

DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943

¹Рыбникова И.А., ^{2,*}Рыбников А.М.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Новороссийский филиал)

Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д. 75

²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93

E-mail: a.ribnikov@novoroshkp.ru

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ НАТУРНЫХ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ

Аннотация. С целью исследования работы буронабивных конических свай длиной 4,5 м с диаметрами голов 0,4; 0,6 м и одинаковым для обоих диаметром нижнего торца равным 0,2 м была разработана методика тензометрических исследований, которые являются одними из точных и надёжных. Для данного типа свай с углом конусности $1^{\circ}20'$ и $2^{\circ}40'$ в качестве оптимальных измерительных изделий предложены тензодинамометры и мессдозы, оснащённые тензорезисторами. Они позволяют выявить распределение усилий по длине ствола и по боковой поверхности таких свай при вдавливающей нагрузке. Приведены схемы конструкций тензодинамометров и мессдоз, технология подготовки их к работе в комплекте с прибором ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой). Как показала тарировка тензометрических изделий погрешность измерений исследуемых параметров не превышает 4%. Данные тензометрических исследований работы позволяют построить эпюры распределения усилий в сечениях и по стволу, а также эпюры контактных напряжений по наклонной боковой поверхности буронабивных конических свай, что послужит в дальнейшем для разработки методики расчёта их несущей способности.

Ключевые слова: буронабивная свая, конусность сваи, тензодинамометр, мессдоза, тензорезистор, погрешность измерений.

Введение. Давно известны конструкции свай с изменяющимся сечением по стволу как забивных, так и набивных. Типичной формой набивной сваи, образованной коническим сердечником без выемки грунта из скважины, является свая системы «Компрессоль», предложенная французским инженером Дюлаком ещё в 1900 г. У сваи «Франкиньюль», созданной во Франции в 1909 г. обсадная труба состоит из концентрических звеньев, вставленных друг в друга. Длина звеньев 3...6 м при диаметре 40–70 см. Специальные муфты, не мешая телескопическому передвижению звеньев в грунте при образовании скважины, предохраняют их от разъединения. Широко используются в практике фундаментостроения забивные пирамидальные сваи прямоугольного и треугольного сечения, а также сваи в выштампованных скважинах конусной формы. Такой тип свай обладает повышенной удельной несущей способностью (на 1 м^3) за счёт расклинивающего эффекта по боковой поверхности при действии вертикальной нагрузки.

Цилиндрические буронабивные сваи, изготовленные в пробуренных скважинах с удалением грунта, имеют свою область рационального применения. Идея повышения несущей способности таких свай путём придания им конусности привнесена из приведенных выше типов свай, что позволило бы сочетать в себе основные пре-

имущества забивных клиновидных и буронабивных свай. Результаты модельных и натурных испытаний трёх типоразмеров буронабивных конических свай показали их эффективность [1, 2]. Диаметры голов (верхних торцов) буронабивных конических свай были приняты $d_1 = 0,4; 0,5; 0,6 \text{ м}$. Для удобства заполнения скважины бетонной смесью с последующим её уплотнением в узкой нижней части скважины минимальный диаметр был принят $d_0 = 0,2 \text{ м}$. При длине сваи 4,5 м и принятых диаметрах голов и торца (острия) конусность свай составила $\alpha = 1^{\circ} \dots 2,5^{\circ}$. Буквенные обозначения свай были приняты по их наименованию – БКС (буронабивные конические сваи).

С целью выяснения распределения усилий по длине ствола и по боковой поверхности принятых буронабивных конических свай на экспериментальном полигоне [2] после завершения испытаний были проведены исследования работы под вдавливающей нагрузкой четырёх свай с помощью тензометрического оборудования и приборов. Цифровые обозначения таких свай также были приняты по их наименованию, длине в м, диаметру головы и нижнего торца (острия) в сантиметрах, например – БКС 4,5-40/20 (длина 4,5 м, верхнее и нижнее основание 40 и 20 см соответственно).

Для изучения взаимодействия свай с грунтом основания предпочтение было отдано тензометрическому методу, так как он является одним

из наиболее точных и надёжных. С этой целью в две сваи БКС 4,5-40/20-1 с углом конусности $\alpha = 1^\circ 20'$ и БКС 4,5-60/20-1 с углом конусности $\alpha = 2^\circ 40'$ были установлены по четыре тензодинамометра, а в сваи БКС 4,5-40/20-2 и БКС 4,5-60/20-2 по десять мессдоз – по пять с каждой из диагональных противоположных сторон по высоте.

Основная часть. Известен ряд конструкций тензометрических приборов для измерений и деформаций в грунтах [3]. Однако оптимальным

для исследований буронабивных конических свай является тензодинамометр, конструкция которого приведена в работе [4]. Он устроен таким образом, что постоянно самоцентрирует передаваемую нагрузку на упругий измерительный элемент (рис. 1). Его конструкция позволяет определять продольные усилия в любых сечениях свай различных параметров по высоте.

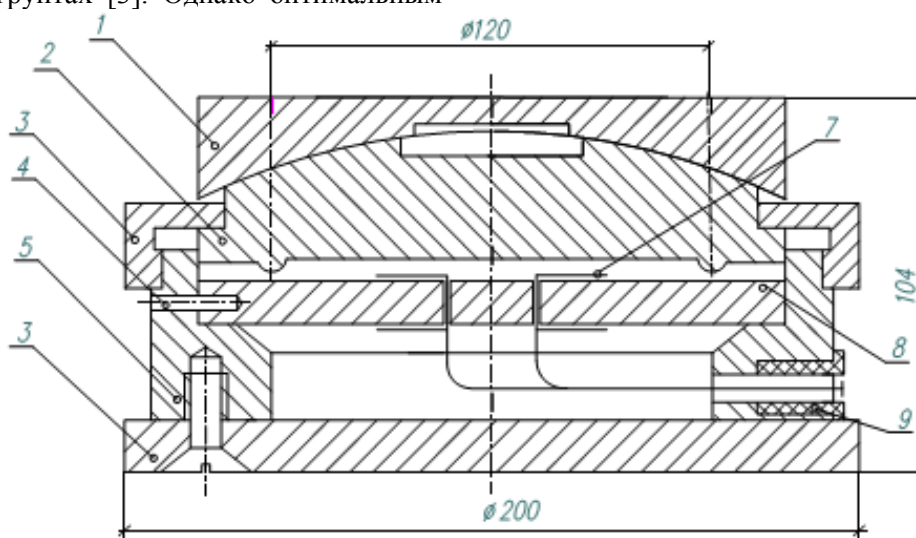


Рис. 1. Конструктивная схема тензодинамометра:

1 – самоцентрирующийся диск; 2 – прокладка; 3 – накидная гайка; 4 – винт стопорный; 5 – корпус; 6 – дисковое основание; 7 – тензорезистор; 8 – мембрана; 9 – пробка резиновая

Рабочим упругим силоизмерительным элементом в тензодинамометре является круглая пластина-мембрана 8 из высокопрочной легированной стали 30 ХГСА, обладающей хорошими упругими свойствами. Мембрана опирается по контуру на цилиндрический выступ корпуса 5 и крепится стопорным винтом 4. Усилие на мембрану передаётся соосно диском 1 через прокладку 2, прилегающих друг к другу по сферической поверхности. Для лучшего скольжения в полость центральной части сферы между ними вводится густая смазка. Прокладка 2 имеет выступ в форме кольца диаметром 120 мм и прижимается к цилиндрическому корпусу 5 накидной гайкой 3. Снизу корпус закрыт диском 6. При наличии нагрузки мембрана 8 получает чистый изгиб, который фиксируется наклеенными на неё тензорезисторами 7. Электропровода от тензорезисторов выводятся из корпуса через отверстие, закрытое резиновой пробкой 9.

Напряжения в поперечных сечениях сваи по длине под нагрузкой различны, поэтому толщина мембран для разного уровня сечений принималась неодинаковой, чтобы мембраны обладали наибольшей чувствительностью. При этом напряжения при максимальной ожидаемой нагрузке не должны были превышать предела

упругости принятой стали. Поэтому тензодинамометры были рассчитаны на усилия 150, 300, 600, 800 кН. Таким образом, толщина мембран составила 5, 7, 11, 15 мм. При максимальной нагрузке в 800 кН расчётные напряжения в самой мембране толщиной 15 мм составляли 70,8 МПа.

Тензорезисторы в тензодинамометрах применялись проволочные 2 ПКБ с базой 20 мм, сопротивлением 200 Ом, так как их чувствительность при измерении деформаций зависит от базы и особенно понижается при её размерах менее 10 мм. Четыре тензорезистора клеили клеем БФ-2 на нижнюю (2 активных) и верхнюю (2 компенсационных) поверхности мембраны. Гидроизоляция тензорезисторов осуществлялась после тепловой обработки путём наклеивания на них изоляционной ленты с прокладкой из конденсатной бумаги и покрытия 1,5–2 миллиметровым слоем эпоксидного клея.

Гидроизоляционная защита проводилась для предохранения материала тензорешётки от воздействия влаги в грунте и бетоне, так как за счёт разбухания клея и бумажной основы проволока растягивается и искажает величину измерения деформаций мембраны. Активные и компенсационные тензорезисторы соединялись между собой

по полумостовой схеме. Провода от них из корпуса тензодинамометра выводились через специальное отверстие, которое закрывалось резиновой пробкой и заделывалось водонепроницаемой замазкой. Подключение полумостов тензорезисторов к регистрирующему прибору ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой) применялось независимое, преимущество которого состоит в том, что при выходе из строя любого тензорезистора показания остальных не изменяются.

После проверки качества крепления тензорезисторов и сборки тензодинамометров производилась их тарировка на гидравлическом прессе. Величина ступени нагрузки назначалась в зависимости от толщины мембраны. При достижении максимальной нагрузки, превышающей на 8–10 % расчётную, усилие такими же ступенями уменьшалось до нуля. Цикл «нагрузка-разгрузка» повторялся три раза.

Точность показаний тензодинамометра складывается из погрешностей электрической и механической систем. Погрешность электрической системы зависит в основном от чувствительности регистрирующего прибора и составляет для ИДЦ-1 примерно 1,5 %. Механическая погрешность происходит из-за разности жёсткостей тензодинамометров, бетона сваи и стальной упорной балки испытательного анкерного стенда, а также погрешности мембраны. Расчёты по формулам Руководства ЦНИИСК по применению прямого метода измерений давлений в сыпучих средах и грунтах показали, что погрешность в измерениях сил за счёт разности жёсткости перечисленных материалов незначительна и составляет 4 %.

Для определения нормальных давлений отпора на контакте боковой поверхности конических свай с грунтом основания использовались мессдозы конструкции ЦНИИСК заводского изготовления [5]. Они имели наружный диаметр корпуса 70 мм, и состояли из жёсткого корпуса 3 с закреплённой крышкой (гибкой упругой мембранной 1), контактирующей с грунтом (рис. 2). На внутреннюю поверхность мембраны наклеен кольцевой тензорезистор 2, реагирующий на небольшие прогибы мембраны. Для исключения концентрации краевых напряжений по краям мембраны сделаны кольцевые выточки 4, заполненные пористой резиной. Деформируемость мембраны была подобрана в соответствии с жёсткостью грунта основания, в котором выбуривались конические скважины под сваи.

При нижнем пороге чувствительности измерений 0,02–0,04 МПа, максимальное давление составляло 0,1 МПа. Тарирование мессдоз производилось по три раза в тарировочном устройстве

(баке) с песком, в котором создавалось контролируемое распределение давления. Мессдозы помещались в специальные углубления, расположенные на дне бака. Для каждой мессдозы строился градуировочный график, который получался близким к прямолинейному при создании и снятии нагрузки, не имел петель и пересечений. Суммарная погрешность мессдоз в комплекте с прибором ИДЦ-1 составила порядка 15–30 %.

Тензодинамометры и мессдозы устанавливались в конические скважины перед их бетонированием с интервалом по высоте ствола сваи в 1 м (рис. 3). Предварительно тензодинамометры закреплялись между двумя круглыми пластинами (кондукторами) толщиной 10 мм, диаметры которых соответствовали диаметрам конических скважин на определённой высоте ствола сваи.

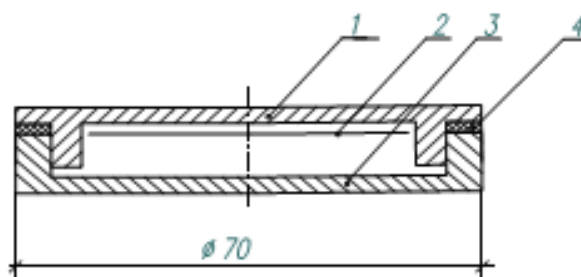


Рис. 2. Конструктивная схема тензорезисторной мессдозы

Первый тензодинамометр укладывался на схватившуюся бетонную подготовку, заполнившую острие сваи, последующие – в процессе бетонирования скважины. Таким образом, тензодинамометры в кондукторах разрезали ствол сваи на участки, и продольная сила при испытаниях полностью воспринималась мембранами по участкам. Кабели от них выводились из скважины на поверхность и с помощью электроразъемов подключались к ИДЦ-1.

Мессдозы устанавливались в скважину таким образом, чтобы обеспечивался полный контакт наружных мембран с грунтом по всей их плоскости. Это не составило больших трудностей, поскольку предварительно мессдозы были смонтированы в забетонированные кондукторы из швеллеров длиной 4,5 м. Бетон заливался в корытообразную опалубку из швеллеров на всю высоту полков с оставлением гнезд под мессдозы. По пять штук мессдоз в резиновых кольцевых обоймах устанавливались в гнезда на выравнивающую прослойку из гипсового раствора толщиной 0,5–0,8 мм. Расположение мессдоз по высоте швеллера приведено на рис. 3. В гнездо заливалось дозированное количество раствора, и мессдозы, с лёгким постукиванием через мягкую круглую плитку, устанавливались заподлицо с бетонной поверхностью швеллеров. Кабели от

мессдоз проводились по штрабам в бетоне. Таким способом были изготовлены четыре тензошвеллера – по два на каждую тензосваю. Элемент тензошвеллера и его разрез приведены на рис. 4. Дублирование измерений давления, как показала практика, необходимо, так как несколько мессдоз вышли из строя из-за обрыва сигнальных проводов и были исключены из рассмотрения.

Плоская контактная поверхность для вдавливания мессдоз в грунт обеспечивалась путём

продельвания обычным швеллером по всей высоте стенок скважины двух диаметрально противоположных полос-бороздок. Осыпавшийся грунт был уплотнён в забое скважины ручной трамбовкой. В бороздки вставлялись тензошвеллеры и прижимались распорками, от чего мессдозы впрессовывались в грунт. Затем скважины бетонировались на всю высоту, и мессдозы прижимались к грунту бетоном сваи.

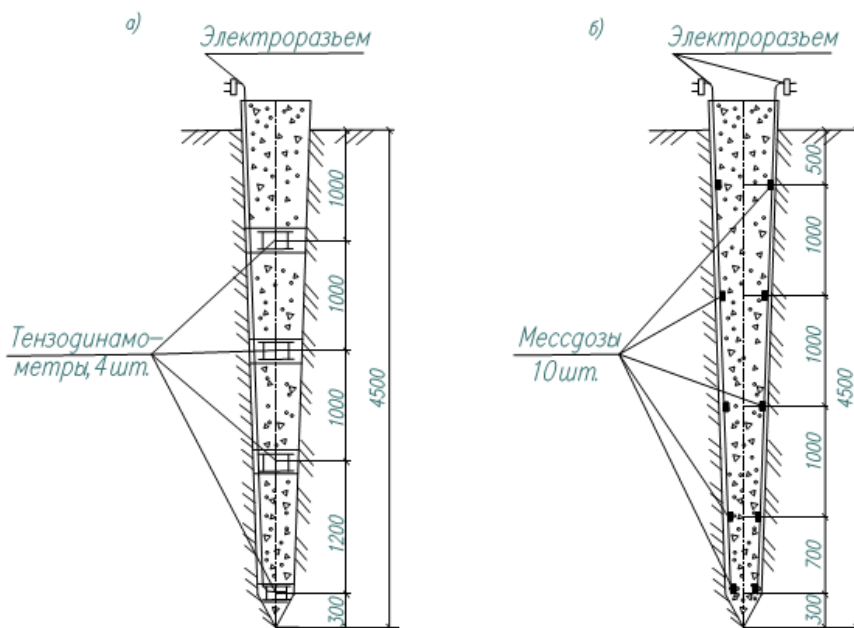


Рис. 3. Схема тензометрической сваи, оснащённой тензодинамометрами (а) и мессдозами (б)

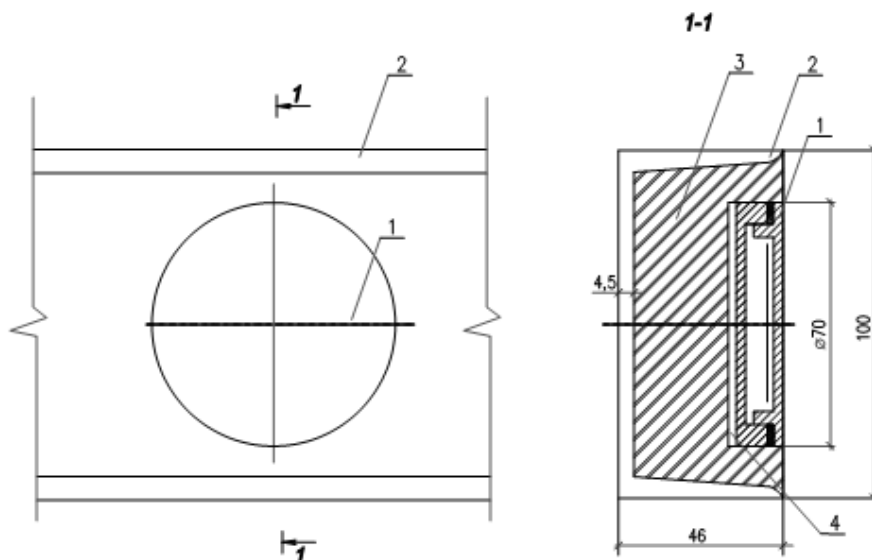


Рис. 4. Элемент тензошвеллера:

1 – мессдоза; 2 – швеллер; 3 – бетон; 4 – гипсовый раствор

Выводы. Разработанная методика позволила оснастить буронабивные конические сваи тензометрическими приборами в полевых условиях для проведения статических испытаний вдавливающей нагрузкой с целью выяснения распределения усилий по длине ствола и по боковой поверхности, включая усилия отпора. Показания

тензометрических приборов фиксировались на каждой ступени нагрузки одновременно со снятием отсчётов по прогибомерам реперной системы. По данным тензометрических замеров построены эпюры распределения усилий в сечениях по стволу и эпюры контактных напряжений

по наклонной боковой поверхности буронабивных конических свай. Результаты полученных тензометрических исследований будут предложены к публикации отдельным материалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка конструкций буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 2. С. 68–72.
2. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов натурных испытаний буронабивных

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин. Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и комплексы». E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в августе 2018 г.

© Рыбникова И. А., Рыбников А. М., 2019

¹*Rybnikova I.A.*, ²**Rybnikov A.M.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch
Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75*

²*State Maritime University named after admiral F. F. Ushakov
Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93*

**E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru*

THE METHOD OF PREPARATION THE STRAIN GAUGE STUDIES OF NATURAL BORED CONICAL PILES' PERFORMANCE

Abstract. A technique of tensometric studies is developed in order to study the work of bored conical piles with a length of 4.5 m, with head diameters of 0.4; 0.6 m and the bottom end diameter of 0.2 m, which are accurate and reliable. The strain gauge and messdoses are proposed as optimal measuring products for a pile type with a taper angle of $1^\circ 20'$ and $2^\circ 40'$. They allow to identify the distribution of forces along the length of the trunk and along the lateral surface of such piles under a pressing load. Schemes of strain gauges structures and messdoses, the preparation of their operation in combination with the IDC-1 device (digital strain gauge) are given. Calibration of strain gauge products shows the measurement error of the parameters studied does not exceed 4%. The tensometric studies allow to construct diagrams of force distribution in sections and along the trunk, as well as diagrams of contact stresses on the inclined side surface of bored conical piles. It will serve in the future to develop a method of calculating the bearing capacity.

Keywords: bored piles, diameter of piles, strain gauge, messdoses, tenzodinamometr, measurement error.

REFERENCES

1. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Razrabotka designs bored conical piles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, pp. 68–72.
2. Rybnikova I. A., Rybnikov A. M. Analysis of the results of full-scale tests of bored-bore conical piles on the effect of various types of loads. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 3, pp.

конических свай на действие различных видов нагрузок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 3. С. 24–29.

3. Голли А.В. Методика измерения напряжений и деформаций в грунтах: Учебное пособие. Л.: ЛИСИ, 1984. 53 с.

4. Фремке А.В. Электрические измерения. М.: Энергия, 1973. 424 с.

5. Баранов Д.С. Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах. М.: ЦНИИСК, 1965. 147 с.

24–29.

3. Golli A.V. Methods of measuring stresses and deformations in soils: A study guide. L.: LISI. 1984, 53 p.

4. Fremke A.V. Electrical measurements. M.: Energy, 1973, 424 p.

5. Baranov D. Guidelines for the application of the direct method of measuring pressures in granular media and soils. M.: TsNIISK, 1965, 147p.

Information about the authors

Rybnikova, Irina A. Senior lecturer. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Novorossiysk branch. Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Rybnikov, Aleksandr M. PhD, Assistant professor, Senior researcher. E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov. Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in August 2018

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Использование отходов пиromеталлургической промышленности в производстве материалов для закладки горных выработок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 55–60. DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943

For citation:

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. The method of preparation the strain gauge studies of natural bored conical piles' performance. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 55–60. DOI: 10.12737/article_5c73fc129623f7.77024943