

УДК 528.48 [621/64:661.5]

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРЕНА БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ

Канд. геогр. наук, доц. МИХАЙЛОВ В. И.<sup>1)</sup>,  
инженеры КОНОНОВИЧ С. И.<sup>2)</sup>, ЧИБЕРКУС Ю. Н.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»

E-mail: s\_konon@list.ru

Современные тенденции оценки деформационного состояния высотных сооружений – это создание автоматизированного, постоянно действующего мониторинга с использованием высокоточных систем космического позиционирования (GPS-систем), роботизированных электронных тахеометров, высокоточных инклинометров (типа Leica Nivel210/Nivel220), с точностью измерения угла наклона 0,09 с, программного комплекса Geomos (Leica Geosystems). Автоматизированная система деформационного мониторинга требует значительных временных и материальных затрат, специального обучения специалистов, поэтому не утратили своей актуальности и более простые способы и критерии оценки деформационного состояния сооружений.

Существует более десяти традиционных способов определения крена сооружений. В их основе лежат угловые измерения с фиксированного базиса с использованием высокоточных теодолитов. Они являются весьма трудоемкими и не обеспечивают оперативность и точность измерений. Появление электронных тахеометров с большим радиусом безотражательных измерений расстояний позволило вычислять координаты на поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях (высотах), в результате чего стало возможным получать трехмерную модель поверхности сооружения. Для определения величины крена вытяжной трубы высотой 150 м электронный тахеометр Leica TCRA1201 устанавливали на точке с хорошей видимостью башенного сооружения, определяли ориентирование прибора и плановые координаты временного пункта. Затем на каждом сечении трубы измеряли трехмерные координаты шести точек поверхности сооружения. Далее эти точки проецировали на горизонтальную плоскость. Обработку и интерпретацию геодезических данных выполняли в программном комплексе LISCAD PLUS.

Предлагаемый способ позволяет с одной точки стояния тахеометра получать данные для определения величины и направления крена башенных сооружений, оперативно выполнять натурные измерения и получать окончательные результаты в автоматизированном режиме программного комплекса LISCAD PLUS, не требует предварительной закладки и последующей сохранности опорных геодезических пунктов (базисов), применим для различной конфигурации башенных сооружений.

**Ключевые слова:** сооружения башенного типа, электронный тахеометр, программный комплекс LISCAD PLUS.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

## EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF TOWER CONSTRUCTION TILT USING ELECTRONIC TACHEOMETER

MIKHAILOV V. I.<sup>1)</sup>, KONONOVICH S. I.<sup>2)</sup>, TCHIBERKUS Yu. N.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University,

<sup>2)</sup>SSIA “Scientific and Practical Center of the NAS of Belarus for Bioresources”

Modern tendencies for assessment of high-rise building deformation state presuppose creation of automated and regular monitoring while using highly-accurate space positioning systems (GPS-systems), a robotic electronic tacheometer, highly-accurate inclinators (Leica Nivel210/Nivel220-model) with measuring accuracy of tilt angle up to 0.09 s, Geomos software complex (Leica Geosystems). Automated system for deformation monitoring requires significant time and material expenditures, special training of specialists so simpler methods and criteria for assessment of building deformation state are also considered as rather actual for this purpose.

There are more than ten conventional methods for determining building tilt. All these methods are based on angular measurements from the fixed base while using highly-accurate theodolites. The methods are rather labor-consuming and they do not provide operational efficiency and accuracy in measurements. Introduction of electronic tacheometers with large radius of refractorless measurements of distances has made it possible to calculate coordinates on the building surface with high accuracy and at various sections (heights) that results in possibility to obtain 3D model of the building surface. Leica TCRA1201 tacheometer has been set at the good visibility point of a tower construction, device orientation and plane coordinates of the temporary point have been determined with the purpose to assess a tilt value of an exhaust stack having 150 meter height. Then 3D coordinates of six points on the building surface have been measured for every stack section. After that

these points have been projected on the horizontal plane. LISCAD PLUS software complex has been used for processing and interpretation of geodetic data.

The proposed method permits to obtain data for determination value and direction of a tower construction tilt, immediately carry out in-situ measurements and obtain final results in the automatic mode of LISCAD PLUS software complex using only one point of the tacheometer setting. The method does not require any preliminary laying and subsequent preservation of fundamental geodetic points (bases) and it can be applied for any configuration of tower constructions.

**Keywords:** tower construction, electronic tacheometer, LISCAD PLUS software complex.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

Объекты башенного типа (дымовые трубы, ректификационные колонны, грануляционные башни, радиотелевизионные антенные опоры и др.) являются одними из самых ответственных инженерных сооружений. При проведении строительных работ, в процессе эксплуатации из-за неравномерной осадки или других причин все сооружения могут испытывать деформации. Кроме этого, деформации проявляются из-за некоторых конструктивных особенностей высотных сооружений, которые могут также подвергаться кручению и изгибу, вызываемым неравномерным солнечным нагревом или давлением ветра [1], что приводит к их крену, т. е. к отклонению от вертикальной плоскости.

Подобные деформации могут способствовать потере устойчивости сооружения. Поэтому периодическое их определение (мониторинг) особенно актуально в свете расширения строительства в Республике Беларусь крупных и в первую очередь высотных и уникальных объектов. По результатам такого мониторинга при необходимости могут разрабатываться профилактические меры для устранения крена с целью обеспечения безаварийной эксплуатации сооружения. Современные тенденции оценки деформационного состояния высотных сооружений – создание автоматизированного, постоянно действующего мониторинга с использованием высокоточных систем космического позиционирования (GPS-систем), роботизированных электронных тахеометров, высокоточных инклинометров (типа Leica Nivel210/Nivel220) с точностью измерения угла наклона 0,09 с, программного комплекса Geomos (Leica Geosystems).

Автоматизированная система деформационного мониторинга требует значительных временных и материальных затрат, поэтому не утратили своей актуальности и более простые способы и критерии оценки деформационного состояния сооружений. Как отмечалось выше,

таким критерием может служить крен – наиболее характерный показатель общей деформации высотного сооружения. Существует ряд традиционных способов определения крена сооружений башенного типа [2–4]:

- по разности отметок осадочных марок, установленных на фундаменте или цокольной части сооружения;
- по вертикальному проецированию верхней точки сооружения на горизонтальную рейку;
- измерение горизонтальных углов на верхнюю точку сооружения;
- определение произвольных направлений или магнитных азимутов на образующие сооружения;
- определение прямоугольных координат (способ засечек) некоторой верхней точки сооружения;
- другие менее известные способы: измерение малых, горизонтальных и вертикальных углов, фоторегистрация одного опорного пункта, использование приборов вертикального проецирования.

В основе подавляющего большинства перечисленных выше способов определения кренов лежат угловые измерения с фиксированного базиса с использованием высокоточных теодолитов. Они даже в случае использования современных геодезических приборов с автоматической регистрацией и обработкой результатов измерений являются весьма трудоемкими и не обеспечивают достаточную оперативность и точность. Появление электронных тахеометров с большим радиусом безотражательных измерений расстояний позволило вычислять координаты на поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях (высотах), что, по сути, дало возможность получать трехмерную модель поверхности сооружения. Этот факт позволяет авторам статьи предложить следующий способ определения кренов.

В работах авторов статьи для изучения и апробации предлагаемого способа использовали высокоточный роботизированный электронный тахеометр Leica TCRA1201 с безотражательным режимом измерения (производство концерна Leica Geosystems, Швейцария) [5]. Тахеометры указанной серии оснащены двумя дальномерами: традиционным IR-дальномером и безотражательным (RL) повышенной мощности. Технология Pinpoint, основанная на использовании лазерного дальмера видимого спектра излучения с чрезвычайно малой расходимостью пучка, обеспечивает высокую точность наведения на цель и измерения. Точность измерения расстояний тахеометром TCRA1201 в стандартном режиме работы с отражателем составляет  $2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$  (2 мм на 1 км), время одного измерения – 1,5 с, в безотражательном режиме –  $3 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$  (2 мм на 1 км), время – 3–6 с. Угловые измерения в обоих режимах составляют 1 с.

В качестве примера реализации предлагаемого способа приведем результаты, полученные при плановых измерениях крена металлической вытяжной трубы одного из цехов ОАО «Гродно Азот», где изучению деформаций инженерных сооружений уделяется большое внимание [6, 7]. Экспериментальные наблюдения выполняли два раза в течение года – в июне и декабре. Высота трубы – 150 м.

Для определения величины крена электронный тахеометр Leica TCRA1201 (рис. 1) устанавливали на точке с хорошей видимостью полной стороны башенного сооружения. Расстояние до трубы выбирали таким образом, чтобы с уверенностью можно было регистрировать координаты верха трубы, поскольку он находился на максимальном расстоянии от тахеометра. С помощью встроенной программы обратной засечки выполняли ориентирование прибора и определение плановых координат точки стояния тахеометра. (В случаях, когда требуется только величина крена, все измерения можно выполнять в относительной системе координат.) Затем выбирали число сечений (на рис. 1 –  $h_1, h_2, \dots, h_6$ ) на вытяжной трубе, на которых впоследствии вычисляли центр сооружения. Обычно это были горизонтальные швы на вытяжной трубе. Далее на каждом горизон-

тальном сечении через приблизительно равные угловые расстояния тахеометром измеряли трехмерные координаты поверхности башни. Как правило, в зависимости от прямой видимости это может быть от 6 до 10 точек. Координатам точек каждого сечения присваивали свой код, и они записывались в оперативную память тахеометра. Далее эти точки проецировались на горизонтальную плоскость. Таким образом, для каждого сечения определяли точки, описывающие полуокружность, которая получается в сечении башни на высоте  $h$ .

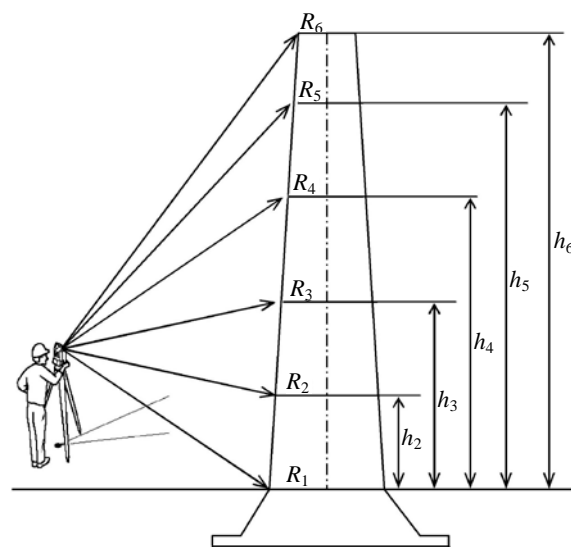


Рис. 1. Схема выполнения измерений

Следует отметить, что для определения радиуса башни на высоте  $h$  и координат центра достаточно трех точек, лежащих на этой полуокружности. Однако, учитывая, что реальные измерения подвержены некоторым погрешностям, а сечение башни на высоте  $h$  не является идеальным кругом при построении радиуса и центра окружности, авторы воспользовались известным методом наименьших квадратов. В настоящее время существует ряд программных комплексов, в которых процедуры построения окружности по методу наименьших квадратов по эмпирическим данным достаточно эффективно реализованы. Для этой цели может быть применено специализированное программное обеспечение по обработке и интерпретации геодезических данных LISCAD PLUS, ориентированных в первую очередь на обработку полевых данных геодезических приборов фирмы Leica.

Результаты измерений с электронного тахеометра (проекции) импортировали непосредственно в LISCAD. Определение координат центров и величины радиуса горизонтального сечения трубы на высоте  $h_i$  выполняли в стандартной процедуре LISCAD PLUS интерактивного построения дуги окружности по методу наименьших квадратов. Она позволяет вычислить радиус и построить центр окружности по любому числу точек, оценить отклонения измеренных на поверхности трубы точек от вычисленной дуги окружности для каждого измерения, повторить вычисления, исключив (например, точки с большими отклонениями) либо добавив новые точки.

Пример такой обработки, где крестиком обозначено местоположение проекций точек на горизонтальную плоскость, вниз от крестиков – идентификаторы точек, вверх под углом  $45^\circ$  – высоты от основания вытяжной трубы, на которых находятся точки, приведен на рис. 2. Сверху от дуги – фрагмент экрана результатов построения окружности на высоте  $\sim 100$  м. В верхнем окне в графе «Смещение» приведены отклонения положения измеренных точек от построенной по методу наименьших квадратов окружности. В нижнем левом углу окна «Радиус 1.166» – вычисленный радиус вытяжной трубы на высоте 100 м. Как видно из рис. 2, максимальное отклонение от окружности составляет 7 мм для точки с идентификатором 804. Такие построения окружностей выполняли для каждого из сечений, на которых проводились измерения. Результаты вычисленных радиусов для двух серий измерений, проведенных в июне и декабре, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что отклонения значений от средней вычисленной величины радиуса не превосходят 1,5–2,0 см. Эта осредненная величина может служить косвенным подтверждением точности наших определений. Отметим, что в данную погрешность могут входить и другие неточности, возникающие при эксплуатации

трубы за счет неравномерного нагрева, вибрации, влияния электромагнитных полей и других негативных процессов.

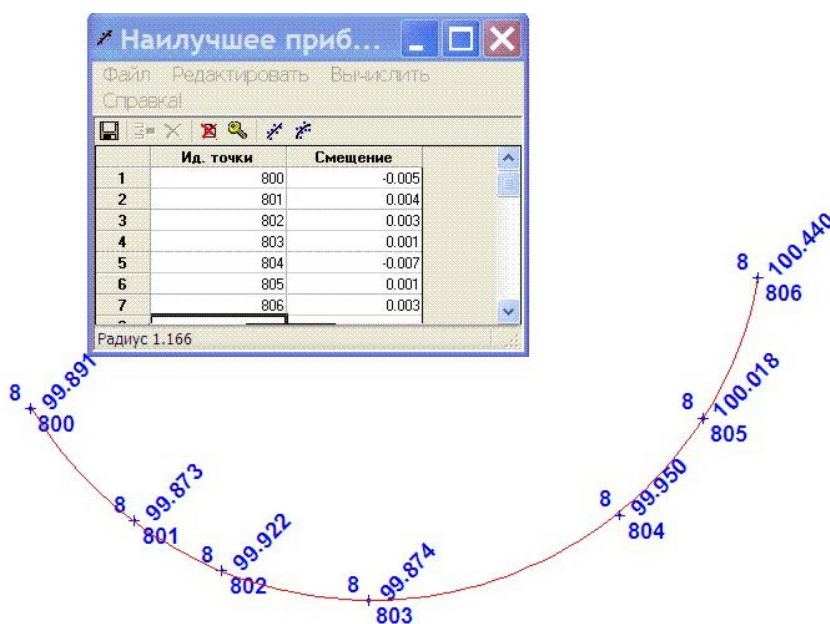


Рис. 2. Построенная окружность, описывающая сечение вытяжной трубы на высоте 100 м

Таблица 1

Радиусы вытяжной трубы по сечениям

Уровень	Высота уровня на трубе, м	Вычисленный радиус, см	
		06.2013	12.2013
1	26	1,204	1,209
2	37	1,183	1,174
3	45	1,180	1,201
4	57	1,201	1,194
5	67	1,186	1,179
6	79		1,181
7	92	1,199	1,175
8	100		1,166
9	108		1,159
10	119	1,186	1,194
11	131	1,188	1,187
12	139	1,207	1,208
Среднее значение радиуса		1,193	1,186

Согласно ГОСТ 24846–81, ТКП 45-1.03-26–2006, допустимые ошибки определения осадок не должны превышать следующих значений [8, 9]:

- 0,0001 высоты стен гражданских и производственных зданий и сооружений;
- 0,0005 высоты труб, мачт сооружений связи и ЛЭП, других подобных сооружений.

В рассматриваемом случае высота вытяжной трубы:  $150 \text{ м} \cdot 0,0005 = 0,075 \text{ м}$ , или 7,5 см. Это свидетельствует о том, что предлагаемый авторами новый способ определения крена башенных сооружений может быть применен на практике. Особенно на производственных предприятиях, где имеются 10 и более башенных сооружений.

Спроецированные на горизонтальную плоскость центры окружностей, построенных для каждого из уровней 1–12 (табл. 1), показаны на рис. 3. На нем точками отмечено плановое положение центра окружности (оси трубы) для каждой высоты. Высоты для этих точек приведены в табл. 1. Стрелками на рис. 3 обозначено перемещение центра вытяжной трубы от одного сечения к другому. Измерив расстояние между центрами окружностей для сечений 1 (точка 1) и 12 (точка 12), получили абсолютное значение величины крена. В данном случае она равна 290 мм. Среднее значение крена трубы, определенное за восемь последних лет традиционным способом, составляет 295 мм. Линия 1–12 будет соответствовать его направлению.

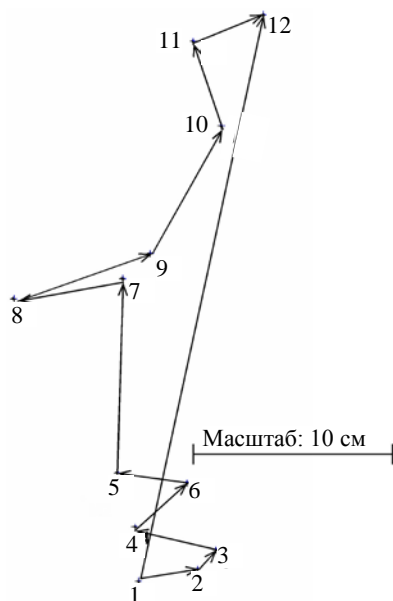


Рис. 3. Смещение центров сечения трубы по уровням

Следует отметить, что данный способ применим для различной конфигурации башенных сооружений (цилиндрических, конических, треугольных и др.) [10].

## ВЫВОД

Предлагаемый способ обладает следующими преимуществами:

- позволяет с одной точки стояния тахеометра получать данные для определения величины и направления крена башенных сооружений;
- не требует предварительной закладки и последующей сохранности опорных геодезических пунктов (базисов);
- применим для различной конфигурации башенных сооружений (цилиндрических, конических, треугольных и др.);
- позволяет оперативно выполнять натурные измерения и получать окончательные результаты в автоматизированном режиме программного комплекса LISCAD PLUS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бикташев, М. Д. Башенные сооружения: геодезический анализ осадки, крена и общей устойчивости положения / М. Д. Бикташев. – М.: АСВ, 2006. – 376 с.
2. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
3. Столбов, И. А. Об определении кренов сооружений / И. А. Столбов // Геодезия и картография. – 1988. – Вып. 3. – С. 35–36.
4. Нестеренок, М. С. Опыт определения кренов вентиляционных и дымовых труб в стесненных условиях / М. С. Нестеренок, А. С. Позняк, А. А. Астровский // Инф. листок БелНИИНТИ. – 1989. – С. 4.
5. Михайлов, В. И. Особенности геодезического контроля стабильности инженерных сооружений в ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения», посвященной 80-летию Белорусской государственной политехнической академии: в 10 ч. – Минск: БГПА, 2000. – Ч. 7. – С. 91.
6. Михайлов, В. И. Опыт применения цифрового нивелира DNA03 при измерении осадочных деформаций производственных объектов ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов, Г. В. Скребков, С. А. Тимошенко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. – Минск: БНТУ, 2008. – Т. 2. – С. 50.
7. Михайлов, В. И. Опыт применения электронного тахеометра для измерения вертикальности стен / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, Ю. Н. Чиберкус // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 9. – С. 26–31.
8. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.
9. ТКП 45-1.03-26-2006 (02250). Геодезические работы в строительстве. Правила проведения. – Введ. 01.07.06 с отменой на территории Республики Беларусь СНиП 3.01.03-84. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006. – 62 с.

10. **Никитин, А. В.** Способ определения крена сооружений цилиндрической формы / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2008. – Вып. 6. – С. 15–17.

## REFERENCES

1. **Biktashev, M. D.** (2006) *Tower Constructions. Geodesic Analysis of Settlement, Tilt and General Stability of Position*. Moscow, ASV Publ. 376 p. (in Russian).
2. **Guidance for Determination of Tower Engineering Construction Tilt Using Geodesic Methods**. Moscow, Stroyizdat, 1981. 56 p. (in Russian).
3. **Stolbov, I. A.** (1988) On Determination of Construction Tilt. *Geodezia i Kartografiya* [Geodesy and Cartography], 3, 35–36 (in Russian).
4. **Nesterionok, M. S.,** Pozniak, A. S., & Astrovsky, A. A. (1989) Experience in Determination of Ventilation and Smoke Stack Tilt in Confined Spaces. *Bulletin of BelNIINTI*. Minsk, 4 (in Russian).
5. **Mikhailov, V. I.** (2000) Specific Features in Geodesic Control of Engineering Construction Stability at JSC “Grodno Azot”. *Proceedings of International Scientific and Technical Conference “Contribution of HEIs Research to Development of Priority Directions for Industry and Economy, Economic and Environmentally Clean Technologies and State-of-the-Art Training Methods” Dedicated to the 80<sup>th</sup> Anniversary of the Belarusian State Polytechnic Academy. Part 7*. Minsk: BSPA [Belarusian State Polytechnic Academy], 91 (in Russian).
6. **Mikhailov, V. I.,** Skrebkov, G. V., & Timoshenko, S. A. (2008) Experience in Application of DNA03-Digital Leveling Device While Measuring Settlement Deformations of JSC “Grodno Azot” Industrial Objects. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy Shestoi Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. T. 2* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 6<sup>th</sup> International Science and Technical Conference. Vol. 2]. Minsk: BNTU, 50 (in Russian).
7. **Mikhailov, V. I.,** Kononovich, S. I., & Tchiberkus, Yu. N. (2013) Experience in Application of Electronic Tacheometer for Measuring Wall Verticality. *Glavny Inzhener v Stroitelstvie* [Chief Engineer in Construction], 9, 26–31 (in Russian).
8. **Shekhovtsov, G. A.,** & Shekhovtsova, R. P. (2009) Modern Geodesic Methods for Detection of Engineering Construction Deformations. Nizhny Novgorod: NNGASU [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering]. 156 p. (in Russian).
9. **TKP 45-1.03-26-2006 (02250).** Geodesic Works in Construction. Rules of Conduct. Minsk, Architecture and Construction Ministry of the Republic of Belarus, 2006. 62 p. (in Russian).
10. **Nikitin, A. V.** (2008) Method for Determination of Cylindrical Construction Tilt. *Geodezia i Kartografiya* [Geodesy and Cartography], 6, 15–17 (in Russian).

Поступила 17.03.2014

УДК 624.155

## ЗАБИВНЫЕ ПОЛИПРОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СВАИ И НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВАЙНОГО НАГОЛОВНИКА

*Докт. техн. наук, проф. БЕКБАСАРОВ И. И., магистр ИСАКОВ Г. И.*

*Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати (Казахстан)*

E-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru

Изложены конструктивные и технологические особенности изготовления забивных свай с переменной прочностью ствола. Показана экономическая эффективность их выпуска. Представлена конструкция свайного наголовника, обеспечивающая восприятие ударных усилий молота боковыми гранями головной части сваи. Предложены забивные железобетонные сваи, изготавливаемые из трех разнопрочных участков ствола. Прочность материала (класс бетона и диаметр арматуры) и длина участков ствола назначаются дифференцированно в зависимости от характера и уровня напряжений в сваях при забивке. Выпуск полипрочных свай открывает возможность их подбора для каждой конкретной площадки строительства с учетом их сохранности при забивке.

Разработан свайный наголовник, который в отличие от существующих аналогичных конструкций позволяет передавать ударные усилия от молота к свае через боковую поверхность ее головной части. Наголовник обеспечивает возможность увеличения площади восприятия сваей ударных усилий от молота и тем самым значительно снижает риск повреждения и разрушения бетона свай при забивке. Применение полипрочных свай, а также их забивка с помощью нового свайного наголовника составляют основу бездефектной и ресурсосберегающей технологии устройства свайных фундаментов в строительстве.

**Ключевые слова:** забивные полипрочные железобетонные сваи, свайный наголовник, прочность на сжатие, класс бетона, диаметр арматуры.

Ил. 8. Табл. 2. Библиогр.: 13 назв.