

УДК 629.7

Прогнозирование параметров вращения Земли в задаче повышения точности эфемеридного обеспечения навигационных космических аппаратов

Топорков Алексей Геннадьевич^{1, 2(*)}

aleksey.toporkov@rsce.ru

Астапов Сергей Владимирович²

astapovsv@student.bmstu.ru

Цырульников Кирилл Алексеевич²

tsyruльниковka@student.bmstu.ru

Копылова Мария Алексеевна²

kopyylovama@student.bmstu.ru

¹ ПАО «РКК «Энергия», Королев, Московская обл., Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ) на интервале до 180 суток. Получены оценки абсолютных максимальных отклонений прогнозных значений ПВЗ в сравнении с апостериорными значениями ПВЗ. Исследовано влияние ошибок прогнозирования ПВЗ на точность прогнозирования орбиты навигационных спутников. Рассмотрена методика определения степени влияния ПВЗ на эквивалентную погрешность псевдодальности за счет космического сегмента.

Ключевые слова: параметры вращения Земли, навигационный аппарат, навигационная система, точность прогнозирования, Международная служба вращения Земли

Введение. За последние 10 лет число потребителей навигационных услуг в России возросло более чем в 15 раз и продолжает расти. Учитывая возрастающую интеграцию навигационных технологий в большинство ключевых отраслей страны необходимо постоянное совершенствование систем координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО).

Точность решения навигационной задачи для потребителей напрямую зависит от достоверности прогноза бортовых эфемерид, которые передаются с навигационного спутника. В свою очередь прогнозирование ПВЗ играет важную роль в вопросе высокоточного решения навигационной задачи различными потребителями.

Одним из условий штатной работы навигационной системы является ежесуточная закладка на борт навигационного космического аппарата (НКА) обновленных и спрогнозированных значений ПВЗ [1, 2]. В случае автономной работы навигационных спутников, задача обеспечения КВНО должна решаться без использования какой-либо внешней информации. Это позволит обеспечить потребителей навигационными определениями с заданным уровнем точности практически без существенного снижения целевых показателей навигационной системы.

Материалы и методы; результаты. В настоящее время для прогнозирования ПВЗ применяются такие методы как: метод наименьших квадратов,

спектральный фурье-анализ, линейный регрессионный анализ, вейвлет-анализ, фильтр Калмана, ARIMA модель, нейронные сети, метод локальной аппроксимации, метод сингулярного спектрального анализа, метод средней квадратической коллокации, гибридная CNN-LSTM модель, численно-аналитические методы прогнозирования и т. д. Указанные методы используются для прогнозирования ПВЗ на различные интервалы времени: краткосрочный (до 10 суток), среднесрочный (до 30 суток) и долгосрочный (до 360 суток).

В данном докладе для прогнозирования ПВЗ используется метод полиномиальной регрессии с элементами машинного обучения. Прогнозирование ПВЗ осуществлялось на интервале до 180 суток. Тренировочными данными послужили реальные апостериорные значения ПВЗ серии С04 в период с 1960 года по 2024 год, предоставляемые Международной службой вращения Земли.

Заключение. Показано, что одним из ключевых аспектов повышения эфемеридного обеспечения НКА является достоверное прогнозирование ПВЗ на борту. Было проведено сравнение эталонных и спрогнозированных значений ПВЗ. Была подтверждена корректность и высокая точность разработанного алгоритма прогнозирования на интервале до 90 суток. Полученные результаты краткосрочного прогнозирования ПВЗ позволяют сформировать рекомендации к уровню неопределенности ПВЗ с учетом требований эфемеридного обеспечения не только НКА, но и других космических аппаратов различного целевого назначения. Что актуально при реализации алгоритмов автономного высокоточного определения параметров движения КА по сигналам НКА.

Список источников

- [1] Бартенев В.А., Гречкосеев А.К., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н. *Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации*. Москва, Физматлит, 2014, 191 с.
- [2] Гречкосеев А.К., Красильщиков М.Н., Кружков Д.М., Марарескул Т.А. Уточнение параметров вращения Земли на борту космических аппаратов. Анализ возможностей развиваемой информационной технологии. *Космические исследования*, 2021, т. 59, вып. 5, с. 408–417.