



ПОДЗЕМНЫЕ РИЗОНТЫ

Underground Horizons

Декабрь

№25

2020

www.techninform-press.ru

С НАМИ СТРОИТЬ
ЛЕГКО!



✓ **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО подземных частей технически сложных и уникальных объектов:**

подземные автостоянки;
транспортные развязки;
гидротехнические сооружения

✓ **ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ**

✓ **ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ**

✓ **УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ**

✓ **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ на памятниках истории и архитектуры**

г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35 тел./факс: (342) 236 90-70

ИЖЕВСК: :::: (3412) 56-62-11 МОСКВА: :::: (495) 643-78-54

КРАСНОДАР: :::: (861) 240-90-82 САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: (812) 923-48-15

КРАСНОЯРСК: :::: (391) 208-17-15 ТЮМЕНЬ: :::: (3452) 74-49-75

КАЗАНЬ: :::: (843) 296-66-61 УФА: :::: (917) 378-07-48

РОСТОВ-НА-ДОНУ: (863) 311-36-36 ЧЕЛЯБИНСК: :::: (351) 223-24-53

АО «НЬЮ ГРАУНД»

www.new-ground.ru

info@new-ground.ru





Буровые машины XCMG работают во имя Вашего успеха!

- Буровые машины для буронабивных свай с келли-штангой для свай диаметром до 4600 мм и глубиной до 150 м
- Буровые машины для буронабивных свай CFA (непрерывный шнек) для свай диаметром до 1000 мм и глубиной до 24 м
- Грейферные установки для технологии «стена в грунте» шириной до 1500 мм и глубиной до 105 м
- Гидравлические фрезы для технологии «стена в грунте» шириной до 1800 мм и глубиной до 125 м
- Многофункциональные буровые установки для выполнения работ по закреплению грунта: Jet grouting, анкерные крепления, микросваи, бурение с пневмоударником.
- Микроштиты для бестраншейной прокладки труб диаметром от 500 до 4000 мм

ООО «СьюГун Ру» — официальный представитель XCMG в России

Адрес: 119619, г. Москва,
Новомещерский пр-д,
д. 11, стр. 1

Отдел продаж, тел. +7 (495) 995-26-88

Тел.: 8 (800) 333-96-88,
+7 (495) 995-26-33
info@xcmg-ru.ru
www.xcmg-ru.ru



Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

- Комитета по освоению подземного пространства НОСТРОЙ
- Объединения подземных строителей и проектировщиков
- Международной Ассоциации Фундаментостроителей

№25 декабрь/2020

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-57244 от 12.03.2014

Учредитель **Регина Фомина**

Издатель **ООО «Информационное агентство «ТехИнформ»**

Генеральный директор **Регина Фомина**

РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор:

Регина Фомина (info@techinform-press.ru)

Выпускающий редактор:

Сергей Зубарев (redactor@techinform-press.ru)

Дизайнер, бильд-редактор

Лидия Шундалова (art@techinform-press.ru)

Руководитель отдела подписки

Полина Богданова (post@techinform-press.ru)

Ответственный секретарь

Ирина Вишневецкая

Корректор:

Инна Спиридонова

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

В.Н. Александров, Почетный гражданин Санкт-Петербурга

С.Н. Алпатов, генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков, президент Российского общества по внедрению бестраншейных технологий

Андреа Беллоккьо, руководитель проектов компании Rocksoil S.p.A (Италия)

А.И. Брейдбурд, президент МАС ГНБ, генеральный директор ООО «Нефтегазспецстрой»/ГК «ЮНИРУС»

В. А. Гарбер, д.т.н., главный научный сотрудник НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО «ЦНИИС»

С.В. Кидяев, первый вице-президент АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

А.П. Ледяев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тоннели и метрополитены»

К. Н. Матвеев, председатель правления Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России» (ТАР), первый заместитель генерального директора АО «Мосинжпроект»

М.Е. Рыжевский, к.т.н., президент компании MTR Ltd

В.М. Улицкий, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Основания и фундаменты» ПГУПС Императора Александра I

А.Г. Шашкин, генеральный директор ООО «ПИ «Геореконструкция», доктор геолого-минералогических наук, член президиума РОМГГФ, член Совета по сохранению и развитию территорий исторического центра Санкт-Петербурга, координатор Санкт-Петербургской комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям

Адрес редакции: 192283, ул. Купчинская, д.30, к. 1, кв.34
Тел.: (812) 905-94-36, +7-931-256-95-77, +7-921-973-76-44
office@techinform-press.ru
www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Подписано в печать: 29.12.2020. Заказ №

Отпечатано в «Премиум Пресс», г. Санкт-Петербург,

ул. Оптиков, д. 4

www.premium-press.ru

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет. Сертификаты и лицензии на рекламируемую продукцию и услуги обеспечиваются рекламодателем. Любое использование опубликованных материалов допускается только с разрешения редакции.

Информационное сотрудничество: Интернет-портал undergroundexpert.info

Подписку на журнал можно оформить по телефону

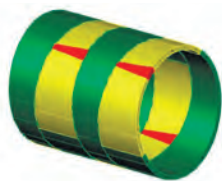
+7 (931)-256-95-77 и на сайте www.techinform-press.ru



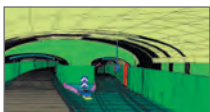
Содержание



СТР. 4–8



СТР. 10–16



СТР. 17–21

ЭКСПЕРТНОЕ МНЕНИЕ

- 4 *Н. Г. Бобылев.* Принципы управления развитием территорий с помощью инженерной инфраструктуры

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

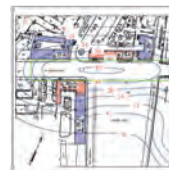
- 10 *И. В. Нестеров.* Автоматизация проектирования сборных тоннельных обделок на базе универсальных клиновидных блоков
- 17 *В. А. Гарбер.* Методика внедрения цифровых моделей в метро- и тоннелестроении



СТР. 22–24



СТР. 26–29



СТР. 30–37



СТР. 38–41

МЕТРОПОЛИТЕНЫ

- 22 Петербургский метрополитен: 65 лет
- 26 Сергей Жуков об итогах года и продолжении интенсивных темпов

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

- 30 *Р. И. Ларионов.* Геотехнический мониторинг компенсационных работ для зданий, являющихся памятниками архитектуры (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)
- 38 *О. А. Маковецкий, С. С. Рубцова.* Усиление фундаментов строящегося здания по технологии струйной цементации (АО «Нью Граунд»)

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ

С ПОМОЩЬЮ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н. Г. БОБЫЛЕВ,

к. т. н., руководитель образовательной программы «Экологический менеджмент» Института наук о Земле
(Санкт-Петербургский государственный университет)

УРБАНИЗАЦИЯ И РОСТ МЕГАПОЛИСОВ ЯВЛЯЮТСЯ ОДНОЙ ИЗ ОСНОВНЫХ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАН И РЕГИОНОВ. СООТВЕТСТВЕННО, УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЯВЛЯЕТСЯ АКТУАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ НА ВСЕХ УРОВНЯХ — ОТ НАЦИОНАЛЬНОГО ДО МЕСТНОГО. В СТАТЬЕ ПОДРОБНО РАССМАТРИВАЮТСЯ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ПОДЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.

ГОРОДСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА: ИНЖЕНЕРНАЯ И ПОДЗЕМНАЯ

Под городской инженерной инфраструктурой понимается совокупность обеспечивающих жизнедеятельность города сооружений и коммуникаций, связанных функционально и, возможно, физически.

Городская подземная инфраструктура (ПИ) — это объекты, находящиеся в подземном пространстве и также выполняющие какую-либо задачу по обеспечению жизнедеятельности города (транспорт, водоснабжение, гражданская оборона и т. д.).

Современное видение ПИ включает в себя многофункциональные комплексы, создающие инфраструктуру путем интегрирования различных функций и инженерных сооружений подземного и наземного пространства (рис. 1).

Статистика по использованию городского подземного пространства

Статистика по использованию подземного пространства (ПП) необходима для планирования городского развития. У ПП много пользователей. Обычно каждый из них (например, водоканал или метрополитен) имеет свою базу данных по подведомственным объектам, но



Рис. 1. Интеграция подземного и наземного пространства на Потсдамерплац, Берлин (фото: Николай Бобылев)



Рис. 2. Подземное пространство Александерплац, Берлин (фото: Николай Бобылев)

эти базы не связаны между собой. Таким образом, с градостроительной точки зрения мы очень мало знаем о городском подземном пространстве.

ПП можно условно разделить на слои. Самым насыщенным искусственными объектами из них оказывается верхний. Для использования нижних слоев к ним нужно иметь адекватный доступ, особенно это касается мелких коммуникаций и непротяженных объектов. Исторически верхние слои (1–3 м от поверхности) используются наиболее интенсивно. Таким образом, освоение ПП идет сверху вниз.

Например, одной из самых высоких в мире является плотность коммуникаций под дорожной сетью Токио. По секторам инфраструктуры на километр дороги в среднем это: телеком — 17 км, электросети — 9,3 км, газоснабжение — 2 км, водоснабжение — 2,3 км, канализация — 1,9 км (Matsumoto, 2005).

Одно из самых полных исследований ПП было проведено в Берлине (Бобылев Н. Г.), в районе Александерплац. Эта площадь — сердце немецкой столицы, место, где сложная история Германии отразилась, в том числе, в подземной инфраструктуре (рис. 2).

Первое упоминание об Александерплац относится к XIII веку, а с XVII века площадь считается одним из центров Берлина. Старейшим подземным объектом под нею является канализационный коллектор диаметром 667 мм, датируемый 1880 годом и находящийся в эксплуатации по сей день. Первая линия метро появилась под Александерплац в 1913 году, а в 1930-м к ней добавились еще две. Таким образом, здесь сформировался важный транспортный узел. Он объединяет не только три линии метрополитена (U2, U5, U8), но и наземную железнодорожную станцию. Подзем-

ная транспортная инфраструктура также включает в себя короткий автомобильный тоннель, пешеходные переходы и автостоянку на 650 машиномест. Под землей находится и значимый исторический объект — трехуровневый бункер, построенный в 1945 году.

Диаграммы 1 и 2 отражают количественный и качественный состав подземной инфраструктуры Александерплац. Как видно из диаграммы 2, транспорт составляет львиную долю функционального использования ПП. Важно отметить, что здесь представлен срез уникальной исторической части города. Транспортная функция в кварталах со стандартной застройкой и в среднем имеет меньший относительный вес, но все равно будет доминировать.

Если суммировать объемы всех подземных сооружений (V) и разделить их на соответствующую их местоположению площадь территории (S), то получится плотность подземных сооружений (D):

$$D = V/S \text{ [м}^3/\text{м}^2\text{]}.$$

Эту плотность можно еще представить как толщину слоя подземной инфраструктуры. На Александерплац данный показатель высок — до 2,75 м (Bobylev, 2010).

В Париже, который известен как один из самых компактных мегаполисов с большой плотностью населения и городской застройки, средняя плотность подземной инфраструктуры составляет чуть меньше метра (Duffaut, 2007), но есть места, где этот показатель выше в несколько раз.

В целом же с уверенностью можно сказать, что усреднено плотность подземных коммуникаций коммуналь-

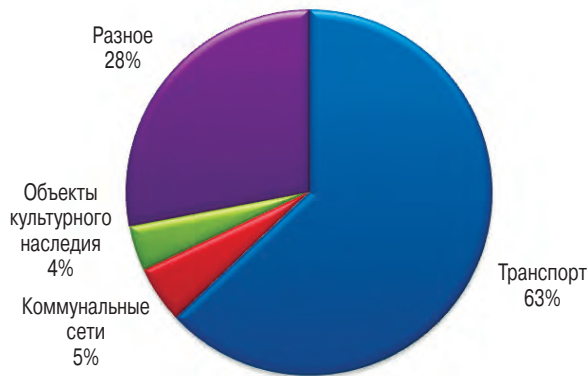


Диаграмма 1. Функциональное использование ПП в районе Александерплац, Берлин (Bobylev, 2010)

но-бытовой инфраструктуры в современных городах составляет около 5 см.

Диаграмма 2 показывает характерное распределение объема подземной инфраструктуры по глубине. Как мы видим, первые от поверхности метры — самые насыщенные, а чем ниже, тем больше остается свободного ПП.

Максимальная плотность подземных объектов наблюдается на первых 3–5 м глубины. Как пример того, что в современных мегаполисах верхние слои ПП оказываются перегруженными, можно привести динамику развития Токийского метро (диаграмма 3). Средняя глубина заложения новых линий увеличивается.

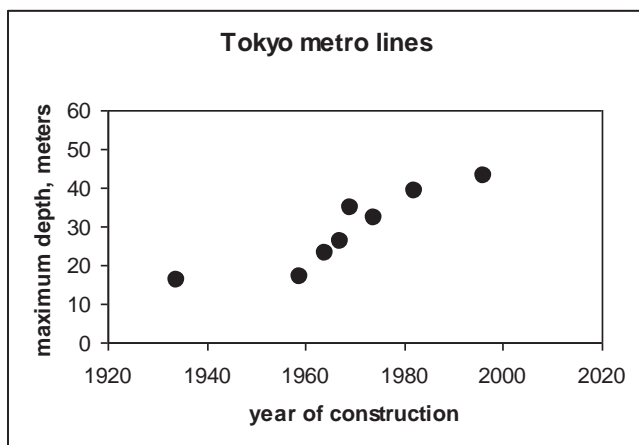


Диаграмма 3. Средняя глубина заложения линий Токийского метро (данные Японского министерства землепользования, инфраструктуры и транспорта)

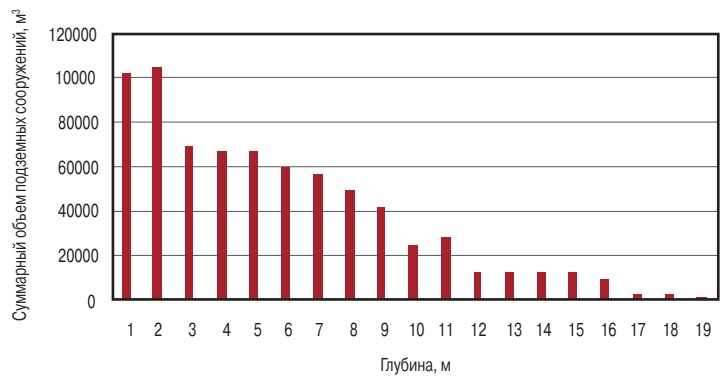


Диаграмма 2. Распределение объема подземной инфраструктуры по глубине в районе Александерплац, Берлин (отредактировано, источник: Bobylev, 2010)

ШИРОКОЕ ПОНЯТИЕ УПРАВЛЕНИЯ (GOVERNANCE)

Термин «управление» на сегодняшний день мы понимаем как совокупность процессов и позиций заинтересованных сторон, приводящую к принятию решения. Таким образом, в управлении развитием территорий принимают участие: 1) государственные органы власти; 2) инвесторы; 3) профильные предприятия и организации; 3) население; 4) средства массовой информации и т. д. Все эти заинтересованные стороны зачастую имеют конфликтующие позиции по определенным проектам и могут лоббировать выгодные им решения.

Подземная инфраструктура (ПИ) традиционно рассматривается как сервис, обеспечивающий градостроительное развитие. Это означает, что:

- само ПП не играет важной роли на начальных этапах планирования развития территорий;
- заинтересованные стороны, лоббирующие использование ПП, не участвуют в принятии решений по перспективному планированию;
- развитие ПИ (и инженерной инфраструктуры в целом) запаздывает по сравнению с общим градостроительным развитием.

Таким образом, инженерная инфраструктура играет пассивную роль и оказывается второстепенной. Почему на этот вопрос стоит обратить внимание?

Во-первых, подземная инфраструктура требует больших инвестиций при создании, но аккумулированная ценность ее в городах весьма высока.

Во-вторых, исключая или недооценивая ПИ в процессе планирования, мы упускаем значительные и уникальные возможности городского развития, что будет обсуждено ниже.

ПАССИВНАЯ И АКТИВНАЯ РОЛЬ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Примером пассивного использования инженерной инфраструктуры является строительство транспортных развязок (в том числе тоннелей) на перекрестках с затрудненным движением или прокладка коммуникаций для удовлетворения тех или иных новых городских потребностей (Бобылев, 2009; 2016; 2020; Стерлинг, 2012). В подобных случаях развитие инженерной инфраструктуры подчинено предоставлению требуемого сервиса с минимумом экономических затрат, а возможности для управления градостроительным развитием отсутствуют.

Пример активного использования инженерной инфраструктуры — строительство метро и выделенных полос движения для общественного транспорта в новых районах. Создание скоростной автодорожной сети в городах, напротив, поощряет использование личного автомобиля и увеличивает моторизацию.

Другие примеры «управления» с помощью ПИ: строительство перехватывающих парковок у станций метро как элемент системы Park & ride; строительство утилитов (коммуникационных коллекторов) для уменьшения долгосрочных издержек на ремонт коммуникаций.

Таким образом, активное использование инженерной инфраструктуры как инструмента развития города возможно при:

- постановке задач социально-экономического развития;
- одновременном планировании градостроительного развития и инфраструктуры;
- интеграции инженерной инфраструктуры в программы развития города, наряду с координацией законодательной и нормативной базы.



Диаграмма 4. Концепция активного и пассивного использования инженерной инфраструктуры

При активной роли инженерной инфраструктуры можно влиять на вопросы предпочтительного (функционального) землепользования, преимущественного использования определенных видов транспорта, координации прокладки и обслуживания коммуникаций.

В свете концепции устойчивого развития ставятся амбициозные цели улучшения индикаторов городской среды (например: качество атмосферного воздуха, среднее время поездки, количество зеленых насаждений). Очевидно, что эффективное решение этих задач невозможно без активного использования инженерной инфраструктуры как элемента политики городского развития (диаграмма 4).

ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫЕ И НОРМАТИВНЫЕ АСПЕКТЫ

В большинстве стран мира исторически право частной собственности на землю было не ограничено и включало горные породы на любой глубине. Таким образом, городские улицы являлись единственным свободным местом для освоения ПП с юридической точки зрения.

Проблема характерна, например, для Японии. Фактический запрет на использование ПП под частным землевладением привел к нерациональному развитию городской подземной инфраструктуры. В частности, коммуникации повторяют геометрию дорожной сети, а не проходят по кратчайшему расстоянию (Бобылев, 2011, 2016). Это относится и к первым линиям метро. Переговоры с владельцами земли о возможности прохождения метрополитена под их участками, включая большое количество частных домовладений, представляли собой сложную задачу ввиду возникающих коммерческих запросов собственников и т. д.

В 2006 году Япония, однако, приняла закон, разрешающий без каких-либо условий использование подземного пространства под частными владениями для общественных нужд на глубине более 30 м (Стерлинг, 2012). Вместе с тем это решение сняло ограничения только для крупных инфраструктурных проектов. Жилищно-коммунальные сети, как и прежде, должны развиваться под общественной землей (обычно под УДС) — или переговоры должны проводиться с каждым владельцем земли индивидуально.

В Китае закон, направленный на закрепление приоритета общественных нужд при использовании ПП, был принят в 1997 году.

В Финляндии законодательство позволяет частному собственнику использовать ПП на глубину 6 м от минимальной отметки земельного участка. Фактически владелец может построить здание с двумя подземными этажами. Далее право собственников земельных участков ограничивается ради использования ПП для

общественных нужд, что город Хельсинки подтвердил в судебном порядке (Vähäaho, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение обобщим основные принципы управления развитием территорий с помощью инженерной инфраструктуры (Бобылев, 2007, Bobylev, 2018, Volchko et al, 2020):

1) программная постановка стратегических целей городского развития (например, увеличение доли общественного транспорта);

2) взаимодействие и обмен информацией между основными заинтересованными сторонами процесса управления (например, пользователями ПП);

3) совместное планирование социально-экономического, градостроительного и инфраструктурного развития.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Научные исследования, описанные в этом докладе, проводились, в том числе, при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проекты 20-514-22001, 18-55-76003; Программы приграничного сотрудничества поддержки совместных проектов с финансированием со стороны Европейского союза, Российской Федерации и Финляндской Республики (KS 1529).

Литература

1. Admiraal, J.B.M. (2006). A Bottom-up Approach to the Planning of Underground Space. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 21, Issues 3-4, May-July 2006, Elsevier, Oxford, UK, pp 464-465.
2. Angel, S., Sheppard, S.C., Civco, D.L. (2005). The Dynamics of Global Urban Expansion, Washington, D.C.: World Bank, 2005.
3. Bobylev N (2016) Transitions to a High Density Urban Underground Space, Procedia Engineering, Volume 165, 2016, Pages 184-192, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.750>
4. Bobylev N (2018) Geosystem and Ecosystem Services – Exploring Opportunities for Inclusion in Urban Underground Space Planning. Proceedings of the 16th World Conference of Associated research Centers for the Urban Underground Space. Integrated Underground Solutions for Compact Metropolitan Cities. 5-7 November 2018, Hong-Kong, China. <http://www.acuus2018.hk/Scientific%20Committee.html>
5. Bobylev, N (2010) Underground Space Use in the Alexanderplatz Area, Berlin: research into the quantification of Urban Underground Space use. Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 5, September 2010, Pages 495-507. Elsevier, doi:10.1016/j.tust.2010.02.013.
6. Bobylev, N. (2011) Comparative analysis of environmental impacts of selected underground construction technologies using analytic network process. Automation in Construction, Elsevier. Volume 20, Issue 8, December 2011, Pages 1030-1040. doi:10.1016/j.autcon.2011.04.004.
7. Bobylev, N (2016) Underground Space as an Urban Indicator: Measuring Use of Subsurface. Tunnelling and Underground Space Technology, Elsevier. Volume 55, Special Issue: Urban Underground Space: A Growing Imperative. Perspectives and Current Research in Planning and Design for Underground Space Use. ISSN: 0886-7798. Pages 40 – 52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2016.02.022>
8. Bobylev, N. (2007) Sustainability and Vulnerability Analysis of Critical Underground Infrastructure (pp. 445-469). In: Linkov, I., Wenning, R., and Kiker, G., Managing Critical Infrastructure Risks. NATO Security through Science Series. Springer Netherlands. DOI 10.1007/978-1-4020-6385-5_26.
9. Bobylev, N. (2009) Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use. Land Use Policy, doi:10.1016/j.landusepol.2009.02.003, Elsevier.
10. DTI Foresight (2006), "Intelligent Infrastructure Futures", Office of Science and Technology, United Kingdom, www.foresight.gov.uk. (March 23, 2009).
11. Duffaut, P. 2007. Urbanisme souterrain. Pano-rama historique et géographique. Techniques de l'Ingénieur C3061-2, Paris.
12. Hunt D.V.L., Jefferson I., Gaterell, M. and Rogers C.D.F. (2009a). Planning for Sustainable Utility Infrastructure, Urban Design and Planning, Proc. Institution of Civil Engineers, Vol. 162, No. 4, p. 187-201.
13. Hunt D.V.L., Jefferson, I. and Rogers C.D.F. (2009b). A Toolkit for Testing Sustainable Use of Underground Space in Future Scenarios, Proc. of 7th Asia Regional Conference of the International Association of Engineering Geologists (ASIA2009 – IAEG), Chengdu, China, 9-11 September (CDROM).
14. Indicators of Progress: Guidance on Measuring the Reduction of Disaster Risks and the Implementation of the Hyogo Framework for Action (2008) UNISDR, Geneva, Switzerland.
15. Infrastructure to 2030: Telecom, Land Transport, Water and Electricity (2006) OECD.
16. ITA (2001). Why go underground? International Tunnelling Association, Lausanne, Switzerland.
17. Matsumoto, R. (2005). Deep underground utilization law and its benefits. Underground space use – Analysis of the Past and Lessons for the Future: Proc. World Tunnel Congress 2005, Istanbul.
18. Sterling, R., Admiraal, H., Bobylev, N., Parker, H., Godard, J.P., Vähäaho, I., Rogers, C.D.F., Shi, X., Hanamura T. (2012) Sustainability Issues for Underground Space in Urban Areas. Proceedings of the ICE – Urban Design and Planning, 32p. DOI: 10.1680/udap.10.00020.
19. United Nations (2007). World Urbanization Prospects. The 2007 Revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs (DESA).
20. Vähäaho, I. (2009). Underground Master Plan of Helsinki, a City Growing Inside Bedrock, ITA WTC 2009, Open Session, Budapest.
21. Volchko, Y., Norrman, J., Ericsson, L.O., Nilsson, K.L., Markstedt, A., Öberg, M., Mossmark, F., Bobylev, N., Tengborg, P. (2020) Subsurface planning: Towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource. Land Use Policy, 90, art. no. 104316 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104316>
22. Андреева Р.П., Богославец М.А., Захарян Г.А., Бобылев Н.Г. (2011) Выбор наилучшей стратегии улучшения энергоэффективности жилого здания с использованием метода аналитических сетей. Тезисы недели науки СПбГПУ. Изд-во СПбГТУ, 2011. С. 13-14.
23. Бобылев Н.Г. (2011) Городское подземное пространство – пространство возможностей. Градо, 2002. С. 36-50.
24. Бобылев Н.Г. (2011) Применение метода аналитических сетей в оценке технологий. Научно-технические ведомости СПбГПУ. 3(121)2011. С. 113-117.
25. Бобылев Н.Г. (2012) Использование городского подземного пространства на основе концепции сервисов экосистем. 2-я международная конференция «Геология крупных городов». СПб: Ренова, 2012. С. 42-44.



II ФОРУМ И ВЫСТАВКА

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В РОССИИ

МОСТЫ И ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

9-10 МАРТА 2021
МОСКВА, AZIMUT

innodor.ru

+7 (926) 549-53-79

+7 (926) 550-63-71

+7 (964) 522-09-86

+7 (495) 766-57-65

office@jcomm.ru

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Минтранс России



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНСТВО
РОСАВТОДОР



РОСАСФАЛТ
Ассоциация Производителей и Потребителей
Асфальтобетонных Смесей

Технический
комитет по стандартизации
ТК 418
Дорожное хозяйство

Генеральные информационные партнёры

РИА НОВОСТИ

Федеральный печатный орган Правительства Российской Федерации
Транспорт России
Федеральное государственное информационное агентство

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ
ДОРОГИ**

ИНОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ГОРОГИ

Информационные партнёры

Организатор

Дороги

Мир
ДОРОГ
www.mir-dorog.ru

Безопасные и
качественные
дороги

ТРАНСПОРТНАЯ
стратегия • XXI век

Горно-Строительный Дайджест
WWW.MINING-DIGEST.RU

Дорожная
держжава

J COMM
СОБЫТИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

Регионы
России
Российское
информационное агентство

РЕГИОНЫ
РОССИИ

Регион
развития



Журнал
Интеллектуальные
транспортные системы
России

ВЫПУСК И ТРАНСПОРТ
АТ
Федеральный комитет по стандартизации
Информационный ресурс

STOP
газета

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СБОРНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ БЛОКОВ

И. В. НЕСТЕРОВ,

к. т. н., зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования» РУТ (МИИТ)

В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ ШИРОКО ПРИМЕНЯЮТСЯ СБОРНЫЕ ОБДЕЛКИ НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ КОЛЕЦ [1, 2], ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ОДИН ТИПОВОЙ КЛИНОВИДНЫЙ БЛОК НА ВСЕХ УЧАСТКАХ ТРАССЫ ТОННЕЛЯ (РИС. 1), КОТОРАЯ МОЖЕТ ВКЛЮЧАТЬ В СЕБЯ НЕ ТОЛЬКО ПРЯМОЛИНЕЙНЫЕ, НО И СЛОЖНЫЕ УЧАСТКИ, ЗАДАВАЕМЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КРИВОЙ (РИС. 2).

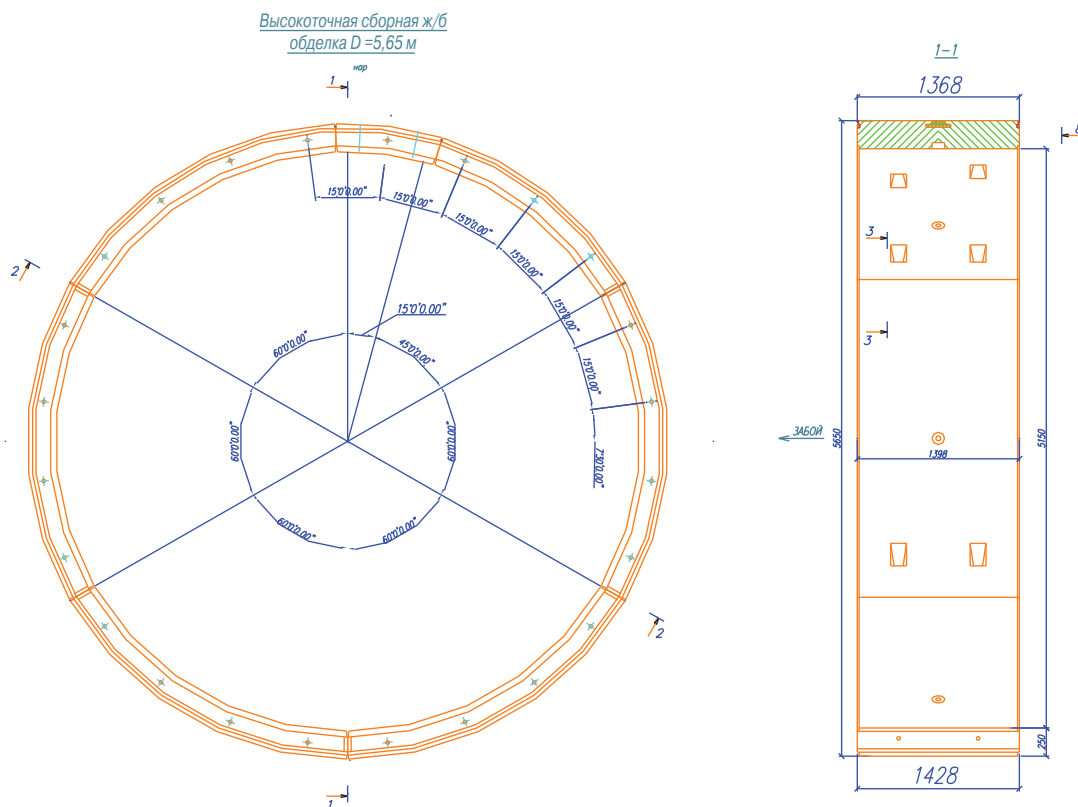


Рис. 1. Кольцо универсальной клиновидной обделки фирмы «Вайс»

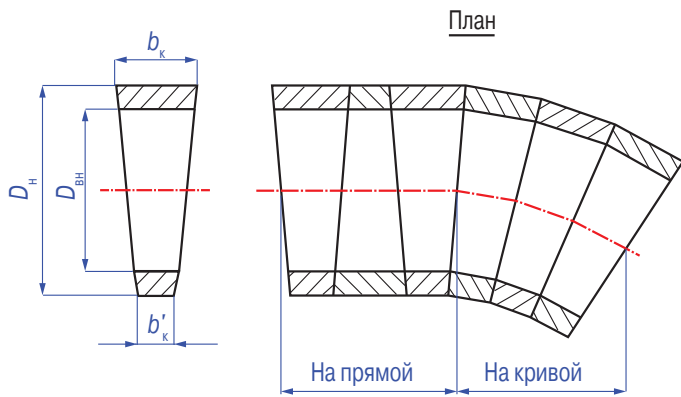


Рис. 2. Схема укладки колец обделки на прямом и криволинейном участке тоннеля с использованием универсальных клиновидных колец

Использование этого типа конструкций позволяет добиться высоких темпов строительства подземных транспортных линий, а также повысить качество и точность проходки тоннеля [3,4].

Конструкция универсальных клиновидных колец позволяет проходить тоннель и на прямом, и на криволинейном участке за счет поворота одного кольца относительно другого (рис. 3).

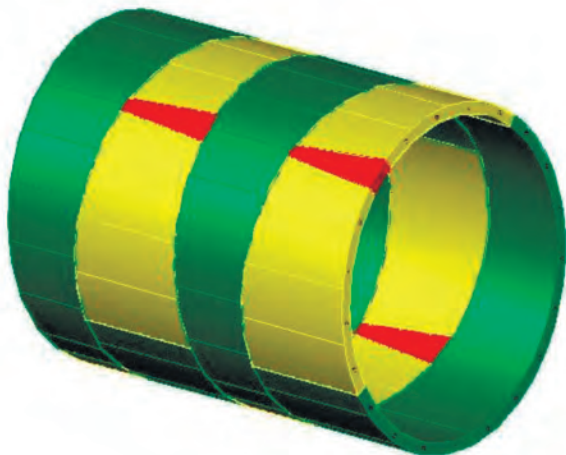


Рис. 3. Обделка из клиновидных элементов на прямом участке тоннеля

Однако при использовании клиновидных элементов возникают определенные сложности. Они связаны с тем, что осуществить прокладку тоннеля по одной и той же трассе с использованием одного набора колец можно различными вариантами (рис. 4, 5).

Отличие этих вариантов заключается в различном сочетании углов поворота для каждого элемента об-

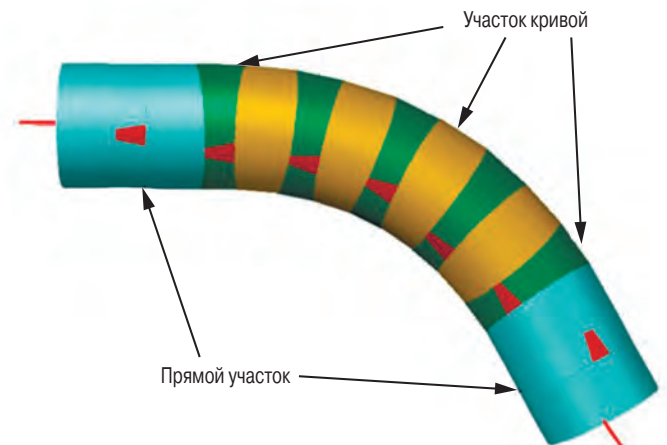


Рис. 4. Первый вариант прохождения трассы

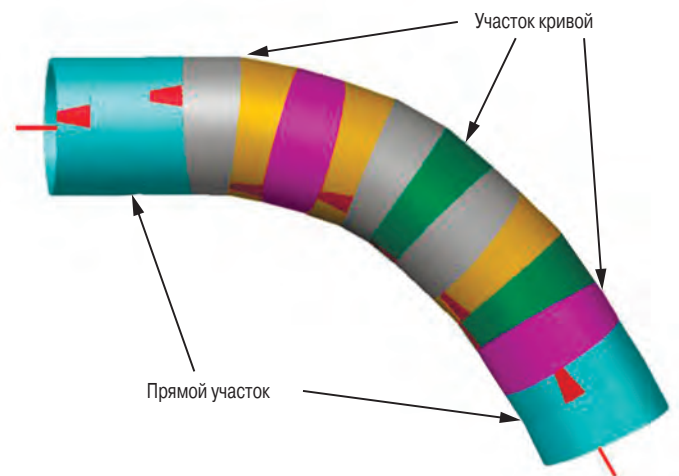


Рис. 5. Второй вариант прохождения трассы

делки и в доле отклонения от проектной оси тоннеля. На рис. 4, 5 одинаковыми цветами показаны кольца, повернутые на один и тот же угол относительно предыдущего кольца.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что формирование геометрии обделки на базе универсальных клиновидных блоков требует большого объема вычислений, выполняемых в проектных организациях, как правило, вручную или с применением локальной автоматизации, не дающей значительного ускорения.

Современный уровень развития вычислительной техники и программного обеспечения, однако, позволяет выполнить полную автоматизацию процесса формообразования сборных тоннельных обделок на базе универсальных клиновидных блоков. Решение этой задачи значительно ускорит процесс проектирования тоннельных конструкций, а также повысит качество подготовки

проектирование

проектной документации. Программную реализацию пространственной компоновки клиновидных колец удобно выполнять в среде графического редактора AutoCAD [5,6].

Для прокладки любого тоннеля необходима исходная (проектная) ось, которая состоит из прямых и круговых участков. Следует отметить, что трасса может быть как плоской (рис. 6), так и пространственной, то есть изменять направление как в плане, так и в профиле.

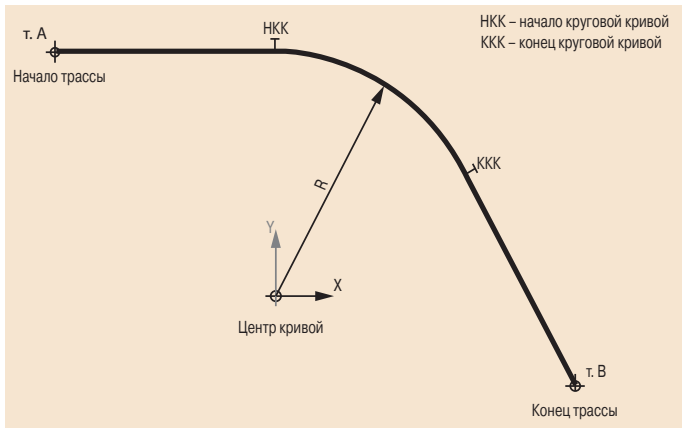


Рис. 6. Исходная ось тоннеля

Для программной реализации необходимо разбить исходную ось тоннеля на прямолинейные участки (базисы) для формирования списка точек координат оси (рис. 7).

Как у любой дискретной модели, при пространственном моделировании точность построений зависит от величины шага дискретизации.

При грубой дискретизации проектной оси тоннеля в ходе работы программы возникают значительные погрешности, что приводит к недопустимым отклонениям (рис. 8).

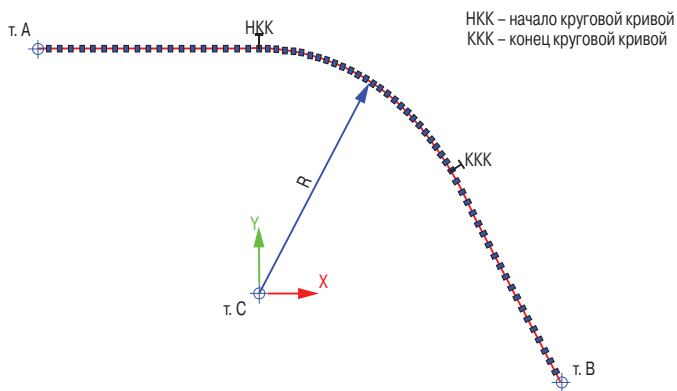


Рис. 7. Дискретная модель оси тоннеля

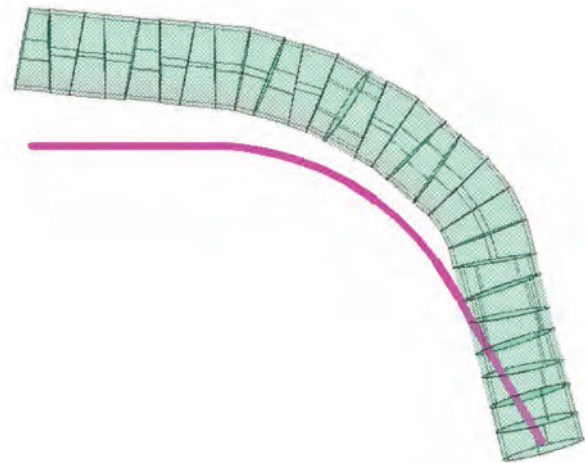


Рис. 8. Результат работы программы формообразования при грубой дискретизации проектной оси

СПОСОБ РАСЧЕТА

Плотность дискретизации проектной оси тоннеля определяется приращением угла клиновидности при повороте клиновидного кольца на один болтовой шаг $\Delta j_{\text{кл}}$. Угловое отклонение хорды дискретного базиса \mathbf{b} от касательной к проектной оси тоннеля $\Delta \gamma$ (рис. 9) в месте стыковки клиновидного кольца не должно превышать приращения угла клиновидности $\Delta j_{\text{кл}}$, поэтому определяющим соотношением для получения дискретного базиса \mathbf{b} будет неравенство:

$$\Delta \gamma < \Delta j_{\text{кл}} \quad (1)$$

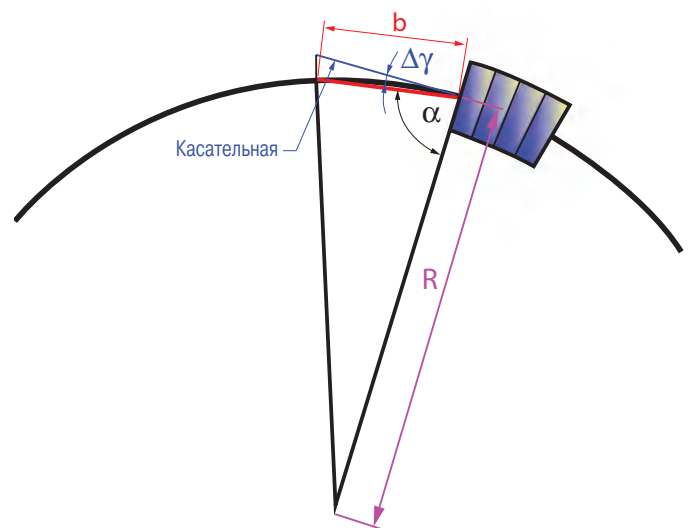


Рис. 9. Определение дискретного базиса для формирования кривой проектной оси тоннеля

Вычислим величину дискретного базиса через угловое отклонение $\Delta\gamma$.

$$\Delta\gamma = \pi/2 - a, \quad (2)$$

$$R \cdot \cos a = b/2, \quad \cos a = b/(2R) \quad (3)$$

$$a = \arccos\left(\frac{b}{2R}\right), \quad (4)$$

$$\Delta\gamma = \pi/2 - \arccos\left(\frac{b}{2R}\right), \quad \arccos\left(\frac{b}{2R}\right) = \pi/2 - \Delta \quad (5)$$

$$\left(\frac{b}{2R}\right) = \cos(\pi/2 - \Delta\gamma), \quad \left(\frac{b}{2R}\right) = \sin(\Delta\gamma) \quad (6)$$

$$b = 2R \cdot \sin(\Delta\gamma), \quad (7)$$

с учетом неравенства (1) получим окончательное соотношение дискретного базиса дуги окружности:

$$b = 2R \cdot \sin(\Delta j_{\text{кл}}). \quad (8)$$

Число дискретных базисов на кривой 1-2 (рис. 9) будет определяться соотношением:

$$n = \left\lceil \frac{l_{12}}{b} \right\rceil, \quad (9)$$

где l_{12} – длина криволинейного участка 1-2.

В случае пространственной кривой (рис. 10) формулу для вычисления длины участка l_{12} можно получить следующим образом.

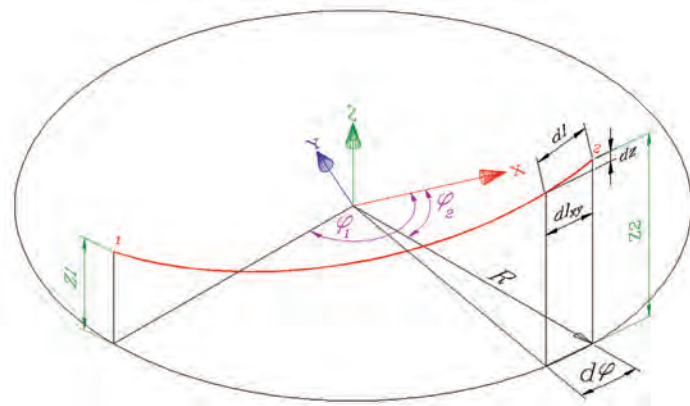


Рис. 10. Определение длины участка пространственной кривой

Длина элементарного участка кривой (рис. 9):

$$dl = \sqrt{dl_{xy}^2 + dz^2} \quad (10)$$

Переменные под знаком радикала можно представить в следующем виде:

$$l_{xy} = R \cdot d\varphi, \quad dz = k \cdot d\varphi, \quad (11)$$

где

$$k = \frac{z_2 - z_1}{\varphi_2 - \varphi_1}, \quad (12)$$

Перепишем выражение (10) с учетом (11):

$$dl = \sqrt{R^2 d\varphi^2 + k^2 d\varphi^2} = \sqrt{d\varphi^2 (R^2 + k^2)} = d\varphi \sqrt{R^2 + k^2}. \quad (13)$$

Длина участка кривой l_{12} (рис. 2.20) будет равна:

$$l_{12} = \sqrt{R^2 + k^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) \sqrt{R^2 + k^2} \quad (14)$$

Перепишем формулу для определения числа дискретных базисов (9), с учетом соотношений (8, 13):

$$n = \left\lceil \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) \sqrt{R^2 + \left(\frac{z_2 - z_1}{\varphi_2 - \varphi_1}\right)^2}}{2R \sin(\Delta j_{\text{кл}})} \right\rceil, \quad (15)$$

Для численной реализации полученной математической модели на языке AutoLISP [7,8] была написана специальная функция, выполняющая автоматическую дискретизацию исходной трассы тоннеля на базисы, направление которой изменяется и в плане, и в профиле. В качестве исходных данных для пространственных кривых функция запрашивает центр кривой, радиус кривой, начальную и конечную точку оси. На рис. 11 показан результат работы функции.

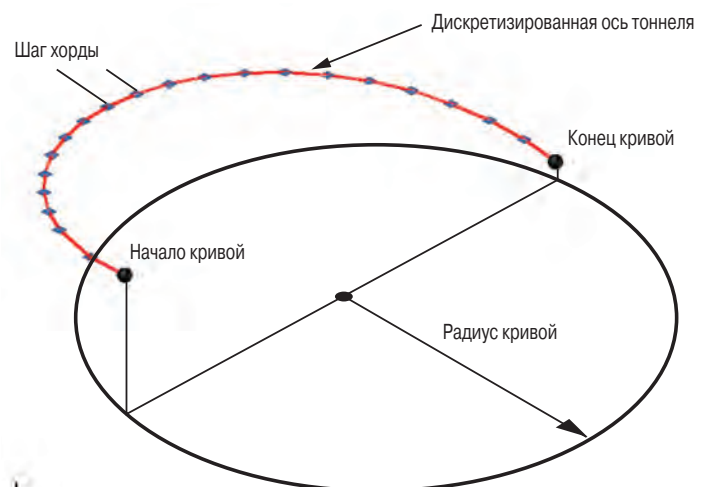


Рис. 11. Программная реализация алгоритма дискретизации

проектирование

На выходе программа автоматически генерирует пространственную полилинию, используемую впоследствии для формирования геометрии обделки.

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОБДЕЛКИ НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КЛИНОВИДНЫХ КОЛЕЦ

Алгоритм реализован в среде графического редактора AutoCAD на языке AutoLISP. Рассмотрим основные шаги алгоритма:

1. На первом шаге формируется список точек оси тоннеля на базе дискретизированной трассы (рис. 12). Полученные данные заносятся в координатный список LIST_TON_AXIS.

2. После формирования списка LIST_TON_AXIS происходит переход в локальную систему координат, у которой ось Z совпадает с первым отрезком оси тоннеля.

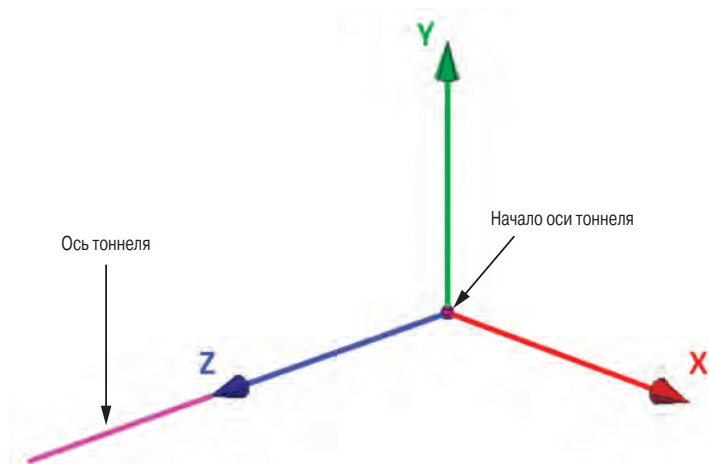


Рис. 12. Переход в локальную систему координат, у которой ось Z совпадает с первым отрезком оси тоннеля

3. На следующем шаге происходит вставка стартового клиновидного блока в начало оси тоннеля (рис. 13).

4. Далее происходит переход в локальную систему координат левой плоскости клина (рис. 14).

5. На следующем шаге удаляются все информационные грани и формируется список локальных плоскостей поворота серединной плоскости клина в системе координат левой плоскости клина. Этот список формируется путем поворота плоскости нормали вокруг оси Z. Количество элементов равно общему количеству болтовых шагов в кольце. Сначала происходит получение исход-

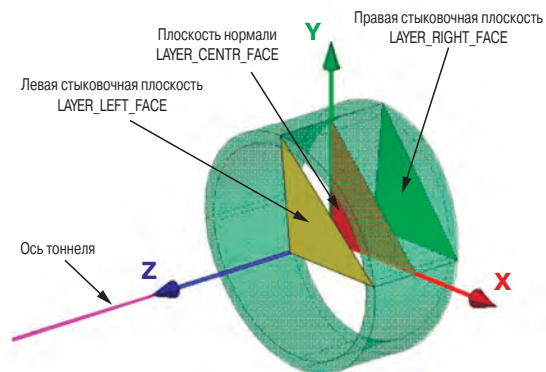


Рис. 13. Вставка стартового клиновидного кольца

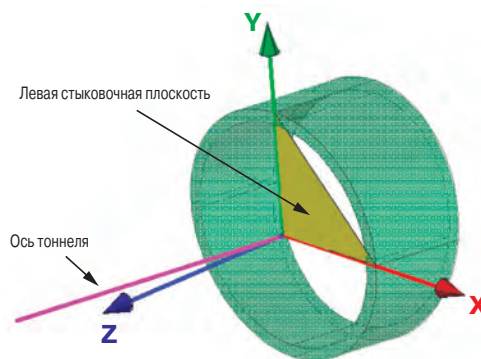


Рис. 14. Переход в локальную систему координат левой плоскости клина

ных координат базовых плоскостей клина, затем — формирование «веера» плоскостей поворота, а в конце — получение локального списка плоскостей серединной поверхности клина (рис. 15).

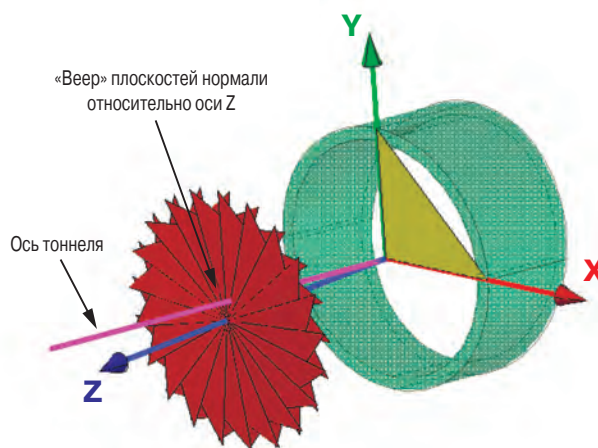


Рис. 15. Формирование списка локальных плоскостей поворота плоскости нормали в системе координат левой плоскости клина

6. Затем из полученного списка выбирается плоскость с наименьшим углом наклона нормали к оси тоннеля (рис. 16). Именно этот угол и будет оптимальным углом поворота текущего кольца относительно предыдущего. Также на этом шаге вычисляется число болтовых шагов, необходимое для поворота кольца.

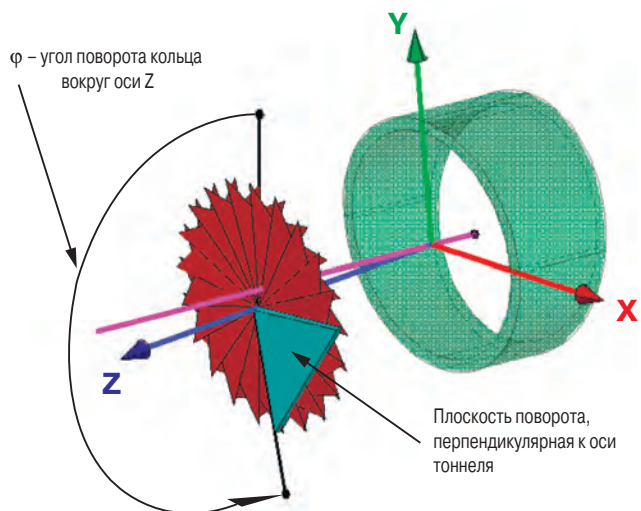


Рис. 16. Поиск локальной плоскости поворота с наименьшим углом наклона нормали к оси тоннеля

7. Следующим шагом работы программы является вставка промежуточного блока (рис. 17). Вставка происходит в локальной системе координат левой плоскости клина.

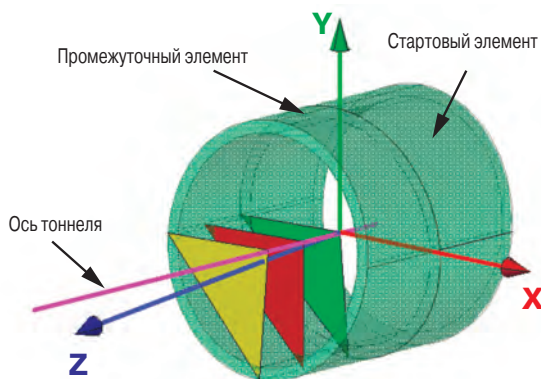


Рис. 17. Вставка промежуточного блока

8. После вставки последнего клиновидного кольца происходит переход в систему координат его левой

плоскости (рис. 18). Каждый последующий блок присоединяется к предыдущему за счет левой стыковочной плоскости в системе координат, находящейся в ней.

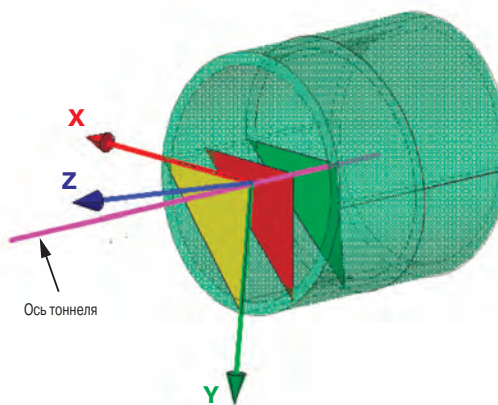


Рис. 18. Переход в систему координат левой плоскости предыдущего блока

9. Далее происходит поиск пересечения серединной плоскости клина текущего блока с осью тоннеля. После чего вычисляется длина проекции локального отрезка, пересекающего плоскость, на серединную плоскость клина. Если такого пересечения не нашлось, значит сформированная обделка дошла до конечной точки оси тоннеля, программа выходит из цикла формообразования.

Пример участка тоннеля, сформированного автоматически с помощью программного модуля Klinton_main, представлен на рис. 19.

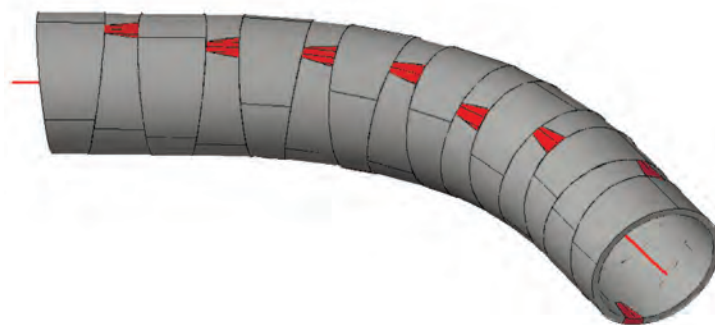


Рис. 19. Результат работы модуля автоматической компоновки клиновидных колец в среде редактора AutoCAD

ВЫВОДЫ

Для повышения качества и скорости проектирования тоннельных обделок на базе универсальных клиновидных блоков необходимо использовать средства автоматизации проектирования.

Программные блоки автоматической компоновки клиновидных блоков должны функционировать в среде графического редактора, в котором выполняется подготовка проектной

документации. Большинство инженеров-строителей применяет для этих целей редактор AutoCAD.

Использование математических моделей дискретизации оси тоннеля в сочетании с итерационными процедурами раскладки клиновидных колец на базе алгоритма локализации стыковочных плоскостей позволяет достичь максимального уровня автоматизации и высокой точности вычислений.

Литература

1. Сергеев В.К., Титов Е.Ю. Конструкции сборных тоннельных обделок. Учебное пособие: М.: МИИТ, 2009. – 55 с.
2. Афендинов Л.С., Гарбер В.А., Меркин В.Е. Современные конструкции и технология сооружения транспортных тоннелей (зарубежный опыт). – М., 1986.
3. Метро и тоннели. Научно-техническое и информационное издание. 2000-2009.
4. Ю.С. Фролов, А. Саламех. Сборные железобетонные обделки при проходке тоннелей с активным пригрузом забоя и особенности их расчета. Подземное пространство мира №3, 2001. С. 38-43.
5. Онстот С. AutoCAD 2015 и AutoCAD LT 2015. Официальный учебный курс AUTODESK, М: ДМК Пресс, 2015.
6. Габидулин В.М. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2014, М: ДМК Пресс, 2013.
7. Иванов О.Н., Чайкин А.А., Шевченко В.Н. Язык программирования AutoLISP Release 10, 11. М:TRINIKA Ltd, 1992.
8. Полещук Н.Н. Программирование для AutoCAD 2013-2015, М: ДМК Пресс, 2015.



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Тринадцатая международная специализированная выставка

30.03 - 01.04.2021

Россия, Москва,
ЦВК «Экспоцентр», павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик (пластик, армированный стекловолокном), углепластик (пластик, армированный углеродным волокном), графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), искусственный камень, искусственный мрамор, металлокомпозиты, нанокомпозиты, биокомпозиты и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Инженерные пластики
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Компьютерное моделирование

Специальный раздел выставки: КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ





Параллельно проводится выставка:

ПОЛИУРЕТАНЭКС

Двенадцатая международная специализированная выставка
www.polyurethaneks.ru

Информационная поддержка:







Дирекция:
Выставочная Компания «Мир-Экспо»
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

You Tube [youtube.com/user/compoexporus](https://www.youtube.com/user/compoexporus) |  [@compoexporus](https://twitter.com/compoexporus) |  [@ocompo](https://t.me/compo)

Организатор:



Мир-Экспо
Выставочная компания

МЕТОДИКА ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ В МЕТРО- И ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

В. А. ГАРБЕР,
д. т. н. (НИЦ ТМ АО «ЦНИИС»)

TIM (TUNNEL INFORMATION MODELING) – ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА. В ПРЕДЫДУЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ АВТОР ИЗЛОЖИЛ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ TIM-ТЕХНОЛОГИИ. ТЕПЕРЬ РАССМОТРИМ ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ.

Вкратце, методика включает в себя следующие компоненты:

- алгоритм разработки и внедрения TIM в проектирование, строительство и эксплуатацию тоннельного объекта;
- программное обеспечение для решения геотехнических задач в тоннеле- и метростроении;
- организация работ по поэтапному внедрению TIM-технологии.

Практически работа над TIM должна проходить в несколько этапов (по аналогии с BIM):

Создание 3D-модели объекта со всеми планами, видами, разрезами, необходимыми для раздела архитектурных решений. Все составляющие раздела загружаются автоматически.

Конструктор вводит созданную модель в программу, рассчитывающую требуемые параметры составляющих элементов объекта. Одновременно программа выдает рабочие чертежи, ведомости объемов работ, спецификации, производит расчет сметной стоимости.

На основе полученных данных рассчитываются и вводятся в 3D-модель инженерные сети и их параметры.

При получении расчетных объемов работ специалистами разрабатываются проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР), программой автоматически составляется календарный график выполнения работ.

В модель добавляются логистические данные о том, какие материалы и в какие сроки должны быть доставлены на территорию строительства.

По завершении строительства информационная модель может работать при эксплуатации объекта при помощи датчиков. Под контролем оказываются все режимы инженерных коммуникаций и возможные аварийные ситуации.

В данной статье рассмотрим более подробно вопросы добавления к 3D-моделям временных характеристик (4D-модель) и экономических характеристик (5D-модель).

4D-МОДЕЛЬ: РАСЧЕТ ВО ВРЕМЕНИ

4D-моделирование объединяет 3D-модель объекта и его календарный план строительства, таким образом, обозначая существование тех или иных элементов в определенном отрезке времени. Так формируется визуально подкрепленный календарный график работ, который можно сделать максимально подробным или же укрупненным.

На рис. 1 схематически представлен процесс создания 4D-модели.

4D-модели могут быть использованы:

- для стратегического проектного планирования на стадии оценки возможности реализации проекта;
- для улучшения технической возможности реализации проекта и для определения преимуществ разных строительных процессов;

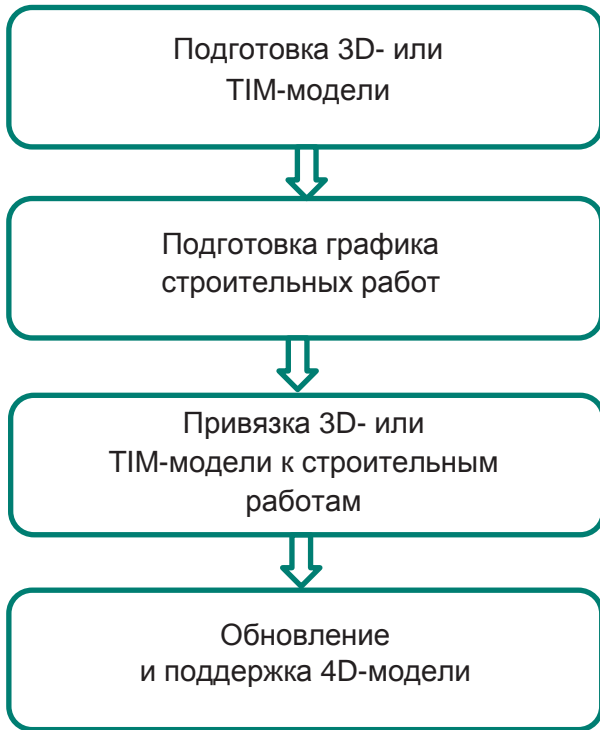


Рис. 1. Процесс создания 4D-модели

■ для временных аспектов строительства, координации и возможности технической реализации.

Последний процесс включает в себя понимание того, как и где подрядчик будет работать в определенный период времени, а также понимание поточного движения и состояния процесса строительства. На объекте подобные модели могут применяться для регулярной проверки текущего строительного процесса, и для сравнения фактического графика работ с запланированным для правильного менеджмента и оценки проекта.

Еще в 1980-х гг. в ЦНИИСе были осуществлены работы по оптимизации календарно-сетевому планированию работ по сооружению тоннелей.

Методика, реализованная на ЭВМ ЕС-1033, предназначалась для исследования как на стадии проектирования, когда требуется оценить эффективность заложенных в проект типов оборудования, технологических решений и организационных мероприятий с позиций наилучшего удовлетворения заданным срокам окончания и материально-трудовым лимитам строительства, так и в процессе сооружения тоннеля, позволяя оперативно реагировать на непредвиденные осложнения различного характера (трудности при проходке, неподготовленность фронта работ, перебои снабжения и т. д.).

Математически задача формулируется как выбор из общего числа N возможных работ такой последовательности K работ, которая обеспечивает достижение конечной цели — выполнение определенного объема работ — в минимальные сроки с соблюдением ограничений по L -видам ресурсов и по M -типам логических взаимосвязей между работами. Для решения поставленной оптимизационной задачи требуется подготовить следующую исходную информацию:

■ список возможных работ и их необходимый объем по основному тоннелю, вспомогательному тоннелю и прочим выработкам;

■ данные о наличии на строительстве и потребность в следующих ресурсах для каждого вида работ из общего списка, о проходческих бригадах, подземном автомобильном и рельсовом транспорте, поверхностном автотранспорте, щебне, песке, цементе, металле, сборной обделке, энергии;

■ логические взаимосвязи между работами списка, определяющие взаимную очередность начала работ и возможность вариантного проектирования;

■ плановые задания и средние месячные скорости для каждой работы из списка;

■ количественные и качественные характеристики изменчивости инженерно-геологических условий на трассе каждого забоя.

В изложенной постановке задач продолжительность работ по календарному графику T (целевая функция) определяется выражением

$$T = \sum_{i=1}^{i=K} \frac{PR_i}{SK_i} \rightarrow \min; K \in N$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{j=L} RS_{ij} \leq \sum_{j=1}^{j=L} rS_j$$

$K_i, K_j \in K$, если $KPR_i \sim KPR_j = 1$ при наличии K_i и K_j в списке взаимоисключающих работ; $K_i \in K$, если $\sum_{i=1}^{i=K} (KPP_i \sim KPR_i) = 0$,

где: PR_i и SK_i — задание по проходке и фактическая скорость проходки по i -му забоя; RS_{ij} — потребность i -й работы в j -м ресурсе; rS_j — общее наличие j -го ресурса; K_i и K_j — i -я и j -я работы множества N ; KPR_i и KPR_j — признаки окончания i -й и j -й работ, вошедших в множество K ; KPP_i — логическая характеристика взаимосвязей i -й работы.

Для решения поставленной оптимизационной задачи применен разработанный авторами метод направленного поиска нужной последовательности работ на базе их ранжирования по степени взаимозависимости. Всего для анализа принято $2N + 5$ вариантов календар-

ного графика. Критерием их оптимальности является минимум времени сооружения тоннеля.

Программа, реализующая данную методику на ЭВМ, обеспечивает выдачу на широкую печать кратчайших линейных календарных графиков работ после просмотра каждого из десяти возможных вариантов.

Применение методики проиллюстрируем на примере строительства тоннеля протяженностью 13 340 м, пуск которого назначен через 5 лет (Северомуйский тоннель БАМа).

Список возможных работ содержал 81 позицию, в том числе № 1–21 и № 22–31 по проходке буровзрывным способом и бетонированию основного тоннеля. Эти две группы работ отличаются длиной проходки, выполняемой при их осуществлении, и одновременно включены в список для обеспечения возможности вариантного сравнения различных последовательностей организации строительства. Работы № 32–52 предусматривают проходку параллельной основному тоннелю транспортной штольни (из них 15 механизированным щитом и 6 буровзрывным способом). Работы № 53–81 относятся к проходке четырех стволов, подходных вспомогательных выработок от них и сбоек между штольней и основным тоннелем.

В список включены три фиктивные работы, каждая из которых обозначает факт выполнения всего объема строительства по трем группам работ: основной тоннель — 13 340 м, вспомогательный тоннель — 13 295 м, прочие выработки — 2290 м.

В таблице исходных данных в графе «Задание по проходке» против некоторых работ ставят цифру ноль. Это означает, что выполнение данной работы не обязательно учитывать при подсчете общего выполненного объема работ, т. е. она является необязательной для достижения конечной цели.

Логические взаимосвязи указывают работы, которые:

- могут начинаться независимо от любой другой работы;
- могут начинаться после окончания какой-либо другой работы;
- исключают одна другую в одном и том же варианте календарного графика, т. е. осуществляются на одном участке различными методами или при различной организации строительства.

Программа позволяла каждую из работ (забоев) разбить на 10 подучастков с изменяющимися условиями строительства. Задается длина каждого подучастка и коэффициент изменения средней скорости проходки. Умножая этот коэффициент на величину заданной плановой (средней) скорости проходки по каждому забою, получают фактическую скорость проходки. Коэффици-

ент изменения средней скорости по подучасткам задается экспертным путем. По изложенным в сокращенном виде исходным данным на ЭВМ был получен оптимальный календарный график строительства тоннеля.

В данном примере единственным лимитирующим ресурсом оказался подземный рельсовый транспорт, который должен обеспечивать одновременную вывозку породы из максимального количества забоев. Поэтому в календарном графике последовательность окончания одних и начала других работ в основном определяется возможностью маневрирования наличным подземным рельсовым транспортом.

ЧТО ТАКОЕ 5D-MODEЛЬ?

5D — это когда мы к модели 4D добавляем возможность осуществлять автоматический расчет объемов ресурсов и их стоимости. Основным достоинством 5D-модели является автоматический перерасчет стоимости при внесении изменений в видах и объемах ресурсов. Здесь уже заложены все нормативы по сметным расчетам, и, выделяя какой-либо элемент, мы можем узнать продолжительность строительства, объем, физический, компонентный состав и стоимость.

5D TIM — это информационная модель, включающая в себя, помимо прочего, стоимость проекта или любой другой исчисляемой характеристики.

Традиционный процесс формирования смет включал в себя следующий набор однотипных действий, независимо от специфики различных предприятий:

- сбор и проверка данных по проектируемому объекту;
- внесение информации в расчетные программы;
- сопоставление видов работ и нормативов по расчетам;

4D-MODEЛИРОВАНИЕ ОБЪЕДИНЯЕТ 3D-MODEЛЬ ОБЪЕКТА И ЕГО КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН СТРОИТЕЛЬСТВА, ТАКИМ ОБРАЗОМ, ОБОЗНАЧАЯ СУЩЕСТВОВАНИЕ ТЕХ ИЛИ ИНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОПРЕДЕЛЕННОМ ОТРЕЗКЕ ВРЕМЕНИ. ТАК ФОРМИРУЕТСЯ ВИЗУАЛЬНО ПОДКРЕПЛЕННЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК РАБОТ. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ЦНИИСА, В ЧАСТНОСТИ, ПОЗВОЛИЛО ПО ИЗЛОЖЕННЫМ В СОКРАЩЕННОМ ВИДЕ ИСХОДНЫМ ДАННЫМ НА ЭВМ ПОЛУЧИТЬ ОПТИМАЛЬНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ.

проектирование

- сведение данных в единую смету.

Самым затратным по времени и усилиям является этап по сбору данных и их проверке. В связи с тем, что каждая организация имеет свои подходы к подсчету, а данные для смет поступают от разных подрядчиков, этот процесс может занимать до 70% от общего времени работ.

Отсутствие единого формата входящих данных вынуждало специалистов каждый раз использовать различные способы для расчетов и также сильно влияет на качество работы, так как при ручном труде неизбежны разного рода ошибки.

Когда в этот процесс включается ТИМ-модель, технология принимает следующий вид:

- формирование или подключение готовой базы норм и расценок;
- получение ТИМ-модели сооружения и сведение в единое целое модели с базой норм и расценок;
- проверка данных и выдача в формат сметной программы.

Имея в электронном виде нормативы на стоимость и время возведения конкретных конструкций, можно совместить две базы данных (по объекту и по нормам и расценкам) и получить удобный инструмент по формированию сметы прямых затрат.

Благодаря комплексному решению, возникающему из объединения в общую систему как сметы прямых затрат, так и календарного графика вместе с ТИМ-моделью, существующую 4D-модель можно «оживить» информацией по стоимости работ. Таким образом, будет получен мощный инструмент для анализа не только логистики, технологии производства работ, но и стройки как биз-

нес-процесса. Такую комплексную модель можно смело отнести уже к 5D-формату.

В конце 1980-х гг. в ЦНИИСе был разработан экспресс-метод определения стоимости и трудоемкости тоннельного строительства.

На первой стадии проектирования тоннелей и метрополитенов часто возникает необходимость приближенной сравнительной оценки вариантов строительства по их стоимости и трудоемкости. Для этой цели применялись сборники укрупненных показателей, а сами расчеты делались вручную, что удлиняло сроки выполнения работы.

В отделении «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа в течение ряда лет проводили анализ основных процессов строительства тоннелей и метрополитенов. На основе этих работ были выведены эмпирические зависимости, связывающие трудоемкость и стоимость строительства тоннельных сооружений различных видов со всей совокупностью факторов, влияющих на эти показатели. Коэффициенты, входящие в зависимости, получены на основе анализа ЕНиРов, ЕРЕРов и СНиПа на составление смет.

Проведенный анализ послужил основой для разработки экспресс-метода определения стоимости и трудоемкости тоннельного строительства в различных инженерно-геологических условиях. При этом были обеспечены:

- максимальная простота подготовки исходных данных;
- доступность и полнота выдаваемого результата расчета;
- минимальное время, затрачиваемое на подготовку исходных данных, их кодировку для ввода в ЭВМ и минимальное время счета на ЭВМ;
- удобная диагностика ошибок, возможных при подготовке исходных данных для расчета, локализация этих ошибок и защита результатов расчета от их влияния.

Для построения эмпирических зависимостей стоимости и трудоемкости от совокупности факторов, влияющих на их определение в соответствии с нормативами, был проведен системно-структурный анализ. В результате составлены обобщенные таблицы факторов для любой линии метрополитена и для любого горного тоннеля.

Таблица, относящаяся к метрополитенам, включала в себя 106 факторов, объединенных в девять следующих групп, каждая из которых может подразделяться на смысловые подгруппы:

1. Общая характеристика объекта строительства: категория пород по коэффициенту крепости; глубина заложения; высота засыпки (для открытого способа работ); водообильность пород.

5D — ЭТО КОГДА МЫ К МОДЕЛИ 4D ДОБАВЛЯЕМ ВОЗМОЖНОСТЬ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ РЕСУРСОВ И ИХ СТОИМОСТИ. ПРОВЕДЕННЫЙ В ЦНИИСЕ АНАЛИЗ ПОСЛУЖИЛ ОСНОВОЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ И ТРУДОЕМКОСТИ ТОННЕЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ. ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕТОДА ПОКАЗАЛА ЕГО ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В МЕТРО- И ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ.

2. Материал конструкции.
3. Тип конструкции.
4. Тип схемы станции: колонной станции, односводчатой.
5. Ширина платформы станции.
6. Число проемов на станции.
7. Способы сооружения: открытый или закрытый; методы проходки (разработки грунта); технологии возведения обделки.
8. Способы водоподавления.
9. Организация работ: количество одновременно работающих забоев; дальность возки грунта; скорость проходки.

Таблица, относящаяся к горным тоннелям, включала в себя 60 факторов, объединенных в восемь следующих групп, каждая из которых также может подразделяться на смысловые подгруппы:

1. Тип обделки.
2. Категория пород по коэффициенту крепости.
3. Использование специальных способов: для горизонтальных выработок; для стволов.
4. Технология проходки.
5. Временная крепь: все виды, кроме анкерной и набрызг-бетонной; анкерная; набрызг-бетонная.
6. Постоянная обделка: все виды, кроме монолитного бетона (железобетона); монолитный бетон (железобетон).
7. Способы разработки грунта.
8. Способ укладки бетона.

Результаты системно-структурного анализа позволили разработать математические модели стоимости и трудоемкости сооружения любой линии метрополитена и горного тоннеля, представленные функционалами вида:

$$T_p = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \varphi_j^i(NF_{1j}, NF_{2j}, \dots, NF_{nj});$$

$$C_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l f_j^i(N'F'_{1j}, N'F'_{2j}, \dots, N'F'_{nj}),$$

где: T_p и C_T — соответственно трудоемкость и стоимость сооружения линии метрополитена или горного тоннеля; k — количество объектов, входящих в проектируемую линию метрополитена или горного тоннеля; l — количество технологических операций, составляющих технологию сооружения i -объекта линии метрополитена или горного тоннеля; φ_j^i и f_j^i — функции зависимости соответственно трудоемкости и стоимости j -й технологической операции i -го объекта от факторов, входящих в соответствующую таблицу; $(NF_{1j}, NF_{2j}, \dots, NF_{nj})$ и $(N'F'_{1j}, N'F'_{2j}, \dots, N'F'_{nj})$ — совокупность факторов, входящих в соответствующую таблицу, от которых зависит соот-

ветственно трудоемкость и стоимость j -й технологической операции.

Физический смысл приведенных функционалов заключается в том, что стоимость и трудоемкость любого строительства представляют собой сумму стоимостей и трудоемкостей отдельных технологических операций, входящих в технологию сооружения каждого конкретного объекта проектируемой линии метрополитена или горного тоннеля.

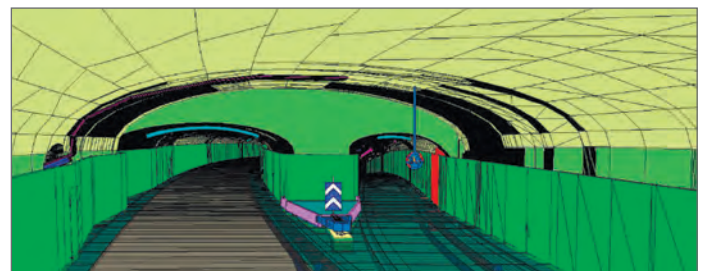
Процесс вычисления значений приведенных функционалов был реализован в виде программы для ЭВМ ЕС-1033. Подготовка исходных данных к вычислениям и время расчета занимали незначительное время. Тем самым была достигнута требуемая эффективность экспресс-метода.

Опытная эксплуатация метода показала его перспективность для проектных и научно-исследовательских работ в метро- и тоннелестроении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принципы описанных работ АО «ЦНИИС» (методика оптимизации календарно-сетевого планирования и экспресс-метод определения стоимости и трудоемкости) целесообразно использовать при создании цифровых моделей (BIM-технология) в проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов.

В завершение следует отметить, что в связи с актуальностью разработки таких цифровых моделей журнал «Метро и тоннели» опубликовал в 2020 году по этой тематике две статьи. Одна посвящена применению BIM при строительстве тоннеля Раштатт в Германии, а вторая описывает BIM-модель на базе лазерного сканирования для одной из строящихся станций Московского метрополитена.



« ОБЪЕДИНЯЕМ ГОРОД, СБЛИЖАЕМ ЛЮДЕЙ »

ЛОЗУНГ ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН»

ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: 65 лет

Подготовил Игорь ПАВЛОВ

15 НОЯБРЯ ОТМЕТИЛ 65-ЛЕТИЕ ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН. ГОВОРЯ О ДОСТИЖЕНИЯХ В РАЗВИТИИ ПОДЗЕМКИ, ЧАЩЕ ПРИНЯТО УДЕЛЯТЬ ВНИМАНИЕ МЕТРОСТРОЕНИЮ. ОДНАКО ЭТОТ ЮБИЛЕЙ В СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЕ ПРАЗДНОВАЛА, ПРЕЖДЕ ВСЕГО, ЭКСПЛУАТИРУЮЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, В СВОЕЙ СФЕРЕ РЕШАЮЩАЯ НЕ МЕНЕЕ СЛОЖНЫЕ ЗАДАЧИ. О ЕЕ СЕГОДНЯШНЕМ ДНЕ РАССКАЖЕМ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ, ПРЕДОСТАВЛЕННОЙ ПРЕСС-СЛУЖБОЙ ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН».

ОДНА ИЗ ОСОБЫХ ЗОН ОТВЕТСТВЕННОСТИ ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН» — ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАНЦИЙ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ЦЕННОСТЬ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОФОРМЛЕНИЯ. ВОСЕМЬ ИЗ НИХ ПРИЗНАНЫ ОБЪЕКТАМИ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ РОССИИ. СТАНЦИЯ «АВТОВО» РЕГУЛЯРНО УПОМИНАЕТСЯ В РЕЙТИНГАХ САМЫХ КРАСИВЫХ СТАНЦИЙ МЕТРО МИРА. КСТАТИ, ИМЕННО НА «АВТОВО» В 1955 ГОДУ ПРИБЫЛ ПЕРВЫЙ ПОЕЗД ЛЕНИНГРАДСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА.

Днем рождения Ленинградского (Петербургского) метрополитена считается 15 ноября 1955 года. Тогда была введена в эксплуатацию первая очередь будущей Кировско-Выборгской линии от станции «Автово» до станции «Площадь Восстания» протяженностью 10,8 км. Сейчас метрополитен Санкт-Петербурга представляет собой 5 линий общей протяженностью 124,7 км, в составе которых 72 станции и 7 электродепо. Петербургская подземка в разные годы ставила разные рекорды. Например, метро города на Неве было самым северным в мире вплоть до 1982 года. На сегодняшний день оно занимает четвертое место в Европе (после Москвы, Парижа и Лондона) по пассажиропотоку и восьмое по протяженности линий. Неизменным остается то, что Петербургский метрополитен является



самым глубоким в мире по средней глубине залегания станций. Передовые позиции традиционно удерживаются и в вопросах эксплуатации, внедрения передовых технологий и современных сервисов.

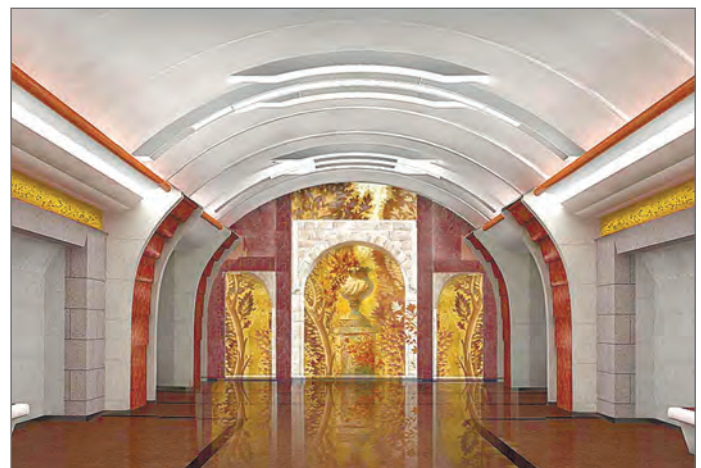
Как отмечается руководством предприятия, неизменными с 1955 года остаются и принципы работы Петербургского метрополитена. Главная задача – обеспечение безопасных массовых перевозок с соблюдением высокого уровня культуры обслуживания пассажиров. А в новых экономических условиях особое внимание уделяется развитию подвижного состава, реализации программы импортозамещения и внедрению новых технологий (в частности, использование ИТ в рабочих процессах всех служб).

Что же касается влияния на строительные процессы, то ГУП «Петербургский метрополитен» на сегодняшний день занимается формированием технических требований к новым объектам, участвует в рассмотрении и согласовании направляемой заказчиком (СПБ ГКУ «Дирекция транспортного строительства») проектной и рабочей документации. Также предприятие обеспечивает проведение работ по оперативному ремонту сооружений, оборудования объектов инфраструктуры метрополитена, создает перспективный план ремонтов.

ТЕХНОЛОГИИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Как основные технологические достижения за последнее десятилетие специалисты метрополитена выделяют:

- комплекс устройств поездного оповещения (УПО) и РИС (бегущая строка) – УПО РИС-М;



Технические характеристики

Наименование показателей	Значение
Эксплуатационная длина линий (км)	124,8
Количество линий	5
Количество станций	72
Количество станций с эскалаторами	64
Количество станций с траволаторами	5
Количество пересадочных узлов	7
Количество вестибюлей	83
Количество станций, примыкающих к вокзалам и железнодорожным станциям	12
Количество эскалаторов	301
Количество траволаторов	30
Количество эксплуатационных депо	7

метрополитены

- терминал экстренной связи и информационной поддержки системы передачи тревожной информации с функционалом для маломобильных групп населения;
- вибродиагностику основных и вспомогательных бегунков эскалаторов ;
- систему гарантированного электроснабжения потребителей первой категории надежности;
- техническое перевооружение устройств АТДП;
- технические решения с использованием типовой архитектуры устройств автоведения;
- усиление системы тягового электроснабжения Линии 1 с использованием накопителей электрической энергии;
- опытную эксплуатацию биметаллического контактного рельса и контактного рельса российского производства;
- автоматизированную систему помощи машинисту (АСПМ).
- апробирование станционных автоматических дверей для станций открытого типа;
- запуск составов с асинхронным тяговым приводом (АТП).

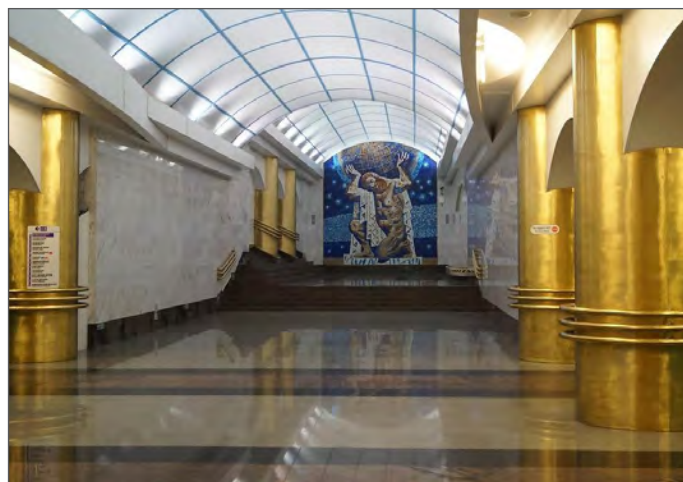
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Последние годы особо актуальны стали инновационные решения в области обеспечения технической безопасности и антитеррористической защищенности метрополитена.

В петербургской подземке недавно завершился этап опытной эксплуатации системы контроля и управления доступом, интегрированной с системой видеоидентификации. Результат признан положительным. Данный комплекс интегрированных систем позволяет обеспечить идентификацию при нахождении в кадре видеоконтрольного устройства, установленного на КПП, нескольких лиц и выявить случаи предъявления фотографии вместо реального лица.

В настоящее время все станции Петербургского метрополитена оснащены системами интеллектуального видеонаблюдения, на которые установлены программные модули «Детектор оставленных предметов», позволяющие выявлять случаи оставления бесхозных предметов в пассажирских зонах станций в условиях плотного пассажиропотока и нестабильных параметров освещенности.

Все системы и программное обеспечение сертифицированы в соответствии с постановлением Правительства РФ от 26.09.2016 № 969 «Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обя-



зательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности» и позволяют исполнить требования Федерального закона от 09.02.2007 № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» и постановления Правительства РФ от 08.10.2020 №1641 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов инфраструктуры внеуличного транспорта (в части метрополитенов)» в части необходимости обязательной сертификации ТС ОТБ и обеспечения обнаружения и распознавания характера событий при помощи систем видеонаблюдения.

ПЛАНЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Модернизация и развитие обширного хозяйства ГУП «Петербургский метрополитен» продолжается. В частности, в ближайшее время планируется проведение комплексного капитального ремонта наклонных ходов и вестибюлей станций «Маяковская», «Удельная», «Ладужская» с ремонтом эскалаторов. Далее предстоит реализовать проект реконструкции вестибюля станции «Фрунзенская» с полной заменой эскалаторов и созданием единого диспетчерского центра метрополитена (ЕДЦМ).

Наиболее актуальными направлениями дальнейшего технического развития при этом обозначены освоение технологии реновации обделок вентиляционных стволов с применением пеностеклобетона, разработка технологии локальных бетонных работ в условиях действующего метро, адаптация и внедрение BIM-технологий при текущем содержании и обследовании сооружений метрополитена.

ГУП «ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН»

С Юбилеем!

2020 год — юбилейный для Петербургского метрополитена. Прошло 65 лет с того дня, когда в Ленинграде открылись великолепные станции Кировско-Выборгской линии. Сегодня Петербургский метрополитен входит в число самых комфортных, красивых, современных и технологически совершенных подземных транспортных комплексов мира. ГУП «Петербургский метрополитен» поддерживает на неизменно высоком уровне качество подземной среды и качество обслуживания.

Входя в 20-е годы XXI века, мы видим и тот круг задач, который предстоит решать, и те неизбежные сложности, которые предстоит преодолеть: дефицит новых станций, отсутствие кольцевой линии, дефицит подъемно-транспортного оборудования на старых станциях, отсутствие вторых вестибюлей, четвертых эскалаторов в исторических наклонных ходах, а также — лифтов для маломобильных пассажиров. Активная работа над решением этих задач непрерывно ведется в последние годы. Свидетельство тому — высококачественный проектный задел, в формировании которого довелось принимать участие и нашей организации — под руководством опытных коллег из института «Ленметрогипротранс» и других профильных организаций. Совместная реализация перспективных планов позволит в ближайшее время улучшить качество Петербургского метрополитена, выведя его на самые передовые позиции в ряду мировых аналогов.

Коллектив ООО «САБ» поздравляет ГУП «Петербургский метрополитен» с юбилеем! Мы желаем нашему метро развития и процветания!

В качестве подарка наши архитекторы подготовили макет для экспозиции Интерактивного центра истории Петербургского метрополитена. Это фрагмент станции «Спортивная» — уникального станционного комплекса, представляющего собой изобретение петербургских проектировщиков.

Станция открыта 15 сентября 1997 года. Конструктивный тип объекта: двухъярусный одноводчатый пересадочный станционный узел метрополитена глубокого заложения. Проект разработан в институте «Ленметрогипротранс». Авторы: инженеры Г. Р. Захаров, А. М. Салан, Н. И. Кулагин, В. Н. Александров, Ю. А. Филонов, О. Т. Арефьев, В. А. Маслак, А. Н. Яковлев, архитекторы А. С. Константинов, В. С. Волоневич при участии О. А. Кузнецова, художник А. К. Быстров.



ООО «САБ»

консалтинг инфраструктурных проектов





СЕРГЕЙ ЖУКОВ ОБ ИТОГАХ ГОДА И ПРОДОЛЖЕНИИ ИНТЕНСИВНЫХ ТЕМПОВ

УХОДИТ ГОД, ОКАЗАВШИЙСЯ СЛОЖНЫМ ДЛЯ ВСЕЙ СТРАНЫ. ПОДВОДЯТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ. ЧТО КАСАЕТСЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОСТРОЕНИЯ, ТО ВЕДУЩИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДРЯДЧИК ПРОДОЛЖАЛ РЕАЛИЗАЦИЮ БЕСПРЕЦЕДЕНТНОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ СТОЛИЧНОЙ ПОДЗЕМКИ АКТИВНО И ПОЛНОЦЕННО. ОБ ЭТИХ ДОСТИЖЕНИЯХ И ДАЛЬНЕЙШИХ ПЛАНАХ РАССКАЗЫВАЕТ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР АО «МОСМЕТРОСТРОЙ» СЕРГЕЙ ЖУКОВ.

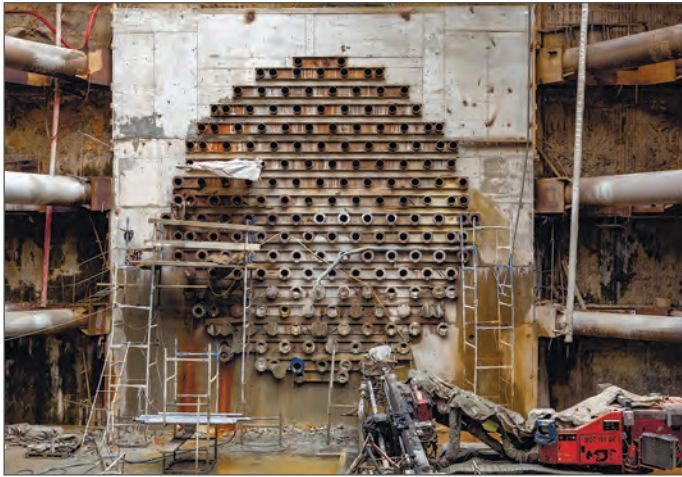
— Сергей Анатольевич, каковы предварительные итоги деятельности АО «Мосметрострой» в 2020 году?

— В марте текущего года мы ввели в эксплуатацию две новые станции на северо-восточном участке Большой кольцевой линии столичного метрополитена — «Лефортово» и «Авиамоторная». В канун Нового года планируем открыть еще одну — «Электrozаводскую», через которую пассажиры смогут осуществить пересадку на одноименную станцию Арбатско-Покровской линии. Несмотря на непростой период, этот год был для нас очень плодотворным. Мы проложили все перегонные тоннели на северо-восточном участке БКЛ, приступили к сооружению станционных комплексов и пересадочных узлов на «Рижской» и «Марьиной Роще», к отделочным работам на «Сокольниках». Эти станции также войдут в состав нового кольца.

Существенно продвинулись работы на продлении Люблинско-Дмитровской линии, в рамках которого строятся три станции — «Улица 800-летия Москвы», «Лианозово» и «Физтех». Их открытия ждут десятки тысяч москвичей, проживающих и работающих в районах Бескудниковский, Восточное Дегунино, Дмитровский, Лианозово, Северный. Продолжаем сооружать наклонный ход вестибюля № 2 на действующей станции «Окружная».

Помимо строительства новых подземных объектов, мы реконструируем существующие станции. Речь идет об интеграции Каховской линии в состав участка БКЛ. В работе находятся три станции — «Каховская», «Варшавская» и «Каширская». Срок завершения работ запланирован на конец следующего года. В скором времени закончится проходка дополнительных тупиков, соединяющих «Варшавскую» и расположенное рядом электродепо.

Совместно с нашим партнером ООО «РЖД Интернешнл» воплощаем в жизнь один из самых амбициозных проектов в восточной части Европы — строительство высокоскоростной железной дороги в Республике Сербия, которая соединит две столицы — Белград и Будапешт. Общая длина строящихся тоннелей «Чортановцы» в однопутном исчислении составляет более 2 км. Проходка двух тоннелей выполнена ровно за два года. Весной объект посетил президент Сербии Александр Вучич. Он был впечатлен размахом стройки и отметил, что новая железнодорожная линия очень важна для экономики страны и ее граждан. Этот проект также способствует и дальнейшему развитию внешнеэкономической деятельности Мосметростроя.



Горизонтальное джет-закрепление грунта под ж/д путями Казанского направления для сооружения подземного пешеходного коридора между платформой и вестибюлем станции «Авиамоторная» БКЛ

— Какие сданные объекты вы отметили бы особо (объемы и сложность работ, технические параметры, значимость для развития метрополитена)?

— Основные сложности при строительстве станций «Электrozаводская», «Лефортово» и «Авиамоторная» были связаны с пересечением водных преград, железнодорожных и автомобильных магистралей. При этом сооружение перегонных тоннелей велось без прерывания эксплуатации наземного транспорта. Перед началом работы и на всех ее этапах производилась оценка поведения окружающих грунтов и влияние проходки на уже имеющиеся конструкции. Отдельно исследовались грунтово-водные условия в местах пересечения тоннелей и наземного транспорта.

Конструктивные характеристики этих объектов имеют одинаковые параметры — все они являются колонными станциями мелкого заложения (20 м). Зато каждая из них отличается своим неповторимым художественным обликом. Концепция «Авиамоторной» с плавными симметричными линиями ассоциируется с воздушными потоками пролетевшего реактивного самолета. «Лефортово» стилизована под гравюры XVII-XVIII вв. Вестибюль украшен монохромными рисунками, отсылающими к истории района, а на стенах наземного павильона — черно-белое декоративное панно с изображением Лефортовского дворца. Первому владельцу дворца Францу Лефорту посвящена композиция в кассовом зале. В нее входят геральдические символы его фамильного герба: слон и рыцарский шлем. Но особенно запомнится пассажирам «Электrozаводская» с панно «Битва геро-

ев» Александра Рукавишникова, выполненным в технике многоцветной печати на стекле. Декоративная композиция длиной 163 м разместилась на путевой стене станции.

Безусловно, БКЛ — самый масштабный проект за всю историю столичного метро, который разгрузит действующую кольцевую и центральные участки радиальных линий. При этом новое кольцо будет самой длинной линией Московского метрополитена — 70 км. Во время разработки проекта учитывались не только пассажиропотоки и перспективы отдаленных от центра города районов, но и принцип расположения станций, обеспечивающих возможности поездки от пункта А до пункта Б с не более чем двумя пересадками. На БКЛ пассажиры получат возможность 19 пересадок на существующие линии метро, 4 — на МЦК, 6 — на Московские центральные диаметры и 11 — на железнодорожные станции. Благодаря этому горожане сэкономят в среднем по 30 минут на каждой поездке.

— Где применялись инновационные технологии строительства — и какие?

— С каждым годом ужесточаются требования к безопасности строительных работ и их воздействия на городскую среду. Таким недавним примером стало сооружение пешеходного перехода под железнодорожными

МЫ ВВЕЛИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ДВЕ НОВЫЕ СТАНЦИИ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ УЧАСТКЕ БОЛЬШОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ СТОЛИЧНОГО МЕТРОПОЛИТЕНА — «ЛЕФОРТОВО» И «АВИАМОТОРНАЯ». В КАНУН НОВОГО ГОДА ПЛАНИРУЕМ ОТКРЫТЬ ЕЩЕ ОДНУ — «ЭЛЕКТРОЗАВОДСКУЮ», ЧЕРЕЗ КОТОРУЮ ПАССАЖИРЫ СМОГУТ ОСУЩЕСТВИТЬ ПЕРЕСАДКУ НА ОДНОИМЕННУЮ СТАНЦИЮ АРБАТСКО-ПОКРОВСКОЙ ЛИНИИ. НЕСМОТЯ НА НЕПРОСТОЙ ПЕРИОД, ЭТОТ ГОД БЫЛ ДЛЯ НАС ОЧЕНЬ ПЛОДОТВОРНЫМ.

ми путями Казанского направления МЖД от вестибюля №2 к станционному комплексу «Авиамоторная». Это вторая пусковая очередь северо-восточного участка БКЛ. Сложная геология и близость действующих путей заставили метростроителей искать нестандартные решения. Грунт в этом месте представлен плывуном, без закрепления его нельзя было разрабатывать. Поэтому решили создать по контуру будущего тоннеля защитный



Светильники в форме следов от самолета на «Авиамоторной» БКЛ

экран из 26 труб, которые заполнили бетоном. Каждая из труб — диаметром больше метра и 75 м в длину. Это исключило негативное влияние и просадки железнодорожных путей. Проходку вели двумя микрощитами AVN-800. Сам переход начали сооружать после выполнения горизонтального джета. Применение данной передовой технологии позволило Мосметрострою одержать победу в конкурсе Тоннельной ассоциации России.

— Какие станции и участки начали строить в текущем году? В чем их особенности?

— В этом году начались активные проходческие работы на Люблинско-Дмитровской линии, где одновременно идут три щита. Два из них сооружают тоннели в

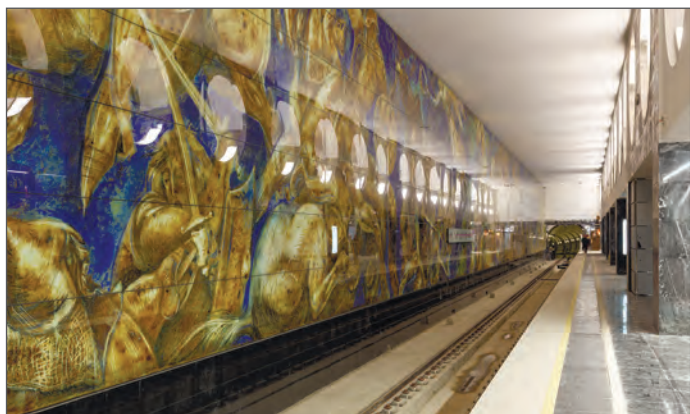
В ЭТОМ ГОДУ НАЧАЛИСЬ АКТИВНЫЕ ПРОХОДЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ЛЮБЛИНСКО-ДМИТРОВСКОЙ ЛИНИИ, ГДЕ ОДНОВРЕМЕННО ИДУТ ТРИ ЩИТА. ДВА ИЗ НИХ СООРУЖАЮТ ТОННЕЛИ В СТОРОНУ СТАНЦИИ «ФИЗТЕХ», А ТРЕТИЙ — В СТОРОНУ СТАНЦИИ «ЛИАНОЗОВО». ПРОХОДКА ВЕДЕТСЯ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ, ПОД ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПУТЯМИ, ДЕЙСТВУЮЩИМИ ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ, МАГИСТРАЛЯМИ И ИНЖЕНЕРНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ.

сторону станции «Физтех», а третий — в сторону станции «Лианозово». Проходка ведется в сложных гидрогеологических условиях, под железнодорожными путями, действующими зданиями и сооружениями, магистралями и инженерными коммуникациями. Проектом предусмотрены специальные организационные мероприятия и установка страховочных пакетов на ряде объектов. Все предпринимаемые меры позволят пройти такие трудные участки без просадок. Глубина тоннелей составит от 20 до 30 м. Щитам предстоит поработать на этом участке около года. На «Улице 800-летия Москвы» разрабатывают грунт и раскрепляют котлован, а на «Лианозово» метростроители уже возводят основные конструкции станции, платформенный участок почти полностью забетонирован.

«Физтех» станет конечной станцией на Люблинско-Дмитровской линии, разместится севернее бульвара Академика Ландау. У нее запроектирован один вестибюль, ведущий к Дмитровскому шоссе. Строительство запланировано на глубине 15-20 м в непосредственной близости от магистральных водоводов и жилых домов. В этом месте находится множество инженерных сетей, которые необходимо вынести из зоны наших работ.

— Что вы могли бы рассказать о конкретных планах Мосметростроя на 2021 год?

— С первых дней наступившего года нам предстоит интенсивными темпами продолжить работы на всех вышеперечисленных объектах. С особой гордостью хочу



Панно «Битва героев» на путевой стене станции «Электrozаводская» БКЛ

отметить, что 2021 год — год 90-летия Мосметростроя. В 1931 году тысячи комсомольцев пришли на стройку, ставшую впоследствии одной из самых грандиозных в нашей столице. На юбилейный год мы запланировали различные мероприятия. Среди них выставка фотографий и экспонатов на станции «Выставочная» Филевской линии. Экспозиция расскажет пассажирам об уникальном пути Московского метростроя, незабываемом об-



Пятиметровое панно на потолке вестибюля «Лефортово» БКЛ

лике и красоте построенных станций метро, а также других инфраструктурных объектах, о трудовых буднях метростроителей, бережно хранящих традиции, передающиеся из поколения в поколение.

Интервью подготовлено при содействии пресс-службы АО «Мосметрострой»



12-й старт легендарного ТПМК Lovat-242SE с именем «Клавдия» для сооружения правого перегонного тоннеля между станциями «Улица 800-летия Москвы» и «Лианозово» ЛДЛ

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

КОМПЕНСАЦИОННЫХ РАБОТ ДЛЯ ЗДАНИЙ, ЯВЛЯЮЩИХСЯ ПАМЯТНИКАМИ АРХИТЕКТУРЫ

Р. И. ЛАРИОНОВ,

к. т. н., заведующий лабораторией геомеханических исследований
ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

ПРЕДСТАВЛЕНА ТЕХНОЛОГИЯ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И ИСКЛЮЧЕНИЯ ИХ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ, РЕАЛИЗУЕМАЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛАХТИНСКО-ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЛИНИИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРА ГОРОДА. ПОКАЗАНЫ ЭТАПЫ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИОННЫХ СКВАЖИН С НАГНЕНИЕМ ИНЪЕКЦИОННОГО РАСТВОРА, РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОБОБЩЕНЫ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.

ВВЕДЕНИЕ

Метрополитен в Санкт-Петербурге — в основном глубокого заложения, так как устойчивые необводненные грунты в центре города располагаются на глубине более 40 м. В ходе строительства станционных комплексов возникают смещения поверхности земли на нескольких гектарах городской территории. И чем больше глубина заложения, тем большую площадь охватывает мульда оседания. В особенности такая ситуация неприемлема в центре Санкт-Петербурга, где расположено огромное количество памятников архитектуры.

Существующая в настоящее время технология строительства станционных узлов метрополитена и наклонных ходов приводит к существенным деформациям вышележащей толщи грунта и расположенных на ней зданий и сооружений. Из-за большого поперечного сечения станционного узла в целом и большого количества этапов строительства до его раскрытия на полное сечение, а также вследствие большого объема ручного труда при разработке забоев и креплении выработок,

применение специальных способов уменьшает деформацию поверхности, но их недостаточно для того, чтобы соблюсти требования нормативной документации по абсолютным и относительным деформациям зданий. Требуемого эффекта возможно добиться посредством комплекса мероприятий на поверхности земли, компенсирующих осадку.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Для определения нормируемых показателей деформаций оснований и фундаментов сооружений, расположенных в зоне влияния строительства подземных объектов метрополитена, и мероприятий, предотвращающих деформации, в ОАО «Ленметрогипротранс» (ЛМГТ) были разработаны специальные технические условия (СТУ) на проектирование и строительство Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена.

В СТУ определен перечень работ по сохранности зданий и сооружений:

- геотехнические расчеты с определением мульды оседания дневной поверхности в соответствии с СП 21.13330.2012;

- обследование зданий, попадающих в зону, ограниченную нулевой линией мульды, с целью определения их технического состояния;

- разработка компенсационных мероприятий с условием недопущения достижения предельной разности осадок;

- проведение геотехнического мониторинга во время строительства подземных сооружений и мероприятий, предусмотренных в проектах усиления и в составе ПОС.

Деформации считаются допустимыми в том случае, если параметры мульды оседания не превышают величин относительной разности осадок. В случае превышения регламентированных величин в составе проекта разрабатывались мероприятия по их предотвращению.

Выполненные геотехнические расчеты и обследование в зоне влияния строительства показали, что для некоторых зданий абсолютные и относительные величины осадок превышают допустимые. В этом случае были разработаны проекты мероприятий, компенсирующих осадки.

СВЕДЕНИЯ О ЗДАНИЯХ, ПОДЛЕЖАЩИХ КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ

В ходе проектирования участка Лахтинско-Правобережной линии были определены мульды смещения земной поверхности, в которые попали здания исторической застройки и памятники архитектуры. Относительные деформации фундаментов при этом превысили бы допустимые. Так, в расчетную мульду оседания (рис. 1) от строительства станции «Театральная» попали четыре здания (рис. 1), расположенные по ул. Декабристов рядом со 2-й сценой Мариинского театра, два из которых являются объектами КГИОП (Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры). Это дома №36/1, лит. А (оси 22-24) — дом Кокушкина 1843 года постройки, и №29, лит. А — жилой дом работников Союзверфи 1934 года постройки.

В данном районе по ул. Декабристов расположены жилые здания высотой от 3 до 7 этажей, постройки 2-й половины XIX — начала XX века. Фундамент — ленточный, бутовый, глубины заложения до 3 м; стены — кирпичные. В домах №36/1, лит. А (оси 22-24) и №31, лит. А подвал отсутствует.

По результатам обследований было дано заключение, что все здания относятся к III категории технического состояния согласно ТСН 50-302-2004 (табл. Б1). Поверочные расчеты показали, что давление под подошвой фундаментов по некоторым осям зданий превышает расчетное сопротивление грунта, поэтому требуются мероприятия по усилению грунтов основания.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Для вышеуказанных зданий в рамках проектирования объектов метрополитена были предложены мероприятия по недопущению развития критических осадок дневной поверхности.

На основе опыта проведения работ в Санкт-Петербурге с 1995 года по настоящее время по укреплению фундаментов и стабилизации грунтов оснований на объектах различного назначения, а также с учетом требований сводов правил, стандартов и других руководящих документов, в качестве способа предотвращения осадок поверхности при строительстве метрополитена был выбран метод компенсационной инъекции.

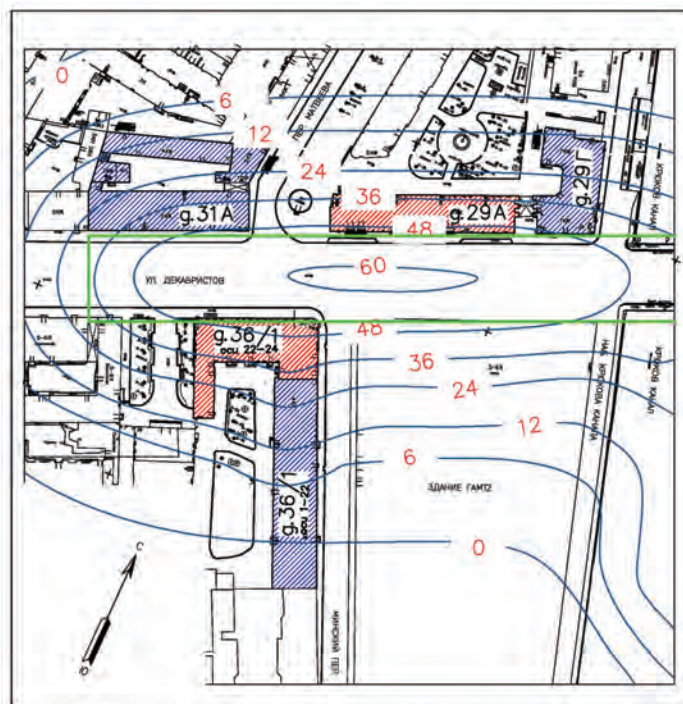


Рис. 1. Здания, попадающие в мульду оседания при строительстве ст. «Театральная» и подлежащие компенсационным мероприятиям

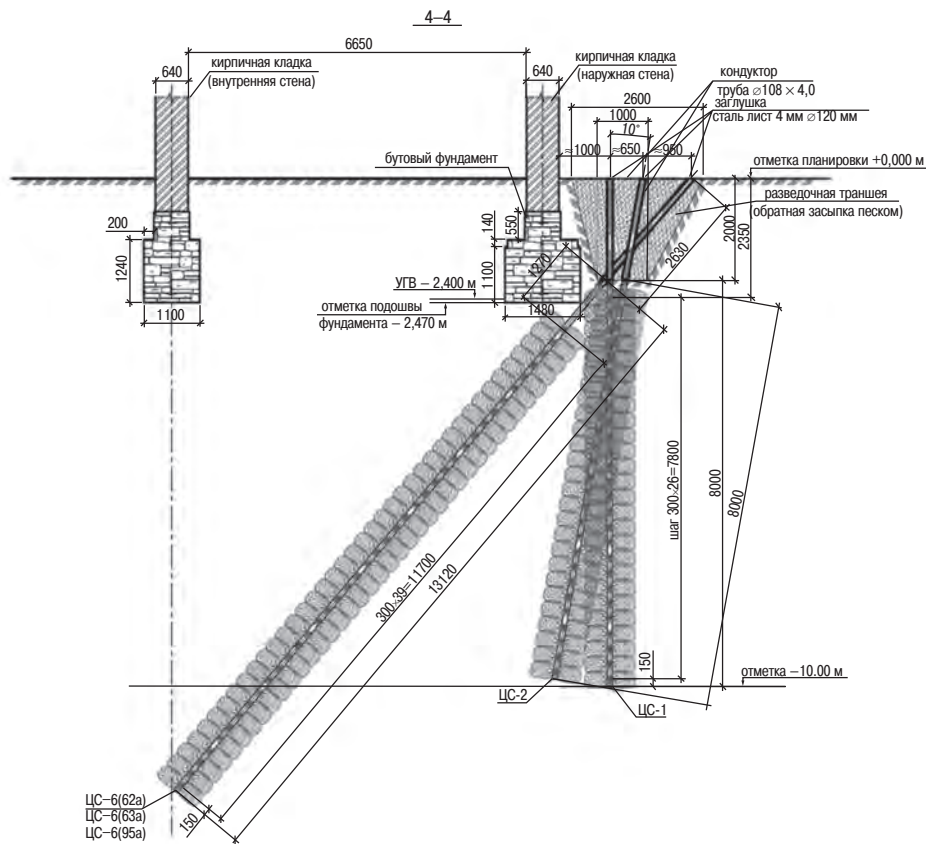


Рис. 2. Компенсационные скважины (профиль)

Одним из последних объектов, на котором применялась рассматриваемая технология применительно к метростроению, было строительство эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская» при помощи ТПМК в 2010–2011 гг. В район с максимальными расчетными деформациями поверхности попадало здание по адресу Кирпичный пер., д. 4. Они доходили до 26 мм, в том числе по периметру. После компенсационного нагнетания, в соответствии с полученными результатами наблюдений, деформации по периметру рассматриваемого здания составили 10–13 мм.

Исходя из положительного опыта применения, при строительстве станций Лахтинско-Правобережной линии была выбрана именно эта технология.

Проект предполагает устройство компенсационных скважин по периметру снаружи зданий в 2 ряда с шагом 1 м, в их подвалах (при наличии) — с шагом 1,2 м, по периметру стен и по сетке — с шагом 2 м внутри зданий. Расстояние между рядами скважин снаружи зданий — 0,65 м. 2-й ряд имеет наклон 10° в сторону зданий. 3-й ряд скважин, расположенный под углом 40°, предусмо-

трен по домам, в которых отсутствует подвал, для возможности укрепления грунта под средней стеной (рис. 2).

Скважины Ø93мм бурились на глубину 10 м с промывкой глинистым раствором, и в них устанавливались манжетные колонны — пластиковые трубы Ø63мм с перфорацией по контуру, с шагом 300 мм, закрытые резиновыми манжетами, выполняющими функцию выпускного клапана при нагнетании раствора. Нижний торец манжетных колонн герметизировался пробкой. Манжетные колонны омоноличиваются в скважинах обойменным раствором, по затвердеванию которого в заданном интервале устанавливается пакер, подсоединяется к скважине нагнетательная система и осуществляется инъекция укрепляющего раствора в грунт. Затем пакер переставляют на следующий интервал, снова нагнетают раствор и т. д. Направление инъекции может быть как восходящим, так и нисходящим, при этом возможно возвращение на любой интервал. Проектом предусмотрено повторное использование скважин, для чего после нагнетания выполняется их промывка.

Нагнетание выполняется как в режиме пропитки грунта (песчаные), так и гидроразрыва (глинистые).

Вначале выполняются работы на опытном участке, состоящем из 4-5 скважин, для уточнения технологических параметров. Контроль осуществляется геофизическими методами. После оснащения компенсационных скважин манжетными колоннами выполняется 1-й этап геофизических работ для выявления начальных физико-механических свойств грунта (модуль упругости). После нагнетания раствора во все 5 скважин осуществляется 2-й этап геофизических работ и определяется качество распространения нагнетаемых растворов и изменение деформационно-прочностных свойств массива.

Аналогичный комплекс работ осуществляется и из подвалов зданий с той лишь разницей, что разведочная траншея не откапывается, а кондукторы устанавливаются в период армирования фундаментной плиты.

Порядок нагнетания в инъекционные скважины определяется по результатам геотехнического мониторинга.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Все работы по предотвращению деформаций фундаментов зданий на подрабатываемой территории ведутся в сопровождении геотехнического мониторинга. С этой целью в ОАО «ЛМГТ» была разработана специальная программа в составе проекта по компенсационным мероприятиям, которая включает в себя:

- мониторинг вертикальных деформаций грунтового массива с использованием экстензометров;
- инженерно-геофизические работы по контролю качества инъекционного упрочнения грунтов в основаниях зданий;
- геодезический контроль деформаций оголовков экстензометрических скважин;
- визуальный мониторинг зданий.

Мониторинг вертикальных деформаций грунтового основания под зданиями посредством экстензометров предназначен для определения момента начала компенсационных работ, контроля процесса нагнетания раствора и окончания этих работ.

До начала строительства станционного комплекса и компенсационных мероприятий выполняется бурение экстензометрических скважин по периметрам зданий с установкой в них экстензометров на разных уровнях. Всего проектом предусмотрено 46 скважин, в которые устанавливаются глубинные грунтовые реперы (рис. 3) и которые заполняются специальным раствором, близким по физико-механическим свойствам к грунтовому массиву. На оголовки скважин устанавливаются антивандальные шкафы, в которых монтируется оборудование, выполняющее измерения и передачу данных на выделенный интернет-портал.

Информация, поступающая с экстензометров, оперативно обрабатывается и, в зависимости от показаний, выдается команда на начало компенсационных мероприятий. При этом определяется количество компенсационных скважин (как по периметру здания, так и внутри) и порядок нагнетания в них. Нагнетание выполняется по скважинам, расположенным в ряд и по нормали к направлению развития мульды оседания поверхности.

После окончания цикла работ осуществляется этап геофизического контроля грунтового массива с выдачей интерпретационного геологического разреза грунтов оснований. Для недопущения превышения относительной разности осадок объема компенсационного нагнетания назначаются с учетом интерполяции показаний экстензометров по всем скважинам и геодезического мониторинга.

Инженерно-геофизический контроль качества выполняемых работ включают в себя такие методы, как сейсмоакустика, сейсморазведочный метод преломленных волн, сейсмораспространение между скважинами, георадиолокация.

Целью геодезического мониторинга является контроль вертикальных смещений оголовков экстензометрических скважин для определения суммарных вертикальных смещений грунтовых реперов.

Визуальный мониторинг осуществляется с целью получения необходимых данных об изменении эксплуатационного состояния конструкций зданий в целом и фиксации отдельных дефектов в период строительства. Он включает в себя осмотр конструкции зданий, фотофиксацию и определение фактических размеров

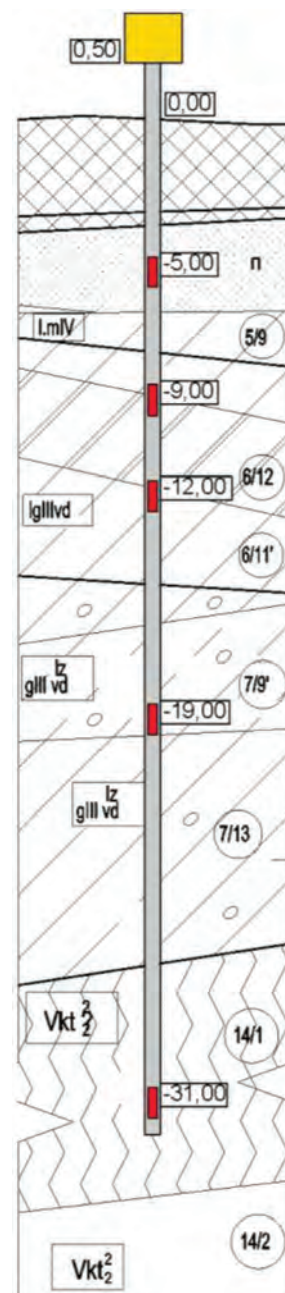


Рис. 3. Схема размещения глубинных реперов в экстензометрической скважине

дефектов, качественного характера изменений в период сооружения станционного комплекса и выдачу рекомендации о необходимости инструментального контроля развития дефектов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА: НА УЧАСТКЕ «Д. 31, ЛИТ. А»

Летом 2019 года было выполнено опытное нагнетание на опытных участках домов, требующих компенсационных мероприятий.

На участке «д. 31, лит. А» работы производились 2 и 3 июля на пяти вертикальных скважинах (№ 229, 231, 233, 235, 237), устроенных вблизи экстензометрической скважины Э1-31А (рис. 4). В десять горизонтов, расположенных в интервале отм. (–5 м) – (–2 м), нагнеталось по 100 л раствора в во все пять скважин. Первоначальный состав раствора включал в себя на 1 м³: цемента – 1200 кг; воды – 560 л; жидкого стекла – 9,6 кг; суперпластификатора С-3 – 2 кг.

Последовательность нагнетания была выбрана от дальней относительно экстензометрической скважи-



Рис. 4. План опытного участка (ул. Декабристов, д. 31, лит. А)

ны манжетной колонны (№ 229) к ближней (№ 237) – с целью проследить изменение влияния нагнетания на показания экстензометров. Последовательность нагнетания в манжетной колонне была выбрана от нижнего горизонта к верхнему. Хронология показана в табл. 1.

На рис. 5 показан график развития деформаций по экстензометрам скважины Э1–31А за период производства опытного нагнетания в течение двух суток.

В результате анализа графика можно сделать вывод о незначительном влиянии инъекционных работ на массив. Максимальные деформации составили 1 мм.

Таблица 1.

Порядок и параметры инъекционных работ на опытном участке (ул. Декабристов, д. 31, лит. А)

Номер скважины	Начало нагнетания	Окончание нагнетания	Количество раствора на горизонт, л	Рецептура раствора на 1 м ³	Примечание
2.07.2019					
229	14.05	14.50	100	Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг	В 1-й горизонт прокачали 190 л, 5 мин
231	14.55	15.45	100		
233	15.48	15.57	100		При прокачке в 3-й снизу горизонт наблюдался выход раствора на поверхность снаружи кондуктора скв. 234. Прокачка остановлена
235	–	–	–		–
237	16.00	16.03	100		При прокачке во 2-й снизу горизонт наблюдался выход раствора на поверхность через скв. 231
Остаток раствора закачивали в нижний горизонт скв. 243. Наблюдался выход раствора на поверхность возле экстензометрической скважины Э1-31А					
03.07.2019					
233	11.10	11.30	100	Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг	Продолжено нагнетание, начиная с 4-го снизу горизонта
235	11.35	12.30	100		В 12.00 произошла закупорка шланга на 5 горизонте. В 12.10 продолжено нагнетание
237	10.45	11.05	100		На 8-м снизу горизонте выход раствора у наклонных скважин 65а и 16
Остаток раствора (200 л) закачивали в горизонт на глубине 10 м скв. 66а – наблюдался выход раствора у кондуктора. Пакер переставили на горизонт 4 м – то же самое					

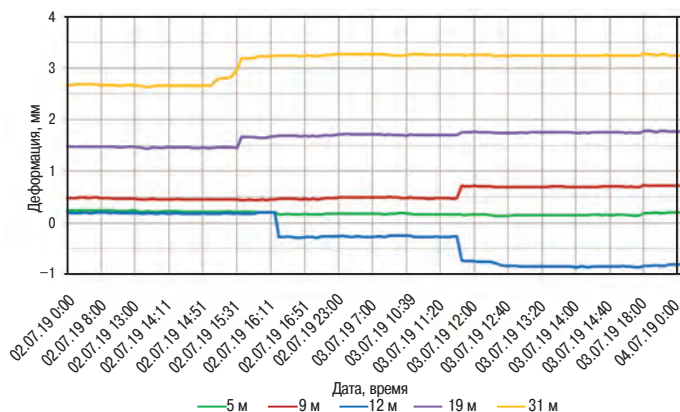


Рис. 5. График развития деформаций по экстензометрам скважины Э1–31А за период производства опытного нагнетания

С началом нагнетания в скважину №299 экстензометры не фиксировали деформации. При нагнетании в скважину №231 наблюдались деформации верхней части массива на 1 мм. Нагнетание в скважину №233 заметного влияния на массив не оказало. При нагнетании в скважину №237 и закачке остатков раствор в скважину №243 в горизонт на отм. 10 м по экстензометру наблюдались деформации на отм. 12 м.

При продолжении инъекционных работ на следующий день при закачке раствора в скважины №233 и №237 деформаций не выявлено. Только на скважине №235 наблюдались незначительные деформации массива до 0,5 мм.

Количество раствора 100 л на один горизонт нагнетания не оказало негативного влияния на основание здания.

При увеличении до 200 л в каждой скважине с сохранением остальных параметров нагнетания на другом опытном участке было получено формирование плоскостей скольжения и возникновение дополнительных осадок поверхности.

Комплекс геофизических работ показал, что в рамках построенных 3D-моделей распространения плотностных параметров, характеризующих грунты «до» и «после» мероприятий по закреплению, можно сделать следующие выводы:

- 1) наблюдается изменение плотности грунтов в сторону увеличения, как в пределах опытного участка, так и на отдалении до 6 м в противоположенную от дома сторону;
- 2) значительная часть цементного раствора ушла в сторону от участка, в котором непосредственно производились нагнетания;
- 3) в грунтах верхней части разреза (до 1,8–2 м) не выявлено значительных изменений.

Работы на опытном участке показали, что регламент нагнетания в целом позволяет повысить прочностные характеристики грунтового массива, но при этом отмечается неравномерное распределение инъекционного раствора, причем и по глубине, и по горизонтали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 1

Реализованная технология минимизации деформаций фундаментов зданий и исключения их неравномерной осадки на подрабатываемых территориях предполагает комплексный подход с усилением фундаментов компенсационными мероприятиями и обязательным ведением геотехнического мониторинга, который позволяет не только оценить качество выполняемых работ, но и показать места разуплотнений, образуемых в массиве в процессе их производства.

Разработанная и внедренная последовательность компенсационных мероприятий дает возможность своевременно выполнять инъекционные работы в моменты развития деформационных процессов в грунтах оснований, предупреждая деформации зданий. Многократное использование скважин с обязательной их промывкой после каждого этапа компенсационных работ позволяет управлять осадкой зданий в течение всего срока строительства станционного комплекса глубокого заложения.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА: НА УЧАСТКЕ «Д. 36/1, ЛИТ. А»

Нагнетание на опытном участке ул. Декабристов, д. 36/1, лит. А в осях 22–24 производилось 16.07.2019, 17.07.2019 и 18.07.2019 в пять вертикальных скважин (№ 105, 107, 109, 111 и 113), расположенных вблизи экстензометрической скважины Эб–36 (рис. 6). В десять горизонтов, расположенных в интервале отм. (–5 м) – (–2 м), нагнеталось по 200 л раствора в каждый горизонт во все пять скважин. Первоначальный состав раствора, аналогично опытному участку по д. 31, лит. А, включал в себя на 1 м³: цемента – 1200 кг; воды – 560 л; жидкого стекла – 9,6 кг; суперпластификатора С-3 – 2 кг.

Последовательность нагнетания была выбрана через одну скважину, начиная с №105, далее №109 и затем скважина №113. На следующий день, после выстойки раствора, предполагалось прокачать скважины №107 и №111. Последовательность нагнетания в каждой манжетной колонне была выбрана от нижнего горизонта к верхнему. Хронология показана в табл. 2.

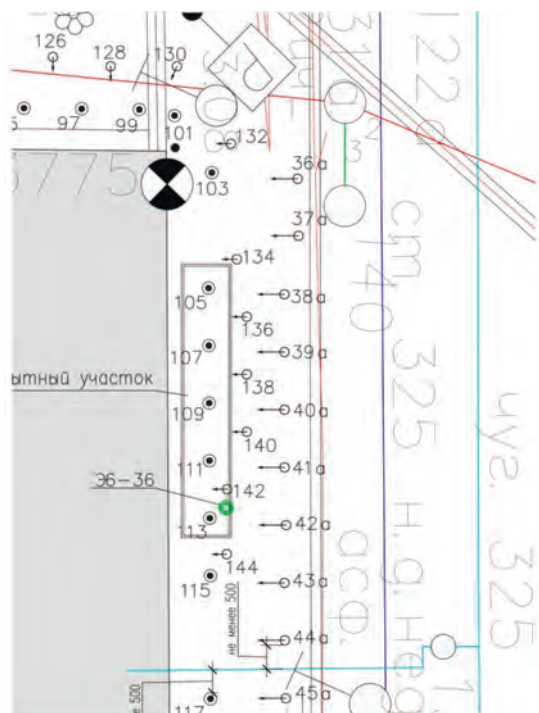


Рис. 6. План опытного участка по д. 36/1, лит. А (оси 22–24)

На рис. 7 показан график развития деформаций по экстензометрам скважины Эб–36 за период производства опытного нагнетания в течение трех суток.

В результате производства работ на опытном участке следует отметить, что выбранные скважины соответствуют проекту и могут быть признаны работоспособными, так как инъекционный раствор выходил за пределы кондукторов инъецируемых скважин.

По результатам наблюдения по экстензометрической скважине можно сказать, что нагнетание раствора в течение трех дней работ вызвало суммарные смещения по каждому экстензометру порядка 15 мм.

В первый день было произведено инъецирование в три из пяти скважин. При этом смещение оголовка экстензометрической скважины составило в среднем 2–3 мм. При нагнетании раствора во второй день смещение оголовка составило около 10 мм. Это произошло вследствие затвердевания раствора в вышележащих слоях грунта, закачанного в первый день. При нагнетании в третий день произошло смещение оголовка еще на 4–5 мм.

После первого дня произошел небольшой так называемый «отскок» показаний экстензометров на 1–2 мм, т. е. возврат значений к показаниям до нагнетания. Это

Таблица 2.

Порядок и параметры инъекционных работ на опытном участке д. 36/1, лит. А (оси 22–24)

Номер скважины	Начало нагнетания	Окончание нагнетания	Количество раствора на горизонт, л	Рецептура раствора на 1 м ³	Примечание
105	11.31	11.33	200	Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг	Излив при прокачке 6-го снизу горизонта в 1 м от скважины
107	12.04	12.57	200		Выход раствора при прокачке 3-го снизу горизонта вдоль кондуктора
109	11.37	12.00	200		Начало нагнетания 3-го снизу горизонта, конец – выход раствора при прокачке 7-го снизу горизонта
111	13.01	13.18	200		Выход раствора при прокачке 4-го снизу раствора
113	10.56	11.28	200		Начало нагнетания с 6-го снизу горизонта, конец – излив при прокачке 9-го снизу горизонта
18.08.2019					
105	11.12	11.13	200	Цемент – 1200 кг; вода – 560 л; жидкое стекло – 9,6 кг; С-3 – 2 кг	Начало нагнетания в 6-й снизу горизонт, окончание – выход раствора при прокачке 6-го снизу горизонта
107	11.30	12.50	200		Начало нагнетания в 3-й снизу горизонт, окончание – выход раствора возле кондуктора при прокачке 7-го снизу горизонта
109	10.25	11.10	200		Начало нагнетания в 7-й снизу горизонт, окончание – невозможность прокачки раствора на 10-м снизу горизонте
111	12.00	12.15	200		Начало нагнетания в 4-й снизу горизонт, окончание – выход раствора около кондуктора скв. №107
113	10.15	10.25	200		Начало нагнетания в 8-й снизу горизонт, окончание – выход раствора при прокачке 9-го снизу горизонта
Остаток раствора закачен в скважину №144 и в скважину №105 в горизонт на отм. 5,3 м (200 л)					

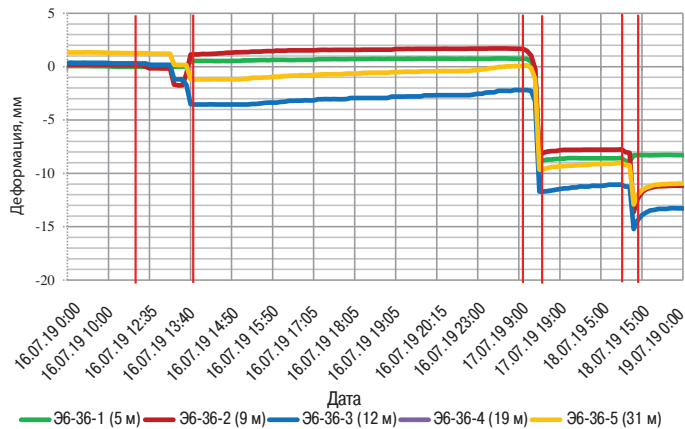


Рис. 7. График развития деформаций по экстензометрам скважины Э6-36 за период производства опытного нагнетания

можно объяснить разуплотнением массива грунта инъекционным раствором и образованием вертикальных поверхностей скольжений в результате выхода раствора на поверхность. После второго дня нагнетания «отскок» был зафиксирован также в среднем на 1 мм при значительно большем деформировании массива при инъектировании. После третьего дня «отскок» составил 2 мм при увеличении деформаций на 4 мм в процессе инъектирования.

Данные «отскоки» являются негативным явлением, поскольку снижают эффект компенсационной инъекции. Для уменьшения их величины необходимо либо сокращать время схватывания раствора за счет добавок, что вызовет технологические сложности при работе с техникой (забивание подающих шлангов), либо уменьшать количество раствора, подаваемого в горизонт в течение одной закачки. Следовательно, количество раствора 200 л в один горизонт является избыточным. По результатам было рекомендовано выполнить нагнетание на следующем опытном участке с аналогичными параметрами, изменив количество раствора, подаваемого в один горизонт за одну прокачку до 100 л, а затем, после выстойки раствора в течение 2–3 суток, повторить нагнетание.

Работы на опытном участке показали, что регламент нагнетания в среднем по массиву позволяет повысить прочностные характеристики грунтового массива, но при этом отмечается неравномерное распределение инъекционного раствора, причем и по глубине, и по горизонтали.

По состоянию на осень 2020 года работы находятся на стадии реализации. Выполнено превентивное нагнетание в основание всех контролируемых зданий. Параметры нагнетания были приняты согласно результатам на опытных участках, за исключением количества раствора.

Так, по результатам работ в интервале отметок от –2 м до –5 м в верхние пять горизонтов закачивалось по 50 л раствора, а в нижние пять – по 100 л. В скважины, пробуренные под углом 40°, нагнетание производилось в нижние десять горизонтов объемом 100 л на один горизонт.

На стационарном комплексе ведутся горнопроходческие работы в среднем стационарном тоннеле и боковом стационарном тоннеле второго пути, тягово-понижительной подстанции и пристанционных выработках.

По всем экстензометрическим скважинам ведется непрерывный мониторинг деформаций грунтового массива. Также по завершении цикла превентивного нагнетания были выполнены геофизические работы, показавшие удовлетворительный результат инъекционного укрепления основания зданий. В ходе горнопроходческих работ зарегистрированы вертикальные деформации зданий и дана рекомендация на выполнение второго этапа инъекционных работ с целью компенсации деформаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 2

Реализованная технология минимизации деформаций фундаментов зданий, расположенных на подрабатываемых территориях, и исключения их неравномерной осадки предполагает комплексный подход с усилением фундаментов компенсационными мероприятиями и обязательным ведением геотехнического мониторинга для контроля смещений, возникающих как от строительства стационарных комплексов, так и от мероприятий, направленных на уменьшение смещений дневной поверхности.

Комплекс геофизических работ в составе геотехнического мониторинга позволяет не только оценить качество выполняемых компенсационных работ, но и показать места разуплотнений, образуемых в массиве в процессе производства работ.

Разработанная и внедренная последовательность компенсационных мероприятий позволяет своевременно выполнять инъекционные работы в моменты развития деформационных процессов в грунтах оснований, не дожидаясь, пока они приведут к деформациям зданий. Многократное использование скважин с обязательной их промывкой после каждого этапа компенсационных работ позволяет управлять осадкой зданий в течение всего срока строительства стационарного комплекса глубокого заложения.



www.lmgt.ru

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ СТРОЯЩЕГОСЯ ЗДАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

О. А. МАКОВЕЦКИЙ, к. т. н., доцент;
С. С. РУБЦОВА, магистрант

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет;
АО «Нью Граунд»)

В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОСТАТОЧНО ЧАСТО ВСТРЕЧАЮТСЯ СИТУАЦИИ, КОГДА В ХОДЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗМЕНЯЮТСЯ (ПОВЫШАЮТСЯ) НАГРУЗКИ НА СУЩЕСТВУЮЩИЕ ФУНДАМЕНТЫ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ТРЕБУЕТСЯ ВЫПОЛНЕНИЕ ГРАМОТНОГО ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ И ПРИНЯТИЕ МЕР ПО УСИЛЕНИЮ ФУНДАМЕНТОВ. ОПЫТ ПОДОБНЫХ ДЕЙСТВИЙ ПРИВЕДЕН В ДАННОЙ ПУБЛИКАЦИИ.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Здание многофункционального делового комплекса расположено по адресу: г. Москва, Рязанский просп., 20. Габаритные размеры объекта — 128х96 м. Основные несущие конструкции здания — монолитные железобетон-

ные. Колонны установлены по сетке 8х8 м. В качестве фундамента выполнена монолитная железобетонная фундаментная плита толщиной от 500 до 1000 мм. В настоящее время устроены подземный этаж здания и часть надземного этажа.

В геологическом строении площадки строительства принимают участие четвертичные техногенные и аллю-

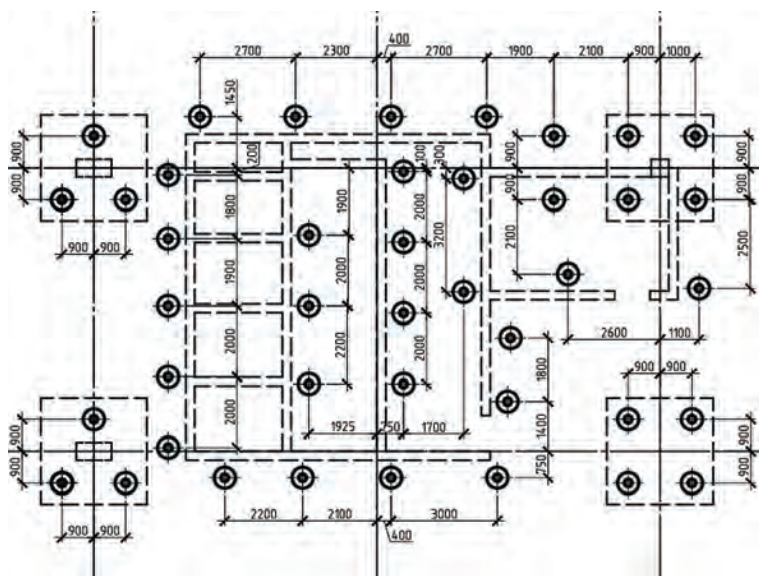


Рис. 1. Фрагмент плана свайного поля.

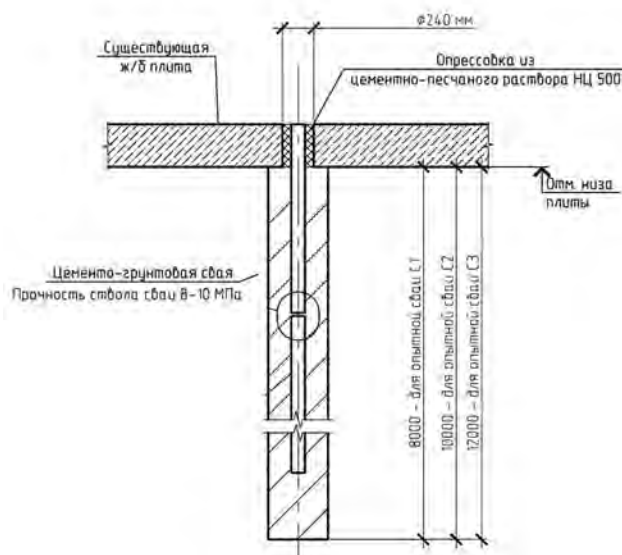


Рис. 2. Характерное сечение со свайей

виальные отложения. Литологическое строение площадки: насыпные грунты, мощность 2,8-3,5 м; пески мелкой и средней крупности, вскрытая мощность 15,2-18,3 м. Грунтовые воды встречены в слое песков средней крупности на глубине 7,7-7,8 м от поверхности.

ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

В связи с изменением назначения здания и его этажности увеличился комплекс нагрузок на фундаментную конструкцию. Существующие фундаментные плиты не обеспечивают требуемый характер распределения напряжений на грунтовое основание и нормативную величину разности осадок. Было принято решение произвести усиление существующих фундаментов сваями, выполняемыми по технологии струйной цементации грунта [1]. На рис.1 представлен фрагмент свайного поля усиления, на рис. 2 — характерное сечение с конструкцией усиления. Общее количество свай усиления — 1070 шт. Нагрузка на одну сваю — 200-220 тс. Проектная длина свай — 10 м.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

В местах устройства свай усиления в существующей фундаментной плите устраиваются сквозные технологические отверстия диаметром 240 мм. Бурение выполняется алмазными коронками станком HILTI DD-200. Общий объем бурения — 898 пог. м.

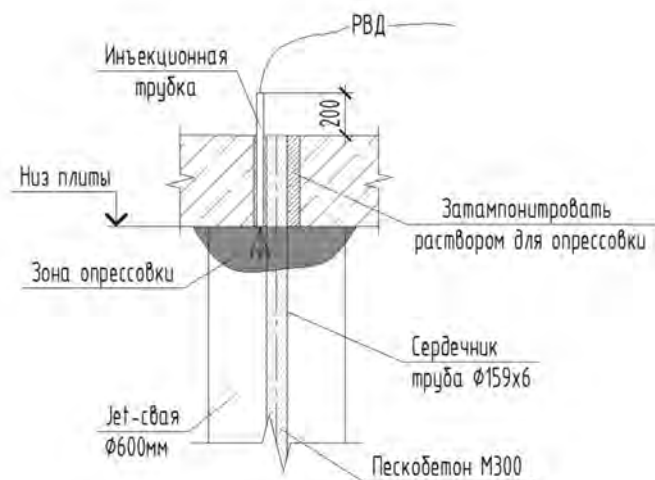


Рис. 3. Опресовка оголовка сваи

Сваи выполняются буровой установкой Beretta T-43 по схеме «Jet-1», с расходом цемента 350-450 кг на один погонный метр. Расчетный диаметр сваи — 600 мм. Для восприятия осевой вдавливающей нагрузки сваи арми-

руются центральным сердечником — труба 159х6 мм, нижнее сечение трубы заглушено, после погружения сердечник заполняется пескобетоном М300. Пространство между сердечником и фундаментной плитой чеканится бетоном на мелком заполнителе. После набора прочности оголовки сваи опрессовываются цементно-песчаным раствором НЦ-500, под давлением 2 атм, для обеспечения совместной работы конструкции усиления с существующим фундаментом.



Рис. 4. Проходка технологического отверстия



Рис. 5. Выполнение грунтобетонной сваи

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

В научно-технической литературе по вопросам геотехнического строительства сложилось достаточно скептическое мнение о возможности использования грунтобетонных элементов в качестве высоконагруженных свай. В связи с этим для подтверждения обоснованности принятого технического решения были проведены статические ис-

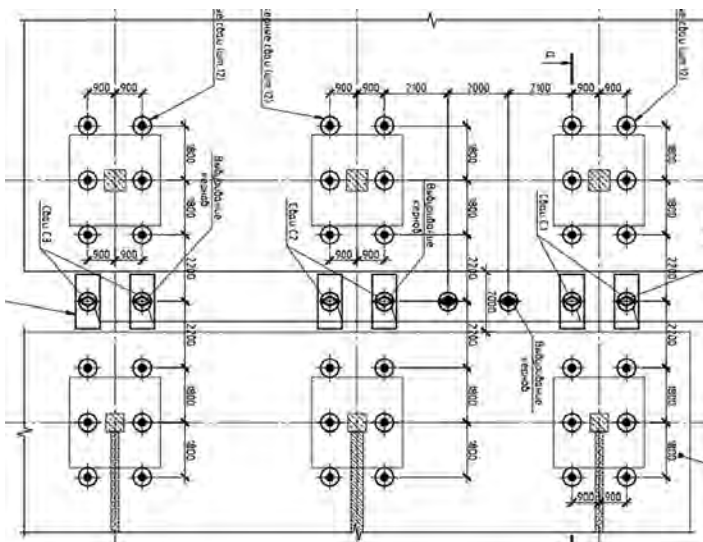


Рис. 6. Схема проведения испытаний



Рис. 8. Монтаж нагружающей системы

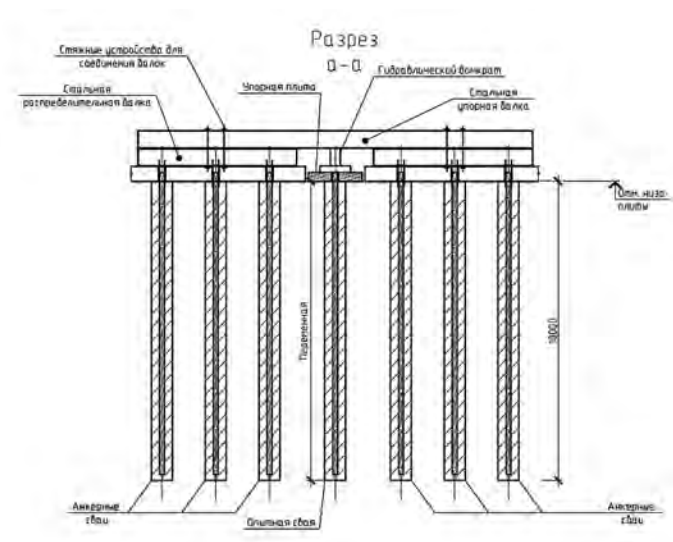


Рис. 7. Схема нагружающей системы



Рис. 9. Проведение статических испытаний

пытания сваи вдавливающей нагрузкой. Была выполнена серия испытаний сваи длиной 8, 10, 12 м. Схема проведения испытаний показана на рис.6, 7; ход испытаний — на рис. 8, 9.

В качестве силовой конструкции использовалась сборная 12-метровая стальная балка индивидуального изготовления. В качестве анкерной системы выполнены шесть грунтобетонных свай длиной 10 м с сердечником из металлической трубы. Балка соединялась с анкерными сваями через опорные узлы, выполненные на сварке.

Вдавливающая нагрузка на сваю передавалась через опорную плиту с помощью двух гидравлических домкратов ДГ-200. Величина усилия контролировалась по давлению в гидравлической системе, согласно тарировочной зависимости. Вертикальные перемещения фиксировались с помощью прогибомеров БПАО.

Предельная нагрузка для испытаний была принята 300 тс, степень нагружения — 30 тс. Критерием условной стабилизации деформаций являлась скорость развития деформаций — 0,1 мм за 2 часа. За критерий достижения несущей способности сваи принято развитие абсолютной осадки, превышающей 40 мм. Требуемую по проекту несущую способность показали сваи длиной 10 и 12 м. Графики испытания сваи длиной 8 и 10 м приведены на рис. 10, 11.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность использования грунтобетонных элементов в качестве высоконагруженных свай, работающих на вдавливающую нагрузку. Требуемая несущая способность сваи обеспечена как по грунту, так и по прочности конструктивного элемента.

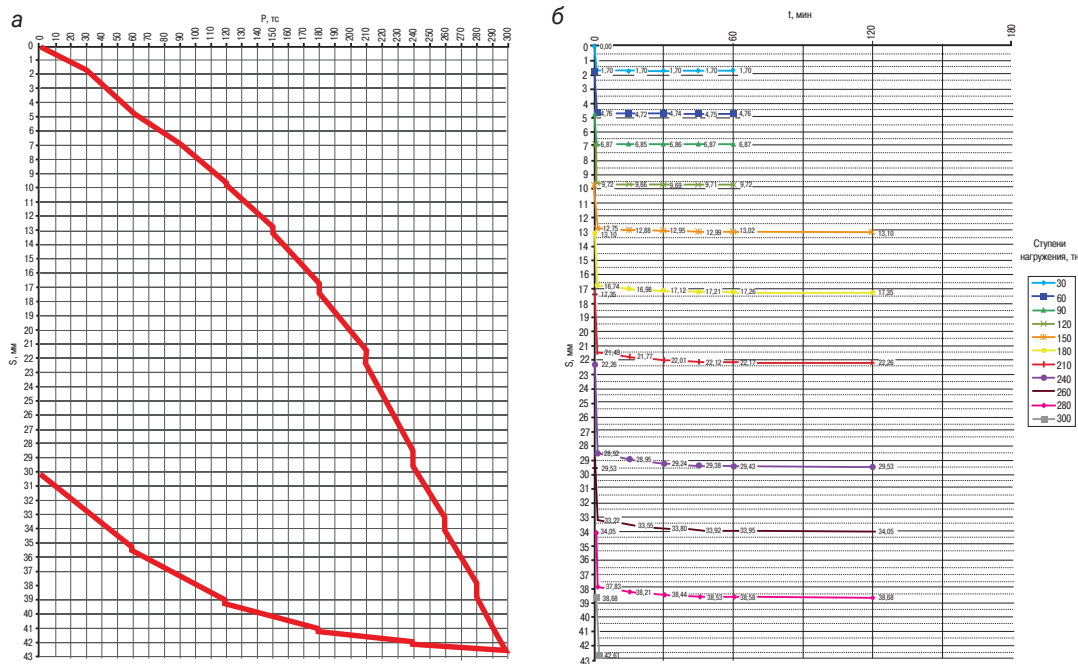


Рис. 10. Графики статических испытаний сваи длиной 8 м: а) осадка – нагрузка; б) осадка – время

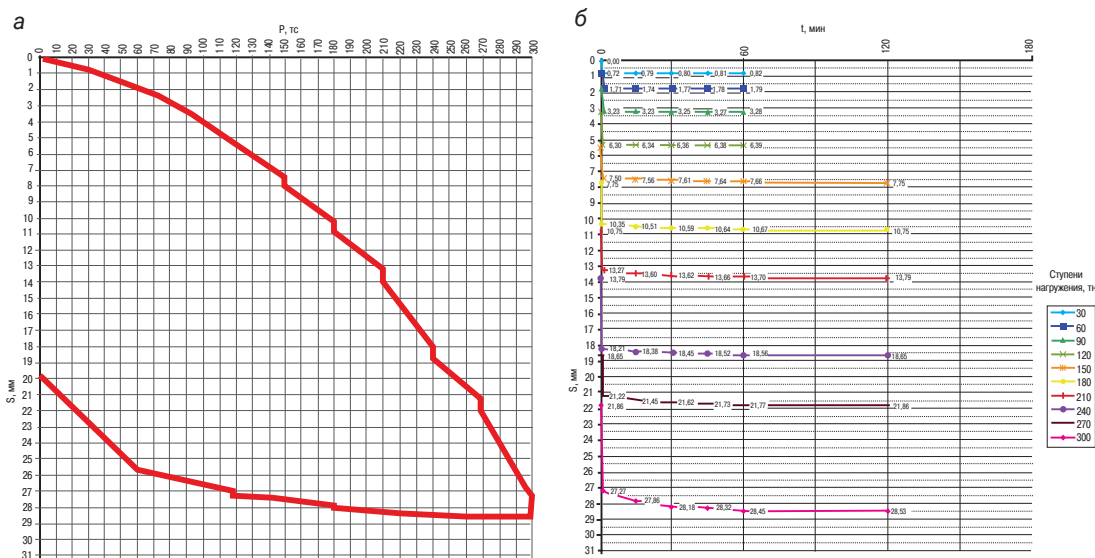


Рис. 11. Графики статических испытаний сваи длиной 10 м: а) осадка – нагрузка; б) осадка – время

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы полевого контроля получаемых характеристик грунтобетонных элементов разработаны и опробованы на ряде аналогичных объектов [2]. Но наиболее показательным методом контроля являются натурные испытания, подтверждающие правильность принятых инженерных решений и качество выполненных работ по усилению существующих фундаментных конструкций.

Рассмотренный метод обеспечения геотехнической безопасности зданий и сооружений при помощи устройства дополнительных грунтобетонных свай, положения проектирования, производства работ и контроля их качества являются одной из основных составляющих разрабатываемого в настоящее время технического регламента на применение технологии струйной цементации грунта.



www.new-ground.ru
info@new-ground.ru

Литература

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. — М.: Изд. АСВ, 2014.
2. Маковецкий О.А, Зуев С.С., Хусаинов И.И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов. // Жилищное строительство. 2013, №9. С.10-14.

ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННЫХ ДОРОГ



ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ
ПО ВСЕЙ РОССИИ



СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА



ШИРОКИЙ АССОРТИМЕНТ
БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Реклама. ОГРН 1036238001643, 199178, г. Санкт-Петербург, 3-я линия В.О., д. 62, лит. А



БИТУМНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ

WWW.BITUM.GAZPROM-NEFT.RU