

Э. Н. Хомяков, докт. техн. наук

Основные направления развития методов и средств спутниковой радионавигации, координатно-временного обеспечения авиационно-космических и наземных потребителей.

В настоящее время наметилась явная тенденция усиления требований к точности координатно-временного обеспечения аэрокосмических и наземных потребителей. Потенциальные возможности традиционно используемых для этой цели наземных радиоэлектронных систем и комплексов практически полностью реализованы. Новые возможности открывают спутниковые радионавигационные системы (СРНС) второго поколения, в частности СРНС "Navstar" и "Глонасс". Группировка навигационных КА "Navstar" включает в себя 18 КА. В системе "Глонасс" в рабочем состоянии находятся 14 КА.

О применениях СРНС второго поколения для высокоточного контроля траекторий летательных аппаратов, для оценки координат неподвижных и мобильных потребителей, для глобальной синхронизации шкал времени и частот свидетельствуют многочисленные публикации, в частности [1,2]. Как правило, информация о точностных характеристиках СРНС носит рекламный характер.

В связи с использованием СРНС второго поколения для координатно-временного обеспечения аэрокосмических и наземных потребителей, а также в связи с поиском путей развития методов и средств спутниковой радионавигации целесообразно разработать математические модели, алгоритмы и соответствующие пакеты прикладных программ для оценки потенциальных точностных характеристик радиоэлектронных комплексов на базе СРНС.

Практический интерес представляют такие задачи применительно к контролю траекторий:

- самолета на маршрутной траектории, при снижении и посадке;
- малоразмерного летательного аппарата, на котором можно разместить лишь ретранслятор сигналов НКА;
- околосемных КА, в частности, КА для дистанционного зондирования земной поверхности, КА СРНС первого поколения "Transit", "Цикада";
- баллистических объектов - летных испытаний.

В разработанных моделях радиоэлектронных комплексов на базе СРНС второго поколения предусмотрено использование контрольных станций с целью выявления систематических погрешностей координатно-временного обеспечения потребителей, а также псевдоспутников для улучшения геометрического фактора и обеспечения работоспособности комплекса при отсутствии в зоне видимости потребителя четырех НКА.

В рассмотренных моделях движение НКА характеризуется альманахом параметров орбит, системой дифференциальных уравнений, начальными условиями на опорные моменты времени. Движение потребителя характеризуется системой дифференциальных уравнений, в которых при необходимости учитываются управляющие функции.

В качестве методов обработки измерительной информации при оценке вектора состояния потребителей целесообразно применять:

- метод максимального правдоподобия;
- метод динамической фильтрации (фильтр Калмана).

Результаты моделирования убедительно свидетельствуют о целесообразности использования расширенной СРНС (с сетью контрольных станций и псевдоспутников) для управления воздушным движением [3,4], для контроля

траекторий околоземных КА. Предварительные исследования точности контроля траектории геостационарных КА с использованием сигналов НКА "Глонасс" также говорят в пользу применения СРНС [5].

При моделировании задачи координатно-временного обеспечения стационарных потребителей выявлены значительные систематические погрешности, обусловленные тропосферной и ионосферной рефракцией радиоволн, релятивистскими и гравитационными эффектами.

Экспериментальная оценка систематических погрешностей определения координат стационарного потребителя подтвердила их относительно высокий уровень [6]. При этом для обработки использовались алгоритмы сглаживания с применением как алгебраических, так и ортогональных полиномов. Определенный интерес представляет сравнительная оценка уровня систематических и флуктуационных погрешностей координатно-временного обеспечения с использованием двух комплектов аппаратуры потребителей А-724 М, антенны которых были разнесены на известное расстояние. Выявлено, что среднеквадратическая флуктуационная погрешность оценок координат составляет величину порядка метра, что объективно характеризует возможности СРНС "Глонасс". Систематические погрешности в среднем в 5-15 раз превышают флуктуационные

В задачах использования СРНС для координатно-временного обеспечения потребителей существенную роль играет знание параметров орбит НКА и их эфемерид на опорные моменты времени. Такая информация передается в кадре данных с НКА, а формируется она в Центре управления СРНС. Очень важно получать эту информацию автономно, например, по измерениям на контрольных станциях при условии, что их шкалы времени сведены с наносекундной точностью. Моделирование такого комплекса при базах (расстояниях между

антеннами аппаратуры контрольных станций) порядка 1000 км показало, что непосредственное определение эфемерид НКА с высокой точностью невозможно. Следует, используя весь сеанс радиосвязи, находить оценки параметров орбит либо оценки начальных условий (эфемерид на фиксированный момент времени), однако этот вывод требует отдельного исследования.

Представляет интерес также выявить роль геостационарного КА, оснащенного источником навигационных сигналов. При наличии одного (двух) наземных псевдоспутников, одного геостационарного источника навигационных сигналов можно использовать только два (один) НКА системы "Глонасс" и, тем самым, обеспечить решение задачи контроля траектории кооперируемого летательного аппарата практически в любое время.

Моделирование показало роль качества исходной измерительной информации, получаемой в аппаратуре потребителей, в аппаратуре контрольных станций. С целью повышения точности измерений текущих навигационных параметров сигнала целесообразно использовать весь арсенал методов статистической теории измерительных радиосистем [7], в частности, оценивать параметры сигнально-помеховой обстановки (отношение сигнал/шум, статистические характеристики мультипликативных флуктуаций) с целью адаптации следящих систем с учетом данных о динамической обстановке. Это одно из направлений совершенствования аппаратуры потребителей. Для аппаратуры геодезических потребителей, контрольных станций целесообразно разработать адаптивную систему оценок угловых координат НКА с целью улучшения отношения сигнал/шум. При этом необходимо использовать методы оптимальной пространственно-временной обработки принимаемых колебаний и технику антенных решеток.

Другим направлением совершенствования аппаратуры приема и обработки сигналов НКА является разработка устройств сопряжения навига-

ционного процессора с ПЭВМ. Это позволяет автоматизировать процесс вторичной обработки измерений по программам, не предусмотренным в типовой аппаратуре потребителей.

Таким образом, говоря о направлениях развития методов спутниковой радионавигации, координатно-временного обеспечения аэрокосмических и наземных потребителей, следует отметить целесообразность:

- создания сети контрольных станций с известными координатами, оснащенных мерами частоты и времени с наилучшими характеристиками;
- создания сети псевдоспутников в районах аэропортов, командно-измерительных пунктов наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами (НАКУ КА);
- размещения на борту геостационарного КА источника навигационных сигналов;
- применение алгоритмов автономного расчета эфемерид НКА в Центре управления национальной системы координатно-временного обеспечения (НС КВО) по данным измерений на контрольных станциях.
- использование радиолинии: Центр управления НС КВО - геостационарный связной КА - аппаратура потребителя для получения эфемеридной и другой служебной информации.

В целях объективной и достоверной оценки уровня флуктуационных ошибок координатно-временного обеспечения необходимо применять метод относительного эталонирования с использованием двух или более комплектов аппаратуры потребителей.

Совершенствование аппаратуры потребителей помимо использования фазовых измерений на несущей частоте (когда удается разрешить неоднозначность таких измерений) должно предусматривать создание аппаратных

и программных средств для анализа сигнально-помеховой обстановки, для адаптации измерительных каналов, для аттестации (оценки точности функционирования) в реальной обстановке в процессе сеанса радиосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потегов В. И., Романов Л. М., Рязанов С. Н. Навигационный комплекс орбитальной ступени многоразовых транспортных космических кораблей Space Shuttle, Зарубежная радиоэлектроника, N 1, 1989.
2. Ananda N. P., Chernik M. R. High-accuracy orbit determination of near-earth satellites using Global Positioning System (GPS), IEEE, PLANS 82.
3. Хомяков Э. Н., Трикоз Д. В. Моделирование и анализ точности контроля траектории самолета с использованием сигналов навигационных космических аппаратов, Труды международной НТК, КИИГА, сентябрь 1992г., г. Киев.
4. Хомяков Э. Н., Трикоз Д. В. Анализ потенциальной точности контроля траектории летательного аппарата при использовании спутниковой радионавигационной системы "Глонасс". В сб. Передача, обработка, отображение информации, г. Харьков, 1993г.
5. Хомяков Э. Н., Трикоз Д. В. Применение алгоритма фильтра Калмана к анализу потенциальной точности контроля траектории геостационарного связного ИСЗ при использовании спутниковой радионавигационной системы "Глонасс" Труды международной НТК, сентябрь 1993г., Одесса.
6. Хомяков Э. Н., Красников В. Н., Корниенко М. В., Хомякова Е. Э. Полиномиальная аппроксимация медленноменяющихся погрешностей оценок координат неподвижного потребителя спутниковой радионавигационной системы "Глонасс". В сб. Передача, обработка и отображение информации, г. Харьков, 1993г.
7. Фалькович С. Е., Хомяков Э. Н. Статистическая теория измерительных радиосистем, М. - Радио и связь, 1981.

Э. Хомяков