

## ORGANIZATION OF GEODYNAMIC POLYGON «POLOTSK HYDROELECTRIC POWER STATION»

**G. SHAROGLAZOVA, K. MARKOVICH,  
A. SVYATOGOROV, V. YALTYHOV**

*Article is devoted to the organization of the classical geodynamic ground in the territory subject to interdependent influence of tectonic and anthropogenic factors. Need of participation at projection of the ground of experts of various sciences about Earth is shown. The special attention is given to qualitative laying of the centers of geodetic points and their optimum arrangement, and also a technique of high-precision geodetic measurements and mathematical processing of results of these measurements.*

**Keywords:** *modern movements of the Earth's crust, the geodynamic polygon repeated geodetic measurements, remote sensing tectonic fault*

**УДК 004.056.2:528.061.6**

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ТОЧКИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ИСККУСТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИХ ПРИЕМ

**д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.И. ЯРИЦА**  
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

*Системно исследованы факторы, снижающие точность оценки координаты точки приема сигналов искусственного спутника Земли геодезическими приемниками, установленными на пунктах спутниковой системы точного позиционирования, размещенных на подстилающей поверхности Земли либо на наземных сооружениях. Показана возможность повышения точности оценки применением конструкционных стабильных по параметрам материалов с улучшенными механическими, тепловыми виброизолирующими свойствами.*

**Ключевые слова:** *спутниковая система точного позиционирования, постоянно действующие пункты, робастная оценка, случайные воздействующие факторы.*

Теория, методики, конструктивные и технологические решения в геодезической и картографической деятельности в последнее время основаны на применении спутниковой системы позиционирования GPS [1]. Использование GPS-измерений в Республике Беларусь реализовано с помощью спутниковой системы точного позиционирования (ССТП). Основной целью использования Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь является получение координат и высот пунктов геодезического и съемочного обоснования топографических съемок, планирования территорий, проектно-изыскательских работ в строительстве, исполнительных съемок и другого вида работ. Точностные и временные характеристики ССТП в режиме обработки реализуются определением координат пунктов (точек) в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической погрешностью 0,01 м в плане и 0,02 м по высоте при времени наблюдений 1 час [2].

Точностные и временные характеристики ССТП в режиме реального времени реализуются определением координат объектов в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической погрешностью 0,02 м в плане и 0,03 м по высоте [2].

Основой инфраструктуры ССТП являются постоянно действующие пункты (ПДП), находящиеся на подстилающей поверхности Земли. ССТП РБ объединяет 90 действующих ПДП и 8 вводимых ПДП в ближайшее время.

Основное требование, предъявляемое к пункту, это стабильность, долговечность и неподвижность конструкции. ПДП часто располагают на крышах здания, используя при этом тип центра 192 [3].

Правила выбора места и установки постоянно действующих пунктов [4]:

- открытость местности вокруг геодезического пункта, отсутствие препятствий по углу возвышения более 10–15°;
- отсутствие отражающих поверхностей, которые могли бы влиять на многолучевость;
- отсутствие мощных радио- и телевизионных передатчиков или других излучающих радиотехнических устройств;
- отсутствие движущегося транспорта.

Для обеспечения более высоких точностных характеристик ССТП необходимо оценивать параметрические неопределенности ПДП, возникающие из-за возмущающих случайных воздействий. Основные факторы, влияющие на снижение стабильности и неподвижности конструкции ПДП: вибрация, смена пор года, температурные колебания, ветровые нагрузки. Эти факторы в основном оказывают возмущающее влияние на неподвижность ПДП относительно горизонтальной плоскости [5].

Фактором, оказывающим наибольшее смещение по вертикали, является атмосферное давление. Максимальное вертикальное смещение, вызванное изменением атмосферного давления, может достигать 0,025 м с периодом несколько суток [6].

Влияние внешних возмущающих факторов на неподвижность точки приема сигналов ИСЗ можно наблюдать на примере постоянно действующих пунктов международной GPS-службы (IGS) (рисунок 1 а– в) [7].

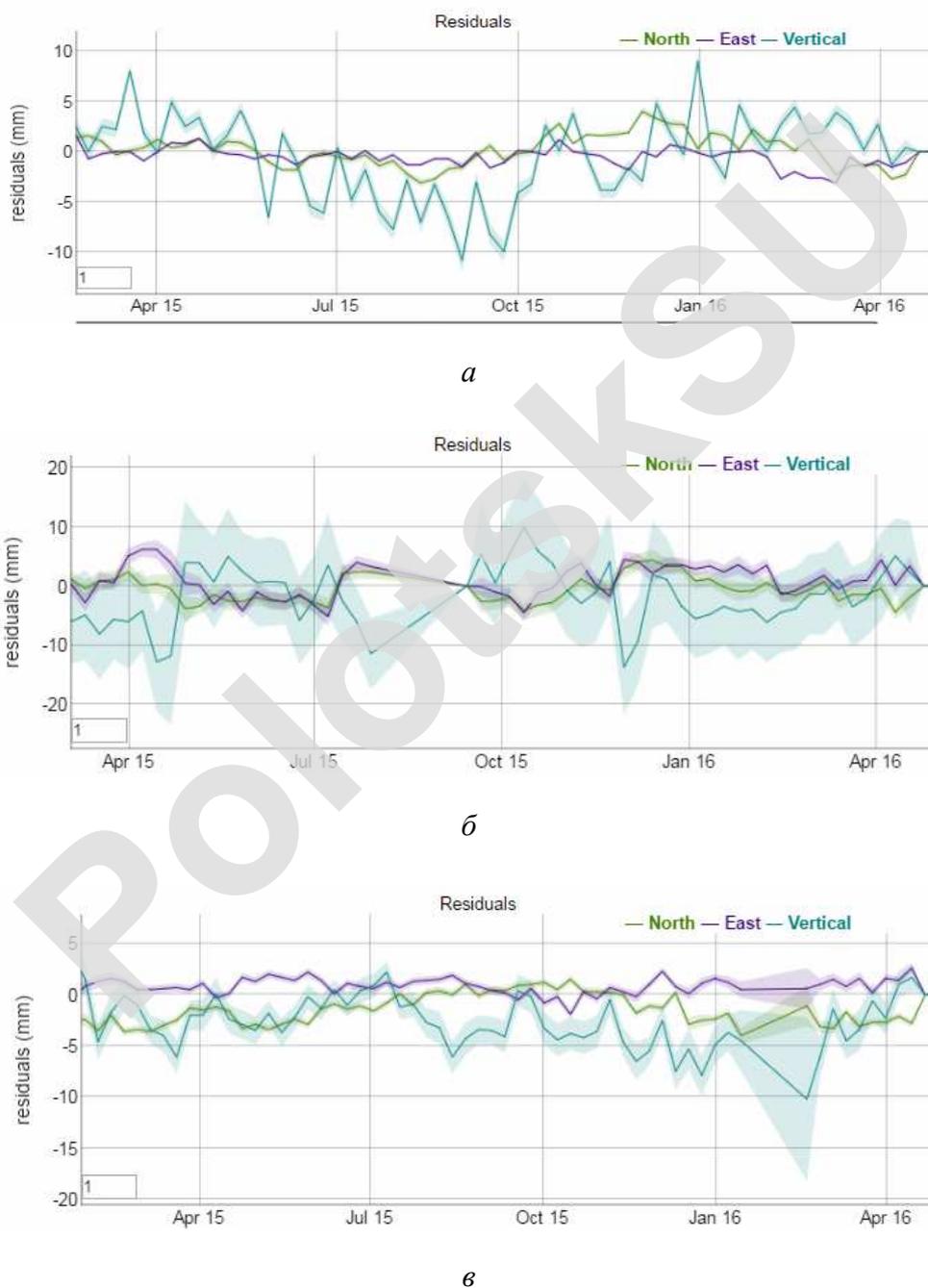


Рис. 1. Смещение ПДП:  
а – Украина; Киев; б – Итикава; Япония; в – Южная Африка

На графиках зеленым цветом обозначено смещение планового положения пункта по направлению севера (North), фиолетовым цветом смещение по направлению востока (East), а бирюзовым цветом изменения пункта по высоте (Vertical). Как видно, на примере, этих трех пунктов, наибольшее смещение происходит по высоте. Так же можно сделать вывод о зависимости влияния вертикального смещения пункта на его положение в горизонтальной плоскости. В данной работе мы уделим внимание анализу факторов, влияющих на горизонтальное смещение пункта.

**Вибрации.** Вибрация является важным случайным влияющим фактором. Для увеличения точностных характеристик измерительной информации необходимо снижать влияние вибрации на ПДП. Пункты ССТП Республики Беларусь располагают на несущих стенах здания, тем самым снижают влияние вибраций на точность измерений. Стоит отметить, что действующие в нашей стране сеть является аналогом по своему принципу действия международной GPS-службы (IGS). ПДП этой сети по своему геометрическому расположению центра можно разделить на наземные и расположенные на крышах зданий. Для придания стабильности геометрического положения и снижения влияния вибраций наземные пункты чаще всего закладывают в скальные породы. А пункты, находящиеся на крышах зданий, устанавливают на отдельных платформах или стальных вышках.

Место установки ПДП нужно выбирать на значительном расстоянии от магистральных трубопроводов, железнодорожных путей, автодромов, заводских цехов с работающими установками и др. Если существует необходимость расположения ПДП рядом с источником вибраций, можно применять песочные подушки, амортизаторы, а также виброизолированные двойные фундаменты. Данные фундаменты предназначены для снижения ударного воздействия на пункты и демпфирования упругих волн [8]. Для снижения влияния вибрации в конструкции пункта также можно применить материалы, обладающие виброизолирующими свойствами.

**Смена пор года.** Воздействие этого фактора приводит к разрушению пунктов от коррозии. Вследствие постоянной смены температур, железобетонные конструкции пунктов расширяются и сжимаются. Это неизбежно приводит к возникновению трещин, в которые затем попадает влага и на арматуре возникают коррозионные процесс. Подверженный такому воздействию пункт теряет свою стабильность, неустойчив к влиянию вибраций и других нагрузок. Так, появления значительных трещин период собственных колебаний железобетонных конструкций увеличивается на 50–110% [9].

Для защиты от воздействия постоянного перепада температур, в конструкции ПДП можно заменить железную арматуру пункта на арматуру, состоящую из композитных материалов, более стойкую к воздействию влаги и температуры [10]. Так же можно заменить железобетон на более устойчивый к коррозии, перепадам температур материал. Таким материалом является, например, гранит, выдерживающий перепады температур до 100 градусов, а так же за счет присутствия кварца в составе, имеющий высокую твердость и устойчивость к коррозии.

**Температура.** Важнейшее влияние на стабильность ПДП влияет температура. Средняя температура Беларуси равна  $+5,4^{\circ}\text{C}$ . Максимальная зарегистрированная температура воздуха  $+44^{\circ}\text{C}$ , а минимальная  $-40^{\circ}\text{C}$ . Стоит учитывать, что почва нагревается сильнее. Здесь максимальная зарегистрированная температура равна  $+66^{\circ}\text{C}$ , т.е. перепады температур составляют  $70\text{--}100^{\circ}\text{C}$ . При таком тепловом воздействии, основываясь на коэффициентах линейного теплового расширения материалов, можно считать, что стальной стержень длиной один метр будет расширяться более чем на 1 мм. Примерно такую же погрешность даст и конструкция из бетона. Низким коэффициентом линейного теплового расширения обладают такие материалы как кварц, гранит и современные композитные материалы [5].

**Ветер.** Ветровое воздействие переменное во времени, а значит, является случайным воздействующим фактором. Ветер воздействует на изменение положения точки горизонтальной плоскости. Воздействие ветра на здание – это сложный аэродинамический процесс трудоемкий для точного описания. Однако для зданий простых форм возможно приблизительно представить этот процесс. В работе рассмотрены ветровые нагрузки только для простых прямоугольных зданий, как наиболее часто встречающиеся. На рисунке 2 представлена ветровая нагрузка на простое прямоугольное здание.

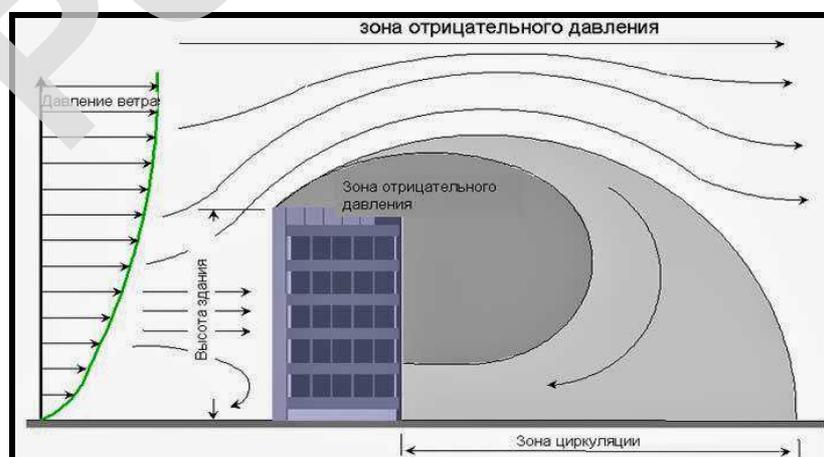


Рис. 2. Распределение ветровой нагрузки на здание

Особенности расчета: для каждого здания учитывают преобладающее направление ветров. Преобладающее направление ветров определяется по «розе ветров» для данного района. Направления ветра дает возможность определения наветренной и подветренной стороны здания. Наветренная сторона – это сторона здания, на которую непосредственно воздействует ветровая нагрузка. Подветренная сторона имеет зону отрицательного давления. Именно в этой зоне на подветренной стороне для повышения точностных характеристик спутниковых измерений рекомендуется установка ПДП. Важным момент является то, что ветровая нагрузка увеличивается с увеличением высоты.

Для действующих пунктов ветровую нагрузку рассчитывают по величине средней составляющей ветровой нагрузки  $W_m$  на высоте  $Z$  над поверхностью земли по формуле (1) [11]:

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C, \quad (1)$$

где  $W_0$  – нормативное значение ветрового давления;

$K$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте.

$C$  – аэродинамический коэффициент, учитывающий изменение направления давления нормальных сил в зависимости от того с какой стороны находится скат по отношению к ветру, с подветренной или наветренной стороны (+ 0,8 – для наветренного фасада, –0,6 – для подветренного фасада).

Чтобы определить  $W_0$  нужно выбрать район, в котором будет расположен наш ПДП.

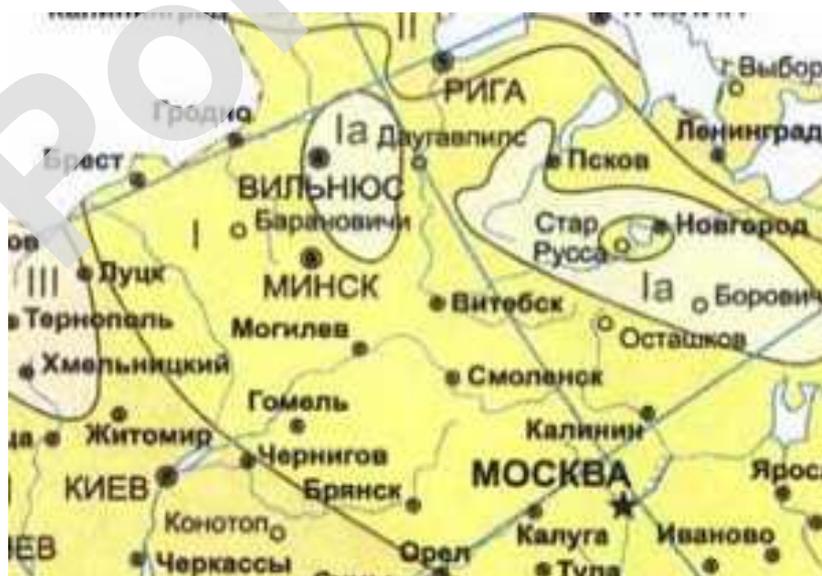


Рис. 3. Карта ветровых районов Беларуси

Фактически вся Беларусь находится в ветровом районе первой категории. Затем в таблице 1 выбираем нужное значение ветрового давления [11].

Таблица 1

**Нормативное значение ветрового давления**

Нормативное значение ветрового давления								
Ветровые районы	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
$W_0$ , кПа	0,24	0,32	0,42	0,53	0,67	0,84	1,0	1,2
$W_0$ , кг/м <sup>2</sup>	24	32	42	53	67	84	100	120

$K_z$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте. Его значения зависят от высоты здания и характера окружающей местности. Выбираем значение коэффициента  $K_z$  из таблицы 2.

Таблица 2

**Значение коэффициента  $K_z$**

Значение коэффициента $K_z$			
Высота	Открытая местность	Закрытая местность, покрытая препятствиями более 10 метров	Городские районы, с высотой застройки более 20 метров
До 5м	0,75	0,5	0,4
От 5 до 10м	1,0	0,65	0,4
От 10 до 20м	1,25	0,85	0,53

Рассчитаем ветровую нагрузку для ПДП спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь, установленного на крыше четырехэтажного здания школы в г.п. Оболь, Витебская обл., Шумилинский район.

Используя рисунок 3, определяем, что Витебская область относится к первому ветровому району  $W_0 = 32$  кг/м<sup>2</sup>. Так как здание выше 10 м и имеет рядом с собой постройки, то выберем коэффициент  $K = 0.85$  таблицы 2.

Значение аэродинамического коэффициента  $C$  принимаем равным 0,8, так как пункт находится на наветренной стороне здания.

Тогда, нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки

$$W_m = 32 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 21,8 \text{ кг/м}^2.$$

Из этого можно сделать вывод, что для повышения точности координат точки приема сигналов ИСЗ, ПДП желательно располагать на под-

стилающей поверхности земли. Если по каким-либо причинам реализовать это не получается то, что бы максимально снизить влияние ветра, пункты следует устанавливать на несущих стенах здания с подветренной стороны.

Повышение точности координат точки приема сигналов ИСЗ основывается на выборе геометрического положения ПДП, его конструкции, а так же обусловлена робастностью основных механических и тепловых свойств материала, который используют при строительстве. К основным робастным свойствам следует отнести коэффициент линейного теплового расширения, коррозионную стойкость, устойчивость к влиянию вибрации. Предложено виброизоляцию ПДП обеспечивать амортизаторами, песочными подушками, двойным фундаментом, а также применением вибропоглощающих материалов. Для максимального снижения влияния ветровых нагрузок, перед установкой ПДП следует составить «розу ветров» и установить этот пункт на подветренную сторону здания. При выборе здания следует отдать предпочтение зданиям с высотой до 5 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пыко, Т.В. Основные направления модернизации государственной геодезической сети Республики Беларусь / Т.В. Пыко // Земля Беларуси. – 2007. – № 4. – С. 35 – 36.
2. Республиканское унитарное предприятие аэрокосмических методов в геодезии "Белэрокозмогеодезия" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo.by/ru/for-organizations/precise-positioning-service>.
3. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Порядок создания геодезической сети 1 класса : ТКП 119-2007(03150) / Государственный комитет по имуществу Респ. Беларусь. – Минск, 2009. – 47 с.
4. Техническая инструкция по созданию и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах : приказ Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 16 февр. 2010 г., № 37.
5. Ярица, А.И. Стабилизация возмущающих воздействий на прием сигналов искусственного спутника Земли / А.И.Ярица, В.К. Железняк // Вестн. ПГУ. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2016. – № 4. – С. 61–65.
6. Дробышев, М.Н. Совершенствование методических приемов оценки вертикального перемещения точек земной поверхности : автореф... дис. канд. техн. наук / М.Н. Дробышев. – М. : ИФЗ, 2016. – 15 с.
7. International GNSS Service [Электронный ресурс].
8. Банкетов, А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование : учеб. для машиностроительных вузов / А.Н. Банкетов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.

9. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства: / Э. Розенблюэт ; сокр. пер. с англ. ; под ред. Я.М. Айзенберга. – М. : Стройиздат, 1980. – 344 с.
10. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия : ГОСТ 31938 – 2012. – М. : Стандартиформ. 2014. – 34 с.
11. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009 (02250). – Минск, 2010. – 127 с.

## **PRECISION ENHANCEMENT FOR COORDINATES OF THE POINT FOR RECEIVING ARTIFICIAL SATELLITE SIGNALS BY MEANS OF STABILIZING THE PERTURBING ACTIONS ON THEIR RECEPTION**

**V. ZHELEZNYAK, A. YARYTSA**

*The factors that reduce the accuracy of the estimate coordinates of the reception signal of an artificial Earth satellite by the geodetic receivers, which were installed at locations satellite of system exact positioning, were placed on the underlying structures or on the ground surface of the Earth were systematically examined. There was showed a possibility of increasing the accuracy of estimation using the parameters of stable structural materials with improved mechanical, thermal anti-vibration properties.*

**Keywords:** *satellite system of the exact positioning, permanent items, robust estimation, random influencing factors.*

**УДК 528.236**

## **ПРОБЛЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ С ОШИБКАМИ В ОБЕИХ СИСТЕМАХ**

**канд. техн. наук, доц. А.М. ДЕГТЯРЕВ, А.С. ИВАШНЁВА**  
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

*Задача трансформирования координат в геодезии возникает достаточно часто. Не смотря на широту использования и кажущуюся понятность процесса двумерного трансформирования, есть ряд важных вопросов, которые на сегодняшний день требуют дополнительного исследования. Один из них – это возможность учета ошибок в обеих сис-*