

## Разработка новой конструкции стенда в виде геокупола для статических испытаний грунтов сваями нагрузением до 1500 кН

Михаил Александрович Самохвалов<sup>1</sup>, Лариса Викторовна Гейдт<sup>2</sup>,  
Лариса Рафаиловна Епифанцева<sup>2</sup>, Юлия Владимировна Наумкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственная компания «ГЕОТЕХНИКА 72» (НПК «ГЕОТЕХНИКА 72»); г. Тюмень, Россия;

<sup>2</sup> Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Проведение статических испытаний грунтов сваями является обязательным условием для проектирования свайных фундаментов. Существующие стенды имеют ряд недостатков, главные из которых заключаются в использовании массивных крупногабаритных элементов для создания грузовой платформы и выполнении монтажных операций с привлечением тяжелой грузоподъемной техники, что приводит к значительному увеличению стоимости и продолжительности испытаний. Для исключения данных недостатков предлагается разработать новый тип стенда для испытаний в виде геокупола. Его отличительная особенность — сборно-разборная на болтовых соединениях конструкция, работающая в основном на растягивающие усилия.

**Материалы и методы.** Осуществлен сравнительный анализ отечественных и зарубежных стендов, в том числе по результатам патентного поиска. Геометрический расчет выполнен по результатам икосаэдрической аппроксимации полусферы с использованием Autodesk Inventor. Статический расчет произведен с помощью метода конечных элементов в STARK ES 2023.

**Результаты.** Разработана новая конструкция стенда в виде геокупола для статических испытаний грунтов сваями нагрузением до 1500 кН. По результатам опытно-промышленных испытаний доказана работоспособность геокупола для испытания грунтов сваями с нагрузением до 1500 кН. Определены его главные преимущества: легкость — при собственном весе геокупола не более 15 кН можно выполнять испытания с нагрузением до 1500 кН; скорость — для сокращения сроков проведения работ можно выходить на объект по испытаниям с несколькими конструкциями геокуполов одновременно. С целью установления несущей способности анкеров произведены их испытания на выдерживающие нагрузки.

**Выводы.** Использование геокупола позволит выполнить испытания с максимальной эффективностью путем сокращения до 75 % дополнительных финансовых затрат, в том числе за счет значительного снижения транспортных расходов и исключения монтажных операций по созданию грузовой платформы, а также сокращения общего времени испытаний на объекте благодаря их параллельной организации.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** статические испытания грунтов, стенд для испытаний, геодезический купол, натяжные элементы, анкеры из буровых шнеков, несущая способность

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Самохвалов М.А., Гейдт Л.В., Епифанцева Л.Р., Наумкина Ю.В. Разработка новой конструкции стенда в виде геокупола для статических испытаний грунтов сваями нагрузением до 1500 кН // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 1. Ст. 9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.1.9

Автор, ответственный за переписку: Михаил Александрович Самохвалов, [info@gt72.ru](mailto:info@gt72.ru).

## Development of a new stand structure in the form of a geodome for soils static tests by piles with loading up to 1,500 kN

Mikhail A. Samokhvalov<sup>1</sup>, Larisa V. Geidt<sup>2</sup>, Larisa R. Epifantseva<sup>2</sup>, Yuliya V. Naumkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific and production company "GEOTECHNIKA 72"; Tyumen, Russian Federation;

<sup>2</sup> Industrial University of Tyumen (IUT); Tyumen, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The performance of static soil tests with piles is a prerequisite for the design of pile foundations. The existing stands have a number of disadvantages, the main of which are the use of massive large-sized elements for creation of a load platform and performance of installation operations with the involvement of heavy lifting equipment. A number of disadvantages leads to a significant increase in the cost and duration of testing. To exclude these disadvantages, it is proposed to develop a new type of test bench in the form of a geodome. Prefabricated and demountable construction on bolted joints, working mainly on tensile forces will be a distinctive feature of the geodome.

**Materials and methods.** The comparative analysis of domestic and foreign stands including the results of patent search is carried out. The geometric calculation was performed according to the results of icosahedral approximation of the hemisphere using Autodesk Inventor. Static calculation was performed using the finite element method in STARK ES 2023.

**Results.** A new design of a stand in the form of a geodome for soils static tests with piles loaded up to 1,500 kN is developed. The performance of the geodome for soils tests by piles with loading up to 1,500 kN was proved according to the results of practice industrial testing. Its main advantages were identified: lightness — with an empty weight of no more than 15 kN, the geodome can be used to perform tests with loading up to 1,500 kN; speed — to reduce the time required to complete the work, several geodome designs can be used for testing. The anchors were tested for pull-out loads to determine their load-bearing capacity.

**Conclusions.** The use of geodome will allow to perform tests with maximum efficiency by reducing up to 75 % of additional financial costs, including due to a significant reduction of transport costs and exclusion of installation operations for the creation of the load platform, as well as reducing the total time of tests at the site due to their parallel organization.

**KEYWORDS:** static soil tests, stand of testing, geodesic dome, tensioning elements, anchors from drill screws, bearing capacity

**FOR CITATION:** Samokhvalov M.A., Geidt L.V., Epifantseva L.R., Naumkina Yu.V. Development of a new stand structure in the form of a geodome for soils static tests by piles with loading up to 1,500 kN. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(1):9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.1.9

*Corresponding author:* Mikhail A. Samokhvalov, [info@gt72.ru](mailto:info@gt72.ru).

## ВВЕДЕНИЕ

Проведение статических испытаний грунтов сваями является обязательным этапом инженерно-геологических изысканий при проектировании свайных фундаментов. От результатов данных испытаний будет зависеть безопасность всего строительства и последующая эксплуатация здания или сооружения. Существующие стенды, которые применяют для статических испытаний грунтов сваями, имеют ряд недостатков, главные из которых заключаются в использовании массивных крупногабаритных элементов для создания грузовой платформы и выполнении монтажных операций с привлечением тяжелой грузоподъемной техники. Связанные с этими недостатками дополнительные финансовые расходы могут достигать до 75 % от всех затрат на испытания. С целью создания грузовой платформы используются дорожные плиты, фундаментные блоки, железобетонные противовесы или балласты башенных кранов, стальные двутавровые балки или платформы. Для того чтобы доставить все эти элементы на строительную площадку необходимо нанимать длинномерные грузовые автомобили (полуприцепы, шаланды и т.п.). Для монтажа и демонтажа элементов грузовой платформы на строительной площадке требуется организовывать подъездные пути и места стоянки автомобильного крана. Время испытаний одной сваи при помощи стенда с грузовой платформой может достигать от 2 до 4 суток. Параллельное выполнение сразу нескольких испытаний с применением грузовой платформы, как правило, технически невозможно или сильно затруднено. В связи с этим существенно увеличивается общая продолжительность осуществления работ для оформления итогового отчета по инженерно-геологическим изысканиям и, как следствие, затягиваются сроки проектирования.

Таким образом, разработка нового стенда для статических испытаний грунтов сваями в виде геодезического купола (далее — геокупола), применение которого позволит значительно сократить транспортные расходы и полностью исключить монтажные (демонтажные) операции с привлечением автомо-

бильного крана, при этом одновременно уменьшив общую продолжительность выполнения работ, — актуальная тема исследований [1]. Дополнительные преимущества использования геокупола состоят в его технологичности и универсальности при проведении работ как в сложных грунтовых и стесненных условиях, так и труднодоступных отдаленных районах, благодаря в том числе возможности выполнения монтажных операций ручным способом. Использование утепленного тента, накрывающего геокупол, дает возможность достаточно эффективно и технологично организовать отопление грунта в зимний период времени, а также надежно обеспечивать защиту датчиков измерения перемещений и прочего оборудования от влияния атмосферных воздействий (дождь, снег, ветер, солнечное излучение), которые могут оказать влияние на значения перемещений [2].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В нашей стране используются следующие технические решения для испытаний грунтов сваями (рис. 1) [3–9]:

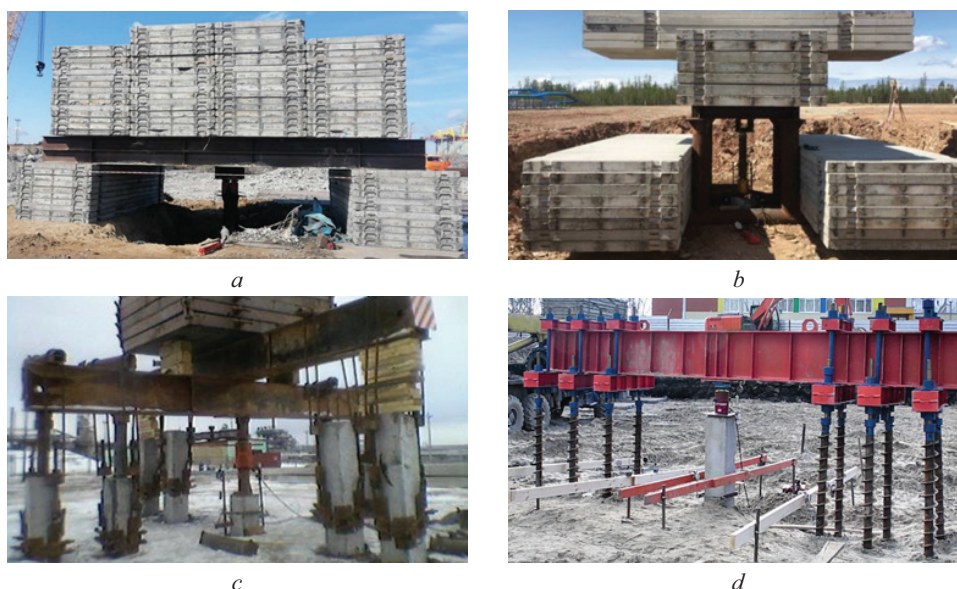
- грузовая платформа, состоящая из стальной рамы, на которую укладывается тарированный груз в виде дорожных плит, фундаментных блоков, железобетонные противовесы или балласты башенных кранов и т.п.;

- схемы испытаний с системой накрест лежащих балок, закрепленных анкерами из дополнительно забитых железобетонных свай;

- схемы испытаний с балкой или системой накрест лежащих балок, закрепленных анкерами из закрученных в грунт буровых шнеков.

В зарубежной практике помимо традиционных стендов для испытаний встречаются также оригинальные инженерные решения, отличительной особенностью которых является использование натяжных элементов и грунтовых анкеров (рис. 2) [10–25].

Главный недостаток применения как российских, так и зарубежных технических решений испытательных стендов заключается в применении тяжелых элементов в виде тарированного груза в со-



**Рис. 1.** Схемы и конструкции для проведения статических испытаний грунтов сваями в России: *a* — с тарированным грузом; *b* — со специальной платформой; *c* — с балками и анкерами из железобетонных свай; *d* — с балкой и анкерами из буровых шнеков

**Fig. 1.** Schemes and designs for static soil tests by piles in Russia: *a* — with a tared load; *b* — with a special platform; *c* — with beams and anchors from reinforced concrete piles; *d* — with a beam and anchors from drill screws



**Рис. 2.** Различные технические решения испытательных стендов в зарубежной практике с применением натяжных элементов и грунтовых анкеров

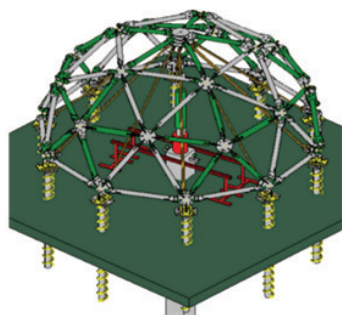
**Fig. 2.** Different technical solutions of test stand in foreign practice with the use of tension elements and ground anchors

ставе грузовой платформы или специальных массивных стальных элементов, дополнительно связанных с грунтовыми анкерами. Использование таких стендов приводит к увеличению стоимости испытаний до 75 %. Время испытаний одной сваи при помощи стенда с грузовой платформой может достигать от 2 до 4 суток. Параллельное проведение сразу нескольких испытаний с применением грузовой платформы, как правило, технически невозможно или сильно затруднено. В связи с этим значительно увеличивается общая продолжительность выполнения работ для оформления итогового отчета по инженерно-геологическим изысканиям и, как следствие, затягиваются сроки проектирования. В свою очередь, осуществление работ существующими стендами в отдаленных и труднодоступных районах, сложных грунтовых и стесненных условиях строительства сильно затруднено или практически невозможно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам анализа нормативных документов в строительстве, связанных с испытаниями грунтов, ГОСТ 5686–2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями», был выполнен геометрический расчет с использованием икосаэдрической аппроксимации полусферы в программном комплексе (ПК) Autodesk Inventor и разработана конструкция геокупола (рис. 3) [1]. В конструкции геокупола можно выделить три основных элемента:

- сборно-разборная на болтовых соединениях конструкция геодезического купола, в состав которой входит два типа размеров стержней и два типа размеров узлов, при этом все стержни и узлы имеют длину не более 1 м и вес не более 20 кгс, что позволяет их компактно складывать при транспортировке и выполнять монтаж (демонтаж), в том числе ручным способом;



**Рис. 3.** Конструкция геокупола для статических испытаний грунтов сваями

**Fig. 3.** Geodome design for static pile soil testing

- анкеры, представляющие собой буровые шнеки длиной по 1,5 м с диаметром лопасти 135 мм и диаметром ствола 89 мм, наращивание анкеров по глубине осуществляется при помощи шестигранных буровых замков Ш55;

- натяжные элементы в виде стальных канатов со стальным сердечником.

Главные преимущества конструкции геокупола заключаются в следующем:

- максимальная нагрузка на сваю до 150 тс при собственном весе геокупола не более 1,5 тс, что позволяет его свободно перемещать по строительной площадке любой строительной техникой (фронтальный погрузчик, манипулятор, экскаватор, башенный кран и т.д.);

- равноудаленность анкеров от центра сваи (точки приложения нагрузки) и, как следствие, равная степень их нагружения и более эффективная работа на выдергивающие нагрузки;

- сочетание формы геодезического купола с утепленным тентом позволяет надежно защитить датчики измерения перемещений и прочее оборудование (гидравлический домкрат, насос, манометр давления и др.) от влияния солнечных лучей и атмосферных воздействий (дождь, снег, ветер и т.д.), эффективно и быстро отогреть грунт возле сваи в зимнее время и продолжать поддерживать положительную температуру воздуха внутри купола на весь период времени испытаний;

- сборно-разборная конструкция на болтовых соединениях геодезического купола дает воз-

можность, с одной стороны, выполнять работы как в сложных грунтовых и стесненных условиях, так и в труднодоступных отдаленных районах с осуществлением всех монтажных и демонтажных операций (при необходимости) ручным способом, с другой стороны — перед транспортировкой компактно складывать и упаковывать все элементы;

- использование натяжных элементов в виде канатов позволяет, с одной стороны, эффективно распределить усилия от гидравлического домкрата по всей конструкции геодезического купола, с другой — увеличивает работу анкеров на выдергивающие усилия не менее чем на 30 % за счет дополнительного бокового прижатия к стенкам скважин со стороны натяжения каната.

Для определения внутренних усилий, возникающих в элементах геокупола при различных этапах нагружения до значения 1500 кН, а также опорных реакций и перемещений верхнего узла проведен статический расчет в ПК STARK ES 2023. Результаты статического расчета сведены в табл. 1.

Расчетная схема, значения растягивающих и сжимающих продольных усилий, значения перемещений и опорных реакций представлены на рис. 4.

С целью обоснования эффективности использования купольной сборно-разборной стальной конструкции для статических испытаний грунтов сваями на строительной площадке в г. Тюмени были проведены испытания с достижением максимального значения нагружения 1500 кН. Для испытания конструк-

**Табл. 1.** Результаты статического расчета геокупола нагружением 1500 кН

**Table 1.** Results of static calculation of geodome with 1,500 kN loading

| Нагрузка, кН | Продольные усилия, кН         |                       | Выгиб, мм | Опорные реакции, кН |
|--------------|-------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------|
|              | в стержнях, растяжение/сжатие | в канатах, растяжение |           |                     |
| 500          | 118/75                        | 48                    | 4,2       | 50                  |
| 700          | 167/106                       | 67                    | 6,0       | 70                  |
| 900          | 214/135                       | 86                    | 7,7       | 90                  |
| 1100         | 261/165                       | 104                   | 9,4       | 110                 |
| 1300         | 309/196                       | 124                   | 11,1      | 130                 |
| 1500         | 357/226                       | 143                   | 12,8      | 150                 |

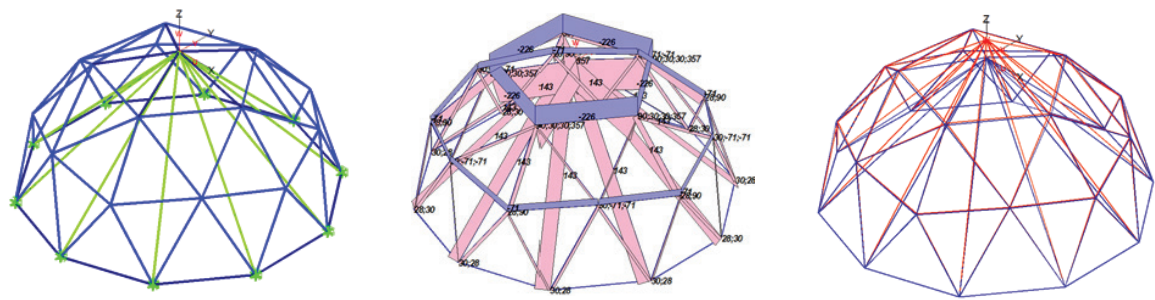


Рис. 4. Расчетная схема, значения растягивающих и сжимающих продольных усилий, значения перемещений и опорных реакций геокупола при нагружении 1500 кН  
Fig. 4. Calculation scheme, values of tensile and compressive longitudinal forces, values of displacements and support reactions of the geodome under loading of 1,500 kN

ции геодезического купола с натяжными элементами и анкерами, расположенными по периметру основания купола, выбрана бурунабивная свая диаметром 400 мм длиной 18 м, упирающаяся нижним концом в песок средней плотности. По результатам испытаний максимальное значение нагрузки на сваю составило 150 тс, максимальное значение осадки 14,59 мм (рис. 5).

Для определения несущей способности анкеров длиной 6 м, собранных из наращиваемых по глубине буровых шнеков длиной 1,5 м с шестигранным замковым соединением Ш55, при их работе на выдергивающие нагрузки выполнены испытания. Физико-механические характеристики грунтового основания приведены в табл. 2.

Схема стенда для испытаний анкеров показана на рис. 6. Основными элементами стенда являются стальная балка составного двутаврового сечения, ан-

керы-стойки, гидравлический домкрат с насосом, реперная система с датчиками измерения перемещений.

По результатам серии статических испытаний анкеров на выдергивающие нагрузки построен график зависимости их выхода из грунта. Максимальное значение несущей способности при работе анкера на выдергивающие нагрузки составило 120 кН. Следует отметить, что в процессе проведения испытаний анкеров на стенде анкера воспринимали только выдергивающее значение нагрузки, в отличие от их работы в составе сборно-разборной стальной купольной конструкции. При работе анкера в составе сборно-разборной стальной купольной конструкции растягивающее усилие от каната распределяется на вертикальную составляющую в виде выдергивающего усилия и горизонтальную составляющую в виде бокового прижатия поверхности анкера к скважине во внутреннюю сторону купола. Таким обра-

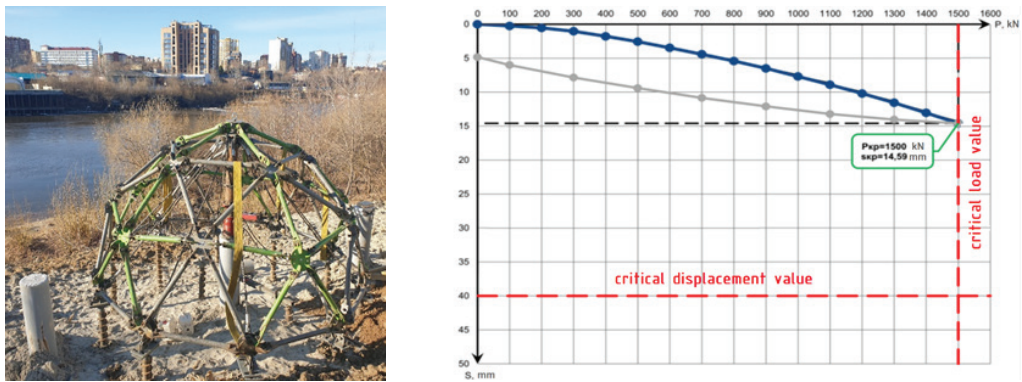


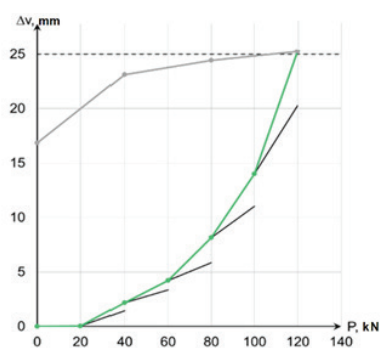
Рис. 5. Фотография статических испытаний и график зависимости осадки от нагрузки для бурунабивной сваи диаметром 400 мм длиной 18 м  
Fig. 5. Photo of static tests and graph of dependence of settlement on load for bored pile with a diameter of 400 mm 18 m long

Табл. 2. Физико-механические характеристики грунтов  
Table 2. Physical and mechanical characteristics of soils

| Номер ИГЭ                          | $h$ , м  | $\gamma_n$ | $e$  | $I_L$ | $E$ , МПа | $\phi_n$ , град | $C_n$ , кПа |
|------------------------------------|----------|------------|------|-------|-----------|-----------------|-------------|
| Суглинок, тугопластичный (ИГЭ 2)   | 0,4–1,5  | 18,7       | 0,81 | 0,42  | 9,0       | 19              | 27          |
| Суглинок, текучепластичный (ИГЭ 3) | 1,5–5,5  | 17,9       | 0,98 | 0,81  | 5,0       | 15              | 18          |
| Глина, полутвердая (ИГЭ 4)         | 5,5–10,0 | 17,8       | 0,95 | 0,22  | 10,0      | 15              | 35          |



*a*



*b*

**Рис. 6.** Результаты испытаний анкеров на выдергивающие нагрузки: *a* — стенд для испытаний анкеров; *b* — график зависимости выхода анкеров от нагрузки

**Fig. 6.** Results of anchors testing for pull-out loads: *a* — anchor test stand; *b* — graph of dependence anchor yield on load

зом, анкер фактически воспринимает выдергивающие нагрузки с одновременным боковым прижатием к боковой поверхности скважины, в результате чего его несущая способность дополнительно увеличивается не менее чем на 30 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам сравнительного анализа российских и зарубежных испытательных стендов для проведения полевых испытаний грунтов выявлен их основной недостаток, связанный с использованием тяжелых элементов в виде грузовой платформы или специальных стальных площадок. В свою очередь, использование данных элементов приводит к увеличению стоимости дополнительных финансовых затрат: расходы на транспорт, монтаж и демонтаж испытательных стендов, складирование, организация подъездных путей для проезда к месту выполнения работ автомобильного крана и т.д. В результате чего дополнительные затраты на организацию испытаний могут достигать до 75 % от всех затрат на выполнение полевых испытаний грунтов в зависимости от удаленности строительной площадки от центральной части городской застройки и ее инфраструктуры. Кроме того, данные дополнительные затраты неизбежно приводят к существенному увеличению сроков выполнения работ по испытаниям.

Разработан новый стенд для испытаний — геокупол с нагружением до 1500 кН, в состав которого входит сборно-разборная на болтовых соединениях конструкция геодезического купола, анкеры из наращиваемых по глубине буровых шнеков и натяжные элементы из канатов со стальным сердечником. Применение в качестве основной упорной конструкции для восприятия реактивного усилия от гидравличе-

ского домкрата купольной сборно-разборной конструкции с натяжными элементами обладает рядом конструктивных преимуществ, выгодно отличающих данное техническое решение от других: позволяет обеспечить пространственную устойчивость нагружающей системы «свая — домкрат — упор», выполнять монтаж и демонтаж конструкции ручным способом в сложных грунтовых условиях (болотистая местность), стесненных условиях (существующее свайное поле), отдаленных регионах строительства, исключение из работы изгибающих усилий и их замены в большей степени на растягивающие усилия дает возможность существенно уменьшить собственный вес конструкции до 1,5 тс, при этом сохранив возможность статического нагружения свай до 1500 кН, равноудаленность анкеров как от центра сваи, так и между соседними анкерами позволяет им эффективно работать на выдергивающие нагрузки.

По результатам статических испытаний грунтов на строительной площадке в г. Тюмени была доказана эффективность использования инновационной технологии — геокупола, позволяющей выполнять испытания грунтов сваями с нагружением до 1500 кН.

По результатам серии статических испытаний анкеров на выдергивающие нагрузки максимальное значение несущей способности анкера составило 120 кН. При работе анкера в составе сборно-разборной стальной купольной конструкции растягивающее усилие от каната распределяется на вертикальную составляющую в виде выдергивающего усилия и горизонтальную составляющую в виде бокового прижатия поверхности анкера к скважине во внутреннюю сторону купола, что позволяет ему более эффективно воспринимать выдергивающие нагрузки, несущая способность дополнительно увеличивается не менее чем на 30 %.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент RU № 2800985 С1. Мобильная установка для проведения статических испытаний грунтов сваями / Самохвалов М.А.; заявл. № 2022125432 от 28.09.2022; опубл. 01.10.2023. Бюл. № 22. 9 с.
2. Samokhvalov M., Demin V., Matyukov A., Paronko A. Mobile unit for static testing of soils with piles and stamps // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 363. Pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/202236302009
3. Boldyrev G. Integrated Technology Geological Surveys // Advances in Transportation Geotechnics IV. 2022. Vol. 3. Pp. 691–697. DOI: 10.1007/978-3-030-77238-3\_52
4. Савинов А.В., Фролов В.Э., Бровиков Ю.Н., Кожинский М.П. Экспериментальные исследования несущей способности свай Fundex после длительного «отдыха» в глинистых грунтах статическими вдавливающими и выдергивающими нагрузками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 4. С. 13–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.02
5. Каширский В.И., Дмитриев С.В. Современное состояние и перспективы испытаний грунтов штампами // Инженерные изыскания. 2019. Т. 13. № 1. С. 6–17.
6. Zhussupbekov A., Mangushev R., Omarov A. Geotechnical Piling Construction and Testing on Problematical Soil Ground of Kazakhstan and Russia // Modern Applications of Geotechnical Engineering and Construction. 2020. Pp. 89–107. DOI: 10.1007/978-981-15-9399-4\_9. EDN YJMNM.
7. Омаров А.М., Овчинников И.И. Опыт применения технологичных методов полевых испытаний грунтов сваями // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3.
8. Тулебекова А.С., Жусупбеков А.Ж., Ашкей Е., Аимбетова Т.С. Особенности проведения статических испытаний грунтов сваями по требованиям ASTM стандарта // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 3–1 (47). С. 172–176.
9. Тер-Мартirosян З.Г., Филиппов К.А. Решение задачи осадки сваи под действием вертикальной статической нагрузки с учетом пластических свойств грунтов основания // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 7. С. 871–881. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.871-881
10. Тер-Мартirosян З.Г., Акулецкий А.С. Взаимодействие сваи большой длины с окружающим многослойным и подстилающим грунтами // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 2. С. 168–175. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.168-175
11. Шейнин В.И., Дзагов А.М. Использование логнормального распределения при обработке результатов испытаний грунтов сваями // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2021. Т. 58. № 3. С. 185–189.
12. Al-Suhaily A.S., Abood A.S., Fattah M. Bearing capacity of uplift piles with end gates // Proceedings of China — Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering (SSGG). 2018. Vol. 2. Pp. 893–897. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5\_3
13. Badelow F., Poulos H.G. Geotechnical foundation design for some of the world's tallest buildings // 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability. 2015. Pp. 96–108. DOI: 10.3208/jgssp.ESD-KL-2
14. Basu P., Prezzi M. Design and Applications of Drilled Displacement (Screw) Piles // Final Report, Joint Transportation Research Programmeme. Project No: C-36-45U. File №: 6-18-19. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2009. Pp. 12–13. DOI: 10.5703/1288284314278
15. Valikhah F., Eslami A., Veiskarami M. CPT-Based Approach to Study the Load-Displacement Behaviour of Driven Piles by the New Method of Stress Characteristics // Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering: Springer International Publishing. 2018. Vol. 2. Pp. 1036–1040. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5\_33
16. Fellenius B.H., Terceros H.M., Massarsch K.R. Bolivian experimental site for testing // Proceedings 3rd International Conference on Deep Foundations. Santa Cruz, 2017.
17. Russo G. Analysis and design of pile foundations under vertical load : an overview // Rivista Italiana di Geotecnica. 2018. Vol. 52. Issue 2. Pp. 52–71. DOI: 10.19199/2018.2.0557-1405.52
18. Chatterjee K. Influence of soil type on load carrying capacity of single piles // Arabian Journal of Geosciences. 2022. Vol. 15. Issue 7. DOI: 10.1007/s12517-022-09846-1
19. Sudhi D., Biswas S., Manna B. Development of design charts to predict the dynamic response of pile supported machine foundations // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2024. Vol. 18. Pp. 663–679. DOI: 10.1007/s11709-024-1024-z
20. Ye Z., Yong A.Z. Vertical dynamic response of a pile embedded in layered transversely isotropic unsaturated soils // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2022. Vol. 148. Issue 1. P. 04021169. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002714
21. Mishra A., Venkatesh K., Karumanchi S.R. 3D Numerical Analysis of Single Pile and Pile–Raft Subjected to Vertical Loading // Indian Geotechnical Journal. 2023. Vol. 53. Pp. 686–697. DOI: 10.1007/s40098-022-00707-y
22. Yousheng D., Kegin Z., Zhigang Y., Huiling Z., Wenjie L. Study of the Horizontal Load-Bearing Characteristics of Coupling Beam Pile Structures // Indian

Geotechnical Journal. 2023. Vol. 53. Pp. 1250–126. DOI: 10.1007/s40098-023-00744-1

23. Phung L.D. FEM Simulation of Single Pile Load Tests // Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 395. Pp. 69–77. DOI: 10.1007/978-981-99-9722-0\_3

24. Li Q., Prendergast L.J., Askarinejad A., Gavin K. Influence of vertical loading on behaviour of laterally

loaded foundation piles : a review // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. Issue 12. P. 1029. DOI: 10.3390/jmse8121029

25. Lu W., Zhang G. Influence mechanism of vertical-horizontal combined loads on the response of a single pile in sand // Soils and Foundations. 2018. Vol. 58. Issue 5. Pp. 1228–1239. DOI: 10.1016/j.sandf.2018.07.002

Поступила в редакцию 28 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 20 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 25 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Михаил Александрович Самохвалов — кандидат технических наук, доцент, директор; Научно-производственная компания «ГЕОТЕХНИКА 72» (НПК «ГЕОТЕХНИКА 72»); г. Тюмень, ул. Ямская, д. 77; info@gt72.ru;

Лариса Викторовна Гейдт — старший преподаватель кафедры строительного производства; Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; gejdtlv@tyuiu.ru;

Лариса Рафаиловна Епифанцева — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций; Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; epifantsevalr@tyuiu.ru;

Юлия Владимировна Наумкина — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций; Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; naumkinajv@tyuiu.ru.

Вклад авторов:

Самохвалов М.А. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

Гейдт Л.В. — сбор и обработка материала.

Епифанцева Л.Р. — обработка материала, доработка текста, подбор литературы.

Наумкина Ю.В. — обработка материала, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## REFERENCES

1. Patent RU No. 2800985 C1. *Mobile unit for static testing of soils by piles* / Samokhvalov M.A.; declared. No. 2022125432 09/28/2022; publ. 10/01/2023. Bulletin No. 22; 9.

2. Samokhvalov M., Demin V., Matyukov A., Paronko A. Mobile unit for static testing of soils with piles and stamps. *E3S Web of Conferences*. 2023; 363:1-8. DOI: 10.1051/e3sconf/202236302009

3. Boldyrev G. Integrated Technology Geological Surveys. *Advances in Transportation Geotechnics IV*. 2022; 3:691-697. DOI: 10.1007/978-3-030-77238-3\_52

4. Savinov A.V., Frolov V.E., Brovikov Y.N., Kozhinskiy M.P. Experimental tests of a bearing capacity of “Fundex” piles after the long “relaxation” in clay soils the dead pressing and pulling-out loads. *Construction and Geotechnics*. 2019; 10(4):13-29. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.02 (rus.).

5. Kashirskiy V.I., Dmitriev S.V. Modern state and perspectives of soil testing by stamps. *Engineering Research*. 2019; 13(1):6-17. (rus.).

6. Zhussupbekov A., Mangushev R., Omarov A. Geotechnical Piling Construction and Testing on Problematical Soil Ground of Kazakhstan and Russia. *Modern Applications of Geotechnical Engineering and Construc-*

*tion*. 2020; 89-107. DOI: 10.1007/978-981-15-9399-4\_9. EDN YJMNM.

7. Omarov A.M., Ovchinnikov I.I. Experience in the application of technological methods of field testing of soils with piles. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(3). (rus.).

8. Tulebekova A.S., Zhussupbekov A.Zh., Ashkei E., Aimbetova T.S. Features of static tests of soils by piles according to ASTM standard requirements. *Topical Scientific Research in the Modern World*. 2019; 3-1(47):172-176. (rus.).

9. Ter-Martirosyan Z.G., Filippov K.A. A solution to the problem of pile settlement caused by vertical static loading with consideration to plastic properties of the foundation soil. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):871-881. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.871-881 (rus.).

10. Ter-Martirosyan Z.G., Akuletskii A.S. Interaction between a long pile and multi-layer underlying soils. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(2):168-175. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.168175 (rus.).

11. Sheinin V.I., Dzagov A.M. Use of lognormal distribution for processing the results of soil testing by

piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2021; 58(3):185-189. (rus.).

12. Al-Suhaily A.S., Abood A.S., Fattah M. Bearing capacity of uplift piles with end gates. *Proceedings of China — Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering (SSGG)*. 2018; 2:893-897. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5\_3

13. Badelow F., Poulos H.G. Geotechnical foundation design for some of the world's tallest buildings. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability*. 2015; 96-108. DOI: 10.3208/jgssp.ESD-KL-2

14. Basu P., Prezzi M. Design and Applications of Drilled Displacement (Screw) Piles. *Final Report, Joint Transportation Research Programmeme. Project No: C-36-45U. File №: 6-18-19*. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2009; 12-13. DOI: 10.5703/1288284314278

15. Valikhah F., Eslami A., Veiskarami M. CPT-Based Approach to Study the Load-Displacement Behaviour of Driven Piles by the New Method of Stress Characteristics. *Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering: Springer International Publishing*. 2018; 2:1036-1040. DOI: 10.1007/978-3-319-97115-5\_33

16. Fellenius B.H., Terceros H.M., Massarsch K.R. Bolivian experimental site for testing. *Proceedings 3rd International Conference on Deep Foundations*. Santa Cruz, 2017.

17. Russo G. Analysis and design of pile foundations under vertical load : an overview. *Rivista Italiana di Geotecnica*. 2018; 52(2):52-71. DOI: 10.19199/2018.2.0557-1405.52

18. Chatterjee K. Influence of soil type on load carrying capacity of single piles. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022; 15(7). DOI: 10.1007/s12517-022-09846-1

19. Sudhi D., Biswas S., Manna B. Development of design charts to predict the dynamic response of pile supported machine foundations. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2024; 18:663-679. DOI: 10.1007/s11709-024-1024-z

20. Ye Z., Yong A.Z. Vertical dynamic response of a pile embedded in layered transversely isotropic unsaturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2022; 148(1):04021169. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002714

21. Mishra A., Venkatesh K., Karumanchi S.R. 3D Numerical Analysis of Single Pile and Pile–Raft Subjected to Vertical Loading. *Indian Geotechnical Journal*. 2023; 53:686-697. DOI: 10.1007/s40098-022-00707-y

22. Yousheng D., Keqin Z., Zhigang Y., Huiling Z., Wenjie L. Study of the Horizontal Load-Bearing Characteristics of Coupling Beam Pile Structures. *Indian Geotechnical Journal*. 2023; 53:1250-126. DOI: 10.1007/s40098-023-00744-1

23. Phung L.D. FEM Simulation of Single Pile Load Tests. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023; 395:69-77. DOI: 10.1007/978-981-99-9722-0\_3

24. Li Q., Prendergast L.J., Askarinejad A., Gavin K. Influence of vertical loading on behaviour of laterally loaded foundation piles : a review. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020; 8(12):1029. DOI: 10.3390/jmse8121029

25. Lu W., Zhang G. Influence mechanism of vertical-horizontal combined loads on the response of a single pile in sand. *Soils and Foundations*. 2018; 58(5):1228-1239. DOI: 10.1016/j.sandf.2018.07.002

Received August 28, 2024.

Adopted in revised form on September 20, 2024.

Approved for publication on September 25, 2024.

**B I O N O T E S:** **Mikhail A. Samokhvalov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director; **Scientific and production company “GEOTECHNIKA 72”**; 77 Yamskaya st., Tyumen, Russian Federation; info@gt72.ru;

**Larisa V. Geidt** — Senior Lecturer of the Department of Construction Production; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, Russian Federation; gejdtlv@tyuiu.ru;

**Larisa R. Epifantseva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, Russian Federation; epifantsevalr@tyuiu.ru;

**Yuliya V. Naumkina** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, Russian Federation; naumkinajv@tyuiu.ru.

*Contribution of the authors:*

*Mikhail A. Samokhvalov — scientific guidance, research concept, development of methodology, writing the source text, final conclusions.*

*Larisa V. Geidt — material collection, material processing.*

*Larisa R. Epifantseva — material processing, text finalization, selection of literature.*

*Yuliya V. Naumkina — material processing, scientific editing of the text.*

*The authors declare that they have no conflict of interest.*