

На правах рукописи

Гламазда Дмитрий Васильевич

Модернизированный телескоп SBG
Коуровской обсерватории

Специальность 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия

автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург
2014

Работа выполнена в астрономической обсерватории Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н.Ельцина

Научный руководитель:

Член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук Балега Юрий Юрьевич,
Специальная астрофизическая обсерватория РАН, директор;

Официальные оппоненты:

Сачков Михаил Евгеньевич,
доктор физико-математических наук,
Институт астрономии РАН, заведующий отделом;

Архаров Аркадий Александрович,
кандидат физико-математических наук,
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
заведующий лабораторией.

Ведущая организация:

Институт астрономии РАН

Защита состоится 27 февраля 2015 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.067.01 на базе Института прикладной астрономии.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.-Петербург, наб. Кутузова, д. 10 и на сайте

http://www.ipa.nw.ru/diss_sov/zased.htm.

Автореферат разослан « ____ » _____ 20 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бондаренко Ю.С.

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации

Коуровская обсерватория возникла на заре космической эры и с момента образования в ней велись наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ). В 1973 г. обсерватория приобрела телескоп SBG производства Carl Zeiss – видоизмененную камеру Шмидта с диаметром входного зрачка 42.5 см. До 90-х гг. на нем велись фотографические наблюдения ИСЗ и малых тел Солнечной системы. Постепенно инструмент морально устарел, особенно после появления нового типа приемников изображения – ПЗС-матриц. Был поставлен вопрос о его модернизации.

Несмотря на сравнительно небольшой диаметр оптики, камера SBG по-прежнему могла оставаться востребованной при условии, что она будет оборудована современным приемником изображения и новыми приводами. Это связано с тем, что в настоящее время космические группировки разных стран приобрели настолько большие размеры, что штатных средств контроля не хватает. Для мониторинга орбит основного количества ИСЗ достаточно наблюдений с точностью до $1'' \dots 3''$, а на первое место выходит оперативность работы. Был необходим телескоп, который в первую очередь обладал бы не оптикой большого диаметра, а подвижной монтировкой и способностью слежения за объектами. Камера SBG с ее 4-осной монтировкой и вилочной конструкцией двух последних осей как нельзя лучше удовлетворяла этим требованиям. Не последнее место среди аргументов в пользу целесообразности модернизации занимали также планы обучения студентов на хоть и не большом, но современном телескопе.

Цели работы

Основными целями настоящей работы являются:

1. Снижение трудоемкости наблюдений ИСЗ.
2. Повышение эффективности наблюдений.

Эти цели достигались решением задачи по созданию на основе телескопа SBG оптико-электронного комплекса. При выполнении работы были поставлены и решены следующие задачи:

1. Изменения оптической системы, необходимые для установки нового приемника изображения – ПЗС-камеры.

2. Изменения механической части телескопа. Создание новых автоматизированных приводов.
3. Разработка, изготовление и монтаж электронных схем, соответствующих новым требованиям.
4. Разработка алгоритмов управления комплексом.
5. Создание программного обеспечения.

Методы работы

Решение поставленных задач выполнялось поэтапно. На первом этапе разрабатывалась общая концепция телескопа, каким он должен был стать в будущем. На втором этапе были определены основные частные задачи, которые необходимо было решить для этого. В процессе разработки важные части схем проверялись на макетах. На третьем этапе создавались монтажные схемы. При программировании алгоритмов отладочным средством служил сам создаваемый комплекс.

Достоверность

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием адекватного математического аппарата, хорошо освоенных методов и современных комплекствующих. Она подтверждается экспериментально каждую ночь наблюдений.

Научная новизна

Новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен метод вычисления координат полюса орбиты ИСЗ на основе статистического усреднения векторных произведений видимых радиус-векторов;
2. Решена задача получения координат и скоростей слежения для системы с полюсом, имеющим произвольное положение на небе;
3. Реализован оригинальный метод для вычисления позиционного угла изображения.

Научная и практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в непосредственном практическом использовании созданного на основе телескопа SBG комплекса для наблюдений ИСЗ, астероидов и комет. С 2007 г. он является основным средством

наблюдения ИСЗ в Коуровской обсерватории. Выполняются исследования с научной целью, а также работы по заказам, заказчиками в которых являются Министерство обороны и Федеральное космическое агентство. Также комплекс используется для обучения студентов астрономическим наблюдениям вообще и наблюдениям ИСЗ в частности.

Теоретическая значимость заключается в том, что примененные в данной работе алгоритмы могут быть использованы для телескопов аналогичной конструкции. В частности, полученное математическое обеспечение может быть использовано при производстве специализированных телескопов для наблюдений ИСЗ.

Результаты, выносимые на защиту

1. Вычислительные алгоритмы для интерактивного управления телескопом с произвольной ориентацией полюса монтировки и способностью слежения за объектом, имеющим эфемериду.
2. Наблюдательный комплекс на основе модернизированного телескопа SBG.

Апробация работы

После завершения модернизации телескопа SBG ее результаты докладывались автором на семинарах кафедры астрономии и геодезии УрГУ, а также Коуровской обсерватории. В 2011 г. автор выступал с докладом на семинаре в САО РАН. Две статьи автора о модернизированном телескопе SBG были опубликованы в т.67, №2 Астрофизического Бюллетня за 2012 г. [1,2]. В 2014 г. автор выступил на семинаре в САО РАН с представлением данной диссертации и получил положительную рекомендацию.

С 2007 г. на модернизированной камере SBG регулярно ведутся наблюдения. Апробацией данных наблюдений являются работы [3] – [31] (всего 29 работ), выполненные в соавторстве по результатам наблюдений на SBG за 2007-2013 гг. Результаты этих работ можно рассматривать как практическое подтверждение работоспособности созданного комплекса. Большинство работ было представлено в виде стендовых докладов на ежегодных международных студенческих зимних астрономических конференциях «Физика космоса» и опубликовано в издательстве Уральского университета (г.Екатеринбург). Среди других публикаций можно отметить:

- Материалы 8-го съезда АО и международного симпозиума «Астрономия-2005: состояние и перспективы развития» (30 мая – 6 июня 2005 г., г.Москва) (работа [3]).

- Материалы международной конференции «Околоземная астрономия-2007» (3-7 сентября 2007 г., п.Терскол) (работы [6], [10]).
- Труды Всероссийской астрономической конференции «ВАК-2007» (17-22 сентября 2007 г., г.Казань) (работа [7]).
- Труды международной конференции «Астрономия и всемирное наследие: через время и континенты» (19-26 августа 2009 г., г.Казань) (работа [14]).
- Материалы 6-й международной научно-практической конференции «Глобальный научный потенциал» (30 июня 2010 г., г.Тамбов) (работа [16]).
- Труды конференции «Околоземная астрономия-2009» (22-26 августа 2009 г., г.Казань) (работа [17]).
- Материалы международной конференции «Околоземная астрономия-2011» (5-10 сентября 2011 г., г.Красноярск) (работы [19], [21]).
- Материалы конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики» (12-14 апреля 2011 г., г.Томск) (работа [20]).
- Материалы конференции «Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы» (28 мая – 1 июня 2012 г., г.Москва) (работа [23]).
- Proceedings of 6th European Conference on Space Debris (2013, April 22-25, ESOC, Darmstadt, Germany) (работы [26], [27]).
- Материалы Всероссийской конференции «Многоликая Вселенная» и ВАК-2013 (23-27 сентября 2013 г.) (работа [28]).
- Астрономический вестник, 2012, том 46, № 6 (работа [24]).
- Minor Planets Circular. 18 Oct. 2013. № 85081 (работа [30]).

Публикации и вклад автора

Перед написанием цитируемых работ [3]-[31] в соавторстве с сотрудниками обсерватории автором были получены файлы наблюдений на модернизированном телескопе, послужившие исходным материалом для данных статей.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, пяти глав и Заключения; всего 118 страниц, 33 рисунка, 7 таблиц. Список цитируемой литературы составляет 46 наименований.

Содержание диссертации

Введение начинается с краткой истории телескопа SBG в Коуровской обсерватории. Далее обосновывается актуальность его модернизации, формулируются связанные с этим цели и задачи. Указываются элементы научной новизны, практическая и теоретическая значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту. Приводятся материалы, характеризующие процесс апробации выполненной работы, а также перечисляются основные пункты вклада автора в работы, выполненные в соавторстве.

В начале **первой главы** приводятся основные характеристики оптики SBG. Это фотографическая камера с $f = 78.8$ см и $d = 42.5$ см. Отступление от «классической» системы Шмидта состояло в наличии полеспрямляющей линзы Пиацци-Смита для превращения сферической фокальной поверхности в плоскую. Далее описана концепция телескопа, который должен был быть получен при модернизации SBG: это телескоп с опто-электронным приемником изображения, имеющий мобильную 4-осную монтировку с автоматизированным приводом, позволяющим в принципе наблюдать ИСЗ с любыми угловыми скоростями, от самых медленных до самых быстрых.

В качестве приемника изображения было решено использовать ПЗС-камеру Arogee Alta U32, установленную в главном фокусе. В связи с этим возникла необходимость изменения оптической схемы телескопа. Было показано, что при геометрических размерах поля зрения, определяемых используемой ПЗС-матрицей, полеспрямляющая линза может быть удалена без заметного ухудшения качества изображения.

Главным достоинством модернизированного телескопа SBG стала его мобильность. Она была достигнута благодаря следующему:

- наличию у телескопа 4-осной монтировки;
- использованию угловых датчиков (энкодеров) для ввода координат в компьютер;
- использованию шаговых двигателей (ШД) с широким частотным диапазоном и таким свойством, как микрошаг;
- применению компьютера и новых алгоритмов в управлении телескопом.

Одним из начальных требований, предъявляемых к управлению комплексом, была необходимость работы под управлением единственной программы. Она диктовалась соображениями оперативности, необходимой при наблюдении спутников.

Вторая глава посвящена описанию электронных схем, разработанных для комплекса. Практически вся электроника сосредоточена в Блоке Управления,

находящемся в телескопе. Блок Управления изготовлен в виде отдельного прибора и в качестве основных частей содержит платы оптронных развязок, основного интерфейса и программируемых генераторов тактовых частот для ШД. Основной интерфейс – это плата, содержащая схемы записи в 8 байтовых регистров. Биты четырех из них используются в качестве источников команд. Четыре других регистра хранят коэффициенты деления K_0 , K_1 частоты. Для связи между угловой скоростью ω вращения телескопа вокруг 3-й или 4-й оси и тактовой частотой ν имеет место зависимость

$$\omega = 0^\circ.00625 \frac{\nu}{\mu} = 22''.5 \frac{\nu}{\mu} \quad \Leftrightarrow \quad \nu(\text{Гц}) = 160\mu\omega(^{\circ}/\text{с}),$$

где μ – коэффициент микрошага, показывающий, во сколько раз при нем уменьшается исходная величина шага. Если требуется движение с неизменной скоростью, коэффициент деления посылается один раз в начале движения и хранится в регистрах БУ до тех пор, пока не наступит время его сменить. Это позволяет экономить рабочее время процессора. При ускоренном движении компьютер посылает коэффициенты деления периодически, при этом частота посылок и шаг изменения коэффициента выбираются такими, чтобы обеспечить требуемое угловое ускорение.

Важным сигналом для работы комплекса является сигнал Event. Он образуется при открытии и закрытии затвора ПЗС-камеры и поступает на GPS-приемник, являющийся частью службы времени. Момент его прихода регистрируется с высокой точностью по шкале времени UTC, после чего репортаж с отчетом по последовательному каналу поступает в компьютер и используется программой. Тем самым аппаратно реализуется система реального времени.

Управляющая программа *SBGControl* написана на языке Delphi для ОС Windows XP. Работа с ПЗС-камерой и энкодерами организована с помощью функций API, поставляемых производителями в прилагаемом программном обеспечении. При программировании работы с GPS-приемником Acutime 2000 используются API-функции работы со штатными COM-портами.

В **третьей главе** представлены вычислительные алгоритмы, созданные для управления телескопом. Камера SBG имеет монтировку, полюс которой при необходимости направляется в полюс орбиты ИСЗ. При этом объект оказывается вдали от полюса собственной системы координат (СК) телескопа, в которой его угловая скорость не может превзойти $4^\circ/\text{с}$. Это делает принципиально доступным наблюдения любых небесных тел, даже ИСЗ с большим видимым движением. Основу алгоритмов составляют новые схемы вычисления координат полюса орбиты и позиционного угла, а также прямые и обратные координатные преобразования.

Вследствие того, что собственная СК телескопа получается из обычной экваториальной или горизонтальной в результате не одного, а как минимум двух поворотов, преобразования координат обычными методами сферической астрономии (решением сферических треугольников) довольно громоздки. Более того, в процессе работы с интерактивной картой требуются обратные преобразования. Поэтому был предложен метод, основанный на применении группы вращений $O(3)$ трехмерного пространства. Группа представляется матрицами 3×3 , а объектами, на которые они действуют, являются 3-мерные векторы, задаваемые в декартовых прямоугольных системах координат. Такой метод обладает многими достоинствами. Матрицы являются ортогональными, а потому обратные к ним матрицы получаются транспонированием. При суперпозиции нескольких поворотов соответствующие матрицы просто перемножаются. Поэтому уже не принципиально, сколько поворотов сделано при переходе от одной системы к другой: все перемноженные матрицы – это снова одна ортогональная матрица 3×3 .

Для нахождения координат полюса орбиты предложен метод, основанный на статистическом усреднении векторов произведений радиус-векторов объекта. Исходным материалом при его применении служит эфемерида, в которой последовательным моментам времени UT_i соответствуют экваториальные координаты t_i, δ_i объекта. На их основе строятся векторы $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_i, \mathbf{x}_{i+1}, \dots$, проведенные из точки наблюдения в точки видимой траектории объекта на небе. Векторное произведение $[\mathbf{x}_i \times \mathbf{x}_{i+1}]$ – это вектор, перпендикулярный плоскости видимой орбиты между точками i и $i+1$, его пересечение с небесной сферой дает «мгновенное» положение полюса. Статистическое усреднение таких положений даст некоторый вектор, указывающий на среднее положение полюса орбиты. Остается выделить из него азимут A_p и зенитное расстояние z_p .

Увеличение количества углов поворота, связывающих системы координат, резко увеличивает сложность и громоздкость координатных преобразований, что в полной мере относится и к вычислению позиционного угла изображения σ . В то же время для наших наблюдений знание позиционного угла необходимо для последующего автоматического отождествления звезд по каталогу при астрометрической обработке. Поэтому был разработан метод его определения. Чтобы получить выражение для σ , вводится система координат, в которой оптический центр (ОЦ) снимка является *полюсом*. В этой СК полюс мира и полюс орбиты рассматриваются как обычные объекты, а искомый позиционный угол равен разности их часовых углов. Координаты любой точки небесной сферы в новой СК можно найти из экваториальных координат этой же точки, если известны повороты, с помощью которых одна СК может быть получена из другой. Для этого снова используется метод, основанный на груп-

пе вращений $O(3)$.

После того, как найдены алгоритмы определения координат в любой системе, используемой телескопом, можно ставить вопрос об алгоритме самого процесса *наведения*. Здесь был выбран относительно простой метод последовательных приближений, при котором двигатели выполняют наведение, а энкодеры проверяют результат. Если после окончания захода невязка позиционирования больше допустимой, наведение планируется и запускается еще раз, но уже из достигнутого положения, и т.д.

Наведение должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Телескоп должен всегда смотреть не ниже горизонта.
2. Не должно быть ударных нагрузок на приводы.
3. Перегон не должен занимать много времени.
4. Телескоп не должен пересекать собственный меридиан $t = 180^\circ$.
5. После наведения отклонение от заданного положения не должно превышать установленной величины ε .

Не менее важной функцией создаваемого телескопа является способность *следить* за объектом, т.е. в каждый момент времени развивать те же угловые скорости, что и объект. Координаты и скорости ИСЗ при этом получаются интерполированием эфемериды.

Важную роль в управлении телескопом играет интерактивная карта, изображаемая программой *SBGControl* на мониторе. На ней моделируется участок неба, в сторону которого смотрит телескоп, с экваториальной координатной сеткой и основными линиями небесной сферы, а также важными для наблюдений ИСЗ факторами, такими как контуры поля зрения ПЗС-камеры, Солнце, Луна и тень Земли в области геостационарных орбит. Источником положений звезд для карты служит каталог Tycho-2, дополненный яркими звездами каталога BSC-5. При расчете положений объектов околоземного пространства учитывается их параллакс.

При построении карты также используется алгоритм, основанный на вращениях группы $O(3)$. Карта не только пассивно отображает все, имеющее координаты, но и может выдать *экваториальные координаты* любой своей точки, на которую наблюдатель укажет курсором. По щелчку мыши переменные $xscr$, $yscr$ управляющей программы претерпевают трансформации, обратные тем, которые испытывают координаты звезды при выводе на экран. Такое свойство придано карте, чтобы сделать ее элементом управления. Координаты заполняют поля ввода координат цели, после чего остается только дать команду «Навести». Телескоп наведется на точку, указанную на карте, тем самым освобождая наблюдателя от необходимости вводить координаты цели с клавиатуры. Эта функция интерактивной карты используется, в частности, для поиска объектов, не следующих точно эфемериде.

Четвертая глава знакомит с общими принципами работы комплекса с точки зрения наблюдателя. Начинается она с представления формы, которую имеет конечный продукт наблюдения – снимок. В каждом новом сеансе файлы со снимками записываются на диск компьютера в автоматически создаваемую директорию, озаглавленную по дате наблюдений. В наблюдениях на телескопе SBG в Коуровской обсерватории используется собственная форма текстовой преамбулы для fit-файлов. На нее настроен программный комплекс Fits-SBG последующей астрометрической обработки снимков.

На модернизированном телескопе SBG возможны наблюдения в нескольких режимах. Простейшие функции наведения на *астрономический* объект и слежение за ним с помощью астропривода доступны и без специальных подпрограмм. Однако, с помощью подпрограмм можно значительно расширить круг решаемых задач. Так, возможен режим многократного повторения одинаковых съемок, или режим, когда проведение наблюдений требует сложных быстрых действий. В настоящее время программа *SBGControl* имеет в своем составе 4 подпрограммы для съемки в различных режимах.

Пятая глава посвящена описанию работ, опубликованных по результатам наблюдений, проведенных на камере SBG после модернизации. В начале главы приводится краткая хронология основных событий модернизации, из которой следует, что первые наблюдения с ПЗС-камерой на SBG начались задолго до окончания переоборудования телескопа. Они сыграли важную роль в отладке аппаратной части, совершенствовании управляющей программы и исследовании рабочих характеристик комплекса. Сначала наблюдались геостационарные спутники, для слежения за которыми не нужны специальные приводы. Первые пробные наблюдения быстролетящих ИСЗ были проведены в 2007 г., а в 2008 г. уже проводились наблюдения, которые были опубликованы в [11]. В частности, выполнялись наблюдения спутников, движущихся на высотах от 600 до 1000 км по солнечно-синхронным орбитам. Для астрометрической обработки ПЗС-кадров Э.Д.Кузнецовым был разработан программный комплекс FitsSBG_LEO.

Принципиальная возможность наблюдений астероидов и комет на SBG имела еще и до модернизации. После модернизации они возобновились с конца 2006 г., после чего их количество значительно возросло благодаря повышению чувствительности и производительности комплекса. Эти наблюдения стали регулярными, образовалась группа наблюдателей, занимающихся в основном астероидами и кометами. Результаты наблюдений передавались в MPC и публиковались в *Minor Planet Circular*.

В **Заключении** подводятся итог результатам модернизации камеры SBG и формулируются выводы.

Основные результаты и выводы

Модернизация камеры SBG позволила поднять производительность наблюдений по эфемеридам более чем в 4 раза. Значительно уменьшилась трудоемкость работы. Обзоры участков неба могут выполняться в автоматическом режиме, когда присутствие наблюдателя требуется лишь при постановке задачи комплексу. Астрометрическая обработка ПЗС-снимков после наблюдений также в значительной степени автоматизирована.

Точность определения положений ИСЗ, получаемая при обработке снимков с модернизированного телескопа SBG, следующая:

- десятые доли угловой секунды по внутренней сходимости для отдельного кадра;
- $\approx 0''.5$ для геостационарных спутников;
- $1''$ для ИСЗ с заметным собственным движением;
- $\leq 5''$ для быстролетающих ИСЗ.

В наблюдениях астероидов точность достигает $0''.05 - 0''.3$, что сравнимо с точностью, даваемой другими наблюдателями.

Увеличилась проникающая сила телескопа. Если сначала он был рассчитан на наблюдение ИСЗ со звездными величинами $6^m - 10^m$ (или прочих объектов до $10^m - 12^m$), то сейчас можно надежно наблюдать спутники до 14^m и слабее, а астероиды – до 19^m .

В настоящее время на телескопе проводятся регулярные наблюдения искусственных спутников Земли, астероидов и комет.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

- [1] Glamazda D.V. SBG Camera of Kourovka Astronomical Observatory // Astrophysical Bulletin. 2012, Vol. 67, No 2, P. 230-236.
- [2] Glamazda D.V. Principal Algorithms for the Control of Kourovka Observatory SBG Camera // Astrophysical Bulletin. 2012, Vol. 67, No 2, P. 237-244.
- [3] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В. Предварительные результаты наблюдений геостационарных спутников на модернизированном комплексе (телескоп СБГ с ПЗС-камерой Alta U32) // Материалы 8-го съезда АО и Международного симпозиума "Астрономия-2005: состояние и перспективы развития". Труды ГАИШ, Т.78, М.: ГАИШ МГУ, 2005. С.25.
- [4] Захарова П.Е., Кузнецов Э.Д., Гламазда Д.В. Анализ результатов наблюдений геосинхронных спутников в окрестности устойчивой точки либрации // Физика Космоса: Тр. 35-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2006 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2006. С.268.
- [5] Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Кайзер Г.Т., Кузнецов Э.Д., Вибе Ю.З., Мальшева Л.К., Попов А.А. Позиционные ПЗС наблюдения на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории // Физика Космоса: Тр. 36-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2007 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. С.246.
- [6] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Горда С.Ю., Кайзер Г.Т. Система мониторинга геосинхронных объектов Коуровской астрономической обсерватории УрГУ // Околосемная астрономия 2007. Тезисы. 3-7 сентября 2007 г., п. Терскол. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2007. С. 77.

- [7] Захарова П.Е., Кузнецов Э.Д., Гламазда Д.В., Горда С.Ю., Кайзер Г.Т., Крушинский В.В., Никульников Ю.В. Новые возможности наблюдений искусственных спутников Земли на модернизированных телескопах Коуровской астрономической обсерватории // Труды Всероссийской астр. конф. «ВАК-2007». Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2007. С. 85–86.
- [8] Кузнецов Э.Д., Кайзер Г.Т., Вибе Ю.З., Гламазда Д.В. Результаты ПЗС-наблюдений избранных пассивных ГСС на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории // Физика Космоса: Тр. 37-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2008 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. С.277.
- [9] Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Горда С.Ю., Кайзер Г.Т., Кузнецов Э.Д. Результаты ПЗС-наблюдений геосинхронных спутников на телескопах СБГ и АЗТ-3 Коуровской астрономической обсерватории в 2007 г. // Физика Космоса: Тр. 37-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2008 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. С.279.
- [10] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Горда С.Ю., Кайзер Г.Т. Система мониторинга геосинхронных объектов Коуровской астрономической обсерватории УрГУ // Околосемная астрономия-2007. Нальчик: Изд. М. и В. Котляровы, 2008. С.314–317.
- [11] Захарова П.Е., Кузнецов Э.Д., Гламазда Д.В. Наблюдения низкоорбитальных объектов на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории в 2008 г. // Физика Космоса: Тр. 38-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2009 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2009. С.342.
- [12] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Кайзер Г.Т. Результаты наблюдений геосинхронных спутников на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории в 2008 г. // Физика Космоса: Тр. 38-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2009 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2009. С.343.
- [13] Кузнецов Э.Д., Кайзер Г.Т., Гламазда Д.В., Вибе Ю.З. Результаты наблюдений избранных геосинхронных спутников на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории // Физика Космоса: Тр. 38-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2009 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2009. С.347.
- [14] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Кайзер Г.Т., Гламазда Д.В. Влияние светового давления на орбитальную эволюцию геосинхронных объектов //

- Тр. междунар. конф. «Астрономия и всемирное наследие: через время и континенты». Казань, 19–26 авг. 2009 г. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2009. С.68–69.
- [15] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Кайзер Г.Т., Гламазда Д.В. Результаты наблюдений высокоорбитальных спутников Земли на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории в 2009 году // Физика Космоса: Тр. 39-й Междунар. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2010 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2010. С. 236.
- [16] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Шагабутдинов А.И., Гламазда Д.В. Определение парусности высокоорбитальных космических объектов по результатам наблюдений на телескопе СБГ АО УрГУ // Глобальный научный потенциал. Материалы 6-й междунар. научно-практ. конф. 30 июня 2010. Тамбов: ТАМБОВПРИНТ, 2010. С. 33–37.
- [17] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Кайзер Г.Т., Гламазда Д.В. Влияние светового давления на орбитальную эволюцию геосинхронных объектов // Околосемная астрономия 2009. Сборник трудов конференции, Казань, 22–26 авг. 2009 г. М.: ГЕОС, 2010. С. 64–69.
- [18] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И. Результаты наблюдений высокоорбитальных космических объектов на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории в 2010 году // Физика Космоса: Тр. 40-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2011 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. С. 316.
- [19] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И., Кудрявцев С.О. Особенности орбитальной эволюции спутников Земли, обладающих большой парусностью, в окрестности резонансов низких порядков // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического университета им. М.Ф.Решетнева. 2011. Вып. 6(39). С. 148–150.
- [20] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Шагабутдинов А.И., Гламазда Д.В. Особенности движения резонансных спутников Земли, обусловленные световым давлением с учетом влияния диссипативных эффектов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Сборник материалов научной конференции. Томск: Томский государственный университет, 2011. С. 409–410.
- [21] Кайзер Г.Т., Вибе Ю.З., Гламазда Д.В., Скрипниченко П.В. в Трудах конференции Околосемная астрономия-2011, Красноярск, Россия, 2011// Красноярск, Вестник СибГАУ им. Решетнева, 2011, с.124-128.

- [22] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Шагабутдинов А.И., Гламазда Д.В. Результаты наблюдений высокоорбитальных космических объектов на телескопе СБГ Коуровской астрономической обсерватории в 2011 году // Физика Космоса: Тр. 41-й Междунар. студ. научн. конф., Екатеринбург, 2012 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. С. 260.
- [23] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И., Кудрявцев С.О. Влияние светового давления на эволюцию спутниковых орбит в окрестности резонансов низких порядков // Научная конференция «Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы». Сборник резюме докладов. М., 2012. С.51.
- [24] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И., Кудрявцев С.О. О влиянии светового давления на орбитальную эволюцию объектов, движущихся в окрестности резонансов низких порядков // Астрономический вестник, 2012, том 46, № 6, с. 480-488.
- [25] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И. Определение парусности высокоорбитальных объектов по позиционным наблюдениям на телескопе СБГ АО УрФУ // Физика Космоса: Тр. 42-й Междунар. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2013 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. С. 172.
- [26] Kuznetsov E.D., Zakharova P.E., Kudryavtsev S.O., Glamazda D.V. Light Pressure Effect on the Orbital Evolution of Space Debris in Low-Order Resonance Regions // 6th European Conference on Space Debris — Abstract Book, 22–25 April 2013, ESOC, Darmstadt, Germany. Darmstadt: ESA, 2013. P. 127–128.
- [27] Kuznetsov E.D., Zakharova P.E., Glamazda D.V., Kudryavtsev S.O. Light Pressure Effect on the Orbital Evolution of Space Debris in Low-Order Resonance Regions // Proceedings "6th European Conference on Space Debris" European Space Operations Centre, Darmstadt, Germany, 22-25 April 2013 (ESA SP-723, August 2013). ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands. p. 8.
- [28] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Кудрявцев С.О., Гламазда Д.В. Влияние резонансов высоких порядков на орбитальную эволюцию объектов в окрестности геостационарной орбиты // Всероссийская астрон. конференция «Многоликая Вселенная». ВАК-2013. 23–27 сент. 2013 г. Санкт-Петербург. Тезисы докладов. СПб., 2013. С. 161–162.

- [29] Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В., Шагабутдинов А.И. Поиск высокоорбитальных объектов, движущихся в окрестности резонансов высоких порядков, по позиционным наблюдениям на телескопе СБГ АО УрФУ // Физика Космоса: Тр. 43-й Междунар. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2014 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 227.
- [30] Kuznetsov E.D., Wiebe Y.Z., Glamazda D.V., Zakharova P.E., Shagabutdinov A.I., Kaiser G.T. Minor planet observations [168 Kourovskaya] // Minor Planets Circular. 18 Oct. 2013. №85081.
- [31] Кайзер Г.Т., Вие Ю.Э., Гламазда Д.В., Скрипниченко П.В. Позиционные наблюдения малых планет в Коуровской астрономической обсерватории Уральского государственного университета // Физика Космоса: Тр. 39-й Междунар. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2010 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2010. С. 237.