

И. Б. Власов, А. И. Гаврилов, А. А. Кушнир,
В. П. Михайлицкий, Я. В. Мыкольников,
А. В. Пельтин, В. Б. Пудловский,
Ю. В. Рауткин

КОМПЛЕКС АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

В работе представлены результаты выполненной НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана разработки комплекса аппаратно-программных средств внешнетраекторных измерений высокодинамичных объектов. В комплексе реализован принцип определения параметров траектории объекта путем приема и обработки ретранслированных с борта объекта сигналов глобальных навигационных спутниковых систем.

E-mail: vlasov@bmstu.ru

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, система внешнетраекторных измерений, ретранслятор.

Современный этап развития спутниковой навигации характеризуется быстрым ростом числа областей техники, в которых эффективно применяются спутниковые навигационные технологии. Одновременно развивается структура самих глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), прежде всего, за счет широкого применения средств *функциональных дополнений* (СФД), позволяющих потребителю получить дополнительную информацию и использовать ее для повышения качества навигационно-временных определений (НВО). Одним из видов СФД являются *ретрансляторы* сигналов навигационных космических аппаратов (НКА), в том числе, ретрансляторы «без обработки сигнала», т. е. устройства, осуществляющие прием, преобразование и переизлучение сигналов ГНСС с полным сохранением спектра исходных (принятых) сигналов НКА. Сигналы такого ретранслятора, установленного на борту подвижного объекта, могут быть использованы (возможно, совместно с «прямыми» сигналами НКА) для получения оценок текущих значений компонент вектора состояния (ВС) объекта. Координаты точки приема этих сигналов (наземного измерительного пункта — НИП) в этом случае, как правило, считаются известными. Очевидно, что данный метод, применим к широкому кругу задач контроля и мониторинга подвижных объектов. В данной работе в качестве основной области его прило-

жения рассматриваются системы внешнетраекторных измерений (СВТИ) для полигонных испытаний высокочастотных объектов, прежде всего – летательных аппаратов. Принцип построения такой СВТИ, иллюстрируемый рис. 1, состоит в следующем.

Установленный на борту объекта ретранслятор осуществляет прием сигналов НКА, которые после переноса их спектра на другую несущую частоту ретранслируются на НИП для дальнейшей обработки (возможно, совместно с «прямыми» сигналами НКА). Кроме того, на НИП передается *пилот-сигнал*, формируемый от опорного генератора ретранслятора и предназначенный для контроля неустойчивостей частоты этого генератора, а также доплеровского сдвига частоты ретранслированного сигнала, обусловленного движением объекта относительно НКА и НИП. По результатам измерений радионавигационных параметров (РНИ) ретранслированных сигналов (псевдозадержки, псевдодоплеровского сдвига частоты) на НИП определяются параметры ВС контролируемого объекта, например текущие координаты и скорость.

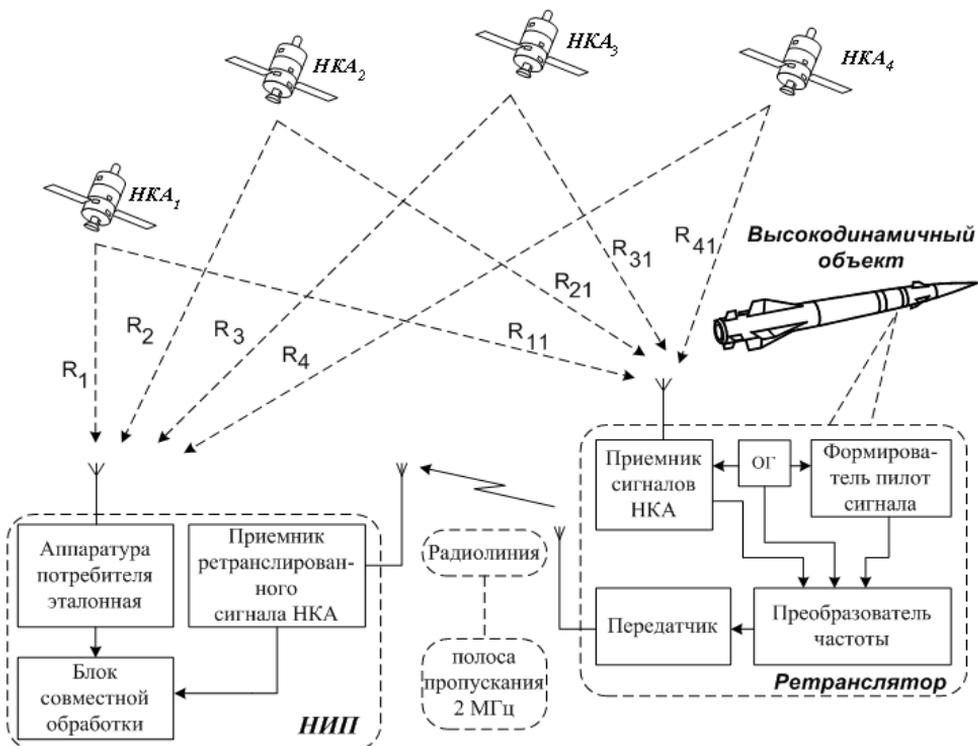


Рис. 1. Принцип построения СВТИ

Альтернативный вариант построения СВТИ с использованием спутниковых навигационных технологий состоит в том, что навигационная аппаратура, определяющая параметры ВС объекта, разме-

щается на его борту, а полученные с ее помощью результаты НВО по соответствующему радиоканалу затем передаются на НИП [1—3]. Сравнительный анализ двух описанных вариантов позволяет сделать вывод, что важнейшим преимуществом ретрансляционного метода является простота бортовой аппаратуры, поскольку решение навигационной задачи полностью возлагается на НИП, где может использоваться весьма сложная аппаратура и программное обеспечение.

В этой связи следует отметить, что поскольку задача управления объектом на основании данных СВТИ обычно не ставится, требование получения результатов измерений в реальном времени во многих случаях не является обязательным. Переход к постобработке позволяет оптимизировать не только структуру и параметры программных и аппаратных средств измерительного комплекса, но и подходы к проектированию СВТИ в целом. Таким образом, информация в аппаратуре НИП может обрабатываться как в режиме реального времени, так и в режиме постобработки с применением цифрового регистратора. Соответственно, может быть обеспечена более высокая точность фильтрации параметров траектории по сравнению с вариантом, когда РНП определяются непосредственно на объекте с помощью бортового навигационного приемника, объединенного с каналом телеметрии [4—7]. Кроме того, сокращается время первой фиксации и перезахвата сигналов НКА, а также становится возможным проводить измерения в относительном режиме, что также повышает точность (НВО). В таблице приведены сравнительные характеристики СВТИ.

Характеристики СВТИ

Структура СВТИ	Ретрансляция с обработкой в реальном масштабе времени	Ретрансляция с цифровым регистратором	Использование бортового приемника совместно с каналом передачи навигационной информации
Погрешность определения координат, м	2—5	0,1—5	5—10
Погрешность определения составляющих вектора скорости, м/с	0,1	0,05—0,1	0,1—0,5
Мощность передатчика на дальность 100 км, Вт	4	4	50

Структура СВТИ	Ретрансляция с обработкой в реальном масштабе времени	Ретрансляция с цифровым регистратором	Использование бортового приемника совместно с каналом передачи навигационной информации
Минимальный состав НКА для решения	3	3	4
Контроль НКА, «видимых» антенной	+	+	—
Возможность использования информации от всех «видимых» НКА	—	+	—

В данной статье описаны результаты выполненной в МГТУ им. Н.Э. Баумана работы по созданию комплекса аппаратно-программных средств определения траекторий динамических объектов на основе ретрансляторов сигналов ГНСС.

Комплекс включает в себя два основных устройства:

- 1) бортовую ретрансляционную аппаратуру (БРА);
- 2) аппаратуру НИП.

На рисунке 2 представлена структура разработанного комплекса, поясняющая его работу.

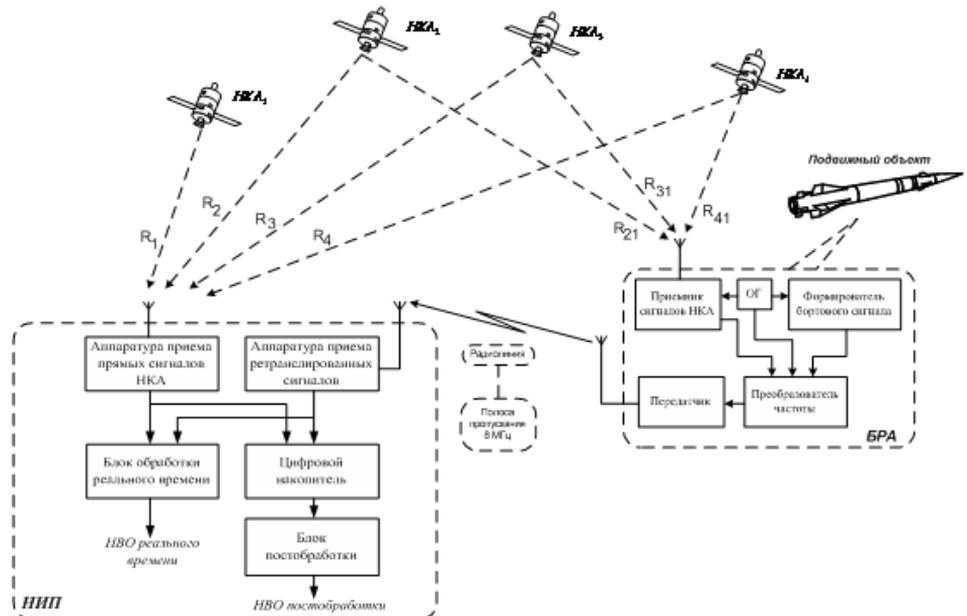


Рис. 2. Структура комплекса

Бортовая ретрансляционная аппаратура в следующем составе:
антенна приема сигналов ГЛОНАСС и GPS;
блок приемопередатчика;
передающая антенна ретранслированных сигналов.

БРА обеспечивает:

- широкополосную ретрансляцию (прием, перенос по частоте, усиление и переизлучение) сигналов стандартной точности ГНСС ГЛОНАСС и GPS диапазона $L1$;

- формирование пилот-сигнала (ПС) с модуляцией фазы несущей частоты псевдослучайной последовательностью (тактовая частота 1,023 МГц).

Аппаратура НИП в следующем составе:

антенный пост;

аппаратура приема и регистрации прямых ретранслированных сигналов;

автоматизированное рабочее место.

Аппаратура НИП обеспечивает:

- прием прямых сигналов НКА ГНСС;
- прием ретранслированных сигналов БРА;
- обработку принятых сигналов в реальном масштабе времени;
- аналого-цифровое преобразование принятых сигналов и их регистрацию в цифровой форме;
- цифровую обработку зарегистрированных сигналов.

Основные тактико-технические характеристики разработанного комплекса:

- дальность до 50 км;

- погрешности определения параметров движения объекта-носителя:

в режиме реального времени:

плановых координат – 10 м,

высоты — 14 м,

составляющих вектора скорости – 0,10...0,14 м/с;

в режиме постобработки:

плановых координат – 3 м,

высоты — 5 м,

составляющих вектора скорости – 0,05...0,1 м/с;

- время первого определения в режиме реального времени 14 с.

Конструкция элементов комплекса разработана с использованием прогрессивных технологических процессов и обеспечивает высокие требования по надежности. На рисунке 3 представлены элементы БРА.

На рисунке 4 изображен отсек размещения бортовой аппаратуры, а на рис. 5 представлены элементы НИП.



Рис. 3. Элементы БРА:

1 — антенна приема сигналов ГЛОНАСС и GPS; 2 — МШУ; 3 — блок приемо-передатчика; 4 — передающая антенна ретранслированных сигналов

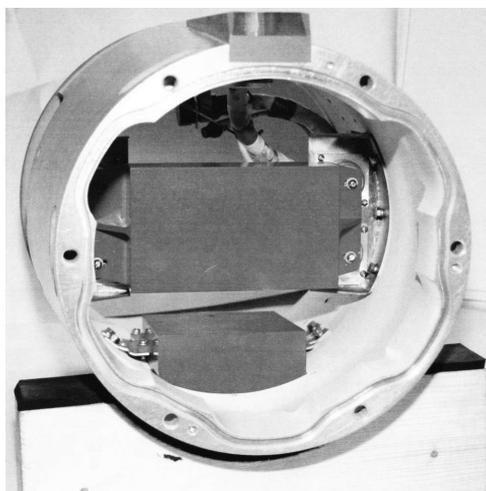


Рис. 4. Отсек размещения БРА

В процессе выполнения ОКР был решен ряд сложных задач, условно их можно разделить на алгоритмические и конструкторские.

Алгоритмические задачи. В качестве блока приемовычислителя был использован серийно выпускаемый навигационный приемник МРК-101. Для адаптации его под прием и обработку ретранслированных сигналов в значительной мере было переработано программное обеспечение (ПО). В процессе отладки ПО было существенно сокращено время поиска ретранслированных сигналов и пилот-сигнала.

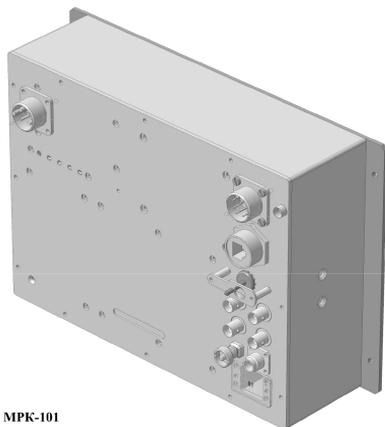
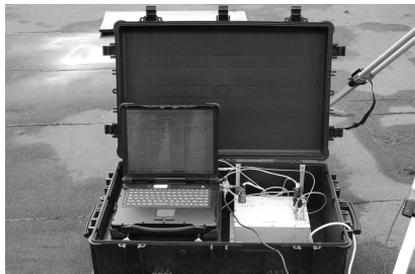


Рис. 5. Аппаратура приема и регистрации ретранслированного сигнала

Конструкторские задачи. Для обеспечения работоспособности аппаратуры приема и обработки ретранслированных сигналов как на малых, так и на больших дальностях был обеспечен большой динамический диапазон работы, который составил величину порядка 70 дБ. Отдельным вопросом стояло обеспечение непрерывности приема на всей трассе полета контролируемого объекта. Для этого были разработаны и сконструированы передающая бортовая и приемная наземная антенны с учетом особенностей объекта размещения и его траекторией полета.

В настоящее время ведутся работы, связанные с расширением функциональных возможностей комплекса:

- увеличение дальности ретрансляции до 100 км — требует доработки бортового блока приемопередатчика (увеличение мощности ретрансляции на 1,5 Вт);

- определение параметров *нестабилизированных* высокочастотных объектов — требует разработки алгоритмов и соответствующего ПО, увеличение числа бортовых антенн приема сигналов ГЛОНАСС, GPS, доработки блока приемопередатчика (добавление двух каналов ретрансляции с сохранением габаритов блока).

Разработанный комплекс может быть использован применительно к разным типам подвижных объектов при соответствующей кон-

структурской адаптации бортовой аппаратуры, причем наземный сегмент остается неизменным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ определения вектора состояния подвижного объекта при помощи навигационных космических аппаратов космической навигационной системы: пат. 2 070315 РФ / А.В. Машков, В.Б. Пудловский; заявл. 28.01.1994; опубл. 10.12.1996.
2. Пудловский В. Б., Власов И. Б. Спутниковые радионавигационные системы: состояние, достижения, перспективы // Тез. докл. науч.-техн. конференции. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – С. 89.
3. Пудловский В. Б., Власов И. Б. Экспериментальные исследования ретранслятора сигналов GPS // Спутниковые системы связи и навигации: Тр. международной науч.-техн. конференции. Красноярск, 1997. – С. 156.
4. Пудловский В. Б., Власов И. Б. Перспективы использования спутниковых радионавигационных систем в интересах развития систем транспорта и связи крупных городов // Тр. всероссийской науч.-техн. конференции. МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2000. – С. 73–75.
5. Власов И. Б., Пудловский В. Б. Локальная дифференциальная подсистема СРНС на базе ретрансляторов // Радиолокация, навигация и связь: Сб. тр. международной конференции. – Воронеж, 2003. – С. 1656–1665.
6. Методика и результаты аттестации канала ретрансляции сигналов СРНС / И.Б. Власов, А.В. Пельтин, А.А. Кушнир и др. // Радиолокация, навигация и связь: Сб. тр. международной конференции. Воронеж, 2004. – С. 1674–1684.
7. Аппаратура канала ретрансляции сигналов спутниковых радионавигационных систем для подвижных объектов / В.П. Михайлицкий и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спец. вып. Радиолокация, спутниковая навигация и связь, радиоастрономия. – 2009. – С. 144–150.

Статья поступила в редакцию 17.09.2012