

## АЛГОРИТМ И ПРОЦЕДУРА ВЕРИФИКАЦИИ ОЦЕНКИ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ НЕОДНОЗНАЧНОСТЕЙ ФАЗОВЫХ GPS НАБЛЮДЕНИЙ РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ

### Введение

Известно, что решение задач высокоточного определения местоположения (позиционирования) с сантиметровым/миллиметровым уровнем точности по сигналам GPS/GNSS невозможно без использования фазовых наблюдений [1-3]. Инструментальная погрешность измерений фазы несущей частоты, как правило, составляет несколько миллиметров, что и позволяет достигать высокого уровня точности позиционирования. В практике обработки фазовых наблюдений применяется их линейное комбинирование с целью уменьшения систематических погрешностей и разрешения фазовых неоднозначностей (одинарные, двойные и тройные разности) [1-4].

Трудности при обработке фазовых наблюдений вызывают циклические скачки и т.н. начальные фазовые неоднозначности [1-3]. Задача разрешения фазовой неоднозначности заключается в определении целого количества циклов  $N$  для каждого участка наблюдений с исключенными фазовыми скачками. Появление фазовых скачков обычно обусловлено срывами слежения за фазой несущей сигнала. При этом отсчет непрерывной фазы начинается заново с новым начальным значением.

Достижение максимальной точности позиционирования, особенно в режиме кинематической съемки (при движении объекта), возможно только при условии разрешения фазовых неоднозначностей. Поэтому решение такой задачи является принципиально важным при обработке фазовых наблюдений.

В данной работе рассматриваются результаты исследования одного из способов решения задачи разрешения начальной фазовой неоднозначности для линейной комбинации (ЛК) наблюдений Wide Lane [1, 4, 5]. Дальнейшее изложение будет вестись применительно к двойным разностям в предположении, что фазовые наблюдения непрерывны, а циклические фазовые скачки на обеих частотах устранены. Методы и алгоритмы устранения фазовых циклических скачков детально рассмотрены в работах [2, 3].

Известные методы разрешения фазовых неоднозначностей (РФН) для комбинации Wide Lane главным образом основаны на совместном оценивании информационных параметров (координат, расхождений шкал времени и др.) и фазовых неоднозначностей с последующим использованием специальных процедур оценки целочисленных неоднозначностей. Однако такие подходы эффективны на относительно небольших (до 30 - 50 км) базовых расстояниях ввиду ухудшения компенсации ионосферных, тропосферных и эфемеридных погрешностей с увеличением расстояний между базовой станцией и потребителем.

Другой известный подход основан на комбинировании фазовых и кодовых наблюдений. Эти комбинации, которые полностью исключают эфемеридно-временные, ионосферные и тропосферные погрешности, получили название Melbourne-Wubbena [1, 4, 5]. Такая комбинация является функцией неизвестных начальных неоднозначностей и включает только погрешности многолучевости кодовых наблюдений, шумовые и систематические аппаратурные погрешности, а их двойные разности [1, 4, 5] не содержат аппаратурные погрешности. Основной проблемой при обработке этих ЛК является относительно высокий уровень многолучевости (от 0,5 м до нескольких метров) и шумов кодовых наблюдений (до 1 м).

Цель статьи - отыскание и исследование алгоритма определения целых фазовых неоднозначностей двойных разностей с использованием комбинации Melbourne-Wubbena и надежной процедуры оценки достоверности разрешения фазовых неоднозначностей в условиях многолучевости и шумов кодовых наблюдений.

Запишем систему уравнений кодовых (1,2) и фазовых (3,4) наблюдений.

$$\hat{S}_1(t) = F + I + c_1 + dS_1; \quad (1)$$

$$\hat{S}_2(t) = F + \gamma^2 \cdot I + c_2 + \delta S_2; \quad (2)$$

$$\hat{L}_1(t) = F - I - N_1 \cdot \lambda_1 + c_3 + \delta L_1; \quad (3)$$

$$\hat{L}_2(t) = F - \gamma^2 \cdot I - N_2 \cdot \lambda_2 + c_4 + \delta L_2, \quad (4)$$

где  $\hat{S}_1(t)$ ,  $\hat{S}_2(t)$  – кодовая псевдодальность на частотах GPS L1 и L2 соответственно;  
 $\hat{L}_1(t)$ ,  $\hat{L}_2(t)$  – фазовая псевдодальность на частотах GPS L1 и L2 соответственно;

$$F = R + Tr + \Delta_i + \Delta^j;$$

$$R = \sqrt{(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (Z_j - z_i)^2};$$

$R$  – геометрическая дальность между фазовым центром антенны  $i$ -го приемника и фазовым центром антенны  $j$ -го спутника;  $Tr$  – погрешность, обусловленная тропосферной задержкой;  $X_j, Y_j, Z_j$  – координаты  $j$ -го спутника;  $x_i, y_i, z_i$  – координаты  $i$ -го приемника;  $\Delta_i, \Delta^j$  – погрешность, связанная с уходом шкал времени  $j$ -го спутника и  $i$ -го приемника, относительно шкалы системного времени;  $N_1, N_2$  – начальные неоднозначности фазовых наблюдений на частотах GPS L1 и L2 соответственно;  $\lambda_1 \cong 0,19$  м,  $\lambda_2 \cong 0,244$  м – длины волн несущих частот GPS L1 и L2 соответственно;

$$\gamma = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \approx 1,28;$$

$c_1, c_2, c_3, c_4$  – неизвестные величины (постоянные на интервале наблюдений), пропорциональные задержкам в аналоговых трактах  $j$ -го спутника и  $i$ -го приемника на частотах GPS L1 и L2 соответственно;  $\delta L_1, \delta L_2, \delta S_1, \delta S_2$  – погрешности, обусловленные многолучевостью распространения навигационных сигналов и шумами наблюдений.

Сформируем, используя (1-4), линейную комбинацию Wide Lane для фазовых наблюдений и сформируем двойные разности между станциями и спутниками этих ЛК (5) [1, 4, 5].

$$\begin{aligned} \hat{L}_w^{jl}(t) &= \frac{\lambda_w}{\lambda_1} \cdot \hat{L}_1^{jl}(t) - \frac{\lambda_w}{\lambda_2} \cdot \hat{L}_2^{jl}(t) = \\ &= F_{ik}^{jl} + \gamma \cdot I_{ik}^{jl} - N_w^{jl} \cdot \lambda_w + \delta L_w^{jl}, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\lambda_w = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = 0,86 \text{ м};$$

$$N_w^{jl} = N_{1w}^{jl} - N_{2w}^{jl};$$

$j, l$  – номера спутников  $j \neq l$ ;  $i, k$  – номера приемников  $i \neq k$ ;  $\delta L_w^{jl}$  – погрешности, обусловленные многолучевостью и шумом (уровень в пределах нескольких сантиметров).

Длина волны комбинации Wide Lane примерно в четыре раза превышает длины волн на несущих частотах L1 и L2, и позволяет, с одной стороны, выполнить надежное РФН комбинации Wide Lane с использованием кодовых наблюдений, а с другой стороны, существенно повысить надежность последующего РФН на обеих несущих. Таким образом, комбинация Wide Lane служит «промежуточной измерительной шкалой» для решения данной задачи.

Особенностями Wide Lane наблюдений (5) (по сравнению с наблюдениями на  $L1$ ) также являются:

- увеличенная в  $\gamma$  раз ионосферная составляющая погрешности;
- изменение знака ионосферной погрешности с «минуса» (4) на «плюс» (5);
- увеличенный примерно в четыре раза уровень многолучевости и шума по сравнению с исходными фазовыми наблюдениями  $\hat{L}_1$  и  $\hat{L}_2$ .

Сформируем линейную комбинацию Narrow Lane для кодовых наблюдений (6) [1, 4, 5].

$$\begin{aligned}\hat{S}_{N\ ik}^{jl}(t) &= \frac{\lambda_N}{\lambda_1} \cdot \hat{S}_1^{jl}(t) - \frac{\lambda_N}{\lambda_2} \cdot \hat{S}_2^{jl}(t) = \\ &= F_{ik}^{jl} + \gamma \cdot I_{ik}^{jl} + \delta S_{N\ ik}^{jl},\end{aligned}\quad (6)$$

где

$$\lambda_N = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_1} = 0,107\text{ м}.$$

Скомбинируем выражение (5) и (6) следующим образом (7):

$$\hat{\Psi}_w^{jl}(t) = \hat{L}_w^{jl}(t) - \hat{S}_N^{jl}(t) = N_w^{jl} \cdot \lambda_w + \delta \Psi_{MP}^{jl}(t).\quad (7)$$

Полученная комбинация (7) носит название Melbourne-Wubben (MW) [4, 5] и не содержит основные систематические источники погрешности наблюдений. Однако остаются многолучевость и шумы кодовых наблюдений. Величиной погрешностей из-за многолучевости и шумов практически можно пренебречь по сравнению с уровнем кодовых погрешностей. Комбинация MW не зависит от удаления между приемными пунктами, что позволяет использовать её для разрешения фазовых неоднозначностей, как для статических, так и для кинематических приложений.

Оценка неоднозначности на Wide Lane с использованием кодово-фазовой комбинации MW позволяет перейти к однозначным фазовым Wide Lane наблюдениям, т.е. выражение (5) после РФН преобразуется следующим образом (8):

$$\hat{L}_w^{jl}(t) + \hat{N}_w^{jl} \cdot \lambda_w = F_{ik}^{jl} + \gamma \cdot I_{ik}^{jl} + \delta L_w^{jl},\quad (8)$$

Выражение (8) является уравнением однозначных двойных разностей фазовых наблюдений. Решение такой системы выполняется аналогично решению уравнений дифференциальных кодовых наблюдений. При этом точность позиционирования в кинематическом режиме может быть достигнута на уровне 5 - 0 см на средних и больших базовых расстояниях (от 100 до 1000 км). Для точной компенсации ионосферной погрешности возможно и целесообразно применение точных IGS продуктов [6] – карт ионосферных задержек IONEX, точных орбит.

После разрешения фазовой неоднозначности на Wide Lane, проведя соответствующие преобразования, можно перейти к оценке неоднозначностей на несущих частотах  $L1$  и  $L2$ .

В известных автору работах, посвященных задаче разрешения фазовых неоднозначностей с использованием комбинаций MW, не описаны подходы к оценке результатов надежности разрешения неоднозначностей по указанному методу. Поэтому возникает актуальная задача оценки и верификации полученных целочисленных неоднозначностей фазовых GPS наблюдений на разностной частоте (7). Это требует решения ряда частных задач оценки надежности полученного решения, выбора длительности интервалов усреднений, необходимых для надежного разрешения фазовой неоднозначности, оценки уровней шумовых и многолучевых погрешностей наблюдений и выбора их максимально допустимых значений.

Ниже предложен алгоритм оценки и верификации целочисленных неоднозначностей на разностной частоте с использованием кодово-фазовой комбинации Melbourne-Wubben и изложены результаты экспериментальных исследований с использованием реальных данных.

Он включает в себя алгоритм оценки целочисленных неоднозначностей и алгоритм верификации полученного решения.

При работе алгоритма используются наблюдения, прошедшие предварительную обработку. Предварительная обработка включает в себя устранение циклических фазовых скачков и восстановление непрерывности фазовых наблюдений, определение границ непрерывности одновременно для кодовых и фазовых наблюдений и т.д. [7, 8, 9].

### 1. Алгоритм оценки целочисленных неоднозначностей на разностной частоте

Предлагаемая версия алгоритма РФН на разностной частоте включает следующие действия.

1.1. Формируем последовательность  $\hat{\Psi}_w^{jl}(t)$  (7), которая представляет собой двойную разность кодово-фазовых GPS наблюдений на разностной частоте.

1.2. Вычисляем среднее значение данной последовательности, которое послужит первым приближением для дальнейших расчетов:

$$\hat{m}_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \hat{\Psi}_w^{jl}(t). \quad (9)$$

1.3. Вычисляем невязки исходной последовательности относительно среднего значения  $\hat{m}_k$ :

$$\hat{\delta}(t) = \hat{\Psi}_w^{jl}(t) - \hat{m}_k. \quad (10)$$

1.4. Вычисляем методом «скользящего окна» среднеквадратическое отклонение (СКО) последовательности  $\hat{\delta}(t)$  по известной формуле:

$$СКО_{\text{окно}} = \left\langle \hat{\delta}^2 \right\rangle^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{1}{\Delta n} \sum \hat{\delta}^2}. \quad (11)$$

Проведение экспериментальных исследований показало, что «окно» для вычисления СКО может быть выбрано равным половине длины последовательности  $\hat{\Psi}_w^{jl}(t)$ . Ниже на рис.1 представлен пример расчета «оконного» СКО: последовательность  $\hat{\delta}(t)$  представлена сплошной линией, пунктиром указаны величины  $\pm 3 \cdot \text{СКО}$ .

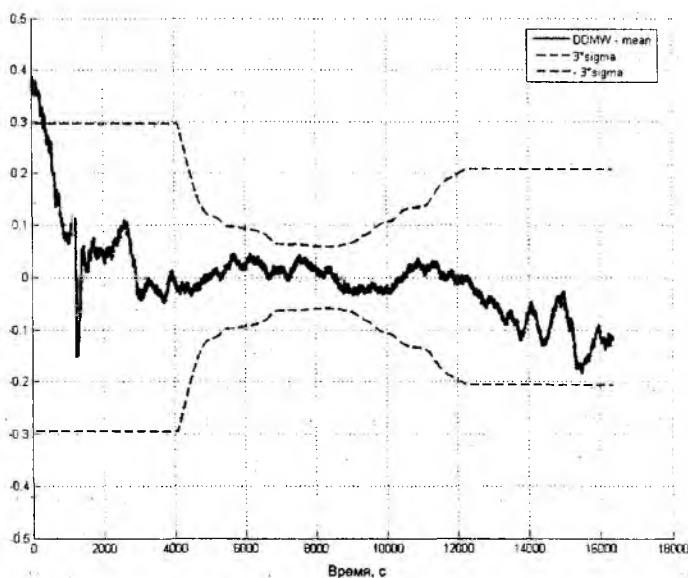


Рис. 1. Пример вычисления «оконного» СКО для двойной разности кодово-фазовых GPS наблюдений

1.5. На следующем шаге формируем весовые коэффициенты  $p_i$  для последовательности  $\hat{\delta}(t)$ . Для формирования векторов весовых коэффициентов вводятся следующие ограничения:

$$p_i = \begin{cases} \frac{1}{3 \times CKO}, & \text{если } \delta < 3 \cdot CKO; \\ \frac{1}{|\delta|}, & \text{если } \delta > 3 \cdot CKO. \end{cases} \quad (12)$$

1.6. С учетом полученных весовых коэффициентов уточняем значение  $\hat{m}_k$ :

$$\hat{m}_k = \frac{1}{\sum p_i^2} \sum p_i^2 \cdot \hat{\Psi}_w^{jl}(t). \quad (13)$$

Затем повторяем операции 1.3-1.6 и проводим новое уточнение величины  $\hat{m}_k$  (см. рис. 3). Как показали экспериментальные исследования, для уточнения величины  $\hat{m}_k$  достаточно двух итераций. Дальнейшее уточнение практического выигрыша в точности не дает.

1.7. Округляем полученную величину  $\hat{m}_k$  до ближайшего целого числа:

$$\hat{m}_k = \{\hat{m}_k\} = \hat{N}_k, \quad (14)$$

где фигурными скобками  $\{\}$  обозначена математическая операция округления до ближайшего целого значения.

## 2. Алгоритм верификации полученного решения

2.1. Для оценки точности полученного решения РФН и, соответственно, надежности РФН, необходимо рассчитать дисперсию уточненного среднего значения  $\hat{m}_k$ :

$$\sigma_m^2 = \left[ \sum_{j=1}^m p_j^2 \right]^{-1} \quad (15)$$

Выражение (15) справедливо, если в расчет берутся независимые отсчеты функции СКО. Для оценки количества независимых отсчетов предлагается использовать оценки автокорреляционных функций для набора последовательностей  $\hat{\Psi}_w^{jl}(t)$ . Затем на основе набранной статистики можно определить интервалы корреляции [10]. Выборка значений  $p_i$  через интервал корреляции позволяет считать эти величины некоррелированными.

Ниже на рис. 2 представлены нормированные автокорреляционные функции для 54 последовательностей  $\hat{\Psi}_w^{jl}(t)$ , полученных с использованием наблюдений сети базовых станций Leica Geosystems AG (Великобритания). Интервал корреляции предлагается выбирать на уровне 0,2–0,3 от максимума автокорреляционных функций (АКФ). На рис. 3 представлены распределения значений автокорреляционных функций, лежащих в пределах 0,2–0,3 от максимума. Как видно на рис. 3, средний интервал корреляции для данного распределения может быть выбран равным 500 с.

2.2. Далее, с учетом п. 2.1., вычисляем оценку максимальной погрешности  $\Pi_k$  полученного целого числа  $\hat{N}_k$  (16). При этом также учтем отклонение  $\hat{N}_k$  от уточненного среднего значения  $\hat{m}_k$  вследствие округления:

$$\Pi_k = \left| \hat{N}_k - \hat{m}_k \right| + 3 \cdot \hat{\sigma}_m. \quad (16)$$

2.3. На следующем шаге выполняем проверку сравнения с порогом (17) для оценки максимальной погрешности РФН. В случае если  $\Pi_k$  не превышает порог, то она принимается как достоверная и включается в дальнейшую обработку. В противном случае эту оценку  $\hat{N}_k$  с весом  $p = \Pi_k^{-1}$  предлагается включать в систему уравнений (5, 8) Wide Lane и оценивать эти параметры наряду с информационными.

$$\Pi_k \begin{cases} < \frac{5}{12} \cdot \lambda_w \Rightarrow \text{оценка } \hat{N}_k \text{ достоверна и она принимается} \\ & \text{в дальнейшую обработку (подставляется} \\ & \text{в систему уравнений (5, 8));} \\ & \geq \frac{5}{12} \cdot \lambda_w \Rightarrow \text{оценка } \hat{N}_k \text{ недостоверна.} \end{cases} \quad (17)$$

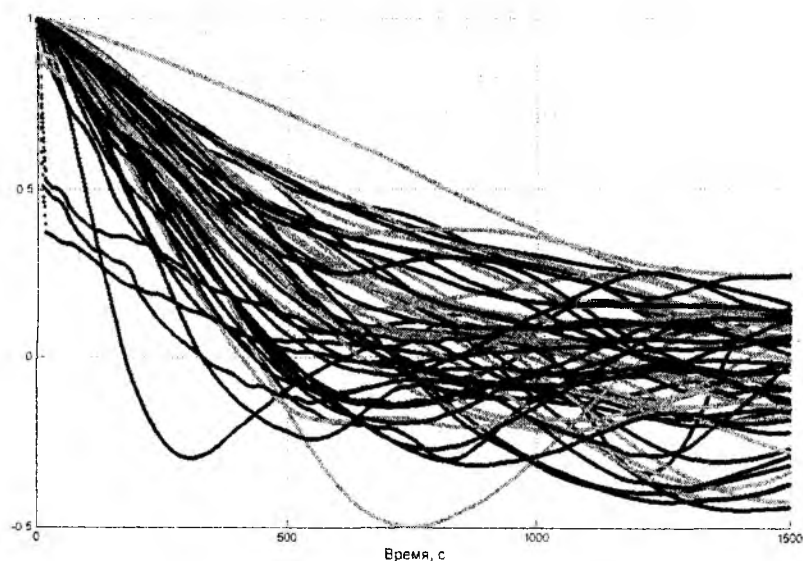


Рис. 2. Автокорреляционные функции последовательностей  $\hat{\Psi}_w^{jk}(t)$

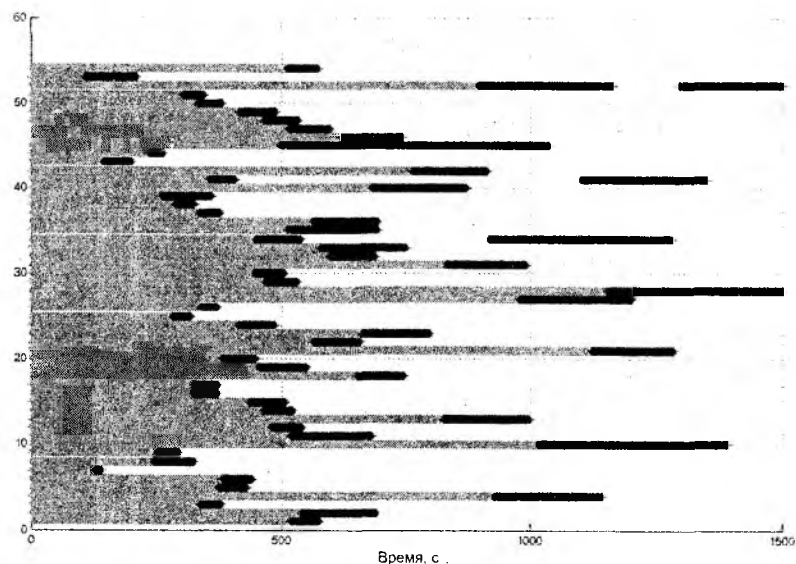


Рис. 3. Распределение значений автокорреляционных функций в пределах 0,2–0,3 от максимума

Порог  $\frac{5}{12} \cdot \lambda_{и}$  был выбран с целью обеспечения дополнительного запаса по надежности для полученной оценки. В случае если оценка  $\Pi_k$  не превышает установленного порога, то оценку  $\hat{N}_k$  считаем достоверной с вероятностью не менее  $P = 0,999$ .

### 3. Результаты экспериментальных исследований

Для отработки разработанного алгоритма использовались наблюдения сети GPS/GNSS базовых станций Leica Geosystems AG за 184 суток 2007 года, расположенной на территории Великобритании (см. рис. 4), а именно станции BARK, BREC, OXFR, STRO.

При проведении исследований выполнялись следующие действия.

1) Выбран интервал наблюдений около 6 часов с темпом данных 1 Гц с целью обеспечения видимости одного референционного спутника на всем участке наблюдений. В данном случае референцимым был выбран спутник № 26.

2) Роль референционной станции (станции с эталонными координатами) выполняла станция BARK, а станции BREC, OXFR, STRO выполняли функции удаленных потребителей («роверов»). Удаления роверных станций от базовой станции составили: BARK – OXFR = 102 км, BARK – STRO = 168 км, BARK – BREC = 245 км;

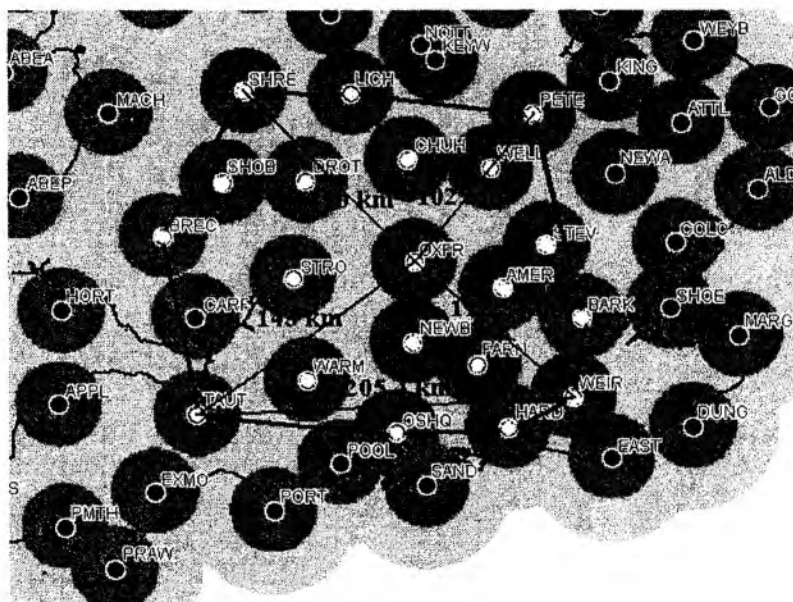


Рис. 4. Схема сети GPS/ GNSS базовых станций

3) Используемые наблюдения подверглись предварительной обработке с использованием программного обеспечения «ОСТАВА» [8, 9], которое позволяет оценить качество используемых кодовых и фазовых наблюдений, устранить циклические фазовые скачки, восстановить непрерывность фазовых наблюдений и т.д.;

4) Выполнено формирование комбинаций Melbourne-Wubben для двойных разностей кодово-фазовых наблюдений относительно референционного спутника для каждого набора станций. В итоге было получено 54 последовательности;

5) Полученные последовательности оценивались с применением предложенного алгоритма РФН и процедуры верификации решения.

Ниже на рис. 5 в качестве примера приведены графики двойных разностей ЛК Melbourne-Wubben для референционного спутника № 26 и текущих спутников № 2, 5, 8, 9, 10, 12. В правом верхнем углу рисунков указаны названия станций, расстояния между ними и средние значения полученных последовательностей. На графиках изображены последовательности, для которых в качестве «нулевых» значений приняты ближайшие целые средних значений (выборки центрированы).

Ниже в табл. 1 приведены результаты анализа и верификации полученных целочисленных фазовых неоднозначностей для каждой базы. В табл. 1 указаны базовые расстояния между станциями, номер референчного и текущих спутников, оценки значений целочисленных неоднозначностей  $\hat{N}_k$  и оценки максимальной погрешности  $\Pi_k$  полученных результатов, длительности интервалов наблюдений, а также статус полученной оценки. Знаком «+» обозначена достоверность полученного значения  $\hat{N}_k$ , знаком «-» – недостоверные оценки  $\hat{N}_k$ .

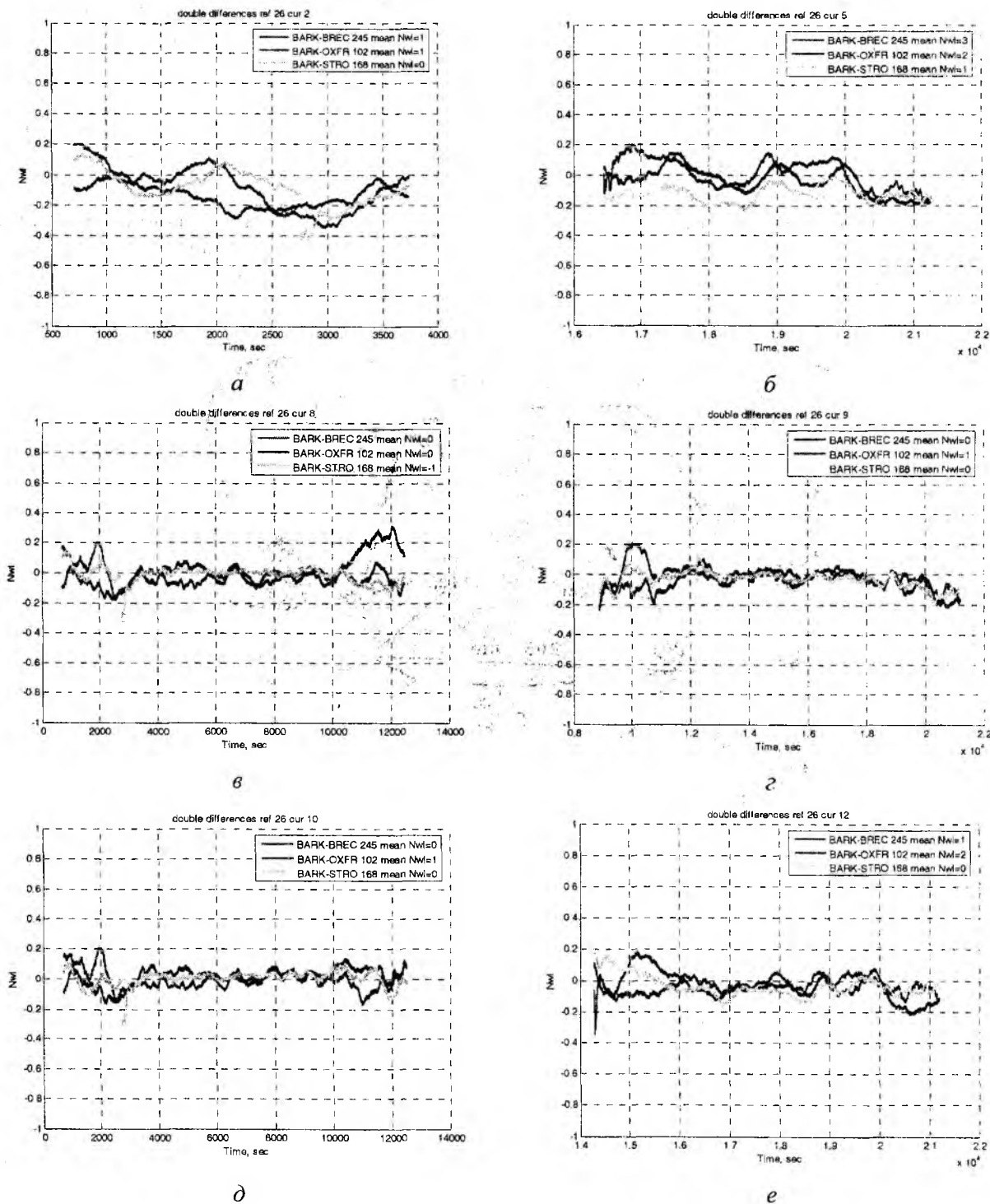


Рис. 5. Двойные разности MW для референчного спутника № 26 и текущих спутников № 2 (а), 5 (б), 8 (в), 9 (г), 10 (д), 12 (е)

Результаты анализа и верификации целочисленных неоднозначностей двойных разностей наблюдений

Базовое расстояние между станциями Варк Врес 245 км референсный спутник № 26																													
№ спутника	2	5	8	9	10	12	13	14	17	18	21	22	24	25	27	28	29	30											
$\hat{N}_k$	1	3	0	0	0	1	2	1	0	0	i	2	1	0	1	0	1	1											
Оценка $P_k$ достоверности	0.323	0.460	0.051	0.051	0.032	0.186	0.350	0.289	0.060	0.055	0.141	0.331	0.220	0.159	0.207	0.053	0.149	0.269											
Интервал наблюдений, с	3032	4974	11754	12507	11794	7136	1572	2433	9529	12797	7082	8075	8886	5446	8788	16183	19403	2630											
Статус	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+											
Базовое расстояние между станциями Варк Стго 168 км референсный спутник № 26																													
$\hat{N}_k$	0	1	-1	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	2	0											
Оценка $P_k$ достоверности	0.158	0.289	0.151	0.043	0.031	0.080	0.181	0.110	0.074	0.106	0.199	0.100	0.051	0.078	0.034	0.026	0.028	0.208											
Интервал наблюдений, с	3032	4974	11754	12507	11794	7136	1572	2433	9529	12797	7082	8075	8886	5446	8788	16183	19403	2630											
Статус	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+											
Базовое расстояние между станциями Варк Охfr 102 км референсный спутник № 26																													
$\hat{N}_k$	1	2	0	1	1	2	0	1	2	0	1	2	2	0	1	1	2	1											
Оценка $P_k$ достоверности	0.354	0.358	0.041	0.188	0.142	0.362	0.261	0.421	0.391	0.097	0.162	0.406	0.354	0.095	0.206	0.162	0.326	0.246											
Интервал наблюдений, с	3032	4974	11754	12507	11794	7136	1572	2433	9529	12797	7082	8075	8886	5446	8788	16183	19403	2630											
Статус	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+											

Порог (см. п.2.3.) равен  $\frac{5}{12} \cdot \lambda_{\text{вр}} = 0,359$ .

Из табл. 1 видно, что из имеющейся выборки (54 оценки) неоднозначностей пять оценок определены как недостоверные, что составило ~10 % от общего количества. В 90% случаев оценки признаны достоверными. Это позволяет говорить об эффективности разработанных алгоритмов и процедур и возможности их использования в программно-алгоритмических обеспечениях обработки GPS наблюдений.

## Выводы

1. Предложены новые алгоритм и процедура верификации оценки целочисленных фазовых неоднозначностей двойных разностей Wide Lane наблюдений с использованием кодово-фазовой комбинации Melbourne-Wubben. Предложенный подход к оценке точности полученного решения предполагает учет корреляционных свойств многолучевой и шумовой составляющих Wide Lane наблюдений. На основании анализа корреляционных свойств, предложенный алгоритм рассчитывает предельные погрешности оценок фазовых неоднозначностей, что позволило сформировать критерии достоверности полученных решений. При этом оценка вероятности принятия правильного решения с учетом принятых допущений составляет не менее  $P = 0,999$ .

2. Выполнены экспериментальные исследования предложенного алгоритма обработки с использованием реальной измерительной информации сети базовых станций Leica Geosystems AG на территории Великобритании. Интервал наблюдений составил около 6 часов с темпом данных 1 Гц. В итоге получено, что из имеющейся выборки (54 оценки) неоднозначностей пять оценок определены как недостоверные, что составило ~10 % от общего количества. В 90 % случаев оценки признаны достоверными.

3. Разработанный алгоритм показал свою работоспособность и эффективность. В то же время, планируется расширить и дополнить выполненные исследования, используя сетевой подход к проблеме РФН для статических и кинематических наблюдений; разработать комплексный подход, используя описанный путь РФН в комбинации с методом разрешения фазовых неоднозначностей, использующим только фазовые Wide Lane наблюдения.

*Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору В.М. Шокало и научному руководителю кандидату технических наук А.А. Жалило за высказанные замечания и рекомендации при подготовке материалов статьи.*

**Список литературы:** 1. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтнеггер, Д. Коллінз / Пер. з англ. за ред. Я.С. Яцківа. Київ: Наук. думка, 1995. 380 с. 2. *Carrier-Phase Cycle-Slip detection and repair of Dual-Frequency GPS data – New Technique using Correlation Filtering Principle*/ Zhalilo A.A. // Proceedings of the 10<sup>th</sup> Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, Russia, 26–28 May 2003, pp.273-276. 3. *Моніторинг геометричної конфігурації многобазисної мережі широкозонної диференціальної підсистеми космічних навігаційних систем NAVSTAR і ГЛОНАСС* / А.А. Жалило, С.Н.Флерко, А.И.Яковченко // Київ: Космічна наука та технологія, 1999. 4. *Long Baseline GPS Kinematic Positioning by Wide-Lane Combination* / Isshiki H. // Conference Proceedings The Society of Naval Architects of Japan, Vol. 3, No.2004S-G2-10. 5. *An Application of Wide-Lane to Long Baseline GPS Measurements* / Isshiki H. // ION GPS/GNSS 2003. 6. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html> 7. *“OCTAVA”*: многофункциональный программный инструментарий обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений // Материалы междунар. конф. [«Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам»] / Гос. науч. центр РФ – ЦНИИ «Электроприбор» – 2007 – С.319-321. 8. *Контроль качества кодовых и фазовых GPS-наблюдений на этапе предварительной обработки* : материалы междунар. конф. [«Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам»] / Гос. науч. центр РФ – ЦНИИ «Электроприбор» – 2007 – С. 310-312. 9. *Features and service performance of multifunctional software toolkit “OCTAVA” for processing and analysis of GPS/GNSS observations* : [GEOS 2007], Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography – Prague: Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, 2007. – С. 102-110. 10. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б.Ф. Жданюк. М.: Сов. радио, 1978 – 350 с.

*Харьковский национальный университет радиотехники*

*Поступила в редколлегию 07.08.2009*