

ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНА ПОДПОРНОЙ СТЕНКОЙ ИЗ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С АНКЕРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ

Б.Н. ИСАЕВ, С.Ю. БАДЕЕВ, В.Р. БАБАЯН, А.Г. ЛУНЕВ, Н.Н. ЦАПКОВА, В.В. БЕЛОКЛЮЧЕВСКИЙ – НИИ механики и прикладной математики им. И.И. Воровича ЮФУ, г. Ростов-на-Дону.

В.С. БАДЕЕВ, М.В. КУЗНЕЦОВ, В.А. БАКАРАС – Научно-исследовательское производственное предприятие «ИНТРОФЭК», г. Ростов-на-Дону.

В.В. ЛОГУТИН – Ростовский Государственный Строительный Университет.

В связи с реконструкцией центральной части г. Ростова - на - Дону все чаще возникает необходимость возведения подземных гаражных стоянок и других заглубленных сооружений в условиях плотной городской застройки. Наиболее надежным и экономичным решением при этом для ограждения котлованов является устройство гибких подпорных стенок из буронабивных свай с анкерным креплением. Приводится опыт проектирования и возведения таких стенок с использованием анкеров из буронабивных свай в сложных инженерно-геологических условиях г. Ростова-на-Дону.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных проблем интенсивно развивающейся в последние годы отрасли строительства является возведение зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки при реконструкции центральной части городов. Многие отводимые под строительство площадки вплотную примыкают к существующим жилым домам, памятникам местного и федерального значения и имеют сложные геологические условия. Учитывая повышенную этажность возводимых сооружений и потребность в освоении подземного пространства, возникает необходимость разработки надежных и экономичных технических решений при ограждении котлованов [1].

При этом решаются следующие задачи:

– обеспечение устойчивости стенок котлованов на период возведения подземных конструкций сооружения;

– исключение неравномерных осадок фундаментов примыкающих зданий и, как правило, аварийных деформаций их конструкций.

В настоящее время в г. Ростове-на-Дону при возведении котлованов глубиной 3-4 м и отсутствии подземных вод с целью решения

поставленных выше задач широко применяют инъекционные способы укрепления грунтов и возведение шпунтовых рядов из буронабивных свай \varnothing 250-300 мм с шагом 0,4-0,6 м и длиной 10-15 м. Головы свай для обеспечения их совместной работы объединяются монолитным железобетонным ростверком.

Армирование свай и глубина заделки определяются расчетом, исходя из действующих нагрузок и свойств грунта. Шпунтовый ряд выполняется замкнутым по контуру здания и служит не только для ограждения котлована и исключения взаимовлияния сооружений, но и для снятия отрицательных сил трения в грунтовых условиях II-го типа по просадочности. При этом выполняется плитный фундамент с укреплением просадочных грунтов одним из существующих способов[2].

При глубине котлована более 5-6 м и наличии слабых водонасыщенных грунтов, в связи с увеличением нагрузок и необходимостью возведения свай в обсадных трубах (либо замену их на буронабивные сваи), резко возрастает глубина заделки, расход арматуры, трудоемкость работ и их стоимость.

В этих условиях на ряде объектов г. Ростова-на-Дону были выполнены ограждающие

подпорные стенки из буронабивных свай с анкерным креплением.

Таблица 1

Расчетные значения характеристик

| Слой грунта | ρ , г/см ³ | $E_{ест} / E_{зам}$ МПа | c , кПа | φ , град. | I_L |
|-------------|----------------------------|-------------------------|-----------|-------------------|-------|
| ИГЭ-1 | 1,79 | 12,7 / 4,5 | 9 | 14 | 0,65 |
| ИГЭ-2 | 1,83 | 15,6 / 6,0 | 14 | 14 | 0,48 |
| ИГЭ-3 | 1,89 | 18,1 / 15,6 | 26 | 21 | 0,37 |
| ИГЭ-4 | 1,93 | - / 14,4 | 29 | 20 | 0,22 |
| ИГЭ-5 | 1,95 | - / 19,8 | 25 | 21 | 0,08 |

2. ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ 9-19-ТИ ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ПО ПР. ЧЕХОВА, 63, 65/ УЛ. ГОРЬКОГО, 154А В Г. РОСТОВЕ-НА-ДОНУ

Многоэтажный жилой дом с объектами общественного назначения и подземной автостоянкой каркасно-монолитной конструкции, нормальной ответственности включал 9-ти и 19-ти этажные части с подвалом.

Фундаменты плитные из монолитного железобетона толщиной 0,9-1,4 м. К зданиям примыкает строящаяся 2-х уровневая подземная автостоянка каркасно-монолитной конструкции на плитных фундаментах толщиной 0,6 м, а также существующие 2-3-х этажные жилые дома. Глубина котлована составляла 6,8-7,3 м.

Согласно материалам изысканий площадка строительства зданий относится к грунтовым условиям II-го типа по просадочности. В основании сооружения до глубины 6,6-17,3 м залегают легкие, просадочные, пылеватые суглинки твердой консистенции (ИГЭ-1, ИГЭ-2). Просадка под действием собственного веса при замачивании составляет 6,0-14,8 см. Ниже залегают непросадочные тяжелые суглинки (ИГЭ-3) и водонасыщенные полутвердой консистенции суглинки (ИГЭ-4), переходящие в легкие твердой консистенции глины (ИГЭ-5). Уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 14,0-19,7 м от поверхности земли. Подземные воды обладают сульфатной агрессией к бетонам на обычных портландцементных. Физико-механические характеристики слоев грунта приведены в таблице 1.

В связи со сложными инженерно-геологическими условиями (наличие просадочных грунтов II-го типа), а также примыканием существующих строений, проектом предусмотрено конструктивное решение по укреплению грунтов основания фундаментов методом цементации через направленные разрывы [3]. По контуру плит возведены ограждающие, а между секциями жилого дома и примыкающими автостоянками разделительные ряды из буронабивных свай.

Ограждающие ряды служили для защиты котлована, исключения влияния строящегося сооружения на примыкающие строения и снятия негативного трения по боковой поверхности армированного основания. Разделительные ряды – для исключения взаимовлияния строящихся частей здания.

В связи с большой глубиной котлована и близким расположением существующих строений, проектом было предусмотрено устройство контурного ограждающего ряда с анкерным креплением.

Свай ограждающих рядов, объединенные поверху ростверком, рассматривались как гибкая подпорная стенка. Высота консольной части шпунта для ограждения котлована была принята в расчете 7,3 м. при заделке свай Ø300 мм, длиной 16 м на глубину 8,7 м ниже дна котлована (с учетом необходимости снятия усилий негативного трения).

Предварительные расчеты показали, что при такой заделке и действующих нагрузках невозможно обеспечить общую устойчивость системы «грунт-стена», а также местную прочность грунта в области заделки без устройства анкерной системы.

С целью снижения усилий в уровне заделки принято решение выполнить на участках примыкания существующих строений однорядную подпорную стенку из буронабивных свай с двухъярусным креплением ее к грунтовому массиву анкерами из буруинъекционных свай. На остальных участках – с одноярусным.

Ввиду этого с целью снижения усилий в уровне заделки было принято решение выполнить крепление подпорной стенки в двух ярусах анкерными буруинъекционными сваями Ø 250 мм и длиной 10 м. Анкерные сваи размещались вдоль стенки с шагом 2,0 м и объединялись ростверком. Для обеспечения

надежной работы анкера были запроектированы под углом 50° от вертикали согласно рекомендациям работы [7]. Параметры свай, анкеров и устойчивость всей системы были обоснованы расчетами [9]. Общий вид размещения ограждающих рядов с местами установки анкерного крепления дан на рис. 1.

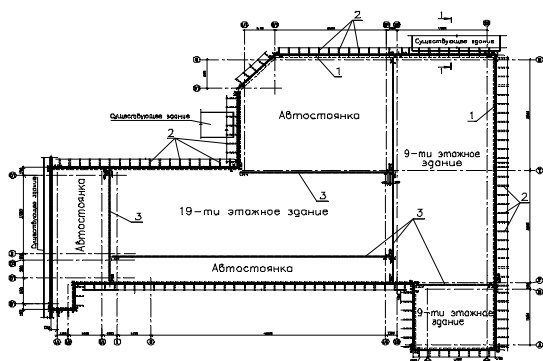


Рис. 1. Общий вид размещения ограждающих рядов с местами установки анкерного крепления:

- 1 – контурная однорядная подпорная стенка из буронабивных свай $\varnothing 300$ мм, $L = 16$ м;
- 2 – буронабивные сваи-анкеры $\varnothing 250$ мм, $L = 10$ м;
- 3 – разделительные ряды из буронабивных свай $\varnothing 230$ мм, $L = 12$ м.

На рис. 2. показан разрез 1-1 после выемки котлована.

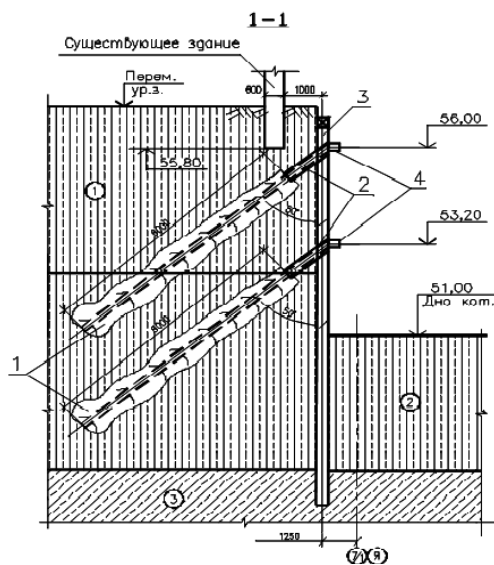


Рис. 2. Общий вид подпорной стенки с анкерным креплением в месте примыкания здания

- 1-свая-анкер; 2-кондукторные трубы;
- 3-сваи $\varnothing 300$ мм, $L = 16$ м; 4-ростверк.

Как видно из рисунка, расстояние до ближайшего существующего строения составило 1,2 м. при заглублении ленточного фундамента шириной 0,6 м на 2,3 м от уровня природного рельефа. Давление по подошве равно $20,9 \text{ т/м}^2$.

Статическое исследование работы шпунтовых стенок выполнялось для трёх сечений, отличающихся по геометрическим характеристикам и по нагрузке. Шпунт находится в равновесии под действием активного и пассивного давления грунта, а также силы анкерного натяжения. Давление на стенку определялось, принимая во внимание угол внутреннего трения грунтов всех инженерно-геологических элементов. Наиболее рациональное расположение анкеров принято из условия максимального использования несущей способности грунта и материала шпунтовых свай. Горизонтальные проекции анкерных усилий рассчитаны методом конечных элементов. Поперечное сечение шпунтовых свай назначено на основании величины максимального изгибающего момента в свае. По результатам статического расчёта вычислена площадь арматуры в сечении сваи. Местная прочность грунта проверялась для наиболее нагруженного сечения в котором расчётные значения момента и горизонтальной силы в уровне заделки сваи составили $M = 3,25 \text{ тм}$; $F = 1,86 \text{ т}$. Расчёт проводился с использованием графиков 7.12 и 7.15 [9].

Далее рассчитывалась несущая способность анкеров на основании величин касательных усилий, возникающих на боковой поверхности. Длина анкерных элементов и расстояние между ними приняты из условия обеспечения равновесия шпунтовой стенки с учетом коэффициента запаса 1,7. На основании расчётного усилия принято армирование анкеров.

Сваи были заармированы согласно расчету каркасами из шести стержней арматуры класса АШ $\varnothing 28$ мм. По проекту для бетонирования свай был принят бетон класса В 25 на сульфатостойком цементе. Анкеры верхнего яруса армировались каркасами из четырех стержней арматуры класса АШ $\varnothing 16$ мм, а нижнего – АШ $\varnothing 20$ мм.

Сваи-анкеры были выполнены с использованием пескобетона класса В 15 на сульфато-

стойком цементе и объединялись ростверком из металлических конструкций. Пескобетон, примененный для изготовления буроинъекционных свай-анкеров, имел плотность в пределах 1,75 г/см³, подвижность по конусу АзНИИ не менее 17 см и водоотделение не < 2%.

Расчетная несущая способность анкеров первого и второго яруса соответственно составляла 19,7 и 33,6 тс., что было подтверждено результатами полевых испытаний анкеров на выдергивание согласно [10]. Выполнение свай-анкеров и их испытание производилось фирмой ООО «Алектич». Общий вид стенда в момент испытания свай-анкеров первого яруса приведен на рис. 3.

Буроабивные сваи выполнялись согласно указаниям [4], раздел 11 «Свайные фундаменты, шпунтовые ограждения и анкеры».

Работы по возведению свай включали следующие операции:

- планировку площадки с разбивкой мест бурения скважин;
- бурение скважин через одну до проектных отметок;
- установку арматурного каркаса в проектное положение;
- бетонирование ствола сваи с вибрированием бетона;
- выполнение пропущенных свай;
- монтаж арматуры и устройство ростверков.



Рис. 3. Общий вид стенда в момент испытания свай-анкеров первого яруса.

Бурение скважин вели серийно выпускаемыми машинами УГВ-50 М, ЛБУ-50М с использованием шнеков Ø 300 мм. После бурения скважины очищались от шлама и бетонировались согласно проекту.

Доставка бетона осуществлялась миксерами. Подача бетона в скважины производилась методом вертикально перемещающейся трубы с вибрированием. Для бетонирования использовался мелкозернистый бетон с осадкой конуса 16-18 см. Необходимая подвижность смеси обеспечивалась за счет введения пластифицирующих добавок при приготовлении бетона на заводе ЖБК. После выполнения работ по возведению буронабивных свай производилась выемка котлована до отметки первого яруса анкеров.

Анкеры из буроинъекционных свай возводились согласно требованиям [4, 8]. Технологическая схема предусматривала выполнение работ в следующем порядке:

- производилась планировка площадки и разметка мест бурения свай-анкеров;
- выполнялось бурение скважин через одну с промывкой их раствором;
- скважина заполнялась пескобетоном;
- устанавливался арматурный каркас;
- производилось обжатие ствола сваи-анкера избыточным давлением;
- выполнялись пропущенные сваи-анкеры;
- монтировался ростверк, объединяющий сваи-анкеры.

Бурение скважин выполнялось станком СБУ-100 через предварительно установленные (в проектных точках между буронабивными сваями) трубы – кондукторы длиной 1,5-2,0 м. При бурении использовали трехшарошечное долото Ø 250 мм. Бурение велось с промывкой глинистым буровым раствором.

Для уменьшения водоотдачи к буровому раствору добавлялся раствор силиката натрия. Промывка при бурении производилась насосом НБ-4-3/160 по закрытой схеме с применением превентора, установленного на трубокондукторе. Шлам по трубопроводу отводился в емкость-отстойник. После окончания бурения скважина промывалась свежим раствором в течение 2-3 мин. На рис. 4. приведен общий вид установки при бурении скважин свай-анкеров под глинистым раствором.

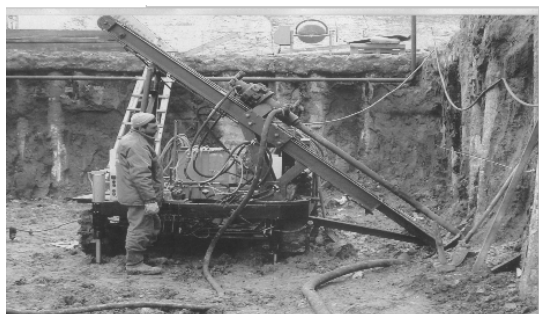


Рис. 4. Общий вид установки при бурении свай-анкеров под глинистым раствором.

Для инъекционного раствора применялся сульфатостойкий цемент активностью не ниже 400 с нормальной густотой цементного теста 22-29%. Подвижность свежеприготовленного цементного раствора составляла не менее 17 см по стандартному конусу. Соотношение цемент/вода выдерживалось 1 : (0,4-0,7).

Приготовление пескобетона производили в скоростных турбулентных лопастных смесителях с частотой вращения 200 об/мин. В скважину пескобетон подавался по шлангу насосом через буровой став. Вытесняемый снизу вверх буровой раствор собирался и перекачивался в емкость, а затем использовался повторно. Заполнение скважины велось до полного вытеснения бурового раствора, то есть до появления в отводящей сети чистого цементно-песчаного раствора.

В скважину, заполненную раствором, арматурный каркас устанавливался секциями, имеющими длину не более 4,5 м. Стыковка отдельных секций производилась с помощью сварки. После установки армокаркаса в проектное положение и при отсутствии утечек раствора из скважины производилась опрессовка ствола свай.

Для опрессовки в верхней части трубы-кондуктора устанавливался тампон (обтюратор) с манометром и через инъектор производилось нагнетание раствора под давлением 0,2-0,3 МПа в течение 1-3 мин. По окончании работ сваи-анкеры объединялись ростверком. После набора прочности и включения в работу анкеров первого яруса был пройден котлован до отметки верха второго яруса анкеров. Анкеры второго яруса выполнены по аналогичной технологии.

По завершению всего комплекса работ котлован был доработан до проектных отметок и возведен плитный фундамент 9-ти этажной части здания с закреплением грунта под ним. Работы 1-го этапа были закончены за два месяца. Всего выполнено 625 свай и 80 анкеров. В настоящее время ведется монтаж монолитных железобетонных конструкций нулевого цикла.

С целью выявления недопустимых отклонений и осадок примыкающих строений, проектом предусмотрен мониторинг за поведением ограждающего шпунта в период возведения конструкций нулевого цикла, а также геодезическое наблюдение за осадками примыкающих строений по программе, разработанной специализированной организацией.

Максимальные горизонтальные смещения верха шпунтового ограждения при этом не превысили 15-20 мм в местах примыкания существующих строений (там где два яруса анкеров) и 20-30 мм в остальных местах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Введение анкерного крепления позволило максимально использовать несущую способность грунта и материал шпунтовых свай.

2. Устройство подпорной стенки из буронабивных свай с анкерным креплением обеспечило не только надежное ограждение котлована и снятие усилий негативного трения по контуру армированного основания, но и дало возможность исключить неравномерные осадки примыкающих строений.

3. Опыт возведения подпорных стенок из буронабивных свай с анкерным креплением в г. Ростове-на-Дону показал, что ограждение котлованов глубиной более 7,0 м возможно с использованием свай диаметром 300 вместо 500-600 мм. Это позволило сократить стоимость и сроки строительства.

Список литературы

1. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. *Геотехническое сопровождение развития городов*. Санкт-Петербург, 2010.

2. ТСН 50-306-2005 Ростовской области «*Основания и фундаменты повышенной несущей способности*». – Министерство

строительства, архитектуры и ЖКХ Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, 2006.

3. Патент 2122068. *Способ подготовки основания* / Исаев Б.Н., Бадеев С.Ю., Цапкова Н.Н. // Бюллетень изобретений и открытий. - 1998. - № 32.

4. СНиП 3.02.01 - 87 *Земляные сооружения, основания и фундаменты*. М. 1987

5. СНиП 2.02.01 - 83* *Основания зданий и сооружений*. М. 1986.

6. СНиП 2.02.03 - 85 *Свайные фундаменты*. М. 1986.

7. Перлей Е.М., Раюк В.Ф., Беленькая В.В., Алмазов А.М. *Свайные фундаменты и заглубленные сооружения*. Л. Стройиздат, 1989.

8. Рекомендации по применению буроинъекционных свай. М. НИИОСП, 1984.

9. Справочник проектировщика. *Основания, фундаменты и подземные сооружения*. М. Стройиздат, 1985.

10. Методика проведения контрольных и приемочных испытаний анкеров. Приложение 63. *Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов*. (к СНиП 3.02.01-83). М. Стройиздат, 1986.