

DOI 10.15593/2409-5125/2016.01.10

УДК 624.1

Г.В. Сопегин, Д.Н. Сурсанов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТОДОМ «TOP-DOWN»
В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ПЕРМИ**

В условиях плотной городской застройки, а также дефицита свободных участков подземное строительство приобретает особую актуальность. Однако местная специфика и гидрогеологические условия зачастую делают задачу возведения подземных объектов очень непростой. Это стимулирует инженеров использовать новые технологии, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию окружающей застройки, позволяют проводить подземные работы практически на любой глубине даже в самых сложных инженерных и геологических условиях. К одной из таких технологий относится возведение нулевых циклов методом «Top-Down» или «сверху-вниз». Такой способ позволяет на нулевой отметке выполнить перекрытие и продолжить строительство одновременно как вверх, так и вниз. Данная технология является актуальной в современных условиях строительства, так как позволяет возводить здания с меньшим задействованием близлежащих территорий.

В статье описан принцип технологии «Top-Down» и схематично представлен порядок производства работ, рассмотрены основные преимущества и недостатки данного метода. Представлены перспективы применения технологии «Top-Down» в инженерно-геологических условиях города Перми.

Ключевые слова: бентонитовый раствор, буровые колонны, буросекущиеся сваи, метод «Top-Down» («сверху-вниз»), ограждение котлована, плотная городская застройка, подземное пространство, подземное строительство, сваи-барреты, «стена в грунте».

Развитие гражданского и промышленного строительства в современных условиях плотной городской застройки крупных городов и мегаполисов является актуальным направлением как для Российской Федерации, так и в мировом масштабе. Решение такой задачи зачастую связано с возведением зданий повышенной этажности с рациональным использованием их подземного пространства.

По современным требованиям практически все офисные и жилые здания должны иметь многоуровневую подземную парковку, в некоторых зданиях отметка пола нижнего яруса проектируется на глубине до -36 м от уровня «чистого пола».

Возведение подземных и заглубленных городских объектов осуществляется, как правило, открытым способом в котлованах. Этот способ является наиболее экономичным, поскольку открытая разработка котлована производится без специального укрепления его откосов. Борты такой выемки имеют уклон в 30 град, благодаря чему грунт не осыпается вниз. Чаще всего данный способ разработки котлована используется при строительстве на открытом пространстве, в пригородах, в сельской местности [1].

В условиях плотной застройки разработка котлованов открытым способом становится просто невозможной.

Одним из методов, позволяющих строить здания с многоуровневой подземной частью в современных городах и мегаполисах, является метод «Top-Down» («сверху-вниз»).

Технология «Top-Down» нашла широкое применение за рубежом, в частности, в Европе и Америке. Это связано с тем, что данный способ позволяет одновременно вести работы по устройству подземной и наземной частей зданий, что соответственно ускоряет сроки окупаемости инвестиций. Важно отметить, что данный способ позволяет минимизировать деформации ограждающих конструкций и, следовательно, осадки соседних зданий. Это достигается за счет монтажа распорных перекрытий, инвентарных конструкций ферм или иных технических решений, индивидуальных для каждого объекта строительства.

Метод «сверху-вниз» предусматривает одновременное устройство котлована, подземного пространства и фундамента здания. Принцип технологии «сверху-вниз» состоит в возведении ограждения котлована, как правило, из буросекущихся свай или методом «стены в грунте», с поверхности земли и поуровневым бетонированием перекрытий, которые работают как распорки во время строительства. Для поддержки перекрытий во время строительства производятся буровые колонны. При этом буровые колонны могут быть выполнены и как временные, учитывающие

нагрузки на период строительства, и как постоянные конструкции [1].

После набора бетоном перекрытия достаточной прочности проводится последующая выемка грунта до уровня фундаментной плиты, который вывозится на поверхность через предварительно оставленные технологические отверстия в перекрытиях верхних этажей. С уровня возведенных перекрытий одновременно с идущей на нижних уровнях выемкой грунта для высотной части здания возможно строительство надземной части [1].

Порядок производства работ при строительстве по методу «Тор-Down» схематично представлен на рис. 1–4.

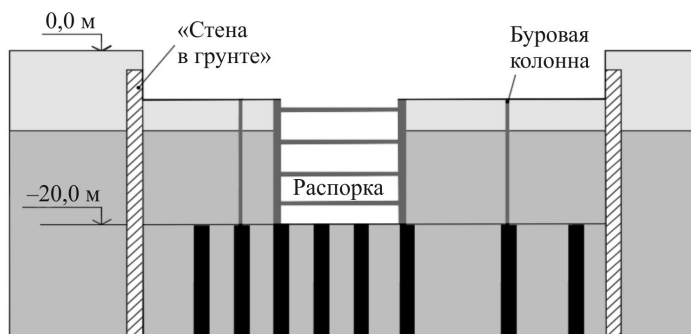


Рис. 1. Порядок производства работ по методу «Тор-Down» на 1-м этапе: водопонижение в пределах всего строительного котлована; постепенная выемка грунта для предварительного котлована (-20,0 м) и сооружение распорной конструкции

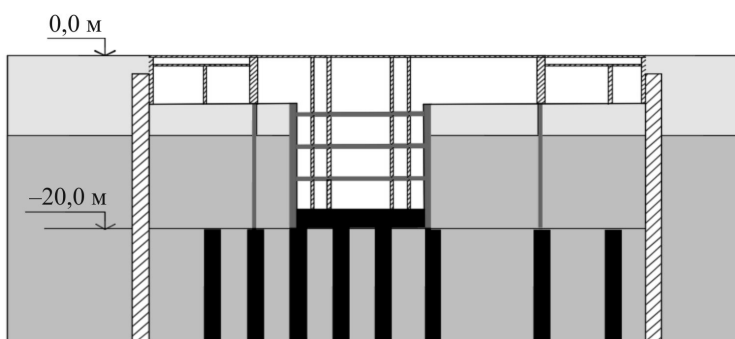


Рис. 2. Порядок производства работ по методу «Тор-Down» на 2-м этапе: возведение ядра жесткости до отметки $\pm 0,0$ м; завершение этажа -1

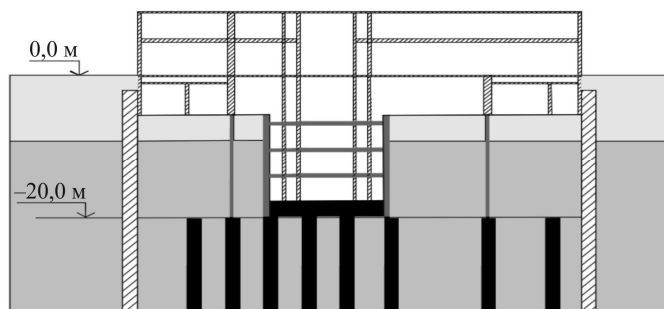


Рис. 3. Порядок производства работ по методу «Тор-Down» на 3-м этапе: выемка грунта на этаже -4; бетонирование перекрытия на этаже -5; завершение этажа -3; возведение этажей 1-4

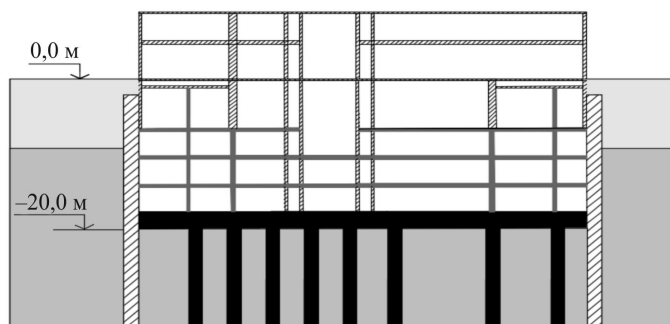


Рис. 4. Порядок производства работ по методу «Тор-Down» на 4-м этапе: бетонирование фундаментной плиты; завершение этажа -5; возведение этажей 1-4; остановка водопонижения; продолжение монолитных работ до n -го этажа

При строительстве по методу «сверху-вниз» ограждение котлована используется впоследствии как несущая конструкция. Во время строительства и эксплуатации здания должна обеспечиваться передача нагрузки от крепления котлована на перекрытия и наоборот [2].

Особенным конструктивным элементом при строительстве «сверху-вниз» являются буровые колонны. При устройстве этих колонн с поверхности земли особенно важна их вертикальная установка и ограничение отклонения от оси. В этой связи буровые колонны зачастую производятся из стальных профилей меньшего сечения, чем колонны в конечном состоянии. В случае больших отклонений они могут служить как временные конструкции, при отклонениях в допустимых рамках они могут входить в сечение

постоянной конструкции колонн. Возможно использование готовых железобетонных колонн, выравниваемых при погружении с помощью гидравлических домкратов. Для контроля их расположения используются инклинометры. Крепление колонн к арматуре перекрытия производится при помощи муфт [2, 3].

Производство работ по методу «Top-Down» вследствие необходимости поддерживать перекрытия, работающие как распорки, подразумевает устройство свайного или свайно-плитного фундамента.

Поскольку стены сооружения возводятся в узких и глубоких траншеях, извлеченный грунт замещается бентонитовым раствором. Раствор создает гидростатическое давление на стенки траншеи, что позволяет удерживать их от обрушений. Затем в вырытую траншею опускается арматурный каркас, который заполняется высокомарочным бетоном или железобетонными элементами, которые вытесняют бентонитовый раствор. Это как раз и предохраняет от осадок и деформаций здания, расположенные в непосредственной близости от места строительства [3].

Порядок производства работ с применением бентонитового раствора показан на рис. 5.

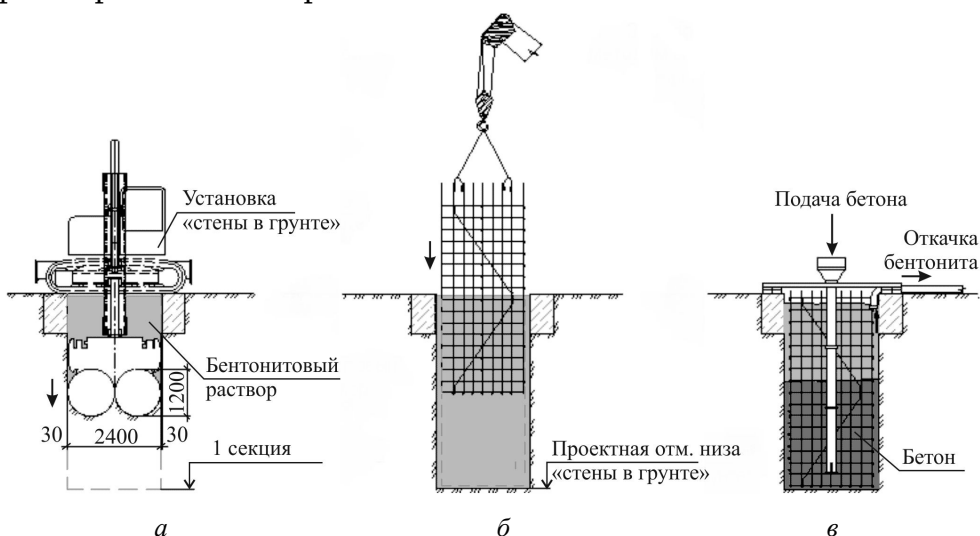


Рис. 5. Порядок производства работ с применением бентонитового раствора: *а* – разработка траншеи размером 800×2400 мм под защитой бентонитового раствора; *б* – погружение пространственного каркаса ПК в траншею под защитой бентонитового раствора; *в* – заполнение траншеи бетоном методом вертикально перемещающейся трубы с параллельной откачкой бентонитового раствора

При применении технологии «Top-Down» в тело сваи заводятся прочные стальные сердечники, а шпунт погружается в грунт при помощи мощнейшего импортного вибратора [4].

При строительстве на слабых грунтах применяются так называемые барреты – глубокие опоры, изготовленные в грунте. Технология их установки заключается в следующем. Сначала бурят колодец, затем устанавливают арматуру и заливают бетон. Все это производится под давлением при помощи бурового раствора (бентонита). За счет большой глубины погружения барреты позволяют добраться до плотных слоев грунта. Еще одним преимуществом таких опор является отсутствие вибраций при их установке [4].

«Стена в грунте» строится аналогично барретам: бурение, установка арматуры и бетонирование.

При значительных размерах котлованов в плане используют комбинированный метод разработки грунта, в котором возведение конструкций подземной части по периметру котлована выполняется способом «Top-Down», а в центральной части – по классической схеме – «снизу-вверх». Крепление ограждения котлована осуществляется за счет пространственной работы периметральных фрагментов дисков подземных перекрытий [5].

Данная технология применялась при строительстве башен «Sky Towers» в Киеве. Наземная часть башни состоит из 47 этажей, подземная часть – из 8. Технология возведения башен состояла из следующих этапов [5]:

1. Сооружалась «стена в грунте» по периметру участка строительства.

2. Затем заливались фундаментные буроинъекционные сваи – барреты.

3. Вырывался котлован до некоторой отметки, например, до –1 этажа. На дне котлована заливалось междуэтажное перекрытие, а также перекрытие на уровень выше – они выполняют функцию двухъярусных распорок «стены в грунте». В перекрытиях при этом оставляют технологические проемы.

4. Экскаваторы выбрали грунт сначала в местах технологических проемов, а затем – под перекрытиями этажа, расположенного выше.

5. Когда экскаваторы выбрали грунт на весь объем этажа, заливались следующие перекрытия и процесс повторялся, пока строители не достигли нижнего уровня по проекту. Когда весь грунт был выбран и перекрытия залиты, уже традиционно, «снизу-вверх», заливались технологические проемы (лифтовые шахты или пандусы паркинга).

Технология «Top-Down» достаточно успешно применялась и в России при устройстве подземной части небоскреба «Лахта центр» в Санкт-Петербурге глубиной 18 м (в том числе устройство ограждающих конструкций «стены в грунте» толщиной 1200 мм и глубиной 35 м, распорных железобетонных дисков диаметром 400–600 мм для откопки котлована и опытных свай диаметром 620, 880, 1200 и 2000 мм глубиной до 85 м). Откопка и устройство распорных дисков выполнялись последовательно «сверху-вниз».

В 2013–2015 гг. выполнялись строительные работы по устройству подземного трехуровневого пространства здания Арбитражного суда г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области с глубиной откопки до 13,5 м по методу «Top-Down» с последующим возведением наземной части здания (рис. 6).



Рис. 6. Устройство подземной части здания областного Арбитражного суда г. Санкт-Петербурга

Данный метод позволяет:

- вести работы по двум направлениям, возводя подземный и наземный объемы зданий, что сокращает сроки строительства;
- вести строительство уникальных современных объектов самым щадящим способом, за счет минимизации деформации ограждающих конструкций;

- возводить здания в условиях плотной застройки, не оказывая значительных деформаций на соседние здания и сооружения.

При многих достоинствах метода строительства «сверху-вниз» он имеет ряд недостатков:

- ведет к удорожанию строительства по сравнению со строительством в открытом котловане;
- производство зачастую осложняется большим количеством логических зависимостей, в связи с этим осложняется параллельное ведение различных видов работ;
- особую сложность представляет собой организация снабжения и логистики при подобном виде работ;
- устройство котлована требует высокой квалификации подрядчика и детальной проектной проработки.

Применение столь сложной технологии требует от всех участников строительного процесса более тщательного подхода к организации строительного производства, к техническому надзору за строительством и охране труда на площадке, так как применяется большое количество сложных технических решений. Применение технологии «Top-Down» позволяет снизить до минимума возможность возникновения аварийных ситуаций в процессе строительства, а также избежать дополнительных деформаций зданий и инженерных сооружений, расположенных в зоне влияния строительства. Все это достигается путем рационального выбора видов и последовательности выполнения технологических операций, методов устройства ограждения котлована, способов усиления оснований и фундаментов прилегающих зданий, научное сопровождение ведущихся работ.

Целесообразность применения технологии «Top-Down» в условиях г. Перми можно оценить по инженерно-геологическим разрезам, характерным для центральных районов города (рис. 7) [6].

Как видно из анализа указанных недостатков технологии и представленных инженерно-геологических разрезов, при применении технологии «Top-Down» в центральных районах г. Перми возможны следующие особенности:

1) коренные грунты залегают в среднем на глубине 12 м. С учетом анкеровки высота ограждающей конструкции «стена в грунте» будет составлять от 15 до 18 м;

2) при выполнении «стены в грунте» в слабой толще аллювиальных грунтов необходимо использование бентонитового раствора, для защиты стенок выемки от обрушения;

3) центральные районы характеризуются высоким уровнем грунтовых вод, ограждающая конструкция «стена в грунте» будет выполнять функцию противодиффузионной завесы.

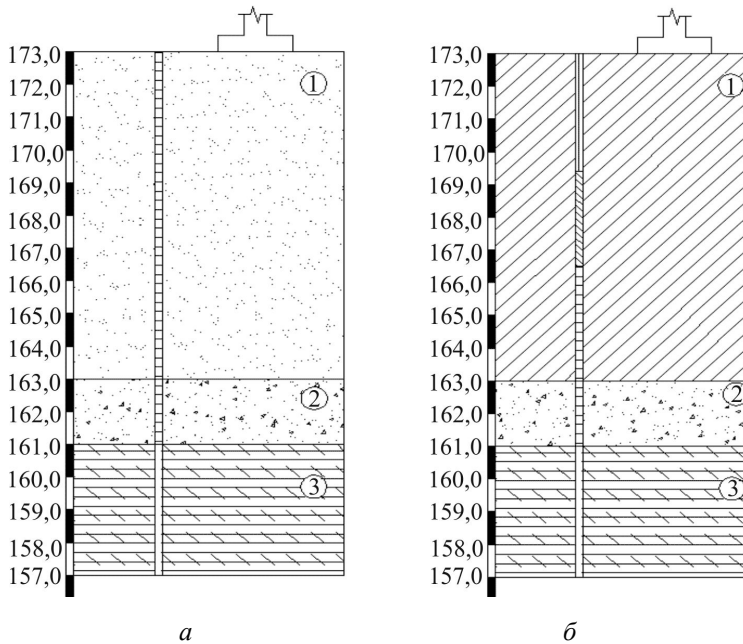


Рис. 7. Наиболее характерные для центральных районов г. Перми типы оснований: *a* – 1-й тип основания, I–III надпойменная терраса (ИГЭ-1 – песок средней плотности; ИГЭ-2 – гравийный грунт с песчаным заполнителем; ИГЭ-3 – аргиллит трещиноватый); *б* – 2-й тип основания, IV надпойменная терраса (ИГЭ-1 – суглинок; ИГЭ-2 – гравийный грунт с песчаным заполнителем; ИГЭ-3 – аргиллит трещиноватый)

Таким образом, использование технологии «Top-Down» с учетом перечисленных особенностей в условиях г. Перми должно быть обосновано не только техническими возможностями подрядчика, но и технико-экономическим сравнением организационно-технологических схем возведения подземной части зданий, разработанных с учетом особенностей региона строительства [7–11].

Освоение подземных уровней – естественный путь развития современных городов, где плотность застройки не оставляет места для новых зданий и сооружений. Этот же фактор определяет и выбор технологии подземного строительства. Освоение прогрессивных методов позволяет повысить эффективность использования городского пространства, добавляя мегаполису новое измерение.

Библиографический список

1. Драновский А.Н., Фадеев А.Б. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1993. – 355 с.
2. Коныхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. – М.: Архитектура, 2005. – 298 с.
3. Айгумов М.М., Снарский В.И., Снарский С.В. Технология возведения подземных сооружений: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2009. – 125 с.
4. Юркевич П.Б. Возведение монолитных железобетонных перекрытий при полужакрытом способе строительства подземных сооружений // Подземное пространство мира. – 2002. – № 1. – С. 13–22.
5. Chang-Yu Ou. Deep Excavations. Theory and Practice. – London: Taylor & Francis, 2006. – 532 p.
6. Пономарев А.Б., Калошина С.В. Оценка влияния возводимых плитных фундаментов на осадку зданий в условиях плотной застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2013. – № 5. – С. 13–16.
7. Сурсанов Д.Н., Пономарев А.Б. К вопросу определения несущей способности свай, опирающихся на выветрелые скальные грунты // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 32(51). – С. 42–48.
8. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – № 1. – С. 74–80.
9. Пономарев А.Б., Безгодов М.А. Несущая способность забивных свай в слабых водонасыщенных грунтах с учетом фактора времени // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 7–16.
10. Ponomarev A., Sychkina E. Settlement Prediction of Foundations on Argillite-Like Soils (as Exemplified by the Perm Region) // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2014. – № 51 (3). – P. 111–116.
11. Пономарев А.Б., Сазонова С.А. Применение экспресс-метода при оценке свойств техногенных грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 160–170.

References

1. Dranovskij A.N., Fadeev A.B. Podzemnye sooruzheniya v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve [Underground structures in industrial and civil construction]. Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 1993. 355 p.
2. Konyukhov D.S. Stroitel'stvo gorodskikh podzemnykh sooruzhenij melkogo zalozheniya [The construction of urban underground facilities shallow]. Moscow: Arkhitektura, 2005. 298 p.
3. Aygumov M.M., Snarskiy V.I., Snarskiy S.V. Tekhnologiya vozvedeniya podzemnykh sooruzheniy [Building technology of underground structures]. Saratov: Izdatel'stvo Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009. 125 p.
4. Yurkevich P.B. Vozvedenie monolitnykh zhelezobetonnykh perekrytij pri poluzakrytom sposobe stroitel'stva podzemnykh sooruzhenij [Construction of monolithic concrete floors in the semi-closed method of underground construction]. *Podzemnoe prostranstvo mira*, 2002, no. 1, pp. 13–22.
5. Chang-Yu Ou. Deep Excavations. Theory and Practice. London: Taylor & Francis, 2006. 532 p.
6. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V. Otsenka vliyaniya vozvodimykh plitnykh fundamentov na osadku zdaniy v usloviyakh plotnoj zastrojki. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2013, no. 5, pp. 13–16.
7. Sursanov D.N., Ponomarev A.B. K voprosu opredeleniya nesushchej sposobnosti svaj, opirayushchikhsya na vyvetrelye skal'nye grunty. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 32(51), pp. 42–48.
8. Ponomarev A.B., Zakharov A.V., Sursanov D.N. K voprosu ispol'zovaniya verkhnepermskikh otlozhenij v kachestve gruntovykh osnovanij. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 1, pp. 74–80.
9. Ponomarev A.B., Bezgodov M.A. Nesushchaya sposobnost' zabivnykh svaj v slabykh vodonasyshchennykh gruntakh s uchedom faktora vremeni [The bearing capacity of piles in soft water-saturated clayey soils considering the time factor]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 7–16.
10. Ponomarev A., Sychkina E. Settlement Prediction of Foundations on Argillite-Like Soils (as Exemplified by the Perm Region). *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2014, no. 51 (3), pp. 111–116.
11. Ponomarev A.B., Sazonova S.A. Primenenie ekspress-metoda pri otsenke svojstv tekhnogennykh gruntov. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 160–170.

Получено 21.12.15

G. Sopegin, D. Sursanov

PROSPECTS OF TOP-DOWN CONSTRUCTION METHOD IN THE CITY OF PERM

In dense urban areas, as well as the shortage of available sites, underground construction is of particular relevance. However, local peculiarities and hydrogeological conditions often make the construction of underground facilities very difficult. It stimulates engineers to use new technologies, which provide safe operation of the context area, allow to carry out underground operations almost at any depth, even in the most difficult engineering and geological conditions.

One of such technologies is the construction of zero-cycles by “Top-Down” method. Such method allows executing overlapping on a zero mark and continuing construction both up and down at the same time.

This technology is relevant in the modern terms of building, because it allows to construct a building with a less involvement of surrounding areas.

This paper describes the principle of “Top-Down” technology and the works order, basic advantages and disadvantages of this method. It presents the prospects of applying “Top-Down” method in special engineering-geological conditions of the city of Perm.

Keywords: bentonite slurry, drill column, secant piles, “Top Down” method, fencing excavation, dense urban development, underground space, underground construction, barrettes piles, diaphragm wall.

Сопегин Георгий Владимирович (Пермь, Россия) – бакалавр кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: gosha006@yandex.com).

Сурсанов Дмитрий Николаевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sursanov@mail.ru).

Sopegin Georgij (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department «Building engineering and materials science», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: gosha006@yandex.com).

Sursanov Dmitriy (Perm, Russian Federation) – Senior lecturer, Department «Construction Technology and Geotechnics», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: sursanov@mail.ru).