

## КОНСТРУКЦИЯ ФУНДАМЕНТА НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ, РАБОТАЮЩАЯ НА ВЫДЕРГИВАНИЕ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*А. А. Соколов*

**Соколов Артем Александрович**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация, тел.: + 7 (999)-363-99-88; e-mail: Sokolov.f9630187266@yandex.ru

При строительстве и реконструкции инфраструктуры городов необходимо учитывать оптимизацию использования земельных ресурсов. Это подразумевает уменьшение размеров фундамента и позволяет эффективнее использовать площадь участка, особенно в случае ограниченного пространства. В данной работе рассматривается проект и анализ расчета нового типа фундамента для использования в инфраструктуре г. Норильск. При проектировании учитывались несколько важных условий: большие вырывающие нагрузки, климатические условия и устройство на скальном грунте. Основной задачей была возможность максимально уменьшить габариты фундамента. Для разработки предложено совместить химическую анкерную систему и буронабивную сваю. Применение проектируемого варианта можно рассматривать для решения проблемы размещения новых фундаментов для сооружений и опор при реконструкции коммунального хозяйства г. Норильска в местах, где нет возможности запроектировать более габаритные столбчатые фундаменты.

**Ключевые слова:** Норильск, Норильская ТЭЦ, свайный фундамент, столбчатый фундамент, скальный грунт, стесненные условия, закрепление в скалу, анкерное закрепление, скважина.

### FOUNDATION DESIGN ON ROCKY BASEMENT, WORKING ON PULL-OUT IN CONFINED SPACES

*A. A. Sokolov*

**Sokolov Artem Aleksandrovich**, postgraduate student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, phone: + 7 (999) 363-99-88, e-mail: Sokolov.f9630187266@yandex.ru

When building and reconstructing urban infrastructure, it is necessary to take into account the optimization of land use. This implies reducing the size of the foundation and allows for more efficient use of the site area, especially in the case of limited space. This paper deals with the design and analysis of a new type of foundation for use in the infrastructure of Norilsk. Several important conditions were taken into account in the design: high breakout loads, climatic conditions and a rock foundation. The main objective was to minimize the size of the foundation as much as possible. For the design it was proposed to combine a chemical anchor system and a bored pile. The application of the projected variant can be considered to solve the problem of new foundations for structures and supports during the reconstruction of the Norilsk municipal economy, in places where it is not possible to design larger columnar foundations.

**Keywords:** Norilsk, Norilsk thermal power station, pile foundation, columnar foundation, rocky soil, cramped conditions, fixing into the rock, anchoring, well.

#### Введение

Норильск готовят к большому обновлению, в срок до 2035 года город ждет массовая реновация объектов инфраструктуры. В связи с этим появляется необходимость возведения новых сооружений и конструкций для прокладки коммуникаций. Сложные геологические условия данной местности и необходимость устройства фундаментов в местах с ограниченным пространством осложняют процессы проектирования [1]. На освоенных городских и близлежащих территориях распространены мерзлые и скальные грунты. Для участков с мерзлым грунтом применяются метод вмораживания сваи в мерзлый грунт. Данный метод позволяет ограничивать габариты фундаментов за счет увеличения глубины заложения сваи. При наличии скального грунта его используют как основание под столбчатый фундамент, когда проходят верхние менее прочные слои. Но при больших нагрузках площадь подошвы фундаментов значительно увели-

чивается, что может не вписываться в разрешенные нормативные расстояния до близлежащих инженерных сетей и зданий. Актуальность данной проблемы заключается в отсутствии возможности разместить габаритные фундаменты в ограниченном нормативами пространстве. Различные вариации использования фундаментов на скальном грунте рассмотрены во множестве публикаций [6–13]. Проанализировав эти работы, приняли решение совмещать буронабивную сваю с химическими анкерами, которое ранее никем не рассматривалось.

В данной работе намечена следующая цель: запроектировать фундамент, обладающий меньшими габаритными размерами в плане, чем столбчатый фундамент. В качестве территориальных условий выбрана площадка строительства надземного трубопровода на территории ТЭЦ-2 г. Норильск.

Для выполнения цели вынесены следующие задачи:

- разработать проект двух видов фундамента с учетом геологических данных и расчетных нагрузок: столбчатого монолитного фундамента, который используется как типовое решение на объекте строительства, и свайно-анкерного с закреплением в скалу через анкера;

- сравнить и обосновать применение подходящего под все условия вида фундамента.

В качестве объекта исследования выступает территория ТЭЦ-2 города Норильск. Предметом исследования является проект фундамента для размещения теплоэнергоцентрали на заданном участке.

### Метод

Выбранный участок эстакады надземного трубопровода, расположенного над дорогой, представлен на рисунке 1. Проектируемый фундамент располагается на границе с подземной канализацией и опорой существующей эстакады. Нормативное расстояние необходимое выдержать до канализации, согласно СП 42.13330.2016: 1.5 м. Расстояние до существующей опоры должно быть максимально возможным для минимального воздействия деформаций и нарушений устойчивости откосов котлованов. Общий вид эстакады с существующими конструкциями и коммуникациями показан на рисунке 2.

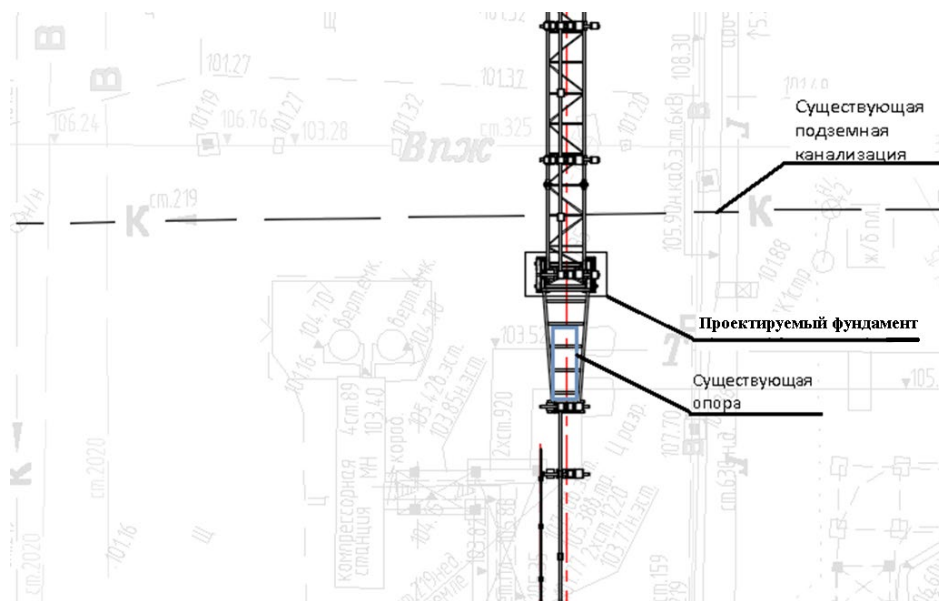


Рис. 1. Схема участка эстакады с расположением проектируемого фундамента

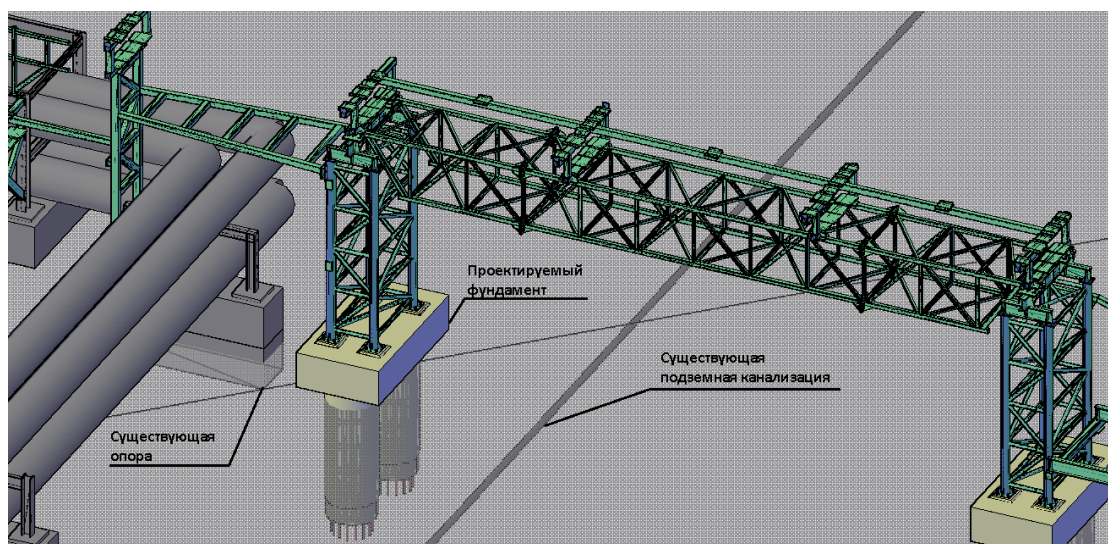


Рис. 2. Общий вид эстакады (проектируемые трубопроводы условно не показаны)

Значения нагрузок, передаваемых на фундамент, представлены в таблице 1, схема нагрузок – на рисунке 3.

В расчетах были учтены следующие нагрузки: технологические, снеговая, ветровая, собственный вес конструкций.

Инженерно-геологические условия площадки показаны на рисунке 4:

- ИГЭ 1 – насыпной дресвяный грунт с суглинистым мягкопластичным заполнителем ( $t_{QIV}$ ) является сильно пучинистым;
- ИГЭ 3 – базальт ( $T_1$ ).

Глубина промерзания грунта – 3,1 м.  
Для проектирования выбрана геологическая скважина № 6.

Таблица

Нагрузки, приходящие на фундамент

| Нагрузка    | Значение нагрузки |       |       |       |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|
|             |                   |       |       |       |
| $Q_x$ (Т)   | 4,78              | 1,10  | 3,12  | 0,131 |
| $Q_y$ (Т)   | 6,71              | 4,76  | 1,5   | 0,823 |
| $N$ (Т)     | 15,8              | -30,6 | 40,9  | 6,77  |
| $M_x$ (Т*М) | -2,45             | -1,65 | -1,66 | -0,98 |
| $M_y$ (Т*М) | 2,0               | 1,42  | 1,02  | 0,468 |

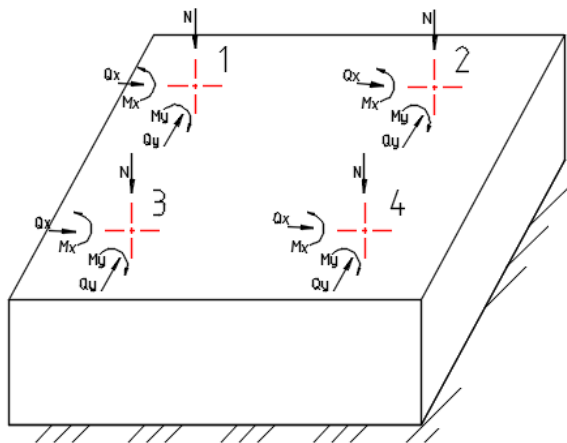


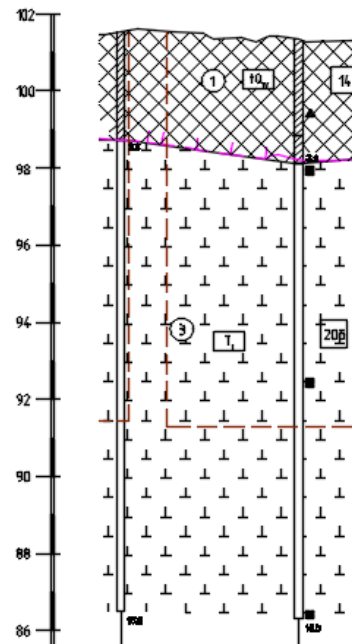
Рис. 3. Схема нагрузок на фундамент

#### Столбчатый фундамент

Расчетная схема столбчатого фундамента смоделирована в ПК ЛИРА-САПР [2]. Общий вид модели и расчетная схема представлено на рисунке 5. Для моделирования применены конечные элементы КЭ 10 (универсальный пространственный стержень) и универсальный КЭ оболочки четырех- и трехугольный. Признак схемы – шесть степеней свободы в узле.

Столб фундамента смоделирован стержневым конечным элементом, которому придана жесткость типа брус сечением  $320 \times 200$  см, с модулем упругости  $E = 3,45 \times 10^6$  т/м<sup>2</sup> и плотностью  $R_0 = 2,5$  т/м<sup>3</sup>.

Плита фундамента создана конечными элементами пластины, которым придана жесткость типа пластина с габаритами  $460 \times 340$  см, высотой сечения – 60 см, модулем упругости  $E = 3,45 \times 10^6$  т/м<sup>2</sup> и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,2$ .



Масштабы :  
гориз. 1:500  
верт. 1:100

|                       |        |        |
|-----------------------|--------|--------|
| Номер скважины        | Скв.17 | Скв.6  |
| Глубина, м            | 15,0   | 15,0   |
| Абс. отметка устья, м | 101,53 | 101,32 |
| Расстояние, м         | 23,0   |        |

Рис. 4. Инженерно-геологический разрез

Модель грунта смоделирована при помощи коэффициентов постели для скального грунта.

Глубину заложения фундамента необходимо довести до скального грунта. Глубина заложения фундамента – 3,2 м.

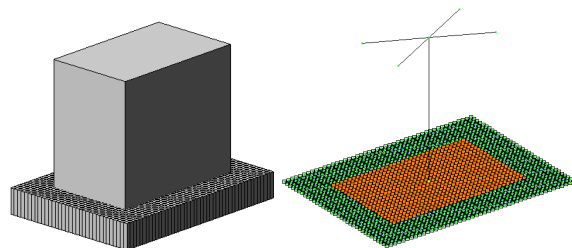


Рис. 5. Общий вид и расчетная схема столбчатого фундамента

Данные габариты фундамента подобраны с учетом конструктивных решений, расположения верхней части конструкций эстакады, обеспечения требований несущей способности и предельных деформаций основания.

**Свайно-анкерный фундамент**

Расчетная схема свайного фундамента смоделирована в ПК ЛИРА-САПР [2]. Общий вид модели, расчетная схема и схема расположения элементов представлены на рисунке 6. Признак схемы – шесть степеней свободы в узле.

Надземный ростверк фундамента, объединяющий сваи, смоделирован конечным элементом пластина, которым придана жесткость типа пластина с габаритами 430 × 230 см, высотой сечения – 100 см, модулем упругости  $E = 3,45 \times 10^6$  т/м<sup>2</sup> и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,2$ .

Сваи созданы стержневым конечным элементом, которому придана жесткость типа кольцо диаметром 140 см без внутренней полости, с модулем упругости  $E = 3,45 \times 10^6$  т/м<sup>2</sup> и плотностью  $R_0 = 2,5$  т/м<sup>3</sup>.

Анкера заданы стержневым конечным элементом с жесткостью типа брус 20 × 20 см, модулем упругости  $E = 1 \times 10^{12}$ . Данная жесткость была применена для моделирования работы анкеров в скальном грунте.

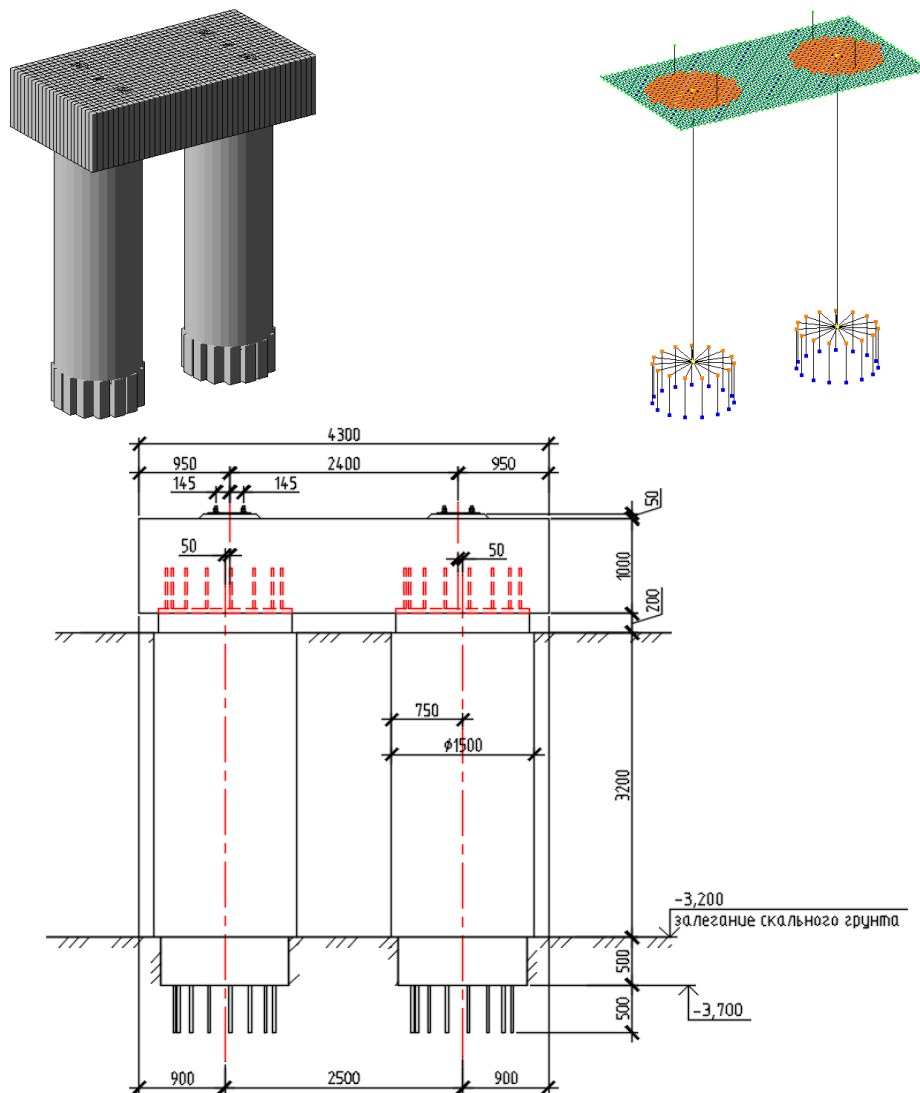


Рис. 6. Общий вид, расчетная схема и схема расположения элементов свайного фундамента

Фундамент подразумевает работу буронабивных свай, как сваи-стойки. Под их концами будет залегать скальный грунт, который и станет воспринимать сжимающие нагрузки. Глубина заделки сваи в скалу – 500 мм. Она необходима для прохождения возможных трещиноватых и слабых слоев скального грунта. Это позволит вынести ослабленные зоны за пределы площади опирания, согласно СП 24.13330.2016.

**Результаты и обсуждения**

Основные результаты расчета столбчатого фундамента приведены на рисунках 7, 8.

Несущая способность обеспечена, максимальное давление под подошвой фундамента не превышает расчетное сопротивление грунта:  $26,9 \text{ т/м}^2 < 7575,94 \text{ т/м}^2$  [5].

Скальный грунт является несжимаемым, осадка фундамента условная и составляет доли миллиметра – 0,113 мм, что не превышает максимально допустимых значений – 200 мм.



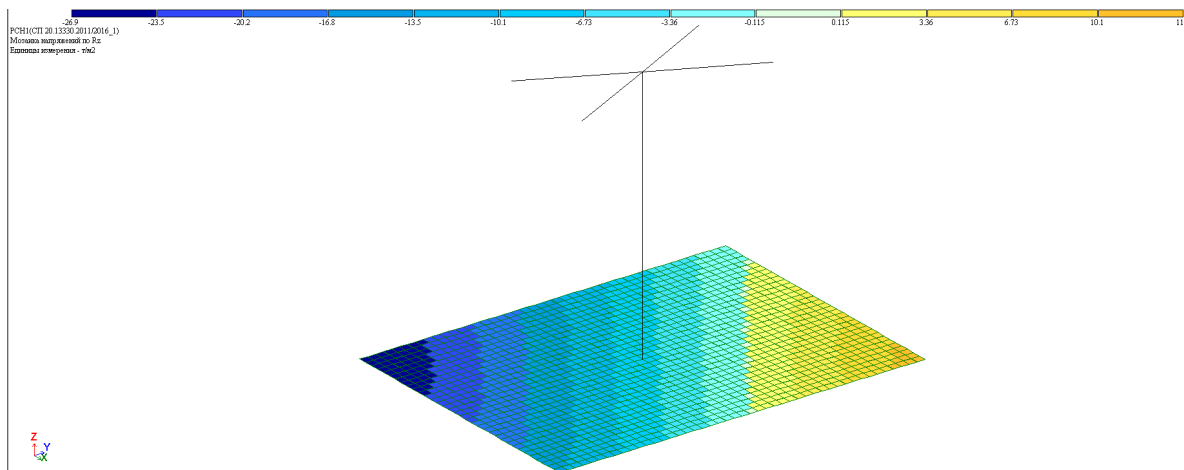


Рис. 7. Давление под подошвой фундамента

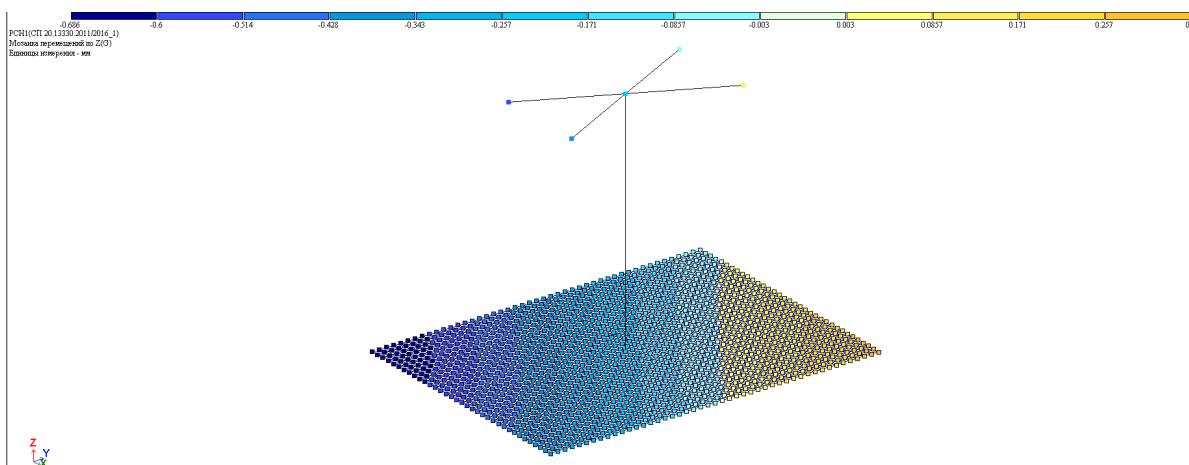


Рис. 8. Перемещение фундаментной плиты

Крен фундамента не превышает предельные значения:  $i_u = 0,004 > 0,0002$ , согласно СП 22.13330.2016.

Опрокидывание фундамента не происходит. Площадь подошвы отрыва – 0,255, что не вышает 0,33 от ее полной площади, согласно СП 43.13330.2012.

Габариты полученного столбчатого фундамента не вписываются в планировку, нарушая минимально допустимое расстояние до канализационной трубы. При необходимых 1,5 м оно составляет 0,9 м. Фундамент также прилегает вплотную к существующему. Это влечет за собой дополнительные расчеты, которые должны учитывать возникающие воздействия от нового фундамента.

Основные результаты расчета свайно-анкерного фундамента приведены на рисунках 9, 10.

Несущая способность обеспечена. Сжимающая нагрузка на максимально нагруженную сваю под ее концом не превышает расчетное сопротивление грунта:  $80,52 \text{ т/м}^2 < 7575,94 \text{ т/м}^2$  [5].

Для восприятия вырывающих усилий от сил морозного пучения и технологических нагрузок в модель включены химические анкера с заглублением в скалу. На каждую сваю применено 15 анкеров  $d = 32 \text{ мм}$ . Максимальное вырывающее усилие на анкер составляет 20,2 т. Расчет-

ная характеристика несущей способности химического анкера “EASYFIX BIT-NORD” периодического профиля Alll/Bst 500,  $F_{yk} = 500 \text{ Н/мм}^2$  при глубине заделки 640 мм и коэффициенте безопасности 0,68 – 22,29 т [3, 4]. Устойчивость обеспечена 20,2 < 22,29 т. Применение химического, а не механического анкера обусловлено многофункциональностью и увеличенной несущей способностью за счет возможности использовать увеличенную глубину заделки [14, 15].

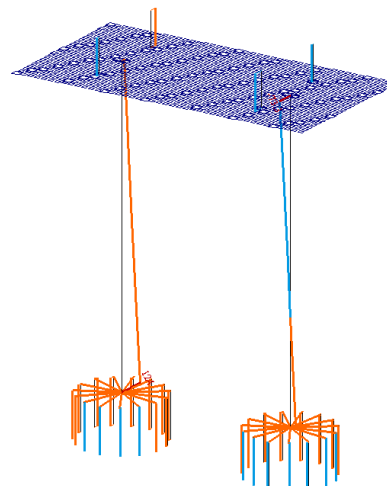


Рис. 9. Усилия приходящие на конец сваи

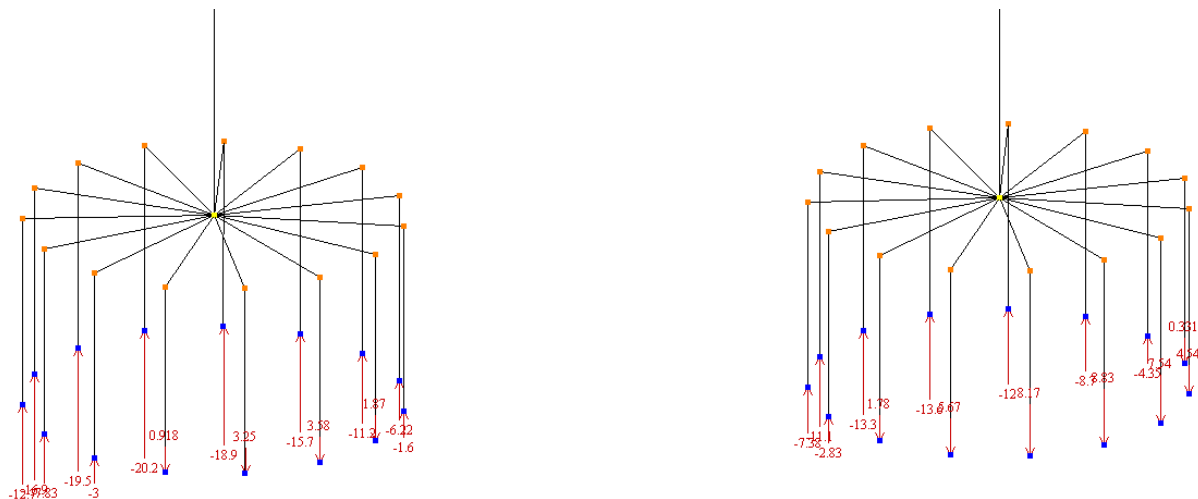


Рис. 10. Усилия, воспринимаемые анкерами

Свайно-анкерный фундамент полностью удовлетворяет необходимым ситуационным параметрам при обеспечении несущей способности.

#### Заключение

1. Оба запроектированных фундамента полностью обеспечивают несущую способность строительной конструкции.

2. Использование буронабивных свай с закреплением в скалу анкерами позволяет сократить размеры в сравнении с аналогичным по назначению столбчатым фундаментом по ширине до 13 %, по длине – до 55 %. Необходимо также отметить, что при устройстве столбчатого фундамента нужно учитывать габариты котлована, которые дополнительно вносят ограничения при строительстве в стесненных условиях.

3. Пример свайно-анкерного фундамента следует рассматривать только в том случае, если на фундаменты передаются большие вырывающие нагрузки и требуется сократить их размеры,

что является частым примером при строительстве надземных коммуникаций в существующей застройке.

4. В случае, когда на сваю действуют большие вырывающие нагрузки, альтернативой анкерному закреплению служило бы закрепление тела сваи в скальный грунт. Однако на данный момент отсутствуют нормативные документы и методики расчета несущей способности по боковой поверхности сваи о скальный грунт, поэтому для выполнения расчета по альтернативному методу необходимо проведение натурных испытаний.

В дальнейшем требуется углубленное исследование работы элементов свайно-анкерного типа фундамента, более детальную расчетную схему, финансовое сравнение и анализ проектов производства работ, а также разнообразие расчетных схем.

#### Список литературы

1. Ермаков В. П. Оценка работы стержневых свай-анкеров, воспринимающих вертикальные и горизонтальные нагрузки / В. П. Ермаков // Инновационная наука. – 2017. – № 11. – С. 14–19.
2. Многофункциональный программный комплекс для расчета, исследования и проектирования конструкций различного назначения («ПК ЛИРА-САПР») : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Российская Федерация. – 29.08.2014. – № 2014618855.
3. Химические анкера «EasyFix» // EasyFix. – Режим доступа: <https://efrus.ru/company/docs/> (дата обращения: 12.02.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Работа анкера в скальных грунтах // Форум DWG.RU. – Режим доступа: <https://forum.dwg.ru/showthread.php?t=4006> (дата обращения: 26.01.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. Никишкин М. В. О работе свай-стоек в скальных грунтах / М. В. Никишкин // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2010. – №4. – С. 88–94.
6. Филатов А. А. Конструкционные особенности и методика расчета рабочих параметров анкерных устройств нового типа / А. А. Филатов, В. М. Гуслиц, И. И. Велиулин, Р. Р. Хасанов // Территория Нефтегаз. – 2018. – № 11. – С. 78–81.
7. Деревенец Ф. Н. Влияние анкерных свай на взаимодействие оползневого грунта со сваями однорядных удерживающих сооружений / Ф. Н. Деревенец // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 74. – С. 84–92.
8. Haberfield Ch. Analysis and design of axially loaded piles in rock / Ch. Haberfield, A. Lochaden // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2019. – Vol. 11, issue 3. – P. 535–548. – DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.10.001.
9. Grindheim B. Full-scale pullout tests of rock anchors in a limestone quarry focusing on bond failure at the anchor-grout and grout-rock interfaces / B. Grindheim, Ch. C. Li, A. H. Njøien // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2023. – Vol. 15, issue 9. – P. 2264–2279. – DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.04.002.
10. Barrett J. W. Empirical Shaft Resistance of Driven Piles Penetrating Weak Rock / J. W. Barrett, L. J. Prendergast // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2020. – Vol. 53, issue 4. – P. 5531–5543. – DOI: 10.1007/s00603-020-02228-7.

11. Рослик В. П., Сорокин А. Г., Линников Д. В., Муромцев И. Д. Оптимизация плитно-анкерных конструкций в строительстве / В. П. Рослик, А. Г. Сорокин, Д. В. Линников, И. Д. Муромцев // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. – 2017. – № 20. – С. 37–40.
12. Костина О. В. Исследование характера работы сваи с поворотными анкерами при работе в массиве пучинистых грунтов / О. В. Костина, Т. М. Бочкарева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2020. – № 4. – С. 46–57.
13. Цибаев С. С. Оценка влияния затопления горных выработок на состояние приконтурного массива горных пород и элементов анкерной крепи / С. С. Цибаев, С. И. Калинин, А. А. Ренев, Д. В. Зорков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5. – С. 35–43.
14. Грановский А. В. О методике испытаний анкеров на вырыв из различных стеновых материалов и возможных областях их применения / А. В. Грановский, Д. А. Киселев // Жилищное строительство. – 2011. – № 2. – С. 7–8.
15. Топчий Д. В. Техническое нормирование современных методов ведения строительных работ при реконструкции, перепрофилировании и технологическом перевооружении зданий и сооружений / Д. В. Топчий, М. А. Катасонова, А. Ю. Юргайтис // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 6. – С. 281–285.
16. Мушанов В. Ф. Анализ степени ответственности элементов для определения характеристик надежности и склонности к лавинообразному разрушению стержневых конструкций / В. Ф. Мушанов, А. Н. Оржеховский // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 4 (42). – С. 5–10. – DOI: 10.52684/2312-3702-2022-42-3-5-10. – EDN KFCXJK.
17. Купчикова Н. В. Концепция управления экспертизой геоподосновы, оснований и фундаментов на всех стадиях жизненного цикла / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин, Е. Е. Купчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1 (39). – С. 101–104. – DOI: 10.52684/2312-3702-2022-39-1-101-104. – EDN QMLBON.

© А. А. Соколов

**Ссылка для цитирования:**

Соколов А. А. Конструкция фундамента на скальном основании, работающая на выдергивание в стесненных условиях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (5). С. 17–23.

УДК 69.01

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-23-27

**К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА  
В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Р. А. Набиев, А. Ю. Курдюк*

**Набиев Рамазан Абдулмуминович**, доктор экономических наук, профессор, директор Института градостроительства, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 282-87-30; e-mail: nabiev56@list.ru;

**Курдюк Андрей Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 080-12-37; e-mail: ayuk58@mail.ru

Тенденции изменения современной городской среды, характеризующиеся увеличением застройки многоэтажными зданиями, ростом этажности существующих зданий и сооружений путем надстройки, реконструкцией исторической застройки, побуждают усиливать внимание к взаимовлиянию существующих и вновь возводимых сооружений. Особенно это актуально для отечественных зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Безопасность зданий и сооружений можно обеспечить соблюдением норм надежности конструкций и оснований, мониторинга их технического состояния. Мониторинг зданий и сооружений включает в себя анализ поведения конструкций, совместной работы системы «основание – фундамент – надземные конструкции здания» и состоит из комплекса работ по обеспечению безопасности всего процесса строительства. Использование мониторинга позволяет своевременно обнаружить и избежать необратимых процессов, происходящих в данной системе.

**Ключевые слова:** безопасность зданий и сооружений, надежность, анализ, мониторинг, остаточный ресурс.

**ON THE ISSUE OF ENSURING THE SAFETY OF CRITICAL FACILITIES  
IN DIFFICULT ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS**

*R. A. Nabiyeu, A. Yu. Kurdyuk*

**Nabiyeu Ramazan Abdulmuminovich**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of the Institute of Urban Development, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (927) 282-87-30; e-mail: nabiev56@list.ru;

**Kurdyuk Andrey Yuryevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 080-12-37; e-mail: ayuk58@mail.ru