УДК XXX

# Название статьи

должно быть информативным, с использованием основных терминов, характеризующих тему статьи, и четко отражать её содержание в нескольких словах. Хорошо сформулированное название – гарантия того, что работа привлечет читательский интерес. Следует помнить, что название работы прочтут гораздо больше людей, чем ее основную часть.

И. О. Фамилия1🖂, И. О. Фамилия2, … И. О. ФамилияN

1Место работы первого автора, город, страна

2Место работы второго автора, город, страна

…………

NМесто работы N-го автора, город, страна

**🖂** электронный адрес

**Аннотация  
*Введение.***  В процессе перенацеливания (перемещения оси визирования на заданный угол) оптической системы, установленной на борту космического аппарата, возникает реактивный момент, обусловленный вращением подвижных элементов. Этот момент приводит к непреднамеренному угловому смещению корпуса аппарата относительно его центра масс в направлении, противоположном движению подвижной массы. В результате ось визирования оптической системы отклоняется от расчетной траектории, что приводит к формированию изображения с нарушенной геометрией — наблюдается пространственное размытие (размытие изображения, вызванное угловым движением камеры). Это явление снижает качество получаемых данных и может существенно ограничить возможности дистанционного зондирования, навигации и астрофотографии. Несмотря на значительное внимание к задачам стабилизации и управления ориентацией космических аппаратов, влияние реактивных моментов, возникающих в результате движения внутренней оптики, на пространственную точность визирования остается недостаточно изученным. Особенно актуальна данная проблема для малых аппаратов, где масса и момент инерции системы невелики, а влияния внутренних подвижных элементов становятся критичными. Заполнение этого пробела в знаниях необходимо для повышения точности и надежности работы перспективных орбитальных платформ.

***Цель работы.*** Определение максимально допустимого значения реактивного момента, возникающего при вращении оптической системы космического аппарата, при котором пространственное размытие изображения остаётся в пределах допустимых значений и не приводит к значительной деградации качества получаемых данных.

***Материалы и методы.*** Исследование выполнено с использованием методов теоретической механики и численного моделирования. Для анализа влияния реактивного момента на пространственное положение оси визирования была разработана математическая модель, описывающая взаимосвязь между угловым движением подвижной оптической системы и откликом корпуса космического аппарата. В модели учитываются моменты инерции подвижной и неподвижной частей, а также характеристики привода, создающего вращение.

***Результаты.*** На основе разработанной математической модели определена зависимость величины углового отклонения корпуса космического аппарата от реактивного момента, возникающего при вращении оптической системы. Результаты численного моделирования показали, что даже при относительно малых значениях реактивного момента возможны отклонения оси визирования, приводящие к заметному размытии. изображения.

***Заключение*.** Выявлено пороговое значение реактивного момента, при превышении которого угол отклонения оси визирования превышает допустимый, заданный исходя из требований к пространственному разрешению.

**Ключевые слова:** реактивный момент, космический аппарат, оптическая система, размытие изображения, угловое отклонение, математическое моделирование, устойчивость визирования

**Конфликт интересов. {**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.}

**Источник финансирования.** **{**Текст}. Указываются источники финансирования (гранты, совместные проекты и т. п.). Не следует использовать сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций

**Благодарности. {**Текст}. **В**ыражается признательность коллегам, которые оказывали помощь в выполнении исследования или высказывали критические замечания в адрес статьи. Прежде чем выразить благодарность, необходимо заручиться согласием тех, кого планируете поблагодарить.

# Влияние реактивного момента на размытие изоражения

На англ. языке И. М. Белан1🖂, И. О. Фамилия2, … И. О. ФамилияN

На англ. языке 1Место работы первого автора, город, страна

На англ. языке 2Место работы второго автора, город, страна

…………

На англ. языке NМесто работы N-го автора, город, страна

**🖂** электронный адрес

**Abstract  
*Introduction.*** {Text.}

***Aim.*** {Text.}

***Materials and methods.***{Text.}

***Results.*** {Text.}

***Conclusion.*** {Text.}

Текст аннотации должен быть связным и информативным. При написании аннотации рекомендуется использовать Present Simple Tense. Present Perfect Tense является допустимым. Рекомендуемый объем – 200–250 слов.

**Keywords:** {text, text, text}

**Conflict of interest.** {Theauthors declare no conflicts of interest.}

**Acknowledgements.** {Text.}

Текст статьи излагается в определенной последовательности. Рекомендуется придерживаться формата IMRAD (Introduction, Methods, Results, Discussion; Введение, Методы, Результаты, Обсуждение).

**Правила оформления текста.** Шрифт – **Times New Roman**; размер шрифта **11 pt**; выравнивание по ширине; абзацный **отступ 0.6 см**; межстрочный интервал «**Множитель 1.1**»; автоматическая расстановка переносов. Применение полужирного и курсивного шрифтов допустимо при крайней необходимости. Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) – в квадратных прямых.

**Введение.** Реактивный момент оказывает значительное влияние на устойчивость и точность позиционирования различных летательных аппаратов, включая квадрокоптеры [1], вертолёты [2] и космические аппараты [3, 4]. При вращении подвижных элементов оптико-механической системы (ОМС), размещённой на борту космического аппарата, возникает реактивный момент, вызывающий вращение корпуса аппарата в противоположном направлении [5]. Это приводит к смещению оси визирования оптической системы от заданного положения и может вызывать пространственное размытие изображения, особенно в условиях длительной экспозиции или высокой чувствительности оптики.

Для компенсации реактивного момента в ряде случаев применяются соосно установленные маховики, вращающиеся во встречном направлении. Однако эффективное использование такого подхода требует точного знания характеристик самого реактивного момента, включая его величину и динамику во времени. Прямой аналитический расчёт этих параметров может оказаться недостаточным из-за конструктивных особенностей и производственных допусков подвижных элементов ОМС, которые вносят неопределённость в формирование момента.

Одним из критически важных аспектов проектирования становится не только компенсация реактивного момента, но и понимание его допустимого уровня — такого, при котором качество изображения сохраняется в пределах допустимых значений. Отсутствие чётких критериев в этом вопросе ограничивает возможности разработки высокоточных систем наблюдения и управления ориентацией для малых космических платформ. В связи с этим возникает необходимость в исследовании зависимости пространственного размытия изображения от величины реактивного момента и определении предельных значений, при которых отклонение оси визирования остаётся в пределах заданных допусков.

**Математическое описание реактивных моментов при вращении оптико-механической системы.** Конструктивной особенностью исследуемой оптико-механической системы (ОМС) является смещение центра масс зеркального блока относительно точки пересечения осей карданного подвеса. Обозначим это смещение как *r* ( рисунок 1). Рассмотрим влияние реактивных моментов на основание космического аппарата (КА) с учётом пространственного расположения центра вращения кардана по отношению к центру тяжести КА.Неподвижная система координат *O*0*X*0*Y*0*Z*0 связывается с центром масс КА. Центру кардана сопоставляется система координат *OXYZ*, которая повёрнута относительно базовой на углы A и B. Первый привод, установленный вдоль оси *OY*0, остаётся статичным, в то время как второй привод, работающий вдоль оси *OZ*0, обеспечивает поворот внутренней рамки кардана вокруг оси A.Зеркальный блок неуравновешен относительно оси внутреннего кардана: его центр масс *O*1 смещён от точки вращения кардана на расстояние *r*. Центр карданного механизма имеет координаты *Rx,Ry,Rz*, , в системе *O*0*X*0*Y*0*Z*0. Для осуществления поворота зеркального узла по осям создаются управляющие моменты *Mda* и *Mdb*, прикладываемые приводами.

Управляющие моменты, приложенные к приводу, одновременно приводят в движение как зеркальный узел, так и компенсационные маховики. Сам зеркальный узел, включая подвижные компоненты карданного механизма, обладает собственными моментами инерции *Jda* и *Jdb*, определёнными относительно осей, проходящих через центр карданного подвеса. Поскольку силы *Fa* и *Fb*, вызывающие движение зеркального узла, приложены к его центру масс, они порождают реакцию на основание космического аппарата — в точке установки кардана действуют силы той же величины, но противоположного направления. В случае, если координаты центра масс КА (точка *O*0) и центра кардана (точка *O*) не совпадают, эти силы создают дополнительные моменты относительно центра масс аппарата. Помимо этого, вращение компенсационных маховиков также сопровождается передачей на корпус КА реактивных моментов *Mma* и *Mmb*, возникающих вследствие инерционной реакции на изменение угловой скорости маховиков. Суммарное воздействие на корпус можно охарактеризовать как сумму реактивных моментов от инерционных сил зеркального узла и моментов, возникающих при работе приводов.Сканирующее зеркало соединено с основным зеркальным узлом с помощью рычажной передачи, обеспечивающей кинематическое деление угла поворота: при вращении узла на угол *B* сканирующее зеркало поворачивается на угол *B*/2 относительно оси *OZ*. Управление осуществляется тем же приводом, что и для поворота зеркального узла по оси *OZ*, в связи с чем момент инерции сканирующего зеркала учитывается в обобщённом моменте инерции *Jdb*. В результате все перечисленные компоненты формируют совокупность реактивных воздействий, часть из которых может быть интерпретирована как эквивалентные пары сил, приложенные к основанию спутника:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

**Оценка размытия изображения на фокальной плоскости после перенацеливания.** Для оценки пространственного смещения изображения (так называемого смаза) на фокальной плоскости, возникающего вследствие остаточного углового движения космического аппарата после завершения перенацеливания, использован аналитический подход, основанный на геометрической связи между угловыми отклонениями и линейным смещением изображения. Смаз по направлениям, соответствующим продольной и поперечной оси кадра (*OY* и *OZ*), рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где ΔY,Z— смещение изображения на матрице по соответствующей оси (мкм),  
F – фокусное расстояние объектива, принятое равным 900 мм (900 000 мкм),  
θ — угловое отклонение космического аппарата в радианах за время экспозиции.  
Для оценки разымития по оси *OX* (на краю кадра), вызванного вращением аппарата относительно оси визирования, использована следующая зависимость:

|  |  |
| --- | --- |
| ΔX​=R⋅α |  |

где R=30 мм=30 000 мкМ— радиус изображения на фокальной плоскости,  
α— угловое смещение вокруг оси визирования (в радианах)

Расчёты выполнены для времени накопления (экспозиции) Tn=0.2, что соответствует предельной экспозиции при наблюдении с высоким пространственным разрешением. Однако с учётом требований к качеству изображения, было принято значение Tn=0.1с при котором величина размытия пропорционально уменьшается. Такое допущение согласуется с подходами, представленными, например, в работах [1–3], где анализируется влияние остаточной угловой скорости платформы на чёткость изображения.

**Методы (Материалы и методы).** сследование выполнено с использованием численного моделирования на основе уравнений вращательного движения твердого тела с учётом реактивного момента, возникающего при работе оптико-механической системы (ОМС), установленной на борту спутника. Модель учитывает динамику взаимного влияния подвижной части ОМС и корпуса аппарата.

В качестве исходных данных использовались реальные значения моментов инерции спутника:

Jx = 2807 кг·м², Jy = 3374 кг·м², Jz = 3671 кг·м², соответствующие трёхосной структуре спутника средней массы. Подвижная часть ОМС моделировалась как вращающееся тело с заданным моментом инерции, установленное на кардановом подвесе или поворотной платформе.

Математическая модель построена на основе уравнений Эйлера для вращательного движения и учитывает:

момент инерции подвижной части и корпуса;

управляющий момент, приложенный к ОМС;

реактивный момент, передающийся на спутник;

результирующее отклонение угловой ориентации спутника.

Моделирование проводилось в среде Python с использованием библиотеки SciPy для численного интегрирования системы дифференциальных уравнений. Дополнительно применялись библиотеки NumPy и Matplotlib для расчётов и визуализации результатов.

Для оценки влияния реактивного момента на качество изображения рассчитывался угол отклонения оси визирования за время экспозиции (от 0.05 до 0.2 с). В качестве критерия качества использовалось максимальное допустимое отклонение, при котором изображение остаётся резким в пределах одного пикселя при заданном фокусном расстоянии камеры.

Этапы исследования включали:

Формирование модели динамики системы «подвижная оптика — корпус спутника»;

Расчёт угловых смещений корпуса при различных управляющих моментах;

Оценку допустимого предельного реактивного момента, не приводящего к деградации изображения;

Анализ чувствительности результатов к вариациям параметров системы.

Построенная модель позволяет провести воспроизводимые расчёты при наличии информации о массо-инерционных характеристиках спутника и параметрах оптической системы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем компенсации реактивного момента и управлении точностью визирования.

**Результаты.** {Текст.} В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. В описании полученных результатов не должно быть никаких пояснений – они даются в разделе «Обсуждение».

**Обсуждение (Заключение. Выводы).** {Текст.} В этой части статьи авторы интерпретируют полученные результаты в соответствии с поставленными задачами исследования, приводят сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Необходимо показывается, что статья решает научную проблему или служит приращению нового знания. Можно объяснять полученные результаты на основе своего опыта и базовых знаний, приводя несколько возможных объяснений. Здесь излагаются предложения по направлению будущих исследований.

**Авторский вклад**

Если авторов больше 3, необходимо указать вклад каждого в написание статьи.

**Фамилия Имя Отчество** – {текст.}

**Фамилия Имя Отчество** – {текст.}

**Фамилия Имя Отчество** – {текст.}

……

**Фамилия Имя Отчество** – {текст.}

**Author’s contribution**

**Ivan I. Ivanov, {**text.}

**Ivan I. Ivanov, {**text.}

**Ivan I. Ivanov, {**text.}

……

**Ivan I. Ivanov, {**text.}

**Список литературы**

{Текст.}

Cписок литературы – библиографические описания источников, выполненные по ГОСТ 7.1–2008 «Библиографическое описание документа». Каждая ссылка с номером – в отдельном абзаце. В ссылках на материалы конференций обязательно указание даты и места их проведения; при ссылках на статьи в сборниках статей обязательно приводятся номера страниц, содержащих данный материал. Список литературы содержит сведения о цитируемом, рассматриваемом или упоминаемом в тексте статьи литературном источнике. В список литературы включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографии).

Список литературы должен иметь **не менее 15 источников** (из них, при наличии, не более 20 % – на собственные работы), имеющих статус научных публикаций. Приветствуются ссылки на современные англоязычные издания (требования МНБД Scopus – 80% цитируемых англоязычных источников).

Ссылки на неопубликованные и нетиражированные работы не допускаются. Не допускаются ссылки на учебники, учебные пособия, справочники, словари, диссертации и другие малотиражные издания.

Если описываемая публикация имеет цифровой идентификатор Digital Object Identifier (DOI), его необходимо указывать в самом конце библиографической ссылки в формате «doi: …».

Нежелательны ссылки на источники более 10–15 летней давности, приветствуются ссылки на современные источники, имеющие идентификатор doi.

За достоверность и правильность оформления представляемых библиографических данных авторы несут ответственность вплоть до отказа в праве на публикацию.

**References**

{Text.}

Referencesдля зарубежных баз данных приводится полностью отдельным блоком, повторяя список литературы к русскоязычной части. Если в списке литературы есть ссылки на иностранные публикации, то они полностью повторяются в списке, готовящемся в романском алфавите. В References совершенно недопустимо использовать российский ГОСТ 7.0.5–2008. Библиографический список представляется с переводом русскоязычных источников на латиницу. При этом применяется транслитерация по системе BSI

**Информация об авторах**

{Текст.}

Включают для каждого автора фамилию, имя, отчество (полностью), ученую или академическую степень, ученое звание (с датами присвоения и присуждения), почетные звания (с датами присвоения и присуждения), количество печатных работ и сферу научных интересов (не более 5–6 строк), название организации, должность, служебный адрес, адрес служебной электронной почты. Если ученых и/или академических степеней и званий нет, то следует указать место получения высшего образования, год окончания вуза и специальность. Также требуется включать индентификационный номер исследователя ORCID (Open Researcher and Contributor ID), который отображается как адрес вида http://orcid.org/xxxx-xxxx-xxxx-xxxx. При этом важно, чтобы кабинет автора в ORCID был заполнен информацией об авторе, имел необходимые сведения о его образовании, карьере, другие статьи. Вариант «нет общедоступной информации» при обращении к ORCID не допускается. В сведениях следует указать автора, ответственного за прохождение статьи в редакции.

**Information about the authors**

{Text.}

**Типовые примеры**

**Формулы**

 (4)

Формулы подготавливаются в редакторе формул MathType; нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи; использование при нумерации букв и других символов не допускается. **Размеры:** «полный» **11 pt**, «подстрочный» **9,5 pt**, «под-подстрочный» **8 pt**, «символ» 14.5 pt, «подсимвол» 12.5 pt.  Скобки и знаки математических операций вводятся с использованием шаблонов редактора формул MathType.

Начертание обозначений в формулах и в основном тексте должно быть полностью идентично. Все впервые встречающиеся в формуле обозначения должны быть расшифрованы сразу после формулы. После нее ставится запятая, а на следующей строке без абзацного отступа после слова «где» приводятся все обозначения и через тире – их расшифровки

**Рисунки**

Рисунки, представляющие собой графики, схемы и т. п., должны быть выполнены в редакторах Microsoft Word, Microsoft Excel (пример: рис. 1). Использование точечных форматов (.bmp, .jpeg, .tiff, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в названных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.). Качество рисунков и фотографий должно быть не менее 300 doi (пример: рис. 2).

Основные линии на рисунках (границы блоков и соединительные линии на схемах, линии графиков) имеют толщину 1 pt, вспомогательные (выноски, оси, размерные линии) – 0.6 pt.

На рисунках, представляющих собой графики зависимостей, не следует делать размерную сетку, следует дать лишь засечки на осях, причем все засечки должны быть оцифрованы (т. е. всем засечкам должны соответствовать определенные числовые значения).

Текст в рисунках печатается через одинарный интервал, шрифтом «Times New Roman»; основной текст 9 pt, индексы 7 pt, подындексы 5.5 pt.

**Таблицы**

Текст в таблицах печатается через одинарный интервал, шрифтом «Times New Roman»; основной текст 9 pt, индексы 7 pt, подындексы 5.5 pt.

Ни один элемент таблицы не должен оставаться пустым.

Заголовки пишут в именительном падеже без произвольного сокращения слов (допустимы только общепринятые сокращения всех видов: графические сокращения, буквенные аббревиатуры и сложносокращенные слова) на русском и английском языках.

Следует стремиться к ширине таблицы, равной 16 (пример: табл. 1) или 7.9 см (пример: табл. 2).

**References**

1. **Статьи из журнала:**

Фамилия И. О., Фамилия И. О. Название статьи // Название журнала. 2022. Т. 63, № 9. С. 10–18. Doi: 10.1134/S0033849418090218

Ivanov I. I., Ivanov I. I. Title. Journal. 2022, vol. 63, no. 9, pp. 10–18. Doi: 10.1134/S0033849418090218

Гоголев И. В. Граница Крамера–Рао оценки доплеровской деформации и задержки сигнала с произвольной шириной спектра // Изв. Вузов России. Радиоэлектроника. 2016. № 6. С. 3–6.

Gogolev I. V. Doppler Stretch and Delay Cramer-Rao Lower Bound for Signal with Large Bandwidth. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2016, no. 6, pp. 3–6.  (In Russ.)

Авдюшин С. И., Соколов С. С. Методы и средства регистрации потоков ионизирующих излучений в околоземном космическом пространстве // Радиотехника. 2012. № 7. С.122–126.

Avdyushin S. I., Sokolov S. S. Methods and Equipment for Ionizing Radiation Registration in Near-Earth Space. Radiotekhnika [Radioengineering]. 2012, no. 7, pp. 122–126. (In Russ.)

**2. Книги (монографии, сборники):**

Author A. A., Author B. B., Author C. C. *Nazvanie knigi* [Title of book]. Gorod izdaniya: *Izdatel'stvo*, 2005, 280 p.

Лысенко Н. В. Информационные гетерогенные системы. СПб.: Элмор, 2007. 160 с.

Lysenko N. V. *Informatsionnye geterogennye sistemy* [Information Heterogeneous Systems]. SPb., *Elmor*, 2007,160 p. (In Russ.)

**3. Материалы конференций:**

Нечаев В. Г. Исследование детекторов сигналов СВЧ с двумя измерительными каскадами // Материалы 53-й Междунар. Науч. студенческой конф. МНСК–2015 «Радиотехника, электроника, связь», Новосибирск,14 апр., 2015 г. / НГТУ. Новосибирск, 2015. С. 33.

Nechaev V. G. Issledovanie detektorov signalov SVCh s dvumya izmeritel’nymi kaskadami [Investigation of MicrowaveDetectors with Two Measuring Cascades]. Materials of the53rd Int. Scientific Student Conference of MSSC–2015 “Radioengineering, Electronics, Communications”. Novosibirsk, 14 april, 2015. Novosibirsk State Technical University, 2015, p. 33.

**4. Патент:**

Пат. RU 2336562 C2 G06G 7/52 (2006.01). Устройство для измерения характеристик случайных процессов / И. И. Сытько, П. П. Шумаков, Н. С. Науменко, О. В. Латий; опубл. 20.10.2008. Бюл. № 29.

Syt’ko I. I., Shumakov P. P., Naumenko N. S., Latii O. V. Ustroistvo dlya izmereniya kharakteristik sluchainykh protsessov [Device for Random Process Characteristics Measuring]. Patent RF, no. 2336562, 2008. (In Russ.)

**5. Интернет-ресурс**

Шунков В. Физика радиационных эффектов, влияющих на электронику в космосе. URL: http://geektimes.ru/post/254084/ (дата обращения: 18.03.2018).

Shunkov V. Physics of Radiation Effects Affecting Electronics in Space. Available at: http://geektimes.ru/post/254084/ (accessed 02.04.2018). (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Фамилия Имя Отчество** – ученая степень (год получения), ученое звание (год получения), должность и место работы. Автор ХХ научных работ. Сфера научных интересов: 5–6 терминов.

Адрес: Место работы, улица, дом, город, почтовый индекс, страна

E-mail: XXXХ

https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX

**Information about the authors**

Имя О. Фамилия, ученая степень (год), ученое звание (год), должность и место работы (на английском). The author of ХХ scientific publications. Area of expertise: 5–6 терминов.

Address: Место работы, дом, улица, город почтовый индекс, страна

E-mail: XXXХ

https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX