekova A.A.</i> Formation of general education skills on molecular physics	16
<i>Koilyk N.O., Baktybaev K.B., Kaptagay G., Aidarbekova A.A., Dalelhankyzy A.</i> Fermion dynamical-symmetrical model and the structure of states of the γ - nuclei	23
<i>Ashurov A.E., Abdirashev O.K.</i> Information and metrological support for the complex of robotic devices	33
<i>Kuterbekov K.A., Balapanov M.Kh., Kubenova M.M., Palymbetov R.Sh., Sakhabaeva S.M., Kabyshev A.M., Bekmyrza K.Zh., Kulanova K.K.</i> Electrical and thermal properties of $K_xCu_{2-x}S$ superionic alloys	39
<i>Ubayev Zh., Shunkeyev K., Myasnikova L., Sagimbayeva Sh.</i> Luminescence of the NaCl matrix under local and elastic deformation	49
<i>Akhataeva Zh.O., Shakerkhan K.O., Kerimbaev A.O., Mukushev B.A.</i> Computer simulation of body motion under the action of Central attraction	55
<i>Shagdar N.M., Morzabaev A.K.</i> Observations of cosmic ray variations by the CARPET detector during the period from 4 to 10 September, 2017	61
<i>Karipbaev Zh., Alpysova G., Lisitsyn V., Musahanov D.</i> Stability of radiation synthesis of YAG:Ce ceramics	66
<i>Bizhigitov T., Zhumadilov E.</i> Study dependence of Young's, shear modulus and ultrasonic waves propagation of the vi ice modification to the pressure at a constant temperature	73
<i>Tulekov Ye., Morzabaev A.K., Makhmutov V.S., Yerkhov V.I., Philippov M.V.</i> Variations of cosmic rays in the period 2016-2019 according to observations of the ENU experimental complex	79
<i>Seitov D.D., Nekrasov K.A., Kupryazhkin A.Ya.</i> Krypton Diffusion in UO_2 Assuming a Strong Bonding Krypton-Oxygen. A Molecular Dynamics Simulation	86

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

№4(133)/2020

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ашуров А.Е., Калманова Д.М., Рахимова А.Д.</i> Применение метода аппроксимации в алгоритме определения положения геостационарного спутника	8
<i>Сандибаева Н.А., Айдарбекова А.А.</i> Формирование общеобразовательных умений по молекулярной физике	16
<i>Койлык Н.О., Бактыбаев К.Б., Каптагай Г.А., Айдарбекова А.А., Далелханкызы А.</i> Фермионная модель и структура состояний γ -нестабильных ядер	23
<i>Ашуров А.Е., Абдирашев О.К.</i> Моделирование движения спускаемого аппарата на орбите	33
<i>Кутербеков К.А., Балапанов М.Х., Кубенова М.М., Палымбетов Р.Ш., Сахабаева С.М., Кабышев А.М., Бекмырза К.Ж., Куланова К.К.</i> Электрические и тепловые свойства суперионных сплавов $K_xCu_{2-x}S$	39
<i>Убаев Ж., Шункеев К., Мясникова Л., Сагимбаева Ш.</i> Люминесценция матрицы NaCl при локальной и упругой деформации	49
<i>Ахатаева Ж.О., Шакерхан К.О., Керимбаев А.О., Мужушев Б.А.</i> Компьютерное моделирование движения тела под действием центрального притяжения	55
<i>Шагдар Н.М., Морзабаев А.К.</i> Вариация космических лучей, зарегистрированная на установке CARPET в период с 4 по 10 сентября 2017 года	61
<i>Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Лисицын В.М., Мусаханов Д.А.</i> Стабильность радиационного синтеза ИАГ:Се керамики	66
<i>Бижигитов Т., Жумадилов Е.</i> Исследование зависимости модуля Юнга, модуля сдвига и распространяющихся в нем ультразвуковых волн VI модификации льда от давления при постоянной температуре	73
<i>Тулесов Е.А., Морзабаев А.К., Махматов В.С., Ерхов В.И., Филиппов М.В.</i> Вариации космических лучей в период 2016-2019 гг. по данным наблюдений экспериментального комплекса ЕНУ	79
<i>Сеитов Д.Д., Некрасов К.А., Купряжкин А.Я.</i> Диффузия криптона в UO_2 в предположении сильной связи криптон-кислород. Молекулярно – динамическое моделирование	86

ФИЗИКА



Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Физика. Астрономия сериясы, 2020, том 133, №4, 8-15 беттер
<http://bulphysast.enu.kz>, E-mail: vest_phys@enu.kz

МРНТИ: 89.23.21

А.Е. Ашуров, Д.М. Калманова, А.Д. Рахимова

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
(E-mail: ae_ashurov@yahoo.com, dinara_kalmanova@mail.ru)

Применение метода аппроксимации в алгоритме определения положения геостационарного спутника

Аннотация: статья посвящена изучению особенностей движения геостационарных спутников. Актуальность заключается в возможности более точного определения положения геостационарного космического аппарата для корректного выполнения целевых задач, а также для увеличения эффективности и повышения работоспособности спутников. Подробно рассмотрены вопросы использования неособенных элементов для определения местоположения спутника. Неособенные элементы решают проблему увеличения ошибки аппроксимации при очень малых значениях эксцентриситета и наклона. В результате выполненных работ был составлен программный код и алгоритм для расчета координат, вектора скорости и моделирования движения геостационарного спутника в любой момент времени. Применение результатов работы программного кода позволит с высокой точностью определять и в дальнейшем моделировать движение спутника по орбите, что приведет к уменьшению опасных ситуаций в околоземном пространстве. Рассматриваемая тема будет интересна специалистам, изучающим вопросы баллистики космических аппаратов.

Ключевые слова: геостационарная орбита, геостационарный спутник, алгоритм, аппроксимация, программный код, космический аппарат.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-133-4-8-15>

Поступила: 05.10.2020/ Допущена к опубликованию: 02.12.2020

Введение. В настоящее время в Казахстане идет работа по созданию собственной базы разработки и производства космических аппаратов. Одной из составляющих данной работы является создание программного обеспечения для бортового компьютера. В связи с этим вопрос разработки алгоритма определения положения геостационарного космического аппарата для бортового компьютера является очень актуальным.

Целью нашего исследования была разработка алгоритма и программного кода для расчета координат, составляющих вектора скорости в любой момент времени, предназначенного для бортового компьютера геостационарного спутника.

Основной задачей нашего исследования явилось создание алгоритма и программного кода для определения координат, составляющих вектора скорости и моделирования движения геостационарного спутника в любой момент времени.

Геостационарная орбита (GEO) — это круговая геосинхронная орбита в плоскости земного экватора с радиусом около 42 164 км (измеряется от центра Земли). Спутник на такой орбите

находится на высоте около 35 786 км от среднего уровня моря. Искусственный аппарат неподвижен, поэтому его местоположение на геостационарной орбите называется «точкой стояния». Данные орбиты удобны для телекоммуникационных спутников [1, 2].

Истинно геостационарная орбита может существовать лишь мгновенно, т.к. скорость КА относительно Земли может равняться нулю только в один момент времени. В действительности приближенно геостационарная орбита получается минимизацией движения КА относительно Земли посредством маневров удержания. Она может быть названа квазигеостационарной орбитой. Интервал времени между маневрами удержания КА определяет, насколько действительная орбита близка к идеально геостационарной [3-5].

1. Применение неособенных элементов для прогноза орбиты. Расчет текущего положения КА на борту имеет свои особенности. Бортовые вычислительные комплексы или бортовые комплексы управления накладывают определенные технические ограничения на вычислительный процесс. Однако, несмотря на эти ограничения, бортовые алгоритмы расчета текущего положения КА должны обеспечивать высокую точность расчета координат на длительном сроке автономного функционирования.

Рассмотрим особенности разработки бортового программного обеспечения (БПО) КА, предназначенного для функционирования на геостационарной орбите.

Методы решения задачи прогнозирования движения центра масс КА могут различаться в зависимости от целевого использования КА, а именно, от предъявляемых к ним точностных требований.

Основным требованием, предъявляемым к БПО с точки зрения выполнения целевой задачи, является обеспечение заданной точности расчета параметров движения центра масс КА и заданного срока автономного функционирования КА.

Одним из эффективных способов повышения быстродействия и сокращения требуемой оперативной памяти программы прогнозирования движения центра масс КА является использование различных методов аппроксимации [6].

Но при определенных значениях эксцентриситета происходит резкое увеличение погрешности аппроксимации. Для устранения данной проблемы было предложено использовать для аппроксимации движения КА на ГСО так называемые неособенные переменные $\lambda_1 - \lambda_6$ [7].

Использование неособенных переменных позволяет устранить особенности в правых частях дифференциальных уравнений движения КА и проводить вычисления при критических значениях элементов орбиты $i=0^\circ$, $i=90^\circ$, $e=0$ и их комбинациях. Для аппроксимации существенным достоинством использования неособенных переменных является то, что характер их изменения на интервале аппроксимации практически не меняется при прохождении критических и близких к ним значений эксцентриситета и наклона орбиты.

Для повышения быстродействия бортового алгоритма прогноза движения космического аппарата и обеспечения расчета данных в реальном масштабе времени расчет параметров движения космического аппарата может быть осуществлён в Центре управления полетами (ЦУП) с учетом всех основных возмущающих факторов, характерных для геостационарной орбиты.

В качестве исходных данных для определения положения геостационарного космического аппарата для бортового компьютера можно взять элементы орбиты или координаты спутника.

Необходимо вычислить прямоугольные координаты положения КА X, Y, Z и составляющие вектора скорости V_x, V_y, V_z в пространстве.

Для реализации данной задачи первым делом необходимо произвести переход от известных элементов орбиты к неособенным переменным с помощью выражений:

$$\begin{cases} \lambda_{1j} = a_j; \\ \lambda_{2j} = e_j * \cos(\omega_j + \Omega_j); \\ \lambda_{3j} = e_j * \sin(\omega_j + \Omega_j); \\ \lambda_{4j} = \sin \frac{i_j}{2} * \cos \Omega_j; \\ \lambda_{5j} = \sin \frac{i_j}{2} * \sin \Omega_j; \\ \lambda_{6j} = \omega_j + \Omega_j + \nu_j. \end{cases} \quad (1)$$

Получаем неособенные переменные на любой момент времени t_n . Затем интерполируем неособенные переменные для прогнозирования движения центра масс космического аппарата в любой момент времени. Определив неособенные переменные в некоторый момент времени t_n , можем вычислить кинетические параметры положения космического аппарата с помощью следующих выражений. Для нахождения координат X, Y, Z по формулам необходимо найти переменные R, G_x, G_y, G_z .

$$\begin{cases} X = R * G_x; \\ Y = R * G_y; \\ Z = R * G_z, \end{cases} \quad (2)$$

Переменную R можно найти по формулам:

$$R = \lambda_{1j} * P_5 * D_3;$$

$$P_5 = \frac{D_3}{(1 + P_1)}; \quad (3)$$

$$D_3 = \sqrt{1 - \lambda_{2j}^2 - \lambda_{3j}^2}.$$

Здесь переменную P_1 находим следующим образом:

$$D_1 = \sin \lambda_{6j};$$

$$D_2 = \cos \lambda_{6j};$$

$$P_1 = \lambda_{2j} * D_2 + \lambda_{3j} * D_1;$$

Переменные G_x, G_y, G_z вычисляем по формулам:

$$G_x = D_2 + 2 * \lambda_{5j} * P_4;$$

$$G_y = D_1 - 2 * \lambda_{4j} * P_4; \quad (4)$$

$$G_z = 2 * C * P_4;$$

где неизвестные переменные находим из следующих выражений:

$$C = \sqrt{1 - \lambda_{4j}^2 - \lambda_{5j}^2};$$

$$P_4 = \lambda_{4j} * D_1 - \lambda_{5j} * D_2.$$

Таким образом, будут найдены прямоугольные координаты положения КА X, Y, Z .

Теперь можем найти составляющие вектора скорости V_x, V_y, V_z с помощью выражений:

$$\begin{cases} V_x = V_R * G_x - V_U * G_{x1}; \\ V_y = V_R * G_y - V_U * G_{y1}; \\ V_z = V_R * G_z - V_U * G_{z1}, \end{cases} \quad (5)$$

Для этого нам понадобится вычислить переменные $V_R, V_U, G_{x1}, G_{y1}, G_{z1}$.

Неизвестные радиальные и нормальные составляющие скорости V_R и V_U можно рассчитать, пользуясь выражениями:

$$V_R = \frac{P_2 * P_6}{D_3}$$

$$V_U = \frac{P_6 * (1 + P_1)}{D_3};$$

где

$$P_2 = \lambda_{2j} * D_1 - \lambda_{3j} * D_2;$$

$$P_6 = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda_{1j}}}.$$

Вычисления переменных G_{x1}, G_{y1}, G_{z1} осуществляем следующим образом:

$$G_{x1} = D_1 - 2 * \lambda_{5j} * P_3;$$

$$G_{y1} = -D_2 + 2 * \lambda_{4j} * P_3;$$

$$G_{z1} = 2 * C * P_3,$$

где

$$P_3 = \lambda_{4j} * D_2 + \lambda_{5j} * D_1.$$

В результате чего из (5) находим составляющие вектора скорости V_x, V_y, V_z .

2. Полученные результаты и обсуждения результатов.

Нами проведены численные расчеты по вышеуказанному алгоритму, используя данные казахстанского геостационарного космического аппарата KazSat-2.

Ниже приведена таблица 1 с сравнением полученных нами данных с табличными.

Таблица 1

Исходные данные и результаты работы программного кода

tx, час	12	39	75	117	153
X_p , км	23348.2481	-9117.0187	10176.1025	-40590.7574	40288.3528
Y_p , км	35108.1149	41165.4591	-40923.2762	-11411.9597	12436.807
Z_p , км	-30.9681	6.8495	-10.6927	44.5788	-46.3967
V_{xp} , км/с	-2.5602	-3.002	2.9834	0.83196	-0.90738
V_{yp} , км/с	1.7028	-0.66481	0.74183	-2.96	2.9378
V_{zp} , км/с	0.0027661	0.0034434	-0.0033323	-0.0011496	0.0013065
X , км	23348.2480	-9117.018677	10176.10249	-40590.757427	40288.35281
Y , км	35108.1148	41165.459120	-40923.27621	-11411.959751	12436.80696
Z , км	-30.9681	6.849532	-10.692655	44.578763	-46.396700
V_x , км/с	-2.56022908	-3.0019928	2.983412960	0.83195696	-0.90738303
V_y , км/с	1.70275644	-0.6648078	0.741827993	-2.9600151	2.937763435
V_z , км/с	0.00276607	0.00344337	-0.00333233	-0.00114960	0.001306480
ΔX , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔY , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔZ , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔV_x , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔV_y , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔV_z , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Как видно из таблицы 1, составленный нами программный код вычисляет значения параметров с нулевой погрешностью, а также является исправным и точным.

С помощью полученного нами программного кода можно вычислить координаты спутника в моменты времени, отличные от табличных.

Для проверки исправности кода нами были взяты определенные моменты времени, в которых нам даны табличные значения данных. Ниже приведена таблица 2 с сравнением вычисленных при помощи программного кода данных с табличными.

Таблица 2

Результаты работы программного кода в моменты времени, отличные от табличных

tx, час	5	28	64	112	143
X_p , км	27707.7238	19161.7306	-20129.4561	-21392.7191	-28880.3035
Y_p , км	-31783.734	-37562.266	37047.0269	36330.0896	-30723.999
Z_p , км	-28.6255	-17.8767	21.0333	26.3119	30.8146
V_{xp} , км/с	2.3174	2.7386	-2.7018	-2.6498	2.24
V_{yp} , км/с	2.0206	1.3973	-1.4679	-1.5601	-2.106
V_{zp} , км/с	-0.0028931	-0.0032945	0.0030299	0.0028592	-0.0027327
X , км	27707.648515	19161.783480	-20129.478788	-21392.750856	-28880.286876
Y , км	-31783.701990	-37562.109674	37046.912119	36330.071829	-30723.983162
Z , км	-28.626627	-17.644184	21.050556	26.348912	30.814891
V_x , км/с	2.31744054	2.738560622	-2.701751523	-2.64976931	2.240030591
V_y , км/с	2.02056730	1.397266824	-1.467903018	-1.56008388	-2.105988040
V_z , км/с	-0.0028924	-0.00334080	0.00303079	0.002859868	-0.00272926
ΔX , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔY , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔZ , %	0.00	1.32	0.00	0.00	0.00
ΔV_x , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔV_y , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΔV_z , %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ниже на рисунке 1 изображены полученные по указанным в таблице вводным элементам орбиты, графики их изменения в течение данного периода времени.

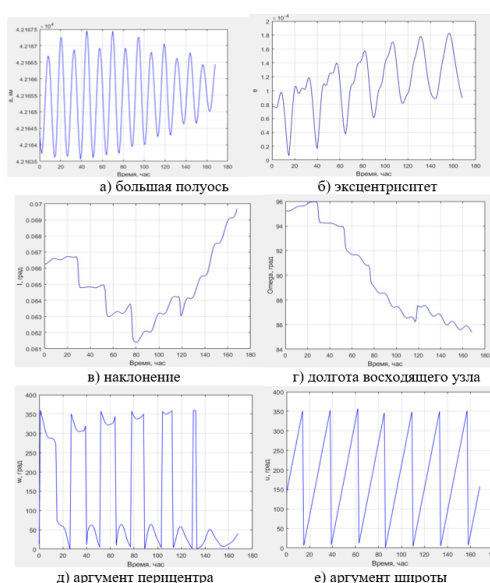


Рисунок 1 – Изменение элементов орбиты в течение одной недели

На рисунках 2-3 представлены графики изменения неособенных элементов, прямоугольных координат и составляющих вектора скорости по рассчитанным с помощью программного кода данным.

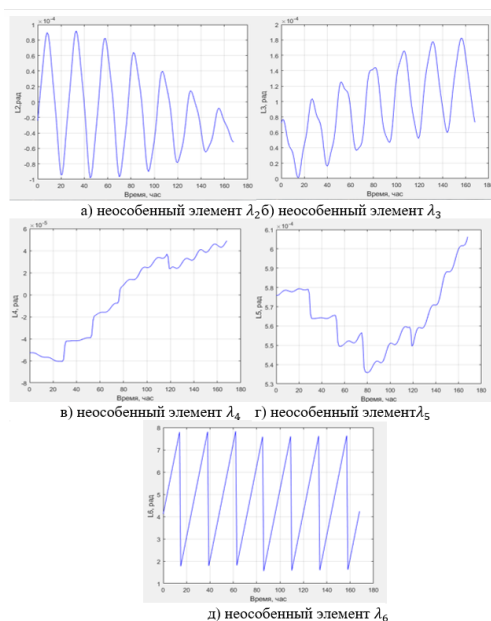


Рисунок 2 – Изменение неособенных элементов (а-д).

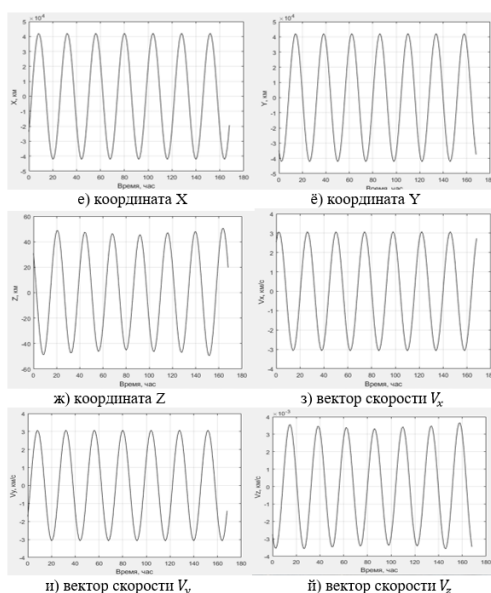


Рисунок 3 – Изменение прямоугольных координат (е-ж) и составляющих вектора скорости (з-й) в течение одной недели

Заключение. Согласно представленным выше результатам, бортовой алгоритм прогноза и программный код, реализующий метод аппроксимации, обеспечивают высокую точность расчета параметров движения КА. Использование неособенных переменных при моделировании движения геостационарного спутника при критических значениях наклона и эксцентриситета является существенным достоинством, позволяющим уменьшать ошибку аппроксимации.

Список литературы

- 1 Чернявский Г.М., Бартенев В.А., Малышев В.А. Управление орбитой стационарного спутника. - Москва: Машиностроение, 1984. – 144 с.
- 2 Soop E.M. Introduction to Geostationary Orbits. – European Space Agency, Scientific & Technical Information Branch, 1983. – 143 p.
- 3 Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. - Москва: «Альпина Паблишер», 2004. – 536 с.
- 4 Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблемы геостационарной орбиты. – Москва: Радио и связь, 1988. – 168 с.
- 5 Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективности. - Москва: ИТИС, 2004. – 426 с.
- 6 Назаров А.Е., Евграфов А.Е. Оценка потенциальных возможностей Фурье-аппроксимации для бортового прогнозирования движения центра масс КА на геостационарных орбитах // Актуальные проблемы Российской космонавтики. Материалы XXX академических чтений по космонавтике. Москва, 25-27 января 2006.
- 7 Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Под ред. В.В. Хартова, В.В. Ефанова: В 3-х т. Т. 2. – Москва: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. – 643-698 с.

А.Е. Ашуров, Д.М. Калманова, А.Д. Рахимова

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Геостационарлық жерсеріктің орнын анықтау алгоритмінде аппроксимация әдісін қолдану

Аннотация. Мақала геостационарлық жерсеріктердің қозғалу ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Тақырыптың өзектілігі мақсатты міндеттерді дұрыс орындау үшін, сондай-ақ, жерсеріктердің тиімділігін арттыру және олардың жұмысын жақсарту үшін геостационарлық ғарыш аппараттарының орналасуын дәлірек анықтау мүмкіндігінде жатыр. Спутниктің орналасуын анықтау үшін сингулярлық емес элементтерді қолдану мәселелері жан-жақты қарастырылған. Сингулярлық емес элементтер эксцентриситет пен көлбеудің өте аз мәндерінде жуықтау қателігін арттыру мәселесін шешеді. Орындалған жұмыс нәтижесінде кез келген уақытта координаттарды, жылдамдық векторын есептеуге және геостационарлық спутниктің қозғалысын модельдеуге арналған бағдарлама коды мен алгоритмі құрылды. Бағдарлама кодының нәтижелерін қолдану жер серігінің орбиталық қозғалысын жоғары дәлдікте анықтауға және модельдеуге мүмкіндік береді. Қарастырылып отырған тақырып ғарыш аппараттарының баллистикасы мәселелерін зерттейтін мамандар үшін қызықты болады.

Түйін сөздер: геостационарлық орбита, геостационарлық спутник, алгоритм, аппроксимация, бағдарламалық код, ғарыштық аппарат.

A.E. Ashurov, D.M. Kalmanova, A.D. Rahimova

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

Application of the approximation method in the algorithm for determining the position of a geostationary satellite

Abstract. The article is devoted to the study of the features of the movement of geostationary satellites. The relevance lies in the possibility of more accurate determination of the position of the geostationary spacecraft for the correct performance of target tasks, as well as to increase the efficiency and improve the performance of satellites. The issues of using non-singular elements are considered to determine the satellite position in detail. Non-singular elements solve the problem of increasing the approximation error at very small values of eccentricity and inclination. As a result of the work performed, a program code and an algorithm were drawn up for calculating coordinates, a velocity vector and modeling the movement of a geostationary satellite at any time. The application of the results of the program code will make it possible to determine with high accuracy and further simulate the satellite's orbital movement, which will lead to a decrease in dangerous situations in near-earth space. The topic under consideration will be of interest to specialists studying the issues of spacecraft ballistics.

Keywords: geostationary orbit, geostationary satellite, algorithm, approximation, program code, spacecraft.

References

- 1 Chernyavsky G.M., Bartenev V.A., Malyshev V.A. Stationary satellite orbit control (Moscow, Mechanical Engineering, 1984, 144 p.).
- 2 Soop E.M. Introduction to Geostationary Orbits (European Space Agency, Scientific & Technical Information Branch, 1983, 143 p.).
- 3 Kamnev V.E., Cherkasov V.V., Chechin G.V. Satellite communication networks (Moscow, "Alpina Publisher", 2004, 536 p.).
- 4 Kantor L.Ya., Timofeev V.V. Satellite communications and problems of the geostationary orbit (Moscow, Radio and communication, 1988, 168 p.).
- 5 Abolits A.I. Satellite communication systems. Fundamentals of structural-parametric theory and efficiency (Moscow, ITIS, 2004, 426 p.).

- 6 Nazarov A.E., Evgrafov A.E. Assessment of the potential capabilities of Fourier approximation for onboard forecasting of the spacecraft center of mass motion in geostationary orbits, Actual problems of the Russian cosmonautics. Materials of XXX Academic Readings on Cosmonautics. Moscow, January 25-27, 2006.
- 7 Khartov V.V., Efanov V.V. Design of automatic spacecraft for fundamental scientific research: In 3 volumes. Vol. 2. (Moscow: Publishing house MAI-PRINT, 2014, 643-698 p.).

Сведения об авторах:

Ашуров А.Е. – **основной автор**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Космическая техника и технологии» физико-технического факультета, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Нур-Султан, Казахстан.

Калманова Д.М. – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры «Космическая техника и технологии» физико-технического факультета, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Нур-Султан, Казахстан.

Рахимова А.Д. – магистрант 1 курса специальности «Космическая техника и технологии» физико-технического факультета, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Нур-Султан, Казахстан.

Ashurov A.E. - **The main author**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Space technic and technology, faculty of physics and technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukana str., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Kalmanova D.M. - Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Space technic and technology, faculty of physics and technology, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukana str., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Rahimova A.D. – 1st year Master's student of the specialty «Space technic and technologies», Faculty of physics and technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukana str., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.