

ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАВИГАЦИОННЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ GPS-ОПРЕДЕЛЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*А. И. ДОХОВ, А. А. ЖАЛИЛО, Е. А. БЕССОНОВ, И. В. ДИЦКИЙ,
Е. В. КАТЮШИНА, О. А. ЛУКЬЯНОВА*

Приведены результаты экспериментальной оценки качества навигационных GPS-определений в городских условиях. В результате проведенных экспериментов подтверждено заметное ухудшение качества GPS-навигации в условиях городских «каньонов» и вблизи зеленых насаждений – значительная часть (~20%) экспериментальных результатов являются неудовлетворительными по таким характеристикам, как доступность и точность навигационных определений. Для обеспечения навигационного решения удовлетворительного качества в городских условиях необходимо использовать как интегрирование спутниковых и инерциальных навигационных систем, так и многосистемные спутниковые приемники. Показано, что для отработки методов и алгоритмов навигационных определений создан макет, который позволяет осуществлять и регистрировать автономные и дифференциальные GPS-измерения на борту подвижных транспортных средств. В дальнейшем макет будет дополнен инерциальными MEMS-датчиками и позволит выполнить экспериментальную отработку и исследования характеристик интегрированной навигационной системы.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС/GPS), дифференциальный режим позиционирования, интегрированная навигационная система, инерциальная навигационная система (ИНС).

ВВЕДЕНИЕ

Для определения параметров движения транспортных средств в настоящее время широко используется аппаратура спутниковой навигации, обладающая по сравнению с другими средствами более высокой точностью определения местоположения при значительно меньшей стоимости. Но точность позиционирования с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) существенно зависит от конфигурации рабочего спутникового созвездия – количества и пространственного расположения одновременно наблюдаемых спутников. Для определения навигационных параметров потребителя (координат и составляющих вектора скорости) с удовлетворительной точностью необходимо наблюдать одновременно не менее четырех спутников ГНСС при их приемлемом расположении по отношению к потребителю так, чтобы геометрический фактор PDOP (Positioning Dilution Of Precision) [1] не превышал значения $\sim 5\div 6$. В больших городах с высотными зданиями, при движении под мостами и в тоннелях, на пересеченной местности, в окружении лесных массивов и др. эти требования зачастую не выполняются, что приводит к невозможности определения навигационных параметров с заданной точностью ($\sim 1\div 2$ м – см., например, требования [2]) и надежностью (по показателям доступности, целостности и непрерывности обслуживания [2]). Сложности определения местоположения транспортных средств по сигналам ГНСС в городских условиях возникают из-за маскирования сигналов зданиями, переотражений и ослабления сигналов листвой деревьев.

Повысить точность и надежность позиционирования в городских условиях можно путем привлечения дополнительной информации в процессе обработки спутниковых навигационных измерений. Такую дополнительную информацию могут предоставлять инерциальные навигационные системы (ИНС), точность которых не зависит от влияния внешних факторов. Кроме того, известно, что и использование сигналов нескольких ГНСС (например, GPS+ГЛОНАСС) также позволяет повысить точность и надежность навигационных определений.

Интегрирование ГНСС+ИНС позволяет, во-первых, исключить потери навигационной информации там, где потеряно слежение за сигналами навигационных спутников, и, во-вторых, «помочь» ГНСС-приемнику осуществить мгновенное восстановление слежения за навигационными сигналами после восстановления радиовидимости. ГНСС-датчик информации, в свою очередь, обеспечивает получение начальных условий (текущие координаты и составляющие вектора скорости объекта) для работы ИНС. Таким образом, интегрированная система позволяет обеспечить требуемые характеристики надежности навигационных определений. Инерциальные устройства ИНС могут включать в себя системы датчиков-акселерометров и датчиков-гироскопов в различных конфигурациях для определения местоположения и параметров угловой ориентации. В последние годы для транспортных приложений часто используются относительно недорогие инерциальные микромеханические датчики MEMS [3], которые интегрируются с ГНСС OEM-модулями.

В данной статье описаны результаты экспериментальной оценки качества навигационных кинематических GPS-определений в городских условиях, выполненной в рамках подготовки к проведению экспериментов с макетом интегрированной (GPS+ИНС) навигационной системы. Цель проведения эксперимента состояла в оценке качества автономных навигационных GPS-определений в указанных условиях, в подтверждении актуальности и необходимости разработки и внедрения интегрированных (ГНСС+ИНС) навигационных систем для мониторинга наземного транспорта, а также в разработке рекомендаций для проведения последующих экспериментов с макетом интегрированной навигационной системы.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальное исследование качества кинематических GPS-определений в городских условиях было проведено в июне 2015 г. в г. Харькове.

Суть эксперимента состояла в следующем.

С использованием созданного макета бортового GPS оборудования, установленного на автомобиле, 6 июня 2015 г. были проведены навигационные кинематические (в ходе движения автомобиля по улицам Харькова) одночастотные кодовые GPS-определения в автономном и дифференциальном режимах. При этом использовались DGPS/RTK-коррекции, формируемые GPS/EGNOS-станцией «SURE» Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ), передаваемые мобильным потребителям посредством технологии NTRIP. После этого были выполнены обработка и анализ полученных результатов навигационных определений с использованием имеющегося экспериментального программного обеспечения (ПО) «OCTAVA» [4] собственной разработки. Были оценены погрешности определения навигационных параметров движущегося автомобиля в различных условиях проведения измерений, сделаны выводы относи-

тельно необходимости использования интегрированных GPS+ИНС навигационных систем в городских условиях и сформулированы рекомендации для проведения последующих экспериментов.

Для проверки работоспособности макета бортового GPS-оборудования и надежности функционирования сервера Главной астрономической обсерватории (ГАО) НАН Украины (г. Киев), через который распространяются DGPS/RTK-коррекции базовой станции «SURE», перед началом эксперимента была проведена тестовая сессия дифференциального кодового навигационного решения в статическом режиме с визуальным анализом качества навигационного решения до и после приема дифференциальных DGPS-коррекций.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБРАННОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ

Маршрут движения автомобиля был разработан таким образом, чтобы на протяжении его присутствовали различные условия радиовидимости созвездий спутников: выбирались как участки с плотной городской застройкой, зелеными насаждениями, так и участки открытой местности – на улицах, мостах и дамбах.

Запланированный маршрут движения автомобиля приведен на карте на рис. 1. Крестиком указано расположение базовой станции «SURE» – на крыше корпуса «И» ХНУРЭ.

Разработанный маршрут был разбит на 16 участков, краткое описание которых представлено в табл. 1.

Ниже приведено более подробное, с учетом особенностей местности, описание маршрута движения автомобиля во время экспериментальной сессии измерений:

1) движение начиналось от корпуса «И» ХНУРЭ с зелеными насаждениями по ул. Серповой;

2) выполнялся поворот с ул. Серповой на пр. Ленина (в настоящее время – пр. Науки) в сторону ул. Ахсарова;



Рис. 1. Маршрут движения автомобиля и расположение базовой станции «SURE» (карта повернута вправо на +90°)

3) выполнялось движение по пр. Ленина, где автомобиль двигался вдоль плотной городской застройки с зелеными насаждениями;

4) выполнялось движение по открытой местности – дамбе (между ул. Новгородской и ул. Отакара Яроша), после чего движение осуществлялось по пр. Ленина – снова в условиях городской застройки;

5) в районе станции метро «23 Августа» движение автомобиля повторяло изгиб проспекта;

6) выполнялся поворот с пр. Ленина на ул. Ахсарова;

7) выполнялось движение по ул. Ахсарова через Алексеевский мост, где измерения выполнялись на открытой местности;

8) после проезда моста выполнялся разворот в обратную сторону;

9) осуществлялся проезд участков 1–8 в обратном направлении;

10) осуществлялся разворот на перекрестке пр. Ленина и пр. Правды, и автомобиль двигался к ул. Серповой в условиях плотной городской застройки с зелеными насаждениями;

11) выполнялся поворот с пр. Ленина на ул. Серповую к корпусу «И» ХНУРЭ, где и завершилась сессия.

Таблица 1

Участки маршрута движения автомобиля

№ участка маршрута	Описание участка маршрута (улица, проспект и т.д.)
1, 16	ул. Серповая, корпус «И» ХНУРЭ
2, 15	поворот с пр. Ленина на ул. Серповую
3-5, 11-13	движение по пр. Ленина
4, 12	дамба на пр. Ленина
5, 11	поворот на пр. Ленина в районе станции метро «23 Августа»
6, 10	поворот с пр. Ленина на ул. Ахсарова
7, 9	ул. Ахсарова (мост)
8	разворот на ул. Ахсарова (середина маршрута)
14	разворот на перекрестке пр. Ленина и пр. Правды

Начальная и конечная точки выбранного маршрута движения совпадали между собой и находились недалеко (на расстоянии порядка 100–200 м) от базовой станции «SURE». Максимальное удаление автомобиля от базовой станции в ходе проведения эксперимента составило около 4 км. Средняя скорость движения автомобиля – 25 км/ч, максимальная – 60 км/ч.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАКЕТ ДЛЯ GPS-НАВИГАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для проведения эксперимента было использовано следующее оборудование: SMART-антенна со встроенным одночастотным (L1) GPS приемником, 3G модемом, ноутбук с необходимым ПО, источник бесперебойного питания, аккумулятор и соединительные кабели.

SMART-антенна со встроенным GPS приемником OEMV1 геодезического класса компании NovAtel (Канада) была закреплена на крыше автомобиля с помощью магнита. На рис. 2 представлена фотография SMART-антенны, установленной на автомобиле. Для поддержки автономной работы ноутбука и питания GPS приемника были использованы источник бесперебойного питания и аккумулятор.



Рис. 2. Крепление SMART-антенны на крыше автомобиля

Для регистрации измерительной информации приемника и приема DGPS/RTK-коррекций от станции «SURE» был использован ноутбук с доступом в сеть Internet через 3G модем.

3G модем принимал дифференциальные DGPS-коррективы, формируемые станцией «SURE», посредством NTRIP-технологии передачи данных через сервер ГАО НАН Украины.

Для настройки и регистрации данных приемника использовалось ПО управления приемником «NovAtel Connect» и ПО обмена информацией между приемником, ноутбуком и 3G Internet-модемом «GNSS Surfer».

Обмен данными (три потока) между приемником и ноутбуком выполнялся через USB-порт, который создает три виртуальные COM-порта со стандартным протоколом передачи данных RS-232. Первый поток содержал DGPS-коррективы, которые передавались GPS-приемнику по протоколу NTRIP. Второй поток данных содержал «сырую» измерительную информацию (кодовые псевдодальности, фазовые измерения доплеровские смещения, амплитуды сигналов и другие данные) на трассах «спутники–приемник» и записывался на жесткий диск ноутбука. Третий поток данных содержал дифференциальное (либо автономное) кодовое навигационное решение приемника – координаты в Гринвичской системе координат, составляющие вектора скорости, оценки СКО параметров движения. Этот поток также записывался на жесткий диск ноутбука. Одновременно на экране ноутбука отображались результаты текущего навигационного решения (в географической системе координат).

нат — широта B , долгота L и высота H), а также дополнительная информация о характеристиках текущего решения — геометрические факторы, количество спутников и их расположение на небосклоне, амплитуды принимаемых сигналов, оценки СКО координат.

На рис. 3 и 4 приведены фотографии, иллюстрирующие подготовку макета к проведению измерительной сессии.



Рис. 3. Подготовка к проведению эксперимента

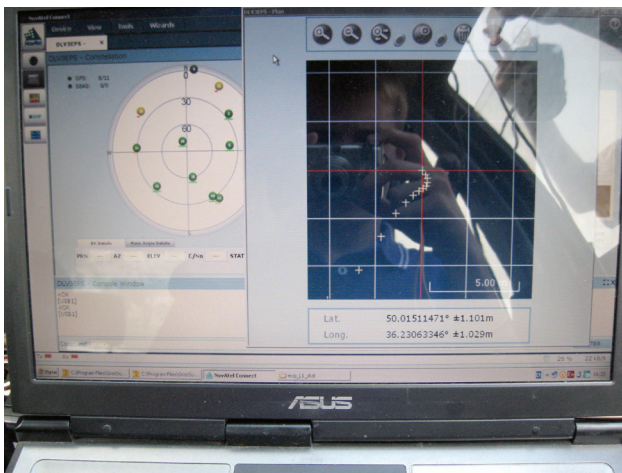


Рис. 4. Снимок экрана монитора с отображением фрагментов управления работой макета

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА КИНЕМАТИЧЕСКИХ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

После окончания эксперимента «сырая» измерительная информация (в бинарном формате приемника NovAtel) была преобразована в RINEX-файл с использованием штатного конвертора. В результате обработки зарегистрированных на борту автомобиля GPS-измерений с использованием ПО постобработки «ОСТАВА» и «GrafNAV/GrafNET» (Waypoint Consulting/NovAtel, Канада) не удалось сформировать эталонную траекторию сантиметровой точности с использованием фазовых наблюдений из-за неудовлетворительных условий приема GPS сигналов. Это иллюстрируют графики зон радиовидимости (интервалов слежения) спутников на рис. 5. На этом рисунке представлены интервалы

наличия зарегистрированных оценок параметров сигналов («сырых» измерений) — кодовых задержек, доплеровских частот, фаз, амплитуд.

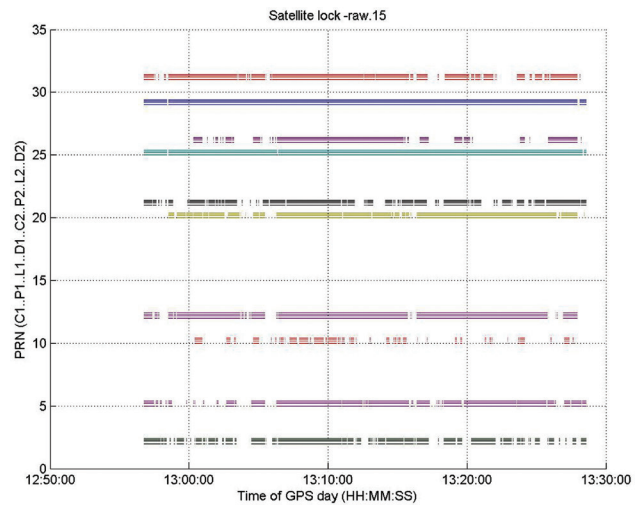


Рис. 5. Графики зон радиовидимости спутников

Из рис. 5 видно, что полученные наблюдения навигационных параметров имеют частые и во многих случаях протяженные пропуски, что объясняется ослаблениями сигналов листвой и стволами деревьев, препятствиями дорожной инфраструктуры (столбы, рекламные баннеры), влиянием возможных сильных переотражений сигналов от зданий (многолучевость), затенениями из-за находящихся рядом на дороге автомобилей и, как следствие, потерями слежения. Такая «морзянка» представляет весьма сложную проблему при обработке фазовых наблюдений, когда необходимо исключить циклические и полуциклические фазовые скачки (а они появляются практически всегда после потери слежения и пропусков наблюдений) и выполнить разрешение фазовой неоднозначности, требующее (особенно в случае одночастотных наблюдений) хотя бы нескольких минут непрерывного слежения за созвездием из 6 и более спутников. Эти условия в данной сессии наблюдений не выполняются и контроль качества не прошли ~90% фазовых измерений. Также на интервале наблюдений зафиксированы и немногочисленные эпохи (моменты времени), на которых, из-за малого количества спутников и высокого уровня шумов и многолучевости, не удалось получить даже кодового решения.

Поэтому в дальнейшем выполнялся анализ полученного приемником в реальном времени кодового и доплеровского дифференциального навигационного решения, а также камерального автономного кодового недифференциального решения, полученного в ходе постобработки «сырых» наблюдений. Оценка характеристик доступности и точности навигационных решений выполнялись с использованием оценок геометрического фактора PDOP, определяющего качество текущего спутникового созвездия, анализа количества одновременно «видимых»

спутников и результатов дифференциальных кодовых навигационных определений и их отображений на картах Google, сопоставления изменения характеристик координатного решения, составляющих вектора скорости, оценок СКО текущих координат, полученных приемником, и других параметров в различных условиях наблюдений – на разных участках маршрута с отличающимися условиями радиовидимости спутников (в условиях городской застройки или в условиях открытой местности).

Кроме того, для оценки точности навигационного решения в дифференциальном и абсолютном режимах позиционирования были получены апостериорные оценки СКО разбросов координат относительно средних значений на выбранном статическом участке наблюдений (например, когда автомобиль стоял на светофоре ~25–30 с).

На рис. 6 и 7 представлены изменения в течение измерительной сессии количества одновременно «видимых» навигационных спутников и параметра PDOP, характеризующего геометрическое ухудшение точности навигационных определений и доступность навигационных определений.

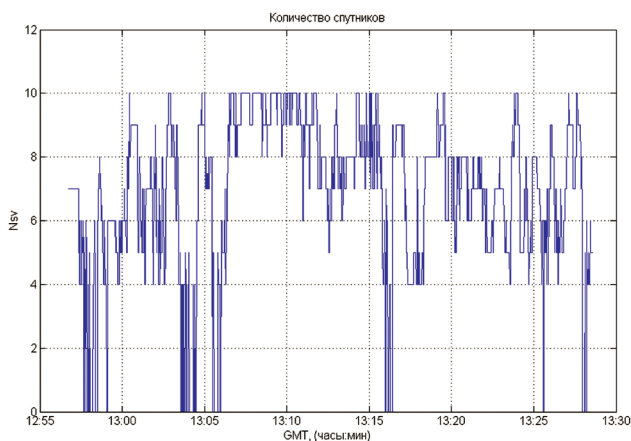


Рис. 6. Изменение количества одновременно «видимых» спутников

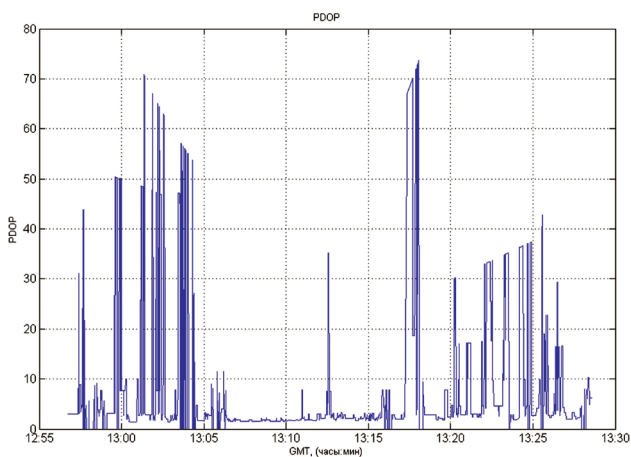


Рис. 7. Изменение параметра PDOP в движении автомобиля в условиях городской застройки (по результатам постобработки)

На рис. 8 показаны оценки СКО текущих координат, полученных приемником в реальном времени.

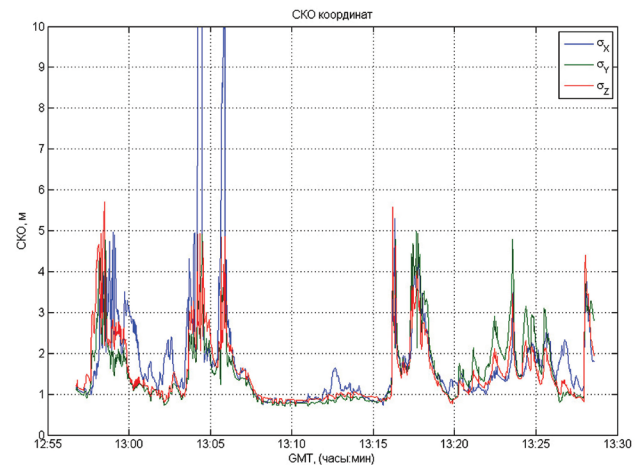


Рис. 8. Оценки СКО дифференциальных координатных определений в реальном времени

На рис. 9 представлено изменение расстояния (удаления) автомобиля от первоначальной точки маршрута (на ул. Серповой), на рис. 10 – изменение модуля вектора скорости автомобиля в ходе движения (погрешности оценивания составляющих вектора скорости V_x , V_y , V_z в реальном времени по выходным данным приемника не превышали 0,1 м/с), на рис. 11 показано изменение высоты автомобиля в ходе движения.

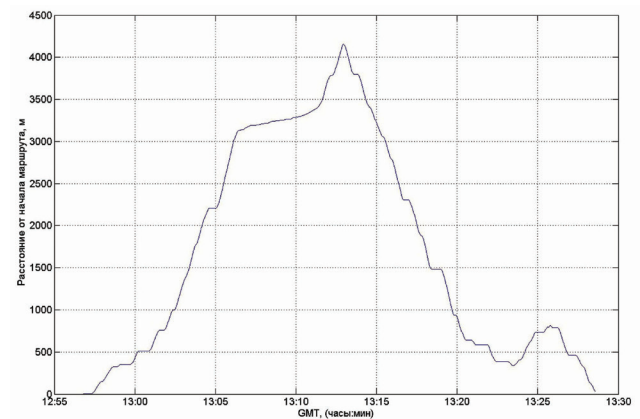


Рис. 9. Изменение расстояния (удаления) автомобиля от первоначальной точки маршрута (на ул. Серповой)

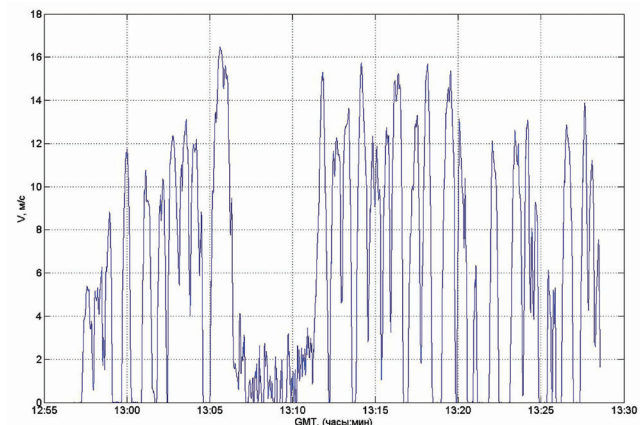


Рис. 10. Изменение модуля вектора скорости автомобиля в ходе движения

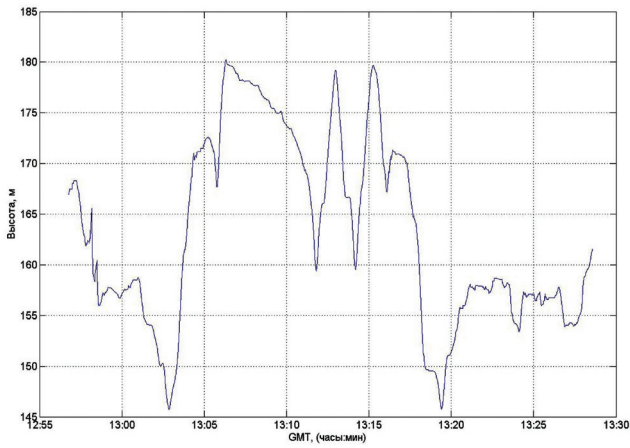


Рис. 11. Изменение эллипсоидальной высоты H (в метрах) автомобиля в ходе движения

Из приведенных выше данных и их анализа были сделаны следующие выводы.

В условиях движения в городских «каньонах», ослабления сигналов листвою и стволами деревьев, препятствиями дорожной инфраструктуры, в условиях влияния многолучевости, затенений из-за находящихся рядом на дороге автомобилях геометрический фактор PDOP может достигать больших значений (в рассматриваемом случае – до 74). PDOP определяет, во сколько раз увеличиваются погрешности оценивания координат объекта по сравнению с погрешностями измерения навигационного параметра (например, кодовых псевдодальностей). Так, если PDOP не превышает 6 (принятая типовая граница достижения удовлетворительной доступности ГНСС и точности позиционирования), то при погрешностях кодовых псевдодальностей $\sim 0,5$ м погрешности координат составят в плане 1–2 м и 2–3 м по высоте. В нашем случае в моменты времени достижения PDOP пиковых значений (рис. 7) погрешности навигационных определений достигают нескольких десятков метров, что подтверждается оценками приемника в реальном времени на рис. 8. На рис. 6 и рис. 7 также видно несколько участков наблюдений, где число «видимых» спутников достигает десяти, а значение PDOP не превышает 2–10. Эти данные соответствуют открытым участкам местности, например, участки маршрута 4, 12 и 7, 9, которые соответствуют дамбе на пр. Ленина и мосту на ул. Ахсарова соответственно. Подсчет для данной сессии эпох с «плохим» PDOP > 6 показал, что определения с неудовлетворительной точностью составляют $\sim 20\%$ от общего количества данных. Иначе говоря, только $\sim 80\%$ эпох характеризуются удовлетворительной точностью навигационных определений уровня $\sim 1-2$ м (в плане) при условии, что геометрическая конфигурация рабочего созвездия удовлетворительна (PDOP < 6).

5. АПОСТЕРИОРНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ НА СТАТИЧЕСКОМ УЧАСТКЕ НАБЛЮДЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЯ

Поскольку эталонную траекторию с использованием фазовых наблюдений получить не удалось, апостериорная оценка точности координатного решения в дифференциальном и абсолютном режимах позиционирования была получена на статическом участке наблюдений. Для этого был выбран участок наблюдений во время остановки (~ 30 с) перед светофором на перекрестке пр. Ленина и ул. Новгородской. На этом участке текущие координаты автомобиля (приемной антенны) были усреднены и затем оценены их разбросы (погрешности) относительно средних значений. Разбросы координат в плане (B , L) и высоте H (B – по направлению «Север-Юг», L – по направлению «Запад-Восток», H – эллипсоидальная высота) в абсолютном и дифференциальном режимах навигационных определений представлены на рис. 12 и 13.

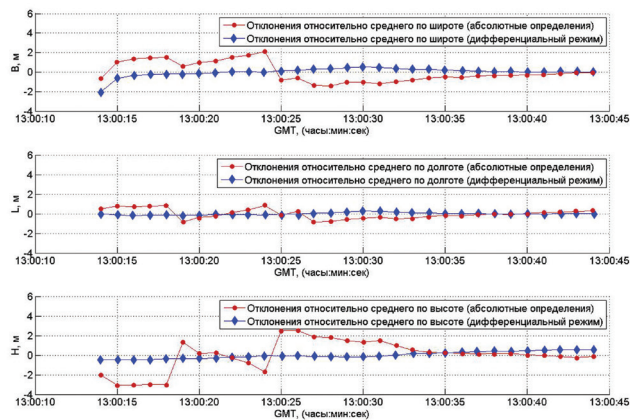


Рис. 12. Разбросы координат (в метрах) в плане (B , L) и высоте H на участке кратковременной остановки автомобиля для абсолютного и дифференциального режимов навигационных определений

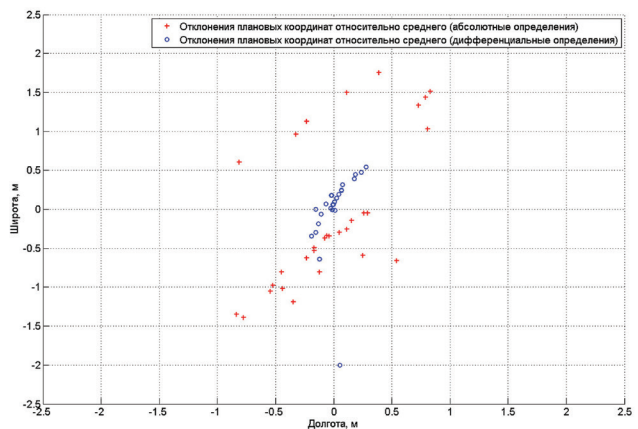


Рис. 13. Разбросы координат (в метрах) в плане (B , L) на участке кратковременной остановки автомобиля для абсолютного и дифференциального режимов навигационных определений

Как следует из анализа приведенных результатов, разбросы координат неподвижного объ-

екта, полученных в дифференциальном режиме определений, находятся в пределах нескольких дециметров ($PDOP \approx 2$), в то время как разбросы координат объекта, полученных в автономном (недифференциальном) режиме, достигают $\sim 2 \div 3$ м ($PDOP \approx 2$). Приведенный пример наглядно иллюстрирует существенное повышение точности дифференциальных навигационных определений, что является одним из способов преодоления проблем спутникового позиционирования в условиях городской застройки.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Выполненные в ходе эксперимента навигационные кинематические GPS-определения подтвердили заметное снижение качества GPS-навигации в городских условиях (городские «каньоны», множественные переотражения GPS сигналов и их ослабление листвой деревьев).

Анализ результатов навигационных кинематических GPS-определений, полученных в типичных городских условиях, показал, что значительная часть ($\sim 20\%$) данных являются неудовлетворительными по доступности и точности, что не позволяет получать надежное высокоточное фазовое навигационное решение (на сантиметровом уровне точности). Это обусловлено, главным образом, ухудшением условий радиовидимости в ходе проведения измерений из-за затенения спутниковых сигналов зданиями, деревьями, проезжающим транспортом и др. Кроме того, необходимо отметить, что чувствительность (минус 160 дБВт) данного типа GPS-приемников для работы в городских условиях недостаточна.

Подтверждено, что дифференциальный режим определений позволяет приблизительно в 2–5 раз уменьшить погрешности кодового навигационного решения по сравнению с автономным режимом до уровня $\sim 1\text{--}2$ м при условии, что геометрическая конфигурация рабочего созвездия удовлетворительна ($PDOP < 6$). Использование дифференциального режима является одним из способов преодоления проблем спутникового позиционирования в городских условиях.

В условиях городской застройки и зеленых насаждений для существенного увеличения доступности ГНСС рекомендуется использовать аппаратуру для приема навигационных сигналов нескольких систем (GPS, ГЛОНАСС и др.), а также использовать приемники с повышенной чувствительностью (минус 180–190 дБВт). Использование аппаратуры GPS+ГЛОНАСС существенно снизит вероятность «плохой» конфигурации рабочего созвездия с величиной параметра геометрического ухудшения точности $PDOP > 6$.

Интегрирование измерений ГНСС+ИНС является необходимым не только для обеспечения навигационного решения удовлетворительного качества при потере радиовидимости и слежения за достаточным количеством спутников ГНСС (потеря доступности ГНСС), но и для

повышения точности и надежности совместного интегрированного навигационного обеспечения (например, при «плохом» геометрическом факторе PDOP или при наблюдении меньше необходимого числа спутников) в неблагоприятных городских условиях.

Созданный экспериментальный макет для отработки методов и алгоритмов спутниковой навигации подвижных объектов подтвердил работоспособность, возможность проведения и регистрации GPS-измерений на борту подвижных транспортных средств (включая регистрацию принимаемых средствами мобильного Internet дифференциальных коррекций). Макет планируется дополнить инерциальными MEMS-датчиками для экспериментальной отработки методов и алгоритмов интегрирования измерителей с различными принципами построения и функционирования.

Для наиболее объективной апостериорной оценки точности навигационных определений в любом из рассмотренных вариантов построения бортового оборудования транспортных средств необходимо получение кинематического фазового решения сантиметрового уровня точности. Для этого целесообразно включить в состав бортового оборудования транспортного средства дополнительный двухчастотный многосистемный (GPS+ГЛОНАСС+Beidou/Compass+Galileo) приемник геодезического класса с возможностью кинематического RTK-позиционирования (RTK – Real Time Kinematic) в реальном времени с подключением основного (тестируемого) и эталонного ГНСС-приемников к одной приемной антенне через сплиттер. Такой способ получения опорной (точной) траектории объекта успешно использовался ранее сотрудниками ХНУРЭ и ГАО НАНУ в ходе выполнения международных проектов «EEGS» и «EEGS-2» в рамках европейской программы FP7 в 2010–2013 гг.

Литература

- [1] Гофман-Велленгоф Б., Лихтенеггер Г., Коллинз Д. Глобальная система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика. – Київ: Наукова Думка, 1996. – 380 с.
- [2] US Department of Transportation, Radionavigation Systems Task Force. A Report to the Secretary of Transportation (Appendix D. Agency Requirements & System Capabilities Analysis), January 2004. – 134 p.
- [3] Titterton David H., Weston John L. Strapdown Inertial Navigation Technology – 2nd Edition – The Institution of Electrical Engineers, 2004. – 581 p.
- [4] Жалило А.А., Желанов А.А., Шелковенков Д.А., Дицкий И.В., Бессонов Е.А. Совместные текущие разработки и исследования ХНУРЭ и ГАО НАН Украины в области точного ГНСС-позиционирования / Труды 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», 18–21 октября 2011, Харьков. – Т. 1, ч. 2. – С. 18–20.

Поступила в редколлегию 02.02.2016



Дохов Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор, заместитель проректора по научной работе ХНУРЭ, Область научных интересов: радиолокация, спутниковая навигация.



Жалило Алексей Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник НИЦ ИИРЭСТ, ХНУРЭ. Область научных интересов: высокоточное позиционирование и навигация по сигналам ГНСС.



Бессонов Евгений Андреевич, кандидат технических наук, м.н.с., ХНУРЭ. Область научных интересов: высокоточное позиционирование и навигация по сигналам ГНСС.



Дицкий Игорь Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист, РадмирТех. Область научных интересов высокоточное позиционирование и навигация по сигналам ГНСС



Катюшина Елена Владимировна, старший научный сотрудник НИЦ ИИРЭСТ, ХНУРЭ. Область научных интересов: навигация с использованием сигналов ГНСС, безопасность дорожного движения.



Лукьянова Ольга Алексеевна, научный сотрудник НИЦ ИИРЭСТ, ХНУРЭ. Область научных интересов: навигация с использованием сигналов ГНСС, безопасность дорожного движения.

УДК 629.783.527

Проведення вимірювань та оцінка якості навігаційних кінематичних GPS-визначень у міських умовах / О. І. Дохов, О. О. Жалило, І. В. Дицкий, Є. А. Бессонов, О. В. Катюшина, О. О. Лук'янова // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2016. — Том 15. — № 1. — С. 3–10.

Наведено результати експериментальної оцінки якості навігаційних GPS-визначень в міських умовах. В результаті проведених експериментів підтверджено помітне погіршення якості GPS-навігації в умовах міських «каньйонів» і поблизу зелених насаджень — значна частина (~20%) експериментальних результатів є незадовільними за такими характеристиками, як доступність і точність навігаційних визначень. Для забезпечення навігаційного рішення задовільної якості в міських умовах необхідно використовувати як інтегрування супутникових та інерціальних навігаційних систем, так і багатосистемні супутникові приймачі. Показано, що для відпрацювання методів і алгоритмів навігаційних визначень створений макет, який дозволяє здійснювати і реєструвати автономні і диференціальні GPS-вимірювання на борту рухомих транспортних засобів. Надалі макет буде доповнений інерціальними MEMS-датчиками і дозволить виконати експериментальне відпрацювання і дослідження характеристик інтегрованої навігаційної системи.

Ключові слова: глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС/GPS), диференціальний режим позиціонування, інтегрована навігаційна система, інерціальна навігаційна система (ІНС).

Табл.: 01. Іл.: 13. Бібліогр.: 04 найм.

UDC 629.783.527

Carrying out of measurements and quality evaluation of navigation kinematic GPS-positioning in urban environment / A. I. Dokhov, A. A. Zhalilo, I. V. Ditskiy, E. A. Bessonov, E. V. Katiushina, O. A. Lukyanova // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2016. — Vol. 15. — № 1. — P. 3–10.

The results of the experimental evaluation of GPS-positioning quality in urban environment are presented. The experiments proved significant deterioration of GPS-positioning quality in urban «canyons» and near green plantations — a significant portion (~ 20%) of the experimental results are not satisfactory in such characteristics as availability and positioning accuracy. To provide navigation solutions of satisfactory quality in urban areas it is necessary to use both the integration of satellite and inertial navigation systems and multi-system satellite receivers. It is shown that for the improvement of methods and algorithms for navigation determinations a prototype was created that enables to perform and record autonomous and differential GPS-measurements on board the moving vehicles. In the future the prototype will be supplemented with inertial MEMS-sensors and will perform the researches and experimental testing of the integrated navigation system characteristics.

Keywords: global navigation satellite systems (GNSS/GPS), differential positioning mode, integrated navigation system, inertial navigation system (INS).

Tab.: 01. Fig.: 13. Ref.: 04 items.