

УДК 004.052.2

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОЦЕНКУ СТАБИЛЬНОСТИ ТОЧКИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

А.И. ЯРИЦА

(Полоцкий государственный университет)

Разработана блок-схема для оценки ветрового давления на точку приема сигналов. Проанализирована и выбрана оптимальная аппаратура для проведения эксперимента. Для математической обработки измерений использованы устойчивые робастные алгоритмы.

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

Введение. Использование GPS-измерений в Республике Беларусь реализовано с помощью спутниковой системы точного позиционирования (ССТП). ССТП – критически важный объект информатизации, так как обеспечивает координатную основу всей страны. Точность определения, которую предоставляет данная спутниковая система, составляет 20 мм в плане и 30 мм по высоте в режиме обработки при времени наблюдения 1 ч. Такая точность удовлетворяет требованиям в строительстве, топографических съемках, планировании территории, а также в военных целях. Повышение точности ССТП позволит расширить спектр ее применения и значительно улучшить качество и оперативность выполняемых работ. Так, повышение точности до 5 мм в плане и до 10 мм по высоте позволит использовать GPS-измерения для строительства таких критически важных объектов страны, как магистральные трубопроводы, гидроэлектростанции, атомная электростанция, объектов железнодорожного и воздушного транспорта, а также качественно проводить монтаж и мониторинг взрывоопасных объектов.

На начало 2017 года, спутниковая система точного позиционирования представлена 98 постоянно действующими пунктами (ПДП), равномерно распределенными по всей территории страны, их располагают на крышах зданий. Существует целый ряд факторов, которые так или иначе влияют на горизонтальное и вертикальное положение пунктов: накопление вод на континентах, океанические приливные явления, влияние атмосферного давления. Наибольшее влияние среди этих факторов имеет атмосферное давление, которое вызывает деформацию земной коры, а следовательно, и смещение расположения GPS-станций, на величину 20 мм по вертикали и 3 мм по горизонтали [1]. Такие же результаты получены при выполнении исследовательских работ в Институте физики Земли (Россия) [2]. В работе [3] подробно рассмотрены основные случайные воздействующие факторы, влияющие не на подстилающую поверхность, а на саму конструкцию постоянно действующего пункта. К ним относятся: температурные перепады, вибрации, ветровое давление.

Основная часть. Исследование ветрового давления ведется в двух направлениях. Первое – принимая ветровое давление как случайное воздействие на ПДП, воздействие случайных факторов необходимо оценивать с помощью применения робастных алгоритмов математической обработки данных. Вторым направлением является разработка конструкции ПДП из устойчивых материалов к случайным воздействующим факторам [3].

Робастность предусматривает устойчивость системы к отклонению под влиянием воздействующих факторов. Особенности моделей робастной статистики состоят в том, что некоторые предположения принятой за основу идеальной модели в виде заданной функции распределения F_0 подвергаются сомнению. Для описания идеальной модели вместе с возможными отклонениями от нее в условиях реального эксперимента используют понятие «супермодель» множество допустимых функций распределения δ . «Супермодель» задают в виде некоторой окрестности идеальной модели F_0 , конкретизируемой выбранной метрикой $d(F_0, F_x)$ на множестве допустимых функций распределения δ , то есть «супермодель» задается в виде множества [4]

$$\delta R = \{FX : d(F_0, F_x) < \varepsilon\}, \varepsilon > 0. \quad (1)$$

Нами используется «супермодель» с засорением, имеющая вид

$$\delta_{\varepsilon, \tau}(\Phi) = \{F : F(x) = \Phi_{\varepsilon, \tau}(x)\}, \quad (2)$$

для которой функция распределения

$$\Phi_{\varepsilon, \tau}(x) = (1 - \varepsilon)\Phi(x) + \varepsilon\Phi(x/\tau), \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1, \tau \geq 1. \quad (3)$$

В работе [5] исследовано и показано, что среднее значение ветрового давления на 5-этажное здание составляет более 28 кг/м^2 . Расчет проводился для постоянно действующего пункта спутниковой системы точного позиционирования, находящегося на крыше здания школы г.п. Оболь. Оценка воздействия ветрового давления на точку приема сигналов GPS ПДП определяется в зависимости от ее численного значения в мировой системе координат.

Поставлена задача – определить зависимость колебания точки в горизонтальной плоскости под влиянием ветрового давления. Для этого разработана блок-схема эксперимента (рисунок), для проведения одновременного измерения скорости ветра и расстояния от точки нахождения объекта до пункта.

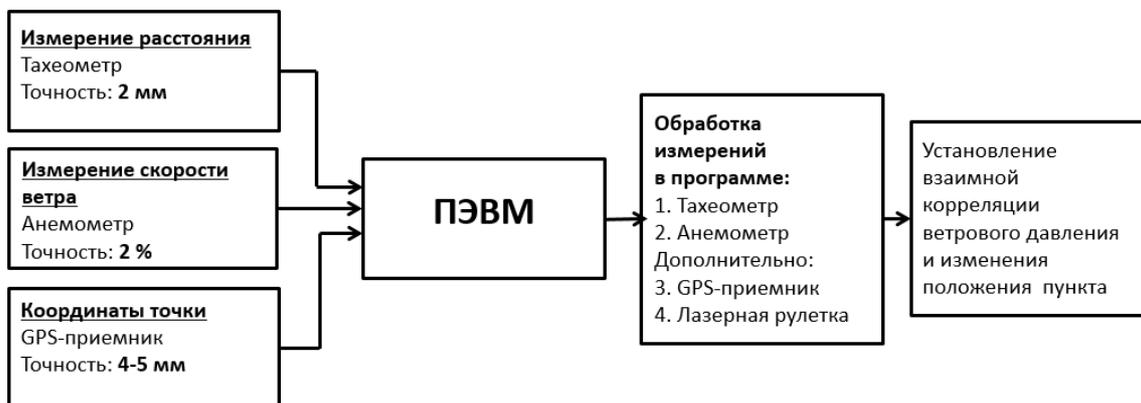


Рисунок. – Блок-схема эксперимента оценки влияния ветрового давления на ПДП

Прежде всего требуется решить вопрос с высокоточным измерением скорости ветра. В настоящее время развиваются два основных метода зондирования скорости ветра: доплеровский и корреляционный. Оба метода основаны на активном дистанционном зондировании атмосферы с использованием измерительной системы лазерных источников излучения, называемой лидаром (Lidar – Light Identification, Detection and Ranging). Методы лазерного зондирования обеспечивают получение профилей или полей различных параметров атмосферы с исключительно высоким временным и пространственным разрешением, обладая при этом рекордными концентрационными чувствительностями [6]. Однако лидарные измерения требуют сложной дорогостоящей аппаратуры и наиболее актуальны при составлении профилей скорости ветра на большие расстояния (1–5 км) и длительное время. В нашу задачу входит измерение мгновенной скорости ветра в конкретной точке, в конкретное время. Проведя изучение современной аппаратуры, для проведения эксперимента выбран высокоточный анемометр марки Мегеон 11007, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические характеристики анемометра Мегеон 11007

Диапазон измерений потоков воздуха	Разрешение измерений потоков воздуха	Диапазон измерений температуры	Подключение к компьютеру	Погрешность измерений температуры	Наличие дисплея
0,3–20 м/с	0,01 м/с	0–50 °С	USB	±0,5 °С	есть

План эксперимента. На крыше, где расположен пункт со спутниковым геодезическим приемником, устанавливается высокоточный прибор для измерения скорости ветра. Перпендикулярно стене, с установленным на ней пунктом, располагается тахеометр Trimble M3. С помощью этого высокоточного прибора проводится фиксация изменений положения пункта. Измерение происходит со скоростью 1,6 с. В тахеометре реализована возможность как линейных, так и угловых измерений. Это позволяет проводить эксперимент и наблюдать колебания точки приема сигналов GPS не зависимо от направления движения ветра. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Технические характеристики тахеометра Trimble M3

Точность линейных измерений на отражателе	Точность линейных измерений без отражателя	Дальность измерения на отражателе	Дальность измерения без отражателя	Угловая точность	Рабочая температура	Подключение к компьютеру
2 мм	3 мм	5000 м	500 м	1–5"	от –20 °С до +50 °С	USB

Два прибора синхронизируются по времени. Кроме того, для получения дополнительных измерений, используемых при обработке эксперимента, на самом пункте установлен спутниковый геодезический приемник Trimble R7 (таблица 3).

Таблица 3. – Технические характеристики спутникового приемника Trimble R7

Точность в режиме RTK, мм/км		Точность в режиме статика, мм/км		Частота записи данных	Рабочая температура
в плане	по высоте	в плане	по высоте		
± 8 мм + 0,5	± 15 мм + 0,5	± 3 мм + 0,5	± 15 мм + 0,5	1 Гц, 2 Гц, 5 Гц, 10 Гц, 20 Гц	от -40°C до +65°C

Для контроля измерения расстояний будет использоваться лазерный дальномер Leica Disto D3, имеющий точность 1 мм и функцию непрерывного измерения. Не смотря на более высокую точность, данный прибор не будет использоваться как основной, так как не имеет возможности угловых измерений и жесткой фиксации.

Для обработки измерений подобраны сразу несколько программных комплексов. Один из них программный комплекс SCAD, содержащий в себе программу ВеСТ, предназначенную для выполнения расчетов, связанных с определением нагрузок и воздействий на строительные конструкции, таких как температура и ветер. При обработке измерений факторы, воздействующие на точку в вертикальной плоскости, будут учитываться с помощью программы, разработанной в Институте Физики Земли (Москва).

Вывод. Результатом исследования стала разработка блок-схемы и ее параметров. Составлен оптимальный высокоточный аппаратный и программный комплекс для проведения эксперимента оценки влияние ветрового давления. Ожидаются подходящие погодные условия для его проведения. Итогом эксперимента станет установление взаимной корреляции изменения положения точки приема сигналов GPS от ветрового давления в режиме реального времени. Правильно выбранный робастный алгоритм позволяет учесть данную зависимость при математической обработке данных эксперимента. На основе полученных и обработанных измерений будет дана оценка степени влияния ветра на пункты, находящиеся на поверхности крыши.

Автор благодарит научного руководителя доктора технических наук, профессора В.К. Железняк за оказанную помощь в проводимых исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Petrov, L. Study of the atmospheric pressure loading signal in very long baseline interferometry observations / L. Petrov, J.-P. Boy // Journal of Geophysical Researches. – V.109, B03405. DOI:10.102982003JB002500.
2. Дробышев, М.Н. Совершенствование методических приемов оценки вертикального перемещения точек земной поверхности: автореф. ... дис. канд. техн. наук / М.Н. Дробышев. – М. : ИФЗ, 2016. – 26 с.
3. Железняк, В.К. Стабилизация возмущающих воздействий на прием сигналов искусственного спутника Земли / В.К. Железняк, А.И. Ярица // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2016. – № 4 – с. 61–65.
4. Шуленин, В.П. Робастные методы математической статистики / В.П. Шуленин. – Томск : Изд-во НТЛ, 2016. – 260 с.
5. Железняк, В.К. Анализ случайных физических явлений, снижающих точность координат точки прием сигналов GPS / В.К. Железняк, А.И. Ярица // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., 20–21 окт. 2016 г., Минск, Респ. Беларусь ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск: Белорусская государственная академия связи, 2016. – 240-243 с.
6. Зуев, В.Е. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы : моногр. / В.Е. Зуев, В.В. Зуев. – СПб. : Гидрометеоздат, 1992. – 231 с. – (Серия «Современные проблемы атмосферной оптики» ; т. 8).

Поступила 20.03.2018

EFFECT OF WIND PRESSURE ON STABILITY ESTIMATION OF THE APPROACH OF SIGNALS OF ARTIFICIAL SATELLITES OF THE EARTH

A. YARYTSA

The accuracy and efficiency of GPS measurements affects the quality and range of work performed. Wind action is one of the random factors that affect the accuracy of measurements. A flowchart for evaluating the wind pressure at the signal receiving point has been developed. Optimal equipment for the experiment was chosen. For mathematical processing of measurements, robust algorithms are used.

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