

Приборы и техника физического эксперимента

Научная статья

УДК 537.29

DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15408>

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАЛЫХ УГЛОВЫХ ОТКЛОНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Н. С. Пщелко¹, О. С. Царёва² ✉

¹ Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

✉ olyalelya_89@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены некоторые методы определения малых угловых отклонений на примере строительных объектов. Предложена конструкция электростатического цилиндрического датчика, для повышения чувствительности которого использовано силовое действие электрического поля. Основными элементами конструкции датчика являются подвешенный на нити груз и окружающий его цилиндр. Рассматриваются условия равновесия и неустойчивости положения груза, возникающего за счет положительной обратной связи в электрическом поле. Выполнен оценочный расчет времени движения груза до момента касания внутренней части цилиндра, на основании которого может быть найдено искомое угловое отклонение. Отмечено, что при малых отклонениях становятся существенными неточность изготовления устройства и влияние случайных факторов. В работе предложены способы решения этих проблем.

Ключевые слова: угловое отклонение, крен, электрическое поле, электростатическая сила, неустойчивое равновесие, время движения, расчет

Для цитирования: Пщелко Н. С., Царёва О. С. Способ определения малых угловых отклонений с помощью электростатического датчика // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2022. Т. 15. № 4. С. 104–113. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15408>

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Original article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15408>

THE TECHNIQUE OF DETERMINING THE SMALL ANGULAR DEVIATIONS BY AN ELECTROSTATIC SENSOR

N. S. Pshchelko¹, O. S. Tsareva² ✉

¹ Military Academy of Communications Named

after Marshal of Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia;

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

✉ olyalelya_89@mail.ru

Abstract. Some methods for determining small angular deviations have been considered on the example of building objects. The design of an electrostatic cylindrical sensor was put forward, and the use of force action of an electric field was proposed in order to increase the sensitivity of the sensor. The main structural elements of the sensor are a plumb-line weighted at one end and a cylinder surrounding it. The conditions of equilibrium and instability of the



position of the plumb arising due to positive feedback in the electric field were considered. An estimated calculation of the time of movement of the plumb until the moment of its touching the inside of the cylinder was made. The calculation result could be taken as a starting point for finding the desired angular deviation. The inaccuracy in the manufacture of the device and the random factors were noted to become influential at small deviations. The paper proposed some ways to solve these problems.

Keywords: angular deviation, roll, electric field, electrostatic force, unstable equilibrium, motion time, calculation

For citation: Pshchelko N. S., Tsareva O. S., The technique of determining the small angular deviations by an electrostatic sensor, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. 15 (4) (2022) 104–113. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.15408>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Здания и сооружения в процессе эксплуатации, как правило, подвергаются деформациям. Причинами появления деформаций могут быть самые разные воздействия, в частности, они могут быть как природного, так и техногенного характера. Первые связаны с изменением погодных условий (ветровые, снеговые, ледовые нагрузки), с особенностями свойств и состава грунтов, находящихся под зданием, и т. п. Вторые (воздействия техногенного характера) возникают, например, при новом строительстве вблизи уже существующего здания.

Различают вертикальные деформации (в частности, осадка) и горизонтальные (например, сдвиг). Кроме того, разделяют равномерные и неравномерные деформации. При равномерной осадке здание оседает на одну и ту же величину, при этом не влияя на прочность и устойчивость сооружения. В случае неодинаковой сжимаемости грунтов под фундаментами, вследствие их различной нагрузки, осадка отдельных частей фундамента окажется неравномерной. Такой вид деформации считается наиболее опасным, так как при этом возникает перекос здания, его наклон, и происходит развитие трещин.

Одним из способов контроля за деформациями являются периодические геодезические наблюдения, выполняемые с помощью нивелиров, лазерных сканеров и тахеометров. Существуют также фотограмметрические методы и спутниковые технологии. Для определения осадок и прогибов, как правило, используют нивелиры, для определения крена здания — электронные теодолиты и тахеометры. При определении прямолинейности стен используют метод бокового нивелирования. Менее точный способ определения вертикальности стен — измерение расстояний обычной линейкой от стены здания до нити отвеса, закрепленного на верхней части стены или на крыше. При этом наличие отклонения определяется разностью расстояний, измеренных в основании стены и в ее верхних точках. Точность такого измерения осадки варьируется от 1 мм до 1 см, в зависимости от типа сооружения. Но при наблюдениях за осадками зданий, требующих особого хранения и ответственности за их состояние, точность измерений повышают до десятых долей миллиметра.

Для наблюдения за деформациями сооружения, на нем устанавливают так называемую геодезическую сеть, состоящую из опорных пунктов, расположенных вне зоны влияния деформаций и деформационных марок, закрепляемых на здании. В таком случае обеспечивается возможность определять как абсолютные, так и относительные виды деформаций.

Наиболее часто возникает задача измерения малых угловых отклонений объектов от исходного (например, строго вертикального) положения. Для этих измерений разработаны различные методики и датчики, реализующие соответствующие методики. Так, в работе [4] для опор мостов рассмотрен способ определения крена оболочек с одной станции путем сравнения разности между измеренными вертикальными углами и их проектными значениями.

Линейную составляющую крена S_x находят по формуле

$$S_x = H \cdot \frac{\gamma_x}{\rho}, \quad (1)$$

где H , мм, — высота оболочки; γ_x , рад, — угловая составляющая крена; ρ , " — количество угловых секунд в одном радиане.

Проецируя точку O центра сооружения при наклонном положении горизонтальной оси на вертикальную плоскость, получают высотную величину крена i .

В монографии [9] описаны различные методы определения вертикальности стен:

способ бокового нивелирования с использованием теодолита,

измерение расстояний от стены здания до нити тяжелого отвеса или до рулетки с грузом, подвешиваемых к консоли, закрепленной на верхней части стены или на крыше.

В работе [8] для определения крена стенок плотины Новосибирской ГЭС выполнялись измерения датчиками наклона Nivel220, одновременно с измерениями тахеометром. Для однокамерных шлюзов предлагается методика измерения наклона стенок шлюзовой камеры с применением тахеометров.

В работе [10] представлено определение декартовых координат и углов здания в режиме реального времени RTN GNSS и алгоритма HMM.

В работе [11] рассмотрены современные подходы к определению геометрических параметров дымовых труб. С помощью точных измерений тахеометром были определены контрольные значения геометрических параметров дымовой трубы, и на этом основании проведена оценка применимости фотограмметрического подхода.

В случае отсутствия опорных пунктов определяют только относительные деформации. Но применение геодезических методов наблюдений на объекте возможно не всегда. В частности, при реставрации или реконструкции здания наличие строительных лесов может закрывать большую часть объекта для наблюдений. В таком случае возникает необходимость использования других приборов и методов (в частности, негеодезических) для определения деформаций таких зданий. Кроме того, часто возникает необходимость отслеживать малые величины деформаций. При этом используют такие приборы, как инклинометры, щелемеры, микрокренометры, которые устанавливают непосредственно на сооружении.

Крен зданий является очень распространенным видом деформации [1, 3]. Если не принять своевременных мер, то он может представлять реальную опасность. Поэтому при выявлении крена следует предотвратить его усиление. Необходимо отметить, что при обнаружении крена в первую очередь важна информация о его направлении.

Таким образом, задача определения направления отклонения от вертикали при малых углах отклонений представляется актуальной. Поскольку начальные значения крена обычно малы, необходимо использовать устройства, высокочувствительные к крену. Одним из возможных вариантов решения этой задачи было использование силового действия электрического поля (ЭП) (см. наши работы [5, 6]). Известно, что ЭП используется в различных преобразователях и датчиках [2], но для применений, рассматриваемых в контексте настоящей работы, об использовании его силового действия в доступной нам литературе ранее не сообщалось.

Очевидно, что после обнаружения крена и принятия неотложных мер возникает вопрос не только о его направлении, но и о величине. Указанные наши работы были направлены на разработку методов и устройств, способных определять только направление, но не величину отклонения. Теперь целесообразно рассмотреть и такой важный параметр, как величина отклонения.

В связи с вышеизложенным, целями настоящей работы являются разработка методики, позволяющей с помощью разработанного ранее устройства определять величину отклонения, а также выполнение оценочного расчета, дающего возможность на основе данных измерений рассчитывать количественно величину отклонения.

Следует сразу подчеркнуть, что выполненные нами расчеты носят исключительно оценочный, упрощенный характер и полученные результаты следует рассматривать как оценку порядка искомых величин. Кроме того, результаты должны указывать на возможность (либо невозможность) технической реализации предлагаемого метода. Для полноценного

внедрения в научный оборот обсуждаемых в настоящей работе идей и апробации метода необходимы широкомасштабные экспериментальные исследования.

Описание конструкции и принципа работы устройства

Подробно конструкция и функционирование разработанного устройства были опубликованы ранее. В частности, в статье [5] было показано, что для решения поставленных задач можно использовать цилиндрический груз, подвешенный на нити в круглом полом цилиндре (труба) и помещенный в электростатическое поле (рис. 1, *a*). При этом указанные элементы должны быть электропроводящими или полупроводящими, а нить с грузом должна быть изолирована от трубы-цилиндра. При появлении небольшого крена нить становится непараллельной стенкам и образует с ними малый угол α_0 . Создать ЭП между цилиндрическим грузом и стенками цилиндра можно подачей на цилиндр и груз постоянного электрического напряжения U . При отклонении груза на угол α_0 расстояние между грузом и стенкой цилиндра в направлении отклонения уменьшится, а в противоположном направлении — увеличится. Это приведет к тому, что сила притяжения, вызываемая ЭП в направлении отклонения, возрастет, а в противоположном — уменьшится. Поэтому отклонение груза увеличится. Если приложенное напряжение имеет значение больше некоторого критического значения, то возвращающая сила не сможет скомпенсировать электростатические силы ЭП. Тогда отклонение груза будет продолжаться до тех пор, пока груз не коснется стенки цилиндра в направлении отклонения. Экспериментально фиксируя положение точки, в которой груз коснулся стенки цилиндра, легко определить направление отклонения. Техническая реализация этой фиксации была рассмотрена в статье [5]. Также там были рассчитаны значения сил, вызываемых ЭП, возвращающие силы и их результирующее действие, приводящее либо к устойчивому, либо неустойчивому положению груза.

В отличие от рис. 1, *a*, на рис. 1, *b* показана ситуация в системе отсчета, связанной со стенками трубы-цилиндра. Точечным пунктиром показано исходное положение, штрихпунктирной линией — положение груза при небольшом крене; жирной пунктирной линией — равновесное положение при наличии ЭП между грузом и трубой. Поскольку углы отклонения малы, можно использовать в расчетах приближение плоского конденсатора.

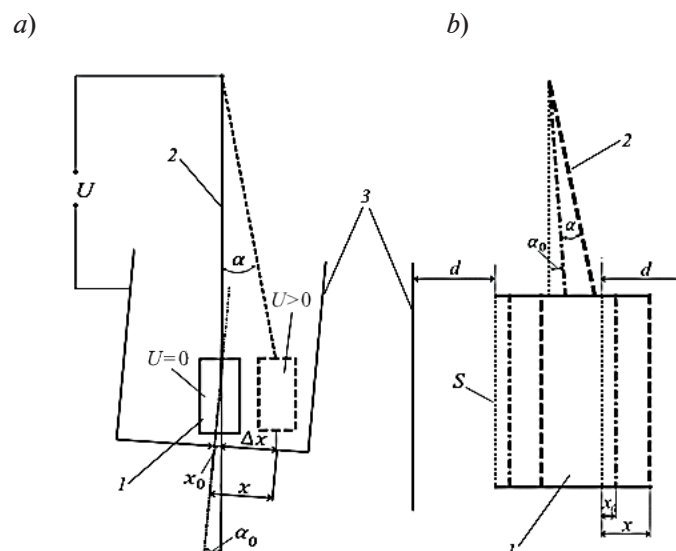


Рис. 1. Схематические изображения устройства (a) и его модели для расчета влияния электрического поля на отклонение груза в системе отсчета, связанной со стенками трубы-цилиндра [7] (b);

1 — груз; 2 — нить; 3 — цилиндр; U — потенциал электрического поля между грузом и стенками цилиндра; α — угол отклонения нити

В работе [5] было получено выражение для электростатической силы, создаваемой ЭП и действующей на груз:

$$F_e = 2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2 \frac{dx}{(d^2 - x^2)^2}, \quad (2)$$

где x — отклонение груза от исходного положения, вызываемое совместным действием внешнего крена, дающего отклонение x_0 и электростатическими силами; d — зазор между стенкой трубы и грузом до появления крена; ε_0 — электрическая постоянная; ε — диэлектрическая проницаемость жидкости между цилиндром-трубой и грузом; S — эффективная тянущая площадь; U — электрическое напряжение, приложенное между грузом и цилиндром.

В статье [5] было показано, что если величина напряжения меньше некоторого критического значения, то в результате баланса электростатической силы, силы тяжести и силы Архимеда груз отклоняется на заметный угол α . При этом величина угла α существенно больше, чем в случае, если бы напряжение не прикладывалось.

Возможны различные ситуации, связанные с устойчивостью положения груза, которые зависят от напряженности создаваемого ЭП [5].

Далее будет рассмотрена ситуация, когда между грузом и стенкой цилиндра приложено напряжение, превышающее критическое значение. Последнее гарантирует безостановочное движение груза к стенке цилиндра вплоть до ее касания. Это значение было рассчитано в статье [5] и следует выражению

$$U_{kk} = \sqrt{\frac{(mg - \rho g V) d^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon S l}}, \quad (3)$$

где ρ , г/л, — плотность демпфирующей жидкости, в которой находится груз; V , см³, m , г, — его объем и масса соответственно; g , см/с², — ускорение свободного падения.

Соответствующие напряжения для реальных значений величин, входящих в выражение (3), составляют десятки вольт, что вполне приемлемо для практического использования.

Отметим также, что при малых углах отклонения результирующая электростатическая сила мала и, с учетом инерционности груза и вязкости окружающей среды, движение его к стенке трубы займет определенное время. Очевидно, этот временной интервал будет тем больше, чем меньше исходное отклонение нити от вертикали. Таким образом, если измерять время от момента включения напряжения до появления сигнала в сигнальных элементах, фиксирующих момент касания грузом стенки, то можно судить не только о направлении, но и о величине исходного отклонения. В этом и состоит предлагаемая идея измерения угла отклонения. Сама идея, очевидно, вполне физически обоснована, что подтверждено полученным на нее патентом [6]. Однако безусловно, детальное изучение этого способа требует проведения сложных расчетов и многочисленных экспериментальных исследований. В настоящей работе мы ограничимся лишь приблизительным количественным анализом рассматриваемой ситуации, главным образом, для выявления принципиальной технической возможности реализации описанной идеи.

Оценка времени движения груза и величины отклонения

Оценим время движения груза до его касания стенки трубы.

Для упрощения будем пренебрегать возвращающей силой, обоснованно считая, что, если приложить напряжение, значительно большее, чем U_{kk} , возвращающая сила мала, по сравнению с электростатической, что нетрудно проверить количественными расчетами на основе выражений, полученных в работе [5]. Кроме того, следует учесть, что при малых значениях x формулу (2) можно упростить:

$$F_e = 2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2 \frac{x}{d^3}. \quad (4)$$

Анализ этой формулы позволяет заключить, что при значениях x , соизмеримых с d , электростатическая сила растет гиперлинейно в зависимости от x . Однако мы не будем это учитывать исключительно с целью упрощения расчетов. Дополнительным фактором, позволяющим принять такое допущение, является малое значение x на значительной ча-



сти общего протяжения времени движения груза до столкновения со стенкой, когда электростатическая сила мала и, соответственно, мало ускорение груза. Итак, с учетом принятых упрощений, электростатическую силу, создаваемую ЭП и действующую на груз, можно выразить как

$$F_e = kx, \quad (5)$$

где

$$k = \frac{2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{d^3}. \quad (6)$$

На основании второго закона Ньютона и выражений (4) – (6) уравнение движения груза массой m принимает следующий вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = kx. \quad (7)$$

Решением этого дифференциального уравнения является функция

$$x = x_0 e^{\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)t}. \quad (8)$$

Вычислим время движения t_m груза до стенки трубы, т. е. рассмотрим ситуацию, когда $x = d$.

Из уравнения (8) следует, что при этом

$$t_m = \frac{\ln \frac{d}{x_0}}{\sqrt{\frac{k}{m}}}. \quad (9)$$

С учетом выражения (6), на основе формулы (9) получаем окончательное выражение для времени движения груза от момента включения электрического напряжения до соударения груза со стенкой сосуда и появления информационного сигнала:

$$t_m = \frac{\ln \frac{d}{x_0}}{\sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{md^3}}}. \quad (10)$$

Полученное выражение дает, с одной стороны, завышенное, по сравнению с реальным, значение времени, так как электростатическая сила по мере движения груза растет быстрее, чем учитывалось в расчете. С другой стороны, в расчете не учитывалась сила вязкого трения и возвращающая сила (игнорирование этих сил приводит к получению заниженного значения времени). С учетом приведенных аргументов примем полученное выражение в качестве приемлемого для грубой оценки искомой величины.

С помощью выражения (10) находим отклонение груза x_0 , вызванное внешними причинами, по измеренному значению времени:

$$x_0 = \frac{d}{\exp\left(t_m \sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{md^3}}\right)}. \quad (11)$$

На основе принятой модели для расчета влияния электрического поля на отклонение груза (см. рис. 1, b , который, однако, выполнен без соблюдения размерных соотношений), где длину нити l мы считаем много большей высоты груза, с учетом малости отклонения x_0 , получаем, что

$$\alpha_0 = \arctg \frac{x_0}{l} \text{ (рад)}. \quad (12)$$

Таким образом, конечная формула, позволяющая определить искомый угол отклонения, имеет вид

$$\alpha_0 = \arctg \frac{d}{l \cdot \exp \left(t_m \sqrt{\frac{2\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{m d^3}} \right)}, \quad (13)$$

где d , мм, — зазор между грузом и стенкой цилиндра при их соосном исходном расположении; l , мм, — длина нити; t_m , с, — измеряемое время движения груза до стенки цилиндра; ε — диэлектрическая проницаемость среды между грузом и трубой; ε_0 , Ф/м, — электрическая постоянная, S , см², — тянущая площадь; U , В, — электрическое напряжение, приложенное между грузом и цилиндром; m , г, — масса груза.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица

Оценочная расчетная зависимость времени движения груза от значений его первоначального смещения и угла отклонения подвеса (см. рис. 1)

x_0 , мкм	0,001	0,01	0,1	1	10	100
α_0 , мкрад	0,01	0,1	1	10	100	1000
t_m , мс	441	360	280	199	119	38

Примечание. 1. Время t_m исчисляется от момента включения электрического напряжения до появления информационного сигнала в электрической цепи.

2. Значения остальных расчетных параметров следующие: $d = 0,3$ мм, $S = 10$ см², $U = 100$ В, $\varepsilon = 2,5$, $m = 20$ г, $l = 10$ см.

Для более наглядного представления о количественных значениях рассматриваемых величин на рис. 2 в качестве примера приведена зависимость искомого угла отклонения от времени движения груза до столкновения со стенкой при различных значениях напряжения U . Зависимость рассчитана по формуле (13) при тех же значениях остальных параметров, которые указаны в Примечании 2 к таблице.

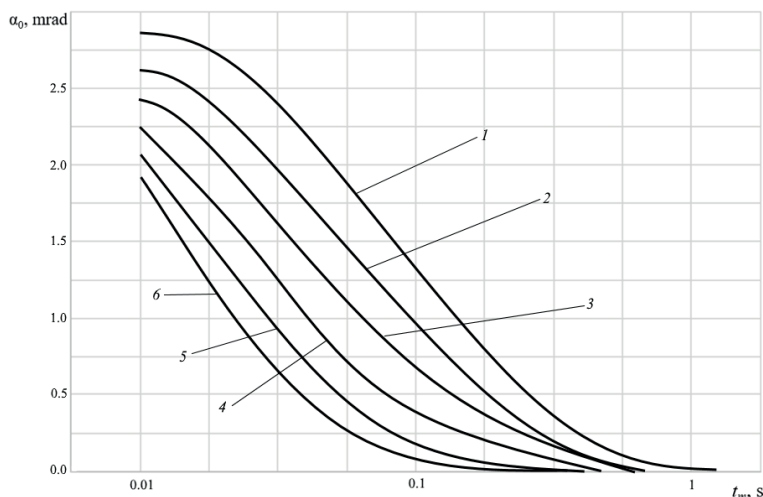


Рис. 2. Расчетная зависимость искомого угла отклонения от времени движения груза при различных значениях напряжения U , В: 25 (1), 50 (2), 75 (3), 100 (4), 125 (5) 150 (6)



Из полученных данных следует вывод о хорошем быстродействии устройства. В то же время, полученные значения сравнительно легко измеряемы с высокой точностью и, следовательно, позволяют фиксировать очень небольшие отклонения от вертикали (горизонтали).

Особенности практического использования устройства

Еще раз напомним, что выполненный расчет носит оценочный характер, в связи с чем необходимо пояснить, что формулу (13) не следует рассматривать как готовую для практического использования. Фактически требуется проведение большого количества экспериментов и построение семейств градуировочных кривых, которые позволят определять величину углового отклонения на практике.

Выше считалось, что расстояния от внешней поверхности груза до всех точек внутренней поверхности цилиндра равны до момента отклонения груза. Фактически, из-за погрешностей в изготовлении устройства, это не совсем верно. Не принималось также во внимание влияние случайных факторов (например, вибраций), которые могут изменять отклонение груза. Но из принципа работы устройства очевидно, что для него характерна сильная положительная обратная связь и случайное отклонение из-за действия неучтенных факторов приведет к изменению в сторону, вызванную действием этих факторов. Также очевидно, что указанное обстоятельство становится особенно существенным при измерении малых отклонений. Поэтому следует отметить, что данное устройство имеет конечную точность измерений, ограниченную технологией его изготовления и влиянием внешних факторов. Однако это не означает, что на практике оно не будет работоспособным. Данная проблема уже обсуждалась в статье [5].

Кратко напомним:

во-первых, вибрации можно минимизировать за счет увеличения массы груза и сильного демпфирования;

во-вторых, при измерениях можно использовать специальную процедуру.

Она состоит в следующих действиях.

Перед собственно измерениями следует подобрать такое положение устройства, при котором груз будет равновероятно отклоняться во всех направлениях. Тем самым будут учтены неточности изготовления и влияние случайных факторов. Найденное положение будет принято за исходное. При практическом измерении, в результате отклонения от вертикали (для определенности), вызываемого креном сооружения, появится небольшое отклонение груза, но с характерным определенным направлением. Даже если это отклонение очень малое, то при выполнении большого количества измерений все равно обнаружится корреляционная связь между направлением и величиной отклонения и показаниями измерителя в пользу искомого направления отклонения. В этом случае можно рассчитать значение угла отклонения для данного направления, используя полученные выражения.

Таким образом, при практическом использовании устройства необходима его предварительная настройка. Также важно подчеркнуть, что о результатах измерения направления и величины крена следует судить по результатам не одного, а целой серии измерений.

Заключение

Предлагаемое в данной статье устройство отличается тем, что за счет нестабильности положения груза в ЭП оказывается возможным измерение не только направления, но и величины отклонения сооружения от нормы, даже при значении, стремящемся к нулю. Этим оно существенно отличается от других измерительных устройств того же функционального назначения, в которых возможности их использования ограничены не только точностью изготовления и влиянием случайных факторов, но и тем важным обстоятельством, что их чувствительность падает с уменьшением величины отклонения, что обусловлено физическими основами их работы. В рассмотренном же устройстве возможности применения ограничены только точностью изготовления и влиянием случайных факторов. Более того, именно при малых отклонениях время движения груза до стенки будет наибольшим, что делает измерения более надежными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абдурахимов А. А.** Наблюдение за деформациями высотных зданий и сооружений при инженерно-геодезических работах // Web of Scholar. 2018. Vol. 1. No. 5 (23). Pp. 75–77.
2. **Ивашин А. Ф., Осипов Е. В., Ивашин Н. А.** Датчик угла наклона объекта. Патент 2627991. Российская Федерация, МПК G01C 9/36 (2006.01); заявитель и патентообладатель АО "Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения»". № 2016131156; заявл. 27.07.16; опубл. 14.08.17, Бюл. № 23. 11 с.
3. **Короева Д. Д., Гудиева И. Н.** Использование методов геодезии при определении кренов зданий и сооружений // Актуальные вопросы современной науки: Теория, методология, практика, инноватика. Сб. статей по материалам международной научно-практической конференции (17 января 2020 г., г. Уфа). В 2 ч. Ч. 1. Уфа: Изд. НИЦ «Вестник науки», 2020. С. 29–34. Номер МНК-253.
4. **Никитин А. В.** Геодезический контроль строительства опор мостов // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ). 2017. Т. 22. № 1. С. 70–80.
5. **Пшелко Н. С., Царёва О. С.** Расчет значений рабочих напряжений для безотказной работы электростатического измерителя направления малых отклонений // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25. № 1. С. 64–74.
6. **Пшелко Н. С., Царёва О. С.** Способ определения угла наклона объекта. Патент 2764961. Российская Федерация, МПК G01C 9/00 (2006.01); заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «СПбПУ». № 2021121325; заявл. 19.07.21; опубл. 24.01.22, Бюл. № 3. 16 с.
7. **Пшелко Н. С., Царёва О. С.** Физические основы использования электрического поля для повышения точности определения направления малых углов отклонений // Прикладная физика. 2021. № 3. С. 60–65.
8. **Сальников В. Г., Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Хлебникова Т. А.** Применение современных автоматизированных геодезических приборов для мониторинга гидротехнических сооружений ГЭС // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ). 2018. Т. 23. № 3. С. 108–124.
9. **Хаметов Т. И.** Геодезические работы при оценке эксплуатационных качеств здания и его конструкций. Пенза: Изд. Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (ПГУАС), 2015. 124 с.
10. **Krzyżek R.** Determining locations of corners of building structures in real time using harmonization of various surveying methods – case study // Survey Review. 2021. Vol. 53. No. 381. Pp. 493–503.
11. **Zrinjski M., Tupek A., Barković Đ., Polović A.** Industrial masonry chimney geometry analysis: A total station based evaluation of the unmanned aerial system photogrammetry approach // Sensors. 2021. Vol. 21. No. 18. P. 6265.

REFERENCES

1. **Abdurakhimov A. A.**, Nablyudeniye za deformatsiyami vysotnykh zdaniy i sooruzheniy pri inzhenerno-geodezicheskikh rabotakh [Observation of deformations of high-rise buildings and structures during engineering and geodesic works], Web of Scholar. 1 (5 (23)) (2018) 75–77 (in Russian).
2. **Ivashin A. F., Osipov E. V., Ivashin N. A.**, Object angle sensor, Pat. No. 2627991, Russian Federation, MPK G01C 9/36 (2006.01); The Joint-stock Company “Military Industrial Corporation ‘Research and Production Association of Mechanical Engineering’” is a declarant and patentee. No. 2016131156; declar. 27.07.2016; publ. 14.08.2017, Bull. No. 23 (in Russian).
3. **Koroyeva D. D., Gudiyeva I. N.**, Ispolzovaniye metodov geodezii pri opredelenii krenov zdaniy i sooruzheniy [Use of geodesic methods when determining the rolls of buildings and structures], In book: “Topical issues of modern science: Theory, methodology, practice, innovation”, Collection of articles based on the materials of the scientific-practical conference (January 17, 2020, Ufa), In 2 parts, P. 1, “Vestnik Nauki” Publishing, Ufa, (2020) 29–34 (in Russian).
4. **Nikitin A. V.**, Geodesic control of construction bridge support, Vestnik of SSUGT. 22 (1) (2017) 70–80 (in Russian).
5. **Pshchelko N. S., Tsareva O. S.**, Calculation of voltages ensuring trouble-free operation of an electrostatic meter of the direction of small angle tilts, Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 25 (1) (2022) 64–74 (in Russian).



6. Pshchelko N. S., Tsareva O. S., Sposob opredeleniya ugla naklona obyektu [The technique of determining the object angle]. Pat. No. 2764961, Russian Federation, MPK G01C 9/00 (2006.01); Peter the Great Saint Petersburg University is a declarant and patentee. No. 2021121325; declar. 19.07.2021; publ. 24.01.2022, Bull. No. 3 (in Russian).
7. Pshchelko N. S., Tsareva O. S., Physical foundations of using an electric field to improve the accuracy of determining the direction of small angles of deviations, Applied Physics. (3) (2021) 60–65 (in Russian).
8. Salnikov V. G., Skripnikov V. A., Skripnikova M. A., Khlebnikova T. A., Use of modern automated geodesic devices for monitoring hydrotechnical constructions of hydro power stations, Vestnik of SSUGT. 23 (3) (2018) 108–124 (in Russian).
9. Khametov T. I., Geodezicheskiye raboty pri otsenke ekspluatatsionnykh kachestv zdaniya i yego konstruktsey [Geodesic works when evaluating operational qualities of the building and its structures], Penza State University of Architecture and Construction Publishing, Penza, 2015 (in Russian).
10. Krzyżek R., Determining locations of corners of building structures in real time using harmonization of various surveying methods – case study, Surv. Rev. 53 (381) (2021) 493–503.
11. Zrinjski M., Tupek A., Barković Đ., Polović A., Industrial masonry chimney geometry analysis: A total station based evaluation of the unmanned aerial system photogrammetry approach, Sensors. 21 (18) (2021) 6265.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЩЕЛКО Николай Сергеевич — доктор технических наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного», Санкт-Петербург, Россия.

194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 3

nikolsp@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5545-0461

ЦАРЁВА Ольга Сергеевна — кандидат технических наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

tsareva_os@spbstu.ru

ORCID: 0000-0002-1009-1052

THE AUTHORS

PSHCHELKO Nikolay S.

Military Academy of Communications Named after Marshal of Soviet Union S. M. Budyonny

3, Tikhoretsky Pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia

nikolsp@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5545-0461

TSAREVA Olga S.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

tsareva_os@spbstu.ru

ORCID: 0000-0002-1009-1052

Статья поступила в редакцию 05.05.2022. Одобрена после рецензирования 11.10.2022. Принята 11.10.2022.

Received 05.05.2022. Approved after reviewing 11.10.2022. Accepted 11.10.2022.