

УДК 621.396

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ТОЧНОСТИ GPS НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ NI GPS SIMULATION TOOLKIT*

О.Н. СКРЫШНИК, Е.Е. НЕЧАЕВ, Р.О. АРЕФЬЕВ

На основе применения программно-аппаратного комплекса NI GPS Simulation Toolkit и авиационного приемника СН-4312 предложена методика построения полей точности GPS по данным системы RAIM приемника (горизонтальный и вертикальный геометрический фактор). Путем сравнения с данными натуральных экспериментов оценена достоверность полученных результатов и выявлены ограничения на условия применения комплекса для исследования характеристик GPS. Построены поля точности GPS для двух областей воздушного пространства, расположенных в средних и высоких широтах.

Ключевые слова: точность, рабочая зона, достоверность, моделирование, программно-аппаратный комплекс, геометрический фактор, спутниковая система навигации.

Согласно принятой концепции развития системы организации воздушного движения основным средством навигационного обеспечения всех этапов полета воздушных судов (ВС), включая заход на посадку и посадку, должны стать спутниковые системы навигации (ССН) [1].

Современные ССН, такие как GPS и ГЛОНАСС, позволяют определять координаты ВС с точностью, удовлетворяющей требованиям зональной навигации, а при определенных условиях и требованиям точного захода на посадку [2]. Однако на современном этапе развития ССН обеспечиваемая ими точность и надежность навигационно-временных определений не позволяет решать указанные задачи в полном объеме и во всем используемом для организации воздушного движения воздушном пространстве.

На точность определения координат по данным ССН оказывает влияние весьма широкий спектр факторов, характеризующих точность эфемеридного обеспечения, условия распространения радиосигналов, конфигурацию наблюдаемой группировки навигационных спутников (НС). Одним из основных является так называемый геометрический фактор (GDOP – Geometrical Dilution Of Precision) [3; 4], который зависит от числа и расположения относительно потребителя выбранных для решения навигационной задачи спутников, изменяется с течением времени и различен для различных зон воздушного пространства.

По этой причине представляют практический интерес построение и анализ полей точности ССН в заданных зонах воздушного пространства. Для этого предлагается использовать значения горизонтального (HDOP) и вертикального (VDOP) геометрического фактора в выбранных точках воздушного пространства и по ним строить соответствующие поля.

Для получения значений геометрического фактора в заданной области воздушного пространства можно использовать информацию от сети наземных станций мониторинга ССН, полунатурное моделирование, например с использованием современных программно-аппаратных комплексов (NI GPS Simulation Toolkit, отечественный имитатор СН-3803М производства КБ «Навис»), а также методы, основанные на математическом моделировании орбитальной группировки НС.

В последних двух случаях необходимо обеспечить адекватность моделирования.

Рассмотрим решение задачи построения поля точности GPS путем полунатурного моделирования с использованием программно-аппаратных средств на базе платформы NI (генератор радиочастотных сигналов типа NI PXI-5610/5442, среда Labview, установленная на контроллер NI PXI-8130, инструментарий NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 (рис. 1)) и реального авиационного приемника СН-4312. Структурная схема моделирующего комплекса показана на рис. 2.

* Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

В качестве исходных данных для моделирования орбитального движения НС используется информация о реальном альманахе системы GPS и эфемеридах, загружаемая соответственно с веб-сайтов навигационного центра GPS USCG и данных GNSS информационной системы данных динамики земной коры.

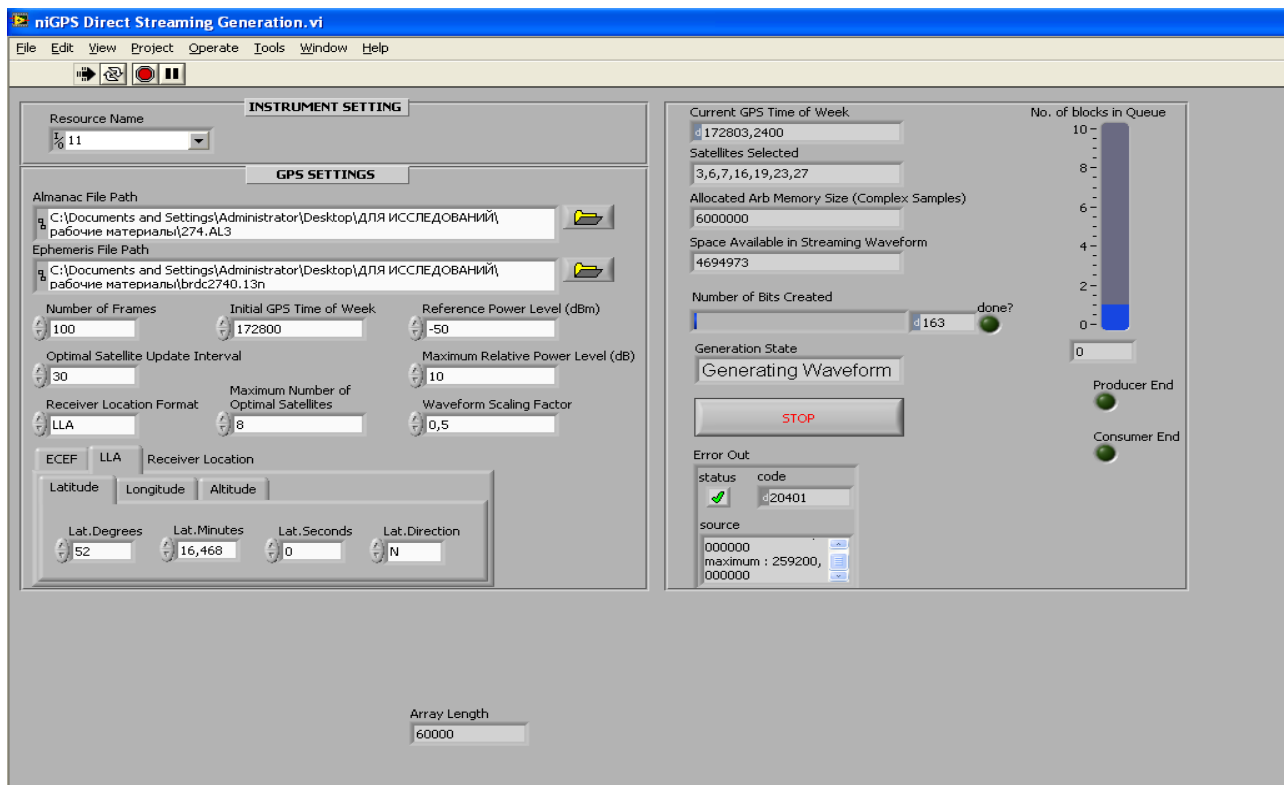


Рис. 1. Вид панели виртуального прибора NI GPS Simulation Toolkit

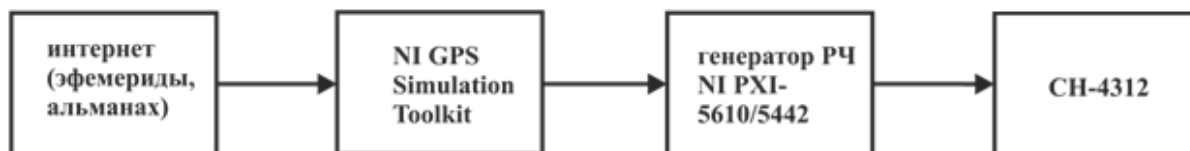


Рис. 2. Структурная схема моделирующего комплекса

Приемник СН-4312 обеспечивает измерение и индикацию горизонтальных координат (широты и долготы) и высоты потребителя над поверхностью земного эллипсоида, расчет и индикацию горизонтального и вертикального геометрических факторов, а также индикацию номеров наблюдаемых НС и уровня их сигналов в точке приема (функция RAIM [3; 4]). Приемник может работать по сигналам систем ГЛОНАСС, GPS и в совмещенном режиме. В приемнике предусмотрена возможность исключения из обработки данных от навигационных спутников, выбираемых вручную оператором.

При использовании инструментария NI GPS необходимо убедиться в адекватности полунатурного моделирования. С этой целью был проведен ряд натуральных и полунатурных экспериментов, сопоставление результатов которых позволило выявить некоторые особенности и ограничения применения NI GPS Simulation Toolkit. Для оценки адекватности полунатурного моделирования использовались такие данные, как номера и количество НС, находящихся в зоне видимости на исследуемом интервале времени, значение HDOP и VDOP в момент отсчета, погрешности определения координат.

Натурные эксперименты проводились 21.09.12 г. на интервале времени с 10:15 до 10:45 (+9:00 UTC) для точки с координатами $H=503,18$ м, $B=52^{\circ}15'25,8''$, $L=104^{\circ}21'22,1''$ (г. Иркутск). При полунатурном эксперименте на эту же дату и время задавались альманахи и эфемериды НС.

Проведенные испытания показали, что комплекс в составе генератора NI PXI-5610/5442, контроллера NI PXI-8130, инструментария NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 обеспечивает устойчивую генерацию сигналов не более чем от 8-ми навигационных спутников. Так при проведении полунатурного эксперимента моделируемое созвездие (НС с номерами 3; 6; 7; 8; 16; 19; 23; 30) с точностью до одного спутника (горизонтного) совпадало с рабочим созвездием натурального эксперимента. Максимальное различие в величине HDOP при этом составило не более 0,25. Поэтому для обеспечения адекватности моделирования необходимо либо выбирать такие интервалы времени, когда в точке реально наблюдается не более 8 спутников, либо вручную исключать из обработки сигналы отдельных НС.

На рис. 3 показаны результаты исследования горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов, рассчитываемых приемником СН-4312 при натурном эксперименте с обработкой сигналов от всех наблюдаемых НС (кривые 2) и при полунатурном эксперименте (кривые 1). Отличие в значениях геометрических факторов обусловлено тем, что программно-аппаратный комплекс позволяет моделировать сигналы не более восьми НС, в то время как реальные измерения проводились по всем наблюдаемым спутникам.

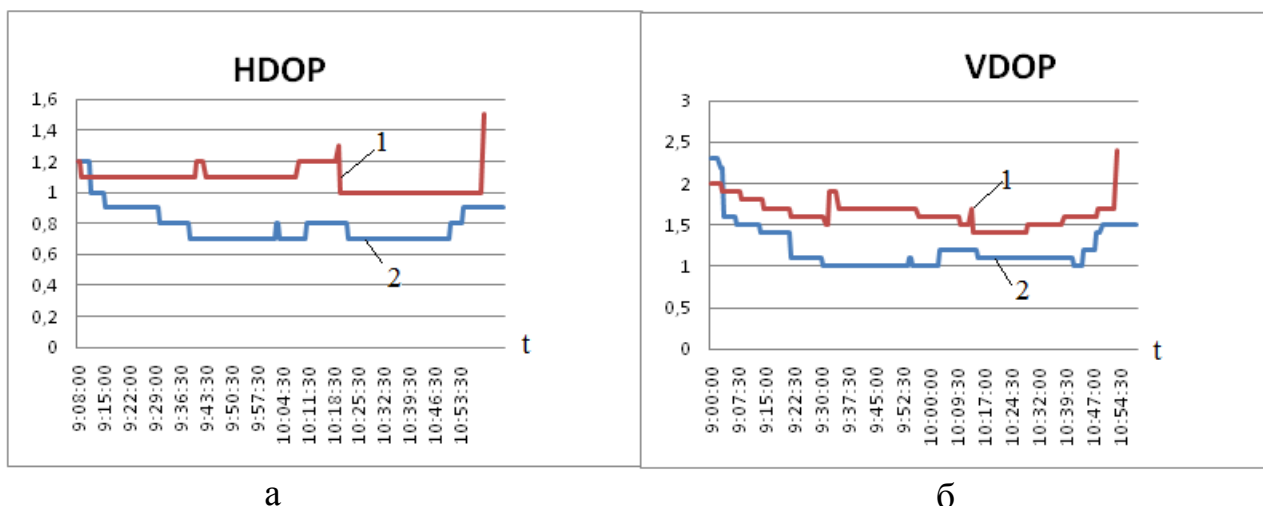


Рис. 3. Геометрический фактор при работе по всем наблюдаемым НС:
а – горизонтальный ГФ; б – вертикальный ГФ

Особенностью приемника СН-4312 является возможность исключения из обработки сигналов от отдельных наблюдаемых НС. На рис. 4 показаны результаты исследования горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов, рассчитываемых приемником СН-4312 при натурном эксперименте с обработкой сигналов от тех наблюдаемых НС (кривые 2), которые моделировались при полунатурном эксперименте (кривые 1). В этом случае обеспечивается достаточно хорошее совпадение значений геометрического фактора, и, соответственно, обеспечивается адекватность полунатурного моделирования в плане создания одинаковых условий навигационного сеанса по наблюдаемой орбитальной группировке.

На рис. 5 представлены результаты исследования точности измерения высоты приемником СН-4312 при натурном эксперименте (кривые 2) и полунатурном моделировании (кривые 1). При этом кривая 2 на рис. 5а соответствует ошибке измерения высоты при обработке измерений до тех НС, сигналы которых моделировались программно-аппаратными средствами NI GPS, на рис. 5б - при обработке приемником измерений до всех наблюдаемых НС.

Полученные результаты показывают, что точность оценки высоты при полунатурном моделировании существенно хуже, чем при проведении реальных измерений. При тестировании приемников других типов (Garmin GPS Pilot III, Garmin GPSV, Garmin76CSX) точность оценки высоты, а также и горизонтальных координат при полунатурном эксперименте также была хуже, чем при работе приемников по реальным сигналам от наблюдаемых НС.

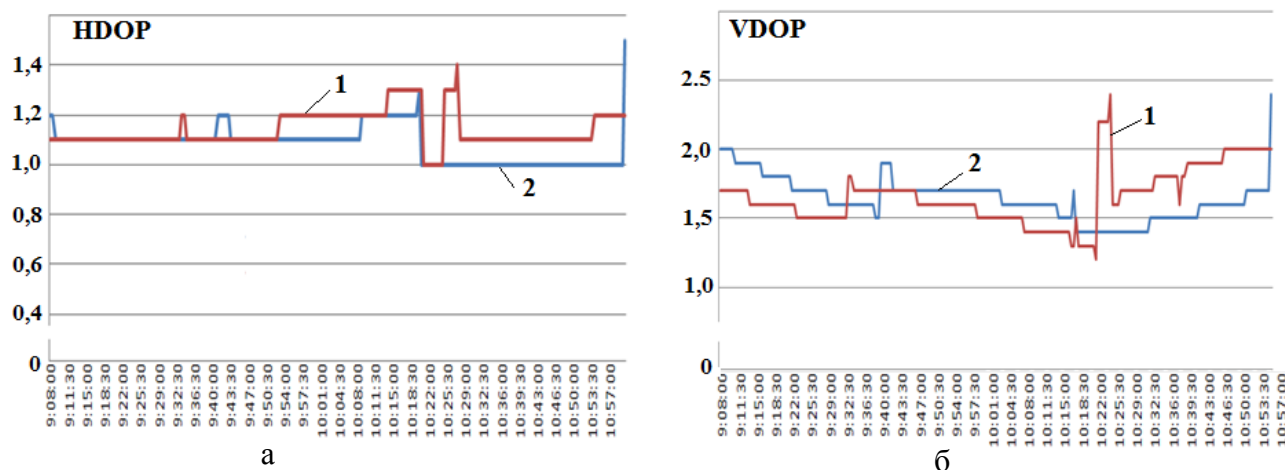


Рис. 4. Геометрический фактор при работе по ограниченному числу наблюдаемых НС:
а - горизонтальный ГФ; б - вертикальный ГФ

Этот эффект является достаточно неожиданным, поскольку при полунатурном моделировании не воспроизводится составляющая погрешности измерений, обусловленная влиянием условий распространения сигналов (ионосферная и тропосферная ошибки) и оказывающая решающий вклад в погрешность определения координат одночастотным приемником [3; 4]. Возможно, что причиной такого эффекта является более низкая стабильность частоты генератора NI PXI-5610/5442 по сравнению со стабильностью эталона времени и частоты реального навигационного спутника GPS.

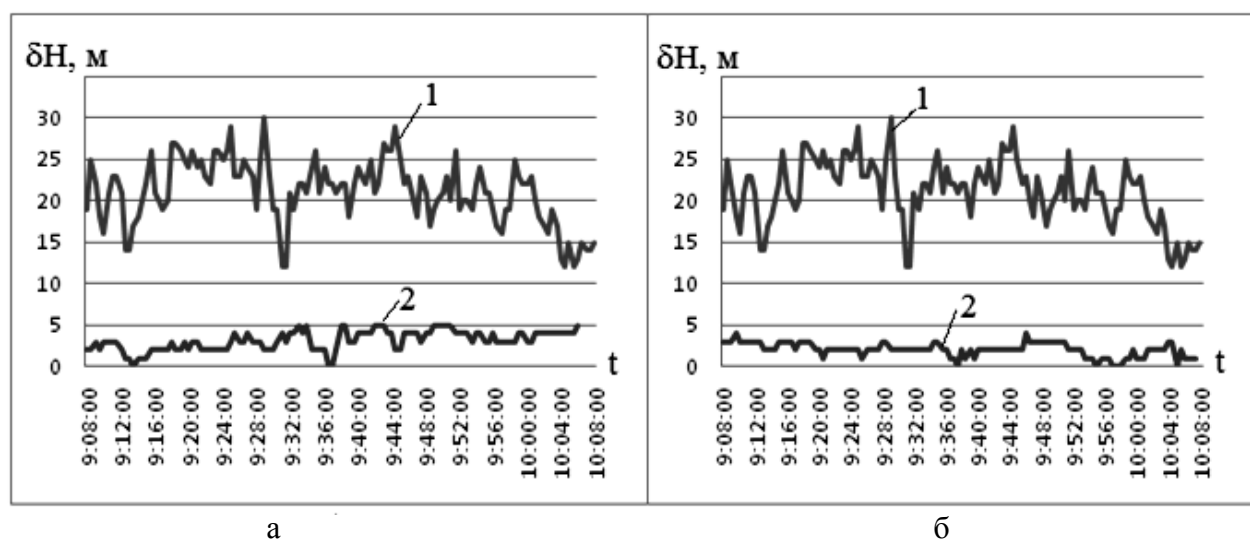


Рис. 5. Ошибки измерения высоты:
а - работа по ограниченному числу НС; б - работа по всем наблюдаемым НС

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод об адекватности полунатурного моделирования в плане воспроизведения наблюдаемой в точке приема орбитальной группировки НС и соответствующих этим условиям значениям геометрического фактора. Вместе с этим использование программно-аппаратных средств NI GPS для исследования

точности определения координат потребителя не позволяет получить достоверные оценки и может быть рекомендовано для решения других задач, например, для тестирования приемников на предмет общей работоспособности, исследования помехоустойчивости [5].

Для построения полей точности GPS необходимо проанализировать изменение геометрического фактора в зависимости от расстояния между анализируемыми точками в горизонтальной и вертикальной плоскости. На рис. 6 показаны результаты исследования изменения горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов на интервале времени с 6:00 до 11:00 местного времени для точек входа в глиссаду (высота 700 м над поверхностью ВПП, удаление от ее начала 20 км) и точки касания ВПП аэродрома Иркутск, полученные путем полунатурного моделирования.

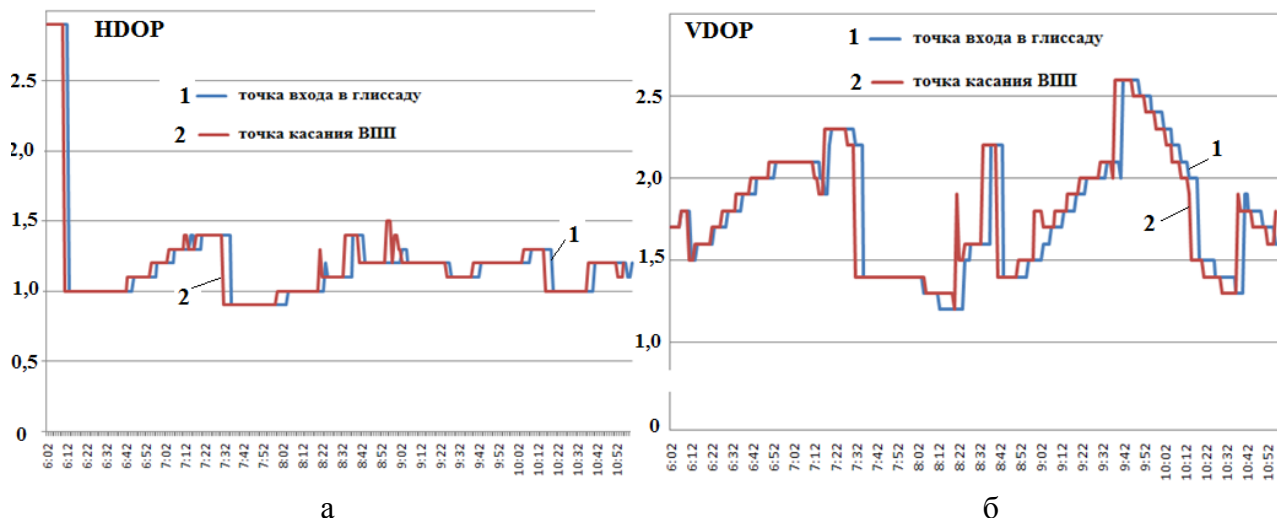


Рис. 6. Геометрический фактор в различных точках пространства:
а – горизонтальный ГФ; б – вертикальный ГФ

Из полученных результатов следует, что значения геометрических факторов в рассмотренных точках практически одинаковы. Следовательно, для построения полей точности ССН можно анализировать значения геометрических факторов в точках, расположенных на удалениях до 40-50 км друг от друга и на одной высоте.

На рассматриваемом интервале времени наблюдаются значительные вариации значений геометрических факторов, в большей степени – вертикального VDOP. Следовательно, точность решения навигационной задачи по данным ССН будет также изменяться в течение времени, что доказывает актуальность проблемы прогнозирования и построения полей точности для заданных моментов или интервалов времени.

На основе полунатурного моделирования с использованием программно-аппаратного комплекса NI GPS и приемника СН-4312 была разработана методика построения полей одинаковых значений горизонтального и вертикального геометрического фактора GPS (что при условии знания погрешности измерения дальности до НС позволит определить точность оценки горизонтальных координат и высоты) для заданной зоны воздушного пространства и заданного момента времени.

Методика основывается на разбиении анализируемой области на ячейки (квадраты) размером 50x50 км, расчете значений горизонтального и вертикального геометрических факторов в центральных точках этих квадратов и выделении ячеек с одинаковыми значениями. Выбор таких размеров ячейки основывается на приведенных выше результатах полунатурных экспериментов, показавших, что для двух точек, удаленных друг от друга на расстояние до 50 км, условия навигационного сеанса (наблюдаемая группировка НС и их положение относительно потребителя) примерно одинаковы. При этом анализировалась зона нижнего воздушного

пространства, в которой выполняются процедуры захода ВС на посадку и посадки.

Поскольку повторяемость наблюдаемой орбитальной группировки GPS кратна 12 ч, с высокой степенью достоверности полученные результаты могут быть использованы для прогноза полей точности GPS на аналогичные моменты времени для исследуемой зоны воздушного пространства на несколько суток.

На рис. 7, 8 показаны поля точности GPS соответственно для горизонтального и вертикального геометрических факторов, построенные на основе проведения полунатурных экспериментов, для районов аэродромов Иркутск и Игарка. Эксперименты проводились по данным альманаха и эфемерид GPS на 21.09.2012 г. для 02:00 и 03:00 всемирного времени (UTC).

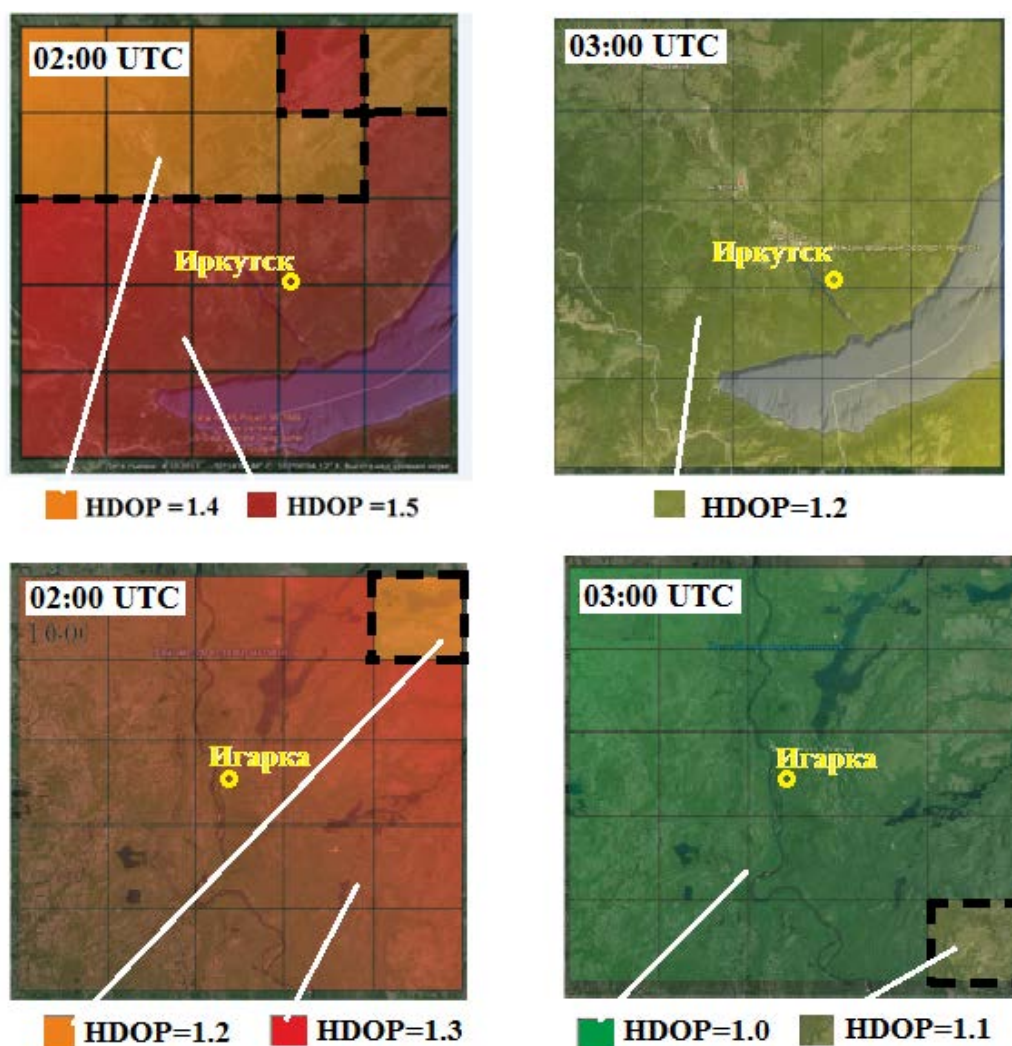


Рис. 7. Поле точности GPS в горизонтальной плоскости

Анализ полученных результатов показывает, что поля точности в горизонтальной плоскости для рассматриваемых зон воздушного пространства являются достаточно однородными (вариации значений HDOP лежат в пределах 0,1). При этом для анализируемых моментов времени горизонтальный геометрический фактор GPS в районе Иркутска (средние широты) хуже, чем в районе Игарки (высокие широты). Такая же картина наблюдалась и для момента времени 01:00 UTC (на рис. 6 не показан).

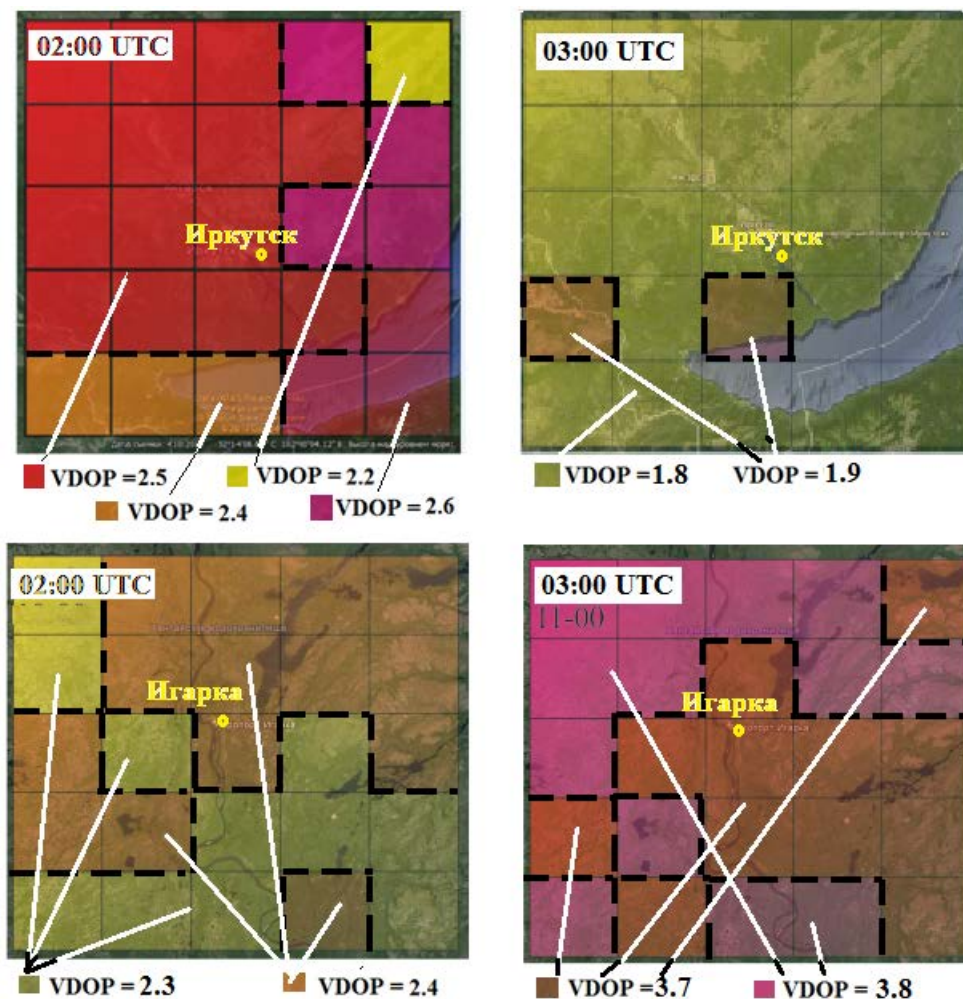


Рис. 8. Поле точности GPS в вертикальной плоскости

Анализ представленных на рис. 7 результатов показывает, что поля точности в вертикальной плоскости для рассматриваемых зон воздушного пространства менее однородны (вариации значений VDOP достигают 0,4). При этом для анализируемых моментов времени вертикальный геометрический фактор GPS в районе Иркутска в целом лучше, чем в районе Игарки. Наиболее ярко это отличие наблюдается для момента времени 03:00 UTC (вертикальный геометрический фактор в районе Игарки практически в 2 раза хуже, чем в районе Иркутска). Такая же картина наблюдалась и для момента времени 01:00 UTC (в районе Иркутска VDOP=1,7, в районе Игарки VDOP=1,9, причем поля однородные).

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы:

1. Программно-аппаратный комплекс NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 адекватно воспроизводит реальную орбитальную группировку НС в заданной точке наблюдения, что позволяет его использовать для оценки условий навигационного сеанса (вертикального и горизонтального геометрического фактора) и построения полей точности GPS в заданной зоне воздушного пространства. При этом максимальное число воспроизводимых сигналов НС не превышает 8-ми.

2. Оценка точности определения координат GPS приемниками с использованием комплекса NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 не соответствует точности реальных измерений. Поэтому использование данного комплекса целесообразно для решения таких задач, как тестирование GPS приемников на предмет общей работоспособности и помехоустойчивости для объектов с различными динамическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа модернизации и развития интегрированных комплексов и систем бортового цифрового оборудования самолетов ГА на период 2003-2010 гг." ("Авионика-2010"), выполняемая в рамках ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 гг. и на период до 2015 года" (приоритетные программные мероприятия).
2. Радионавигационный план Российской Федерации: утв. приказом Минпромторга России от 02 сентября 2008 г. № 118 (в ред. от 31 августа 2011 г. № 1177).
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. - изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2010.
4. Скрыпник О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник. - М.: Инфра-М, 2014.
5. Валеев В.Г., Корнилов И.Н., Иванов В.Э. Экспериментальное исследование помехоустойчивости аппаратуры потребителя спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника. - 2011. - № 9.

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF GPS ACCURACY FIELDS
ON THE BASIS OF HARDWARE-SOFTWARE MEANS NI GPS SIMULATION TOOLKIT****Skrypnik O.N., Nechaev E.E., Arefev R.O.**

Based on the application of hardware-software complex NI GPS Simulation Toolkit and aviation receiver CH-4312 proposed a method of constructing the fields of GPS precision according to the RAIM receiver (horizontal and vertical geometrical factor system) data. By comparing with experimental data the reliability of the obtained results is assessed and limitations on the conditions of use of the complex for investigation of the characteristics of the GPS were found. Built fields precision GPS for two areas of airspace, located in mid-and high latitudes were constructed.

Keywords: accuracy, work area, reliability, simulation, hardware-software complex, geometric factor, satellite navigation system.

Сведения об авторах

Скрыпник Олег Николаевич, 1959 г.р., окончил Киевское ВВАИУ (1981), профессор, доктор технических наук, заместитель директора Иркутского филиала МГТУ ГА по учебно-научной работе, автор более 80 научных работ, область научных интересов – радионавигация, межсамолетная навигация, комплексная обработка навигационной информации.

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.

Арефьев Роман Олегович, 1991 г.р., окончил Иркутский филиал МГТУ ГА (2013), аспирант МГТУ ГА, автор 8 научных работ, область научных интересов – радионавигация, спутниковые системы навигации.