

УДК 528.4::629.783

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ GNSS-НАБЛЮДЕНИЙ НА ПУНКТАХ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

Роман Владимирович Шульц

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, 03680, Украина, г. Киев, Воздухофлотский проспект, 31, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии, заместитель декана, тел. (044)241-54-71, e-mail: r-schultz@mail.ru

Алексей Иванович Терещук

Черниговский государственный институт экономики и управления, 14034, Украина, г. Чернигов, ул. Белова, 4, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой геодезии, картографии и землеустройства, тел. (0462)671-150, e-mail: kaf-gis@yandex.ru

Алексей Александрович Жалило

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 61166, Украина, г. Харьков, пр. Ленина, 14, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры основ радиотехники, тел. (057)700-22-84, e-mail: a_zhalilo@ukr.net

Андрей Александрович Анненков

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 86123, Украина, Донецкая область, г. Макеевка, ул. Державина, 2, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии, тел. (067)275-13-00, e-mail: geodez@mail.ru

Алексей Александрович Желанов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 61166, Украина, г. Харьков, пр. Ленина, 14, кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Спутниковые сетевые технологии точного позиционирования», тел. (057)700-22-84, e-mail: gpsgroup@kture.kharkov.ua

Иван Александрович Нисторяк

Черниговский государственный институт экономики и управления, 14034, Украина, г. Чернигов, ул. Белова, 4, аспирант кафедры геодезии, картографии и землеустройства, тел. (0462)671-150, e-mail: kaf-gis@yandex.ru

Представлены предварительные результаты исследования точности определения координат в Северном регионе Украины с использованием GNSS-наблюдений. Выполнен сравнительный анализ качества обработки результатов наблюдений с использованием программного обеспечения GrafNav/GrafNet и украинского программного обеспечения OCTAVA. Подтверждена возможность получения координат с необходимой точностью для решения задач земельного кадастра с использованием для обработки украинского программного обеспечения.

Ключевые слова: GNSS-наблюдения, земельно-кадастровая реформа, точность, постоянно действующие референчные станции.

THE PRELIMINARY RESULTS OF THE GNSS-OBSERVATIONS ON POINTS OF GEODETIC NETWORK IN THE NORTHERN REGION OF UKRAINE

Roman R. Schultz

Kyiv National University of Construction and Architecture, 03680, Ukraine, Kyiv, 31 Vozduchoflotski ave, Ph. D., professor Department Engineering Geodesy, vice dean, tel. (044)241-54-71, e-mail: r-schultz@mail.ru

Alexey I. Tereshchuk

Chernihiv State Institute of Economics and Management, 14034, Ukraine, Chernihiv, 4 Belova St., Ph. D., associate professor, Head of Department of Geodesy, Cartography and Cadaster, tel. (0462)671-150, e-mail: kaf-gis@yandex.ru

Alexey A. Zhalilo

Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Ukraine, Kharkiv, 14 Lenin ave., Ph. D., Leading Research Scientist Department of Radio Engineering Fundamentals, tel. (057)700-22-84, e-mail: a_zhalilo@ukr.net

Andrey A. Annenkov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 86123, Ukraine, Donetsk region, Makiyivka, 2 Derzhavin St., Ph. D., associate professor of Department Engineering Geodesy, tel. (067)275-13-00, e-mail: geodez@mail.ru

Alexey A. Zhelanov

Kharkiv National University of Radio Electronics, 61166, Ukraine, Kharkiv, 14 Lenin ave., Ph. D., Head of the Scientific-Research Laboratory «Satellite Network Technologies of High Precision Positioning», tel. (057)700-22-84, e-mail: gpsgroup@kture.kharkov.ua

Ivan O. Nystoriak

Chernihiv State Institute of Economics and Management, 14034, Ukraine, Chernihiv, 4 Belova St., student of Department of Geodesy, Cartography and Cadaster, tel. (0462)671-150, e-mail: kaf-gis@yandex.ru

The preliminary results of the coordinates accuracy study in the northern region of Ukraine using GNSS-observations are presented. A comparative analysis of the observations quality using software GrafNav / GrafNet and domestic software OCTAVA is provided. The possibility of obtaining the coordinates with the required accuracy for solving the land registry with using for processing of domestic software is confirmed.

Key words: GNSS-observations, land cadastral reform, accuracy, permanent reference stations.

Постановка задачи. В течение последнего десятилетия специалисты, выполняющие работы по землеустройству и кадастру, убедились, что спутниковые технологии имеют большое будущее, ведь их можно использовать для определения координат в ходе геодезического обеспечения, в частности землеустроительных и кадастровых работ. Обработка GNSS-данных является одним из главных шагов к точному определению пространственных координат точек на поверхности Земли [1–6].

В условиях проведения земельно-кадастровой реформы Украины актуальным является вопрос исследования точности выполнения геодезических работ для целей землеустройства. Эта проблема является комплексной, поскольку одновременно с земельной реформой в Украине была введена Национальная референциальная система координат УСК-2000, которая была реализована с использованием последних достижений в сфере GNSS-технологий. Все пункты государственной геодезической сети (ГГС) Украины были переуравнены в системе координат УСК-2000, и таким образом СКП положения пунктов в плане для сети 3-го класса не превышает 5 см. Одновременно с государственной геодезической сетью по всей территории Украины развивается сеть постоянно действующих станций, которая позволяет значительно упростить процесс определения координат пунктов без существенных потерь в точности наблюдений. В таких условиях необходимым является исследование ожидаемой точности определения координат межевых знаков с использованием GNSS-наблюдений. Не менее важной и актуальной задачей является исследование качественных и количественных показателей работы украинского ПО OCTAVA для обработки GNSS-наблюдений.

В рамках исследования в Северном регионе Украины были проведены экспериментальные GNSS-наблюдения на пунктах государственной геодезической сети с целью исследования точности геодезических и земельно-кадастровых работ [7].

Связь с важными научными и практическими задачами. Наличие в Северном регионе Украины сети перманентных GNSS-станций [8] позволяет обеспечить централизованную информационную поддержку пользователей при выполнении геодезических и земельно-кадастровых работ на всей территории региона. При этом в зоне действия сети пользователи могут получить возможность достижения сантиметрового уровня точности в реальном времени при использовании хотя бы одного приемника спутникового геодезического GNSS-оборудования [9].

Изложение основного материала. К северным областям Украины традиционно относят территорию Житомирской, Киевской, Черниговской и Сумской областей. В качестве экспериментального участка была выбрана территория Черниговской области. В период подготовки к экспериментальным GNSS-наблюдениям была выполнена рекогносцировка пунктов ГГС. Почти 80 % пунктов ГГС Черниговской области были заложены в 1960–1980 гг. С тех пор часть центров уничтожена, утеряна или повреждена. Из 55 обследованных пунктов региона найдено 24 пункта 1, 2 и 3-го класса. Отметим, что внешние знаки пунктов ГГС практически уничтожены, только на одном пункте сохранился сигнал высотой 24 м.

Условиями эксперимента предусматривалось использование пунктов ГГС, расположенных на открытой местности с углом закрытости горизонта не более 5°. Из 24 имеющихся пунктов четыре пункта не соответствовали условиям открытости горизонта, а у двух отсутствовали координаты в каталогах. Уже во

время проведения GNSS-кампании стало известно, что до двух пунктов ГГС невозможно добраться из-за неблагоприятных погодных условий. Таким образом, GNSS-наблюдения фактически выполнялись на 16 роверных станциях, а также в обработку были включены наблюдения из трех постоянно действующих референцных станций, расположенных на территории Черниговской области.

Проведение экспериментальных GNSS-наблюдений было выполнено согласно разработанному графику. Участники наблюдений были разделены на шесть бригад, за каждой из которых были закреплены по три пункта ГГС.

Экспериментальные GNSS-наблюдения проводились с использованием шести двухчастотных GNSS-приемников LEICA GX1230GG, отвечающих всем требованиям по обеспечению требуемой точности работ.

На рисунке представлена карта размещения роверных станций GNSS-наблюдений на пунктах ГГС, а также референцных станций на территории Черниговской области.



Рис. Размещение пунктов GNSS-наблюдений и референцных станций:

- – роверные станции GNSS-наблюдений;
- △ – постоянно действующие референцные станции

Обработка измерительной информации

Ниже представлены результаты обработки и анализа GNSS-наблюдений, которые были получены при проведении эксперимента на территории Черниговской области в октябре 2011 г. (288 GPS-сутки, 1 657 неделя). В обработку были включены наблюдения от трех постоянно действующих референчных станций, расположенных на территории Черниговской области, а также измерения с 16 пунктов.

Обработка ГНСС-наблюдений была выполнена с использованием ПО OSTAВА_PPA и OSTAВА_AR&POS [1]. При обработке использовались точные оценки эфемерид спутников в формате SP3, которые предоставляются международной службой IGS. Угол маски при обработке был задан равным 10 градусам. В табл. 1 представлена информация о пунктах измерений и постоянно действующих референчных станциях.

Таблица 1

Информация о референчных станциях

№ п/п	Пункт	Приемник	Антенна	Расстояние от CNIV до пункта, км
1	CNIV*	NOVATEL OEMV3	NOV702GG	-
2	KORP**	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659	114,4
3	PRYL***	NOVATEL OEMV3	NOV702GG	128,2

* Станция **CNIV** (Чернигов). Представлены суточные наблюдения.

** Станция **KORP** (Короп). Представлены суточные наблюдения.

*** Станция **PRYL** (Прилуки). Представлены 18-часовые наблюдения.

В результате предварительного анализа наблюдений были сделаны следующие допущения и выводы:

1. Измерения референчных станций CNIV, KORP и PRYL были приняты для дальнейшей обработки и получения точных координат.

2. Результаты обработки наблюдений роверных пунктов показали, что качество наблюдений трех «роверных» пунктов (KORO1, KORP1 и KORP3) из 16 оказалось неудовлетворительным по ряду критериев, особенно по непрерывности (множественные пропуски наблюдений) и по уровню многолучевости. Как показало сопоставление результатов анализа с описанием (и фото-снимками) условий проведения указанных измерений, эти три приемных пункта располагались в сложных условиях радиовидимости – при сильном затенении верхней полусферы деревьями и конструкциями геодезических знаков. Ввиду невозможности получения необходимой точности позиционирования эти три сеанса были исключены из дальнейшей обработки.

Дальнейшая обработка GNSS-наблюдений заключалась в определении местоположения антенн оставшихся 13 «роверных» пунктов. Ниже представлены

результаты позиционирования, полученные с использованием отечественного программного комплекса OCTAVA. Для проведения сравнительного анализа GNSS-наблюдения были обработаны с использованием ПО GrafNav/GrafNet.

Результаты координатных определений были получены при обработке наблюдений по следующему сценарию.

Обработка GNSS-наблюдений:

- координатные определения станций PRYL и KORP относительно станции CNIV с использованием комплекса OCTAVA;
- координатные определения роверных пунктов двухчастотным методом относительно референчных станций с использованием комплекса OCTAVA;
- координатные определения роверных пунктов относительно станции CNIV с использованием ПО GrafNav/GrafNet;
- сравнительный анализ полученных результатов.

Опорные координаты постоянно действующих референчных станций были получены при обработке сети станций Украины сотрудниками Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины с применением ПО BERNESE (Швейцария). Полученные координаты ARP (Antenna Reference Point) были пересчитаны на положения фазовых центров приемных антенн станций. В табл. 2 представлены координаты фазовых центров L1 для постоянно действующих референчных станций.

Таблица 2

Координаты фазовых центров L1 для референчных станций

PC	X, м	Y, м	Z, м	B, градусы	L, градусы	H, м
CNIV	3 397 785,136 0	2 066 990,669 9	4 969 811,710 7	50,592 152 805	32,400 444 185	172,578
PRYL	3 425 673,116 7	2 174 035,520 5	4 905 000,006 2	51,518 939 232	31,313 601 267	176,026
KORP	3 333 261,339 3	2 161 383,954 8	4 973 310,146 9	51,569 642 609	32,960 552 747	163,299

Обработка наблюдений постоянно действующих референчных станций с использованием комплекса OCTAVA была проведена относительно станции CNIV. В табл. 3 приведены отклонения полученных оценок координат постоянно действующих референчных станций KORP и PRYL относительно опорных значений.

Таблица 3

Отклонения оценок координат для референчных станций

PC	X, м	Y, м	Z, м	B, градусы	L, градусы	H, м
KORP	-0,012 0	-0,006 7	-0,017 9	0,001 78	0,000 9	-0,019 8
PRYL	0,016 2	-0,010 0	0,013 9	0,004 7	-0,017 1	0,018 8

Обработка наблюдений роверов проводилась относительно всех референционных станций PRYL, CNIV и KОРP. Для примера ниже представлены результаты обработки наблюдений относительно станции CNIV. В табл. 4 приведены оценки координат роверов, полученные относительно станции CNIV с использованием ПО GrafNav/GrafNet.

Таблица 4

Координаты фазовых центров L1 для роверных пунктов относительно CNIV (GNGN)

Пункт	X, м	Y, м	Z, м	B, градусы	L, градусы	H, м
BRZN1	3 357 091,968 0	2 148 092,273 0	4 963 069,943 0	51,422 055 527	32,613 835 585	141,305
BRZN2	3 378 189,515 5	2 148 723,237 6	4 948 588,136 0	51,213 524 898	32,458 711 530	165,007
BRZN3	3 388 021,350 4	2 131 602,598 7	4 949 257,452 9	51,223 206 956	32,176 401 375	158,107
CHIV1	3 408 549,484 0	2 061 735,294 3	4 964 648,687 9	51,444 486 627	31,168 558 684	170,569
CHIV2	3 400 924,853 7	2 055 012,241 6	4 972 616,548 9	51,559 429 634	31,142 512 118	179,606
CHIV3	3 394 206,893 8	2 068 123,616 6	4 971 771,569 2	51,547 258 895	31,354 362 172	175,782
KORP2	3 358 757,701 3	2 154 855,914 3	4 959 069,384 5	51,364 139 623	32,682 744 068	167,027
KOZL1	3 458 464,178 2	2 090 415,684 6	4 918 201,280 4	50,779 713 015	31,150 220 748	148,968
KOZL2	3 450 878,708 5	2 091 820,023 5	4 922 894,873 9	50,846 517 010	31,222 997 234	146,155
KOZL3	3 459 670,923 3	2 069 474,197 9	4 926 157,914 2	50,892 885 364	30,886 632 417	156,007
KORO2	3 337 328,500 3	2 164 477,641 4	4 969 249,546 1	51,511 080 326	32,966 068 854	153,002
PRYL1	3 435 179,388 4	2 170 655,904 9	4 899 859,136 7	50,519 590 855	32,288 387 392	156,349
PRYL2	3 434 959,033 3	2 165 805,598 0	4 902 145,438 0	50,551 914 346	32,232 194 287	157,469

В табл. 5 приведены результаты координатных определений роверных пунктов с использованием украинского комплекса OCTAVA. В табл. 6 приведены отклонения между оценками координат, полученных с использованием комплекса OCTAVA и ПО GrafNav/GrafNet.

Для определения качества полученных результатов наблюдений были вычислены простейшие статистические характеристики, которые представлены в табл. 7.

Таблица 5

Координаты фазовых центров L1 для роверных пунктов
относительно CNIV (OCTAVA)

Пункт	X, м	Y, м	Z, м	B, град	L, град	H, м
BRZN1	3 357 091,980 7	2 148 092,222 3	4 963 069,918 4	51,422 055 506	32,613 834 873	141,275
BRZN2	3 378 189,517 6	2 148 723,233 5	4 948 588,134 1	51,213 524 891	32,458 711 464	165,005
BRZN3	3 388 021,331 8	2 131 602,578 9	4 949 257,440 7	51,223 207 071	32,176 401 276	158,081
CHIV1	3 408 549,488 5	2 061 735,286 2	4 964 648,690 2	51,444 486 643	31,168 558 551	170,570
CHIV2	3 400 924,842 8	2 055 012,237 9	4 972 616,545 0	51,559 429 692	31,142 512 154	179,595
CHIV3	3 394 206,885 7	2 068 123,620 2	4 971 771,571 2	51,547 258 942	31,354 362 278	175,780
KORP2	3 358 757,693 2	2 154 855,906 5	4 959 069,380 3	51,364 139 676	32,682 744 036	167,016
KOZL1	3 458 464,185 8	2 090 415,670 3	4 918 201,286 5	50,779 713 056	31,150 220 519	148,970
KOZL2	3 450 878,687 2	2 091 820,011 9	4 922 894,879 1	50,846 517 209	31,222 997 250	146,143
KOZL3	3 459 670,914 9	2 069 474,187 4	4 926 157,905 5	50,892 885 403	30,886 632 350	155,991
KORO2	3 337 328,498 6	2 164 477,632 3	4 969 249,539 0	51,511 080 330	32,966 068 758	152,992
PRYL1	3 435 179,395 1	2 170 655,890 1	4 899 859,137 3	50,519 590 874	32,288 387 166	156,347
PRYL2	3 434 959,024 8	2 165 805,592 4	4 902 145,431 0	50,551 914 377	32,232 194 284	157,457

Таблица 6

Отклонения оценок координат роверных пунктов (OCTAVA)
относительно оценок GNGN

Пункт	dX, м	dY, м	dZ, м	dB, м	dL, м	dH, м
BRZN1	0,012 8	-0,050 6	-0,024 6	-0,000 5	-0,049 5	-0,027 2
BRZN2	0,002 1	-0,004 1	-0,001 8	0,001 4	-0,004 6	0,001 1
BRZN3	-0,018 5	-0,019 8	-0,012 2	0,014 9	-0,006 9	-0,023 3
CHIV1	0,004 5	-0,008 1	0,002 4	0,004 0	-0,009 3	0,004 6
CHIV2	-0,010 9	-0,003 7	-0,003 8	0,008 8	0,002 5	-0,006 9
CHIV3	-0,008 1	0,003 6	0,002 0	0,007 6	0,007 3	0,001 5
KORP2	-0,008 0	-0,007 7	-0,004 2	0,008 2	-0,002 2	-0,007 3
KOZL1	0,007 7	-0,014 3	0,006 2	-0,008 0	-0,007 7	-0,004 2
KOZL2	-0,021 2	-0,011 5	0,005 3	0,024 0	0,001 1	-0,008 8
KOZL3	-0,008 3	-0,010 5	-0,008 6	0,006 3	-0,004 7	-0,012 0
KORO2	-0,001 6	-0,009 0	-0,007 1	0,002 6	-0,006 7	-0,006 8
PRYL1	0,006 7	-0,014 7	0,000 7	0,004 2	-0,016 0	0,001 6
PRYL2	-0,008 5	-0,005 6	-0,007 0	0,005 5	-0,000 2	-0,009 3

Статистические характеристики наблюдений

Параметр	dX, м	dY, м	dZ, м	dB, м	dL, м	dH, м
Среднее	-0,004	-0,012	-0,004	0,006	-0,007	-0,007
Макс.	0,013	0,004	0,006	0,024	0,007	0,005
Мин.	-0,021	-0,051	-0,025	-0,008	-0,050	-0,027
Размах	0,034	0,054	0,031	0,032	0,057	0,032
СКП	0,010	0,013	0,008	0,008	0,014	0,009

В результате предварительного анализа наблюдений можно сделать следующие выводы:

1. Результаты обработки наблюдений роверных пунктов показали, что качество наблюдений трех пунктов (KORO1, KORP1 и KORP3) из 16 не удовлетворяет ряду критериев. Эти сеансы наблюдений исключены из дальнейшей обработки. В дальнейшую обработку были включены файлы измерений постоянно действующих референчных станций CNIV, KORP и PRYL и наблюдения 13 роверных пунктов из 16.

2. Результаты обработки наблюдений референчных станций PRYL, KORP относительно станции CNIV с использованием комплекса OCTAVA показали следующие отклонения: по плановым координатам ~ 1 см; по высоте относительно решения, полученного с использованием ПО BERNESE, ~ 2 см.

3. Результаты координатных определений роверных пунктов двухчастотным методом с использованием отечественного комплекса OCTAVA показали, что в среднем по всем выборкам отклонения по плановым координатам не превысили 1–1,5 см и ~ 2 см по высотной компоненте относительно оценок координат, полученных с использованием ПО GrafNav/GrafNet.

Таким образом, по совокупности полученных результатов можно сделать вывод о том, что созданное украинское программно-алгоритмическое обеспечение OCTAVA обеспечивает сантиметровую точность позиционирования на базовых расстояниях ~150–200 км и не уступает по точности определений лучшим зарубежным аналогам.

4. Представленные результаты являются предварительными. В ближайшее время будет выполнена обработка данных одночастотного позиционирования для роверных пунктов с максимальным удалением от референчных станций до 100 км. После выполнения такой дополнительной обработки наблюдений будет проведен окончательный сравнительный анализ и получены финальные результаты и выводы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малков А. Г. О целесообразности применения спутниковых систем при межевании земель // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф.

«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 3. – С. 8–9.

2. Дударев В. И. Уравнивание геодезических сетей по результатам относительных GPS-измерений // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (15). – С. 7–15.

3. Косарев Н. С., Щербаков А. С. Статистический анализ точности определения положений спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 9–18.

4. Антонович К. М., Косарев Н. С., Липатников Л. А. Контроль фазовых измерений ГНСС-приемника с атомными часами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 3–20.

5. Кроненброк Ван Джоел. Применение технологий ГНСС для деформационного мониторинга сооружений // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 29–40.

6. Жалило А. А., Шелковенков Д. А. «OCTAVA»: многофункциональный программный инструментарий обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений // Труды XIV-й Санкт-Петербургской Международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, Россия, 28–30 мая 2007 г. – СПб., 2007. – С. 319–321.

7. Яцків Я. С., Терещук О. І., Нисторяк І. О. Перша GNSS-кампанія у Північному регіоні України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2012. – Випуск І(23). – С. 38–40.

8. Терещук О. І., Савчук С. Г. Проект мережі активних перманентних GPS-станцій Північного регіону України. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід». – Випуск 3. Чернігів – 2007. – С. 16–23.

9. Яцків Я. С., Харченко В. П., Терещук О. І. Інформаційно-вимірвальна GNSS-система та мережна VRS-технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід». – Випуск 4. Чернігів – 2008. – С. 5–24.

Получено 18.10.2014

© Р. В. Шульц, А. И. Терещук, А. А. Жалило,
А. А. Анненков, А. А. Желанов, И. А. Нисторяк, 2014