



Сравнение методов бестраншейного строительства инженерных сетей

При необходимости оперативного и экономичного строительства трубопроводных коммуникаций в системах водоснабжения, водоотведения, газо- и теплоснабжения и других нашли широкое применение бестраншейные технологии [1, 2].

Эти технологии наряду с указанными свойствами обладают важной характеристикой, к которой можно отнести сохранение экологической обстановки вблизи объекта строительства за счёт полного отсутствия раскопных земляных работ или их минимальных объёмов [3, 4]. Традиционная прокладка трубопроводов, которая реализуется путём рытья траншей на необходимую глубину, их укрепления, укрытия труб инертным материалом, засыпкой и восстановлением дорожного полотна и ландшафта, приводит к большим материальным и трудовым затратам [5]. Результаты исследования маркетологов, проводивших сравнение закрытого и открытого способов по четырём критериям, позволили сделать выводы о преимуществе бестраншейных технологий. Это выразилось в экономии затрат в три раза и восстановлении благоустройства в 1,6 раз, в сокращении сроков строительства в два раза, в экономии

от реализации проекта в целом, с учётом применяемых материалов, в два раза [6].

В настоящее время наибольшее распространение находят методы бестраншейной прокладки трубопроводов: прокол, продавливание, микротоннелирование (шнековое бурение как частный случай микротоннелирования); горизонтальное направленное бурение (ГНБ); запахивание в грунт (плужный метод) [7].

Метод прокола является первой и наиболее простой разновидностью бестраншейных технологий. Сущность этого метода заключается в образовании в грунте горизонтальной скважины за счёт воздействия домкрата, обеспечивающего продвижение первого модуля трубы с накопником и последовательно устанавливаемых за ним последующих модулей до приёмного котлована. Данная технология

Наибольшее распространение находят методы бестраншейной прокладки трубопроводов: прокол, продавливание, микротоннелирование; горизонтальное направленное бурение; запахивание в грунт

Рецензия эксперта на статью получена 12.09.2019 [Expert review on the article received on September 12, 2019].

УДК 628+621.646. Научная специальность: 05.23.04.

Сравнение методов бестраншейного строительства инженерных сетей

Владимир А. Орлов, д.т.н., профессор; **Сергей П. Зоткин**, к.т.н., доцент; **Валентина А. Нечитаева**, старший преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В статье рассматриваются методы бестраншейного строительства трубопроводов, их преимущества перед открытым способом прокладки. Представлены технологические параметры наиболее распространённых методов бестраншейных технологий, таких как прокол, продавливание, горизонтальное направленное бурение, микротоннелирование и др. Описаны типы и диапазоны применения навигационного оборудования, сопровождающего технологические процессы прокладки инженерных сетей в подземном пространстве. Отражены стоимостные аспекты, позволяющие ориентироваться в принятии решений по выбору наиболее оптимальных методов строительства объектов. Произведено сравнение методов бестраншейного строительства на базе возможных диапазонов диаметров коммуникаций при прокладке, геологических условий, максимальных расстояний прокладки трубопроводов.

Ключевые слова: строительство, бестраншейные технологии, трубопроводы, навигационное оборудование, сравнение вариантов

UDC 628+621. 646. The number of scientific specialty: 05. 23. 04.

Comparison of trenchless construction methods for engineering networks

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Serge P. Zotkin**, PhD, Associate Professor; **Valentina A. Nechitaeva**, senior Lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

The article presents the methods of trenchless pipeline construction, their advantages over the open method of laying. Presents the technological parameters of the most common methods of trenchless technologies, such as puncture, bursting, horizontal directional drilling, microtunnelling etc. Describes the types and ranges of use of navigation equipment to accompany the processes of construction of utilities in the underground space. The cost aspects allowing to be guided in decision-making on the choice of the most optimum methods of construction of objects are reflected. The comparison of trenchless construction methods on the basis of possible ranges of diameters of communications during laying, geological conditions, maximum distances of pipeline laying is made.

Key words: construction, trenchless technologies, pipelines, navigation equipment, comparison of options.



применима для малых диаметров, так как усилие, необходимое для прокола, прямо пропорционально квадрату радиуса сечения скважины.

Метод продавливания заключается в продавливании стальных футляров в тело грунта с помощью домкратов. Для уменьшения трения футляра в грунте конец трубы оснащён ножом. В отличие от прокола, грунт не «вдавливается» в стенки скважины, а разрабатывается различными способами и выводится из забоя специальной техникой.

Бестраншейный метод прокладки трубопроводов и коммуникаций в технологии микротоннелирования осуществляется с помощью специальных домкратных станций и микрощитов с режущими органами [8, 9]. Труба «продавливается» сквозь грунт от одной станции (шахты) до другой. Расстояние между шахтами составляет от 50 до 500 м. Однако при использовании специальных промежуточных домкратных станций это расстояние может быть увеличено в несколько раз.

Одним из достоинств метода является то, что технология микротоннелирования позволяет прокладывать криволинейные трассы с большим радиусом поворота, позволяя обходить подземные препятствия, водные объекты, авто и ж/д пути.

При реализации этой технологии применяют трубы: железобетонные, стальные, керамические и полимербетонные, которые должны обладать высокой прочностью, обеспечиваемой специальными муфтами, оказывающими незначительное сопротивление при продавливании труб в скважине. С помощью микротоннелирования могут быть осуществлены работы по бестраншейному присоединению к действующему трубопроводу боковых ветвей [10].

К основным этапам реализации технологии микротоннелирования следует отнести: подготовительный (например, изучение свойств грунта вдоль будущей трассы и т.д.); подготовка стартовой и приёмной шахт; спуск домкратной установки и монтаж микрощита в приёмной шахте; прокладка трубопровода с использованием навигационной системы управления; демонтаж оборудования.

В качестве навигационной системы, обеспечивающей высокую точность проходки микрощита и протаскиваемого за ним трубопровода, используется специальный компьютерный комплекс и электронная лазерная система управления микрощита. В зависимости от протяжённости трассы могут применяться: система с измерительным колесом и мишенью (при длине трассы до 200 м), электронная лазерная система с гидростатическим водяным уровнем (при длине трассы от 200 до 400 м) и система с гироскопом (для проходки криволинейных участков).



Технология горизонтального направленного бурения представляет собой управляемый процесс прокладки подземных коммуникаций на глубину до 50 м, основанный на использовании специальных буровых комплексов (установок) [11].

Длина прокладки путей может быть от нескольких метров до нескольких километров, а диаметр от 25 до 2000 мм. Скорость бурения достигает 100 м трубопроводов за смену. Горизонтальное бурение производят при помощи специальных комплексов: бурильных машин с ходовой гусеничной частью; приспособлений для приготовления бурового раствора; навигационной системы и штанг. Буровой раствор необходим для охлаждения бора, обеспечения смазки и укрепления стенок канала. Он состоит из бентонита, воды, полимеров и водного кондиционера. В зависимости от вида почв, требуется определённый ряд характеристик бурового раствора. При использовании технологии применяют трубы: из полиэтилена низкого давления (ПНД) диаметрами от 25 до 1200 мм; стальные диаметрами от 50 до 2000 мм (используются в качестве защитных футляров); из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом диаметрами от 80 до 1000 мм.

К основным этапам реализации технологии горизонтального направленного бурения следует отнести: изучение свойств грунта вдоль трассы; организация места проведения работ; бурение пилотной скважины по заранее выбранной траектории, с расчётом процента изгиба буровой колонны на каждую штангу; расширение и формирование устойчивой скважины до требуемого диаметра без обвалов, засоров, пробок и т.п.; протягивание трубопровода из финишного колодца в стартовый с помощью риммера-расширителя.

В отношении эффективности методов бестраншейного строительства на тех или иных объектах, как правило, следует проводить оценку по следующим критериям: возможным диаметрам коммуникаций при прокладке; геологическим условиям, при которых возможно применение того или иного метода; максимальном расстоянии прокладки трубопроводов и стоимости работ.

Обобщив сведения из литературных источников и нормативно-технической литературы по бестраншейным методам строительства, ниже в качестве наглядности представлены графики сравнения методов по диаметрам (рис. 1).

На основании анализа рис. 1 можно констатировать, что, по сравнению с другими методами бестраншейного строительства, метод прокола имеет наименьший диапазон значения диаметров. Это связано с тем, что усилие, необходимое для прокола, прямо пропорционально квадрату радиуса сечения скважины. Самый большой диапазон принадлежит микротоннелированию, который позволяет осуществлять строительство больших коллекторов (диаметром до 4000 мм).

Метод горизонтального направленного бурения лидирует по значению минимального диаметра, которое составляет 25 мм. Что касается геологических условий, то для оценки эффективности ведения работ можно использовать данные из табл. 1, где для соответствующего метода бестраншейного строительства представлен диапазон стандартных категорий грунтов (в диапазоне от I–VII). При наличии знака «+» применение соответствующей технологии возможно, а при знаке «–» невозможно.

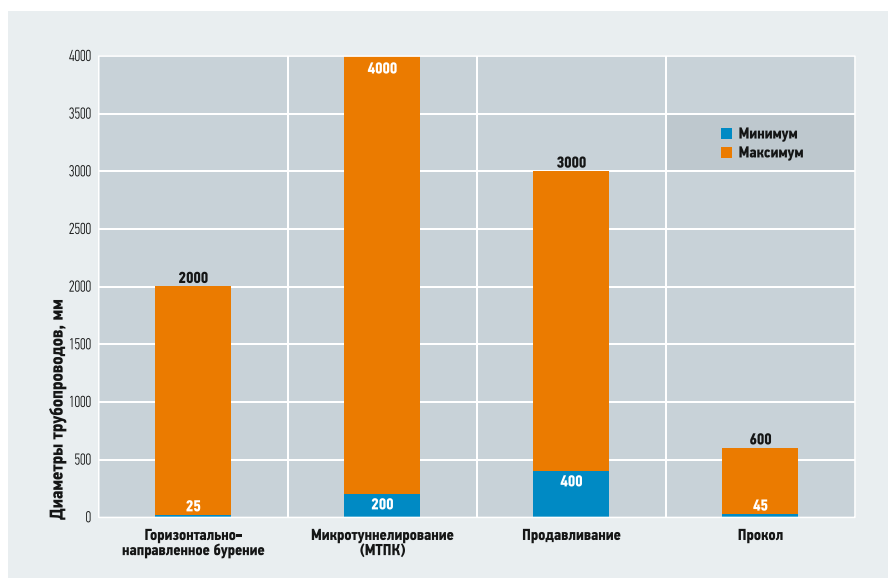


Рис. 1. Значения возможных диаметров трубопроводов, охватываемых наиболее распространенными методами бестраншейного строительства инженерных сетей

Таким образом, метод прокола применяют при ведении работ в глинистых и суглинистых грунтах (грунты I–III категорий), способ продавливания эффективен в грунтах I–IV категорий, а также в вечномерзлых сезонно промерзающих грунтах, методы микротоннелирования и горизонтального направленного бурения способны справиться со всеми категориями грунтов, включая сланцы окварцованные и слюдяные, песчаник плотный, твердый мергелистый известняк, плотный доломит, мрамор, вечномерзлые сезонно промерзающие грунты, такие как моренные грунты и речные отложения с содержанием крупной гальки и валунов до 70% по объему.

На рис. 2 в качестве примера категорий грунтов представлены их некоторые типы в части гранулометрического состава и водопроницаемости, а на рис. 3 — передние части микротоннельного агрегата с режущим инструментом для различных типов грунтов.

Для сравнения максимальных длин прокладки трубопроводов различными методами без использования дополнительного оборудования для наглядности представлены сводные графики (рис. 4). Анализ данных на рис. 4 свидетельствует, что метод прокола позволяет прокладывать трубопроводы на длину до 60 м, что почти в два раза меньше длины, реализуемой методом продавливания и равной 100 м. Длина прокладки методом горизонтального направленного бурения может составить несколько километров. Этот метод является лидирующим по данному критерию оценки. Максимальное расстояние для реализации метода микротоннелирования составляет 500 м.

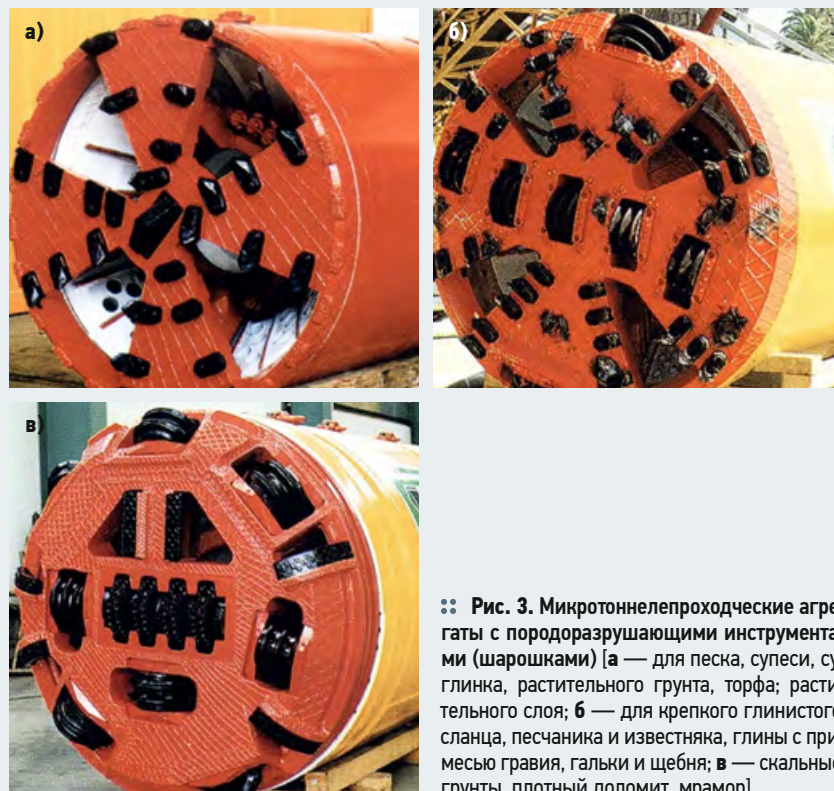
Если производить оценку альтернативных методов по прокладке трубы, например, диаметром 600 мм, то можно констатировать следующее (табл. 2).

Возможность применения методов бестраншейных технологий в различных грунтах табл. 1

Наименование метода	Категории грунтов						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Прокол	+	+	+	–	–	–	–
Продавливание	+	+	+	+	–	–	–
ГНБ	+	+	+	+	+	+	+
МТПК	+	+	+	+	+	+	+



Рис. 2. Типы грунтов (а — скальный грунт, б — крупный, средний и мелкий гравий, в — крупно- и мелкозернистый песок, г — глина)



:: **Рис. 3.** Микротоннелепроходческие агрегаты с породоразрушающими инструментами (шарошками) [а — для песка, супеси, суглинка, растительного грунта, торфа; растительного слоя; б — для крепкого глинистого сланца, песчаника и известняка, глины с примесью гравия, гальки и щебня; в — скальные грунты, плотный доломит, мрамор]

На первый взгляд является очевидным, что стоимости работ методом прокола и горизонтального направленного бурения являются наиболее дешёвыми. Однако при использовании метода горизонтального направленного бурения

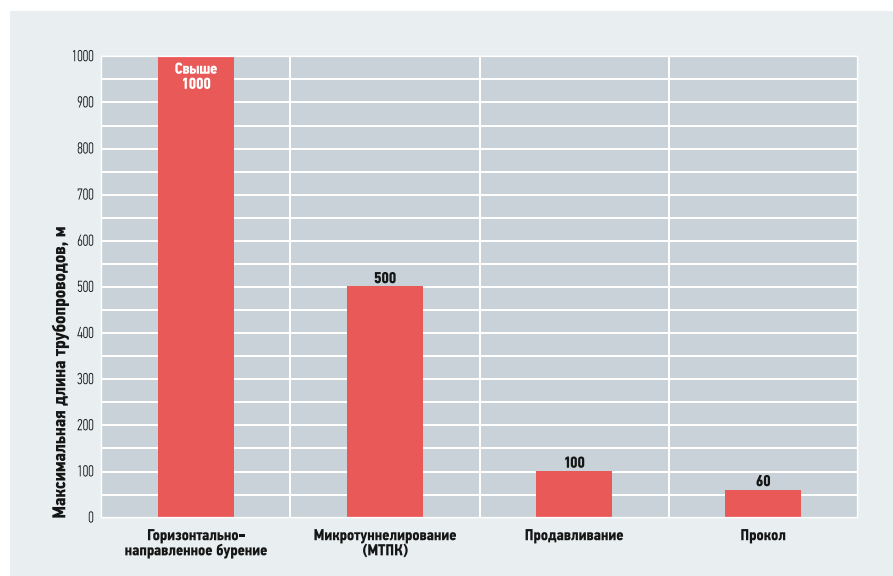
не требуется строительства котлованов, а значит — и затрат на земляные работы, поэтому именно он будет являться самым дешёвым в сравнении с остальными. Метод микротоннелирования, напротив, будет являться самым дорогим.

:: Ориентировочные стоимости работ по прокладке трубы*

табл. 2

Наименование метода бестраншейных технологий	Цена, руб.
Горизонтальное направленное бурение	14 500
Микротоннелирование	32 000
Продавливание	19 500
Прокол	14 500

* Прокладка 1 п.м. трубы диаметром 600 мм без учёта стоимости труб, земляных работ, индивидуальных особенностей проекта.



:: **Рис. 4.** Максимальные длины прокладки трубопроводов в зависимости от применяемого метода бестраншейного строительства инженерных сетей

Выводы

1. Анализируя приведённые сравнительные данные по различным методам бестраншейного строительства, установлено, что методы горизонтального наклонного бурения и микротоннелирования являются наиболее перспективными; во-первых, данные методы охватывают большой спектр диаметров прокладываемых коммуникаций во всех категориях грунтов; во-вторых, они позволяют строить участки большой протяжённости, в-третьих, позволяют прокладывать трубопроводы на большой глубине.
2. Затраты на выполнение работ в случае использования технологии горизонтального направленного бурения являются самыми дешёвыми в сравнении с другими методами, так как в данном случае не требуются земляные работы.
3. Несмотря на кажущуюся достаточно высокую стоимость работы при применении микротоннелирования, имеется ряд случаев, когда применение этого метода является наиболее выгодным, поскольку использование других альтернативных методов потребует большого количества дополнительного оборудования, а следовательно, и затрат на решение поставленной задачи. Особым аспектом, обуславливающим привлекательность данного метода, является то, что обеспечиваемый им диапазон строительства трубопроводов составляет от 200 до 4000 мм, причём в любых геологических условиях. ●

1. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий. — М.: Изд-во «ПрессБюро». 2005. 304 с.
2. Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociagowych i kanalizacyjnych. Wydaw. Politechniki Świętokrzyskiej. 2006. 180 p. [In Polish]
3. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети. — М.: Стройиздат, 2005. 288 с.
4. Kuliczowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. 2010. 735 p. [In Polish]
5. Белякова Е.В., Головин К.А. Современные бестраншейные технологии // Известия ТулГУ. Серия: Естественные науки, 2009. №3. С. 238–244.
6. Andreas U. Special applications fields of microtunnelling equipment. 32nd ISTT Annual International No-Dig Conference and Exhibition. Madrid, Spain. 2014. Pp. 35–40.
7. Корзун Н.Л., Балканов А.А. Обоснование применения микротоннелирования для прокладки инженерных сетей на урбанизированных территориях // Известия вузов. Серия: Инвестиции. Строительство. Недвижимость, 2014. №1. С. 50–52.
8. СТО НОСТРОЙ 2.27.17–2011. Освоение подземного пространства. Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения. — М.: Изд-во «БСТ», 2012. 145 с.
9. ТСН 40-303-2003 г. Москвы (МГСН 6.01-03). Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования. — М.: ГУП «НИИЦ», 2004. 82 с.
10. Matsumoto F, Morita T, Sakai E., Shimoda H., Sasaoka T., Matsui K. New pipe-jacking method in connecting new pipeline to the existing underground structure. 32nd ISTT Annual International No-Dig Conference and Exhibition. Madrid, Spain. 2014. Pp. 65–68.
11. Тиманов Ю.М. Укладка трубопроводов методом ГНБ // Технолога Мира, 2016. №3–4. С. 35–40.

References — see page 94.

Comparison of trenchless construction methods for engineering networks.
Pp. 28–31.

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Serge P. Zotkin**, PhD, Associate Professor; **Valentina A. Nechitaeva**, senior Lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

1. Rybakov A.P. Osnovy bestranshejnyh tehnologij [Basics of trenchless technology]. Moscow. Izd-vo "PressBjuro" ["Press Bureau" Publishing House]. 2005. 304 p. [In Russian]
2. Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociagowych i kanalizacyjnych. Wydaw. Politechniki Świętokrzyskiej. 2006. 180 p. [In Polish]
3. Hramenkov S.V. Strategija modernizacii vodoprovodnoj seti [The strategy of modernization of the water supply network]. Moscow. Strojizdat [Publishing House of literature on the construction and architecture of the USSR ("Stroiizdat" Publishers)]. 2005. 288 p. [In Russian]
4. Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. 2010. 735 p. [In Polish]
5. Beljakova E.V., Golovin K.A. Sovremennye bestranshejnye tehnologii [Modern trenchless technology]. Izvestija TulGU. Serija: Estestvennye nauki [Bulletin of Tula State University. Series: Natural Sciences]. 2009. No. 3. Pp. 238–244. [In Russian]
6. Andreas U. Special applications fields of microtunnelling equipment. 32nd ISTT Annual International No-Dig Conference and Exhibition. Madrid, Spain. 2014. Pp. 35–40.
7. Korzun N.L., Balkanov A.A. Obosnovanie primeneniya mikrotonnelirovanija dlja prokladki inzhenernyh setej na urbanizirovannyh territorijah [Justification for the use of microtunnelling for laying engineering networks in urban areas]. Izvestija vuzov. Serija: Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' [Journal of the Russian Universities. Series: Investments. Construction. The property]. 2014. No. 1. Pp. 50–52. [In Russian]
8. STO NOSTROJ [The Code of Organization of the Russia National Association of Builders No.] 2.27.17–2011. Osvoenie podzemnogo prostranstva. Prokladka podzemnyh inzhenernyh kommunikacij metodom gorizonta'nogo napravlenno go burenija [The development of the underground space. Laying underground utilities using horizontal directional drilling]. Moscow. Izd-vo "BST" ["Bulletin of construction equipment" Publishing House]. 2012. 145 p. [In Russian]
9. TSN [Territorial estimated codes No.] 40-303–2003 of Moscow city (MGSN [Moscow city building codes No.] 6.01–03). Bestranshejnaja prokladka kommunikacij s primenieniem mikrotonnelleprohodcheskih kompleksov i rekonstrukcija truboprovodov s primenieniem special'nogo oborudovanija [Trenchless laying of communications using microtunnelling complexes and reconstruction of pipelines using special equipment]. Moscow. GUP "NIAC" [State Unitary Enterprise "Research Analytical Center of the Moscow Architecture Committee"]. 2004. 82 p. [In Russian]
10. Matsumoto F., Morita T., Sakai E., Shimoda H., Sasaoka T., Matsui K. New pipe-jacking method in connecting new pipeline to the existing underground structure. 32nd ISTT Annual International No-Dig Conference and Exhibition. Madrid, Spain. 2014. Pp. 65–68.
11. Timanov Ju.M. Ukladka truboprovodov metodom GNB [Laying pipelines by the method of horizontal directional drilling]. Tehnologii Mira ["Technologies of the World" Magazine]. 2016. No. 3–4. Pp. 35–40. [In Russian]