

## Проблемы строительства зданий повышенной этажности в условиях сложившейся застройки мегаполиса

*П.О. Мазин, С.Г. Шеина, В.В. Белаиш*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Особенностью современного строительства является масштабная реконструкция кварталов в центре крупных городов. В последние десятилетия инвесторы всё чаще стремятся к увеличению этажности зданий. Однако, строительство зданий повышенной этажности (выше 75 м) в условиях сложившейся застройки мегаполиса имеет ряд проблем, которые могут свести на нет все выгоды от размещения объекта недвижимости в центральных районах города. Наибольшие проблемы выявляются уже на стадии проектирования оснований высотных зданий. В статье рассмотрены 5 ключевых проблем, которые оказывают максимальное влияние на увеличение стоимости строительства зданий повышенной этажности.

**Ключевые слова:** здания повышенной этажности, условия сложившейся застройки мегаполиса, инженерно-геологические изыскания, плотная городская застройка, геотехнический прогноз, геотехнический мониторинг, котлован, свайные фундаменты.

В России центры современных мегаполисов представляют собой сложное сочетание застройки, состоящей из малоэтажных зданий исторической застройки, одно-двухэтажной застройки «частного» сектора, жилых массивов, возведенных в советский период и многоэтажных зданий, построенных за последние 30 лет. На рис.1 представлен панорамный вид на центральную часть города Ростова-на-Дону.



Рис. 1 – Вид центральной части города Ростова-на-Дону [1].

Учитывая высокую коммерческую ценность земли в центре города, запущенное состояние зданий исторической застройки и застройки «частного» сектора не удивительно, что особенностью современного

строительства является масштабная реконструкция кварталов в центре крупных городов.

До 20 века в России не принято было строить здания, которые бы загромождали вид на церковь или собор, которые, обычно, были самыми высокими сооружениями в городе. В настоящее же время, все застройщики стремятся к максимальному увеличению этажности зданий, так как стараются получить наибольшую прибыль, потому что в центральных районах жильё обладает высокой привлекательностью, а, значит, и наибольшей стоимостью квадратного метра [2, 3].

Именно поэтому для инвесторов, строительство зданий повышенной этажности, то есть выше 75 м в условиях сложившейся застройки мегаполиса наиболее перспективно. Однако строительство таких зданий имеет ряд проблем, которые могут свести на нет все плюсы от размещения такого объекта недвижимости в центральных районах города.

Наибольшие проблемы выявляются уже на стадии проектирования оснований высотных зданий.

**Во-первых**, увеличение объёмов инженерных изысканий, необходимых при проектировании оснований высотных зданий.

Здания повышенной этажности всегда относятся к 3 геотехнической категории. А, значит, объём инженерных изысканий будет значительно выше. Например, значения модуля деформации для каждого инженерно-геологического элемента нужно будет сопоставлять с результатами штамповых испытаний. Выше требуемое минимальное количество инженерно-геологических скважин (не менее пяти), а расстояние между скважинами не более 20 м. Значительно увеличивается глубина, на которую должны быть изучены грунты. Во-первых, она должна быть не менее, чем в 1,5 раза больше максимального значения глубины сжимаемой толщи. А, во-

---

вторых, при большей вертикальной нагрузке зданий повышенной этажности сжимаемая толща при проектировании оснований значительно больше, чем у зданий меньшей этажности. Более того, нормативными требованиями запрещено ограничивать глубину сжимаемой толщи в том случае, когда в основании встречаются слои грунтов с модулем деформации более 100 МПа, в том числе скальных.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что объём инженерно-геологических изысканий, необходимых для проектирования зданий повышенной этажности, а, следовательно, и стоимость, значительно превышают аналогичные объёмы для обычных зданий.

**Во-вторых**, при проектировании оснований и фундаментов зданий повышенной этажности в условиях сложившейся застройки требуется выполнять геотехнический прогноз для определения отрицательного влияния строительства на прилегающие здания [4, 5].

Геотехническую оценку влияния выполняют как с учётом разработки котлована или устройства ограждения котлована, так и с учётом нагрузок от вновь возводимого здания [6].

А для того, чтобы можно было выполнить геотехнический прогноз нужно прежде всего провести техническое обследование конструкций всех окружающих зданий и выявить их текущее техническое состояние, а также выполнить инженерно-геологические изыскания на всей этой территории.

Результатом геотехнической оценки является определение радиуса влияния нового здания на окружающий массив грунта. Также определяются величины дополнительных осадок существующих зданий. В случае, если дополнительные осадки существующих зданий превышают предельно допустимые значения, то требуется разработать защитные мероприятия, предохраняющие окружающую застройку от отрицательного влияния.

---

Радиусы зоны влияния вновь строящегося высотного здания на окружающую застройку могут превышать 30 м от наружной грани фундаментов, а, следовательно, требуют значительного объёма работ по как техническому обследованию зданий окружающей застройки, так и соответствующего объёма инженерно-геологических изысканий на этой территории.

**В-третьих,** для защиты окружающей застройки от влияния строительства, по результатам геотехнического прогноза, предусматривают мероприятия, которые позволяют обеспечить эксплуатационную надежность существующей застройки как на период строительства, так и при его дальнейшей эксплуатации.



Рис. 2. – Пример устройства котлована в условиях плотной городской застройки [7]

Для снижения прогибов конструкций вертикального ограждения строительного котлована, например, увеличивают сечение подпорного сооружения, применяют подкосы, распорки или грунтовые анкеры.

На рис. 2 приведен пример устройства котлована с вертикальными откосами под защитой дискретной подпорной стены.

На рис. 3 приведен пример устройства котлована с вертикальными откосами под защитой монолитной железобетонной стены в грунте с двумя рядами грунтовых анкеров.

На рис. 4 приведен пример крепления вертикальных стен котлована с помощью подкосов.



Рис. 3 – Пример крепления вертикального ограждения котлована грунтовыми анкерами [8]



Рис. 4 – Пример крепления вертикальных стен котлована с помощью подкосов [9]

Для уменьшения дополнительных осадок существующих зданий окружающей застройки устраивают стены в грунте, разделяющие зоны влияния нового здания от зданий существующей застройки, геотехнических и компенсационных экранов, закрепление грунтов основания.

Для увеличения значений допустимых деформаций существующих зданий окружающей застройки выполняют капитальный ремонт зданий с ограниченно-работоспособной и аварийной категорией состояния. Для таких зданий применяют следующие мероприятия: усиление фундаментов, устройство монолитных и стальных поясов [10, 11, 12];

На рис. 5 приведен пример усиления конструкций здания с помощью устройства стальных поясов.



Рис. 5. – Пример усиления конструкций существующего здания стальными поясами [13].

Однако, приоритетным является изменение проектных характеристик вновь возводимого сооружения. Следует заметить, все вышеперечисленные мероприятия являются весьма затратными.

**В-четвёртых**, при строительстве всех новых зданий необходимо проведение геотехнического мониторинга. А поскольку у высотных зданий влияние на окружающие грунтовые массивы, а, значит, и на здания окружающей застройки значительно больше, чем у обычных зданий, объём работ по геотехническому мониторингу и перечень контролируемых параметров наибольший. Так, в объём работ по мониторингу включают:

- наблюдение за деформациями оснований, фундаментов и конструкций сооружений;
- наблюдение за горизонтальными перемещениями ограждающих конструкций котлованов;
- наблюдение за вертикальными и горизонтальными перемещениями массива грунта в зоне влияния строящегося здания.

Начинать геотехнический мониторинг необходимо до начала строительства и проводить его в течение не менее 2-х лет после завершения строительства. Если контролируемые параметры не стабилизируются, то наблюдения продолжают [14, 15].

**В-пятых**, в связи с большой вертикальной нагрузкой возникает проблема устройства фундаментов. Для зданий повышенной этажности, как правило, применяют свайные фундаменты с плитным ростверком. При этом возникает необходимость устройства глубоких свай, поскольку в качестве опорного слоя требуется особо надежные слои грунта с высокими деформационными характеристиками, которые залегают на большой глубине [6, 14, 16].

Для глубин более 30 м приходится применять буронабивные сваи. На таких глубинах практически всегда присутствуют подземные воды, что значительно увеличивает стоимость работ по изготовлению буронабивных свай.

Таким образом, затраты на устройство фундаментов зданий повышенной этажности значительно превосходят аналогичные затраты на устройство фундаментов «обычных» зданий. Кроме того, свайные фундаменты автоматически увеличивают затраты на проведение инженерно-геологических изысканий, а также на мероприятия, обеспечивающие эксплуатационную надежность зданий окружающей застройки.

---

## Литература

1. Фото. URL: [yandex.ru/maps/39/rostov-na-donu/?l=stv%2Csta&ll=39.760264%2C47.247557&panorama%5Bair%5D=true&panorama%5Bdirection%5D=154.962772%2C-11.629511&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bid%5D=1310676411\\_754994261\\_23\\_1592495920&panorama%5Bpoint%5D=39.719256%2C47.229725&panorama%5Bspan%5D=115.679057%2C60.000000&utm\\_source=main\\_stripe\\_big&z=12.6](https://yandex.ru/maps/39/rostov-na-donu/?l=stv%2Csta&ll=39.760264%2C47.247557&panorama%5Bair%5D=true&panorama%5Bdirection%5D=154.962772%2C-11.629511&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bid%5D=1310676411_754994261_23_1592495920&panorama%5Bpoint%5D=39.719256%2C47.229725&panorama%5Bspan%5D=115.679057%2C60.000000&utm_source=main_stripe_big&z=12.6)
2. Копотилова, А. С. Особенности строительства в условиях плотной городской застройки // Молодой ученый. — 2017. — № 49 (183). — С. 59-61. — URL: [moluch.ru/archive/183/46924/](http://moluch.ru/archive/183/46924/) (дата обращения: 16.03.2023).
3. Саядян Т.В., Шумеев П.А., Шеина С.Г. Проблемы строительства высотных зданий в условиях плотной городской застройки // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2018. — URL: [izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tekhnicheskikh-nauk-v-rossii-i-za-rubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arkhitektura-spetsialnost-05-23-00/problemy-stroitelstva-vysotnykh-zdaniy-v-usloviyakh-plotnoy-gorodskoy-zastroyki/](http://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tekhnicheskikh-nauk-v-rossii-i-za-rubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arkhitektura-spetsialnost-05-23-00/problemy-stroitelstva-vysotnykh-zdaniy-v-usloviyakh-plotnoy-gorodskoy-zastroyki/).
4. Яньшина Е.Е., Прасол В.М. Проблемы строительства высотных зданий в условиях плотной городской застройки В сборнике: Проблемы безопасности на транспорте. Материалы XI Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. 2021. С. 51-52.
5. Чередниченко Т.Ф., Чеснокова О.Г., Тухарели В.Д. Освоение подземного пространства при проектировании и строительстве уникальных зданий и сооружений. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. 99 с.

6. Сотников С.Н. и др. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений: (Опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР)/ С.Н. Сотников, В.Г. Симагин, В.П. Вершинин; Под ред. С.Н. Сотникова. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.: ил.

7. Фото. URL:  
[yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir\\_page=similar&img\\_url=http%3A%2F%2Fgsfs-vrn.ru%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpodpornaya\\_stenka\\_v\\_g\\_lipecke\\_ul\\_sovetskaya\\_11001.jpg&lr=118531&pos=1&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir_page=similar&img_url=http%3A%2F%2Fgsfs-vrn.ru%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpodpornaya_stenka_v_g_lipecke_ul_sovetskaya_11001.jpg&lr=118531&pos=1&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig)

8. Фото. URL: [yandex.ru/images/search?cbir\\_id=8321403%2F5OIdI4sHNT-yWISgc30OQ2354&cbir\\_page=similar&crop=0.15%3B0.15%3B0.85%3B0.85&img\\_url=https%3A%2F%2Fwww.sksodiks.ru%2Fstatic%2Fpublic%2Fimg%2F12-2.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9180753%2FSp26y3StYBoRe1BnNQkInQ2343%2Forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=8321403%2F5OIdI4sHNT-yWISgc30OQ2354&cbir_page=similar&crop=0.15%3B0.15%3B0.85%3B0.85&img_url=https%3A%2F%2Fwww.sksodiks.ru%2Fstatic%2Fpublic%2Fimg%2F12-2.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9180753%2FSp26y3StYBoRe1BnNQkInQ2343%2Forig).

9. Фото. URL:  
[yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir\\_page=similar&img\\_url=https%3A%2F%2Famg-cement.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2Fc%2F0%2Fb%2Fc0bb5f3543c78305eeb8ae4579021b81.jpeg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir_page=similar&img_url=https%3A%2F%2Famg-cement.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2Fc%2F0%2Fb%2Fc0bb5f3543c78305eeb8ae4579021b81.jpeg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig).

10. Chen J., Huang L., Su, L. Toward a more compact and sustainable city—the use of underground space for Chinese mainland cities // Green Building, Environment, Energy and Civil Engineering. 2017. pp. 341-344.

11. Чередниченко Т.Ф., Тухарели В.Д., Снегирев Д.П. Направленность современного строительства – застройка городов в стесненных условиях // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4743.

12. Максимов Р.И. Проблемы строительства зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки: журнал. // Интерактивная наука. – 2021. – № 7 (62). – С. 24-26. – ISSN 2414-9411. doi: 10.21661/r-554649.

13. Фото. URL: [yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9602909%2F\\_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128&cbir\\_page=similar&img\\_url=http%3A%2F%2Fna-dache.pro%2Fuploads%2Fposts%2F2022-11%2F1668260830\\_33-na-dache-pro-pstyazhka-doma-foto-33.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9602909%2F\\_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128%2forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=9602909%2F_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128&cbir_page=similar&img_url=http%3A%2F%2Fna-dache.pro%2Fuploads%2Fposts%2F2022-11%2F1668260830_33-na-dache-pro-pstyazhka-doma-foto-33.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9602909%2F_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128%2Forig)

14. Прокопов А. Ю., Прокопова М. В. Проблемы проектирования фундаментов зданий и сооружений, возводимых в условиях плотной городской застройки // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, 2008, №21. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-fundamentov-zdaniy-i-sooruzheniy-vozvodimyh-v-usloviyah-plotnoy-gorodskoy-zastroyki](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-fundamentov-zdaniy-i-sooruzheniy-vozvodimyh-v-usloviyah-plotnoy-gorodskoy-zastroyki).

15. Таракановский В.К., Вознюк А.Б., Сухин В.В. Инструменты геотехнического мониторинга и опыт их применения для высотных зданий в

---

Москве. // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Материалы годичной сессии. Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Ответственный редактор В.И. Осипов. 2008. С. 488-492.

16. Zdravkovic L., Potts D.M., St John H.D. Modelling of a 3D excavation in finite element analysis // Geotechnique. 2005. Vol. 55. No. 7. Pp. 497-513.

### References

1. Photo. URL: [yandex.ru/maps/39/rostov-na-donu/?l=stv%2Csta&ll=39.760264%2C47.247557&panorama%5Bair%5D=true&panorama%5Bdirection%5D=154.962772%2C-11.629511&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bid%5D=1310676411\\_754994261\\_23\\_1592495920&panorama%5Bpoint%5D=39.719256%2C47.229725&panorama%5Bspan%5D=115.679057%2C60.000000&utm\\_source=main\\_stripe\\_big&z=12.6](https://yandex.ru/maps/39/rostov-na-donu/?l=stv%2Csta&ll=39.760264%2C47.247557&panorama%5Bair%5D=true&panorama%5Bdirection%5D=154.962772%2C-11.629511&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bid%5D=1310676411_754994261_23_1592495920&panorama%5Bpoint%5D=39.719256%2C47.229725&panorama%5Bspan%5D=115.679057%2C60.000000&utm_source=main_stripe_big&z=12.6)
2. Kopotilova, A. S. Molodoj uchenyj. 2017. № 49 (183). p. 59-61. URL: [moluch.ru/archive/183/46924/](http://moluch.ru/archive/183/46924/).
3. Sajadjan T.V., Shumeev P.A., Sheina S.G. Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Novosibirsk, 2018. URL: [izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tehnicheskikh-nauk-v-rossii-i-zarubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arkhitektura-spetsialnost-05-23-00/problemy-stroitelstva-vysotnykh-zdaniy-v-usloviyakh-plotnoy-gorodskoy-zastroyki](http://izron.ru/articles/aktualnye-problemy-tehnicheskikh-nauk-v-rossii-i-zarubezhom-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezh/sektsiya-10-stroitelstvo-i-arkhitektura-spetsialnost-05-23-00/problemy-stroitelstva-vysotnykh-zdaniy-v-usloviyakh-plotnoy-gorodskoy-zastroyki).
4. Jan'shina E.E., Prasol V.M. Problemy bezopasnosti na transporte. Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod obshej redakciej Ju.I. Kulazhenko. 2021. pp. 51-52.

5. Cherednichenko T.F., Chesnokova O.G., Tuhareli V.D. Osvoenie podzemnogo prostranstva pri proektirovanii i stroitel'stve unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. [Development of underground space in the design and construction of unique buildings and structures.] Volgograd: VolgGASU, 2015. 99 p.

6. Sotnikov S.N. i dr. Proektirovanie i vozvedenie fundamentov vblizi sushhestvujushhih sooruzhenij: (Opyt stroitel'stva v uslovijah Severo-Zapada SSSR) [Design and construction of foundations near existing structures: (Construction experience in the conditions of the North-West of the USSR)] S.N. Sotnikov, V.G. Simagin, V.P. Vershinin; Pod red. S.N. Sotnikova. M.: Strojizdat, 1986. 96 p.

7. Photo. URL:  
[yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir\\_page=similar&img\\_url=http%3A%2F%2Fgsfs-vrn.ru%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpodpornaya\\_stenka\\_v\\_g\\_lipecke\\_ul\\_sovetskaya\\_11001.jpg&lr=118531&pos=1&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir_page=similar&img_url=http%3A%2F%2Fgsfs-vrn.ru%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpodpornaya_stenka_v_g_lipecke_ul_sovetskaya_11001.jpg&lr=118531&pos=1&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig)

8. Photo. URL: [yandex.ru/images/search?cbir\\_id=8321403%2F5OIdI4sHNT-yWISgc30OQ2354&cbir\\_page=similar&crop=0.15%3B0.15%3B0.85%3B0.85&img\\_url=https%3A%2F%2Fwww.sksodiks.ru%2Fstatic%2Fpublic%2Fimg%2F12-2.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9180753%2FSp26y3StYBoRe1BnNQkInQ2343%2forig](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=8321403%2F5OIdI4sHNT-yWISgc30OQ2354&cbir_page=similar&crop=0.15%3B0.15%3B0.85%3B0.85&img_url=https%3A%2F%2Fwww.sksodiks.ru%2Fstatic%2Fpublic%2Fimg%2F12-2.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9180753%2FSp26y3StYBoRe1BnNQkInQ2343%2Forig).

9. Photo. URL:  
[yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir\\_page=similar&img\\_url=https%3A%2F%2Famg-](https://yandex.ru/images/search?cbir_id=9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474&cbir_page=similar&img_url=https%3A%2F%2Famg-)

---

cement.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2Fcontent%2F0%2Fb%2Fc0bb5f3543c78305eeb8ae4579021b81.jpeg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9069619%2FkterPPZ6IeBJbvShT-XchA2474%2Forig.

10. Chen J., Huang L., Su, L. Toward a more compact and sustainable city—the use of underground space for Chinese mainland cities. *Green Building, Environment, Energy and Civil Engineering*. 2017. pp. 341-344.

11. Cherednichenko T.F., Tuhareli V.D., Snegirev D.P. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2018, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4743](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4743).

12. Maksimov R.I. *Interaktivnaja nauka*. 2021. № 7 (62). p. 24-26. ISSN 2414-9411. doi: 10.21661/r-554649.

13. Photo. URL: [yandex.ru/images/search?cbir\\_id=9602909%2F\\_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128&cbir\\_page=similar&img\\_url=http%3A%2F%2Fna-dache.pro%2Fuploads%2Fposts%2F2022-11%2F1668260830\\_33-na-dache-pro-pstyazhka-doma-foto-33.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9602909%2F\\_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128%2Forig](http://yandex.ru/images/search?cbir_id=9602909%2F_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128&cbir_page=similar&img_url=http%3A%2F%2Fna-dache.pro%2Fuploads%2Fposts%2F2022-11%2F1668260830_33-na-dache-pro-pstyazhka-doma-foto-33.jpg&lr=118531&pos=0&rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cbir%2F9602909%2F_ACslS2fJd24xKZfNrVTZw3128%2Forig)

14. Prokopov A. Ju., Prokopova M. V. *Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*, 2008, №21. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-fundamentov-zdaniy-i-sooruzheniy-vozvodimyh-v-usloviyah-plotnoy-gorodskoy-zastroyki](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-proektirovaniya-fundamentov-zdaniy-i-sooruzheniy-vozvodimyh-v-usloviyah-plotnoy-gorodskoy-zastroyki).

15. Tarakanovskij V.K., Voznjuk A.B., Suhin V.V. *Sergeevskie chteniya. Mezhdunarodnyj god planety Zemlja: zadachi geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii. Materialy godichnoj sessii. Nauchnogo soveta RAN po problemam*

---



geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii. Otvetstvennyj redaktor V.I. Osipov. 2008. p. 488-492.

16. Zdravkovic L., Potts D.M., St John H.D. Modelling of a 3D excavation in finite element analysis. Geotechnique. 2005. Vol. 55. No. 7. pp. 497-513.