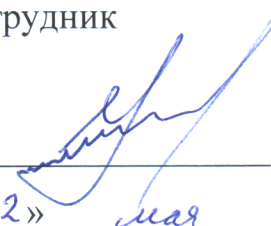


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО  
«Уральский федеральный  
университет имени первого  
Президента России Б.Н.Ельцина»,  
кандидат физико-математических  
наук, старший научный  
сотрудник





В.В.Кружаев

«22» мая 2018 г.

## ОТЗЫВ

**ведущей организации о диссертационной работе Байдина Алексея Эдуардовича «Исследование методов определения орбит и точности наблюдений визуально-двойных звезд», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 — астрометрия и небесная механика**

Диссертационная работа А.Э.Байдина «Исследование методов определения орбит и точности наблюдений визуально-двойных звезд» посвящена важному для небесной механики и динамики кратных звезд изучению методов определения орбит и их точности. Эта тема актуальна в связи с развитием методов наблюдений визуально-двойных систем, а также в связи с возможностью приложений результатов исследования этой задачи в звездной астрономии и астрофизике при анализе наблюдательных данных по широким системам кратных звезд.

Соискатель рассмотрел и проанализировал большинство исторически значимых и современных методов определения орбит визуально-двойных звезд, в основном использующих данные позиционных наблюдений. Также

рассмотрены развиваемые в последнее время методы, использующие комбинирование астрометрических данных с динамическими (закон площадей), фотометрическими и спектрофотметрическими данными (массы компонентов). А.Э.Байдин внес заметный вклад в развитие методов, позволяющих улучшить точность получаемых параметров орбит, включая случай коротких дуг.

Диссертация А.Э.Байдина состоит из введения, 3 глав, заключения, списка цитируемой литературы (108 наименований) и приложения, общий объем работы 156 страниц, содержащих 31 рисунок и 65 таблиц.

Во Введении диссертации перечислены основные цели работы, отмечена её актуальность, приведено краткое содержание работы, отмечены новизна полученных результатов, практическая ценность работы, перечислены результаты, выносимые на защиту.

По теме диссертации А.Э.Байдиным опубликованы 16 статей (из них 5 статей опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК). Результаты работы докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

В первой главе представлены основные формулы кинематики и динамики двойных звезд и рассмотрены методы определения орбит: геометрический метод, метод Тиле–Иннеса–ван ден Боса, Данжона, Докобо, Паласиоса, дифференциальных поправок по позиционному углу и разделению, дифференциальных поправок по декартовым координатам, метод Харткопфа и др. Показано, что наиболее точными являются методы дифференциальных поправок в полярных и декартовых координатах и метод Харткопфа и др. Выявлены и проанализированы недостатки остальных методов. Выполнен анализ метода определения орбит, основанного на использовании закона площадей. Показано, что точность метода близка к методу дифференциальных поправок по позиционному углу. Выполнено исследование трех новых методов определения орбит визуально-двойных звезд, использующих генетические алгоритмы. Показано, что ошибки, обусловленные статистической природой

генетических алгоритмов, при увеличении численности популяции и количества поколений можно сделать сколь угодно малыми.

Вторая глава посвящена методам определения орбит по коротким дугам. Показано, что на дугах  $20^\circ$ – $50^\circ$  получить достаточно надежные элементы орбит классическими методами можно только при относительных погрешностях определения разделения между компонентами порядка  $10^{-3}$ – $10^{-4}$ . Рассмотрен метод параметров видимого движения (ПВД) и его модификации. Отметим вариант модификации метода ПВД, использующем относительную лучевую скорость и ряд наблюдений, отстоящих в прошлое, без необходимости задания производных относительных координат по времени и суммы масс компонентов. Этим методом определены орбиты визуально-двойных систем ADS 48, ADS 11632 и ADS 14636. Для определения орбит по наблюдениям, распределенным на коротких дугах, был дополнительно модифицирован метод Хартхопфа и др. с генетическим алгоритмом. Было изменено условие отбора в новую популяцию за счет использования дополнительных данных: сумм масс и относительных лучевых скоростей. Метод был применен для определения орбит 17 визуально-двойных систем. Орбиты этих систем были вычислены впервые.

В третьей главе изучены особенности работы метода ПВД и выполнено определение погрешностей наблюдений визуально-двойных звезд. Исследована точность определения элементов орбит методом ПВД в зависимости от 1) длины дуги, охваченной наблюдениями; 2) точности параллаксов, сумм масс компонентов, относительных положений и относительных лучевых скоростей; 3) порядка используемых разложений полярных и декартовых координат. Сформулированы рекомендации по выбору оптимальной длины дуги, охваченной наблюдениями, для определения радиуса кривизны и оценки рисков, связанных с использованием длины дуги, отличной от оптимальной. Предложен метод определения точности наблюдений отдельно взятых инструментов, изучена точность измерений, полученных несколькими исследовательскими группами: CHARA speckle, БТА, Хорч и др.

Предложен метод последовательного уточнения значений погрешностей наблюдений, пригодный для одновременной обработки данных различных инструментов. Показано, что при использовании совокупностей данных, в которых доминируют наблюдения более низких классов точности, происходит завышение весов наблюдений более высоких классов точности. Предложены поправки для устранения данного недостатка.

В Заключении излагаются основные результаты диссертации.

В приложении приведены наиболее часто используемые алгоритмы.

Новизна, научная и практическая ценность работы несомненны. По диссертации можно высказать следующие замечания.

Излишне подробно описана методика хорошо известного метода наименьших квадратов в случае линейного представления параметров, когда поиск минимума функционала сводится к решению системы линейных уравнений. Можно было бы сократить текст и сконцентрировать внимание непосредственно на свойствах самого метода определения параметров орбиты.

Помимо использования методов определения орбит, использующих линейный метод наименьших квадратов, соискатель также рассматривает методы, использующие нелинейные методы минимизации в процессе поиска параметров орбиты. Поскольку генетический метод не так широко известен, как другие классические методы оптимизации, было бы желательно дать математическое описание метода. Из текста диссертации не сразу становится понятным, что данный метод позволяет найти глобальный минимум функционала, используя сравнительно небольшое число итераций. В этой связи хотелось бы отметить метод Монте Карло, который также позволяет найти глобальный минимум. Хорошо было бы сравнить работу этих двух методов применительно к рассматриваемой задаче. Но учитывая объем диссертации и полноту проведенного исследования, это предложение можно рассматривать, как пожелание.

В разделе 1.4 на с. 41 в качестве примера выполняется определение орбиты, как указано в диссертации, широкой двойной системы Кастор ( $\alpha$  Gem).

В действительности Кастор является визуально тройной иерархической системой, состоящей из шести звезд. Как могут повлиять на точность полученного решения возмущения от третьего визуального компонента?

При анализе распределение наблюдений для системы STT 132 (рис. 2.4 на с. 84) возникает вопрос о надежности определения элементов орбиты этой системы, поскольку набор наблюдений формирует эллипс, ориентированный малой (а не большой!) полуосью в направлении определяемой орбиты.

В разделе 1.4 на с. 44 для корректной оценки временных затрат на вычисления с использованием предложенного алгоритма, следует кроме оценок времени привести сведения о характеристиках компьютера, на котором выполнялись вычисления.

Отметим, что в основной части диссертации нет ссылок на приложение.

В тексте диссертации присутствует ряд стилизованных неточностей.

- 1) Не всегда последовательно используется система ссылок на источники литературы. Так формула (1.2) приводится без ссылки на источник, а при дублировании этой формулы в первом предложении раздела 1.3 указывается ссылка [41]. При указании классических формул задачи двух тел даются ссылки на несколько различных источников в то время, как можно было ограничиться одним источником, например, монографией М.Ф.Субботина «Введение в теоретическую астрономию».
- 2) Оформление формул в ряде случаев лишь отдаленно соответствует стандартам (см., например, формулу (1.4.5)).
- 3) На с. 29: фразу «звезда может даже изменять направление вращения» лучше уточнить «звезда может даже изменять кажущееся направление орбитального движения», чтобы разделить орбитальное и осевое вращение, а также подчеркнуть, что на самом деле изменение направления движения не происходит.
- 4) На с. 41: «... звезда не совершила полного оборота, повернулась на  $300^\circ$ .».
- 5) На с. 44: «на дугах  $<180^\circ$ ».

- 6) На с. 51: «... определялись с помощью ГА, метод дифференциальных поправок не сходится.»
- 7) На с. 54: «При работе с наблюдениями, распределенными на коротких дугах, геометрический метод довольно часто дает гиперболические орбиты, что невозможно для большинства объектов, методы дифференциальных поправок не сходятся, многими другими методами также не удастся получить близкие к истинным результаты.»
- 8) На с. 55 несколько раз говорится о расстояниях применительно к расстояниям и их первым и вторым производным.
- 9) На с. 68, говоря о полученных орбитах, определение «неудачная орбита» лучше заменить, например, на «ненадежная орбита».
- 10) На с. 100: «В скобочках у  $x$  и  $y$  указан...»
- 11) На с. 111: «...в скобочках указан порядок разложения.»

Есть несколько замечаний по оформлению и логическому построению текста диссертации.

- 1) Имеются неоднократные отсылки к последующим разделам, что нарушает стройность описания и логичность изложения результатов.
- 2) В разных разделах (даже внутри одной главы) одни и те же символы используются для обозначения существенно различных величин, что усложняет анализ результатов.
- 3) В диссертации используется нумерация формул без скобок, что в некоторых случаях затрудняет чтение формул.
- 4) Часто рисунки и таблицы предшествуют их описанию в тексте, что затрудняет чтение диссертации (например, рис. 1.7 приводится на с. 42, а первое упоминание об этом рисунке — на с. 44).
- 5) Нумерация таблиц начинается заново несколько раз (разделы 1.1, 1.4, 2.1, 2.3, 2.4, 2.6, 2.7, 3.2 — 3.4), что сильно затрудняет анализ результатов, поскольку ссылки на таблицы становятся неоднозначными.
- 6) Табл. 1 в разделе 2.1 оформлена не по правилам оформления многостраничных таблиц.

- 7) Рис. 2.4, расположенный на двух страницах (с. 84 и 85) следует разделить, по крайней мере, на два.
- 8) На с. 84, табл. 4; с. 92; с. 103, табл. 9; с. 104, табл. 11: единица измерений «"/г» нестандартная, правильно — «"/год».
- 9) Используются разные обозначения миллисекунд дуги: «mas» и « $10^{-3}$ "», их желательно заменить на « $1" \times 10^{-3}$ ».
- 10) Для обозначения долей угловых секунд в формате с показателем степени желательно выносить целое число секунд отдельным множителем — « $1" \times 10^{-4}$ » вместо « $10^{-4}"$ » (см., например, с. 5, 50).
- 11) В разделе 1.1, начиная с формулы (1.1.1) используется индекс  $k$ , который не объяснен и не указан диапазон его изменения.
- 12) В формуле (1.2) можно предположить, что  $M$  — момент импульса, также необходимо привести выражение для приведенной массы  $m$ .
- 13) В формулах (1.1.6) и (1.1.7) вводятся индексы  $k(pr)$  и  $k(\mu)$ , которые затем активно используются. Желательно пояснить, что за проекции здесь рассматриваются.
- 14) На всех рисунках, где изображены орбиты двойных звезд, например, рис. 1.6 и 1.7 на с. 42, не указаны единицы измерения по осям.
- 15) Неоднократно (например, на с. 13 и 41) говорится об «эпохе 2000». Корректное указание эпохи имеет вид «J2000.0».
- 16) В табл. 1 на с. 14 склонение должно быть указано в угловой мере, а не смешанной «° m s».
- 17) В формуле (1.2.3) не указано, чем является верхний предел  $n$  суммы.
- 18) В ряде формул (например, в (1.2.38), (1.3.10), (1.3.19) — (1.3.21), (2.1.1), (2.3.4), (3.3.11), (3.4.4.)) в качестве знака умножения вместо «\*» следует использовать «·» или «×».
- 19) На с.17 и 30 одна и та же формула имеет два разных обозначения (1.2.2) и (1.3.5).

- 20) В системе уравнений (см., например, формулы (1.2.42) и (3.1.7)) следует поставить знаки препинания в конце каждого уравнения, а не одну точку на всю систему.
- 21) При наборе формулы (1.3.9) допущена опечатка, не позволяющая восстановить правильный вид этой формулы.
- 22) Формулу (1.3.14) желательно записать без двух знаков деления «/», расположенных в одной строке.

Отметим несколько опечаток.

- 1) На с. 41: «(1879 – 1925 г.)».
- 2) На с.63: «с восьмью неизвестными».
- 3) На с.67: «Чтобы показать, на сколько надежно определяются...».

В целом диссертация А.Э.Байдина выполнена на высоком научном уровне и производит хорошее впечатление. Результаты работы могут быть использованы при построении орбит визуально-двойных систем. Особенно сейчас, когда выходят новые версии каталогов, полученных в результате обработки наблюдений, выполненных космическим аппаратом GAIA.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационную работу А.Э.Байдина можно квалифицировать как новый вклад в развитие направления — исследование методов определения орбит и точности наблюдений визуально-двойных звезд.

Результаты диссертации могут быть использованы во всех организациях, занимающихся исследованием визуально-двойных звезд: в ГАИШ МГУ, Институте астрономии РАН, СПбГУ, УрФУ, ГАО РАН и других астрономических институтах и обсерваториях. Основные результаты диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК.

На наш взгляд, диссертация А.Э.Байдина «Исследование методов определения орбит и точности наблюдений визуально-двойных звезд» отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 —



астрометрия и небесная механика, а автор работы заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Отзыв рассмотрен и одобрен на объединенном научном семинаре кафедры астрономии, геодезии и мониторинга окружающей среды и Коуровской астрономической обсерватории Института естественных наук и математики УрФУ (протокол № 2 от 18 мая 2018 г.).

Руководитель объединенного научного семинара,  
кандидат физико-математических наук, доцент

А.В.Локтин

Рецензенты:

Заведующий кафедрой астрономии, геодезии  
и мониторинга окружающей среды ИЕНиМ УрФУ,  
доктор физико-математических наук, доцент

Э.Д.Кузнецов

Ведущий научный сотрудник Коуровской  
астрономической обсерватории ИЕНиМ УрФУ,  
кандидат физико-математических наук, доцент

С.Ю.Горда

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ. *Локтина А.В., Кузнецова Э.Д., Горды С.Ю.*

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УрФУ  
ОЗЕРЕЦ Н.Н.

