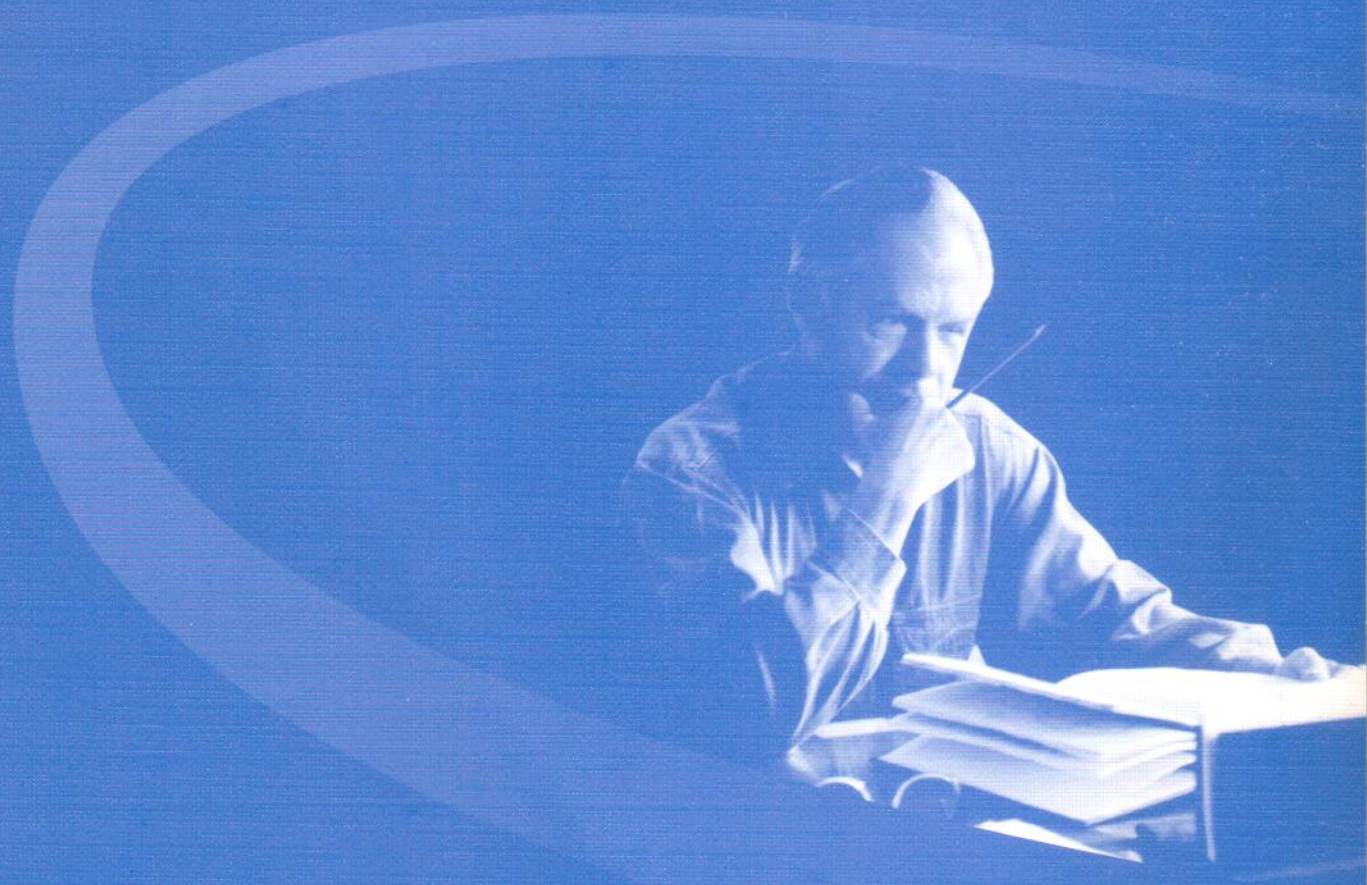


# Д И С ШЕТНЕВСКИЕ ТЕНИЯ

ISSN 1990-7702



Красноярск • 2015

Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М. Ф. Решетнева  
АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»  
АО «Красноярский машиностроительный завод»

при поддержке

Министерства образования и науки Российской Федерации  
Федерального космического агентства  
Правительства Красноярского края  
Совета ректоров вузов Красноярского края  
Федерации космонавтики России  
АО «Центральное конструкторское бюро «Геофизика»  
Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук  
Консорциума аэрокосмических вузов России  
КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности»  
Технологической платформы «Национальная информационная спутниковая система»  
Компании «National Instruments»



# РЕШЕТНЕВСКИЕ ТЕНИИЯ

---

*Материалы XIX Международной научно-практической конференции,  
посвященной 55-летию Сибирского государственного  
аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева  
(10–14 ноября 2015, г. Красноярск)*

В 2 ЧАСТЯХ. ЧАСТЬ 1

Красноярск 2015

<b>Майданик Ю. Ф., Вершинин С. В., Пастухов В. Г.</b> Охлаждающая панель с контурными тепловыми трубами для неравномерно распределенных источников тепла .....	206
<b>Мамедли Р. Р., Шевченко Ю. Н., Делков А. В.</b> Испытательный стенд для исследования характеристик герметичного электропривода .....	208
<b>Мелкозёров М. Г., Александрова Г. А.</b> Гидродинамика двухфазного закрученного потока в камере фазоразделителя .....	210
<b>Попугаев М. М., Бакуров Е. Ю., Шилкин О. В., Колесников А. П.</b> Двухфазный контур на базе капиллярных насосов с параллельным включением насосов различного конструктивного исполнения .....	211
<b>Рудько А. А., Юртаев Е. В., Гордеев Е. А., Колесников А. П., Шаклеин П. А.</b> Способ минимизации потока солнечного излучения, отраженного от элементов конструкции и воздействующего на внешние элементы космического аппарата .....	212
<b>Танасиенко Ф. В., Шендалев Д. О., Юртаев Е. В., Рудько А. А.</b> Математическое моделирование процесса теплопередачи в элементах конструкции КА из композиционных материалов на основе углеродного волокна .....	214
<b>Юртаев Е. В., Рудько А. А., Танасиенко Ф. В.</b> Математическая модель расчета потока солнечного излучения, пропускаемого сетчатым антенным рефлектором при движении по орбите .....	216

## Секция

## «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОСМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ И СВЯЗЬ»

<b>Ахмедов Д. Ш., Елубаев С. А., Шамро А. В., Сухенко А. С., Алипбаев К. А.</b> Проектирование бленды звездного датчика .....	220
<b>Борисенков Д. В., Ходенков С. А., Афонин А. О., Угрюмов А. В.</b> Микрополосковый диплексер .....	222
<b>Буквин А. М., Абрамов Н. А., Бобков А. В., Крикунов А. В., Кружилов И. С.</b> Электронно-лучевая литография в производстве кодовых и считывающих лимбов .....	223
<b>Владимиров В. М., Маликов Р. Д., Казакова Ю. В.</b> Оценка методов синхронизации пространственно разнесенных стандартов частоты и времени .....	226
<b>Ефимов С. С.</b> Создание параметрической модели бесколлекторного двигателя и оптимизация схемы соединения обмоток статора .....	227
<b>Зубарев Р. С., Крылов Ю. В., Лапин А. Ю.</b> Двухзеркальная осесимметричная антенна со специальным профилем контррефлектора .....	228
<b>Карцан Т. И., Дмитриев Д. Д., Карцан И. Н., Тяпкин В. Н.</b> Принципы построения системы адаптации к помеховой обстановке в узком парциальном одноградусном луче .....	230
<b>Карцан Т. И., Дмитриев Д. Д., Карцан И. Н., Тяпкин В. Н., Самойлов Е. А.</b> Комплексирование ГНСС-приемников и инерциальных датчиков .....	232
<b>Комаров А. А., Рыженко И. Н., Андреев А. С., Леонова А. В.</b> Увеличение максимальной корректируемой ошибки при реализации алгоритма Фитца .....	234
<b>Крат Н. М.</b> Моделирование корреляционной обработки навигационного сигнала при наличии одиночного отражения с постоянными параметрами .....	236
<b>Крылов Ю. В., Зубарев Р. С., Лапин А. Ю.</b> Облучатель С-диапазона круговой поляризации .....	238
<b>Лобанов Д. К., Мацук Н. В.</b> Исследование статических и динамических характеристик имитатора литий-ионной аккумуляторной батареи .....	241
<b>Молдабеков М. М., Елубаев С. А., Тен В. В., Альбазаров Б. Ш., Бонсеев Т. М.</b> Проектирование оптической системы звездного датчика с учетом факторов космического пространства .....	243
<b>Неугодникова Л. М.</b> Формирование траектории полета летательного аппарата при наблюдении за наземным объектом .....	245
<b>Орёл Д. В., Ашихина А. В.</b> Анализ путей повышения помехозащищённости интерфейса потребителей глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС» .....	247
<b>Петунии В. И.</b> Система ограничения вектора угловой скорости летательного аппарата .....	248
<b>Романов К. А., Макарьянц Г. М.</b> Численное моделирование дозвукового течения в пневматическом клапане .....	250
<b>Савкин Л. В.</b> О проблеме динамической реконфигурации диагностических моделей в реконфигурируемой системе функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата .....	252

Intern. Scientific. Conf. "Reshetnev reading"]. Krasnoyarsk, 2013, p. 196–198. (In Russ.).

2. Volochaev M. N. [The discharge characteristic simulator for spacecraft battery power supply systems]. *Materialy 51 Mezhdunar. nauch. konf. "Student i nauchno-tehnicheskij progress"* [Proceedings of the 51<sup>st</sup> Intern. Scientific. Conf. "Students and progress in science and technology"]. Novosibirsk, 2013, p. 39. (In Russ.).

3. Matsuk N. V., Lobanov D. K. [The bidirectional switch mode voltage converter for battery simulator]. *Tezisy XI Vseross. nauch.-praktich. konf. tvorch. mol "Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki"* [Abstracts of XI All-Russian scientific-practical conference of creative

youth "Actual problems of aviation and cosmonautics"]. Krasnoyarsk, 2015.

4. Mizrah E. A. et al. [Applied research of developing of the full-scale simulation research units for onboard spacecraft power systems and energy storage systems: An applied research report (interm., stage 1) (registration # 114090470019, inventory # 2511201403)]. Krasnoyarsk: Siberian State Aerospace University, 2014. (In Russ.).

5. Mizrah E. A. [Methodology for evaluating the spacecraft primary energy sources simulators accuracy]. *Vestnik SibGAU*. 2001, no. 2, p. 10–14 (In Russ.).

© Лобанов Д. К., Мацук Н. В., 2015

УДК 629.78

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА\*

М. М. Молдабеков, С. А. Елубаев, В. В. Тен, Б. Ш. Альбазаров, Т. М. Бопеев

ДТОО «Институт космической техники и технологий»

АО «Национальный центр космических исследований и технологий»

Республика Казахстан, 050061 г. Алматы, ул. Кисловодская, 34. E-mail: bopeyev.t@mail.ru

*Доклад посвящен учету факторов космического пространства при проектировании линзовых оптических систем, используемых на космических аппаратах, на примере оптической головки для звездного датчика.*

*Ключевые слова: космический аппарат, звездный датчик, оптическая система, проектирование.*

## DESIGNING OPTICAL SYSTEM OF STAR TRACKER WITH ACCOUNT OF FACTORS OF OUTER SPACE

M. M. Moldabekov, S. A. Yelubayev, V. V. Ten, B. Albazarov, T. M. Bopeyev

AALR «Institute of space technique and technologies»

CA «National center of space research and technologies»

34, Kislovodskaya Str., Almaty, 050061, Republic of Kazakhstan. E-mail: bopeyev.t@mail.ru

*Taking into account outer space factors is considered while designing lens optical systems for satellites on the example of optical system for star tracker.*

*Keywords: satellite, star tracker, optical system, design.*

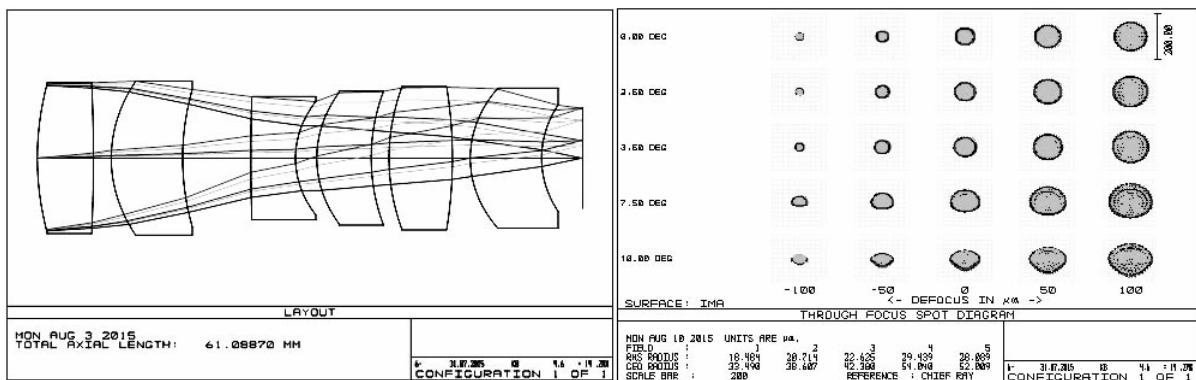
При создании устройств, используемых на космических аппаратах (КА), важным является вопрос учета влияния факторов космического пространства, таких как перепад температур, ионизирующее излучение, воздействие высокоэнергетических ионов, на комплектующие используемых устройств. На стадии проектирования данные факторы должны быть учтены проведением анализа с использованием известного программного обеспечения (ПО) или разработанных математических моделей, адекватно отражающих физические процессы воздействия.

Исследование на радиационную стойкость используемых компонентов является обязательным во мно-

гих странах/ компаниях, занимающихся разработкой элементов для применения в космическом пространстве. Так, для европейских компаний разработан стандарт ECSS-E-ST-10-12C «Space engineering. Methods for the calculation of radiation received and its effects, and a policy for design margins», аналогичный стандарт существует и в Российской Федерации.

При проектировании оптической системы (ОС) звездного датчика (ЗД) используется ПО Zemax, которое наряду с ПО CODE V рекомендуется известными компаниями, такими как Airbus Defend & Space (Франция) и SSTL (Великобритания), создающими как оптические полезные нагрузки, так и КА.

\*Исследования выполнены в рамках РБП 076 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности, транспорта и коммуникаций».



а

б

Оптическая система с использованием стекла K108 для 1-й и 4-й линз и изображение точки для данной оптической системы в зависимости от положения фокальной плоскости

Влияние накопленной радиации и воздействие высокоэнергетических ионов сказывается в основном на работе электронных компонентов КА [1; 2]. Как отмечается в [3], в оптических элементах потоки космической радиации могут вызывать уменьшение коэффициента пропускания за счет помутнения стекол, а также явление свечения стекол. Таким образом, воздействие радиации на ОС приводит к изменению ее оптических характеристик.

Минимизация влияния космической радиации на элементы ОС может быть достигнута использованием радиационно стойкого стекла на входе в оптическую систему или линз, изготовленных из таких стекол. Использование радиационно стойких стекол в ОС для работы в космическом пространстве проводится не столько в целях минимизации деградации оптических характеристик, для исключения прямого попадания как заряженных частиц, так и нейтронов на электронные компоненты (в частности, на детектор).

В настоящем докладе рассматривается проектирование оптической системы ЗД, к которой предъявляются следующие основные требования: поле зрения –  $20^\circ$ , фокусное расстояние – 40 мм, функция рассеяния точки ЗД должна обеспечивать концентрацию 90 % энергии на площади размером  $3 \times 3$  пикселя.

Влияние факторов космического пространства на оптические характеристики ОС ЗД будет учтено включением в состав элементов ОС радиационно стойких стекол. В данной работе рассматриваются ОС, использующие радиационно стойкие стекла из каталога Schott [4] и каталога стекол Лыткаринского завода.

Одним из вариантов может быть использование ОС с линзами из коммерческих стекол и использование одной плоскопараллельной призмы из радиационно стойкого стекла на входе в оптическую систему. Но ввиду ограничений на массу и размеры разработана ОС, включающая линзы из радиационно стойкого стекла. Для разработки данной ОС использовано радиационно стойкое стекло K108 Лыткаринского завода ввиду того, что стекла из каталога Schott изготавливаются по заказу и в ограниченных количествах, что может существенно отражаться на их цене и сроках поставки.

На рисунке (а и б) приведены оптическая система и изображение точки на фокальной плоскости при различных углах зрения и положении фокальной плоскости.

Полученная 6-линзовая система имеет сферические поверхности линз с диафрагмой, расположенной на 1-й поверхности. Апертура данной системы 20 мм, эффективное фокусное расстояние 40,0 мм,  $F\# = 1,996$ , общая длина от первой поверхности до фокальной плоскости – 60,1 мм.

Приведенные диаграммы показывают, что хроматические aberrации являются равномерными по всему углу поля зрения. Анализ графиков распределения энергии регистрируемого излучения детекторами в фокальной плоскости показывает, что более 90 % концентрируются в пределах 6 пикселей по обоим направлениям, т. е. размер пятна изображения удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Таким образом, разработанная оптическая система отвечает требованиям по получаемому изображению точки и учитывает радиационное воздействие космического пространства.

#### Библиографические ссылки

1. Кузнецов Н. В. Радиационная опасность на околоземных орбитах и межпланетных траекториях космических аппаратов [Электронный ресурс]. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/crd/index.html> (дата обращения 25.08.2015).
2. Артюхова М., Жаднов В., Прохоров В., Полеский С. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры космических аппаратов при проектировании // Компоненты и технологии. 2010. № 9. URL: [http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2010\\_9\\_93.php](http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2010_9_93.php) (дата обращения 25.08.2015).
3. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngpedia.ru/id290161p1.html> (дата обращения 25.08.2015).
4. Каталог стекла марки Schott [Электронный ресурс]. URL: [schott\\_optical\\_glass\\_pocket\\_catalogue\\_jan\\_2012\\_rus.pdf](http://schott_optical_glass_pocket_catalogue_jan_2012_rus.pdf) (дата обращения 25.08.2015).

#### References

1. Kuznetsov N. V. Radiacionnaya opasnost na oko-lozemnih orbitah i mejplanetnih traektoriah kosmicheskikh

apparator. Available at: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/crd/index.html> (accessed 25.08.2015).

2. Artuhova M., Jadnov V., Prohorov V., Poleski S. Obespechenie radiacionnoi stoikosti apparatury kosmicheskikh apparatorov pri proektirovanii // Components and technologies. 2010. № 9. Available at: [http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2010\\_9\\_93.php](http://www.kit-e.ru/articles/elcomp/2010_9_93.php) (accessed: 25.08.2015).

3. Bolshaya enciklopedia nefti i gaza. Available at: <http://www.ngpedia.ru/id290161p1.html> (accessed: 25.08.2015).

4. Schott Catalogue. Available at: [schott\\_optical\\_glass\\_pocket\\_catalogue\\_jan\\_2012\\_rus.pdf](http://schott_optical_glass_pocket_catalogue_jan_2012_rus.pdf) (accessed: 25.08.2015).

© Молдабеков М. М., Елубаев С. А., Тен В. В., Альбазаров Б. Ш., Бопеев Т. М., 2015

УДК 681.5

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА НАЗЕМНЫМ ОБЪЕКТОМ

Л. М. Неугодникова

Уфимский государственный авиационный технический университет  
Российская Федерация, 450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12  
E-mail: Grifon\_Love@mail.ru

*Рассмотрена задача наблюдения летательным аппаратом наземной цели, движущейся с произвольной скоростью и направлением. Показано, что эффективным средством решения этой задачи является использование метода прямого наведения с заданным промахом.*

*Ключевые слова: наведение, наблюдение за наземными целями, летательный аппарат.*

## AIRCRAFT FLIGHT PATH GENERATION FOR GROUND OBJECT OBSERVATION

L. M. Neugodnikova

Ufa State Aviation Technical University  
12, Karla Marksa Str., Ufa, 450000, Russian Federation. E-mail: Grifon\_Love@mail.ru

*The problem of ground object moving with random velocity and direction observation by the aircraft is considered. It is shown, that the effective way to solve this problem is to use a direct guidance method with predetermined mishit.*

*Keywords: guidance, ground object observation, algebraic selector, aircraft.*

При решении информационных задач от летательного аппарата (ЛА) может потребоваться следование за наблюдаемым объектом на определенном расстоянии. Если создание подъемной силы для удержания ЛА в воздухе требует постоянного поддержания некоторой скорости, как, например, ЛА самолетного типа в атмосфере, наблюдение за наземным объектом, скорость перемещения которого ниже скорости ЛА, может быть реализовано при движении по окружности. Наблюдение неподвижной точки возможно, например, при использовании функции «Удержание» в БЛА «Сокол» [1]. Если же объект наблюдения движется, то траектория полета ЛА-наблюдателя может быть сформирована комбинацией движения по окружности и наведения с заданным промахом, равным радиусу этой окружности.

Одним из широко известных является прямой метод наведения (погоны) [2], при котором угол упреждения равен нулю, то есть вектор скорости ЛА все время направлен на цель. При прямом наведении на наземную цель в плоскости требуемый курс должен формироваться по правилу [3]:

$$\psi_T = \arctg \frac{z_{Ц} - z_C}{x_{Ц} - x_C},$$

где  $\psi_T$  – требуемый курс;  $z_{Ц}$ ,  $x_{Ц}$  и  $z_C$ ,  $x_C$  – текущие координаты цели и самолета.

Обозначим через  $h$  расстояние, на котором летательный аппарат должен находиться от цели, и назовем ее величиной заданного промаха. Для выхода на заданную окружность используется метод погоны с тем отличием, что вместо точки цели используется точка касания прямой, проведенной из текущей точки ЛА к окружности радиуса  $h$  от цели (см. рисунок). Используемые при этом величины обозначены индексом  $k$ .

Тогда кинематические уравнения наведения в плоскости можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \dot{r}_k &= V_{Ц} \cdot \cos(\varphi_k - \psi_{Ц}) - V_C \cdot \cos(\delta_k); \\ \dot{\psi}_C \cdot r_k &= -V_{Ц} \cdot \sin(\varphi_k - \psi_{Ц}) + V_C \cdot \sin(\delta_k), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_C$  – скорость ЛА;  $V_{Ц}$  – скорость цели;  $r$  – вектор относительной дальности, направленный от ЛА к це-