

## УЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ

## Введение

При выполнении координатных определений по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) необходим инструментарий оценки точности полученного решения – индикатор качества позиционирования. Обработка «равноточных» измерений приводит к увеличению погрешностей координатных определений, поскольку при изменении конфигурации спутникового созвездия измерения от спутника с низким углом возвышения ( $10^\circ - 30^\circ$ ) будут приравнены к измерениям от спутника с большим углом возвышения ( $30^\circ - 90^\circ$ ), хотя уровни составляющих погрешностей их измерений значительно отличаются. Учет составляющих погрешностей измерений позволяет перераспределить их вклад при решении навигационной задачи (НЗ) в зависимости от величины погрешности и угла возвышения спутника.

В статье рассмотрено построение модели погрешностей дифференциальных ГНСС-измерений, которая может быть использована в качестве индикатора качества конечного решения. Также уделено внимание вопросу, связанному с учетом корреляционных связей погрешностей наблюдений, что актуально не только при координатных определениях, но и при решении задач фильтрации/сглаживания кодовых и фазовых наблюдений и разрешения фазовой неоднозначности (РФН).

## Уравнения наблюдений и алгоритм решения навигационной задачи

Рассмотрим разностно-дальномерный способ координатно-временных определений, который основан на обработке одинарных разностей наблюдений. Система уравнений [1, 2, 3] для кодовых и для однозначных фазовых наблюдений представляется следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta \hat{S}_{rs,ms}^{(1)}(t) = (R_{rs}^{(1)}(t) - R_{ms}^{(1)}(t)) + \Delta Tr_{rs,ms}^{(1)} + k_{1,2} \cdot \Delta I_{rs,ms}^{(1)} + \Delta_{rs,ms} \\ \Delta \hat{S}_{rs,ms}^{(2)}(t) = (R_{rs}^{(2)}(t) - R_{ms}^{(2)}(t)) + \Delta Tr_{rs,ms}^{(2)} + k_{1,2} \cdot \Delta I_{rs,ms}^{(2)} + \Delta_{rs,ms} \\ \dots \\ \Delta \hat{S}_{rs,ms}^m(t) = (R_{rs}^m(t) - R_{ms}^m(t)) + \Delta Tr_{rs,ms}^m + k_{1,2} \cdot \Delta I_{rs,ms}^m + \Delta_{rs,ms} \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta \hat{S}_{rs,ms}^m(t)$  – наборы одинарных разностей наблюдений между роверным приемником ( $rs$ ) и опорным (базовым) приемником ( $ms$ );  $R_i^m(t) = \sqrt{[x_i - \hat{X}^m]^2 + [y_i - \hat{Y}^m]^2 + [z_i - \hat{Z}^m]^2}$  – геометрическая дальность между фазовым центром антенны  $i$ -го приемника и фазовым центром антенны  $m$ -го спутника;  $\Delta_{rs,ms}$  – величина, пропорциональная текущему расхождению шкал времени приемников (с учетом задержек в высокочастотных трактах);  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = \gamma^2$  – для кодовых измерений;  $k_1 = -1$ ,  $k_2 = -\gamma^2$  – для фазовых наблюдений несущих частот, где  $\gamma = \frac{f_{L1}}{f_{L2}}$ ;  $\Delta Tr_{rs,ms}^m$  – разность тропосферных задержек сигнала для спутников, наблюдаемых

одновременно приемниками;  $\Delta I_{rs,ms}^m$  – разность ионосферных задержек сигнала для спутников, наблюдаемых одновременно приемниками.

Решение задачи осуществляется по итерационной схеме с использованием метода наименьших квадратов по методу Гаусса – Ньютона [4]:

$$\hat{\theta}_{(L+1)} = \hat{\theta}_{(L)} + \Delta \hat{\theta}_{(L+1)}, \quad (2)$$

где  $\bar{\theta} = \|x(t_k), y(t_k), z(t_k), \Delta(t_k)\|$  – вектор оцениваемых параметров;  $\Delta \hat{\theta}_{(L+1)}$  – вектор приращений (поправок) к вектору оцениваемых параметров на L-м шаге итерационного процесса.

Поправка на каждом шаге итерационного процесса рассчитывается по формуле

$$\Delta \hat{\theta}_{(L+1)} = [A_{(L)}^T \cdot W \cdot A_{(L)}]^{-1} \cdot A_{(L)}^T \cdot W \cdot [\hat{Q} - \bar{F}(\hat{\theta}_{(L)})], \quad (3)$$

где  $W$  – диагональная матрица весов наблюдений:  $W_k = \text{diag}\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ .

Вес  $\omega_m$  относится к индивидуальному измерению на момент  $t_L$ . Расчет весов наблюдений выполняется с использованием модели погрешностей наблюдений;

$\hat{Q} = \|\Delta \hat{S}_{rs,ms}^{(1)}(t_k), \dots, \Delta \hat{S}_{rs,ms}^{(m)}(t_k)\|$  – вектор наблюдений;

$A$  – матрица производных (якобиан преобразования) измеряемых параметров по определяемым.

Прекращение итерационного процесса происходит по следующему условию:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{1}{4} \cdot \Delta \hat{\theta}^T \cdot \Delta \hat{\theta}\right)} < \varepsilon_{\min}. \quad (4)$$

Для оценки точности полученного решения рассчитываем корреляционную матрицу на последнем шаге итерационного процесса для каждого момента времени следующим образом:

$$K_0 = [A_{(L)}^T \cdot W \cdot A_{(L)}]^{-1}, \quad (5)$$

где  $W$  – весовая матрица измерений.

Матрица  $K_0$  является корреляционной матрицей выходных параметров размером  $[n \times n]$ , где  $n$  – количество оцениваемых параметров. Элементы главной диагонали матрицы представляют собой дисперсии  $\sigma_{x,y,z,\Delta}^2$  оцениваемых параметров. По элементам вне главной диагонали оценивают корреляционные связи между выходными параметрами.

Матрица  $W$  называется весовой, и  $W = K^{-1}$ , где  $K$  – корреляционная матрица измеренных параметров. Элементами главной диагонали  $K$  являются дисперсии измерений, которые учитывают все составляющие погрешностей. Элементы вне главной диагонали представляют собой коэффициенты корреляции между элементами главной диагонали.

Для вычисления матрицы  $K_0$  с учетом составляющих погрешностей входных параметров  $K$  формируют модели погрешностей, которые представляют собой совокупность источников и величин погрешностей, а также учитывают корреляционные связи между ними.

Ниже предложена и описана модель погрешностей, которая учитывает основные источники погрешностей при обработке дифференциальных ГНСС-наблюдений, а также приведены результаты апробации данной модели путем сравнения априорной и апостериорной оценок точности полученных параметров.

## Модель погрешностей ГНСС-наблюдений

Как было сказано выше, для достижения наибольшей точности решения навигационной задачи в соответствии с принципом обобщенного МНК [4] и достоверной оценки точности решения необходимо оценить вклад основных источников погрешностей наблюдений и включить его в корреляционную матрицу измерений [1 – 5]. В данной статье предложена модель погрешностей ГНСС-наблюдений для координатно-временных определений в дифференциальном режиме (одинарные разности наблюдений) [1 – 3, 5 – 7]. Предложенная модель учитывает вклад основных источников погрешностей наблюдений, где для каждой составляющей были приняты оценки среднеквадратических отклонений (СКО), которые выбраны, основываясь на результаты зарубежных и собственных исследований.

Предлагаемая модель включает следующие составляющие:

*Эфемеридные погрешности* – погрешности измерений, обусловленные неточностью расчета эфемерид, представляет собой проекцию вектора погрешностей координат спутника на направление «спутник–приемник» [1 – 3, 5 – 7]. Для дифференциального режима на базовых расстояниях до 300 км типовые эфемеридные погрешности GPS 1 – 3 м приводят к погрешностям разностей псевдодальностей порядка 1 – 3 см. Поэтому в предположении, что погрешности координат спутников не коррелированы, а СКО каждой из них составляет 1 м, получим

$$\sigma_{ef}^2(t) = SKO_{ef}^2 \cdot h^T(t) \cdot h(t),$$

где  $h_i(t_k) = \frac{(x_{sv} - x_{rov})}{R_{rov,i}(t_k)} - \frac{(x_{sv} - x_{bas})}{R_{bas,i}(t_k)}$ ;  $x_{sv}$  – вектор координат спутника;  $x_{rov}$  – вектор приближенных координат приемника потребителя;  $x_{bas}$  – вектор координат базовой станции;  $R_{rov,i}(t_k)$  – расстояние от спутника до приемника потребителя;  $R_{bas,i}(t_k)$  – расстояние от спутника до базовой станции;  $SKO_{ef} = 1$  м.

*Погрешности, обусловленные неточным учетом тропосферной задержки навигационных сигналов.* При обработке наблюдений, для компенсации тропосферной задержки, в случае отсутствия дополнительных метеорологических параметров (давление, температура, влажность) в зоне проведения измерений, целесообразно использование модели MOPS. Согласно результатам экспериментальных исследований [8 – 10] остаточная погрешность компенсации тропосферной задержки при использовании модели MOPS составляет 5 – 10 % от расчетной величины; поэтому при дифференциальной обработке наблюдений с использованием модели MOPS было принято, что  $\sigma_{\Delta Tr}(t) = 0,05 \cdot \Delta Tr$ .

*Погрешности, обусловленные неточным учетом ионосферной задержки навигационных сигналов.* Для компенсации ионосферной задержки используются модели Klobuchar [11] и GIM IONEX [12, 13]. Результаты зарубежных и отечественных исследований показали [7, 13], что остаточные погрешности компенсации ионосферной составляющей при обработке наблюдений могут быть следующими:

- при применении модели Klobuchar  $\sigma_{\Delta I}(t) = 0,50 \cdot \Delta I$ ;
- при использовании модели GIM IONEX  $\sigma_{\Delta I}(t) = 0,30 \cdot \Delta I$ ;

Следует отметить, что представленные модели позволяют компенсировать только трендовую составляющую ионосферной задержки [14].

*Погрешности, обусловленные шумами и многолучевостью ГНСС-наблюдений;* для кодовых наблюдений GPS –  $\sigma_{ns/mp}(t) = 0,4$  м, для фазовых GPS и ГЛОНАСС наблюдений –  $\sigma_{ns/mp}(t) = 0,003$  м; для кодовых наблюдений ГЛОНАСС принимаем  $\sigma_{ns/mp}(t) = 1$  м, поскольку в данную составляющую включена погрешность, обусловленная частотными задержками

в каналах [5]. При этом вводится зависимость от угла возвышения спутника

$$\sigma_{ns/mp}(t) = \frac{\sigma_{ns/mp}(t)}{\sin(\beta)}.$$

Погрешности, обусловленные неточным учетом вариаций фазовых характеристик приемных GPS/ГНСС-антенн. Как показали результаты исследований фазовых характеристик приемных GPS/ГНСС-антенн [15], для погрешностей, обусловленных неточным учетом вариаций фазовых центров антенн, величина СКО составляет  $\sigma_{pcv}(t) = 0,01$  м.

Остаточные погрешности координатной привязки приемной антенны базовой станции – основываясь на значительном опыте [1 – 3, 5 – 7], связанном с координатной привязкой опорных пунктов, используемых в качестве референционных, величина остаточной погрешности была выбрана равной  $\sigma_{BS}(t) = 0,01$  м.

При реализации алгоритмов фильтрации/сглаживания кодовых и фазовых ГНСС-наблюдений, например [1 – 3, 16], при оценке уровня фазовых наблюдений относительно кодовых, для оценки точности полученного значения  $\sigma_{LC}(t)$  предлагается использовать алгоритм автокорреляционного анализа [17] (см. ниже).

В итоге, на каждый момент времени для каждого спутника рассчитывается суммарная дисперсия погрешностей наблюдений:

$$\sigma_n^2(t) = \sigma_{ef}^2(t) + \sigma_{ns/mp}^2(t) + \sigma_{pcv}^2(t) + \sigma_{BS}^2(t) + \sigma_{\Delta I}^2(t) + \sigma_{\Delta Tr}^2(t)$$

или для при обработке «сглаженных» кодовых наблюдений:

$$\sigma_n^2(t) = \sigma_{ef}^2(t) + \sigma_{ns/mp}^2(t) + \sigma_{pcv}^2(t) + \sigma_{BS}^2(t) + \sigma_{\Delta I}^2(t) + \sigma_{\Delta Tr}^2(t) + \sigma_{LC}^2(t).$$

Используя полученные оценки дисперсий суммарных погрешностей  $\sigma_n^2(t)$  при решении НЗ и, полагая, что погрешности дифференциальных наблюдений для спутников являются некоррелированными, сформируем корреляционную матрицу погрешностей измеренных параметров  $\mathbf{K}$ .

$$\mathbf{K} = \text{diag} \{ \sigma_1^2(t), \sigma_2^2(t), \dots, \sigma_n^2(t) \},$$

$$\mathbf{W} = \mathbf{K}^{-1},$$

где  $\mathbf{K}$  – корреляционная матрица измеренных параметров;  $\mathbf{W}$  – весовая матрица измеренных параметров, которая включается в решение навигационной задачи (2) – (5).

### Корреляционный анализ ГНСС-измерений

При обработке дифференциальных ГНСС-измерений необходимо учитывать корреляционные связи по времени между погрешностями измерений (особенно, для многолучевой составляющей погрешностей наблюдений). Следует подчеркнуть, что особую роль это играет при оценке погрешности float или fixed оценок фазовых неоднозначностей.

В целом, во многих исследованиях, посвященных задачам РФН GPS/ГНСС-наблюдений, в той или иной степени рассматриваются задачи и условия верификации полученного (float и fixed) решения РФН. В статье [17] предложен и верифицирован алгоритм оценки достоверности полученных оценок неоднозначностей в условиях присутствия шумов и медленно изменяющейся многолучевой составляющей наблюдений, особенно, когда наблюдения выполняются в разных условиях и при различных настройках приемников, который основывается на анализе корреляционных свойств выборок.

Как показали результаты исследований, неучет корреляционных связей приводит к тому, что оценка точности являются завышенной. Известно, что оценка дисперсии справедлива при условии независимости отсчетов наблюдений [4]. Поэтому, для оценки точности полученного решения необходимо либо точно учесть корреляционные связи между наблюдениями от эпохи к эпохе, что практически очень затруднительно, либо вычислить интервал

корреляции наблюдений и выполнять оценку точности с использованием независимых (некоррелированных) отсчетов наблюдений. Второй вариант оценки точности является относительно простым в реализации и позволяет получить правдоподобные оценки точности, хотя и несколько загрубленные (из-за прореживания в выборке коррелированных наблюдений).

Данный подход адаптирован автором не только для оценки при решении РФН, но и для оценки констант при сглаживании/фильтрации кодовых и фазовых ГНСС-наблюдений. Оценки достоверности полученных констант в дальнейшем включались в корреляционную матрицу погрешностей наряду с другими составляющими (см. ниже).

Следует отметить, что при обработке статических ГНСС-наблюдений, когда оцениваемые параметры принимаются постоянными на интервале наблюдений, неучет корреляции составляющих погрешностей по времени ослабляет эффект усреднения, потому что если какая-либо составляющая погрешности наблюдений медленно изменяется, или же она носит систематический характер, то ее усреднение не приведет (или практически не приведет) к ее уменьшению. Если, предположим, корреляция медленноменяющихся погрешностей, например, многолучевой составляющей, по времени отсутствует, то автоматически она приравнивается к флуктуационной (шумовой) погрешности, что неверно и приводит к неправильным оценкам точности.

Исходя из сказанного можно сделать следующие рекомендации.

1. При обработке статических ГНСС-наблюдений, в частности при разрешении задач фазовой неоднозначности и выполнении операций сглаживания/фильтрации, рекомендуется провести корреляционный анализ двойных разностей наблюдений, с целью определения среднего интервала корреляции по результатам обработки всех выборок. В дальнейшем, для оценки точности координатного решения, накопление корреляционных матриц выходных параметров будет проводиться через интервал корреляции, что позволит избежать учета сложных корреляционных зависимостей.

2. При обработке сглаженных кодовых наблюдений оценку точности констант фазовых наблюдений относительно кодовых рекомендуется включать в корреляционную матрицу входных параметров (см. выше).

### **Результаты экспериментальных исследований**

Для отработки и натурного тестирования предложенных алгоритмов и процедур определения информационных параметров и оценки их точности согласно принятой модели погрешностей были использованы реальные статические и кинематические наблюдения при проведении аэрофотосъемок на борту летательных аппаратов, а также наблюдений наземных движущихся приемников потребителей («роверов») и базовых перманентных станций.

Тестирование и исследования разработанных процедур обработки измерений выполнялись по следующей методике:

1) Используемые наблюдения подвергаются предварительной обработке с использованием программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) «ОСТАВА\_PPA» [18], которое позволяет оценить качество используемых кодовых и фазовых наблюдений, устранить циклические фазовые скачки, восстановить непрерывность фазовых наблюдений и т.д.;

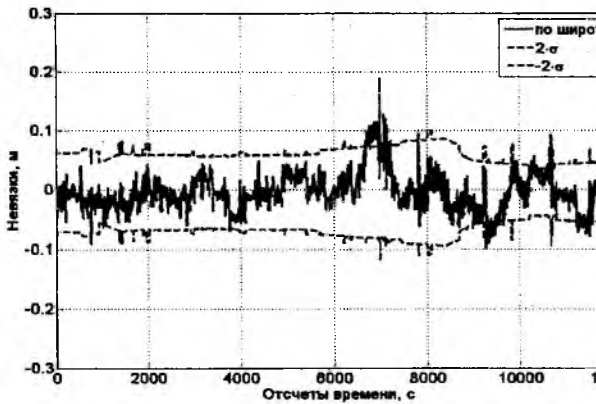
2) Выполняется обработка ГНСС-наблюдений и определяются высокоточные (с сантиметровой точностью) эталонные оценки координат кинематических объектов, станций и роверных пунктов с использованием апробированного лицензионного ПО «GrafNav/GrafNet» (NovAtel Inc./ Waypoint, Канада) [18];

3) Для каждого сеанса наблюдений «роверного» приемника и референчных станций выполняется их полная обработка с использованием разработанных алгоритмов фильтрации/сглаживания наблюдений и разрешения фазовой неоднозначности;

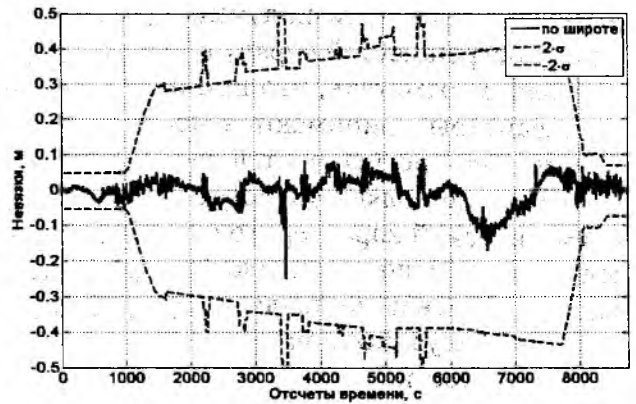
4) Выполняется вычисление отклонений (невязок) полученного координатного решения от эталонного с расчетом статистических характеристик отклонений. Вычисление априорных

оценок доверительных интервалов ( $2 \text{ СКО} - 95 \%$ ) для сравнения априорных и апостериорной оценок точности.

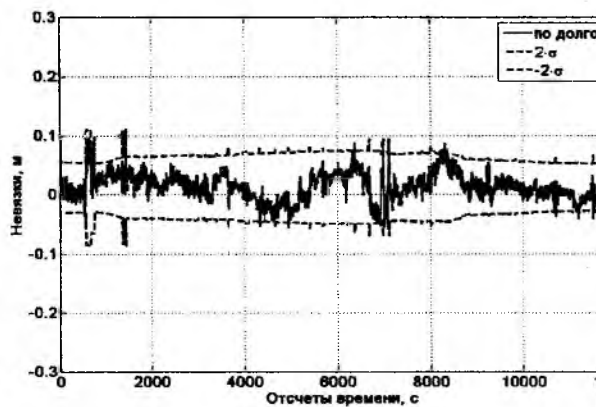
Рассмотрим результаты сравнения априорной и апостериорной оценки точности полученного координатного решения по однозначным фазовым наблюдениям разностной частоты [1 – 3, 7].



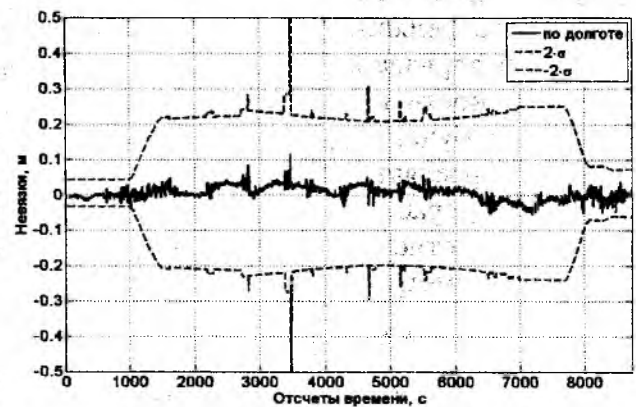
*a*



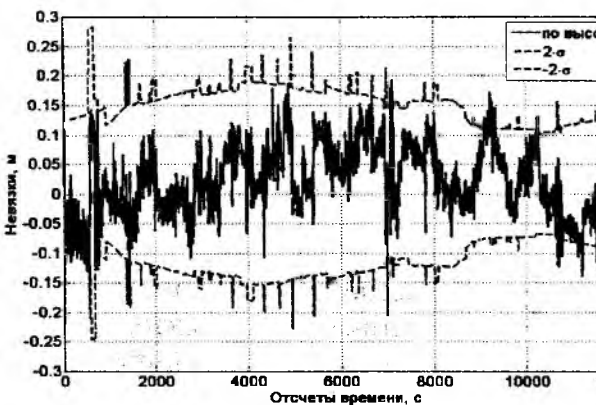
*б*



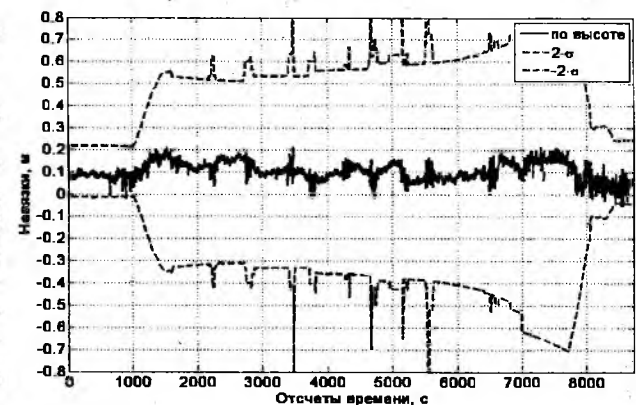
*в*



*г*



*д*



*е*

Невязки полученного WL-решения относительно эталонных оценок и априорная оценка точности решения, рассчитанной по модели погрешностей, для наблюдений на борту вертолета – *a, в, д* и на борту самолета – *б, г, е*

В качестве примера на рисунке приведены невязки координатного решения относительно эталонных оценок и результаты расчета априорной оценки точности (2 СКО) по предложенной модели погрешностей. На рисунке, позиции *a, в, д*, приведены невязки полученного решения для кинематических наблюдений на борту вертолета (высота полета ~800 м), а позиции *б, з, е* – для кинематических наблюдений на борту самолета (высота полета ~3000 м). Как видно из представленных результатов, расчетная оценка точности (95 %) для наблюдений на борту вертолета соответствует апостериорной оценке точности, полученной в результате обработки невязок полученного решения относительно эталонного. Оценка точности решения для наблюдений на борту самолета с момента набора высоты более 1000 м расходится с апостериорной оценкой точности. Данное расхождение обусловлено неточной компенсацией погрешностей, обусловленных задержкой прохождения сигналов через тропосферу и, ввиду этого, неточностью расчета этой составляющей погрешностей наблюдений.

В целом, как показывает накопленный опыт обработки ГНСС-наблюдений, представленная модель погрешностей в условиях выполнения наземных координатных определений (при условии, что перепад высот между приемными антеннами не превышает 1000 м) достаточно адекватно отражает реальные погрешности оцениваемых координат и может служить достоверным индикатором точности в задачах позиционирования.

Для случаев обработки наблюдений со значительным перепадом высот (свыше 1000 м) между приемными антеннами необходимо провести дополнительные исследования с целью уточнения погрешности оценки тропосферной задержки и по результатам этих исследований уточнить предложенную модель погрешностей.

### Выводы

Разработана модель погрешностей дифференциальных ГНСС-наблюдений для априорной оценки точности координатных определений. На основе экспериментов с использованием реальной измерительной информацией выполнена апробация предложенной модели путем сравнения априорной и апостериорной оценки точности. Результаты обработки множества измерительных сессий (кинематических и статических) показали, что для координатных определений, при условии, что перепад высот между приемными антеннами не превышает 1000 м, предложенная модель погрешностей доказала свою работоспособность и адекватность реальным условиям. Для случаев обработки наблюдений со значительным (свыше 1000 м) перепадом высот между приемными антеннами необходимо провести дополнительные исследования с целью уточнения погрешности оценки тропосферной задержки и по результатам этих исследований уточнить предложенную модель погрешностей.

Результаты исследований также показали, что предложенная модель может быть адаптирована для случая обработки кодово-фазовых комбинаций ГНСС-наблюдений, при этом в модель включаются результаты оценки данных комбинаций с использованием корреляционного анализа. Применение корреляционного анализа при обработке ГНСС-наблюдений, в частности фильтрации/сглаживании кодовых и фазовых наблюдений, разрешении фазовой неоднозначности и при решении навигационной задачи, позволяет получить достоверные оценки точности определяемых параметров.

Исходя из полученных результатов, в целях оптимизации и повышения достоверности решений можно рекомендовать применение, уточнение и развитие предложенной методики оценки точности в задачах разрешения фазовой неоднозначности и точного позиционирования с использованием фазовых наблюдений несущих навигационных сигналов.

**Список литературы:** 1. *Гофманн-Веллінгоф, Б.* Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія та практика : пер. з англ. / Б. Гофманн-Веллінгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз ; за ред. Я. С. Яцківа. – Київ : Наук. думка, 1996. – 380 с. 2. *Rizos Chris.* Principles and practice of GPS surveying // School of engineering, The University of New South Wales, Australia, 1999. – 555 p. 3. *Leick, A.* GPS Satellite Surveying, 3-rd ed., John Wiley – New York, 2003. – 464 pp. 4. *Жданюк, Б.Ф.* Основы статистической обработки траекторных измерений / Б.Ф. Жданюк. – М. : Сов. радио, 1978. – 350 с. 5. *Глобальная*

спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. – М. : ИПРЖР, 1998. – 400 с. 6. *Повышение надежности разрешения неоднозначности фазовых ГНСС-наблюдений за счет учета систематических погрешностей в весовой матрице измерений* / Е.В. Гринченко // Прикладная радиоэлектроника : Науч.-техн. журнал. – 2007. – Том 6, N4. – С. 567-572. 7. *Желанов, О.О.* Розвиток методу та алгоритмів обробки фазових спостережень глобальних навігаційних супутникових систем в задачах високоточного кінематичного позиціонування: дис. канд.техн. наук.: 05.12.17 / Желанов Олексій Олександрович; ХНУРЕ. – Х., 2011. – 157 с. 8. *Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/ Wide Area Augmentation System Airborne Equipment*, RTCA/DO-229C, November 28, 2001. 9. *Penna, N., A. Dodson, & W. Chen.* Assessment of EGNOS tropospheric correction model, *Journal of Navigation.*, 54(1), (2001). – P. 37-55. 10. *S. Storm van Leeuwen, H. van der Marel, M. Tossaint, A. Martelluci.* Validation of SBAS MOPS Troposphere Model over the EGNOS Service Area. European Navigation Conference GNSS-2004, Rotterdam (the Netherlands), 17-19 May 2004. 11. *Klobuchar, J.A.* Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users / J.A. Klobuchar // *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.* – Vol. AES-23. – pp. 325-331. 12. *IONEX: [Электронный ресурс] /The IONosphere maps EXchange format Version 1»* / Stefan Schaer, Werner Gurtner// – Режим доступа [http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs\\_cb/data/format/ionex1.pdf](http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs_cb/data/format/ionex1.pdf) 13. *Желанов, А.А.* Использование глобальных ионосферных карт IGS в задачах высокоточного ГНСС-позиционирования / Желанов А.А., Е. А. Бессонов // Прикладная радиоэлектроника. – 2011. – Т. 10, № 3. – С. 302-306. 14. *Бессонов, Е.А.* Аппроксимация гладкими функциями расчетных ионосферных коррекций // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2011. – №165. – С. 69-74. 15. *Желанов, А.А.* Оценка точности калибровки положения и вариаций фазовых центров приемных GPS/GNSS антенн / А.А. Жалило, А.А. Желанов, Д.А. Шелковенков, В.М. Шокало // Космічна наука і технологія. – 2008. – №4. – С. 39-52. 16. *Кондратюк, В.М.* Усовершенствованный метод сглаживания кинематических кодовых ГНСС-наблюдений с использованием фазовых // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Вип. 3 (19). – С. 8-13. 17. *Желанов, А.А.* Алгоритм и процедура верификации оценки целочисленных неоднозначностей фазовых GPS наблюдений разностной частоты // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – № 158. – С. 43-52. 18. *Жалило, О.О.* Результати експериментальних досліджень точності траєкторних GPS/GNSS вимірювань при виконанні аерофотозйомки з використанням програмних комплексів «ОCTAVA» та «GRAFNAV/GRAFNET™» / Д.О. Шелковенков, О.О. Желанов, О.О. Жалило // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2008. – № 152. – С. 172-184.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 25.04.2012