

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

И. С. Довольнов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF METHODS OF UNDERGROUND CONSTRUCTION OF CIVIL AND INDUSTRIAL BUILDINGS

Ilya S. Dovolnov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. Объектом сравнительного анализа выступают методы подземного строительства. В статье описаны технологии открытого, полужакрытого, комбинированного и закрытого методов подземного возведения зданий и сооружений. Рассмотрены различные виды крепления котлована, а также способы выемки грунта в зависимости от выбора метода строительства. На основании анализа применимости данных методов составлена сравнительная таблица.

Полученные результаты свидетельствуют о преимуществах полужакрытого метода подземного строительства при возведении гражданских и промышленных зданий.

Ключевые слова: подземное строительство, подземное сооружение, грунтовый массив, выемка, разработка грунта, «up-down», «top-down», «semi-top-down», трудоемкость, «стена в грунте»

Abstract. The object of comparative analysis is the methods of underground construction. The article describes the technologies of open, semi-closed, combined and closed methods of underground buildings' construction. The authors consider various types of pit fixing, and methods of excavation, depending on the choice of construction method, and provide a comparative table based on the analysis of the applicability of these methods. The results indicate the advantages of the semi-closed method of underground construction in the civil and industrial buildings' construction.

Key words: underground construction, underground structure, ground mass, excavation, pit, up-down, top-down, semi-top-down, labor intensity, «wall in the ground»

Введение

Проблемам освоения подземного пространства при планировании и застройке крупных городов в настоящее время уделяется особое внимание. Потребность в свободных площадях для жизнедеятельности городского населения только растет. Дефицит территорий обусловлен высокими темпами автомобилизации и постоянным увеличением числа жителей. Все это требует увеличения масштабов возведения подземных сооружений [1].

За рубежом давно возводят многоэтажные подземные парковочные, офисные и торговые площади, а также элементы транспортной инфраструктуры. Вопрос освоения подземных городских территорий в Российской Федерации также стоит довольно остро. Несмотря на высокую стоимость строительства данных сооружений, это наиболее рациональный метод использования подземного пространства в городской среде [2]. Воздействия сейсмических нагрузок на здания и сооружения, расположенные под землей, значительно меньше, чем на здания, возведенные на поверхности. Воздействия окружающей среды (не силовые) также ниже в несколько раз.

Тем не менее, темпы подземного строительства в нашей стране невелики. Это объясняется высокими финансовыми затратами, некомфортностью продолжительного пребывания человека под землей, а также связано сложными грунтовыми условиями некоторых территорий и влиянием строительства на соседние здания. Особенности современного оборудования и технологий строительства дают строителям и проектировщикам широкий диапазон доступных методов устройства подземных сооружений. Несмотря на это, максимальная высота подземного сооружения в среднем составляет не более тридцати метров [3]. Конструктивные решения постройки подземных и заглубленных сооружений, а также способы их устройства обуславливаются планировочными решениями, их назначением, глубиной заложения, инженерно-геологическими, климатическими и сейсмическими условиями строительства, нагрузкой на поверхности, наличием близлежащих зданий и сооружений [4].

Выбор технологии строительства, соответствующей грунтовым и техническим условиям, является одним из самых значимых и непростых вопросов, которые необходимо решить на этапе проектирования объекта. Зачастую применение неправильно подобранной технологии разработки грунта ведет к необратимым последствиям, способным повлечь за собой аварийные ситуации.

Объект исследования – методы подземного строительства зданий и сооружений.

Методы исследования: описательный, сравнительно-сопоставительный, статистический.

Строительство подземных конструкций в зависимости от гидрогеологических условий и глубины заложения осуществляется различными методами, к основным можно отнести открытый, полужакрытый и закрытый способы. Суть первого из них заключается в разработке котлована на проектную глубину с последующим возведением здания (рис. 1). Работы при открытом методе устройства котлована осуществляются в следующем порядке: установка ограждения с последующей выемкой грунта и устройством подпорных стенок котлована с дальнейшим возведением конструкции здания [5].

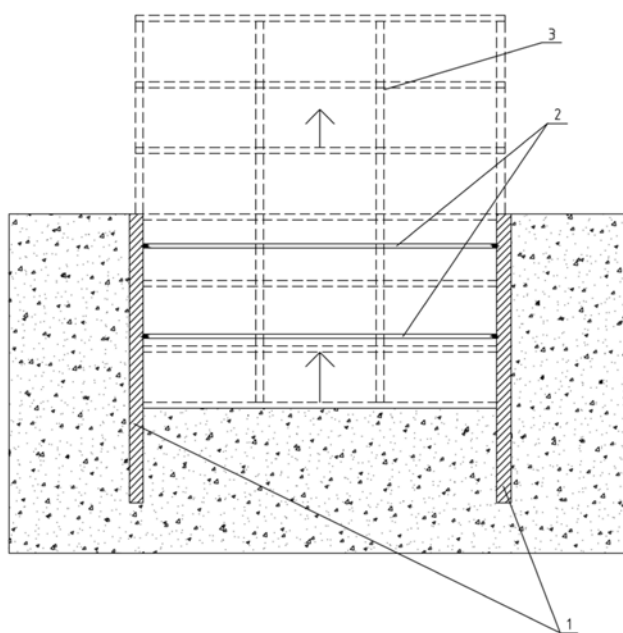


Рис. 1. Открытый метод устройства котлована:
1) ограждение котлована, 2) распорки,
3) возводимая конструкция

К открытому способу строительства под землей относятся: ограждение котлованов из металлических труб и шпунтов и технология «стена в грунте». В качестве удержания вертикальных стен котлована используют различные виды креплений. При распорном методе на этапе крепления ограждения устанавливается горизонтальное сооружение в один или несколько уровней, принимающее горизонтальные нагрузки от ограждения. Данный вид распорных конструкций используют в качестве временных – на период строительства с дальнейшим демонтажем [6].

К недостаткам распорного метода можно отнести создание помех строительной технике при разработке грунта, а также ограниченную ширину котлована, для удержания массивных стен которого используют подкосное крепление. Подкосы устанавливают в один или несколько рядов. Одним из главных недостатков разработки грунта с использованием подкосного крепления являются трудовые затраты.

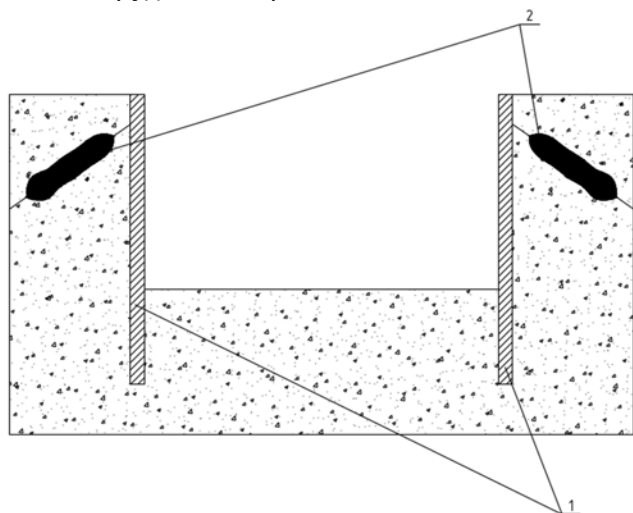


Рис. 2. Анкерное крепление ограждения котлована:
1) ограждение котлована, 2) анкера

Анкерное крепление грунта является одним из самых рациональных решений, так как всю нагрузку от ограждающих конструкций анкер принимает, распределяет и передает на грунт (рис. 2). При этом ограничений по ширине котлована в ходе разработки грунта нет. К недостаткам анкерного крепления можно отнести сложность выполнения инженерных изысканий за грани-

цами строительной площадки. Кроме того, инженерные коммуникации и фундаменты уже имеющихся сооружений препятствуют качественному выполнению работ при устройстве анкеров.

В неглубоких котлованах, а также в случае невозможности использования вышеперечисленных методов применяют технологию консольной заделки. Горизонтальную нагрузку в таком случае принимают на себя стены котлована и дополнительные сваи [7].

К числу передовых методов возведения подземных сооружений относится технология «top-down». Суть ее заключается в поперечной выемке грунта и строительстве объекта сверху вниз, при этом грунт вынимается из-под заливаемых перекрытий, что значительно экономит пространство, но требует пристального внимания к качеству используемых материалов и конструкций в связи с возможным контактом с грунтовыми водами. В перекрытии каждого этажа оставляют технологическое отверстие, через которое и происходит выемка грунта на поверхность. Перекрытие в данном методе играет роль распорных конструкций.

Выделим следующие этапы технологии «top-down»:

- возведение «стены в грунте»;
- выработка грунта до проектной отметки;
- устройство фундамента здания на установленную глубину;
- устройство опоры перекрытия подземного этажа;
- дальнейшая одновременная разработка подземных этажей и строительство надземной части конструкции: установка ограждения котлована и опор для поддержания перекрытия; разработка грунта, осуществляемая с поверхности земли до необходимого уровня; установка фундамента здания, демонтаж временных опор и возведение надземной части конструкции (рис. 3).

В случае необходимости возвести здание в кратчайшие сроки прибегают к методу «up-down», при котором разработка грунта осуществляется с одновременным возведением подземной и надземной частей здания (рис. 4).

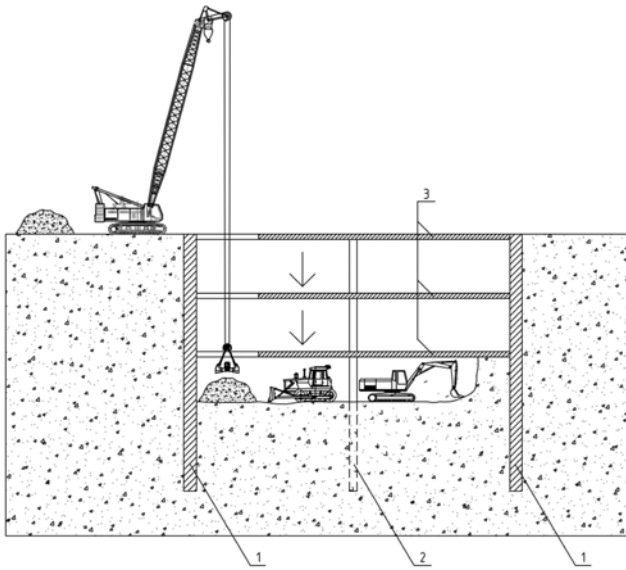


Рис. 3. Технология строительства «top-down»:
1) ограждение котлована, 2) временная опора,
3) перекрытия

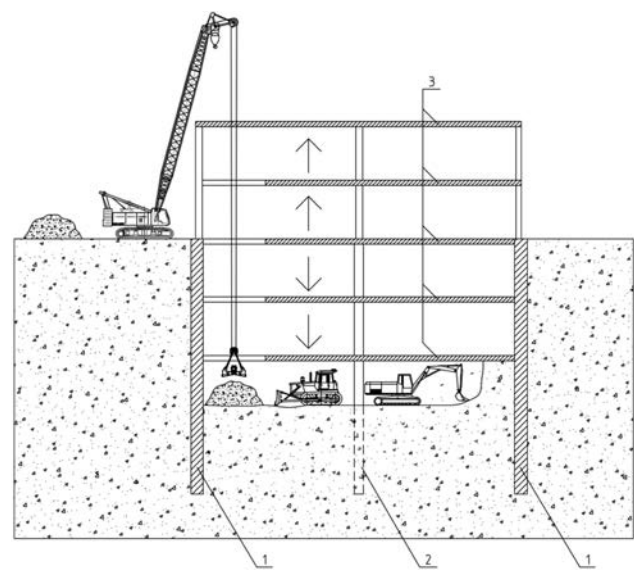


Рис. 4. Технология строительства «up-down»:
1) ограждение котлована, 2) временная опора,
3) перекрытия

В основном для ограждения котлована используют «стену в грунте», но в некоторых случаях возможно применение шпунтового ограждения. Разработка грунта и устройство перекрытий подразумевают следующие этапы: возведение перекрытия, разработка нижнего яруса грунта, после разработки грунта на подготовленное грунтовое основание снова возводится перекрытие с помощью инвентарной опалубки.

Остановимся подробно на строительных этапах технологии «top-down». По намеченному периметру котлована сооружается «стена в грунте». Далее осуществляется выемка грунта. В особых случаях происходит укрепление котлована методом секущих свай или шпунтовыми сваями. После чего возводится перекрытие, служащее распорной конструкцией и в то же время являющееся перекрытием подземного этажа. После набора прочности бетона через технологическое отверстие посредством малой механизации происходит процесс извлечения грунта из-под перекрытия первого этажа. При увеличении глубины котлована несущие конструкции укрепляют бетоном. На нулевой отметке второго подземного этажа происходит устройство следующего перекрытия.

Использование метода «top-down» позволяет минимизировать площадь строительной площадки, кроме того, перекрытие подземных этажей играет роль распорок, что позволяет избежать обрушения. Деформация ограждающих конструкций и влияние на соседние дома при таком методе строительства сведены к минимуму, благодаря чему возможно строительство крупных подземных объектов в исторических районах городов [8]. Однако ввиду высокой стоимости специализированной техники, необходимой при работе полузакрытым методом, технология «top-down» не столь широко распространена в России, как на Западе.

Комбинированный способ строительства «semi-top-down» представляет собой сочетание открытого и полузакрытого методов и используется при широких котлованах. При возведении объектов данным методом земляные работы осуществляются открытым способом. В отличие от технологий, описанных выше, надземный цикл работ в данном случае проводится не параллельно, а по завершении подземных строительных работ. По намеченному котловану идет строительство по технологии «top-down», но центральную часть сооружения разрабатывают

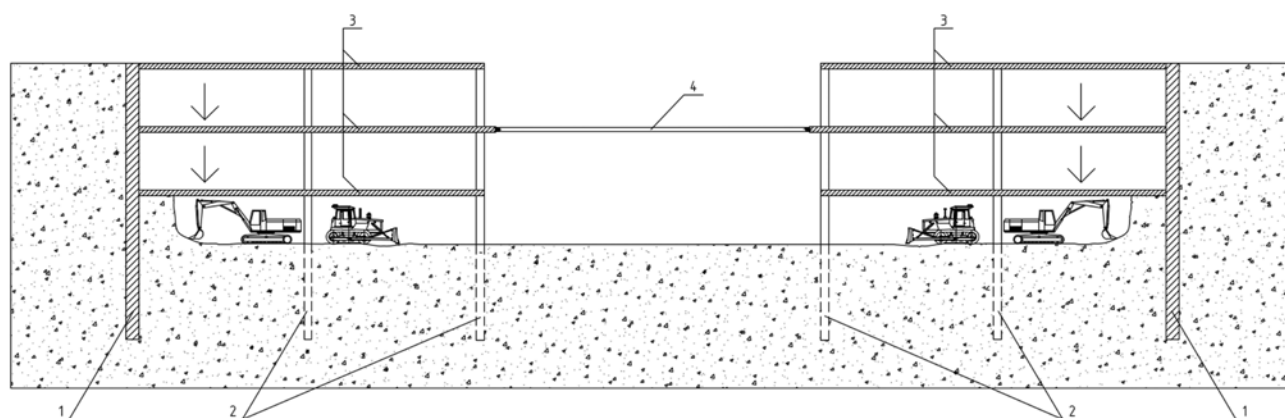


Рис. 5. Комбинированный способ строительства «semi-top-down»:
1) «стена в грунте», 2) временная опора, 3) перекрытия, 4) распорка

открытым способом снизу-вверх. Строительство ведется с опережающей разработкой грунта на ярус в центре открытым методом, а затем по периметру котлована – по технологии «top-down» с последующим устройством перекрытий. Распорные конструкции центральной части – необходимый элемент данной технологии. После завершения работ по технологии «top-down» возводится центральная часть здания, но уже традиционным методом (снизу-вверх) (рис. 5).

Комбинированный способ используется с целью уменьшения стоимости строительства, при этом сроки возведения здания, напротив, растут. При строительстве зданий данным методом увеличивается пространственная жесткость конструкций, уменьшаются деформации несущих конструкций, окружающего грунтового массива и фундаментов рядом стоящих зданий. Также нет необходимости специально увеличивать толщину перекрытий, как при использовании технологии «top-down». Полностью исключается использование трудоемкой и значительно более податливой временной металлической распорной крепи, которой обычно заполняют проемы в перекрытиях на месте рампы, лестничных клеток и сгруппированных лифтовых шахт. Возводимые сверху-вниз рампы позволяют доставлять по ним электрокарами и малогабаритными автопогрузчиками строительные и отделочные материалы на любой из подземных этажей [9].

В ряде случаев прибегают к закрытому способу строительства подземных сооружений, произ-

водимому без вскрытия земной коры, использования буровзрывных работ, проходческих щитов или комбайнов. Основная область его применения – строительство подземной транспортной инфраструктуры (метрополитенов, тоннелей и т. д.). Преимуществом буровзрывных работ является освоение всего объема сечения, однако не исключено и поэтапное освоение данного объема. Небольшие участки разрабатываются методом раскрытого сечения при установке крепи из древесины. Скальные грунты при устройстве тоннелей разрабатываются с помощью анкеров и набрызг-бетона или железобетонных арочных крепей в нестабильных грунтах или в грунтах с нарушенной структурой.

К методу щитовой проходки обращаются при создании тоннелей диаметром от двух до десяти метров. Первоначальный этап – монтаж щитов (установок в виде передвижных крепей) и обеспечение необходимым оборудованием. Существует несколько видов монтажа щитов. Они могут быть собраны на месте в котловане либо погружены уже в собранном виде через шахтный ствол. В некоторых случаях монтаж щитов производится в подземных камерах. Разрабатывается весь объем сечения, огораживаемый щитом. Отбойные молотки – основной инструмент работы. В роли отделки выступают сборные железобетонные конструкции, реже – прессованная домкратом бетонная смесь, образуемая при осевом движении щита. Еще один способ щитовой проходки – продавливание, основным инструмен-

том которого являются домкраты, с их помощью поочередно в грунт вдавливаются железобетонные крепи. После вдавливания каждой крепи происходит выемка из готового тоннеля.

Среднепрочные и крепкие грунты разрабатываются с помощью горных комбайнов – механизмов, передвигающихся вперед за счет домкратов по мере разработки забоя.

При ограниченных размерах в плане подземные сооружения взводятся способом опуск-

ных колодцев и кессонов. На проектную отметку опускают уже готовые колодцы и производят выемку грунта по периметру [10].

Результаты

На основании вышеизложенной информации составим сравнительную таблицу применимости данных способов подземного строительства, обозначив их основные преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1

Достоинства и недостатки основных методов подземного строительства

Метод подземного строительства	Достоинства	Недостатки
Открытый	<ul style="list-style-type: none"> • высокие показатели безопасности труда и качество производственных работ; • высокая производительность труда, низкая себестоимость строительства в сравнении с другими методами подземного строительства; • меньшие сроки возведения сооружения; • возможность увеличения в случае необходимости производственной мощности предприятия 	<ul style="list-style-type: none"> • необходимость задействования больших земельных площадей, которая может спровоцировать понижение уровня грунтовых вод на обширных площадях; • зависимость от климатических условий; • потребность в серьезных финансовых затратах на проведение мероприятий по уменьшению вредного влияния открытой разработки грунта на окружающую среду
Полузакрытый	<ul style="list-style-type: none"> • жесткие монолитные перекрытия позволяют минимизировать риск деформации несущего каркаса окружающей застройки; • сокращение сроков строительства благодаря технологии «up-down» 	<ul style="list-style-type: none"> • высокая трудоемкость работ; • необходимость использования специальной мобильной техники; • необходимость большого временного периода для набора прочности бетонного перекрытия; • тяжелые условия труда рабочих
Комбинированный	<ul style="list-style-type: none"> • возможность параллельно выполнять подземные и надземные работы, что значительно сокращает сроки строительства; • минимальное влияние построенных объектов на соседние постройки благодаря монтажу распорных перекрытий и других технических решений 	<ul style="list-style-type: none"> • наличие монолитных швов между сборными элементами; • наличие большого количества монолитных швов в несущем каркасе подземной части; • высокая стоимость строительства; • высокие трудозатраты
Закрытый	<ul style="list-style-type: none"> • возможность вести подземное строительство, не нарушая инфраструктуру города; • минимальное использование территории под строительную площадку 	<ul style="list-style-type: none"> • стесненные условия производства работ; • тяжелые условия труда рабочих

Выводы

На основании полученных результатов анализа можно сделать предварительный вывод о том, что полузакрытый метод освоения подзем-

ного пространства на территории Уральского федерального округа, позволяющий сократить сроки возведения объектов и свести к минимуму риск возможных деформаций соседних зда-

ний, является предпочтительным. Однако научных сведений данной статьи недостаточно для полного раскрытия темы, необходимо более глубокое изучение вопроса с использованием научных методов, проведением дополнительных расчетов и исследований.

На сегодняшний день подземное строительство гражданских и промышленных зданий набирает популярность во всем мире. При этом применимость его видов на территории России недостаточно изучена и требует детального научного внимания. Именно в острой необходимо-

сти изучения данной технологии строительства и заключается актуальность нашей работы и дальнейших исследований.

Для современных городов с высокой плотностью застройки и ежегодно увеличивающимися объемами строительства освоение подземных уровней с применением и совершенствованием известных методов строительства является естественным путем развития. Получая дополнительные площади для развития жизнедеятельности, они могут более эффективно использовать городское пространство.

Библиографический список

1. Булычев, Н. С. Основы методики научных исследований в подземном строительстве : лекции / Н. С. Булычев. – Тула : Изд-во ТПИ, 1986. – 57 с. – Текст : непосредственный.
2. Конюхов, Д. С. Использование подземного пространства : учеб. пособие для вузов / Д. С. Конюхов. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 296 с. – Текст : непосредственный.
3. Ербахаяев, В. О. Методы возведения подземных зданий и сооружений. Поярусный способ / В. О. Ербахаяев. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 7. – С. 64–71.
4. Драновский, А. Н. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве / А. Н. Драновский, А. Б. Фадеев. – Казань, 1993. – 355 с. – Текст : непосредственный.
5. Петрухин, В. П. Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений / В. П. Петрухин, И. В. Колыбин, Д. Е. Разводовский. – Текст : непосредственный // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – 2008. – С. 212–219.
6. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов / сост. : В. А. Ильичев, Г. Е. Голубев, А. В. Замараев [и др.]. – Москва : Москомархитектура, 2004. – 99 с. – Текст : непосредственный.
7. Тетиор, А. Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений / А. Н. Тетиор, В. Ф. Логинов. – Киев : Будивэльнык, 1990. – 167 с. – Текст : непосредственный.
8. Юркевич, П. Б. Возведение монолитных железобетонных перекрытий при полузакрытом способе строительства подземных сооружений / П. Б. Юркевич. – Текст : непосредственный // Подземное пространство мира. – 2002. – № 1. – С. 13–22.
9. Юркевич, П. Б. Совершенствование полузакрытого способа строительства подземных сооружений или «Hi-Tech» по-русски / П. Б. Юркевич. – Текст : непосредственный // Подземное пространство мира. – 2003. – № 5. – С. 11–27.
10. Горная энциклопедия : [сайт]. – URL : <http://www.mining-enc.ru>. – Текст : электронный (дата обращения: 10.02.2021).

References

1. Bulychev, N. S. (1986). Osnovy metodiki nauchnykh issledovaniy v podzemnom stroitel'stve: Lektsii. Tula, Izd-vo TPI Publ., 57 p. (In Russian).
2. Konyukhov, D. S. (2004). Ispol'zovanie podzemnogo prostranstva. Moscow, Arkhitektura-S Publ., 296 p. (In Russian).

-
3. Erbakhaev, V. (2014). Methods to construct underground buildings and structures. Tiered method. Proceedings of Irkutsk State Technical University, (7), pp. 64-71. (In Russian).
 4. Dranovskiy, A. N., & Fadeev, A. B. (1993). Podzemnye sooruzheniya v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve. Kazan, Kazan University 355 p. (In Russian).
 5. Petrukhin, V. P., Kolybin, I. V., & Razvodovskiy, D. E. (2008). Ograzhdayushchie konstruktsii kotlovanov, metody stroitel'stva podzemnykh i zaglublennykh sooruzheniy Rossiyskaya Arkhitekturno-Stroitel'naya Entsiklopediya, pp. 212-219. (In Russian).
 6. Il'ichev, V. A., Golubev, G. E., Zamaraev, A. V., Skachko, A. N., Ignatova, O. I., Budanov, V. G., & Korotkova, O. N. (2004). Rukovodstvo po kompleksnomu osvoeniyu podzemnogo prostranstva krupnykh gorodov. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 99 p. (In Russian).
 7. Tetior, A. N., & Loginov, V. F. (1990). Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnykh zdaniy i sooruzheniy. Kiev, Budivel'nyk Publ., 167 p. (In Russian).
 8. Yurkevich, P. B. (2002). Execution of in-situ reinforced concrete floor-slabs at top-down method of underground structures construction. Podzemnoe prostranstvo mira, (1), pp. 13-22. (In Russian).
 9. Yurkevich, P. B. (2003). Development top-down method of underground structures construction or HI-TECH in Russian. Podzemnoe prostranstvo mira, (5), pp. 11-27. (In Russian).
 10. Gornaya entsiklopediya. (In Russian). Available at: <http://www.mining-enc.ru> (date of the application 10.02.2021).

Сведения об авторе

Довольнов Илья Сергеевич, магистрант кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет, e-mail: dovolnov8888@yandex.ru

Information about the author

Ilya S. Dovolnov, Master's Student at the Department of Construction Production, Industrial University of Tyumen, e-mail: dovolnov8888@yandex.ru

Для цитирования: Довольнов, И. С. Анализ применимости методов подземного строительства гражданских и промышленных зданий / И. С. Довольнов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-50-57. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2. – С. 50–57.

For citation: Dovolnov, I. S. (2021). Analysis of the applicability of methods of underground construction of civil and industrial buildings. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (2), pp. 50-57. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-2-50-57.