

# 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].

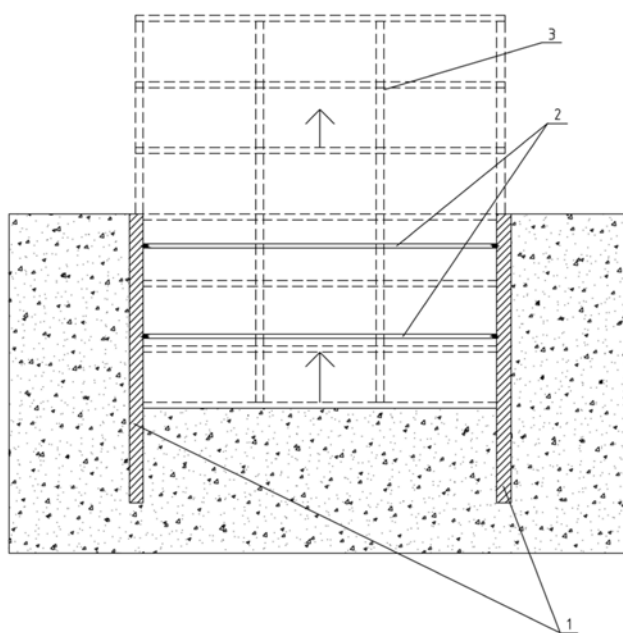


Рис. 1. Открытый метод устройства котлована:  
1) ограждение котлована, 2) распорки,  
3) возводимая конструкция

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.

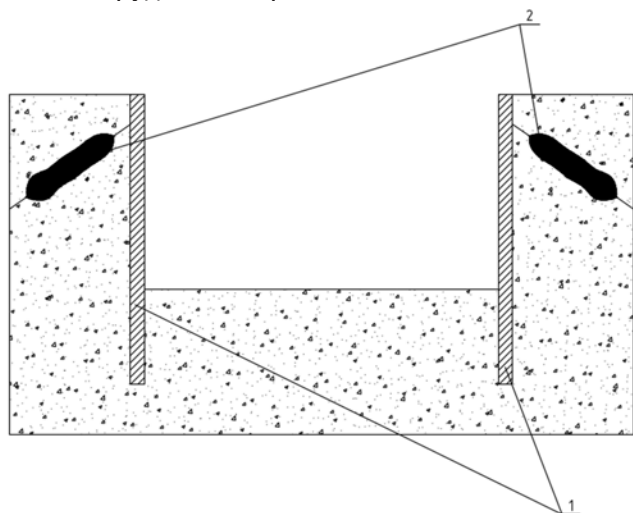


Рис. 2. Анкерное крепление ограждения котлована:  
1) ограждение котлована, 2) анкера

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).

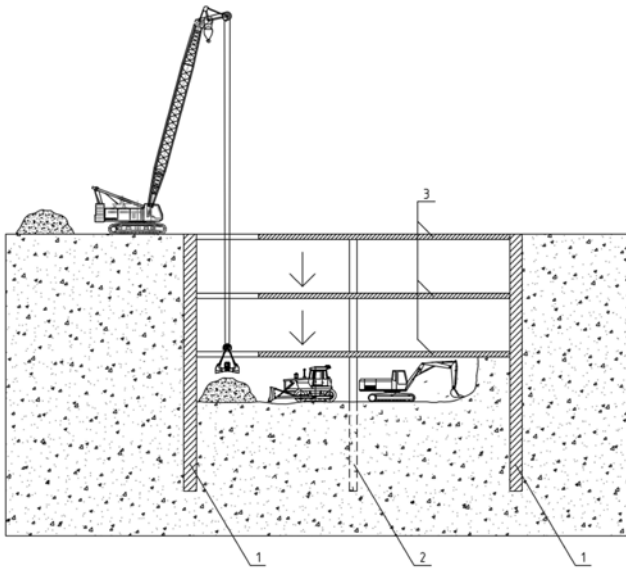


Рис. 3. Технология строительства «top-down»:  
1) ограждение котлована, 2) временная опора,  
3) перекрытия

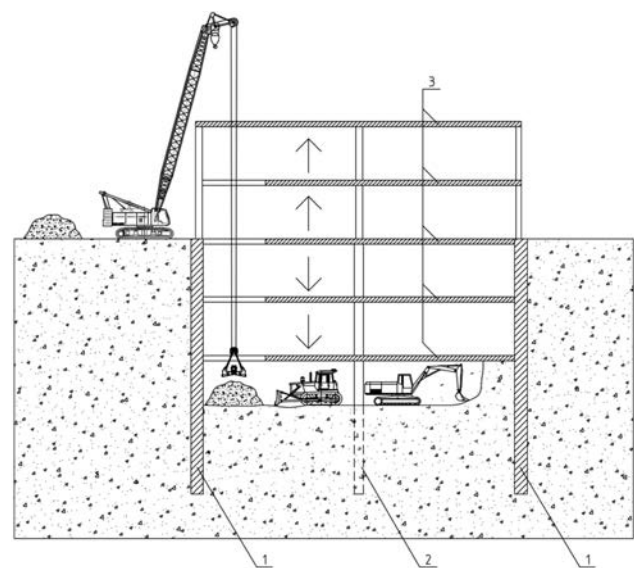


Рис. 4. Технология строительства «up-down»:  
1) ограждение котлована, 2) временная опора,  
3) перекрытия

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



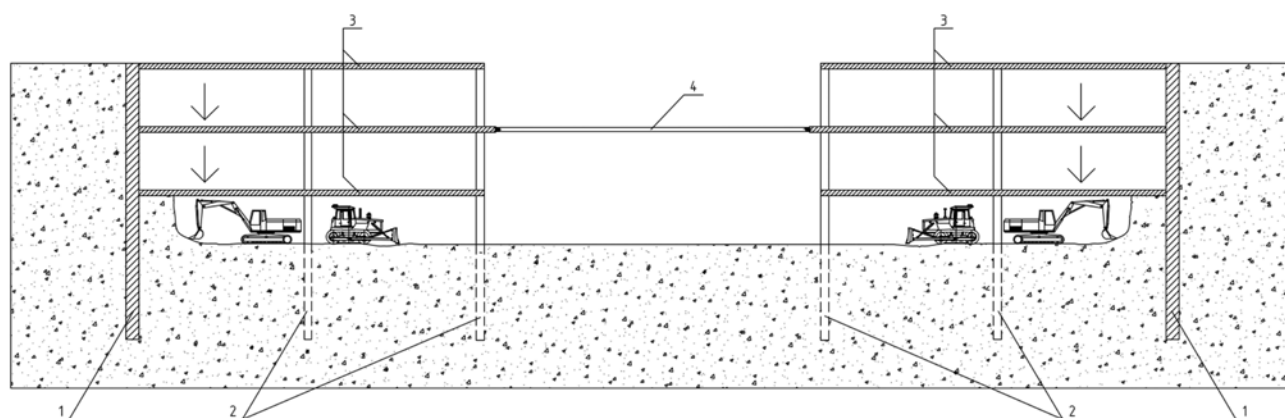


Рис. 5. Комбинированный способ строительства «semi-top-down»:  
1) «стена в грунте», 2) временная опора, 3) перекрытия, 4) распорка

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

### 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](mailto: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](mailto: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.