

А. Л. Коворотный¹, Ю. В. Гончаренко¹, В. Н. Горобец¹, Ф. В. Кивва¹, А. И. Горб², А. Ю. Балан³

¹Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: kovorotniy@ire.kharkov.ua

²Навигационно-геодезический центр, Харьков, Украина, e-mail: ngc@ngc.com.ua

³Представительство Leica Geosystems AG в Украине, e-mail: andrey.balan@leica-geosystems.com

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ НАД ХАРЬКОВСКИМ РЕГИОНОМ ПОСРЕДСТВОМ GPS

Оценка состояния атмосферы, а также прогнозирование погоды и климата были и остаются актуальными для различных областей науки и техники. Работа посвящена разработке методики определения тропосферной зенитной задержки (ZTD) по данным дистанционного зондирования при помощи системы GPS и экспериментальной проверке предложенного алгоритма. Исходные данные, используемые для вычисления зенитной задержки, а в дальнейшем – метеопараметров в каждой из приемных точек, получены при помощи региональной системы высокоточных спутниковых геодезических измерений в Харьковской области (NGCNET). В работе описана методика определения гидростатической и влажной (ZWD) компонент тропосферной задержки на основании данных, полученных с помощью двухчастотных приемников GPS. Проведено сравнение между данными, рассчитанными по известным моделям, и полученными от NGCNET. Показано, что коэффициенты корреляции между значениями ZWD составляет 0,5–0,6 – для летних и 0,7–0,8 – для зимних и весенних измерений. В работе также оценены радиусы корреляции значений ZWD для различных сезонов.

Ключевые слова: атмосфера, глобальная спутниковая навигационная система, тропосферная задержка, прогнозирование, перманентная станция.

Оценка состояния атмосферы (мониторинг), а также прогнозирование погоды и климата, обусловленных природными и антропогенными процессами в космосе и на Земле, были и остаются актуальными в жизни и деятельности человека [1, 2].

Традиционно, вплоть до возникновения и развития космических технологий, решение этих задач производилось статистическими методами путем анализа астрономических, метеорологических, аэрологических и ракетных измерений, проведенных на стационарных и подвижных пунктах в различных географических, сезонных и погодных условиях. Определялись средние и флукуационные параметры атмосферы в зависимости от географических координат и влияния космических факторов, преимущественно активности Солнца [1]. Было установлено, что энергия метеорологических образований на порядок и более превосходит их средние значения, что дало основания для анализа нелинейных связей между ними [3], в том числе триггерных эффектов, проявляющихся в виде ураганов, торнадо, тайфунов и других катастрофических явлений [3]. Установлено также, что только за два последние десятилетия количество и интенсивность метеорообразований, приводящих к авариям, наводнениям, цунами и другим катастрофам, существенно возросло. Расширились также географические масштабы и длительность их существования в годовом цикле изменения метеорологических параметров атмосферы. В настоящее время актуальность мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы продолжает нарастать и, что особенно важно, возникает острая необходимость в реализации в глобальном масштабе и реальном времени.

Для решения перечисленных задач все возрастающее применение наряду с контактными методами мониторинга находят космические методы, основанные на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), такие как GPS, ГЛОНАСС и др. [4].

Для них информационными являются сигналы, излучаемые передатчиками, которые установлены на искусственных спутниках Земли (ИСЗ), работающими в сантиметровом (см) диапазоне волн. Приемники ГНСС устанавливаются в базовых и измерительных пунктах, координаты которых точно известны или подлежат определению.

Известно, что основное влияние на распространение радиоволн см диапазона оказывают пространственно-временные характеристики показателя преломления атмосферы [2].

Наиболее существенные погрешности в измерении координат местоположения возникают при прохождении радиосигналом ионосферы Земли. Ионосфера – это ионизированный атмосферный слой в диапазоне высот от 50...1 000 км над Землей [5, 6], содержащий свободные электроны и ионы. Наличие заряженных частиц вызывает задержку распространения сигнала спутника, прямо пропорциональную концентрации электронов и обратно пропорциональную квадрату частоты радиосигнала. Ионосферная погрешность может быть существенно уменьшена путем фазовых измерений, проведенных на двух частотах в L-диапазоне [7].

Другим источником ошибок ГНСС является тропосферная рефракция. Тропосфера – слабодиспергирующая среда, показатель преломления которой не зависит от частоты в L-диапазоне. Тропосферная рефракция и многолучевость не

исключаются посредством измерений на нескольких частотах. Тропосферная погрешность зависит от температуры, давления и влажности, которые определяются путем моделирования и прогнозирования [8–10]. При этом наиболее вариабельной величиной, влияющей на точность в определении координат местоположения, является влажность тропосферы, которая вносит преобладающий вклад в показатель преломления или индекс ее рефракции. Эти параметры, кроме монотонных зависимостей от координат и времени, учитываемых посредством математических моделей, могут содержать структурные особенности, например, динамические неустойчивости, связанные с конвективными и адвективными процессами, инверсионными слоями, турбулентностью, влиянием подстилающей поверхности и др. Среди известных и наиболее часто применяемых можно назвать экспоненциальную и биэкспоненциальную модели.

Тропосферная задержка сигнала, зависящая от метеопараметров среды, моделируется с помощью зенитной тропосферной задержки (*ZTD*) и проектирующей функции (ПФ). Для определения значения *ZTD* разработано значительное количество моделей: *Hopfield*, *Saastamoinen*, *Niell*, *MOPS* (*Minimum Operational Performance Standards*) и др. [11], каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Наибольшей популярностью в настоящее время пользуется модель *Saastamoinen*; она использует метеорологические данные, полученные в точке расположения приемника, и лучше других соответствует реальным условиям. Одним из недостатков этой модели является то, что для расчета *ZTD* используется модель стандартной атмосферы (МСА) [12], а не модели, учитывающие особенности исследуемого региона (региональные модели).

Целью настоящей работы является разработка методики определения влажной компоненты зенитной тропосферной задержки (*ZWD*) по данным дистанционного зондирования при помощи системы *GPS* и проверка ее работоспособности на примере Харьковской области.

1. Методика измерения *ZWD* в точке приема. Исходные экспериментальные данные об условиях распространения радиоволн были получены при помощи региональной системы высокоточных спутниковых геодезических измерений в Харьковской области (*NGCNET*). Достоинствами данной системы являются:

- хорошее техническое обеспечение, так как данная сеть оборудована профессиональными двухчастотными приемниками *LEICA GEOSYSTEM*;
- большое количество измерительных пунктов, которое позволяет проводить мониторинг

значительной площади земной поверхности (около 31 тыс. км²);

- большое расстояние между приемными пунктами (40...150 км);

- высокая частота измерений (15 Гц), тогда как в большинстве аналогичных сетей измерения проводятся один раз в 30 с.

Для повышения точности измерений в работе также использовались данные сети перманентных станций *EUREF (IGS)*.

На рис. 1 представлена карта расположения базовых измерительных станций вблизи Харькова. Принятая информация по *ADSL* каналу связи передается в диспетчерский пункт в Харькове и переводится в *RINEX*-формат.



Рис. 1. Расположение базовых измерительных станций

Данные, полученные с различных приемных станций, используются для вычисления *ZTD*, а в дальнейшем – для вычисления метеопараметров в каждой из приемных точек.

Идея предлагаемого метода вычисления *ZTD* состоит в следующем. Зная координаты приемной станции, полученные усреднением на временном интервале не менее одной недели, и положение спутников, рассчитанное на основе высокоточных эфемерид, можно вычислить фактическое расстояние между спутником и наблюдательным пунктом. Фактическое и измеренное при помощи *GPS* расстояния между приемником и спутником связаны выражением

$$L_{real} = L_{mes} + \Delta L_{iono} + \Delta L_{tropo} + \Delta L_{clock}, \quad (1)$$

где L_{real} – фактическое расстояние до спутника; L_{mes} – измеренная при помощи *GPS* псевдодальность до спутника; ΔL_{iono} – ошибка измерения псевдодальности, внесенная ионосферой; ΔL_{tropo} –

ошибка измерения псевдодальности, внесенная тропосферой; ΔL_{clock} – ошибка, внесенная сдвигом часов приемника и передатчика.

Коррекция псевдодальности с учетом ионосферных задержек выполняется по алгоритму [7]

$$\Delta L_{iono} = PR = \frac{PR_{L2P(Y)} - \gamma PR_{L1P(Y)}}{1 - \gamma},$$

где PR – псевдодальность после коррекции; $PR_{L2P(Y)}$ – псевдодальность, полученная при помощи P -кода на частоте $L2$; $PR_{L1P(Y)}$ – псевдодальность, полученная при помощи P -кода на частоте $L1$; γ – частотный коэффициент:

$$\gamma = (f_{L1} / f_{L2})^2 = (1575,42 / 1227,6)^2 = 1,647. \quad (3)$$

Ошибка определения псевдодальности, внесенная сдвигом часов приемника и передатчика, вычисляется как [7]

$$\Delta L_{clock} = \Delta t_{SV} c, \quad (4)$$

где Δt_{SV} – коррекция часов приемника; c – скорость света в вакууме;

$$\Delta t_{SV} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oc}) + a_{f2}(t - t_{oc})^2 + \Delta t_r, \quad (5)$$

где a_{f0}, a_{f1}, a_{f2} – коэффициенты, получаемые из текущих эфемерид; Δt_r – относительная временная поправка; t_{oc} – опорное время;

$$\Delta t_r = Fe\sqrt{A} \sin(E_k), \quad (6)$$

где e, A, E_k – эфемеридные поправочные коэффициенты; F – константа, вычисляемая как

$$F = \frac{-2\sqrt{\mu}}{c^2} = -4,442807633 \cdot 10^{-10} [\text{с} \cdot \text{м}^{-1/2}], \quad (7)$$

где $\mu = 3,980605 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$ – гравитационная постоянная Земли.

Из выражения (1) с учетом (2)–(7) можно выделить задержку, связанную с распространением радиоволн в тропосфере. Данная методика определения тропосферной задержки предложена в [13], однако описание программного обеспечения для определения ZWD в литературе авторам не известно.

Полученная задержка зависит не только от метеопараметров тропосферы, но и от угла места спутника, поэтому задержку, вносимую тропосферой, необходимо преобразовать в зенитную задержку. Для спутника, находящегося под углом места ν , зенитная задержка определяется как [14]

$$ZTD = T(\nu) / m(\nu), \quad (8)$$

где $T(\nu)$ – задержка, полученная от спутника, расположенного под углом места ν ; $m(\nu)$ – проектирующая функция (ПФ).

Величина ZTD определяется высотными профилями метеорологических величин – давления, температуры и влажности – и часто разбивается на две составляющие: гидростатическую (ZHD) и влажную (ZWD) [15]. При этом для каждой составляющей зенитной задержки подбираются индивидуальные ПФ. Характерные значения ZTD составляют 2,2...2,4 м, при этом около 90–95 % этой величины приходится на гидростатическую часть.

Модель *Saastamoinen* для вычисления ПФ тропосферной задержки использует различные зависимости для описания гидростатической и влажной компонент:

$$ZTD(\nu) = ZHD(\nu) + ZWD(\nu), \quad (9)$$

где ν – угол места спутника, °.

$$ZHD(\nu) = \frac{2,277 \cdot 10^{-3}}{\cos(90^\circ - \nu)} (P_0 - 1,16 \text{ tg}^2(90^\circ - \nu)), \quad (10)$$

где P_0 – атмосферное давление в точке наблюдения, Па.

$$ZWD(\nu) = \frac{2,277 \cdot 10^{-3}}{\cos(90^\circ - \nu)} \left(\frac{1255}{T_0} + 0,05 \right) e_0, \quad (11)$$

где T_0 – температура в точке наблюдений, К; e_0 – парциальное давление водяного пара, Па.

При вычислении зенитной задержки ($\nu = 90^\circ$) выражения (9)–(11) упрощаются:

$$ZHD(90^\circ) = 2,277 \cdot 10^{-3} \cdot P_0; \quad (12)$$

$$ZWD(90^\circ) = 2,277 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1255}{T_0} + 0,05 \right) e_0. \quad (13)$$

Из выражения (12) видно, что значения гидростатической зенитной задержки и атмосферного давления в точке наблюдения связаны линейно. Изменение давления в районе Харькова от 735 торр (сильный циклон) до 750 торр (антициклон) вызывает изменение $ZHD(90^\circ)$ с 2,231 м до 2,278 м, т. е. на ~ 4,5 см.

Рассмотрим влияние изменений относительной влажности и температуры в точке наблюдения на ZWD . На рис. 2 представлен результат расчета ZWD для диапазона температур – 25...+25 °С и влажностей 35, 50 и 85 % при атмосферном давлении 745 торр. Из рисунка видно, что значения ZWD в зимнее время в несколько раз меньше, чем в теплое время года.

При –10 °С значение влажной компоненты не превышает 1 % от полной тропосферной задержки, а при +10 °С оно составляет 4–5 %. Очевидно, что точность измерения влагосодержания тропосферы в теплое время года будет более высокой, чем в холодное время.

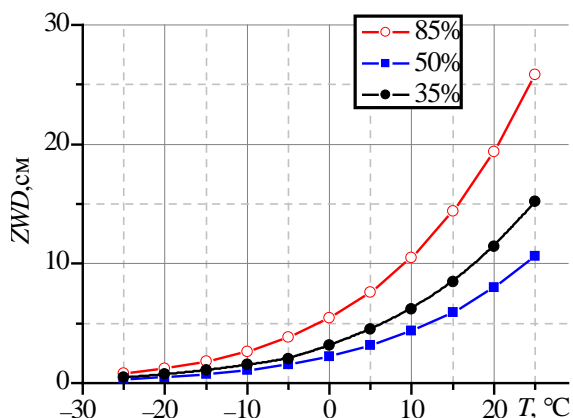


Рис. 2. Зависимость ZWD от температуры и относительной влажности, рассчитанная по модели *Saastamoinen* в точке наблюдения при атмосферном давлении 745 торр

2. Обсуждение результатов. Для оценки работоспособности предложенного алгоритма производились измерения ZWD и сравнение полученных при помощи *GPS*-приемника значений с данными, рассчитанными по модели *Saastamoinen*. Для увеличения площади покрытия региональной сети приемных станций *GPS* и улучшения точности измерений на границах Харьковской области анализировались данные перманентных станций в г. Полтава и Харьков (*KHAR*), а также станции РИ НАНУ, расположенной в пос. Мартовая.

Проанализированы временные значения ZTD и ZWD , относящиеся к трем сезонам: зима (январь 2012 г.), весна (март 2012 г.) и лето (июль 2012 г.). На рис. 3 показан временной ход ZWD за период 1–17 марта 2012 г. Различия между измеренными (кривая 2) и рассчитанными (кривая 1) величинами ZWD могут быть обусловлены, по нашему мнению, пространственным разномом между метеостанцией «Харьков» и станцией Харьков (*KHBA*). Несмотря на эту ошибку, наблюдается существенная корреляция между измеренными и рассчитанными значениями ZWD .

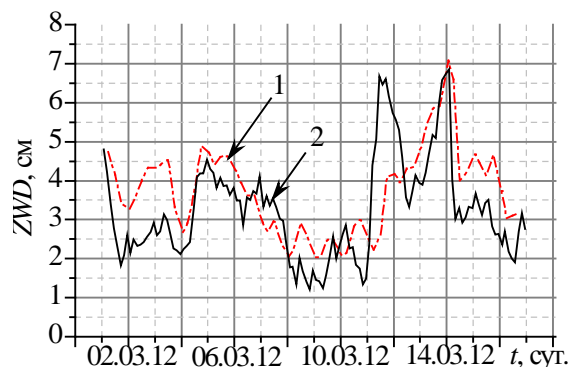


Рис. 3. Временной ход ZWD : 1 – ZWD , рассчитанное по модели *Saastamoinen*; 2 – ZWD , рассчитанное на основании данных ГНСС

На рис. 4 и 5 представлены вариации значений ZWD , полученные при помощи *GPS* измерений на станциях Харьков (*KHBA*) и Изюм в весенний (1 – 17.03.2012 г.) и летний (15 – 31.07.2012 г.) периоды. Из рисунков видно, что среднее значение ZWD , полученное весной в 4–5 раз меньше аналогичной величины ZWD , полученной в летние месяцы.

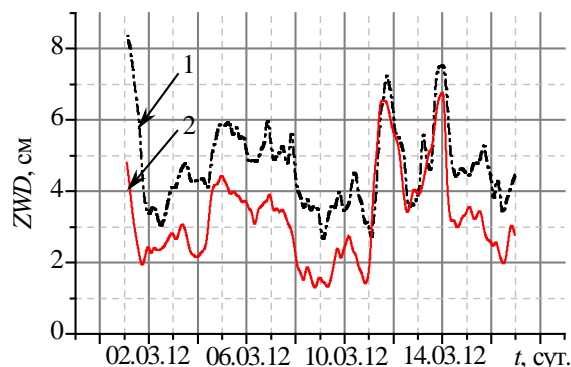


Рис. 4. Изменение ZWD на станциях *IZUM* (кривая 1) и *KHBA* (кривая 2)

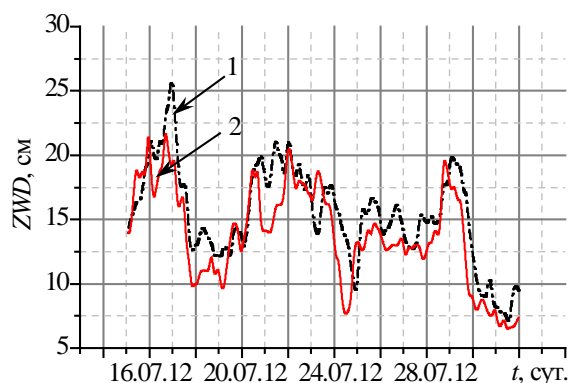


Рис. 5. Изменение ZWD на станциях *IZUM* (кривая 1) и *KHBA* (кривая 2)

Коэффициент корреляции для зимнего и весеннего сезонов составляет 0,70–0,75, а для лета – 0,5–0,6. Разница коэффициента корреляции для различных сезонов является следствием двух причин:

- Модель *Saastamoinen* основывается на стандартной модели тропосферы, в которой индекс рефракции убывает с высотой и не зависит от места наблюдения. Летом вероятность появления температурных аномалий и инверсионных слоев влажности больше, чем в весеннее и зимнее время, поэтому для летних данных точность модели *Saastamoinen* существенно уменьшается.

- В приведенных выше экспериментах точки сбора метеоданных и *GPS*-приемники были разнесены на расстояние нескольких километров. Поэтому метеопараметры тропосферы, опреде-

ленные на метеостанции, могут несколько отличаться от метеопараметров в точке размещения навигационного приемника.

Также следует отметить, что в летние месяцы изменение ZWD на станции Изюм запаздывает относительно аналогичного изменения на станции $КНВА$ на 8...12 ч. Это означает, что в рассматриваемый интервал времени скорость распространения возмущения составляла 30...40 км/ч. Описанный эффект, который был отмечен в работе [16], хорошо виден на рис. 5 (17, 24 и 29 июля 2012 г.).

На рис. 6 представлены зависимости коэффициента взаимной корреляции ZWD от расстояния между приемными пунктами, построенные по суточным данным, полученным для зимы (30.01.2012 г.), весны (14.03.2012 г.) и лета (20.07.2012 г.).

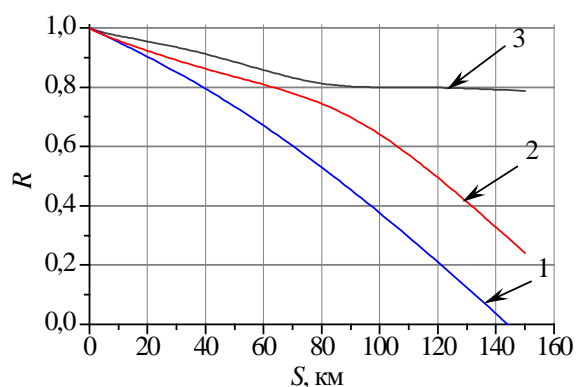


Рис. 6. Зависимость коэффициента взаимной корреляции ZWD от расстояния между приемными пунктами: 1 – 30.01.2012 г.; 2 – 20.07.2012 г.; 3 – 14.03.2012 г.

Из рисунка видно, что коэффициент взаимной корреляции между данными о ZWD , полученными станциями, расположенными на расстоянии 11 км ($КНАР$ и $КНВА$) равен 0,97–0,99 для любого сезона. При увеличении расстояния между приемными пунктами коэффициент корреляции уменьшается до 0,1 для станций, находящихся на расстоянии 120...130 км. Следует отметить, что радиус корреляции ZWD зависит не только от сезона, а также от актуальной метеорологической ситуации. На протяжении 14–15 марта 2012 г. (кривая 3 на рис. 6) на всей территории Восточной Украины установился мощный циклон, вызвавший плотную многоярусную облачность и практически непрерывные осадки в виде снега. Температура на всей территории Харьковской области в это время колебалась от +3 до –0,5 °С. Исходя из формы кривой 3 можно предположить, что размер метеообразования, обуславливающего вариации ZWD 14.03.2012 г., превышал 150 км. Метеоситуация 30.01.2012 г. и 27.07.2012 г. была

менее стабильной, что обусловило уменьшение радиуса корреляции до 80...100 км при $R = 0,5$.

На рис. 7 представлено пространственное распределение ZWD , полученное в 8 ч 00 мин 20.07.2012 г. Метеорологическую ситуацию 20.07.2012 г. определял мощный грозовой фронт, вызвавший ливневые осадки и грозы на фоне высокой (25...27 °С) дневной температуры. Выпадение и быстрое испарение осадков обусловило неравномерность поля ZWD , наблюдаемую на рис. 7. Как видно из рисунка, максимальное значение ZWD и, соответственно, максимальное количество водяного пара в атмосфере наблюдается на границе Харьковской области в районе г. Красноград и Волчанск, в то время как в районе г. Лозовая содержание водяного пара в атмосфере существенно меньше.



Рис. 7. Распределение ZWD на территории Харьковской области, полученное в 8 ч 00 мин 20.07.2012 г.

Выводы. Описана методика определения ZHD и ZWD на основании данных, полученных с помощью двухчастотных приемников ГНСС GPS . Проведено сравнение между расчетными данными, полученными на основе измерений региональной системы высокоточных спутниковых геодезических измерений Харьковской области, и данными математического моделирования.

Показано, что коэффициент корреляции между значениями ZWD , полученными при помощи GPS -измерений и рассчитанными на основании модели $Saastamoinen$, составляет 0,5–0,6 для летних и 0,7–0,8 для зимних и весенних измерений. Таким образом, модель $Saastamoinen$ может быть использована на первом этапе апробации предлагаемой методики расчета ZWD .

В работе оценен радиус корреляции значений ZWD , полученных в зимнее, весеннее и летнее время. Показано, что пространственное распределение ZWD , в летнее время, более неоднородно, чем распределения ZWD , в зимний и весенний период.

Одним из метеорологических параметров, отражающих влагосодержание атмосферы, есть количество осаждаемой воды или *PWV* (*Precipitable Water Vapor*), поэтому дальнейшие исследования необходимо направить на разработку алгоритмов определения *PWV* по данным ГНСС-измерений.

Библиографический список

1. Поток энергии Солнца и его изменения / под ред. О. Уайта; пер. с англ. под ред. Г. М. Никольского. – М.: Мир, 1980. – 558 с.
2. Солнечно-земные связи, погода и климат / под ред. Биллий М. Мскормац; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 384 с.
3. Черногор Л. Ф. Нелинейности в природе и науке / Л. Ф. Черногор. – Х.: Харьков. гос. ун-т, 2008. – 504 с.
4. *Paroscientific, Inc.* / GPS meteorology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.paroscientific.com/gpsmet.htm>. – Дата доступа: 27.10.12. – Загл. с экрана.
5. Richard B. L. GPS, Ionosphere and Solar Maximum / B. L. Richard // GPS world. – 2000. – 11, Iss. 7. – P. 44–49.
6. *Handbook of Geophysics and the Space Environment* / A. Jursa, ed. – Hanscom, US Air Force Geophysics Laboratory, 1984. – 1042 p.
7. *US Coast Guard Navigation Center. Interface control document ICD-GPS-200, rev IRN-200C-04* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/icd200/icd200cw1234.pdf>. – Дата доступа: 27.10.12. – Загл. с экрана.
8. Долуханов М. П. Распространение радиоволн / М. П. Долуханов. – М.: Сов. радио, 1972. – 155 с.
9. *Du Castel Francois. Tropospheric Radiowave Propagation beyond the Horizon* / Du Castel, Francois. – Oxford: Pergamon Press, 1966. – 231 p.
10. Бин Б. Р. Радиометеорология / Б. Р. Бин, Е. Дж. Даттон; пер. с англ. под ред. А. А. Семенова. – Л.: Гидрометеопиздат., 1971. – 392 с.
11. Hofmann B. GNSS – Global Navigation Satellite Systems / B. Hofmann, H. Lichtenegger, E. Wasle. – N. Y.: Springer, 2007. – 385 p.
12. *U.S. Standard Atmosphere Supplements, 1966* / U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1966. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=AD0659543>. – Дата доступа: 27.10.12. – Загл. с экрана.
13. Мониторинг интегрального содержания водяного пара в атмосфере ГНСС-сигналами / В. В. Чукин, Е. С. Алдошкина, А. В. Вахнин и др. // Ученые зап. КГМУ. – 2010. – № 12. – С. 51–60.
14. Mendes V. Modeling the neutral-atmospheric propagation delay in radiometric space techniques: Ph.D. thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report N 199, University of New Brunswick / V Mendes. – New Brunswick, 1999. – 353 p.
15. Заблоцкий Ф. Д. Визначення і оцінка складових тропосферної затримки у GPS вимірах / Ф. Д. Заблоцкий // Геодезія, картографія і аерофотозімання. – 2001. – Вип. 61. – С. 11–23.
16. Сопин А. А. Определение параметров холодного фронта циклона «Кирилл» по синхронным измерениям давления

и потока мюонов / А. А. Сопин, Ю. М. Ямпольский // Радиофизика и радиоастрономия. – 2011. – 11, № 1. – С. 62–69.

Рукопись поступила 22.11.2012 г.

A. L. Kovorotny, Yu. V. Goncharenko,
V. N. Gorobets, F. V. Kivva, A. I. Gorb, A. Yu. Balan

ATMOSPHERE MONITORING OVER THE KHARKOV REGION BY MEANS OF GNSS

The state of the atmosphere rating, weather and climate forecasting were actual for other areas of science and engineering. This paper deals with the development of methods for determining the tropospheric zenith delay (ZTD) from remote sensing data using GPS systems and algorithm of the experimental validation. The raw data were obtained by means of a regional system of high-precision satellite geodetic measurements in the Kharkiv region (NGCNET). Later they were used to calculate the zenith delay and weather parameters in each of the receiving points. The article describes a method's for determining the hydrostatic and "wet" (ZWD) component of the tropospheric delay on the data obtained by the two-frequency receivers GPS. A comparison between the data calculated from the known models, and received from NGCNET. It is shown that the correlation coefficients between the values of the "wet" ingredients tropospheric delay is 0,5–0,6 for summer season and 0,7–0,8 for winter and spring seasons measurements. The correlation radius of ZWD values for different seasons were evaluated in this work.

Key words: atmosphere, global navigation satellite system, tropospheric delay, forecasting, permanent station.

О. Л. Коворотный, Ю. В. Гончаренко, В. М. Горобец,
Ф. В. Ківва, А. І. Горб, А. Ю. Балан

МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРИ НАД ХАРКІВСЬКИМ РЕГІОНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ GPS

Оцінка стану атмосфери, а також прогнозування погоди і клімату були та залишаються актуальними для різних галузей науки і техніки. Робота присвячена розробці методики визначення тропосферної зенітної затримки (ZTD) за даними дистанційного зондування за допомогою системи GPS та експериментальній перевірці запропонованого алгоритму. Вихідні дані, використовувані для обчислення ZTD, а в подальшому – метеопараметрів в кожній із прийомних точок, отримано за допомогою регіональної системи високоточних супутникових геодезичних вимірювань в Харківській області (NGCNET). У роботі описано методику визначення гідростатичної і вологої (ZWD) компонент тропосферної затримки на підставі даних, отриманих за допомогою двочастотних приймачів GPS. Проведено порівняння між даними, розрахованими за відомими моделями, та отриманими від NGCNET. Показано, що коефіцієнти кореляції між значеннями ZWD становить 0,5–0,6 – для літніх та 0,7–0,8 – для зимових і весняних вимірювань. Також оцінено радіуси кореляції значень ZWD для різних сезонів.

Ключові слова: атмосфера, глобальна супутникова навігаційна система, тропосферна затримка, прогнозування, перманентна станція.