

УДК 624.151

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-24-30>С.С. ЗУЕВ<sup>1</sup>, зам. ген. директора (info@new-ground.ru); О.А. МАКОВЕЦКИЙ<sup>2</sup>, канд. техн. наук<sup>1</sup> ОАО «Нью Граунд» (614081, г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35)<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614019, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

## Опыт использования метода «up-down» при строительстве подземной и надземной части здания

В условиях плотной городской застройки, а также дефицита свободных участков подземное строительство приобретает особую актуальность. Однако местная специфика и гидрогеологические условия делают задачу возведения подземных объектов очень непростой. Это стимулирует инженеров использовать новые методы, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию окружающей застройки, позволяют проводить подземные работы практически на любой глубине даже в самых сложных инженерных и геологических условиях. Одним из таких является метод «up-down», или «вверх-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 метода «up-down» и представлен порядок производства работ, рассмотрены основные преимущества и недостатки данного метода, приведены результаты геотехнического мониторинга окружающей застройки.

**Ключевые слова:** плотная городская застройка, подземное пространство, метод «up-down» («вверх-вниз»), стена в грунте, бентонитовый раствор, сваи-баретты, геотехнический мониторинг.

**Для цитирования:** Зуев С.С., Маковецкий О.А. Опыт использования метода «up-down» при строительстве подземной и надземной части здания // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 24–30.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-24-30>S.S. ZUEV<sup>1</sup>, Deputy General Director; O.A. MAKOVETSKY<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)<sup>1</sup> OJSC “New Ground” (35, Kronshadtakaya Street, Perm, 614081, Russian Federation)<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Prospect, Perm, 614019, Russian Federation)

### Experience in Using the “up-down” Method When Constructing the Underground and Aboveground Parts of the Building

Under the conditions of dense urban development, as well as the shortage of free sites, the underground construction is of particular relevance. However, local specifics and hydro-geological conditions make the task of constructing underground facilities very difficult. This encourages engineers to use new methods that ensure the safe operation of the surrounding development, make it possible to carry out the underground works at almost any depth, even under the most difficult engineering and geological conditions. One such method is “up-down”. This method makes it possible at the zero mark to perform the overlapping and continue the construction at the same time both up and down. This technology is relevant under the modern conditions of construction, as it makes it possible to erect buildings with less use of nearby areas. The article describes the principle of the method “up-down” and presents the order of work execution, considers the main advantages and disadvantages of this method, gives the results of geotechnical monitoring of the surrounding development.

**Keywords:** dense urban development, underground space, “up-down” method, slurry wall, bentonite slurry, pile-barrettes, geo-technical monitoring.

**For citation:** Zuev S.S., Makovetsky O.A. Experience in using the “up-down” method when constructing the underground and aboveground parts of the building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 9, pp. 24–30. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-24-30>

Основной областью применения метода «up-down» является устройство глубоких котлованов в пределах плотной городской застройки. Обычно этот метод используется при невозможности выполнения грунтовых анкеров вследствие стесненных условий и существующей развитой подземной части на соседних участках [1–7]. Кроме того, этот метод используется при малых допустимых дефор-

мациях окружающих зданий и сооружений. Явным преимуществом метода «up-down» является высокий темп строительства при устройстве высотной части (рис. 1).

При многих преимуществах этого метода строительства он в большинстве случаев ведет к удорожанию строительного производства по сравнению со строительством в открытом котловане. Особую слож-

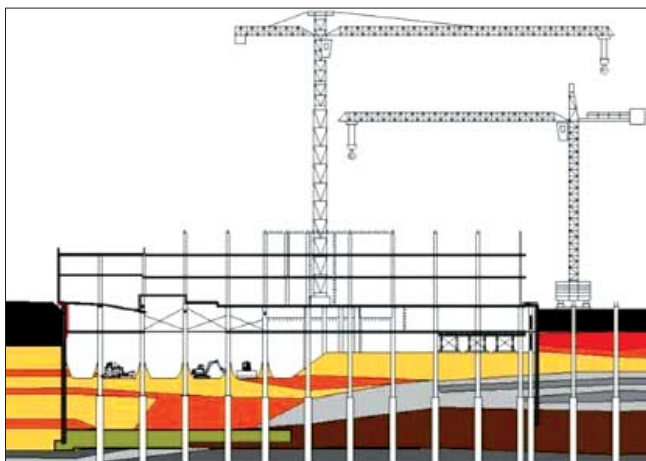


Рис. 1. Схема производства работ по методу «up-down»

ность представляет собой организация снабжения и логистики при подобном виде работ [8]. Следует отметить, что устройство подземной части по методу сверху вниз требует высокой квалификации подрядчика и детальной проектной проработки [9].

Для производства работ по устройству подземной части при данном методе строительства используются технологии «стена в грунте» и струйная цементация грунта (Jet-grouting). Проектирование конфигурации стены выполняется с учетом особенностей технологического оборудования (гидрофрезы). В ходе подготовительных работ по контуру будущей ограждающей конструкции выполняется форшахта шириной 60–80 см и глубиной до 3 м. Стенки форшахты раскрепляются железобетонными монолитными конструкциями.

Разработка грунта в траншее и бетонирование выполняются под защитой глиняного тиксотропного раствора, приготовляемого из бентонитовой глины, что обеспечивает устойчивость стенок траншеи от обрушения. Параметры раствора корректируются при производстве работ на опытном участке.

Укладка бетонной смеси панелей ограждающей конструкции выполняется методом вертикального подъема трубы. Бетонирование стен под защитой глиняного раствора должно выполняться не позднее чем через 8 ч после образования траншеи в захватке. Бетонирование одной захватки выполняется непрерывно на всю высоту. Между захватками устраивается холодный рабочий шов. Армирование захватки выполняется сборными пространственными арматурными каркасами. Глубина выполнения ограждающей конструкции по данной технологии может достигать 25–30 м.

По грунтовым условиям «стена в грунте» может применяться в любых дисперсных грунтах. При устройстве больших котлованов, внутри которых возводится здание или сооружение, ограждающие конструкции, выполненные методом «стена в грунте», используют как внешние стены подземной части. В этом случае нагрузка от здания передается на фундаменты, не связанные с ограждающими стенами.

При необходимости ограждающие конструкции, устраиваемые методом «стена в грунте», могут выполнять двойную функцию: являются и ограждением котлована, и конструктивным элементом. Современные технологии позволяют устраивать конструкции подземных сооружений разных форм, но традицион-

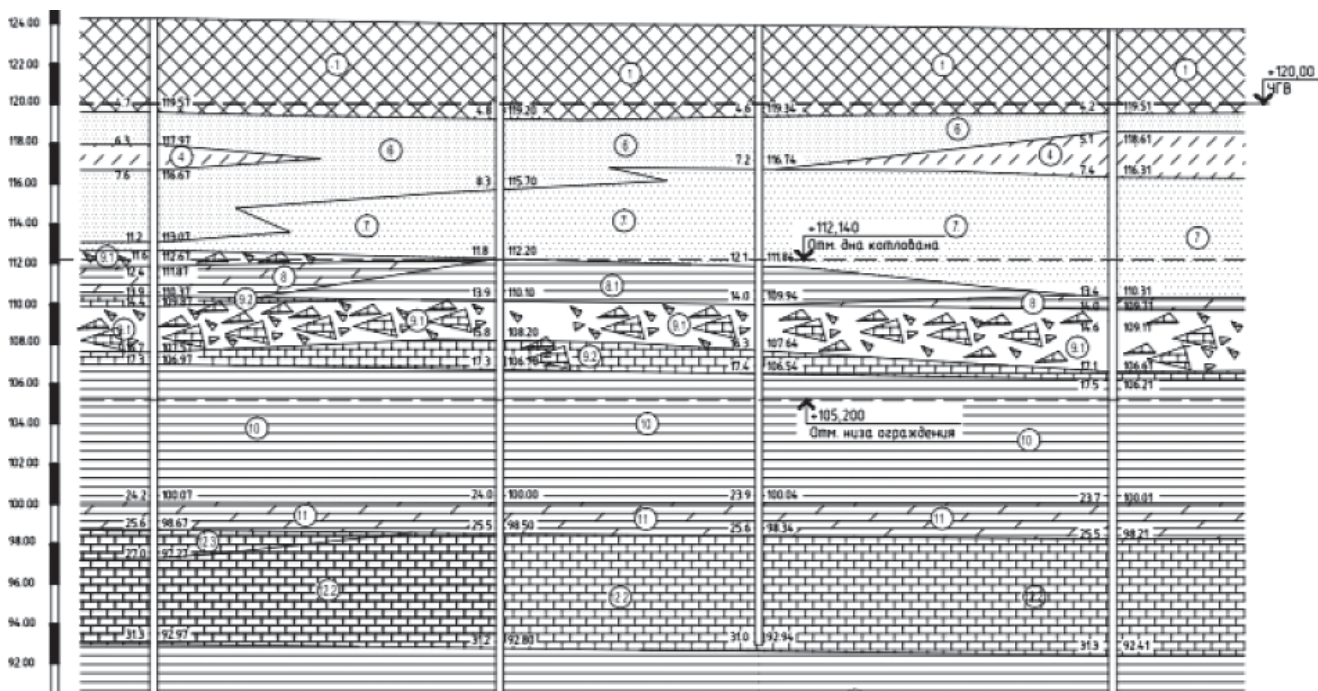


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез площадки строительства

ными и наиболее часто встречающимися являются конструкции из прямолинейных стенок. При наличии грунтов, содержащих твердые включения природного или техногенного происхождения (крупные валуны, обломки бетонных конструкций, каменной кладки и др.), при проходке траншеи используется техника, оснащенная фрезерным оборудованием. Использование грейферного оборудования, которым крупные включения извлекаются, может привести к деформированию стенки траншеи, падению уровня тиксотропного раствора и деформациям окружающего массива и близрасположенных зданий.

Для надежного уплотнения проблемных стыков между панелями траншейных стен, как показал опыт строительства, успешно может быть применена технология струйной цементации «jet-grouting». Она заключается в разрушении и перемешивании грунта высоконапорной струей цементного раствора, исходящего под высоким давлением из монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны. В результате в грунтовом массиве формируются сваи диаметром 0,6–1,5 м из нового материала – грунтобетона с достаточно высокими несущими и противодиффузионными характеристиками. При этом цементационные работы могут выполняться как снаружи ограждающих котлован стен, так и изнутри котлована до его разработки. С этой целью в зависимости от прогнозируемой величины раскрытия стыков с глубиной могут быть применены неармируемые или армируемые металлическими трубами грунтоцементные колонны диаметром 60 или 80 см.

Для разработки грунтового ядра внутри подземного сооружения, возводимого способом «стена в

грунте», рекомендуется применять технологию, которая предусматривает разработку вначале центральной части грунтового массива внутри сооружения на глубину одного яруса с сохранением по периферии неразработанных участков. Такой прием облегчает работу ограждающей конструкции. Затем монтируются распорные конструкции и разрабатывается оставшаяся часть грунта. Одним из существенных преимуществ данных технологий является возможность устройства как отдельных, так и протяженных подземных конструкций с поверхности земли без экскавации котлована [10].

Производство работ по методу «up-down» считается одним из самых сложных видов строительного производства с геотехнической точки зрения и предусматривает комплексную программу мониторинга в период строительства здания [11].

### Инженерно-геологические и гидрогеологические условия

В геологическом строении площадки принимают участие следующие элементы (рис. 2). ИГЭ-1: современные техногенные отложения, песчано-суглинистые грунты со щебнем кирпича. ИГЭ-2: глина мягкопластичной консистенции. ИГЭ-3: суглинки мягкопластичной и тугопластичной консистенции. ИГЭ-4: супеси пластичные. ИГЭ-5: пески пылеватые, средней плотности, водонасыщенные. ИГЭ-6: пески мелкие, средней плотности, водонасыщенные. ИГЭ-7: пески средней крупности, средней плотности, водонасыщенные. ИГЭ-8.1: глина полутвердая. ИГЭ-8: мергель малопрочный. ИГЭ-9.1: известняк разрушенный до щебня и дресвы. ИГЭ-9: известняк малопрочный.



Рис. 3. Схема размещения наблюдательных марок (вертикальные перемещения)

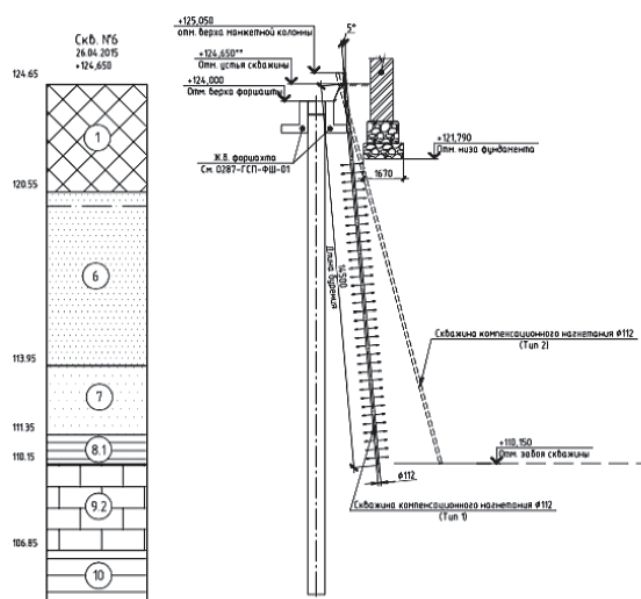


Рис. 4. Схема выполнения работ по усилению грунтового основания фундаментов существующих зданий

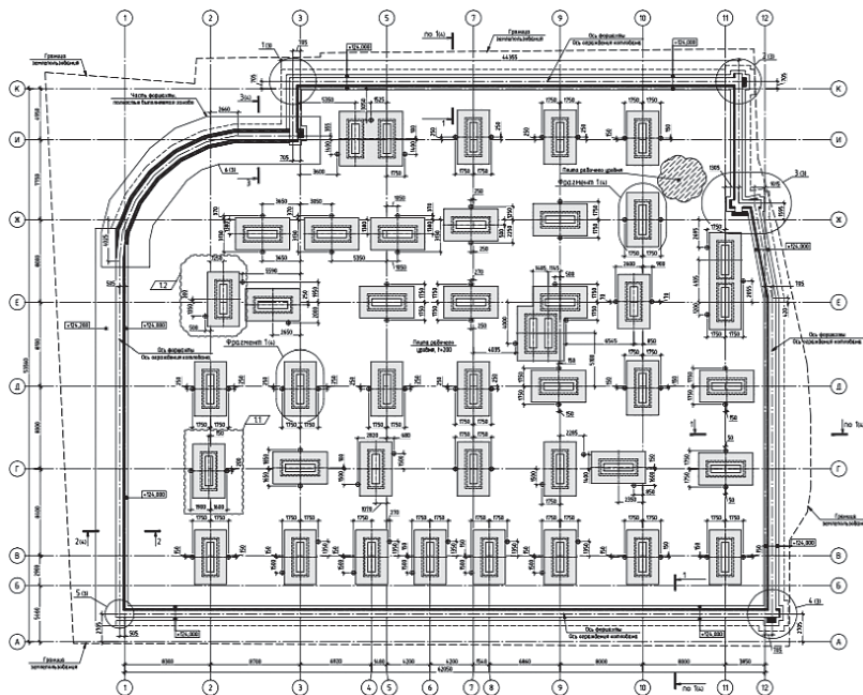


Рис. 5. Этапы устройства форшахт ограждения по периметру и баретт, цементации основания и бетонирования плиты рабочего уровня

ИГЭ-10: глина полутвердая. Подземная вода встречена на глубине 3,7–4 м от поверхности.

В представленных инженерно-геологических условиях, при наличии в основании значительной толщи слабых грунтов и высоком уровне грунтовых вод, основным требованием к ограждающей конструкции котлована являются обеспечение минимального поступления воды в котлован и ограничение дополнительных вертикальных перемещений окружающей застройки. Для определения зданий и сооружений, на которые возможно влияние от строительства проектируемого, предварительно назначается 30-метровая зона, которая впоследствии уточняется расчетами. Выполняется обследование зданий, определяется история их строительства, техническое состояние основных конструктивных элементов. Величина допустимого влияния определяется исходя из условия обеспечения надежности здания и зависит от его технического состояния и конструктивной схемы.

#### Градостроительная и геотехническая ситуация

Строящееся здание возводится в существующем квартале исторической застройки на месте демонтированного здания. При этом по градостроительным условиям было необходимо сохранить исторический фасад здания, выходящий на улицу. В зону влияния строительства попадают 15 зданий, техническое состояние зданий по результатам обследования оценено как удовлетворительное, предельные дополнительные осадки этих зданий ограничены диапазоном

10–30 мм. Для обеспечения сохранности и механической безопасности зданий при производстве работ по строительству здания и в ходе его эксплуатации необходимо было выполнить комплекс работ по улучшению механических свойств грунтов оснований (метод компенсационного нагнетания цементного раствора) и усилению конструкции фундаментов. На всех этапах производства работ был организован мониторинг развития вертикальных перемещений и технического состояния основных конструкций зданий. Схема расположения наблюдательных марок приведена на рис. 3.

#### Характеристика строящегося здания

Здание монолитное, железобетонное, с максимальной отметкой верха 34,1 м, прямоугольной формы в плане, состоящее из шестиэтажной надземной части и трехэтажной подземной части (гаража). Несущие конструкции – продольные и поперечные монолитные железобетонные стены и колонны. Максимальная глубина котлована 12,6 м. Способ разработки котлована «up-down»: заглубление под защитой дисков плит перекрытий с возможностью одновременного строительства вверх. Конструкция ограждения котлована – траншейная стена толщиной 640 мм, выполняемая гидрофрезерным оборудованием (базовая машина BAUER BG-28 с гидрофрезой BC-32). Фундамент – свайное поле со сваями-бареттами, опирающимися на однородный скальный грунт (известняки). Вся эксплуатационная нагрузка передается на сваи, железобетонная плита подстилающего слоя толщиной 250 мм не связывается со сваями.

#### Последовательность выполнения работ

Производство работ по устройству подземной части здания выполнялось в следующей последовательности.

Этап 1. Выполнение компенсационного нагнетания цементного раствора в грунтовое основание фундаментов зданий окружающей застройки. Усиление конструкции фундаментов зданий окружающей застройки. Устройство буроинъекционных свай в основании фундаментов сохраняемой части фасада (рис. 4). Усиленный таким образом грунтовый массив является новым техногенным образованием, обладающим высокой степенью жесткости. Методика уплотнения

позволяет уплотнять не только дисперсные связанные грунты (глины, суглинки, супеси), но и несвязанные дисперсные грунты (пески, насыпные техногенные грунты). Расширение возможностей применения технологии на широком спектре грунтов происходит за счет подбора качественной характеристики раствора, обеспечивающей ее высокую проникающую способность. Наличие грунтовых вод не является противопоказанием к применению высоконапорной инъекции.

Этап 2. Выполнение форшахт для устройства ограждения по периметру подземной части здания и для выполнения свай-баретт (рис. 5). Производство работ по устройству монолитной железобетонной плиты рабочего уровня с направляющими гильзами для устройства скважин це-

ментации. Бурение скважин и цементация скального грунта. После цементации вдоль периметра ограждения котлована образуется слой скального грунта с достаточными противодиффузионными свойствами для разработки вертикальных траншей. Водопроницаемость зацементированных грунтов контролируется по величине удельного водопоглощения, установленного при гидравлическом опробовании контрольных скважин. В основании баретт формируется непрерывный пласт сплошного зацементированного скального массива с нормативным пределом прочности на одноосное сжатие –  $R_c \geq 11$  МПа. Для контроля прочности выполняется отбор образцов и их лабораторные испытания.

Этап 3. Устройство траншейной стены ограждения подземной части методом «стена в грунте» гидрофрезерным оборудованием (единичная заходка –  $2800 \times 640$  мм) в две очереди по захваткам (рис. 6) с заведением в водоупор (ИГЭ-10) не менее чем на 1 м. Устройство замыкающих грунтобетонных элементов, выполняемых по технологии струйной цементации грунта (Jet-1), между криволинейными захватками с заведением до отметки кровли скального грунта (ИГЭ-8).

Этап 4. Устройство баретт ( $2800 \times 640$  мм) с «сердечниками» под временные и постоянные железобетонные и стальные колонны и баретт под башенный кран по технологии «стена в грунте».

Этап 5. Демонтаж форшахт и железобетонной плиты рабочего уровня. Устройство фундамента

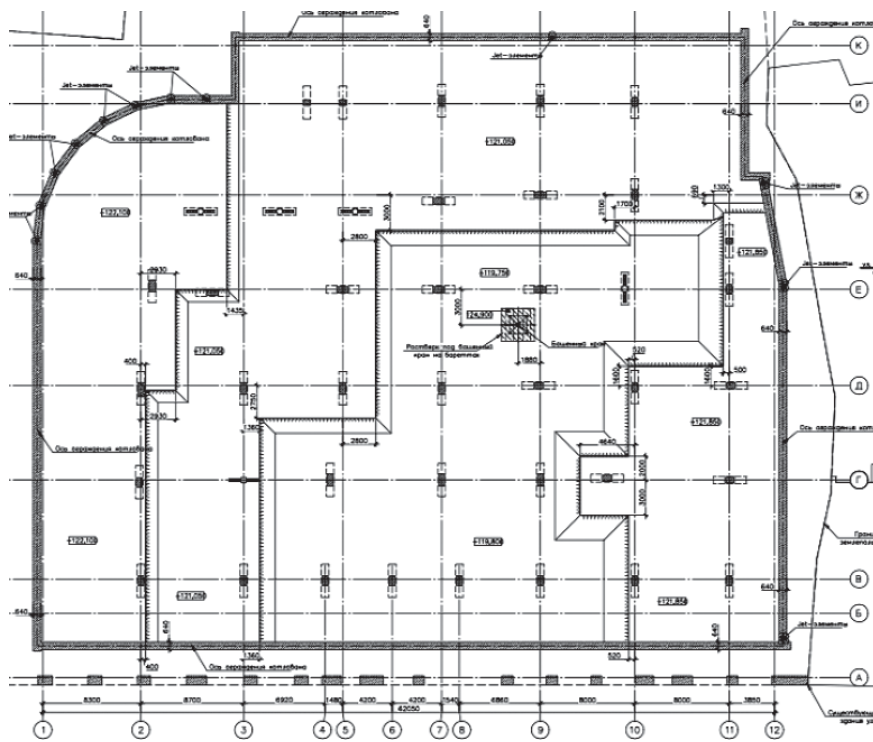


Рис. 6. Этапы устройства ограждающей конструкции, свай-баретт и экскавации котлована под защитой бетонитового раствора

башенного крана. Срубка шламового бетона верхней части ограждения котлована на высоту 500 мм. Устройство обвязочной балки и периферийной части плиты перекрытия на отметке (-0.100) по инвентарной опалубке.

Этап 6. Поэтапная экскавация котлована до отметки – 4,550 м. Демонтаж временных колонн.

Этап 7. Устройство монолитной железобетонной плиты перекрытия на отметке (-4.550) по бетонной подготовке. Устройство вертикальных несущих конструкций минус первого этажа.

Этап 8. Устройство центральной части плиты перекрытия с технологическими проемами на отметке (-0.100). Эта конструкция позволяет вести работы по устройству надземной части здания, поскольку опирается на ранее выполненные сваи барретты и не требует устройства фундаментной плиты на минус третьем уровне. Начало строительства надземной части здания без ограничения скорости производства работ и этажности.

Этап 9. Разработка грунта котлована малогабаритной техникой до отметки (-8.500). Устройство монолитной железобетонной плиты перекрытия минус второго этажа на отметке (-8.200) (рис. 7).

Этап 10. Разработка грунта котлована малогабаритной техникой до отметки (-12,600) м. Срубка и оформление оголовков баррет. Устройство дренажной системы по дну котлована. Устройство монолитной железобетонной плиты пола минус третьего этажа.



Рис. 7. Эскавация грунта на минус втором уровне малогабаритной техникой



Рис. 8. Эскавация грунта на поверхность



Рис. 9. Работы по устройству надземной части здания

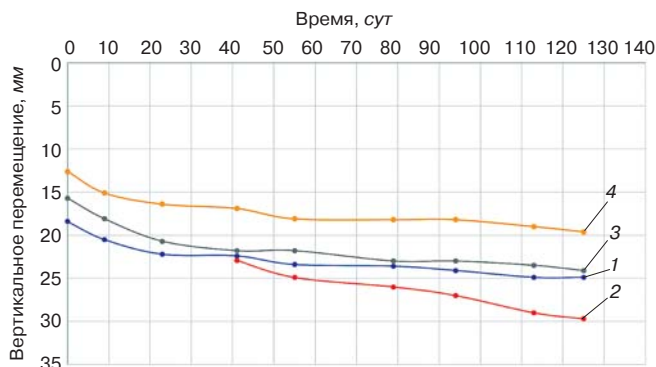


Рис. 10. Динамика развития вертикальных перемещений деформационных марок: 1 – 79; 2 – 80; 3 – 81; 4 – 82

Этап 11. Устройство вертикальных несущих конструкций минус третьего этажа.

Этап 12. Завершение работ по устройству монолитной железобетонной плиты минус второго этажа. Устройство пандусов и лестничных маршей. Устройство внутренней вертикальной гидроизоляции и прижимной монолитной железобетонной стенки на минус третьем этаже. Для устройства монолитной прижимной стенки в перекрытиях были предусмотрены технологические гильзы-направляющие.

Этап 13. Устройство вертикальных несущих конструкций минус второго этажа. Устройство внутренней вертикальной гидроизоляции и прижимной монолитной железобетонной стенки на минус втором этаже.

Этап 14. Ликвидация временного технологического проема в железобетонной плите на отметке (-0.100). Демонтаж временных колонн.

Этап 15. Демонтаж башенного крана. Демонтаж ростверка и баретт башенного крана. Устройство внутренней вертикальной гидроизоляции и прижимной монолитной железобетонной стенки на минус первом этаже. Устройство наружной вертикальной гидроизоляции стилобатной части здания и благоустройство территории.

### Геотехнический мониторинг

В ходе геотехнического мониторинга выполнялись высокоточные геодезические измерения отметок установленных деформационных марок, оценивалась динамика развития вертикальных перемещений зданий и проводилась визуальная оценка их технического состояния. Динамика развития наиболее интенсивных вертикальных перемещений показана на рис. 10. Вертикальные перемещения остальных марок имеют меньшие значения. Относительная разница дополнительных осадок фундаментов существующих зданий также не превысила предельно допустимого уровня.

О стабилизации осадок зданий окружающей застройки можно судить по изменению скорости их развития, а она имеет явную тенденцию к снижению. Это можно хорошо проследить на графике построенных по данным наблюдений. Если в начальный период наблюдения осадка составляла 0,1–0,15 мм/сут, то через 90 сут она составила 0,03–0,45 мм/сут, следовательно, снизилась в 2,5–3 раза. Такое снижение скорости развития абсолютной величины вертикальных перемещений свидетельствует о стабилизации.

### Заключение

Выбор метода производства работ «up-down» по устройству здания в стесненных городских условиях оказался полностью оправданным. Использованные

при реализации этого метода технологии позволили выполнить работы в установленные сроки, с качеством, обеспечивающим механическую безопасность как строящегося объекта, так и окружающей застройки. Производство работ хотя и является технически сложным, но при надлежащем уровне мониторинга позволяет оптимизировать сроки проведения работ. Полученный в ходе строительства опыт может быть в дальнейшем использован при проектировании и строительстве объектов такого уровня сложности.

### Список литературы

1. Абелев М.Ю., Красновский Б.М. Особенности технологии проведения работ по устройству фундаментов. М.: 1980. 45 с.
2. Абелев М.Ю. Деформации сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. М.: ЦМИПКС при МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1982. 290 с.
3. Строительство зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях / Под ред. М.Ю. Абелева. М.: Стройиздат, 1986. 104 с.
4. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики // *Реконструкция городов и геотехническое строительство*. 2005. № 9. С. 80–99.
5. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. М.: Архитектура, 2005. 298 с.
6. Маковецкий О.А., Цыдвинцева М.С., Маковецкая К.О. Устройство конструкций подземной части административного здания в г. Перми // *Вестник ВолгГАСУ. Строительство и архитектура*. 2008. № 10 (63). С. 143–147.
7. Chang-Yu Ou. Deep Excavations. Theory and Practice. London: Taylor & Francis, 2006. 532 p.
8. Щерба В.Г., Абелев К.М., Храмов Д.В., Сагалков Г.В., Бахронов Р.Р. Особенности обеспечения объектов строительства монолитных многоэтажных зданий в стесненных городских условиях // *Вестник МГСУ*. 2008. № 3. С. 146–149.
9. Юркевич П.Б. Возведение монолитных железобетонных перекрытий при полузакрытом способе строительства подземных сооружений // *Подземное пространство мира*. 2002. № 1. С. 13–22.
10. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp. 504–509.
11. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Опыт проведения испытаний баретты большой длины в условиях плотной городской застройки // *Жилищное строительство*. 2018. № 9. С. 13–18.

### References

1. Abelev M.Yu., Krasnovsky B.M. Osobennosti tekhnologii provedeniya rabot po ustroystvu fundamentov [Peculiarities of the technology of works on installation of foundations]. Moscow. 1980. 45 p.
2. Abelev M.Yu. Deformatsii sooruzhenii v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [Deformations of structures in difficult engineering and geological conditions]. Moscow: TsMIPKS pri MISI im. V.V. Kuibysheva. 1982. 290 s.
3. Stroitel'stvo zdaniy i sooruzhenii v slozhnykh gruntovykh usloviyakh. Pod red. M.Yu. Abeleva [Construction of buildings and structures in difficult ground conditions. Edited by M.Y. Abelev]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 104 p.
4. Katzenbach R., Schmitt A., Ramm H. Basic principles of design and monitoring of high-rise buildings Frankfurt-at-Main. Cases from practice. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2005. No. 9, pp. 80–99. (In Russian).
5. Konyuchov D.S. Stroitel'stvo gorodskikh podzemnykh sooruzhenii melkogo zalozheniya [Construction of urban underground structures]. Moscow: Architecture. 2005. 298 p.
6. Makovetskiy O.A., Tsydvintseva M.S., Makovetskaya K.O. Arrangement of structures of the underground part of the administrative building in Perm. *Vestnik VolgGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2008. No. 10 (63), pp. 143–147. (In Russian).
7. Chang-Yu Ou. Deep Excavations. Theory and Practice. London: Taylor & Francis, 2006. 532 p.
8. Scherba V.G., Abelev K.M., Temples of D.V., Sagalakov G.V., Bahronov R.R. Peculiarities of provision of objects of construction of monolithic multi-storey buildings in tight urban conditions. *Vestnik MGSU*. 2008. No. 3, pp. 146–149. (In Russian).
9. Yurkevich P.B. Construction monolithic reinforced concrete overlapping at a half-closed way of construction underground a construction. *Podzemnoe prostranstvo mira*. 2002. No. 1, pp. 13–22. (In Russian).
10. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp. 504–509.
11. Makovetskiy O.A., Zuev S.S. Experience in conducting field tests of a barrette of long length under conditions of dense urban development. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 9, pp. 13–18. (In Russian).