

На правах рукописи

Чистякова Светлана Сергеевна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И
КОРРЕКЦИИ СКАЧКОВ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОСАДКИ ЛАТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ
СИСТЕМЫ

05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2008

Диссертация выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Юрченко Юрий Семенович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Иванцевич Наталья Вечеславовна

Кандидат технических наук
Гутин Виталий Семенович

Ведущая организация: ОАО «Российский институт
радионавигации и времени»

Защита состоится «__» декабря 2008г. в __ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.03 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова(Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан " __ " _____ 2008 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций

Баруздин С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Спутниковые навигационные системы находят широкое применение во всех отраслях человеческой деятельности, в том числе и в авиации. Устоявшейся практикой является применение спутниковой навигации на этапе крейсерского полёта, когда требования к точности работы навигационной системы не столь высоки, как при маневрировании в зоне аэродрома и заходе на посадку. Новым этапом использования спутниковых навигационных систем является автоматизация захода на посадку с их помощью.

В настоящее время для обеспечения посадки воздушных судов гражданской авиации преимущественно используются специализированные радиотехнические инструментальные системы посадки метрового диапазона радиоволн типа ILS и сантиметрового диапазона – типа MLS.

Общими недостатками таких систем являются: высокая стоимость системы и последующие эксплуатационные расходы; необходимость сложной инженерной подготовки местности в районе установки наземных радиомаяков; обслуживание одним комплектом наземного оборудования только одного направления взлетно-посадочной полосы.

Современная концепция технической модернизации средств навигации на период с 2006 по 2015 гг., предлагаемая Федеральной службой воздушного транспорта России, предполагает постепенный переход к использованию глобальной навигационной спутниковой системы в качестве основного средства на всех этапах полета вплоть до автоматического захода на посадку летательного аппарата. Для удовлетворения требований Международной Организации Гражданской Авиации (ИКАО) к системе спутниковой посадки I-ой категории необходимо использовать наземные системы функционального дополнения глобальной навигационной спутниковой системы на базе локальных контрольно-корректирующих станций.

Применение глобальной навигационной спутниковой системы с локальными контрольно-корректирующими станциями позволит снизить затраты на обслуживание воздушного движения за счет замены разнотипного оборудования едиными средствами обеспечения всех этапов полета летательного аппарата, включая категорированный заход на посадку. Поскольку эффективная дальность действия

локальной контрольно-корректирующей станции составляет десятки километров, то одна станция позволяет обслуживать все взлетно-посадочные полосы аэродрома.

К настоящему времени в РФ из более чем 1000 аэродромов, находящихся в эксплуатации в гражданской авиации, лишь около 70 оснащены радиотехническими системами инструментальной посадки. Относительно невысокая стоимость бортового оборудования глобальной навигационной спутниковой системы и наземного оборудования локальной контрольно-корректирующей станции позволит эффективно решить задачу оснащения аэродромов. При заходе летательного аппарата на посадку по I категории ICAO к бортовому навигационному оборудованию летательного аппарата предъявляется ряд требований, в том числе:

– точность определения местоположения летательного аппарата должна быть не хуже 16 м (95%) в горизонтальной плоскости и 6 м (95%) в вертикальной;

– вероятность отсутствия предупреждения о недопустимом снижении точности за время посадки (риск потери целостности) должна быть не более $2 \cdot 10^{-7}$ за время посадки.

Требуемая точность определения местоположения летательного аппарата может быть достигнута в дифференциальном режиме работы бортового оборудования глобальной навигационной спутниковой системы при получении дифференциальных данных по радиоканалу от локальной контрольно-корректирующей станции, установленной в районе аэродрома. С целью уменьшения случайных ошибок, возникающих в кодовых каналах измерения псевдодальностей в наземном и бортовом оборудовании, авиационные требования предписывают объединять их с фазовыми измерениями псевдодальностей. Однако, фазовые измерения псевдодальностей содержат скачки, возникающие при срывах в схеме слежения за несущей в приемоизмерителе. Скачки фазовых измерений способны значительно ухудшить результат определения местоположения летательного аппарата. Поэтому необходимо разработать и исследовать методы обнаружения и коррекции скачков фазовых измерений в системе инструментальной посадки летательных аппаратов с использованием глобальной навигационной спутниковой системы.

Цель работы. Разработка и исследование алгоритмов обнаружения и коррекции скачков фазовых измерений псевдодальностей в бортовых и наземных

приемоизмерителях сигналов глобальной навигационной спутниковой системы для системы спутниковой посадки летательных аппаратов.

Основные методы исследования. Для решения поставленной задачи применялись методы статистической радиотехники и статистической теории радионавигации, математического и статистического моделирования. Экспериментальные исследования выполнены методом полунатурного и натурного моделирования с использованием записей реальных сигналов навигационных приемоизмерителей в глобальной навигационной спутниковой системы.

Научная новизна состоит в разработке метода обнаружения скачков фазовых измерений, основанного на отказоустойчивой фильтрации, и разработке метода коррекции скачков фазовых измерений пригодных для обнаружения и коррекции одиночных и совместных скачков фазовых измерений псевдодальностей наземного и бортового приемоизмерителей сигналов глобальной навигационной спутниковой системы.

Основные положения, выносимые на защиту:

–Алгоритм обнаружения одиночных и совместных скачков фазовых измерений псевдодальностей в наземной многоканальной аппаратуре глобальной навигационной спутниковой системы при использовании её в спутниковой системе посадки летательных аппаратов.

–Алгоритм обнаружения скачков фазовых измерений псевдодальностей в бортовом оборудовании глобальной навигационной спутниковой системы летательного аппарата при решении задачи спутниковой посадки летательных аппаратов с использованием данных инерциальной навигационной системы.

–Алгоритм компенсации скачков фазовых измерений псевдодальности для наземной и бортовой аппаратуры спутниковой системы посадки летательных аппаратов с использованием глобальной навигационной спутниковой системы.

–Способ посадки летательных аппаратов с использованием глобальной навигационной спутниковой системы для системы спутниковой посадки с коррекцией скачков фазовых измерений псевдодальностей спутниковых приемоизмерителей.

Практическая ценность работы состоит в решении задачи повышения точности определения местоположения летательного аппарата по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы, и как следствие, точности формирования данных для наведения на точный заход на посадку в рамках

требований к системам посадки I категории ИКАО. Разработанные алгоритмы реализованы в программном обеспечении, используемом в полунатурных стендах наземного и бортового оборудования спутниковой системы посадки летательных аппаратов.

Достоверность результатов работы подтверждается аналитическими расчетами, данными полунатурного и натурного моделирования.

Внедрение результатов работы осуществлено ЗАО «ВНИИРА–Навигатор» (г. Санкт-Петербург) при разработке наземного и бортового оборудования спутниковой системы посадки, предназначенного для повышения безопасности посадки летательных аппаратов на аэродромах, оборудованных локальными контрольно-корректирующими станциями.

Апробация работы Основные положения диссертационной работы представлялись и обсуждались на:

– юбилейной 60-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио, С.-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005 г.;

61-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио, С.-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006 г.;

62-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио, С.-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007 г.;

– 9-й конференции молодых ученых "Навигация и управление движением", СПб, ГНЦ ЦНИИ «Электроприбор», 2007 г.

– научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006 – 2008 гг.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 5 работах, среди которых 2 статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, а также материалы 3 докладов научно-технических конференций, перечисленных в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав с выводами и практическими рекомендациями, заключения, изложена на 138 страницах, в том числе 85 страницах машинописного текста, включает 74 рисунков, 3 таблицы, и содержит список литературы из 44 наименований, среди которых 26 – отечественных и 18 – иностранных авторов.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определено направление исследований, обоснована их актуальность, сформулирована цель диссертационной работы, отмечена её практическая значимость.

Объектом исследования является наземное и бортовое навигационное оборудование, работающее по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Текущие координаты летательного аппарата (ЛА) определяются по ориентации относительно нескольких навигационных спутников с известными координатами. Для этого производят прием сигналов спутников с помощью бортового приемоизмериеля (ПИ) и определяют бортовые псевдодальности. Одновременно с помощью наземного ПИ производят прием сигналов спутников на локальной контрольно-корректирующей станции (ЛККС) с известным местоположением и определяют наземные псевдодальности. Оценивают ошибки измерения псевдодальностей и транслируют их на борт ЛА через линию передачи данных в виде дифференциальных поправок к псевдодальностям. Учет дифференциальных поправок на борту при решении навигационной задачи позволяет повысить точность определения местоположения ЛА.

С целью уменьшения случайных ошибок, возникающих в канале измерения псевдодальности как бортового, так и наземных ПИ, в соответствии с авиационными требованиями ИКАО и квалификационными требованиями (КТ) Межгосударственного Авиационного Комитета, выполняется объединение кодовых и фазовых измерений псевдодальностей с помощью алгоритма, который может быть записан в следующем виде:

$$\begin{cases} PR_{f,i}(k) = PR_{f,i}(k-1) + \Delta P_i(k) + B(PR_i(k) - PR_{f,i}(k-1) - \Delta P_i(k)) \\ \Delta P_i(k) = P_i(k) - P_i(k-1) \end{cases}, \quad (1)$$

где: $PR_{f,i}(k)$ - уточненная псевдодальность, $PR_i(k)$ - кодовое измерение, $\Delta P_i(k)$ - разность фазовых измерений на текущем k и предыдущем $k-1$ временном шаге, $i = 1, 2, \dots, M$ - индекс спутника из наблюдаемого созвездия размером M , B - весовой коэффициент фильтра, $k = 1, 2, \dots$ - дискретное время. Весовой коэффициент фильтра B определяется постоянной времени фильтра T_f (для бортового и наземного оборудования в системах спутниковой посадки $T_f = 100$ с) и интервалом временной

дискретизации T_s : $B = T_s / T_f$. Использование алгоритма (1) основано на том, что случайные ошибки фазовых измерений намного меньше, чем ошибки псевдодальномерных измерений. На эквивалентной схеме алгоритма, приведенной на рис. 1 видно, что измерения псевдодальности $PR_i(k)$ подвергаются низкочастотной фильтрации в RC-фильтре.

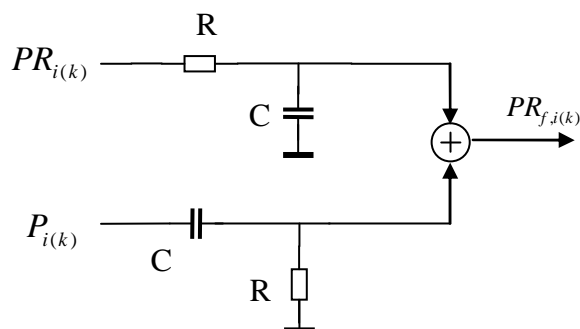


Рис. 1 Эквивалентная схема кодо-фазового фильтра

В то же время быстрые флюктуации фазовых измерений $P_i(k)$ проходят на выход фильтра без ослабления. При нормальной работе в ПИ схемы слежения за несущей случайные фазовые ошибки не могут существенно повлиять на точность формирования величины $PR_{f,i}(k)$. Однако скачки фазовых измерений при срывах слежения передаются на выход $PR_{f,i}(k)$ без ослабления и создают переходный процесс экспоненциальной формы с постоянной времени 100 с. Этот дефект затем передается в кодовую коррекцию и уточненное измерение псевдодальности, используемое при определении координат ЛА.

Первая глава посвящена исследованию влияния скачков фазовых измерений псевдодальностей на оценку вектора координат ЛА.

В системе спутниковой навигации используют итерационные методы решения навигационной задачи, основанные на статистической обработке избыточного числа измерений, что позволяет сглаживать случайные составляющие погрешности измерений. При этом для решения навигационной задачи обычно используется метод наименьших квадратов (МНК).

Алгоритм формирования оценки вектора координат с применением кодово-фазового фильтра и МНК приведен на рис. 2. Кодовые $PR_{m,1}$ и фазовые P_i измерения для i -го спутника поступают на входы фильтров Φ , работающих в

соответствии с алгоритмом (1). На выходе Φ получают фильтрованные псевдодалности PRf_i , принимающие участие в решении навигационной задачи – формировании оценки вектора координатно-временного параметра $\hat{X} = \{ \hat{x}, \hat{y}, \hat{z}, \hat{t} \}$.

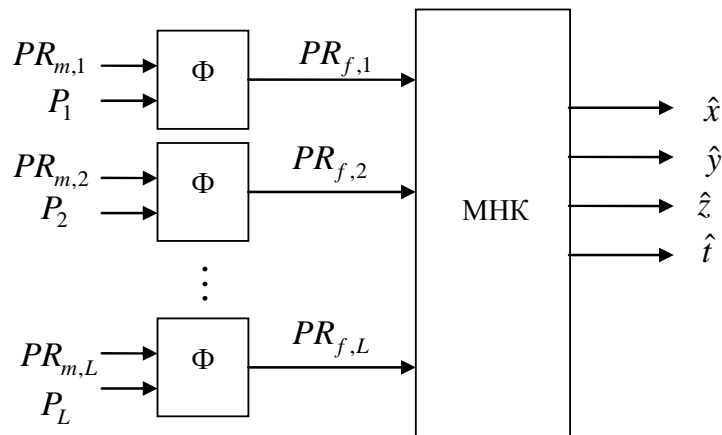


Рис. 2 Блок схема алгоритма формирования оценки вектора координатно-временного параметра в спутниковом ПИ

Особенностью алгоритма МНК является то, что по отношению к скачкам фазовых измерений, он является усилителем с коэффициентом передачи, который, в конце итерационного цикла, может принимать значение больше единицы.

Проведенные исследования показывают, что наибольшее значение коэффициента передачи фазового скачка наблюдается при скачке фазового измерения у спутника с большим углом места и при малом числе наблюдаемых спутников, а также при плохом геометрическом факторе. Например, при моделировании задачи с пятью спутниками и пространственным геометрическим фактором 5,2 наблюдался коэффициент передачи скачка фазового измерения 3,7 при определении высоты. В этом случае при скачке фазового измерения в 2 м ошибка определения высоты составит $3,7 \cdot 2 = 7,4$ м, что недопустимо в системе спутниковой посадки ЛА.

Во второй главе рассмотрены возможные причины возникновения скачков фазовых измерений псевдодалностей и предложено классифицировать скачки по причине их возникновения.

Одной из возможных причин появления скачков фазовых измерений псевдодалностей могут быть перескоки рабочей точки дискриминационной характеристики системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) вследствие влияния шумов радиоканала. В работе выполнен расчет теоретической вероятности

появления перескоков рабочей точки дискриминационной характеристики для различных шумовых полос системы ФАПЧ второго порядка. При работе с сигналами спутников, отношение сигнал/шум которых выше 30 дБГц (значение, рекомендуемое авиационными стандартами ICAO и КТ для режима посадки), вероятность перескоков рабочей точки дискриминационной характеристики за время посадки (150 сек) составляет: $2 \cdot 10^{-9}$ для системы ФАПЧ с шумовой полосой 5 Гц, $8 \cdot 10^{-8}$ для системы ФАПЧ с шумовой полосой 50 Гц. В работе сделан вывод, что такие величины вероятностей не могут привести к существенным ухудшениям при работе со спутниковыми сигналами, отношение сигнал/шум которых выше 30 дБГц.

Проведенное экспериментальное исследование выявило возможность появления эффектов радиоинтерференции и срывов слежения системы ФАПЧ в бортовом спутниковом ПИ при работе мощных бортовых импульсных передатчиков дальномерного канала радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) или бортового ответчика системы вторичной локации, если излучаются сигналы вблизи половины центральной частоты диапазона L1. Работоспособность спутникового ПИ оценивалась по качеству формирования координат (X,Y,Z) в геодезической прямоугольной системе координат (ECEF). Так, например, на рис.3 приведены измеренные ПИ ГНСС координаты (X,Y,Z) при работе аппаратуры РСБН. ПИ сохранял свою работоспособность при работающем вблизи передатчике аппаратуры РСБН, однако его точностные характеристики ухудшились.

Для сравнения на рис.4 представлены оценки ECEF-координат, полученные тем же ПИ ГНСС, в отсутствие работающего вблизи мощного передатчика аппаратуры РСБН. Из рис. 4 видно, что оценки плановых координат (X и Y) флюктуируют в пределах 1-2 метров, а координаты Z – в пределах 2-4 метров.

Скачки фазовых измерений наблюдаются также из-за аппаратно – программных ограничений при реализации ПИ ГНСС. Система слежения за задержкой кода в ПИ ГНСС оценивает временное запаздывание в пределах миллисекунды (длительность открытого кода C/A). При переключении схемы слежения к другой миллисекунде возможно появление сбоя. Эффект появления сбоя иллюстрируется на рис. 5 поведением сдвига временных шкал ПИ и ГНСС, (показаны измерения по 5 спутникам). Размах «пилы» равен 1мс, а наклон «пилы» определяется скоростью ухода фазы напряжения кварцевого генератора и различается у разных образцов ПИ.

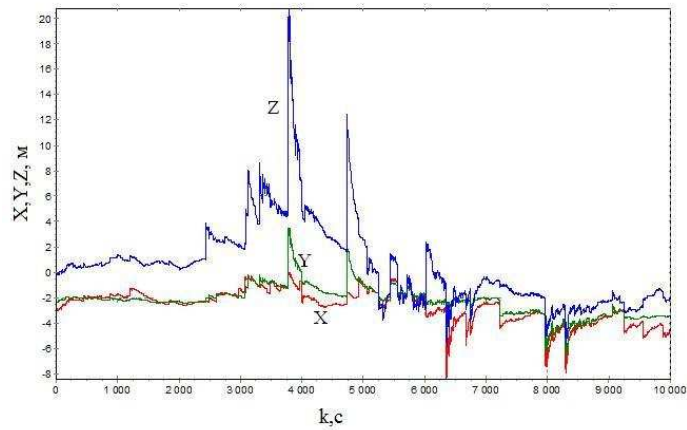


Рис. 3 Временная зависимость измеренных ПИ ГНСС координат (X,Y,Z) при работе передатчика аппаратуры РСБН

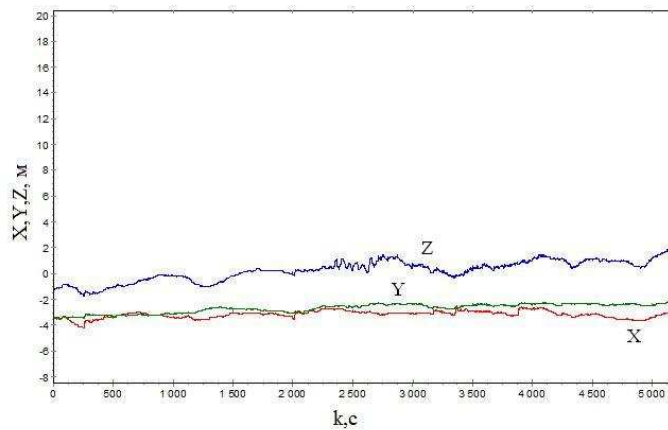


Рис. 4 Временная зависимость измеренных ПИ ГНСС координат (X,Y,Z) в отсутствие передатчика аппаратуры РСБН

Момент обратного хода «пилы» во многих моделях ПИ сопровождается скачками фазовых измерений, передающимися в первую разность фазовой поправки. Эти сбои фазы не зависят от отношения сигнал/шум и не контролируются монитором целостности, рекомендуемым стандартом ICAO. В среднем, среди наблюдаемых ПИ период появления сбоя составлял величину ~ 1800 сек. Вероятность появления такого сбоя при решении задачи посадки (за 150 секунд) в среднем среди наблюдаемых ПИ составляет $\sim 0,08$, что значительно превышает предъявляемый нормами целостности риск неконтролируемого сбоя ($2 \cdot 10^{-7}$) в системе спутниковой посадки ЛА.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее вероятными причинами возникновения скачков фазовых измерений

псевдодальностей являются эффект радиоинтерференции и аппаратно – программные ограничений при реализации ПИ ГНСС.

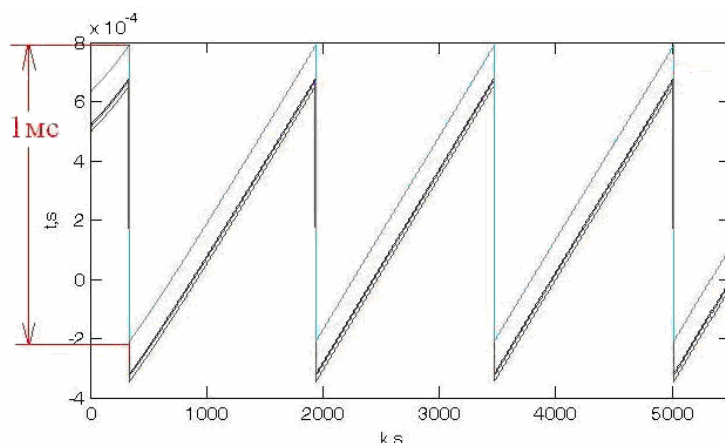


Рис. 5 Временная зависимость временного сдвига временных шкал ПИ и ГНСС

В третьей главе предложены и исследованы алгоритмы обнаружения и компенсации скачков фазовых измерений в наземном оборудовании ЛККС.

С целью повышения эффективности обнаружения скачков фазы в наземном оборудовании ЛККС (с известной дальностью $R_i(k)$ между станцией и i -м спутником) осуществлен переход от фазового измерения, обладающего высокой скоростью изменения к менее скоростному процессу – фазовой поправке $PC_i(k)$:

$$PC_i(k) = R_i(k) - P_i(k) - t_{sv_gnss}(k),$$

где: $t_{sv_gnss}(k)$ - сдвиг временных шкал ПИ и ГНСС.

Обнаружение скачков фазовых измерений в наземном оборудовании ЛККС осуществляется отказоустойчивым нелинейным фильтром. При этом система рассматривается как система с нарушениями функционирования, а отказ системы - это появление выброса. Переход от скачков к выбросам производится с усреднением фазовых поправок по всему наблюдаемому созвездию спутников и формированием первой разности усредненной фазовой поправки $dPC_i(k)$. Величина $dPC_i(k)$ не содержит шума опорного генератора ПИ потребителя, который в недорогих ПИ существенно превышает случайную ошибку ФАПЧ, создаваемую шумами.

Обнаружения скачков фазовых измерений алгоритмом, сводится к определению области $\Omega = [-y_{nop}, y_{nop}]$ «хороших» значений наблюдаемых измерений. Для этого вычисляют верхний и нижний пороговые значения $\pm y_{nop}(k)$:

$$\pm y_{\text{нор}}(k) = \hat{x}(k-1) \pm \xi_1(k) \sqrt{2 \ln \left[\frac{q\varepsilon}{[1-\varepsilon](1-q)} \frac{\xi_\sigma(k)}{\xi_1(k)} \right]}, \quad (4.2)$$

где: $\hat{x}(k-1)$ - оценка первой разности усредненной фазовой поправки, q - вероятность исправной работы канала измерения, $\varepsilon > 0$ - малое наперед заданное число, на которое величина апостериорной вероятности исправного состояния канала измерения отличается от единицы, ξ_L , - среднеквадратические отклонения наблюдаемых процессов, $L = 1$ в случае исправной работы канала измерения $L = \sigma$ в случае наличия ошибок в канале измерения; $\xi_L^2 = P(k-1) + Q + L^2 R$, $P(k-1)$ - дисперсия ошибок экстраполяции, Q и R - дисперсии шумов возмущений и измерений соответственно. В случае если текущее значение первой разности фазовой поправки $dPC_i(k)$ попадает в область Ω принимается решение об отсутствии скачка в фазовом измерении $P_i(k)$ и оценка $\hat{x}(k)$ рассчитывается как:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k-1) + K1(k)[dPC_i(k) - \hat{x}(k-1)],$$

где: $K1(k)$ - коэффициент усиления фильтра, определяемый выражением.

На рис. 6 сплошной линией показаны первые разности усредненных фазовых поправок $dPC_i(k)$ для пяти спутников. При выходе первых разностей фазовых поправок за пороги обнаружения (на рис. 6 показаны пунктирной линией) принимается решение об обнаружении скачков фазовых измерений.

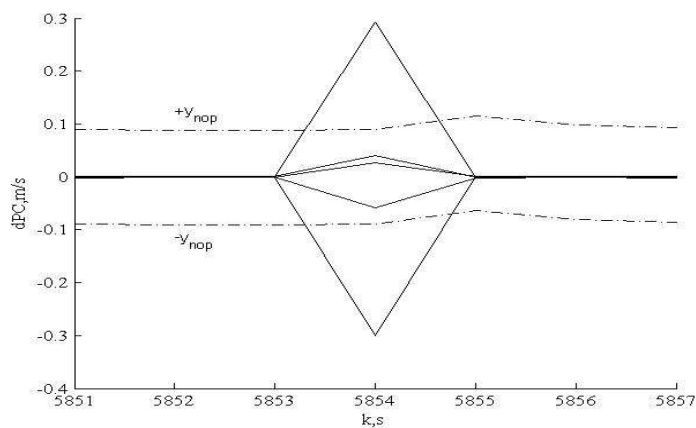


Рис.6 Временные зависимости первых разностей усредненных фазовых поправок пяти спутников совместно с порогами обнаружения

Обнаруженные скачки фазовых измерений устраняются алгоритмом компенсации фазовых скачков основанном на особенности формирования

дифференциальных данных. Для этого вычисляются поправки $\vartheta_i(k)$ для всех наблюдаемых спутников:

$$\vartheta_i(k) = \begin{cases} \vartheta_i(k-1), & \text{если } dPC_i(k) \in \Omega \\ \vartheta_i(k-1) + dPC_i(k) - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M dPC_j(k), & \text{если } dPC_i(k) \notin \Omega \end{cases}$$

Фазовое измерение $Pf_i(k)$ с устраненным скачком, определяется как:

$$Pf_i(k) = P_i(k) + \vartheta_i(k)$$

Предложенные алгоритмы обнаружения и компенсации скачков функционируют как при одиночных, так и при совместных скачках фазовых измерений в нескольких каналах измерения ПИ ГНСС.

В четвертой главе исследован алгоритм обнаружения и коррекции фазовых скачков на борту летательного аппарата при использовании данных от инерциальной навигационной системы (ИНС).

В бортовом оборудовании ГНСС нельзя определить дальность от ЛА до спутника с точностью, необходимой для формирования фазовой поправки, используемой алгоритмом обнаружения скачков фазовых измерений. В ходе исследования выявлено, что для определения скачков фазовых измерений можно использовать координаты ЛА, вырабатываемые ИНС. Погрешности ИНС, вызываемые смещением нуля акселерометра, неточностью масштаба акселерометра, начальным отклонением платформы по уровню и дрейфом гироскопа, создают ошибку измерения скорости, которая суммируется с первой разностью фазовой поправки. Это вызывает смещение порогов обнаружения $\pm u_{nop}(k)$ и увеличение вероятности ложных обнаружений. На рис. 7 приведена первая разность фазовой поправки $dPC(k)$ при добавлении ошибки измерения скорости ИНС. В работе показано, что при увеличении вероятности ложной тревоги до уровня $2 \cdot 10^{-4}$, ошибка ИНС по скорости не должна превышать 30,5 м/с. Исследовано влияние дискретизации сигнала ИНС. Показано, что наличие шума квантования приводит к увеличению суммарного СКО первой разности бортовой фазовой поправки. В результате проведенных исследований в работе выявлено, что при вероятности ложной тревоги алгоритма обнаружения скачков фазовых измерений составляющей $2 \cdot 10^{-4}$ и погрешности скорости ИНС 10 м/с величина среднеквадратического отклонения шума

квантования аналого-цифрового преобразователя скорости ограничена уровнем 0,018 м/с.

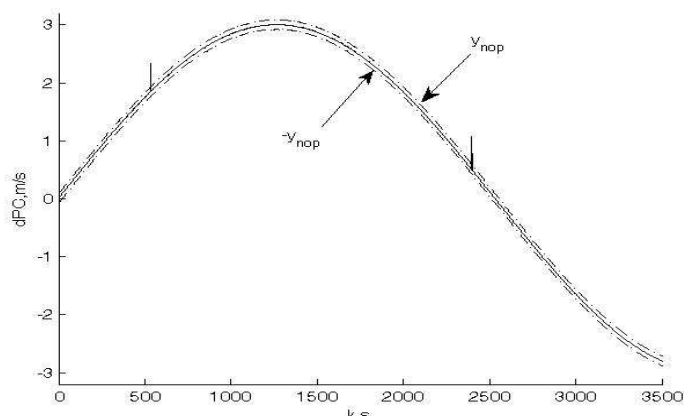


Рис. 7 Временная зависимость первой разности фазовой при добавлении ошибки измерения скорости ИНС

Пятая глава посвящена экспериментальной проверке работоспособности алгоритмов обнаружения и компенсации скачков фазовых измерений псевдодальностей в наземном оборудовании ЛККС и бортовом оборудовании ЛА на примере системы посадки ЛА с использованием ГНСС при коррекции скачков фазовых измерений псевдодальностей спутникового ПИ.

Предлагаемая система посадки ЛА отличается от известной наличием блоков, позволяющих формировать уточненные псевдодальности наземного и бортового ПИ по фазовым измерениям с компенсированными скачками. Для системы характерна симметричность структуры, формирующей уточненные псевдодальности для наземного и бортового ПИ.

В работе предложена схема построения программного обеспечения, позволяющая формировать дифференциальную информацию по измерениям от одного до четырех ПИ.

С помощью полунатурного и натурного эксперимента подтверждена работоспособность алгоритмов обнаружения и коррекция одиночных и совместных скачков в фазовых измерениях наземного и бортового оборудования системы инструментальной посадки с использованием ГНСС. На рис. 8 показаны изменения координат в плоскости yz . В течение сеанса наблюдения непрерывно наблюдалось созвездие из пяти спутников, длительность записи 10694с, координаты с компенсированными скачками фазы показаны маркерами серого цвета, значения

координат, определенные по данным без коррекции скачков фазы, выделены более темным цветом.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что в системе инструментальной посадки с использованием ГНСС при формировании координат летательного аппарата по данным с устраненными скачками фазовых измерений псевдодальностей наземного и бортового ПИ среднеквадратические отклонения координат (X, Y,Z) могут уменьшаться на 20% – 25%.

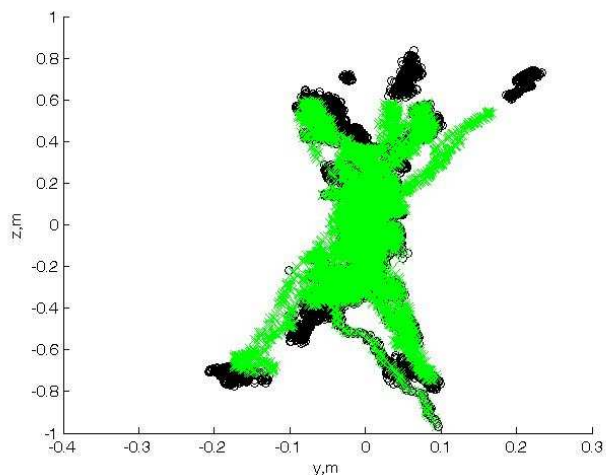


Рис.8 Изменение координат неподвижного потребителя в плоскости yz с компенсацией и без компенсации скачков фазовых измерений

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Проведено исследование влияния скачков фазовых измерений псевдодальностей в ПИ ГНСС на точность измерения положения летательного аппарата. Показано, что при высоком значении геометрического фактора, при малом числе наблюдаемых спутников а так же при скачке фазового измерения у спутника с большим углом места возможно появление скачков измерения высоты ~3-4м, что недопустимо при точном заходе на посадку.
2. Проведенные экспериментальные исследования приемоизмерителя глобальной навигационной спутниковой системы показали:
 - возможность появления интерференции при работе бортовых систем с мощными передатчиками типа дальномерной системы ближней навигации (РСБН) или ответчика вторичной радиолокации. При работе передатчика РСБН вблизи половины центральной частоты диапазона L1 происходит ухудшение точности

определяемых координат. В проведенном эксперименте флюктуация координаты Z возрасла с 3м до 12м, флюктуация координат X и Y увеличилась с 1-2м до 6м.

– возможность возникновения скачков фазового измерения из-за неточностей в реализации программно-аппаратного обеспечения аппаратуры потребителя. Показано, что такие скачки возникают одновременно в нескольких каналах приема и имеют различную амплитуду. При решении задачи посадки вероятность появления таких скачков за время 150 с может составлять 0,083.

3. Предложен и исследован алгоритм обнаружения скачков фазовых измерений на основе отказоустойчивого фильтра. Этот алгоритм имеет преимущества по сравнению с известным алгоритмом основанном на методе наименьших квадратов, и способен выявлять скачки фазовых измерений с большей интенсивностью и совместные скачки в группе спутников.
4. Экспериментальные исследования показали, что предложенный алгоритм обнаружения скачков фазовых измерений можно использовать в бортовом оборудовании летательного аппарата совместно с данными инерциальной навигационной системы, если суммарная ошибка по скорости инерциальной навигационной системы, вызванная погрешностью измерительных инструментов (смещение нуля акселерометра, погрешность масштаба акселерометра, начальное отклонение платформы по уровню, постоянный дрейф гироскопа) не превышает 10м/с, и величина среднеквадратического отклонения шума квантования аналого-цифрового преобразователя данных ИНС не превышает 0,018 м/с.
5. Предложен алгоритм компенсации скачков фазовых измерений бортового и наземного ПИ ГНСС, пригодный для одиночных и совместных скачков фазовых измерений группы спутников.
6. Разработана структура программного обеспечения, позволяющая формировать дифференциальную информацию по измерениям от одного до четырех приемоизмерителей локальной контрольно-корректирующей станции.
7. Предложен способ посадки летательных аппаратов для системы спутниковой посадки с использованием ГНСС и коррекцией скачков фазовых измерений псевдодальностей спутникового приемоизмерителя.
8. Экспериментально показано, что в системе инструментальной посадки с использованием ГНСС при формировании координат летательного аппарата по

данным с устраненными скачками фазовых измерений псевдодальностей наземного и бортового приемоизмерителей уменьшается среднеквадратическое отклонение координат на 20 %-25 %.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Чистякова С.С. Контроль фазовых измерений в опорных приемниках наземных систем локальных функциональных дополнений GPS/Глонасс /Соколов А.И., Чистякова С.С. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»)/ СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,- 2006.-Вып. 2: Серия «Радиоэлектроника и телекоммуникации».-С.27-32
2. Чистякова С.С. Исследование эффективности коррекции скачков фазовых измерений при формировании дифференциальных поправок в глобальной навигационной системе / Юрченко Ю.С., Чистякова С.С., Шарыпов А.А. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»)/ СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,- 2006.-Вып. 2: Серия «Радиоэлектроника и телекоммуникации».-С.32-36.

Другие работы:

3. Чистякова С.С. Контроль фазовых измерений в приемнике GPS / Чистякова С.С., Соколов А.И. // 60ая научно-техническая конференция посвященная дню радио. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Апрель 2005г. С. 15 - 16
4. Чистякова С.С. Формирование дифференциальных поправок псевдодальностей с коррекцией фазовых измерений / Чистякова С.С., Соколов А.И., Шарыпов А.А. // 61ая научно-техническая конференция посвященная дню радио. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Апрель 2006г. С. 21 - 23.
5. Чистякова С.С. Исследование влияния перескоков фазовых измерений на ошибку определения координат воздушного судна в инструментальной дифференциальной спутниковой системе посадки // 62ая научно-техническая конференция посвященная дню радио. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Апрель 2007г. С. 32 - 33стр.