

## Выбор ограждающей конструкции глубокого котлована в зоне транспортного туннеля при точечной застройке

*А.В. Манько*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Современная проблема застройки больших городов состоит в том, что почти не осталось мест для свободной застройки. Поэтому приходится выполнять так называемую «точечную застройку», когда строительство ведется в стесненных условиях. При этом очень часто участки строительства попадают в зону действия метрополитена, что вызывает определенные сложности при строительстве сооружений в глубоких котлованах.

**Ключевые слова:** моделирование, напряженно-деформированное состояние, туннель, метрополитен, глубокий котлован, точечная застройка, ограждение котлована.

### Введение

Проблемы современных больших городов состоят в том, что на их территории почти не осталось свободных территорий для нового строительства. Большинство резервных территорий, предназначенных для жилищного строительства, уже освоены зданиями с развитой подземной частью. Часть оставшихся резервных территорий под застройку располагаются в непосредственной близости от зон железных дорог и метрополитенов. Строительство рядом с такими зонами сопряжено с определенными рисками, связанными с воздействием нового строительства на напряженно-деформированное состояние (НДС) действующих туннелей линий метрополитенов и железных дорог.

### Современное состояние вопроса

Проблема строительства рядом с существующей застройкой, определение взаимного влияния строительства на окружающие надземные и подземные сооружения и окружающую среду не является новой. Данной проблеме посвящено много работ. Например, в одной из таких работ рассматривалось взаимное влияние подземных конструкций морского порта

---

и их взаимодействие с окружающим массивом [1]. Также другие работы [2,3] посвящены проблеме взаимодействия ответственных подземных сооружений и вмещающего массива.

Самое сложное в строительстве зданий и сооружений с развитой подземной частью это взаимное влияние на окружающую застройку, особенно на туннели метрополитенов. Поэтому строительство в зоне туннелей метрополитенов до настоящего времени не особо развито.

### **Постановка задачи**

В данной статье рассматривается выбор ограждающей конструкции глубокого котлована в зоне действия линии метрополитена. В связи с нежеланием заказчика данной работы давать конкретные географические данные в дальнейшем будет рассматриваться гипотетический глубокий котлован и гипотетическая линия метрополитена.

Линия метрополитена имеет круглое очертание диаметром «в черне» 6,2 метра. Обделка туннеля – железобетонные тубинги. Глубина заложения оголовка рельса в рассматриваемом сечении 18 метров. Котлован строящегося здания 7-ми этажного нежилого здания с 3-х ярусной подземной автостоянкой имеет прямоугольную форму с размерами в плане 13х65 метров. Глубина котлована составляет 10–10,5 метров. Расстояние между котлованом и туннелем метрополитена составляет 26–27 метров. Грунты – четвертичные пески различной крупности.

Необходимо подобрать такое ограждение котлована, при котором нет воздействия на туннель метрополитена или это воздействие минимально в пределах допустимого по СП 120.13330.2012 «Метрополитены».

Для моделирования взаимного влияния строящегося объекта на окружающий массив и туннель метрополитена будет применен швейцарский программный продукт ZSOIL, реализующий метод конечных элементов и

---

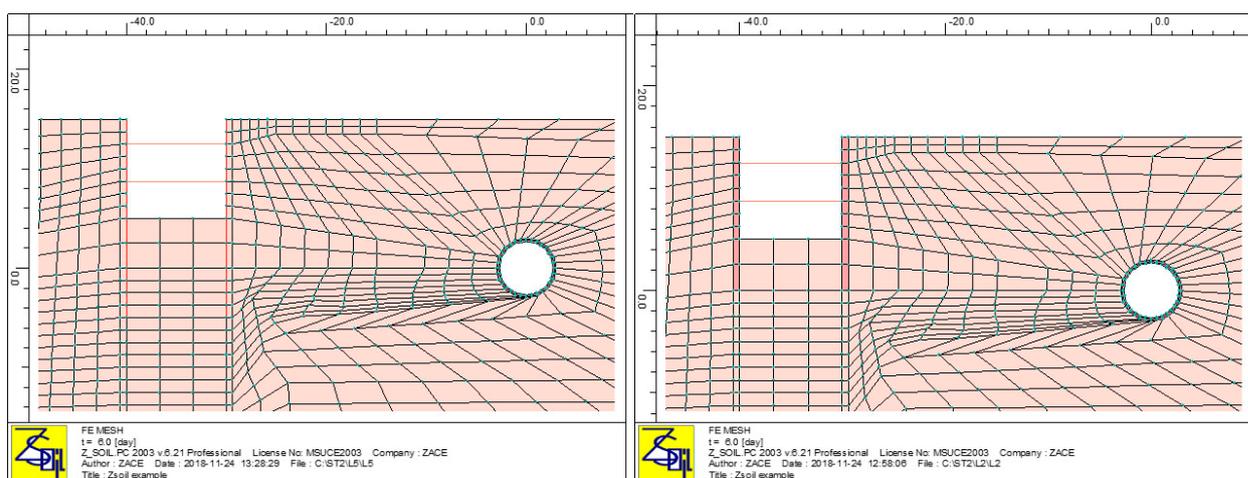
предназначен, в первую очередь, для решения геомеханических и геотехнических задач.

### Решение задачи

В качестве ограждения котлована заданием на проектирование предполагается использовать металлические трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91 диаметром от 426 мм до 630 мм с забиркой деревом. В качестве альтернативы заданием на проектирование предлагается рассчитать траншейную монолитную железобетонную стену в грунте толщиной 400 мм или 600 мм.

Предварительный расчет устойчивости ограждающих конструкций из труб показал, что могут быть использованы следующих размеров: диаметром 530 мм со стенкой 8 мм и более или диаметром 630 мм со стенкой 7 мм и более. Шаг труб должен составлять 0,75–1 метр.

При использовании в качестве ограждения котлована железобетонной траншейной стены в грунте ее толщина должна быть 600 мм. Примерные расчетные схемы представлены на рис.1. На рисунке представлена центральная часть расчетной схемы.



а)

б)

Рис.1. – Пример расчетных схем для моделирования: а) ограждение котлована из труб; б) ограждение котлована стеной в грунте

При проведении всех серий расчета моделировался открытый метод строительства способом «снизу-вверх». Для крепления стен котлована были выбраны распорки из труб в два яруса с креплением в распределительный пояс из двутавровых балок. Эти распорки применялись во всех проведенных моделированиях. Равномерно-распределенная нагрузка от вновь возводимого здания условно не показана.

При моделировании глубины ограждающей конструкции используется много раз апробированное правило [4-10] – длина участка заделки траншейной стены в грунте после дна котлована должна составлять 1/3-1/2 глубины котлована, а при устройстве крепления стен котлована из труб длина участка заделки должна составлять 1/2–1 глубины котлована. Поэтому для первого моделирования была выбрана минимальная глубина заделки ограждающих конструкций котлована.

Ниже на рис.2 даны результаты моделирования (перемещения в грунтовом массиве) монолитной железобетонной стены в грунте и шпунта из труб общей глубиной 15м., следовательно, глубина заглубления хвостовика составляет 1/2 глубины котлована.

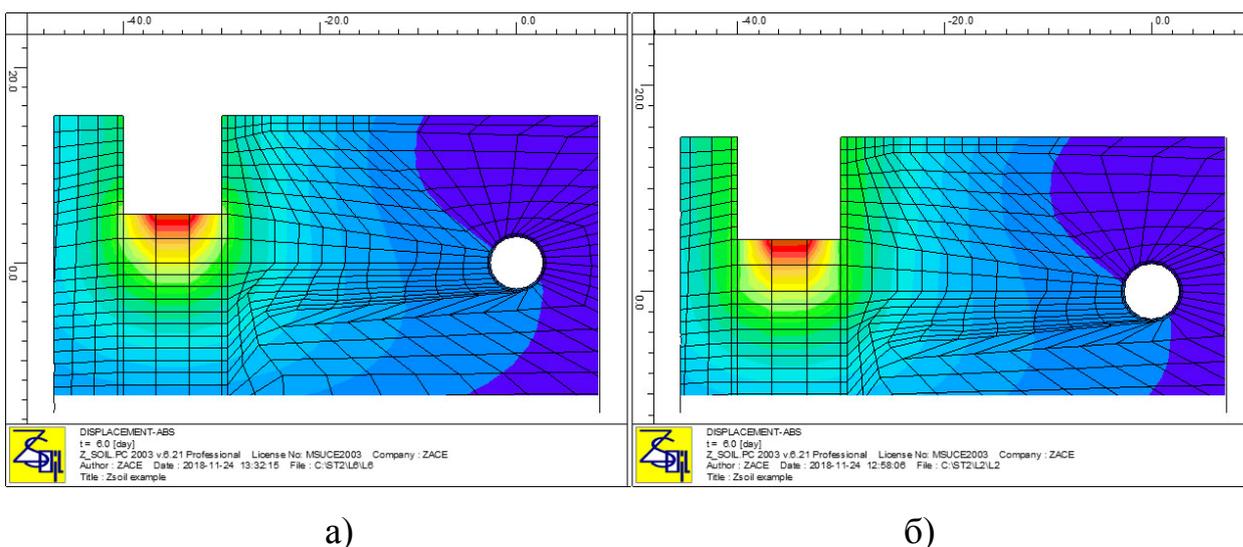


Рис.2 – Перемещения в массиве при глубине ограждения 15м: а) ограждение котлована из труб; б) ограждение котлована стеной в грунте

Как видно из представленных результатов в обоих случаях зона влияния достигает туннеля метрополитена. В первом случае максимальная деформация грунта у обделки туннеля составила 1,2 см, а во втором случае 0,9 см. Такие результаты не приемлемы.

Далее, на рис.3, представлены результаты проведенного моделирования ограждения котлована из труб глубиной 20 м. и 30 м.

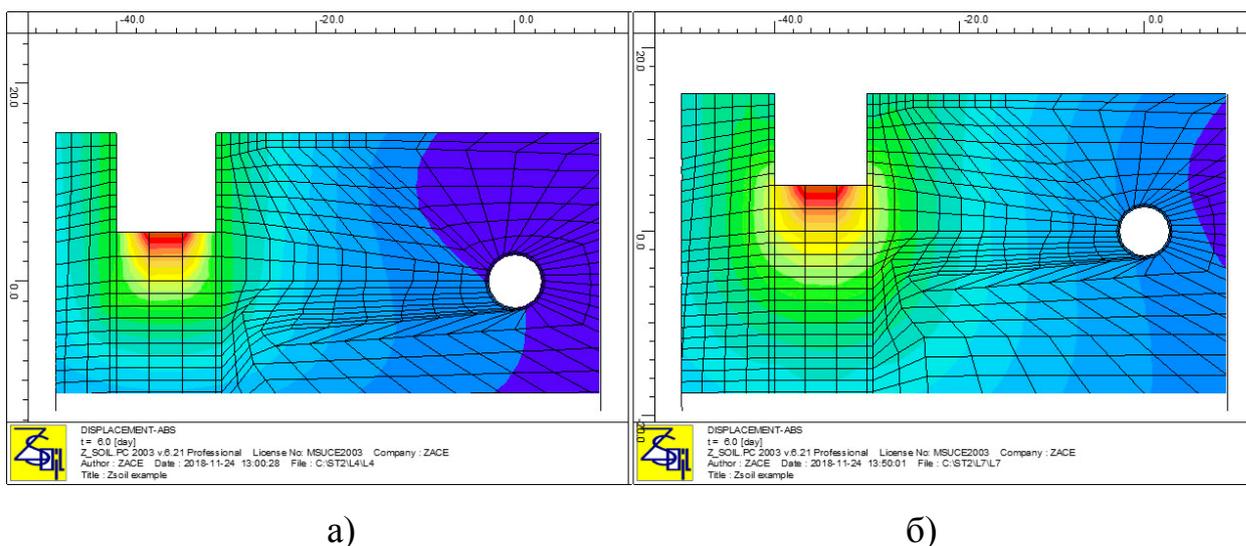
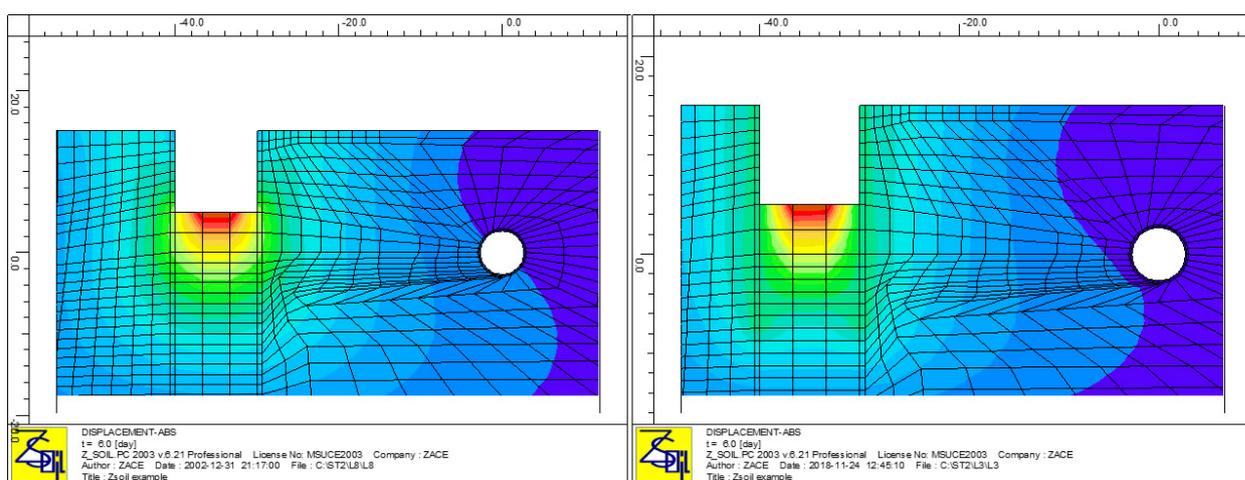


Рис.3 – Перемещения в массиве при ограждении котлована из труб: а) глубина ограждения котлована 20 м; б) глубина ограждения котлована 30 м

При анализе полученных результатов видно, что при глубине ограждения котлована 20 м. зона влияния от глубокого котлована также распространяется в массиве до обделки туннеля с величиной перемещения грунта 1,23 см. При увеличении глубины труб увеличилась и зона влияния на туннель. Теперь в зону влияния котлована попадает весь туннель с максимальным перемещением грунта около обделки туннеля 2,5 см. Данные результаты также не приемлемы.

Далее был проведен ряд моделирований ограждения котлована из труб в каждом из которых глубина ограждения увеличивалась. Каждый такой расчет согласовывался с заказчиком проекта. В итоге только при глубине 36 метров ограждения из труб не оказывали большого воздействия на туннель.

На рис.4 показан результат проведенного моделирования. Также на данном рисунке изображен результат моделирования работа траншейной монолитной железобетонной стены глубиной 20м. Максимальные перемещения грунтового массива около обделки туннеля составили: при ограждении из труб 3 мм., при ограждении монолитной стеной в грунте 0 мм, т.к. зона влияния глубокого котлована не доходит до туннеля.



а)

б)

Рис.3 – Перемещения в массиве при ограждении котлована из: а) труб глубиной 36м; б) траншейной монолитной стеной в грунте глубиной 20м

После проведения целого ряда численного моделирования можно сделать окончательный вывод о том, что для ограждения данного глубокого котлована можно использовать металлические трубы длиной 36 м. или траншейную монолитную железобетонную стену в грунте глубиной 20 м. При таких величинах воздействие на существующий туннель метрополитена будет минимально. Но учитывая стоимость бурения скважины глубиной 36 метров траншейная монолитная железобетонная стена в грунте будет дешевле. К тому же только одна фирма в Москве согласилась сделать такие глубокие скважины и стоимость 1 погонного метра такой скважины почти в десять раз дороже бурения обычной скважины.

### Заключение

Для дальнейшего проектирования заказчик принял решение использовать ограждение котлована металлическими трубами диаметром 530 мм, длиной 36 м с шагом 0,75 м. Причина такого решения не известна. Возможно, ответ кроется в расчете заказчиком своей сметы на строительство.

### Литература

1. Прокопов А.Ю., Акопян В.Ф., Гаптлисламова К.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и взаимного влияния подземных конструкций существующих и вновь возводимых сооружений в береговой зоне морского порта Тамань // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104)
2. Панасюк Л.Н., Таржиманов Э.А., Чантха Хо. Моделирование работы сооружений с учетом проявления неравномерных деформаций в основании // Инженерный вестник Дона. 2011. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/591](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/591)
3. Гоцев Д.В., Свиридова Е.Н. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния упругого массива вблизи сферической полости с учетом технологической неоднородности его механических свойств // Инженерный вестник Дона. 2018. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5139](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5139)
4. Зерцалов М.Г., Колюхов Д.С., Устинов Д.В., Симутин А.Н., Хохлов И.Н. Оценка взаимного влияния строительства тоннелей метрополитена и возводимого над ними многоэтажного комплекса // Транспортное строительство. 2014. №11. С.4-6
5. Никишкин М.В. О работе свай-стоек в скальных грунтах // Вестник МГСУ. 2010. №4-4. С.88-94

6. Зерцалов М.Г., Устинов Д.В., Скрялев Е.Г., Королев М.В., Гутерман М.С. Моделирование реконструкции и нового строительства сооружений исторической застройки // Вестник МГСУ. 2010. №4-4. С.85-87

7. Зерцалов М.Г., Устинов Д.В., Меркин В.Е., Щекудов Е.В. Исследование влияния строительства объектов городской инфраструктуры на сооружения метрополитена на математических моделях // Метро и тоннели. 2009. №2. С.34-35.

8. Зерцалов М.Г., Симутин А.Н., Устинов Д.В., Хохлов И.Н. Обеспечение сохранности многоэтажных зданий при сооружении тоннелей // Метро и тоннели. 2014. №3. С.28-29

9. Fang H-Y. Foundation Engineering Handbook. New York: Springer, 1991. P.905

10. Kolymbas D. Tunnelling and Tunnel Mechanics. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. P.440

### References

1. Prokopov A.Yu, Akonyan V.F., Gaptlislamova K.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2104)

2. Panasyuk L.N., Tarzhimanov E.A. Chantkha Kho. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2011. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/591](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/591)

3. Gotsev D.V., Svitidova E.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2018. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5139](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5139)

4. Zertsalov M.G., Konyukhov D.S., Ustinov D.V., Simutin A.N., Khokhlov I.N. Transport construction. 2014. №11. P.4-6

5. Nikishkin M.V. Vestnik MGSU. 2010. №4-4. P.88-94

6. Zertsalov M.G., Ustinov D.V., Skrylev E.G., Korolev M.V., Guterman M.S. Vestnik MGSU. 2010. №4-4. P.85-87



7. Zertsalov M.G., Ustinov D.V., Merkin V.E., Schekudov E.V. Metro i tonneli. 2009. №2. P.34-35.
8. Zertsalov M.G., Simutin A.N., Ustinov D.V., Khokhlov I.N. Metro i tonneli. 2014. №3. P.28-29
9. Fang H-Y. New York: Springer, 1991. P.905
10. Kolymbas D. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. P.440