

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ОГРАЖДЕНИЯ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

И.В. Носков

Приводятся материаловедческие решения конструкций ограждений котлованов из буронабивных свай с анкерным креплением в одном и двух уровнях, а так же ограждений из свай, выполненных по разрядно-импульсной технологии с анкерным креплением в одном и двух уровнях. Результаты поведения ограждений котлованов из бетонных буронабивных свай с анкерным креплением в одном и двух уровнях, а также ограждений из бетонных свай, выполненных по разрядно-импульсной технологии с анкерным креплением в одном и двух уровнях в лессовых грунтовых основаниях региона, в которых определены вертикальные и горизонтальные перемещения ограждения котлована на всех стадиях монтажа конструкции, максимальные моменты, возникающие в конструкции, необходимое армирование бетона свай. Приведено технико-экономическое сравнение вариантов материала для конструкций ограждений котлованов. Подтверждено, что в арсенале проектировщика на сегодняшний день имеется широкий выбор материаловедческих решений конструкций ограждения глубоких котлованов, каждое из которых имеет свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании в конкретных геологических и климатических условиях. Сделаны выводы о том, что существующие классические методы расчета не учитывают многих факторов и дают значительно завышенные коэффициенты запаса, что приводит к удорожанию используемых материалов и конструкций и что наиболее прогрессивными методами расчета при проектировании глубоких котлованов являются метод конечных элементов и численные методы решения контактных задач.

Ключевые слова: материал, бетон, грунт, котлован, ограждение, анкер, расчет, моделирование, материаловедческие решения, буронабивные сваи, разрядно-импульсная технология, ярус, момент, перемещение, изополя перемещений, армирование.

Точечная застройка в городе Барнауле становится все более привлекательной. Расширение города Барнаула с севера и с востока ограничено поймой реки Обь. С запада – ограничение по строительству многоэтажных домов связано с зоной аэропорта. Юго-восточное и южное направление – квартальная застройка практически невозможна в связи с необходимостью вырубать реликтовый ленточный бор. Кроме того, согласно Генерального плана городского округа - города Барнаула Алтайского края [1], в этом направлении предполагается индивидуальная усадебная и малоэтажная застройка. В Барнауле за последние несколько лет отмечается рост строительства бизнес- и торговых центров, предполагающих устройство многоуровневых подземных автостоянок. Таким образом, все более актуальным становится вопрос освоения подземного пространства города.

Сегодня подземное пространство городов используется не только для размещения инженерных коммуникаций и объектов транспортного строительства, но также для строительства комплексов общественно - бытового

назначения, многоэтажных подземных гаражей и стоянок, предприятий торговли, помещений заглубленных частей жилых и офисных зданий [2]. В стесненных условиях городской застройки встает вопрос укрепления стен котлованов с использованием подпорных стенок различной конструкции [3,4].

Цель выполненных исследований было найти рациональные материаловедческие решения при выборе конструкций ограждения котлованов для лессовых грунтов региона, применив для расчета метод конечно-элементного анализа.

В соответствии с целью были решены следующие задачи:

1. Выполнено моделирование и расчет совместной работы ограждения и грунта в ПК Лира-САПР;

2. На основании произведенных расчетов подобраны наиболее рациональные материалы для конструктивных решений ограждения котлованов для заданных грунтовых условий;

3. Выполнена экономическая оценка материаловедческих решений для конструкций ограждений котлованов.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ОГРАЖДЕНИЯ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

В процессе выполненных исследований произведен расчет ограждений котлованов из буронабивных свай [5,6,7] с анкерным креплением в одном и двух уровнях, а так же ограждений из свай, выполненных по разрядно-импульсной технологии [8,9] с анкерным креплением в одном и двух уровнях в лессовых грунтовых основаниях региона.

В расчете определены вертикальные и горизонтальные перемещения ограждения котлована на всех стадиях монтажа конструкции, максимальные моменты, возникающие в конструкции, необходимое армирование свай.

Так же определены ТЭП для каждого типа ограждения.

Моделирование и расчет совместной работы ограждения и грунта произведен в ПК Лира-САПР.

В результате были получены изополя горизонтальных перемещений, вертикальных перемещений, эпюры моментов и требуемое армирование ограждений котлованов для каждого из 12 вариантов расчетных схем (рис. 1, рис. 2, рис. 3, рис. 4, рис. 5).

Наиболее важные из контролируемых параметров – горизонтальные перемещения ограждения котлована, т.к. от этого зависят возможные деформации основания под зданиями и сооружениями, расположенными вблизи бровки котлована, и требуемое армирование, т.к. это влияет на стоимость устройства ограждения.

Результаты материаловедческих расчетов решений ограждений котлованов для выбора наиболее эффективной конструкции приведены в таблице 1.

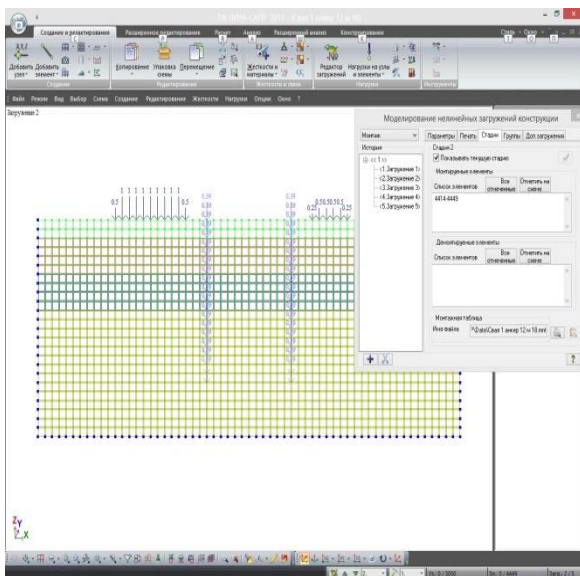


Рисунок 1 - Конструкция ограждения котлована с анкерным креплением в одном уровне

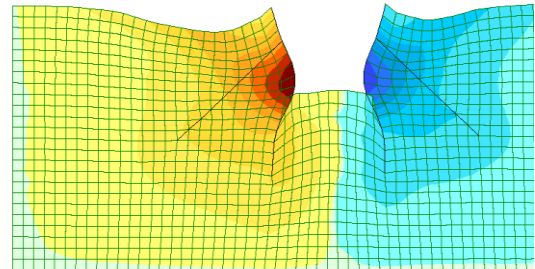


Рисунок 2 – Изополя горизонтальных перемещений для ограждения котлована глубиной 10 м из буронабивных свай длиной 15 м с анкерным креплением в одном уровне

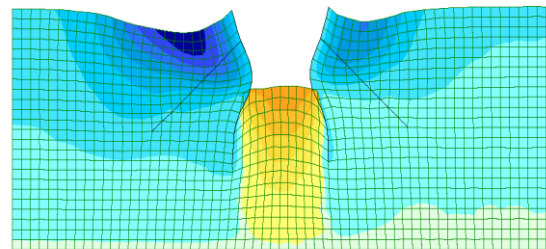


Рисунок 3 – Изополя вертикальных перемещений для ограждения котлована глубиной 10 м из буронабивных свай длиной 15 м с анкерным креплением в одном уровне

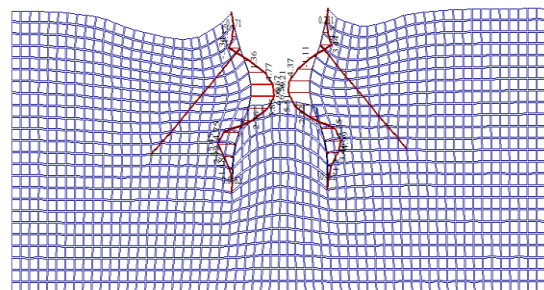


Рисунок 4 – Эпюры моментов, возникающих в ограждении котлована глубиной 10 м из буронабивных свай длиной 15 м с анкерным креплением в одном уровне

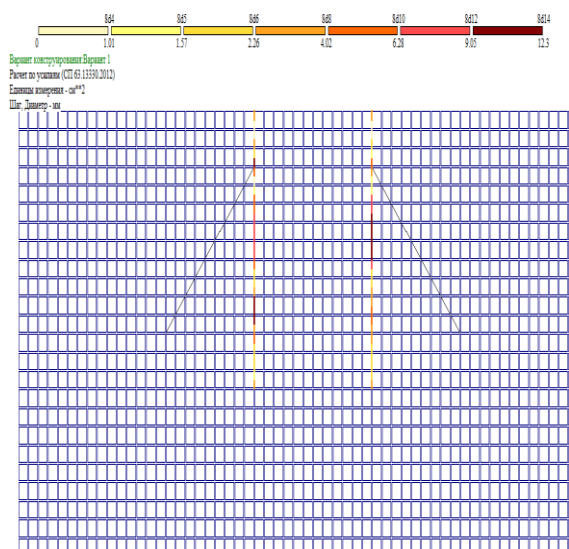


Рисунок 5 – Требуемое армирование ограждения котлована глубиной 10 м из буронабивных свай длиной 15 м с анкерным креплением в одном уровне

Из таблицы 1 видно, что при глубине котлована 10 м устройство второго яруса анкеров целесообразно только при наличии зданий и сооружений в непосредственной близости от бровки котлована, когда горизонтальное перемещение ограждения котлована в 8-10 мм имеет существенное влияние на неравномерную осадку существующих зданий и сооружений. Однако уже при увеличении глубины котлована до 12 м, устройство второго ряда анкерных креплений ограждения становится необходимым решением как с точки зрения исключения неравномерных осадок существующих зданий и сооружений в зоне влияния котлована, так и с точки зрения экономии арматуры при устройстве ограждения.

Для котлована глубиной 14 м устройство второго ряда анкерных креплений позволяет снизить горизонтальные перемещения конструкции в 3 раза, что оказывает существенное влияние на неравномерную осадку зданий и сооружений, расположенных вблизи разрабатываемого котлована.

Таблица 1- Результаты материаловедческих расчетов конструкций ограждений котлованов

| Конструкция ограждения котлована | Горизонтальные перемещения, мм | Вертикальные перемещения, мм | Максимальный изгибающий момент, т*м | Требуемое армирование |
|--|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Котлован 10 м | | | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 23.5 | 24.0 | 6.99 | 8d14 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 10.2 | 19.2 | 4.85 | 8d14 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 16.8 | 19.8 | 7.57 | 8d16 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 8.11 | 18.0 | 4.18 | 8d14 |
| Котлован 12 м | | | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 54.1 | 44.3 | 15.31 | 8d20 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 17.3 | 26.5 | 5.24 | 8d16 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 43.1 | 35.6 | 13.61 | 8d18 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 11.5 | 21.8 | 5.45 | 8d16 |
| Котлован 14 м | | | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 129 | 93.8 | 25.67 | 8d25 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 41.5 | 40.9 | 13.13 | 8d18 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 101 | 73.1 | 22.44 | 8d25 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 31.9 | 32.8 | 11.75 | 8d16 |

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ОГРАЖДЕНИЯ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ РЕГИОНА

Применение разрядно-импульсной технологии устройства свай позволяет снизить и горизонтальные, и вертикальные перемещения, а также в некоторых случаях изгибающие моменты, возникающие в конструкции, однако, не заменяют устройство дополнительного яруса крепления ограждения. Применение РИТ уменьшает горизонтальные перемещения в диапазоне от 20 до 33% в зависимости от глубины котлована и количества ярусов анкерных креплений.

Вертикальные перемещения уменьшаются в диапазоне от 6 до 22% в зависимости от глубины котлована, причем, чем больше глубина котлована, тем существенней влияние применения разрядно-импульсной технологии снижение максимального момента, возникающего в конструкции, при использовании РИТ до 14%. Однако, в двух случаях (котлован 10 м, 1 уровень анкеров; котлован 12 м, 2 уровня анкеров) возникающий в конструкции момент был увеличен на 4-8%.

Это можно объяснить тем, что корни анкера переместились в вертикальной плоскости на большую величину по сравнению с ограждением котлована, что вызвало дополнительные усилия в анкерной тяге, что в свою очередь привело к незначительному увеличению изгибающего момента.

На основании локальных смет определены наиболее экономически выгодные варианты для каждого котлована (табл. 2).

На основании ТЭП можно сделать вывод, что устройство второго яруса анкерных креплений для ограждения котлованов из буронабивных свай, выполненных как в обсадной трубе, так и по разрядно-импульсной технологии экономически целесообразно для котлованов от 14 метров и глубже. Применение современных технологий при устройстве ограждений котлованов из буронабивных свай (в данном случае РИТ) позволяет экономить от 13 до 18% по сравнению с традиционными технологиями устройства ограждений котлованов из буронабивных свай.

Таблица 2 – Технико - экономическое сравнение выбора материалов и вариантов конструкций ограждений котлованов (стоимость устройства одной сваи)

| Конструкция ограждения котлована | Сметная стоимость (базисная), тыс. руб. | Сметная стоимость (текущая), тыс. руб. |
|--|---|--|
| Котлован 10 м | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 10.236 | 75.031 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 9.896 | 76.439 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 21.039 | 63.807 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 20.634 | 64.923 |
| Котлован 12 м | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 12.926 | 92.164 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 12.505 | 93.285 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 26.429 | 79.666 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 26.032 | 80.840 |
| Котлован 14 м | | |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в одном уровне | 17.888 | 121.433 |
| Буронабивная свая с анкерным креплением в двух уровнях | 15.348 | 111.248 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в одном уровне | 30.889 | 98.972 |
| Свая РИТ с анкерным креплением в двух уровнях | 28.993 | 92.206 |

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Необходимость обоснования выбора материала при проектировании и строительстве подземных и заглубленных сооружений, требующих устройство глубоких котлованов в стесненных условиях городской застройки, а значит и устройства высоких подпорных стенок, актуальна для большинства крупных городов России, в том числе и для Барнаула.

2. В России имеется богатый опыт материаловедческих решений при строительстве подземных и заглубленных сооружений, требующих устройство глубоких котлованов в стесненных условиях городской застройки, однако, подобные сооружения в основном строятся в Москве и Санкт-Петербурге, в Алтайском крае значительного опыта строительства подобных сооружений пока нет.

3. В арсенале проектировщика на сегодняшний день имеется широкий выбор материаловедческих и конструктивных решений ограждения глубоких котлованов, каждое из которых имеет свои достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при обосновании выбора материала и проектировании в конкретных геологических и климатических условиях.

4. Существующие классические методы расчета не учитывают многих факторов и дают значительно завышенные коэффициенты запаса, что приводит к удорожанию конструкции.

5. Наиболее прогрессивными методами расчета при проектировании глубоких котлованов являются метод конечных элементов, и численные методы решения контактных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генеральный план городского округа - города Барнаула Алтайского края: Решение Барнаульской городской Думы от 26.02.2010 №245 "Об утверждении Генерального плана городского округа – города Барнаула Алтайского края" (с изм. от 28.02.2011 №450).

2. Петрухин В. П. Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений [Текст] / В.П. Петрухин, И.В. Колыбин, Д.Е. Разводовский // XII том РАСЭ Строительство подземных сооружений. – 2008. – С. 212 – 220.

3. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов / Ильичев В.А. [и др.] – М.: РААСН, 2004. – 96 с.

4. Носков И.В., Ширедченко Е.П. Конструктивные решения и методы расчета ограждений глубоких котлованов Ползуновский альманах №1 2016 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова: Изд-во АлтГТУ – 2016-227с. С 160-164.

5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 162 с.

6. СП24.13330.2011. Свайные фундаменты. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 90 с.

7. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.-160 с.

8. Мангушев Р.А. и др. Современные свайные технологии: учебное пособие / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 240 с.

9. ТР50-180-06.Технические Рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи РИТ) - М.:ООО «УИЦ "ВЕК"», 2006. – 68 с.

Носков Игорь Владиславович, к.т.н., заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail: noskov.56@mail.ru, 8(3852) 29-07-41