



**Минобрнауки России**  
**Федеральное государственное учреждение**  
**«Федеральный исследовательский центр**  
**Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша**  
**Российской академии наук»**  
**(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)**

125047, Москва, Миусская пл., 4 Тел. 8 (499) 220-72-33 Факс 8 (499) 972-07-37  
http://keldysh.ru e-mail: office@keldysh.ru  
ОКПО 02699381 ОГРН 1037739115787 ИНН/КПП 7710063939/771001001

15.10.2019 № 11103- 9422/936

На № \_\_\_\_\_

Учёному секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.125.12  
кандидату технических наук  
Старкову А.В.

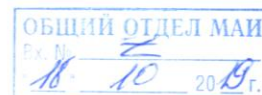
Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента на диссертацию  
Бурдина И.А. «Методика построения высокоточной согласующей модели  
радиационного давления навигационных космических аппаратов системы  
ГЛОНАСС».

Приложение: упомянутое на 3-х стр., в 2-х экз.

Учёный секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

А.И. Маслов

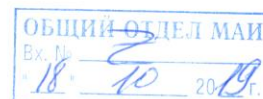


## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ивана Анатольевича БУРДИНА «Методика построения высокоточной согласующей модели радиационного давления навигационных космических аппаратов системы ГЛОНАСС», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

При эксплуатации навигационных спутников нужно осуществлять точное прогнозирование параметров орбит спутников системы. Решение этой задачи осложняется большим количеством трудно учитываемых факторов, влияющих на орбиты навигационных спутников: полярное сжатие Земли, притяжение Луны и Солнца, параметры вращения Земли и др. Одним из таких факторов является световое давление. Учёт влияния силы светового давления является главной трудностью при определении орбит навигационных спутников. Разработан ряд моделей сил радиационного давления. Часть моделей реализована в рамках наземных испытаний с учётом конструктивных особенностей КА. Имеются также эмпирические модели сил светового давления, полученные по данным измерений в полете КА. Но в этих моделях не учитывается ориентация спутников на орбите, в частности, изменения в режиме ориентации при прохождении тени Земли. Таким образом, задача, поставленная в диссертации, – повышения точности эфемеридной информации навигационных сообщений космического сегмента ГЛОНАСС – является **актуальной**.

Диссертация состоит из трёх глав. В первой главе приведён подробный обзор моделей радиационного давления на КА. Этот обзор выполнен очень тщательно и представляет самостоятельный интерес. В частности, проведено сравнение эмпирических и априорных моделей. В результате сформулирована научная задача – разработка методики построения высокоточной согласующей МРД НКА ГЛОНАСС. Следует отметить, что к этой главе приведена обширная библиография.



Во второй главе представлена методика построения высокоточной согласующей модели радиационного давления НКА ГЛОНАСС. Для модели выбрано разложение в ряд по сферическим функциям, зависящим от двух угловых параметров. При этом пришлось сделать обоснованный выбор порядка и степени модели. Автор предложил двухэтапное определение коэффициентов: сначала на коротких интервалах согласования уточняются значения промежуточных коэффициентов разложения для поправок к коэффициентам светового давления; на втором этапе эти значения обрабатываются на годовом интервале. Такой подход позволяет избежать плохой обусловленности задачи определения коэффициентов модели. Существенной особенностью модели является её настраиваемость в зависимости от условий освещённости орбиты навигационного космического аппарата.

В третьей главе выполнена экспериментальная оценка точности прогнозирования параметров движения навигационных космических аппаратов системы ГЛОНАСС с учётом использования высокоточной согласующей модели радиационного давления. Продемонстрирована эффективность самой модели и процедуры определения параметров модели, что подтверждает **обоснованность** предложенных автором моделей и алгоритмов.

**Научная новизна** работы заключается в новой структуре согласующей модели радиационного давления и методике по определению ее параметров. **Достоверность** полученных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается правильной постановкой задачи, применением физически обоснованных математических моделей, а также результатами экспериментальной отработки. Результаты диссертационной работы нацелены на повышение точности эфемеридной информации навигационных сообщений космического сегмента ГЛОНАСС и тем самым имеют большую **практическую значимость**.

К диссертации имеются следующие замечания.

Автор использует метод наименьших квадратов для расчёта коэффициентов модели. При этом может возникнуть опасность плохой

сходимости итерационного процесса. Следовало исследовать возможность использования алгоритма Левенберга – Марквардта (Levenberg – Marquardt algorithm) для улучшения сходимости.

На с. 52 автор использует термин «эксцесс суток». В научной литературе принят развёрнутый термин «эксцесс длительности суток».

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Результаты диссертации И.А.Бурдина полно представлены в его публикациях и правильно отражены в автореферате.

Считаю, что работа «Методика построения высокоточной согласующей модели радиационного давления навигационных космических аппаратов системы ГЛОНАСС» удовлетворяет требованиям ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», а её автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Главный научный сотрудник  
Федерального государственного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша  
Российской академии наук»,

доктор физико-математических наук

Г.К. Боровин

“ 15 ” октября 2019 г.

Подпись официального оппонента Г.К. Боровина заверяю  
Учёный секретарь ИПМ им. М.В. Келдыша РАН



А.И. Маслов