

УДК 528.3+528.06



Надежда РУДНИЦКАЯ,
начальник информационно-вычислительного отдела
УП «Белаэрокосмогеодезия», кандидат технических наук

Спутниковая система точного позиционирования как часть государственной геодезической инфраструктуры Республики Беларусь

В статье рассматривается опыт создания Спутниковой системы точного позиционирования (ССТП), которая, как часть государственной геодезической инфраструктуры Республики Беларусь, призвана воспроизводить все легитимные в государстве системы отсчета геодезических координат в режиме реального времени с высокой степенью точности. Особое внимание уделено контролю стабильности пространственного положения пунктов и совместимости ССТП с государственной геодезической сетью

Введение

С 2010 г. Республиканское унитарное предприятие аэрокосмических методов в геодезии «Белаэрокосмогеодезия» (далее – УП «Белаэрокосмогеодезия») выполняет работы по созданию Спутниковой системы точного позиционирования (ССТП) Республики Беларусь.

ССТП создается как составная часть государственной геодезической инфраструктуры, призванной воспроизводить с высокой степенью точности в режиме реального времени не только ITRS (International Terrestrial Reference System), но и, при снятии режимных ограничений, все легитимные в государстве системы отсчета координат: референцную систему отсчета геодезических координат 1995 года (СК-95) и местные системы координат.

Государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95) на территории Республики Беларусь реализована пунктами государственной спутниковой геодезической сети: пунктами Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), высокоточной геодезической сети (ВГС) и спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1), – как производная система отсчета координат от реализации ITRS на эпоху 23.04.2008 через единые для всего государства параметры связи ITRS – СК-95. Координаты пунктов государственной спутниковой геодезической сети в ITRS и СК-95 соответствуют данным параметрам с нулевыми остатками [1].

Пространственное положение пунктов в ITRS и в СК-95 описывается в трехмерных системах координат: в прямоугольной Декартовой системе координат в виде X, Y, Z или в эллипсоидальной системе координат в виде B, L, H . Точность высотной компоненты сопоставима с точностью плановых координат. Так как начало отсчета в ITRS совмещено с центром масс Земли, то эпоха (момент времени, к которому относятся координаты), является четвертым измерением, поскольку положение любого объекта на поверхности Земли изменяется со временем за счет движения глобальных тектонических плит.

По завершении работ и после прохождения процедуры государственной приемки очевидна необходимость определения места (класса) ССТП, как геодезического построения, в структуре государственной геодезической сети (ГГС). На протяжении последних лет УП «Белаэрокосмогеодезия» выполняло ряд работ, направленных на решение этой задачи.

В статье рассматриваются вопросы математической обработки результатов непрерывных спутниковых наблюдений на постоянно действующих пунктах (ПДП)¹ ССТП:

¹ В мировой практике используется термин CORS – Continuous Operation Reference Station (непрерывно функционирующая опорная станция)

вычисление координат ПДП, как реализации ITRS, в соответствии с международными стандартами;

создание временных серий (time series) для оценки стабильности положения ПДП в пространстве и во времени;

вычисление скоростей изменения координат за счет движения глобальных тектонических плит;

оценка влияния изменения пространственного положения ПДП ССТП при смене оборудования на пункте;

проверка совместимости координатного пространства, реализуемого ПДП ССТП, с координатным пространством, реализуемым пунктами ГГС.

Основная часть

ССТП включает в себя совокупность ПДП, принимающих сигналы спутников глобальных навигационных спутниковых систем, и вычислительный центр, в котором осуществляется оперативная обработка данных, поступающих по каналам связи как с пунктов системы позиционирования, так и от потребителя. Результатом обработки является формирование дифференциальных поправок в координаты отдельно работающей станции. Обеспечивается точность позиционирования 1–2 см в плане и 3 см по высоте.

На сегодняшний день ССТП обеспечивает возможность позиционирования с заявленной выше точностью



на всей территории Республики Беларусь как в режиме реального времени, так и по результатам постобработки.

ССТП создавалась поэтапно. Схема введения ПДП в эксплуатацию по годам приведена на рисунке 1, демонстрирующем, что пункты, введенные в промышленную эксплуатацию на каждом отдельном этапе (за исключением первого этапа – создание сети в Минском регионе), распределены по всей стране. Очередность обеспечения территории государства пунктами ССТП диктовалась социально-экономическими причинами. По существу, каждый последующий этап – это сгущение сети, созданной на предыдущих этапах.

На сегодняшний день в эксплуатации находятся 98 ПДП. Количество пунктов, вводимых в эксплуатацию по годам, показано на рисунке 2.

Обработка данных, получаемых с ПДП ССТП, и формирование дифференциальных поправок в режиме реального времени для станции пользователя выполняются в среде программного обеспечения SPIDER, Leica Geosystems, версия 4.3.0, в документации которого сформулировано требование к точности координат опорных станций: 3 мм на 100 км (GNSS Spider Manual, Site Properties Coordinate).

Исходя из этого требования, при вводе ПДП в эксплуатацию вычисление координат выполняется в среде программного обеспечения BERNESE², версии 5.0 и 5.2, как результат комбинированного 4-х недельного решения на среднюю эпоху обрабатываемого периода с последующим трансформированием координат к эпохе реализации национальной системы отсчета координат – 23.04.2008 (2008,31).

Вычисление координат ПДП ССТП выполнено в полном соответствии с Guidelines for EUREF

² BERNESE – научное программное обеспечение, удовлетворяющее стандартам высокой точности для геодезических и сопутствующих приложений, основанных на использовании Глобальных навигационных спутниковых систем. Разработано в Астрономическом институте Бернского университета, Швейцария, используется в Европейском центре определения орбит CODE (Center for Orbit Determination in Europe)



Рисунок 1 – Расположение ПДП ССТП на территории Республики Беларусь

Densifications [2], в которых сформулированы требования к процедуре вычисления координат пунктов (станций) национальных геодезических сетей, которые могут быть ратифицированы как сгущение ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) или ITRS.

В соответствии с пунктом 3.2 [2] в каждое суточное сетевое решение в качестве исходных пунктов включены 11 ближайших опорных станций IGS (International GNSS Service) и 2 станции EPN (European Permanent Network). Включение в сетевое решение опорных пунктов IGS позволяет контролировать совместимость вычисленного решения с ITRS и обеспечивает возможность интеграции ССТП в любое координатное пространство, основанное на реализации ITRS или ETRS89; обеспечивает надежное вычисление стандартных орбит (полиномиальное представление уравнения движения спутника по возмущенной орбите за интервал времени, ограниченный координатами спутников, представленными в «точных орбитах» IGS и CODE). Наличие качественных стандартных орбит является необходимым условием разрешения неоднозначности по длинным базовым линиям и достижения погрешности определения взаимного положения пунктов на уровне первых миллиметров при значительном удалении пунктов друг от друга (в ССТП среднее рас-



Рисунок 2 – Количество ПДП ССТП, введенных в промышленную эксплуатацию

стояние между ПДП более 50 км).

В сетевое решение включен также пункт ФАГС Минск рабочий 1³, непрерывно функционирующий с 2001 г.

В соответствии с пунктом 3.2 [2] в качестве отсчетной основы использованы каталоги координат (и скоростей изменения координат опорных пунктов IGS за счет движения глобальных тектонических плит) IGS05 (ITRF2005) и IGb08 (ITRF2008)⁴.

³ Данные наблюдений на пункте ФАГС Минск рабочий 1 обработаны за весь период его функционирования в отдельных суточных решениях

⁴ ITRF (International Terrestrial Reference Frame – Международная земная отсчетная основа) является практической реализацией ITRS и представляет из себя набор координат в представлении X, Y, Z на заявленную начальную эпоху, набор скоростей изменения координат и перечень станций, которым придан статус опорной станции IGS

В соответствии с международными стандартами в качестве исходной информации приняты только та реализация ITRS и модель антенн⁵, которые использовались при вычислении комбинированных точных орбит IGS (для версии 5.0) или орбит CODE (для версии 5.2) на соответствующий момент времени. Параметры вращения Земли строго согласованы с орбитами.

На рисунке 3 показана гистограмма, демонстрирующая увеличение количества ПДП, включенных в сетевое решение, по мере развития ССТП.

В соответствии с пунктом 7.1 [2] оценка качества вычисленных координат выполняется по следующим критериям:

процент разрешения неоднозначности по базовым линиям сети в ежедневных суточных решениях;

сравнение координат ежедневных решений для каждого ПДП (повторяемость координат по плановым и высотной компонентам);

сравнение вычисленных в сетевом решении координат опорных станций IGS с априорными значениями.

После введения в эксплуатацию ПДП последнего этапа в 2016 г. будут вычислены окончательные координаты всех пунктов ССТП.

Стабильность пространственного положения ПДП ССТП является не только необходимым условием качественной работы сервиса, но и гарантирует воспроизведение в режиме реального времени как ITRS, так и всех производных от нее систем отсчета координат, в том числе и СК-95. Более того, в настоящее время по всему миру именно постоянно действующие станции (CORS) и образованные ими геодезические сети являются носителями как общеземных, так и национальных систем отсчета координат. Примером тому может служить сеть опорных станций IGS, включенных в каталог ITRF, и станций EPN, являющихся носителями ITRS и ETRS89, соответственно.

В Республике Беларусь в настоящее время по многим объективным причинам отсутствует возможность

⁵ При вычислении координат пунктов в соответствии с пунктом 3.3 [2] использовались только официальные абсолютные калибровки антенн, получаемые с ftp-сервера: http://epncb.oma.be/_documentation/equipment_calibration

установки ПДП непосредственно на физической поверхности земли с одновременным обеспечением сохранности дорогостоящего оборудования, непрерывного энергообеспечения, непрерывной высокоскоростной передачи данных и открытого горизонта для приема сигналов от спутников GNSS (Global Navigation Satellite System – Глобальная навигационная спутниковая система). Все перечисленное является необходимым условием эффективного функционирования сервиса. Поэтому все пункты установлены на зданиях.

Выбору зданий для установки пунктов уделялось большое внимание. Помимо соблюдения перечисленных выше требований, местоположение пункта должно обеспечить стабильность пространственного положения ПДП во времени. Пункты расположены на крышах капитальных сооружений, по большей части, малой этажности. Установка антенн на зданиях с некоторыми оговорками допускается как для станций IGS (пункт 2.1.15 [3] и [4]), так и для станций EPN [5].

Все ПДП ССТП без исключения установлены на несущих стенах зданий и закреплены центром, тип которого приведен на рисунке 4. Надежное сцепление со стеной позволяет считать надстройку на стене для установки спутниковой геодезической антенны и стену одним целым. На передний план выходят конструктивные особенности здания, подверженность сезонным изменениям конструктивных элементов зданий в связи с изменением температурного режима и влажности.

На рисунке 5 показано распределение зданий, на которых установлены

ПДП ССТП, по этажности. Именно пунктам, установленным на высоких зданиях (среди которых пункт ФАГС и три пункта ВГС), далее в статье будет уделено особое внимание.

На всех ПДП ССТП установлена двух- (трех-) частотная мультисистемная (multi-GNSS) спутниковая геодезическая аппаратура, по своим техническим характеристикам удовлетворяющая требованиям пункта 2.1 [5].

В настоящее время международным стандартом контроля стабильности пространственного положения постоянно действующих станций является создание так называемых временных серий (time series). Под созданием временных серий понимается процесс непрерывной постобработки суточных данных, получаемых с CORS, результатом которого являются серии координат станций в совокупности с оценками (координаты и ковариационная матрица), вычисленные в сетевом решении.

Начиная с марта 2012 г. в информационно-вычислительном отделе УП «Белазэрокосмогеодезия» выполняется постобработка непрерывного потока данных, получаемых с ПДП ССТП. Обработка результатов спутниковых наблюдений выполняется в среде программного обеспечения BERNESE, версии 5.0 и 5.2.

Данные за период времени с 2012 по 31 декабря 2014 г. обработаны только для спутников GPS (Global Positioning System – глобальная система позиционирования). С приобретением версии 5.2 программного обеспечения BERNESE координаты ПДП ССТП, начиная с 1 января 2015 г. по настоящее время, вычис-

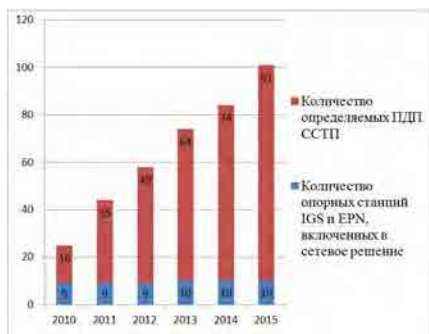


Рисунок 3 – Количество ПДП, включенных в ежедневное сетевое решение

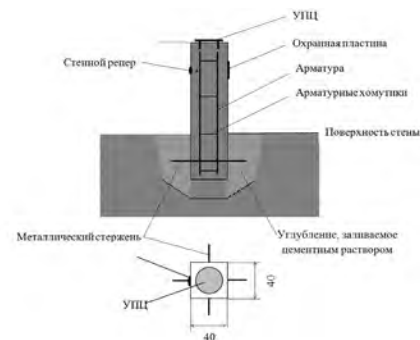


Рисунок 4 – Тип центра ПДП и его размеры, см



лены по результатам наблюдений спутников GPS и ГЛОНАСС. Параметры вращения Земли, точные, совместимые с данными параметрами, эфемериды спутников обеих систем и соответствующая модель антенн получены с сервера CODE (ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE). Для оценки влияния на временные серии, оказанного переходом на новую версию программы и включением в обработку измерений по спутникам ГЛОНАСС, выполнены вычисления с перекрытием в 4 недели (декабрь 2014 г.). Данные сравнения координат одноименных ПДП свидетельствуют об отсутствии «разрыва (discontinuities)» во временной серии, что будет проиллюстрировано графиками остаточных неисключенных погрешностей (residuals) по результатам оценки временных серий.

Обработка данных выполнена с соблюдением всех требований, изложенных в [2 и 6 (пункт 3 «Processing Instructions», пункт 4

«Stacking and Datum Definition» и пункт 5 «Verification»)], регламентирующих схему обработки, основные опции обработки, источники входной информации и контроль качества. Схема обработки данных приведена на рисунке 6. Под минимально ограниченным решением понимается решение сети, в котором координаты опорных станций IGS или EPN не фиксируются, а ограничиваются определенным интервалом: 1 см для плановых компонент и 3 см – для высоты [2,7,8]. Преимущество минимально ограниченного решения в том, что оно позволяет приравнять региональное решение к ITRF с сохранением точности локальной (региональной) геодезической сети.

За 2012-2015 гг. вычислено 1377 суточных сетевых решений. На основании этих решений вычислено комбинированное решение координат ПДП на конец 2015 г. и скорости изменения координат за счет движения Евразийской тектонической плиты

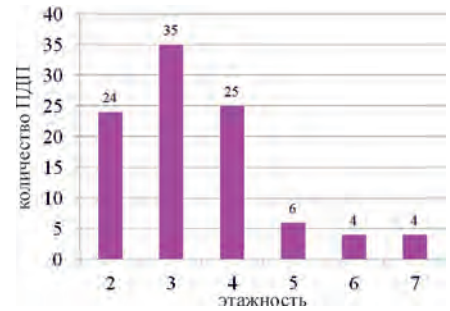


Рисунок 5 – Распределение ПДП, установленных на зданиях различной этажности

относительно центра масс Земли, являющегося началом отсчета координат в ITRS.

Остаточные неисключенные погрешности в серии координат для каждого ПДП служат информацией не только для оценки качества решения, но и для оценки стабильности самого пункта в пространстве. В рамках статьи нет возможности показать остатки для каждого ПДП, но для рабочего центра 2 пункта ФАГС Минск (MNKW) и для пунк-

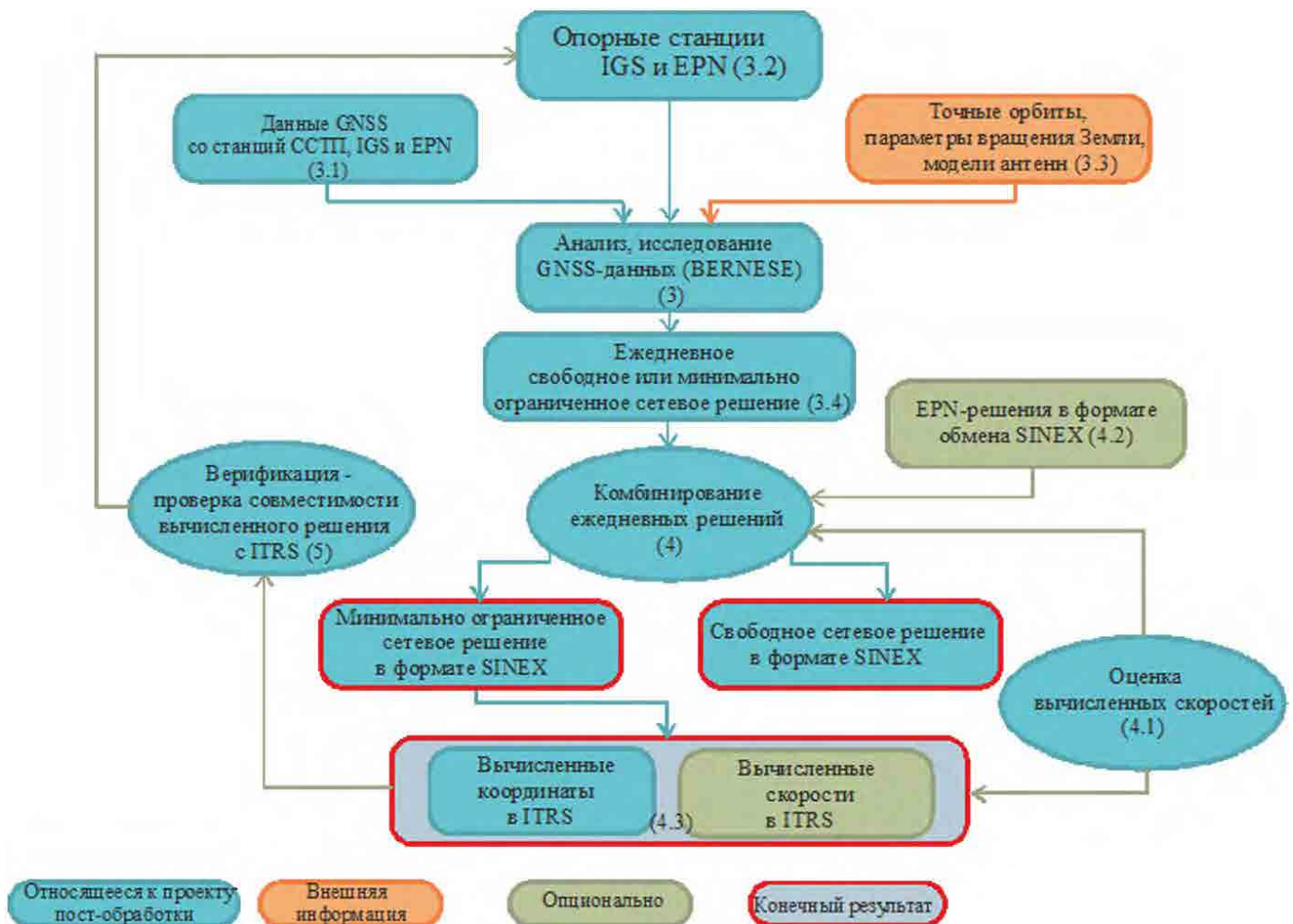


Рисунок 6 – Технологическая схема обработки данных спутниковых наблюдений (номер в скобках обозначает пункт [1], регламентирующий указанный этап обработки)

тов ВГС Могилев (MOGI), Витебск (VITR) и Гомель (GOME), установленных, соответственно, на 7-ми, 4-х и 3-х этажных зданиях, графики, приведенные на рисунке 7, показывают очень высокую стабильность пунктов в плане и по высоте. Отклонения выражены в метрах.

Приведенные графики наглядно демонстрируют, что «выбросы» по высоте для всех пунктов ежегодно относятся к зимним месяцам: декабрю и январю, наиболее снежным в Республике Беларусь. Это связано со снежными шапками на обтекателях антенн. Проблема известная, особенно актуальна для стран, расположенных в северных широтах.

Как указывалось ранее, количество пунктов в сетевых решениях постоянно увеличивалось с вводом в эксплуатацию новых ПДП, поэтому скорости изменения координат для каждого этапа создания ССТП вычислены за разные периоды времени. Международной практикой установлено, что надежное вычисление скорости изменения координат за счет движения тектонических плит возможно за период времени не менее 2,5-3 лет непрерывных наблюдений [2], что обеспечивает минимизацию влияния случайных «выбросов» при отсутствии смены оборудования (антенны), изменения исходной отсчетной основы и модели антенн. Это подтвердили результаты исследований, выполненных в УП «Белаэро-космогеодезия».

На рисунке 8 приведены векторы скорости изменения координат,

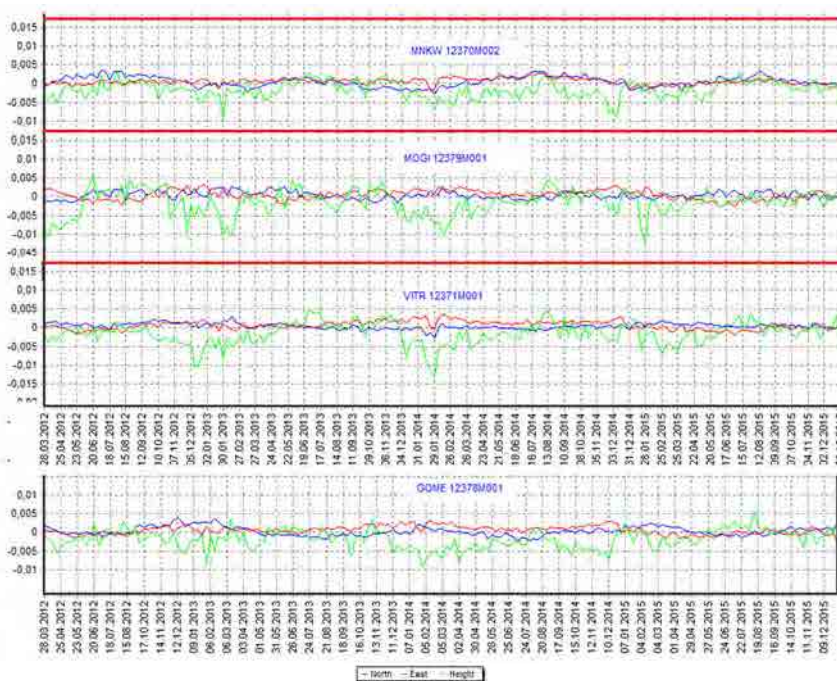


Рисунок 7 – Графики остаточных неисключенных погрешностей (residuals) в сериях координат ПДП ССТП при вычислении скоростей изменения координат за счет движения тектонических плит

вычисленных за период времени 1,5 года (а) и за период времени около 4 лет (б), причем во втором случае, естественно, скорости за указанный период вычислены не для всех ПДП.

Рисунки демонстрируют зависимость надежности вычисления векторов с увеличением количества ежедневных сетевых решений, являющихся исходной информацией для оценки скоростей: разновеликие и разнонаправленные векторы, вычисленные за 1,5 года наблюдений (рисунок 8а, выделе-

но красным цветом), согласованы с увеличением периода непрерывных наблюдений как по величине, так и по направлению (рисунок 8б). На рисунке 8а разнонаправленные векторы относятся к ПДП, установленным в 2013 г. Для них временной период оценки составляет 0,5 года. На рисунке 8б скорости имеют менее согласованный характер для пунктов, установленных после 2013 г. (появившихся на втором рисунке). Векторы скоростей опорных станций IGS и EPN, включаемых в сетевое решение, вычис-

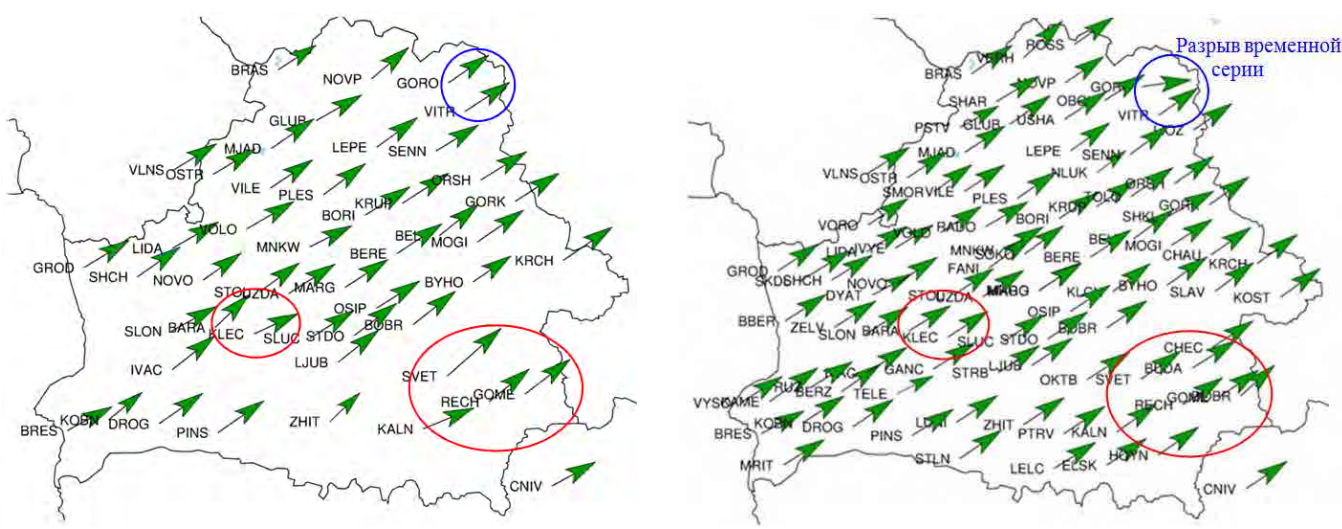


Рисунок 8 – Вычисленные векторы скоростей за периоды времени: а) с 2012 по 2013 гг.; б) с 2012 по 2015 гг.



ленные за период около 4-х лет, хорошо согласуются с априорными значениями (ITRF).

На пункте Городок (GORO) в связи с капитальным ремонтом здания, на котором установлен ПДП, произошел разрыв временной серии на период времени 11 месяцев, что сразу же отразилось на надежности определения вектора изменения скоростей координат пункта.

При создании ССТП выполнялась привязка каждого вновь устанавливаемого ПДП к ближайшим пунктам СГС-1 с точностью сети данного класса. Координаты пунктов СГС-1, полученные из уравнивания СГС-1 единым блоком при выполнении комплекса работ по введению СК-95, служили исходными при вычислении координат ПДП ССТП. Вычисленные таким образом координаты пунктов ССТП сравнивались с координатами, вычисленными в среде BERNESE в комбинированном сетевом решении за период времени с 2012 по 2015 гг. с принятием в качестве исходных пунктов опорных станций IGS (ITRF2008) и приведенными к эпохе 23.04.2008. Выполнены вычисления и по обратной логической цепочке: вычислены координаты пунктов СГС-1 с принятием в качестве исходных координат ПДП ССТП, вычисленных в сетевом комбинированном решении (BERNESE). Цель – проверка совместимости ССТП с государственной геодезической сетью, реализующей как ITRS, так и национальную систему отсчета геодезических координат. На рисунках 9 и 10 показаны вычисленные расхождения координат пунктов СГС-1 в плане и по высоте.

Сравнение выполнено по 312 пунктам СГС-1, что составляет 37,4 % от общего числа пунктов СГС-1 на территории государства и позволяет сделать заключение об объективности представленной информации. Среднее квадратическое отклонение в плане составляет 0,012 м, по высоте – 0,020 м. Более значимые отклонения по высотной компоненте в западной части страны объясняются тем, что СГС-1 на данной территории построена с применением антенн, которые в настоящее время не используются.

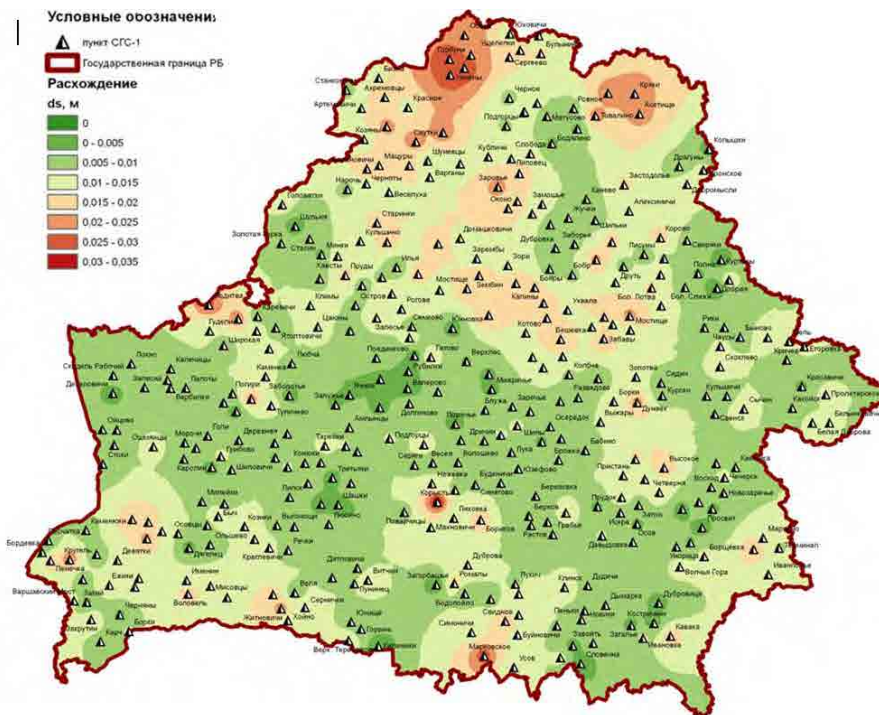


Рисунок 9 – Суммарное расхождение плановых координат (по N и E) пунктов СГС-1, реализующих ITRS и СК-95 со значениями, вычисленными от ПДП

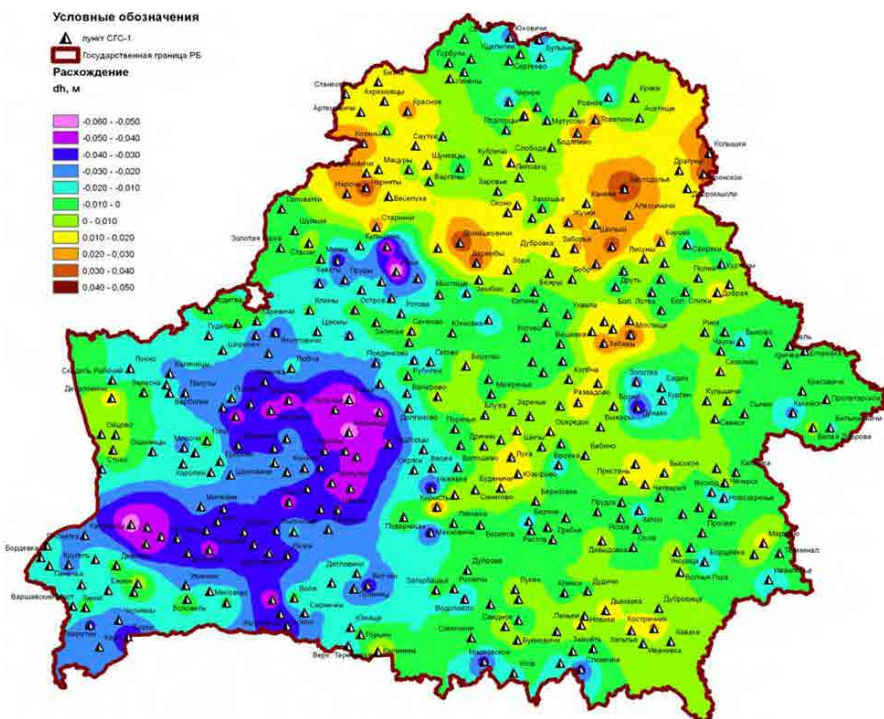


Рисунок 10 – Расхождение высот пунктов СГС-1, реализующих ITRS и СК-95 со значениями, вычисленными от ПДП

Международный опыт и опыт, приобретенный УП «Беларокосмогеодезия», показывает, что, несмотря на переход к абсолютным моделям антенн, параметры антенн до сих пор остаются ключевым моментом при определении высотной компоненты спутниковыми методами.

В УП «Беларокосмогеодезия» выполнена постобработка результа-

тов спутниковых наблюдений за весь период функционирования постоянно действующего пункта ФАГС Минск рабочий 1: с 2001 по 2015 гг. Всего вычислено 5094 суточных решения. За этот период времени произошло 2 существенных события: переход IGS с начала недели GPS 1400 (5 ноября 2006 г.) на абсолютные калибровки антенн и смена 7 сентября

2009 г. спутниковой геодезической аппаратуры на самом пункте. Это вызвало разрывы временной серии и резкие скачки в высотной компоненте (рисунок 11). При этом изменения плановых координат связаны только с движением Евразийской тектонической плиты на северо-восток.

В настоящее время выполняется повторная постобработка наблюдений на пункте Минск рабочий 1 за 2002–2006 гг. с использованием абсолютных калибровок антенн и отсчетной основы IGB08. Точные эфемериды и соответствующие параметры вращения Земли на указанный период времени, согласующиеся с IGB08 и абсолютными калибровками антенн, взяты с ftp-сервера: ftp.unibe.ch/aiub/REPRO/.

Заключение

На основании результатов выполненных работ можно сделать вывод о том, что созданная спутниковая система точного позиционирования по своей точности и операциональности представляет собой геодезическое построение нового поколения, соответствующее современным международным стандартам. Несмотря на то, что все ПДП установлены на зданиях разной этажности, выполненный анализ свидетельствует о стабильности пространственного положения пунктов.

ССТП, как носитель систем отсчета координат, легитимных в государстве, совместима с ГГС Республики Беларусь.

Вычисление скоростей изменения координат относительно начала отсчета в геоцентрической системе отсчета координат с достаточно высо-

кой степенью надежности возможно за период времени не менее 3-х лет при отсутствии разрыва временной серии для максимально возможной минимизации случайных «выбросов» в координатах пунктов. Для достижения средней квадратической погрешности определения скорости не более 0,1 мм/год, что является стандартом, необходима гораздо более продолжительная временная серия.

Пункты государственной геодезической сети нулевого ранга (ФАГС

и ВГС) должны быть постоянно действующими пунктами для того, чтобы обеспечить возможность вычисления с высокой точностью значений координат этих пунктов на произвольную эпоху, соответствующую времени любых высокоточных геодезических определений. Только в этом случае они могут быть приняты в качестве исходных пунктов, а не контрольных. Для этого необходимо знать скорости изменения координат во времени с высокой степенью точности. ■

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рудницкая, Н. И. О новой государственной системе отсчета координат СК-95 Республики Беларусь и ее реализации. Современное состояние государственной геодезической сети. / Н. И. Рудницкая // Земля Беларуси. – 2011. – №3. – С. 17-23
2. Guidelines for EUREF Densifications (version 26-05-2009) [Electronic resource] / C. Bruyninx [et al.] // Munich, EPN Central Bureau. - 2013. - Mode of access: http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf.
3. Current IGS Site Guidelines, August 05, 2016 [Electronic resource] / International GNSS Service. – 2016. Mode of access: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202011433-Current-IGS-Site-Guidelines>.
4. Monumentation Recommendations, August 31, 2015 [Electronic resource] / International GNSS Service. – 2015. Mode of access: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202094816>.
5. Guidelines for EPN Stations & Operational Centres, last updates 26-10-2015 [Electronic resource] / C. Bruyninx // Munich, EPN Central Bureau. – 2015. Mode of access: http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_stations_operationalcentre.pdf.
6. Guidelines for EPN Analysis Centres (last updates 19-11-2013) [Electronic resource] / Munich, EPN Coordination Group and EPN Central Bureau. – 2013. Mode of access: http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf.
7. Altamimi Z. Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF, EUREF/Z/Altamimi // Publication No. 12, Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. – Frankfurt am Main, 2013. – P. 162-167.
8. Boucher C., Altamimi Z. Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, 2011 [Electronic resource] / Munich, EPN Central Bureau. – 2011. Mode of access: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>.

Поступление в редакцию 22.07.2016

N. RUDNITSKAYA

SATELLITE SYSTEM OF THE PRECISE POSITIONING AS A PART OF THE STATE GEODETIC INFRASTRUCTURE OF THE REPUBLIC OF THE BELARUS

The article describes the experience of the creation of the permanent (continuous) network (satellite system of the precise positioning – SSPP), which is called to realize all legitimate geodetic reference coordinate systems in real time with high accuracy. Special attention is paid to the control of the stations stability in the space and to the compatibility of the SSPP and state geodetic network.



Рисунок 11 – График изменения высотной компоненты для пункта ФАГС Минск рабочий 1 за период времени с 2001 по 2015 гг.