

## Моделирование применения геотехнического экрана для минимизации влияния нового строительства на станцию метрополитена

*Д.А. Денисова, Е.А. Муравьева, А.В. Манько*

*Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Актуальность данного исследования состоит в том, что будут учтены взаимные влияния существующих транспортных объектов и вновь возводимой подземной части, будут определены способы минимизации геомеханического воздействия друг на друга. Предметом исследования является напряженно-деформированное состояние системы «сооружение – массив – сооружение». Целью исследования являются способы минимизации взаимного влияния метрополитена, железной дороги и подземной части проектируемого здания.

**Ключевые слова:** геотехнический экран, математическое моделирование, МКЭ, подземное сооружение, взаимное влияние, напряженно-деформированное состояние, метрополитен, железная дорога, МЦК.

### Введение

Геотехническим экраном называется сплошная или прерывистая конструкция (стена в грунте, шпунт и т.д.), которая устраивается в грунтах между будущим котлованом и сооружением, подлежащим защите.

Все больше развивается строительство на незастроенных территориях. Справедливости ради стоит отметить, что таких территорий в крупных городах из-за застройки становится все меньше. Но они еще присутствуют: это так называемые неудобья, полосы отвода под ЛЭП, защитные зоны транспортных коммуникаций, зоны отчуждений, водоохранные зоны, зоны редевелопмента бывших индустриальных зон. Строительство на данных территориях сопряжено с некоторыми сложностями [1].

Кроме того, развиваются транспортные коммуникации для создания инвестиционной привлекательности района на первом этапе развития района. При этом могут быть такие ситуации, когда новое строительство располагается в непосредственной близости от транспортных коммуникаций – например метро. В таких ситуациях без инженерных способов минимизации взаимного влияния не обойтись [2].

## Методы исследования

В настоящем исследовании для определения напряженно-деформированного состояния конструкций был применён Метод Конечных Элементов (МКЭ). Использование МКЭ в численных исследованиях позволяет моделировать сложные процессы взаимодействия сооружений с грунтовыми массивами. Инструментом для реализации возможностей МКЭ в данном случае был выбран программно-вычислительный комплекс «Z\_Soil v20», реализуемой Швейцарской компанией Zase Service [3].

Расчетная схема строится с учетом возможностей используемой программы расчета и должна отражать геологическую особенность вмещающего массива, конструкции сооружения, в том числе подземной части, с учетом технологических особенностей возведения сооружения [4].

Упругая модель при схематизации грунтового массива и материалов конструкций применяется наиболее часто. В данном исследовании упругой моделью моделировался железобетон. В рамках упругой модели принято рассматривать среду как квазиоднородную и квазисплошную, характеризующуюся разными величинами модулей упругости при сжатии и растяжении.

В случае, если за пределом упругости предполагается описание процесса деформирования в рамках теории пластичности, уравнение называется критерием пластичности или критерием пластического течения; в предположении хрупкого разрушения – критерием разрушения или критерием прочности. В данном исследовании использовался критерий Кулона – Мора, которым моделировалась геологическая среда [5,6].

Для исследования были взяты гипотетическое подземное сооружение (надземный дом, имеющий развитую подземную часть) в усредненном грунтовом массиве рядом со станцией линии метрополитена.

## Результаты исследования

Для исследования минимизации взаимного влияния проектируемого подземного комплекса на транспортные коммуникации было взято сечение, имеющее самое близкое расположение (20 м.) и которое проходит через подземную часть здания и станцию метрополитена [7,8]. Моделирование выполнялось в двумерной постановке.

Гипотетический подземный объект транспортного назначения основывается на реально существующей станции Московского метрополитена. Глубина заложения станции составляет 9 м. Станция возводилась в 1970-х годах открытым способом, в котловане. Следовательно, при первоначальном моделировании напряженно-деформированном состоянии (НДС) объекта в период строительства необходимы подпорные стены в грунте для вертикального крепления стен котлована. При необходимости устойчивость стен в грунте обеспечиваются анкерами, как в реальном проекте. Расчетная схема представлена на рис. 1.

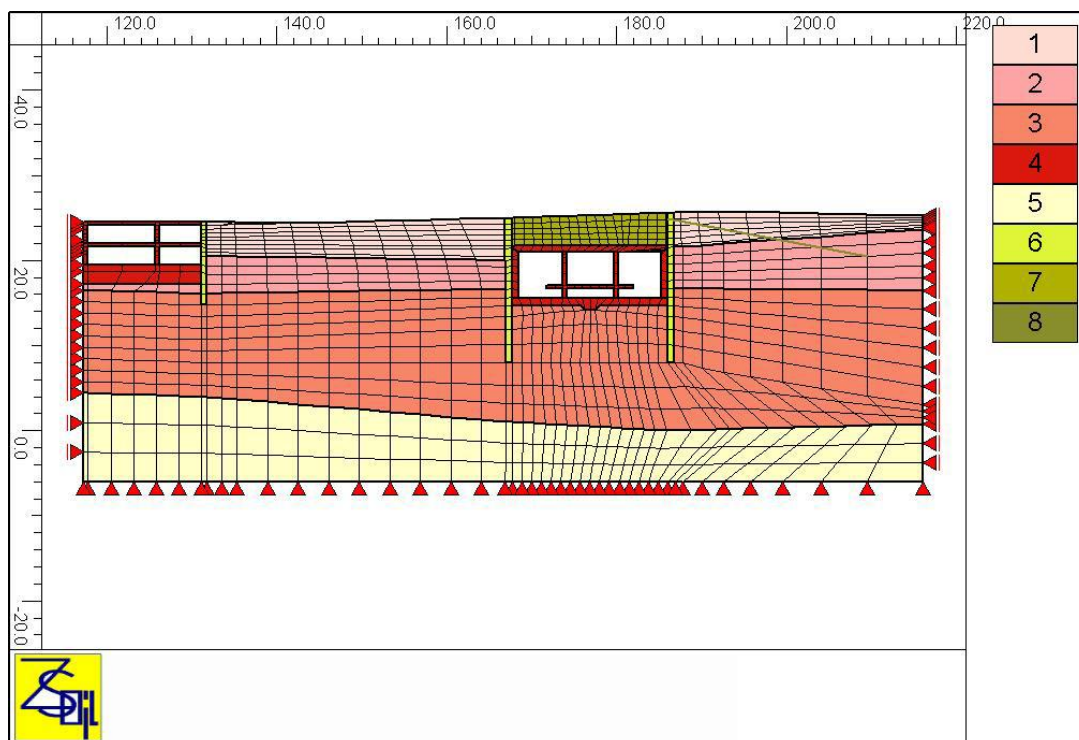


Рис. 1. – Расчетная схема по линии метрополитена

Первый расчет направлен на проверку параметров защитных стен в грунте для станции метрополитена. Далее моделируется геомеханическая работа станции метрополитена с учетом времени эксплуатации. Самая большая деформация, после стабилизации подпорной стены, будет в обратной засыпке и составила максимум 7,5 – 8,8 мм. Максимальная деформация в конструкциях станции составила 4,97мм.

В следующем расчете полностью «обнулены» результаты метро для того, чтобы определить максимальную деформацию грунта и конструкции возводимого подземного сооружения. Само сооружение моделировалось симметричным сечением, т.е. в расчетах была отброшена часть сооружения. Максимальная деформация в основании составила 3,7 см. Максимальная деформация стены в грунте, ограждающей котлован вновь возводимого объекта, составила 0,6 см. Анализ результатов дает полное основание утверждать, что при предложенной схеме возведения сооружения данный объект можно строить.

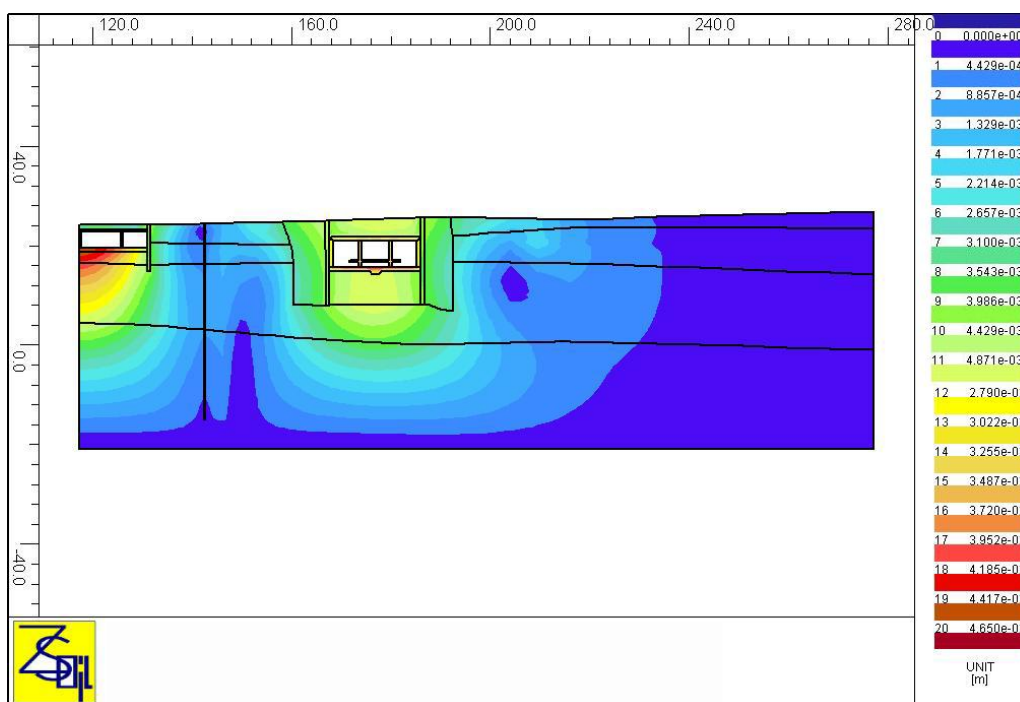


Рис.2. - Результаты окончательной минимизации взаимного влияния метро и нового подземного сооружения

В результате нескольких поверочных расчетов был выбран наиболее предпочтительный вариант устройства геотехнических стен. Результаты моделирования с данным вариантом представлены на рис.2. Это стена в грунте из буросекущихся свай диаметром 800 мм, глубиной 36 м. Анализируя полученный результат, видно, что максимальная деформация стены в грунте составит 1,05см. При этом максимальная деформация станции метро по расчетам составила 4,2 см, что недопустимо много. Поэтому вокруг станции метро необходимо произвести укрепление грунта на глубину от 8 до 12 м. В данном случае предлагается в качестве закрепления грунта использовать инъецирование цементно-песчаным раствором [9]. Только при таких технических решениях дополнительная деформация станции метро составит 4,87мм., что соответствует действующим нормам.

Окончательная, стабилизированная, деформация основания под фундаментной плитой подземного комплекса составит 3,95 см. Данные деформации удовлетворяют всем требованиям СП 120.13330.2012.

Следовательно, геотехнический экран из буросекущихся свай с одновременным укреплением грунта будет защищать метрополитен от негативных воздействий от вновь строящегося сооружения [10]. Такие экраны могут быть рекомендованы для минимизации взаимного влияния.

### **Выводы**

1. Для численного эксперимента применен математический аппарат метода конечных элементов. Эксперимент направлен на определение негативных взаимосвязей существующих наземных и подземных сооружений.

2. Для похожего эксперимента необходимо использовать модель среды Кулона – Мора, а для моделирования анизотропной однородной среды – модель Гука, или её еще называют эластичная модель. В данном случае под

анизотропной средой понимаются железобетонные конструкции станции метрополитена и вновь возводимого подземного объекта.

3. В качестве защиты метрополитена от воздействий на НДС массива от проектируемого подземного комплекса, следует принять стену из бурящихся свай диаметром 800мм длиной 36м на расстоянии 8 м от возводимого комплекса со стороны станции метрополитена.

4. Также, в качестве защиты от воздействия, следует провести цементацию на глубину 8-12 м от несущих конструкций станции.

### Литература

1. Голосова Е. В., Котова А. В., Журов В. Д. Лаборатория ландшафтной архитектуры ГИС РАН: история, задачи, перспективы // История науки и техники. 2010. № 5. С. 87-93.

2. Благовидова Н. Г., Кузин П. А. Принципы архитектурно-планировочных решений пересадок между станциями МЦК и другими видами транспорта // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. № 1. С. 290-317.

3. 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.

4. Санамян Г.И. Имитационное моделирование операций упрочнения поверхностным пластическим деформированием // Инженерный вестник Дона, 2008. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/69](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/69).

5. Агафонова Р.Р., Габдуллин И.М., Мингалев А.В. Многомерная математическая модель и геометрический метод классификации объектов // Инженерный вестник Дона, 2021. №12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7365](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7365).

6. 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.

7. Hu S., Su C., Zhang Y., Cao E., Yuan R., Xu Yu. Analysis of Structural Characteristics of Underground Cavern Group by Simulating All Cavern Excavation. 2022. URL: doi.org/10.1155/2022/4610557.

8. Shahnazari H., Esmaeili M., Ranjibar H-H. Simulating the Effects of Projectile Explosion on a Jointed Rock Mass Using 2D DEM: A Case Study of Ardebil-Mianeh Railway Tunnel // International Journal of Civil Engineering, 2010, №6. P. 125-13.

9. Букин И. В. Тоннелестроение: сложные задачи и пути их решения // Метро и тоннели. 2010. № 3. С. 22-23.

10. Зехниев Ф.Ф., Внуков Д.А. Экспериментальные и численные исследования эффективности применения геотехнических экранов при защите городской застройки в зоне влияния глубоких котлованов // Строительные науки, №4, 2016. С.141-146.

### References

1. Golosova E.V., Kotova A.V., Zhurov V.D., Istoriya nauki i tehniki. 2010. №5. PP. 87-93.

2. Blogovalova N.G., Kuzin P.A. Arhitektura i sovremennye informacionnye tehnologii. 2019. №1. PP. 290-317.

3. Zertsalov M.G., Konyuhov D.S., Ustinov D.V., Simutin A.N. Transportnoe stroitelstvo. 2014. №11. PP. 4-6.

4. Sanamyan G.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2008. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/69.

5. Agafonova R.R., Gabdullinn I.M., Mingalev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7365.





6. Zertsalov M.G., Simutin A.N., Ustinov D.V., Khokhlov I.N. Metro I tonneli. 2014. №3. pp. 28-29.
7. Hu S., Su C., Zhang Y., Cao E., Yuan R., Xu Yu. 2022. URL: [doi.org/10.1155/2022/4610557](https://doi.org/10.1155/2022/4610557) .
8. Shahnazari H., Esmaeili M., Ranjibar H-H. International Journal of Civil Engineering, 2010, №6. pp. 125-13.
9. Bukin I.V. Metro I tonneli. 2010. № 3. pp. 22-23.
10. Zehniev F.F., Vnukov D.A. Stroitelnye nauki. 2016. №4. pp.141-146.