

М. Б. Мариничев<sup>1</sup>, И. Г. Ткачѳв<sup>1</sup>, В. П. Ермаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ АНКЕРОВ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Аннотация. На протяжении всей своей истории существования на Земле живые организмы и растения постоянно адаптируются к изменяющимся внешним условиям и климатическим воздействиям. Результатом такой тысячелетней адаптации растений стала наиболее рациональная для функционирования форма стебля, корня и т. д.

С давних пор инженеры стремятся заимствовать у объектов живой природы формы основных структурных элементов для достижения наибольшей эффективности расхода материала, а также для одновременного достижения высокой прочности и надежности конструкций и фундаментов. Однако зачастую приближение к природной форме ограничено существующими технологиями и/или действующими нормативными требованиями. Однако очевидные преимущества такого «естественного» подхода в решении задач фундаментостроения заставляют совершенствовать существующие технологии и разрабатывать соответствующие методы расчета.

Свайный фундамент является первым приближением корневидной структуры дерева, где сваи, подобно корням, работают на выдергивание, сжатие и горизонтальные нагрузки. Однако выполненные в грунте массивные буровые сваи не могут с высокой точностью повторять пространственную форму корневой структуры, в связи с чем требуется значительный расход материала на изготовление свайного фундамента. Стержневые металлические элементы в большинстве случаев используемые в качестве грунтовых анкеров в геотехническом строительстве, обладают таким сочетанием технических характеристик, которые делают этот элемент очень перспективным для формирования фундаментов с различной пространственной конфигурацией элементов, наилучшим образом адаптированных под все возможные внешние воздействия.

Многообразие сочетаний форм, которые могут быть достигнуты за счет применения анкеров, очень велико. Более детальное изучение несущей способности таких форм является актуальной и востребованной задачей.

**Ключевые слова:** грунтовый анкер, свайный фундамент, корневая структура, фундамент, буровые сваи, сваи, несущая способность, фундаментостроение, выдергивание, сжатие, горизонтальная нагрузка.

**M. B. Marinichev<sup>1</sup>, I. G. Tkachev<sup>1</sup>, V. P. Ermakov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin», Krasnodar, Russia

## **THEORETICAL, EXPERIMENTAL AND PRACTICAL APPROXIMATION OF APPLICATION OF RODIC ANCHORS AS ELEMENT OF SQUARE FUNDAMENT FOR CONSTRUCTION OF RESPONSIBLE STRUCTURES IN COMPLEX SOIL CONDITIONS**

Abstract. Throughout its history of existence on Earth, living organisms and plants are gradually adapting to changing external conditions and climatic influences. The result of such a thousand-year adaptation for plants is the most rational form for the functioning of the stem, root, etc.

For a long time, engineers have been striving to borrow from the objects of living nature the shape of the basic structural elements to achieve the greatest efficiency of material consumption, as well as to simultaneously achieve high strength and reliability of structures and foundations. However, often the approach to natural form is limited by existing technologies and / or current regulatory restrictions. However, the obvious advantages of such a «natural» approach in solving problems of foundation engineering make it necessary to improve existing technologies and develop appropriate methods of calculation.

The pile foundation is the first approach of the root-like structure of the tree, where piles, like roots, work on pulling, squeezing and horizontal loads. However, the massive drilling piles made in the ground can not with great accuracy repeat the spatial form of the root structure, in connection with which a considerable expenditure of material is required for the production of the pile foundation. Rod metal elements in most cases used as soil anchors in geotechnical construction have such a combination of technical characteristics that makes this element very promising for the formation of foundations with different spatial configuration of elements that are best adapted to all possible external influences.

The variety of combinations of shapes that can be achieved through the use of anchors is very great. A more detailed study of the load-bearing capacity of such forms is an urgent and demanded task.

**Keywords:** ground anchor, pile foundation, root structure, foundation, drilling piles, piles, bearing capacity, foundation engineering, pulling, compression, horizontal load.

Для разработки технических решений современных высотных зданий и сооружений зачастую обращаются за помощью к природе. Например, строительство фундаментов использует аналогии с корневой системой дерева, которая состоит из больших и малых корней. У деревьев мы учимся строить в грунте, экономно обращаться с ним, улучшать грунт и армировать его. К этим новым идеям в технологии оснований сооружений д-р F. Lizzi пришел уже в 1952 г. и назвал свои грунтовые анкера (рисунок 1) «корневыми сваями» (Pali Radic)

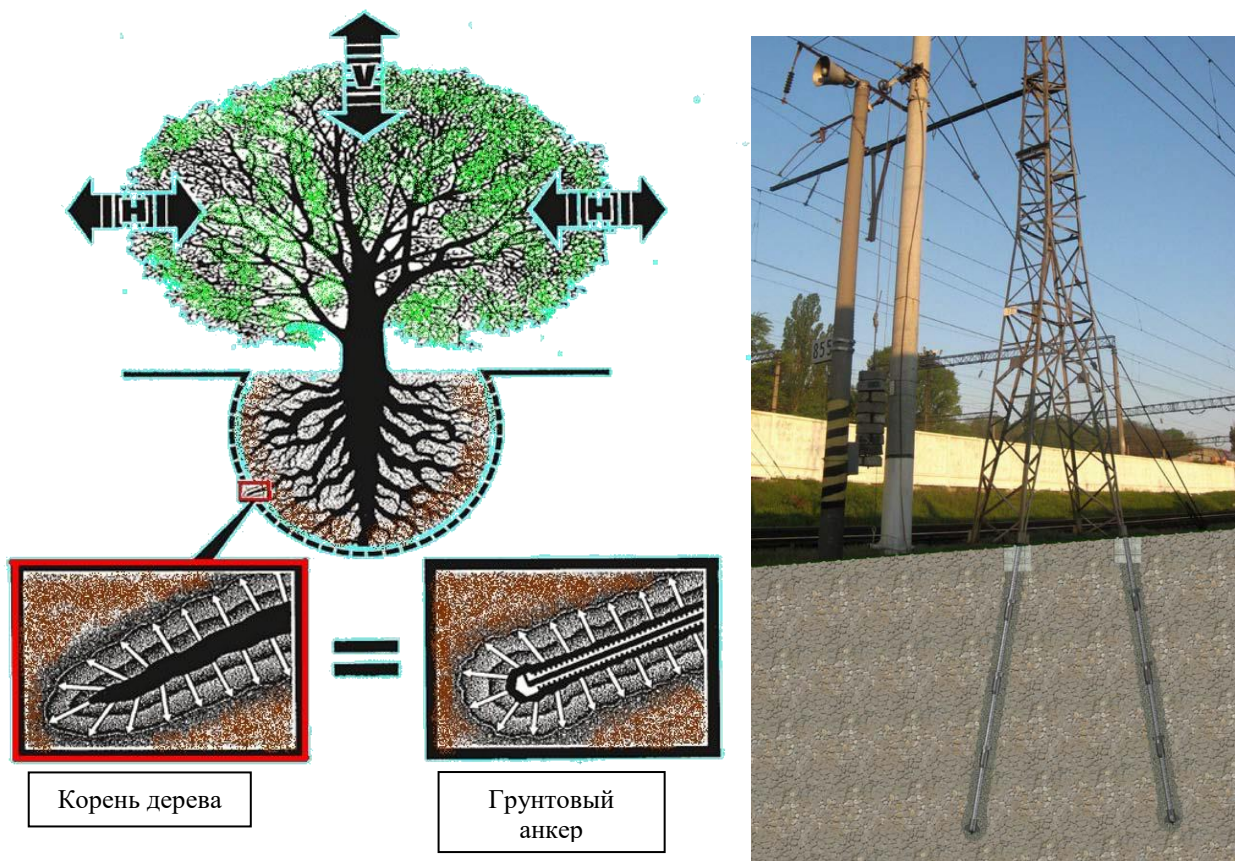


Рисунок 1 – Сопоставительная картина взаимодействия с грунтом корней дерева и грунтовых анкеров  
Figure 1 – A comparative picture of the interaction with the soil of the roots of a tree and soil anchors

Анкер в грунте – элемент, служащий для передачи выдергивающих усилий от строительных конструкций в грунтовый массив. Грунтовые анкеры применяют в промышленном, гражданском, транспортном и гидротехническом строительстве. Их используют для возведения причальных сооружений, закрепления ограждений котлованов, стен подземных сооружений, опускных колодцев, откосов и склонов, фундаментов дымовых труб, мачт и башен и т. д. Широкое использование грунтовых анкеров объясняется исключительно положительным эффектом их применения.

Анкера, работающие на вдавливающие нагрузки, редко применяются в строительстве, однако, имеют огромный потенциал применения для устройства самостоятельных фундаментов из элементов, работающих на вертикальные сжимающие нагрузки, где использование классических свай нецелесообразно или невозможно.

В настоящее время широко используется разновидность буроинъекционных анкеров – самозабуриваемые винтовые анкеры. Главной особенностью данных анкеров является их устройство путем забуривания в грунт трубчатых штанг, оснащенных буровой коронкой, с одновременной и последующей инъекцией цементных растворов различной консистенции,

Тяга анкеров, представленная на рисунке 2, включают следующие конструктивные элементы, трубчатые винтовые штанги, соединительные муфты, теряемую буровую коронку, фиксирующую шаровую гайку и сферическую шайбу. Равномерность покрытия штанг тяги обеспечивается установкой центрирующих распорок, которые соответствуют диаметру буровой коронки.

Полые трубчатые винтовые штанги, являющиеся основным конструктивным элементом, служат:

- 1) буровым инструментом при забуривании в грунт;
- 2) тягой, передающей выдерживающее усилие от оголовка на заделку и далее в грунт;
- 3) армирующим элементом, воспринимающим действие вдавливающей нагрузки и изгиба;
- 4) иньектором для подачи бурового и впрессовывающего цементного растворов в грунт.

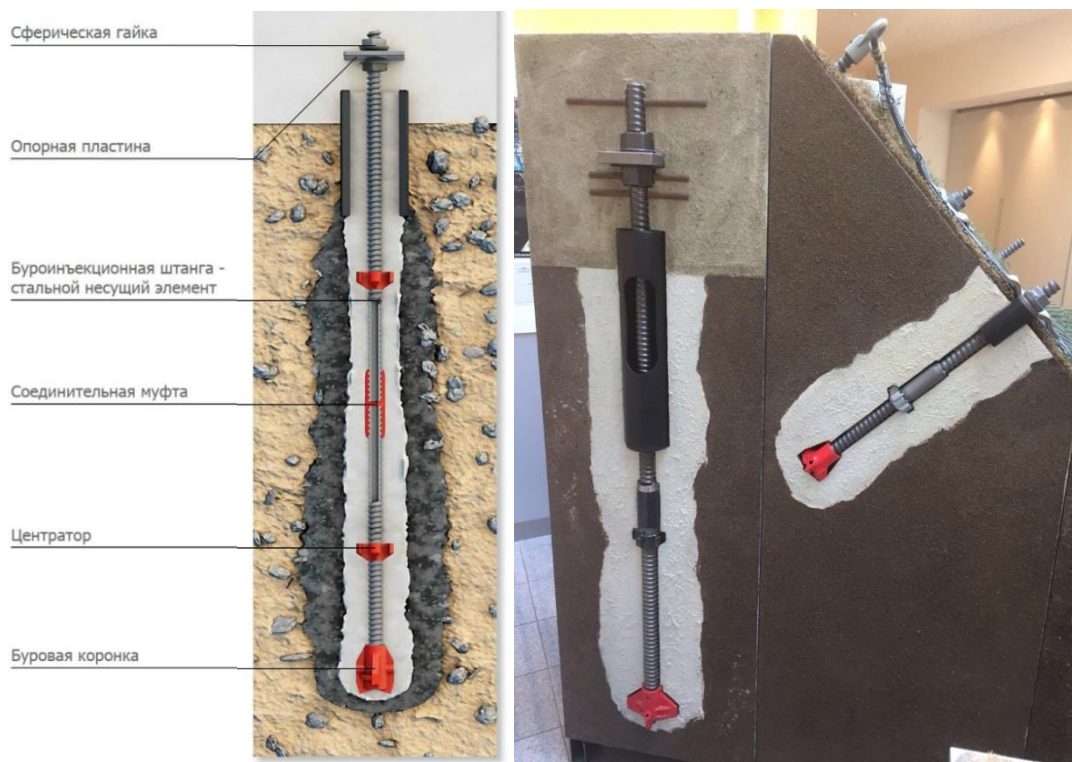


Рисунок 2 – Общий вид буроинъекционного винтового анкера  
Figure 2 – General view of drilling-injection screw anchor

Сущность технологии заключается в том, что в грунт горизонтально, вертикально или под наклоном забуривается ребристая и полая внутри стальная штанга с буровой головкой на конце. Одновременно с забуриванием с помощью специальной смесительно-насосной станции под большим давлением подается водоцементная суспензия. Выходя из отверстия в буровой головке, она промывает скважину и глубоко проникает в грунт, образуя заделку анкера. По достижении проектной отметки суспензию делают более густой и увеличивают давление подачи.

В настоящее время в нормативной литературе, входящей в перечень документов к ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», отсутствует методика расчетов грунтовых анкеров на сжимающие нагрузки. В данных нормативных документах: СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» и СП 45.13330.2011 «Земляные сооружения, основания и фундаменты», приводятся только общие положения по устройству анкеров, проведению испытаний по определению несущей способности.

В СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», приводится формула несущей способности буровой и набивной сваи, работающей на выдергивание:

$$F_{du} = \gamma_c \cdot u \cdot \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i,$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работ сваи в грунте,  $u$  – периметр поперечного сечения ствола сваи;  $\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, зависящий от способа образования скважины и условий бетонирования и принимаемый по таблице;  $f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, кПа, принимаемое по таблице;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

Выбор анкеров и расчет системы «анкер – ограждающая конструкция» ведется по другим литературным источникам, в которых отражены данные вопросы [1, 2, 3, 4]:

Расчет грунтовых анкеров и системы «анкер – удерживаемое сооружение» в целом ведется только по первому предельному состоянию. При проектировании анкерного закрепления проводят:

1. Проверку общей устойчивости сооружения на сдвиг при скольжении по круглоцилиндрическим поверхностям с учетом расположения анкеров в массиве грунтов.

2. Определение длины зоны заделки и площади поперечного сечения, исходя из приложенной нагрузки, несущей способности грунта основания и материала тяги.

Оптимальное положение анкера в грунте, т.е. угол наклона и полную его длину, в которую входит длина свободной части анкера  $l_f$  и длина корня анкера  $l_b$ , подбирают при расчете общей устойчивости системы «анкер – удерживаемое сооружение» на опрокидывание вокруг низа анкеруемого сооружения, полагая, что прочность грунтов на сдвиг преодолена и образуется «глубокая линия скольжения» – метод Кранца.

За «глубокую линию скольжения» принимают прямую между точкой поворота анкеруемой стенки и точкой  $s$ , расположенной в середине длины заделки анкера. Используя условие равновесия, определяют горизонтальную проекцию несущей способности анкера  $F_b$ , которая приводит заштрихованную призму в состояние предельной устойчивости.

В зависимости от расположения анкера и количества ярусов, «глубокая линия скольжения» может иметь различное очертание.

В свою очередь, после определения нагрузки на анкер необходимо рассчитать предельное усилие на анкер, которое не превышает прочность по материалу тяги и несущую способность заделки в грунте.

Для численного моделирования и оценки работы на сжатие и горизонтальные нагрузки были выбраны программные комплексы PLAXIS и MIDAS GTS NX.

Для всех случаев приняты одинаковые грунты и одинаковая длина анкера  $l_a = 7$  м. При вертикальной нагрузке использовалась 20 тс, а при горизонтальной – 2 тс.

Для подтверждения расчетов были проведены натурные испытания грунтовых анкеров в сложных геологических условиях на участках действия откосных процессов статической выдергивающей и горизонтальной нагрузками.

Контрольные испытания на выдергивающую и горизонтальную нагрузку производятся для проверки соответствия несущей способности анкеров по грунту расчетным нагрузкам.

При проведении полевых испытаний грунтовых анкеров статической выдергивающей нагрузкой использовался проходной гидравлический домкрат грузоподъемностью 55 т. Для уменьшения сроков проведения испытаний возможно использование параллельно двух и более гидравлических домкратов. Давление на домкрате создается при помощи электрической

или ручной гидравлической насосной станции. Величина нагрузки контролируется по манометру с ценой деления 10 атм.

Горизонтальная нагрузка при испытании анкера создавалась при помощи одного гидравлического домкрата грузоподъемностью 55 т. Упором для домкрата служила металлическая балка, опирающаяся на два соседних анкера. Давление на домкрате фиксировалось по манометру с ценой деления 10 атм.

Измерение величины вертикального и горизонтального перемещения сваи от нагрузки производилось двумя прогибомерами ПАО-6 с точностью отсчета 0,01 мм. Прогибомеры неподвижно прикреплялись к реперной системе, установленной на свае. На каждой ступени загрузки анкера отсчеты по прогибомерам снимались в следующей последовательности: нулевой отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем последовательно в течение первого часа через каждые 15 мин и далее через 30 мин до затухания перемещения сваи.

За условную стабилизацию при статической выдергивающей нагрузке принималась скорость выхода анкера из грунта не более 0,1 мм за последний час измерений на ступени нагрузки.

За условную стабилизацию при статической горизонтальной нагрузке принималась скорость перемещения оголовка анкера в грунте не более 0,1 мм за последние два часа измерений на ступени нагрузки.

Разгрузка испытываемого анкера производилась после достижения максимальной нагрузки, ступенями равными двойным ступеням нагружения.

По полученным результатам теоретического расчета в программных комплексах и при натуральных испытаниях были получены данные о смещении грунтовых анкеров при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.

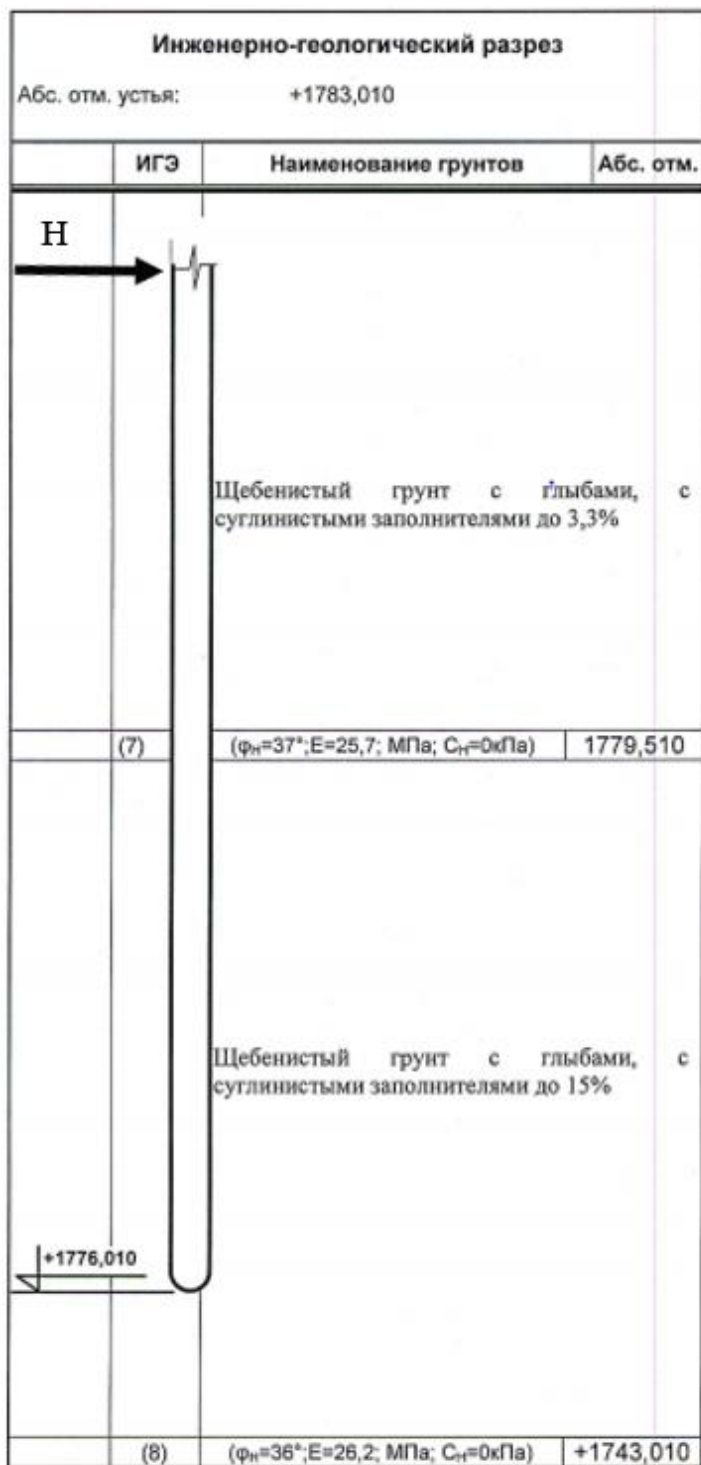
Вертикальная выдергивающая нагрузка в данной работе не рассматривается, так как работа анкера на такие воздействия хорошо изучена. Однако горизонтальные и вдавливающие вертикальные нагрузки будут рассмотрены более детально. По полученным результатам расчета анкера в программных комплексах и данным, полученных при натуральных испытаниях можно сделать вывод и представить изменение перемещений в табличном виде, а также показать графики зависимости перемещений от нагрузки.

Общие данные грунтового анкера длиной 7 м, диаметром бетонного теста 200 мм представлены на рисунке 4 и 6.

На рисунке 3 представлен вид на стенд для испытания грунтовых анкеров на различные виды нагрузок.



Рисунок 3 – Общий вид испытательной установки (а) и этап передачи вертикальной нагрузки на испытываемую сваю (б)  
Figure 3 – General view of the test installation (a) and phase of transfer of vertical load to the pile under test (b)



### ДАННЫЕ О ГРУНТОВОМ АНКЕРЕ №15 (опора №МП-26)

1. Тип:
2. Диаметр:  $\varnothing 200 \text{ мм}$
3. Абс. отм. острия анкера: +1776,010м
4. Длина анкера: 7 м
5. Угол наклона к вертикали: 0 град.
6. Дата изготовления: 05.10.14 г.
7. Начало испытания: 21.11.14 г.
8. Окончание испытания: 21.11.14 г.
9. Геологический разрез площадки:  
на основании отчета об инженерно-геологических изысканиях ООО «Гео-Инжиниринг»
10. Максимальная нагрузка при испытании: 2 тс
11. Дефекты, обнаруженные перед началом испытаний: не обнаружено

Рисунок 4 – Общие данные грунтового анкера при горизонтальной нагрузке 2 т  
Figure 4 – General data of ground anchor with horizontal load 2 ton

Рассмотрим полученные значения перемещений анкеров в табличном виде (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость перемещений грунтового анкера от горизонтальной нагрузки  
Table 1 – Dependence of ground anchor movements on horizontal load

| Нагрузки, т | Midas GTS NX<br>Перемещения, мм | PLAXIS<br>Перемещения, мм | Натурные испытания<br>Перемещения, мм |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 0           | 0                               | 0,23                      | 0                                     |
| 0,5         | 0,42                            | 1,21                      | -                                     |
| 0,8         | -                               | -                         | 0,19                                  |
| 1           | 1,1                             | 2,42                      | 0,37                                  |
| 1,5         | 2,1                             | 3,88                      | -                                     |
| 1,6         | -                               | -                         | 1,3                                   |
| 2           | 3,5                             | 6,39                      | 2,42                                  |
| 1,6         | -                               | -                         | 2,42                                  |
| 1,5         | 3,15                            | 5,93                      | -                                     |
| 1,2         | -                               | -                         | 2,09                                  |
| 1           | 2,55                            | 5,29                      | -                                     |
| 0,8         | -                               | -                         | 1,66                                  |
| 0,5         | 1,98                            | 4,32                      | -                                     |
| 0,4         | -                               | -                         | 1,22                                  |
| 0           | 1,2                             | 3,39                      | 0,71                                  |

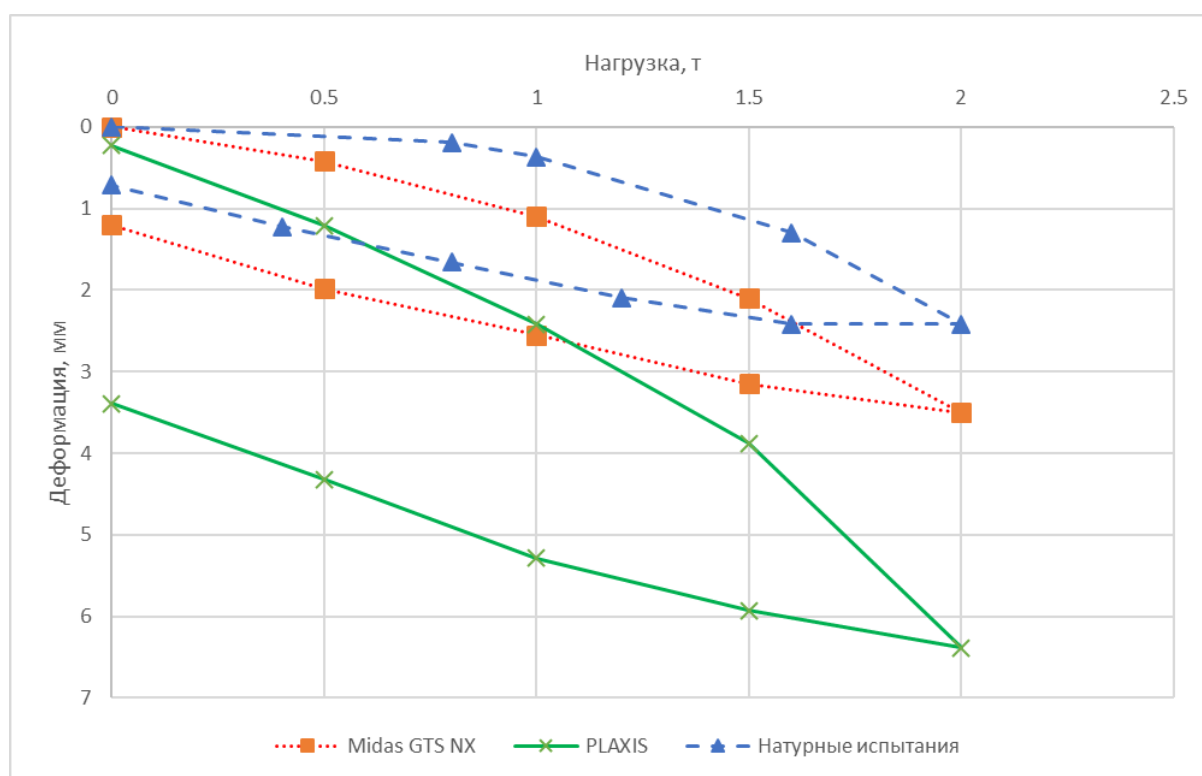


Рисунок 5 – Зависимость перемещений грунтового анкера от горизонтальной нагрузки  
Figure 5 – Dependence of ground anchor movements on horizontal load

| Инженерно-геологический разрез |  |   |           |
|--------------------------------|--|---|-----------|
| Абс. отм. устья:               |  | +1783,010   |           |
| ИГЭ                            | Наименование грунтов   | Абс. отм.   |           |
|                                | Щебенистый грунт с глыбами, суглинистыми заполнителями до 3,3% | с   |           |
|                                | (7)  | ( $\varphi_H=37^\circ; E=25,7; \text{МПа}; C_H=0\text{кПа}$ ) | 1779,510  |
|                                | Щебенистый грунт с глыбами, суглинистыми заполнителями до 15%  | с   |           |
|                                | (8)  | ( $\varphi_H=36^\circ; E=26,2; \text{МПа}; C_H=0\text{кПа}$ ) | +1743,010 |

### ДАННЫЕ О ГРУНТОВОМ АНКЕРЕ №15 (опора №МП-26)

1. Тип:
2. Диаметр:  $\varnothing 200 \text{ мм}$
3. Абс. отм. острия анкера: +1776,010м
4. Длина анкера: 7 м
5. Угол наклона к вертикали: 0 град.
6. Дата изготовления: 05.10.14 г.
7. Начало испытания: 22.11.14 г.
8. Окончание испытания: 22.11.14 г.
9. Геологический разрез площадки:  
на основании отчета об инженерно-геологических изысканиях ООО «Гео-Инжиниринг»
10. Максимальная нагрузка при испытании: 20 тс
11. Дефекты, обнаруженные перед началом испытаний:  
не обнаружено
- Буровая установка:
12. HUTTE «HBR-605»

Рисунок 6 – Общие данные грунтового анкера при вдавливающей нагрузке 20 т  
Figure 6 – General data of the ground anchor with an indenting load of 20 tons



Рассмотрим полученные значения перемещений анкеров в табличном виде (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость перемещений грунтового анкера от вертикальной нагрузки  
Table 2 – Dependence of ground anchor movements on vertical load

| Нагрузки, т | Midas GTS NX<br>Перемещения, мм | PLAXIS<br>Перемещения, мм | Натурные испытания<br>Перемещения, мм |
|-------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 0           | 0                               | 0                         | 0                                     |
| 2           | –                               | –                         | 0,16                                  |
| 4           | –                               | –                         | 0,37                                  |
| 5           | 0,74                            | 1,04                      | –                                     |
| 6           | –                               | –                         | 0,8                                   |
| 8           | –                               | –                         | 1,36                                  |
| 10          | 2,17                            | 2,48                      | 2,03                                  |
| 12          | –                               | –                         | 2,74                                  |
| 14          | –                               | –                         | 3,55                                  |
| 15          | 4,01                            | 4,47                      | –                                     |
| 16          | –                               | –                         | 4,48                                  |
| 18          | –                               | –                         | 5,47                                  |
| 20          | 6,93                            | 7,11                      | 6,81                                  |
| 16          | –                               | –                         | 6,19                                  |
| 15          | 6,59                            | 6,71                      | –                                     |
| 12          | –                               | –                         | 5,38                                  |
| 10          | 5,52                            | 6,05                      | –                                     |
| 8           | –                               | –                         | 4,07                                  |
| 5           | 4,01                            | 4,39                      | –                                     |
| 4           | –                               | –                         | 2,76                                  |
| 0           | 1,8                             | 2,185                     | 1,06                                  |

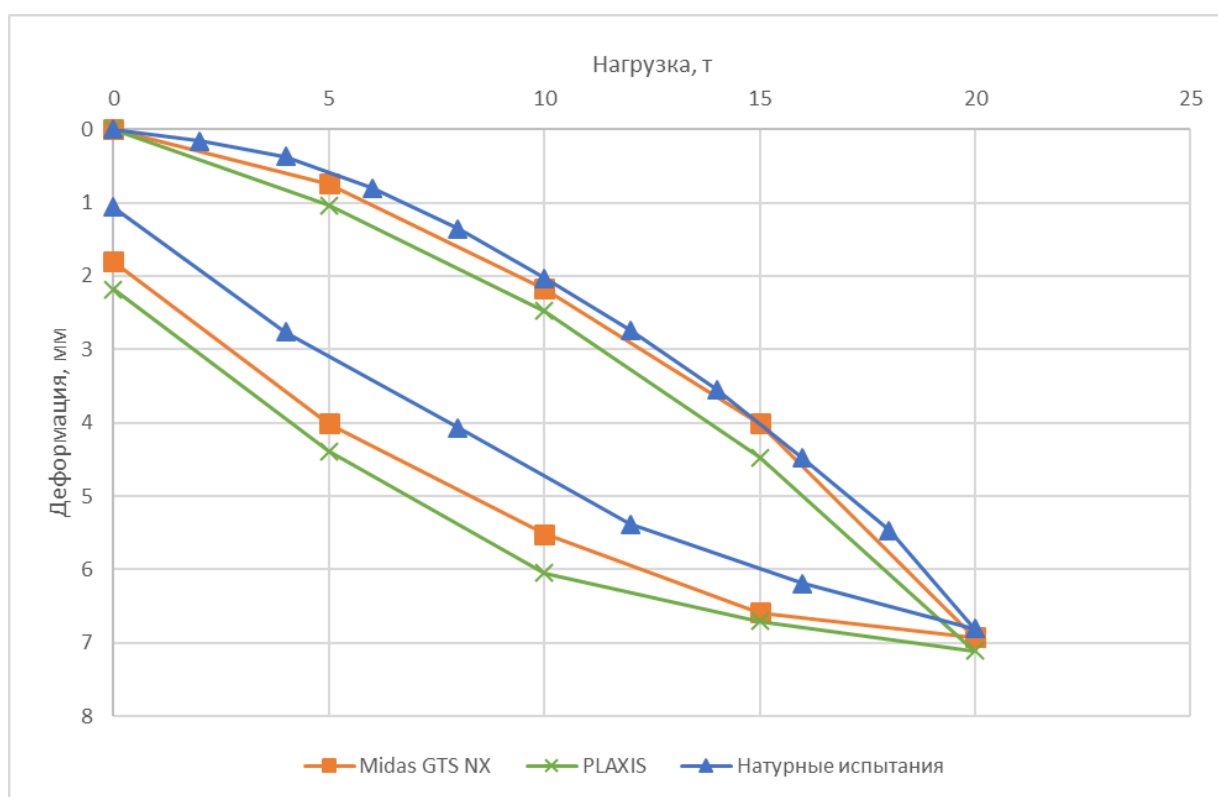


Рисунок 7 – Зависимость перемещений грунтового анкера от вертикальной нагрузки  
Figure 7 – Dependence of ground anchor movements on vertical load

Таким образом, грунтовые анкера, ранее учитываемые в проектах только для восприятия выдергивающих усилий, могут выступать в качестве свайного фундамента при условии кор-

ректного обоснования работы анкера, как элемента, воспринимающего сжимающую и горизонтальную нагрузки. Такой подход дает целый ряд преимуществ в геотехническом строительстве, а именно, возможность устройства фундаментов, состоящих из анкерных свай, выполняемых на крутых склонах и участках с повышенной оползневой активностью, а также при усилении существующих фундаментов зданий и сооружений, опор мостов, дымовых труб и т.п.

Преимущество грунтовых анкеров, используемых в качестве элементов свайного фундамента, заключается в возможности их выполнения в составе одной группы, но с различной ориентацией в грунтовом массиве (вертикальном и наклонном направлении). Такая схема выполненных анкеров может быть адаптирована под любое расчетное сочетание усилий с минимальной материалоемкостью конструкции фундамента.

Грунтовые буроинъекционные анкера, работающие на сжатие в качестве самостоятельных фундаментов, обладают следующими преимуществами:

- устранение «многодельности» работ, так как бурение скважины, устройство тела анкерной сваи и армирование выполняется одновременно;
- повышение производительности труда приблизительно в 5–10 раз по сравнению с устройством традиционных буровых свай;
- возможность устройства анкеров и свай в неустойчивых грунтах без применения обсадных труб;
- возможность применения малогабаритных буровых станков для работ по усилению фундаментов из подвалов существующих зданий, в стесненных пространствах подземных сооружений;
- отсутствие негативного воздействия на существующие фундаменты здания;
- возможность производства работ в заводских цехах без остановки производственного процесса;
- снижение затрат ручного труда.

Для подтверждения выполненных расчетов и натурных испытаний грунтовых анкеров было выполнено внедрение данных стержневых элементов в реальные строительные объекты. Один из которых располагается на горнолыжном курорте в Краснодарском крае.

В соответствии с техническим заданием требовалось запроектировать фундаменты опор освещения горнолыжного курорта. По исходным данным было рассмотрено два варианта фундаментов:

1. свайный фундамент из буровых свай;
2. буроинъекционные анкера в качестве свайных элементов.

Для свайного фундамента по варианту 1 расход материалов можно представить в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Общие данные фундаментов на сваях  
 Table 3 – General foundation data on piles

| №  | Угол склона | Марка ф-та | Шир.под. | Кол-во. св. | Длина св. |
|----|-------------|------------|----------|-------------|-----------|
| 1  | 5–10        | ФМ25.1     | 1800     | 3           | 7         |
| 2  |             | ФМ25.2     | 1800     | 4           | 7         |
| 3  | 10–12,5     | ФМ26.1     | 1800     | 3           | 8         |
| 4  | 15          | ФМ26.2     | 1900     | 3           | 8         |
| 5  | 12,5–15     | ФМ26.3     | 1800     | 4           | 8         |
| 6  | 15–17,5     | ФМ26.4     | 1900     | 4           | 8         |
| 7  | 17,5–20     | ФМ26.5     | 2000     | 4           | 8         |
| 8  | 20          | ФМ26.6     | 1900     | 4           | 9         |
| 9  | 20–22,5     | ФМ26.7     | 2000     | 4           | 9         |
| 10 |             | ФМ27.1     | 1900     | 4           | 10        |
| 11 | 22,5–25     | ФМ27.2     | 2000     | 4           | 10        |
| 12 | 25–27,5     | ФМ27.3     | 1900     | 4           | 11        |
| 13 |             | ФМ27.4     | 2000     | 4           | 11        |
| 14 | 27,5–30     | ФМ27.5     | 1900     | 4           | 12        |
| 15 |             | ФМ27.6     | 2000     | 4           | 12        |
| 16 | >30         | ФМ27.7     | 2000     | 4           | 13        |

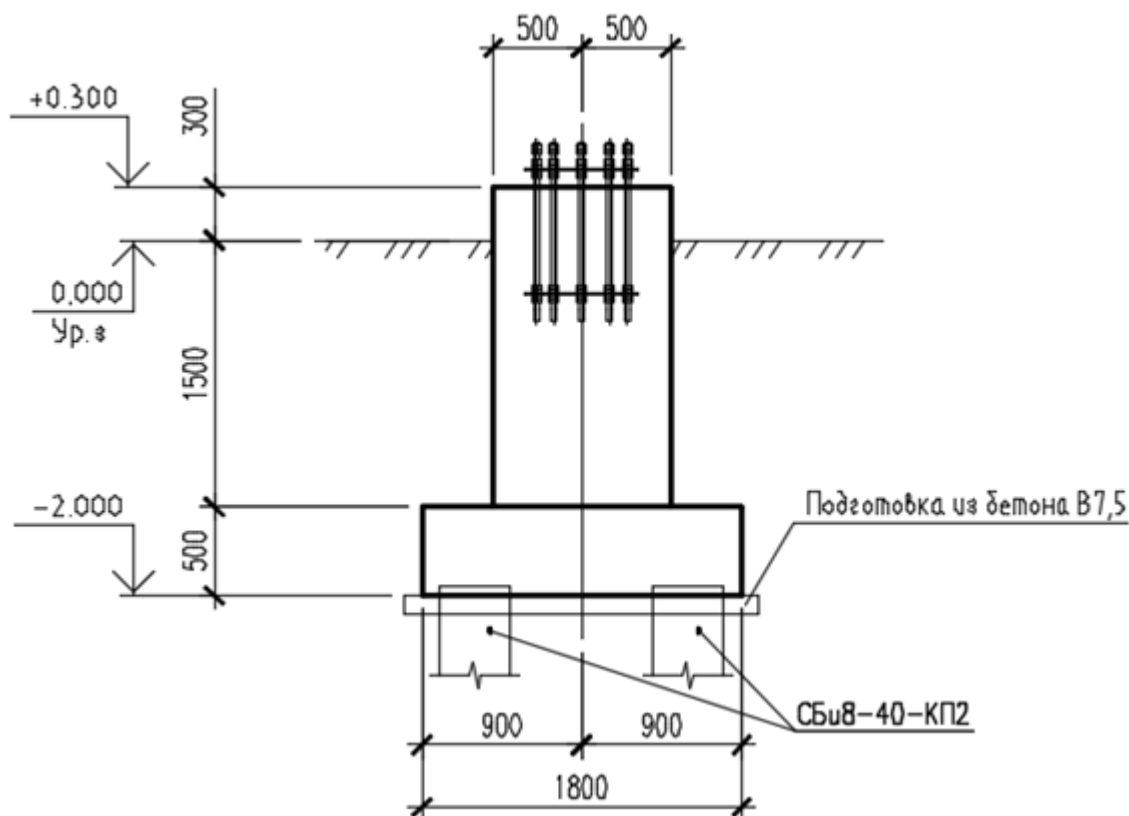


Рисунок 8 – Разработанный вариант свайного фундамента с использованием буровых свай  
 Figure 8 – The developed version of the pile foundation using drill piles

Как и в свайном фундаменте, число, угол наклона и длина анкера напрямую зависит от угла наклона склона. Представим общую таблицу для фундаментов опор освещения на буринъекционных анкерах.

Таблица 4 – Общие данные фундаментов на анкерах  
 Table 4 – General data of foundations on anchors

| №  | Угол склона | Марка ф-та | Шир.под. | Углы анк. | Длина анк. |
|----|-------------|------------|----------|-----------|------------|
| 1  | 5–10        | ФМ25.1     | 2500     | 0/30      | 7,5        |
| 2  |             | ФМ25.2     | 2500     | 0/30      | 9          |
| 3  | 10–12,5     | ФМ26.1     | 2600     | 0/30      | 7,5        |
| 4  | 15          | ФМ26.2     | 2600     | 0/30      | 9          |
| 5  | 12,5–15     | ФМ26.3     | 2600     | 15/30     | 7,5        |
| 6  | 15–17,5     | ФМ26.4     | 2600     | 15/30     | 9          |
| 7  | 17,5–20     | ФМ26.5     | 2600     | 0/30      | 9          |
| 8  | 20          | ФМ26.6     | 2600     | 15/30     | 9          |
| 9  | 20–22,5     | ФМ26.7     | 2600     | 0/40      | 9          |
| 10 |             | ФМ27.1     | 2700     | 0/40      | 9          |
| 11 | 22,5–25     | ФМ27.2     | 2700     | 0/40      | 9          |
| 12 | 25–27,5     | ФМ27.3     | 2700     | 15/40     | 9          |
| 13 |             | ФМ27.4     | 2700     | 15/40     | 9          |
| 14 | 27,5–30     | ФМ27.5     | 2700     | 15/40     | 9          |
| 15 |             | ФМ27.6     | 2700     | 15/40     | 12         |
| 16 | >30         | ФМ27.7     | 2700     | 15/40     | 12         |

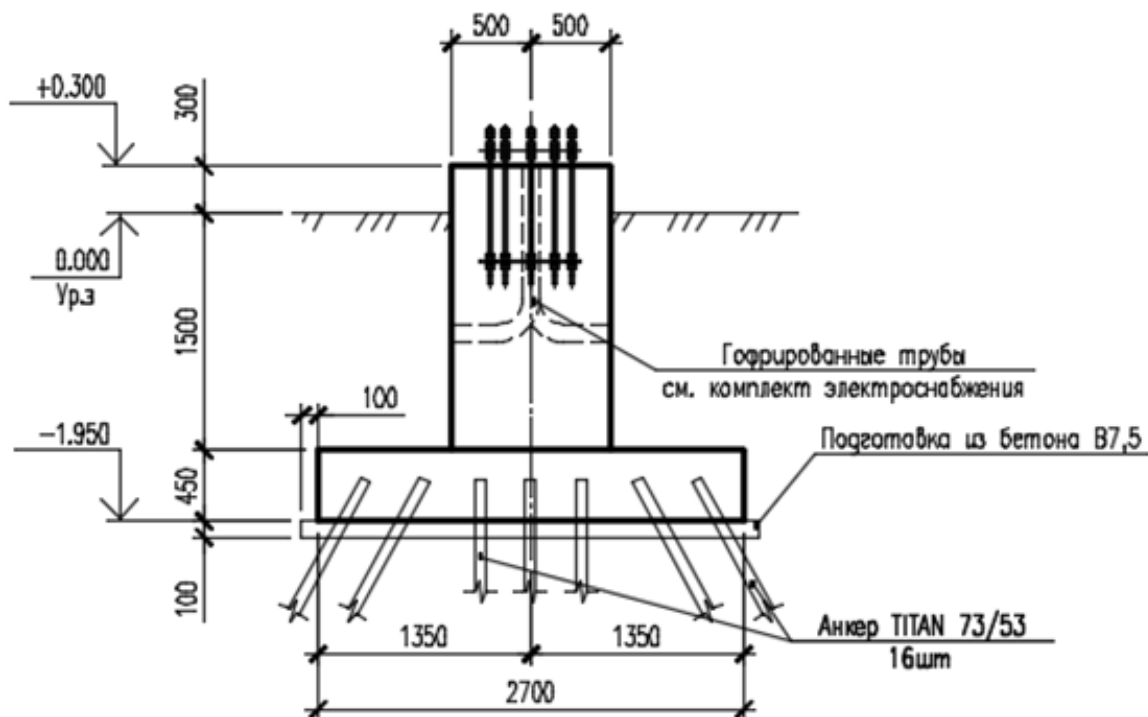


Рисунок 9 – Предложенный вариант свайного фундамента на грунтовых анкерах  
 Figure 9 – The proposed version of the pile foundation on soil anchors

Из конструкции фундамента видно, что при устройстве анкеров можно уменьшить высоту подошвы фундамента, однако, длину и ширину требуется увеличить, что повлечет за собой увеличение расхода материалов и трудозатрат.

Для дальнейшего сравнения требуется составить сметное обоснование применения свайного или фундамента на анкерах.

Для сравнения стоимости устройства анкеров и свай был произведен сметный расчет 52 фундаментов, выполненных из грунтовых анкеров, а также 52 фундаментов, выполненных из

бетонных буронабивных свай (устройство фундамента для опор канатных дорог на горнолыжном курорте Краснодарского края).

При расчете следует учесть, что подъем тяжелой буровой техники на склон требует использования дополнительных механизмов. В отличие от свай для анкеров такая дорогостоящая техника не требуется. Строительные машины, которые забуривают грунтовые анкера имеют небольшие размеры, а также легко закрепляются на склоне.

Таблица 5 – Результаты сметного расчета свайного фундамента  
Table 5 – Results of the estimated calculation of the piling foundation

| № п/п | Наименование          | Ед. изм.       | Кол-во, руб. | Цена за ед. руб. | Итого, руб. |
|-------|-----------------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 1     | Разработка грунта     | м <sup>3</sup> | 1368         | 1200             | 1642284     |
| 3     | Бурение скважин       | шт.            | 205          | 100000           | 20500000    |
| 4     | Устройство свай       | шт.            | 205          | 80000            | 16400000    |
| 5     | Устройство фундамента | м <sup>3</sup> | 188,4        | 40000            | 7535400     |
|       | Итого                 |                |              |                  | 46077684    |

Таблица 6 – Результаты сметного расчета анкерного фундамента  
Table 6 – Results of the estimated calculation of the anchor foundation

| № п/п | Наименование                 | Ед. изм.       | Кол-во, руб. | Цена за ед. руб. | Итого, руб. |
|-------|------------------------------|----------------|--------------|------------------|-------------|
| 1     | Разработка грунта            | м <sup>3</sup> | 1851,9       | 1200             | 2222316     |
| 3     | Устройство грунтовых анкеров | шт.            | 912          | 10000            | 9120000     |
| 4     | Устройство фундамента        | м <sup>3</sup> | 254,6        | 40000            | 10182480    |
|       | Итого                        |                |              |                  | 21524796    |

После составления сметного расчета видно, что использование анкерных свай значительно выгоднее. Использование данной технологии позволило сэкономить 24553000 рублей. Но при использовании грунтовых анкеров получится сократить не только затраты, но и время.



Рисунок 10 – Внедренный вариант свайного фундамента на грунтовых анкерах в сложных геологических условиях

Figure 10 – Embedded version of the pile foundation on soil anchors in difficult geological conditions

## Выводы

В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Существующие нормы по проектированию грунтовых анкеров не рассматривают их работу на вертикальные вдавливающие нагрузки, однако это является важным фактором при выборе конструкций свайных фундаментов при строительстве в сложных грунтовых условиях;
2. Выполнено конечно-элементное моделирование работы грунтовых анкеров на вертикальные сжимающие нагрузки в условиях сложных грунтов горной местности Краснодарского края;
3. Использование грунтовых анкеров дает целый ряд преимуществ:
  - вес штанг анкеров позволяет переносить их вручную;
  - не требуется подготовка основания под стоянку оборудования;
  - управление строительными машинами осуществляется дистанционно;
  - уменьшение времени на мобилизацию и снижение сроков строительства;
4. При расчете грунтовых анкеров по методике, изложенной в нормативной документации, результирующая несущая способность значительно меньше получаемой в ходе натурных испытаний, особенно при малой длине анкеров;
5. Получено экспериментальное и теоретическое обоснование несущей способности грунтовых анкеров, воспринимающих сжимающие, выдергивающие и горизонтальные нагрузки, которое дает возможность устройства фундаментов, состоящих из анкерных свай, выполняемых на крутых склонах и участках с повышенной оползневой активностью, а также при усилении существующих фундаментов зданий и сооружений, опор мостов, дымовых труб и т.п.

## Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М. : АСВ, 2014. – 728 с.
2. Полищук А. И. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий: научно-практическое пособие. – М. : АСВ, 2016. – 104 с.
3. Шадунц К. Ш. К расчету зданий и сооружений на сложных, неравномерно сжимаемых основаниях / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 2. – С. 7–10.
4. Мариничев М. Б. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях / М. Б. Мариничев, К. Ш. Шадунц А. Ю. Маршалка // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2. – С. 34–36.
5. Пат 2300604, Российская Федерация, МПК: E02D27/34. Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев, В. А. Демченко ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2005131149/03 ; заявл. 07.10.05 ; опубл. 07.10.05, бюл. № 16.
6. Пат 2378454, Российская Федерация, МПК E02D27/14. Способ возведения свайно-плитного фундамента / К. Ш. Шадунц, М. Б. Мариничев ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2008133436/03 ; заявл. 14.08.08 ; опубл. 10.01.10, бюл. № 1.
7. Russell D., Pierpoint N. An Assessment of Design Methods for Piled Embankments // Ground Engineering. 1997. No. 30(11). Pp. 39–44
8. Hegg U., Jammilkowski M. B., Parvis E. Behavior of oil tanks on soft cohesive ground improved by vertical drains // Proc. 8-th ECSMFE. 1983. No. 2. Pp. 627–632.
9. Мариничев М. Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах / М. Б. Мариничев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – № 01 (125). С. 623 – 657. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf>.

10. Тер-Мартirosян З. Г. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян, П. В. Струнин // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 310–315.

### References

1. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya [Reference book of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures] / Pod obschey red. V. A. П'icheva i R. A. Mangusheva. – М. : ASV, 2014. – 728 s..

2. Polishchuk A. I. Analiz gruntovykh usloviy stroitel'stva pri proyektirovaniy fundamentov zdaniy [Analysis of soil conditions of construction in the design of the foundations of buildings]: nauchno-prakticheskoye posobiye. – М. : ASV, 2016. – 104 s.

3. Shadunts K. Sh. K raschetu zdaniy i sooruzheniy na slozhnykh, neravno-merno szhimayemykh osnovaniyakh [To the calculation of buildings and structures on complex, unevenly compressible bases] / K. Sh. Shadunts, M. B. Marinichev // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. – 2003. – № 2. – S. 7–10. (rus)

4. Marinichev M. B. Effektivnyye fundamentnyye konstruksii v slozhnykh gruntovykh usloviyakh [Effective foundation constructions in difficult soil conditions] / M. B. Marinichev, K. Sh. Shadunts A. Yu. Marshalka // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – 2013. – № 2. – S. 34–36. (rus)

5. Pat 2300604, Rossiyskaya Federatsiya, MPK: E02D27/34. Sposob stroitel'stva svayno-plitnykh fundamentov v seysmicheskikh rayonakh [The method of building pile-plate foundations in seismic regions] / K. Sh. Shadunts, M. B. Marinichev, V. A. Demchenko ; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO «Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet». – № 2005131149/03 ; zayavl. 07.10.05 ; opubl. 07.10.05, byul. № 16.

6. Pat 2378454, Rossiyskaya Federatsiya, MPK E02D27/14. Sposob vozvedeniya svayno-plitnogo fundamenta [The method of erecting a pile-raft foundation] / K. Sh. Shadunts, M. B. Marinichev ; zayavitel' i patentooblada-tel' FGOU VPO «Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet». – № 2008133436/03 ; zayavl. 14.08.08 ; opubl.10.01.10, byul. № 1.

7. Russell D.. Pierpoint N. An Assessment of Design Methods for Piled Embankments // Ground Engineering. 1997. No. 30(11). Pp. 39–44

8. Hegg U., Jammilkowski M B., Parvis E. Behavior of oil tanks on soft cohesive ground improved by vertical drains // Proc. 8-th ECSMFE. 1983. No. 2. Pp. 627–632.

9. Marinichev M. B. Opyt realizatsii nestandartnykh metodov proyektirovaniya i stroitel'stva fundamentov vysotnykh zdaniy v seysmicheskikh rayonakh / M. B. Marinichev // Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvenno-go agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU) [Elektronnyy resurs]. – Krasnodar : KubGAU, 2017. – № 01 (125). S. 623 – 657. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/01/pdf/43.pdf>.

10. Ter-Martirosyan Z. G. Usileniye slabykh gruntov v osnovanii fundamentnykh плит s ispol'zovaniyem tekhnologii struynoy tsementatsii gruntov / Z. G. Ter-Martirosyan, P. V. Strunin // Vestnik MGSU. – 2010. – № 4. – S. 310–315. (rus)