Лопатина А.А., Сазонова С.А. Анализ технологий укладки труб // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 93–111. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.12

Lopatina A.A., Sazonova S.A. Analysis of pipe-laying technologies. *PNRPU Bulletin Construction and architecture*. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 93-111. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.12

ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 1, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE
http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.12
УДК 621.644.07

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УКЛАДКИ ТРУБ

А.А. Лопатина, С.А. Сазонова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 15 января 2016
Принята: 29 января 2016
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

прокладка труб, траншейные технологии, бестраншейные технологии, прокол, гидропрокол, продавливание, горизонтально направленное бурение, микротоннелирование

АННОТАЦИЯ

Более 50 % трубопроводов в РФ требуют замены или реконструкции, поскольку проложены в советское время. На сегодняшний день актуальным вопросом является выбор оптимальной технологии производства работ, который зависит от множества факторов: протяженности нити, свойств грунтов, наличия других коммуникаций и, наконец, бюджета, которым располагают заказчики. Время работ является последним, решающим фактором. Самый распространенный – траншейный метод прокладки трубопровода приносит современному городу и его жителям значительные неудобства. Несмотря на то что он самый дешевый из существующих методов, в совокупности с работами по восстановлению дорожного полотна, зеленых насаждений и прочими сопутствующими факторами, стоимость всего цикла работ становится значительной. С другой стороны, разработано большое количество современных методов, имеющих множество достоинств по сравнению с классической технологией, но при этом являющихся более дорогостоящими. Поэтому при выборе технологии прокладки и реконструкции трубопроводов необходимо производить технико-экономическое сравнение вариантов с учетом всех особенностей объекта. Целью настоящего исследования является анализ траншейных и бестраншейных технологий укладки труб. В ходе работы выполнен аналитический обзор технологий укладки труб, определены основные технологические параметры, области применения, а также преимущества и недостатки каждой из представленных технологий. Существует более 10 способов укладки трубопроводов, некоторые из которых являются инновационными, некоторые – наоборот, устаревшими. В перечень рассмотренных методов прокладки трубопровода был включен траншейный способ, прокол, гидропрокол, продавливание, горизонтально направленное бурение, микротоннелирование, а также комбинированный метод.

© **Лопатина Анастасия Александровна** – студентка, e-mail: svaasura@gmail.com.
Сазонова Светлана Александровна – аспирант, e-mail: feliks150@mail.ru.

Anastasiia A. Lopatina – Student, e-mail: svaasura@gmail.com.
Svetlana A. Sazonova – Postgraduate Student, e-mail: feliks150@mail.ru.

ANALYSIS OF PIPE-LAYING TECHNOLOGIES

A.A. Lopatina, S.A. Sazonova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 15 January 2016
Accepted: 29 January 2016
Published: 31 March 2016

Keywords:

pipe-laying, trench technologies, trenchless technologies, puncture, hydropuncture, driving, horizontal directional drilling, microtunnelling

ABSTRACT

More than 50 % of pipelines in the Russian Federation require replacement or reconstruction, as they were laid/run/constructed in the Soviet period. At the present time the urgent problem is the choice of optimum work execution technology. The choice of method depends on many factors: the length of the pipeline, soil properties, availability of other communications and, finally, the budget which is available to the customers. The time is the last determining factor. The most common method of laying pipelines is trench method, that brings a modern city and its residents significant inconvenience. Despite the fact that it is the cheapest of the existing methods, in conjunction with the restoration of the roadway, green space and other related factors, the cost of the work cycle becomes significant. On the other hand, a large number of modern methods are developed that have many advantages in comparison with classical technology, but they are more expensive. Therefore, when choosing the technology of laying and rehabilitation of pipelines it is necessary to make technical and economic comparison of variants with all the features of the object. The purpose of this study is the analysis of trench and trenchless technologies of pipe laying. To achieve the goal following problems were solved: an analytical review of technologies for pipe-laying with the identification of the main technological parameters, application area of both advantages and disadvantages of each technology presented. There are more than 10 ways of laying pipelines, some of them are innovative, some are outdated. In the list of the considered methods the pipeline the trench, puncture, hydropuncture, driving, horizontal directional drilling, microtunnelling, as well as the combined method was included.

По длине функционирующих трубопроводов Российская Федерация занимает одну из лидирующих позиций в мире (более 375 тыс. км), но вместе с этим присутствует негативный момент – более половины трубопроводов проложены полвека назад, следовательно, более ста тысяч километров требуют срочной реконструкции либо замены [1].

Выбор метода производства работ по реконструкции зависит от множества факторов: протяженность нити, свойства грунтов, наличие других коммуникаций и, наконец, бюджет, которым располагают заказчики. Время работ является последним, решающим фактором.

Важным условием для безопасного использования трубопровода является его укладка на проектную отметку с обеспечением плотного опирания на дно траншеи на протяжении всей длины, а также сохранение целостности труб и их изоляции при устройстве трубопровода. Трубопровод размещается на 20 см ниже глубины промерзания грунта, но глубина должна превышать 1 м (от верхней стенки трубы) для защиты трубы от внешних повреждений. В городах прокладку новой нити часто затрудняют уже существующие подземные коммуникации. Если они располагаются ниже нового трубопровода, проблем не возникает, в иных случаях должны приниматься меры по их укреплению – заключению в специальные короба [2].

На данный момент существует более 10 способов укладки трубопроводов, некоторые из них являются инновационными, некоторые – наоборот, устаревшими. На практике устаревшие методы широко применяются, они, безусловно, имеют свои достоинства и недостатки. В настоящей статье представлен анализ классического траншейного метода и наиболее широко используемых бестраншейных. Классификация методов приведена на рис. 1.

Рис. 1. Классификация методов прокладки трубопроводов
Fig. 1. Classification of pipeline laying methods

Траншейный метод, который также называют скрытой прокладкой труб, является одним из самых быстрых и точных методов при укладке протяженных участков сети. Немаловажным достоинством является его относительно малая стоимость (без учета восстановления дорожного покрытия). Из существенных недостатков следует отметить экологический фактор, связанный с уничтожением зеленых насаждений, повышенной загазованностью участка. Маломобильные группы населения, а также молодые мамы и пожилые люди могут испытывать неудобства. В зимнее время года, а также во время обильных осадков приходится приостанавливать работы, так как будет нарушаться технология укладки. Также при наличии различных препятствий (железнодорожных путей, рек) данный метод не предусматривает решений.

Траншейный метод включает в себя следующие операции:

- разработка траншей;
- укладка и закрепление трубопровода;
- обратная засыпка;
- благоустройство территории.

При выполнении первого этапа в случае отсутствия загруженности коммуникациями применяются траншейные экскаваторы, использование которых значительно уменьшает срок выполнения работ: идет одновременная работа по резке, выемке и последующей уборке грунта. Если же плотность коммуникаций высокая, используют одноковшовые экскаваторы. Рытье траншей и котлованов с вертикальными стенками в грунтах естественной влажности разрешается только при условии закрепления вертикальных стен или устройстве откосов допустимой крутизны, которая зависит от глубины выемки и типа грунта (рис. 2) [3].

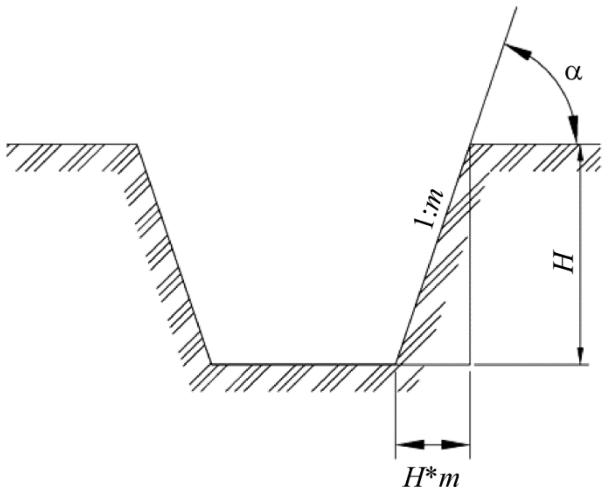

Рис. 2. Определение крутизны откоса
Fig. 2. Determination of slope steepness

Разработку котлованов и траншей в мерзлых грунтах всех пород (за исключением сухого песчаного) разрешается производить с вертикальными стенками без креплений на всю глубину их промерзания. В случаях, когда необходимо углубиться ниже уровня промерзания, требуется провести работы по укреплению. Траншеи и котлованы в сухих (сыпучих) песчаных грунтах, независимо от степени промерзания, надлежит разрабатывать с обеспечением установленной крутизны откосов или устройством крепления стен. В размороженных (отогретых) грунтах разработку следует производить с обеспечением необходимой крутизны откосов или устройством креплений стен в тех случаях (или местах), когда глубина размороженного участка превышает размеры, указанные в табл. 2.4 Руководства по строительству линейных сооружений местных сетей связи [4].

На участках, где траншеи и котлованы пересекаются с трамвайными или железнодорожными путями, требуется разработка с обязательным креплением их стен. Способы вертикального крепления стен котлованов и траншей приведены на рис. 3 [2].

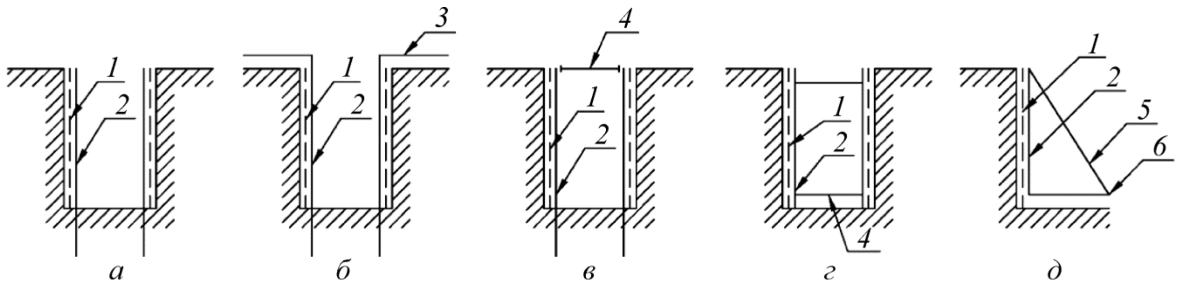

Рис. 3. Принципиальные схемы типов креплений: *а* – консольного; *б* – анкерного; *в* – консольно-распорного; *г* – распорного; *д* – подкосного; *1* – щиты (доски); *2* – стойки (сваи); *3* – анкеры; *4* – распорки; *5* – подкосы; *6* – упоры (якоря)
Fig. 3. Schematic diagrams of mounting options: *a* – the console; *b* – the anchor; *c* – knee-spacer; *d* – the spacer; *e* – strut; *1* – boards (planks); *2* – post (piles); *3* – anchors; *4* – spacer; *5* – struts; *6* – stops (anchor)

После проведения земляных работ приступают ко второму этапу, на котором трубопроводы укладывают с помощью кранов-трубоукладчиков на естественное или искусственное основание. При естественном основании трубы укладывают прямо на грунт, структура которого не нарушена, обеспечивая поперечный и продольный профиль основания по проекту. При несущей способности грунтов оснований менее 0,1 МПа следует создавать искусственные основания – бетонные или железобетонные, сборные лекальные, свайные. Для увеличения плотности грунтов оснований нередко применяется метод уплотнения. Несущая способность труб зависит от характера опирания их на основание. При укладке труб на естественное или искусственное основание оптимальной величиной угла охвата является 120º. Несущая способность труб повышается в 1,7 раза и более. После размещения трубопровода на проектных позициях производится его закрепление. Между утяжеляющими железобетонными грузами (либо анкерными устройствами) и трубопроводом укладываются футеровочные маты (либо защитные обертки). Сама конструкция матов определяется проектом [5]. Вместе с тем значение угла охвата для одинаковых условий влияет на несущую способность труб. Ниже представлена зависимость увеличения несущей способности от угла опирания.

Угол опирания, град	0	30	60	90	120	150	180
Увеличение несущей способности, раз	1	1,1	1,21	1,32	1,41	1,47	1,5

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что увеличение угла опирания трубы более 120º является нерациональным. Следовательно, устройство основания – один из ключевых факторов, обеспечивающих долговечность и надежность эксплуатации трубопроводов. С увеличением диаметра труб этому придают более важное значение, так как стоимость данных сооружений значительно возрастает. При прокладке труб больших диаметров (1,5–3,5 м) в песчаных грунтах (рис. 4, *а*) устраивается ложе без нарушений естественной структуры грунта, которое должно охватывать 1/4–1/3 поверхности трубы. В глинистых грунтах (рис. 4, *б*) трубы укладывают на песчаные подушки, толщина которых должна быть 0,1–0,3 м. В случаях, когда трубопроводы укладывают в твердых (скальных) грунтах (рис. 4, *в*), необходимо устройство песчаной подушки с тщательным уплотнением толщиной не менее 0,1 м над выступающими неровностями основания [4].

Для прокладки труб в недостаточно устойчивых сухих грунтах на дно траншеи отсыпают слой из песка, гравия или гравийно-песчаной смеси толщиной не менее 0,1 м по всей ширине траншеи (рис. 4, *г*). На данном слое устраивают бетонную подливу в виде лотка, высота которого не менее 0,1 наружного диаметра трубы, толщиной в средней части ее не менее 0,1 м [4].

В водонасыщенных грунтах, хорошо отдающих воду, трубы укладывают на основание из бетона, располагаемое на гравийно-песчаной или щебеночной подготовке толщиной 0,20–0,25 м с устройством в ней дренажной линии (рис. 4, *д*). В грунтах и плывунах, которые плохо отдают воду, бетонное основание укладывают на железобетонные плиты, которые, в свою очередь, кладут на щебеночную подготовку (рис. 4, *е*).

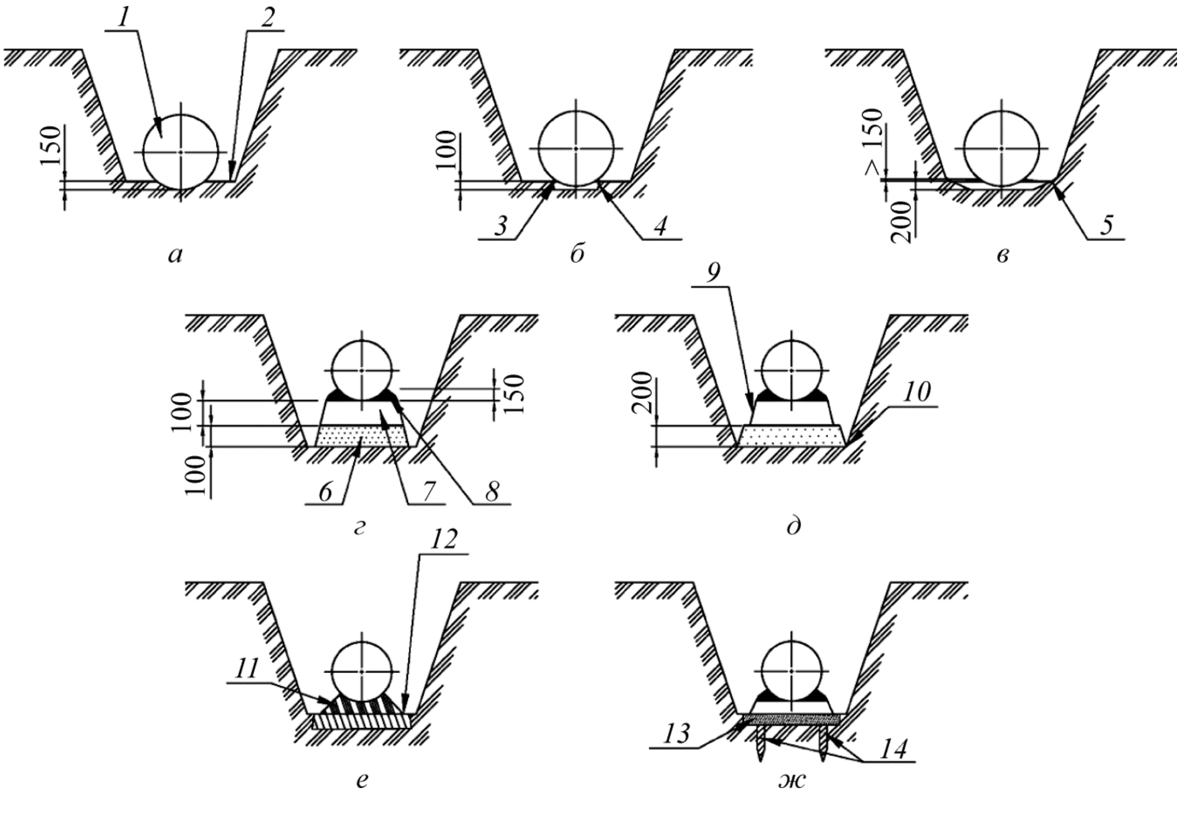

Рис. 4. Типы оснований под трубопроводы: *1* – труба; *2* – дно траншеи; *3* – ложе; *4* – песчаная подушка; *5* – скальное основание; *6* – толь; *7* – бетонная плита; *8* – монолитный бетон; *9* – щебеночное основание; *10* – дренаж; *11* – железобетонная плита; *12* – бетонное основание; *13* – плита ростверка; *14* – железобетонные сваи

Fig. 4. Types of bases for pipe lines: *1* – trumpet; *2* – the bottom of the trench; *3* – bed; *4* – sand pillow; *5* – the bedrock; *6* – roofing; *7* – a concrete slab; *8* – in-situ concrete; *9* – crushed stone base; *10* – drainage; *11* – reinforced concrete slab; *12* – a concrete base; *13* – slab raft foundation; *14* – reinforced concrete piles

В случаях, когда водонасыщенные грунты содержат органические включения или являются слабыми и могут вызвать неравномерные осадки, необходимо устраивать жесткие основания в виде ростверков на сваях (рис. 4, *ж*) [2].

Выполнив все работы по устройству и закреплению трубопровода в траншее, приступают к последнему этапу. Обратная засыпка траншей выполняется после укладки трубопроводов, проведения их испытания с оформлением акта и получения разрешения на проведение обратной засыпки. Засыпку траншеи необходимо производить с принятием мер против повреждения труб и их изоляции от сбрасываемого песка, а также против смещения трубопроводов с оси. Она включает в себя следующие этапы: засыпка и уплотнение песка в приямках под стыковые соединения; подбивка пазух между трубой и дном траншеи; засыпка, разравнивание и уплотнение песка в пазухе между трубой и стенками траншеи; засыпка, разравнивание и уплотнение защитного слоя и верхних слоев [6].

Крепления траншей и котлованов необходимо разбирать снизу вверх, по мере обратной засыпки грунта, и одновременно снимать не более двух-трех досок в нормальном грунте, не более одной доски – в плывунах. Перед удалением досок из нижней части крепления выше должны устраиваться временные косые распорки, причем старые распорки разрешается удалять только после установки новых. В тех местах, где разборка креплений может вызвать повреждения строящихся сооружений, а также в грунтах-плывунах возможно полностью или частично оставлять крепления в грунте [6].

В местах, где пересекаются траншеи и действующие подземные коммуникации (трубопроводы, кабели и др.), проектом должны быть предусмотрены устройства, которые обеспечат неизменяемость положения и сохранность коммуникаций на период производства работ и эксплуатации [5].

В заключении третьего этапа ведутся восстановительные работы по покрытию земельного участка и благоустройству территории.

Отличительной способностью ***бестраншейных технологий*** является почти полный отказ от применения ручного труда и переход к стационарному режиму работы, при котором человек лишь контролирует процесс извне. Частично не механизированными остались начальный и конечный этапы работ. При прокладке труб бестраншейными способами в первую очередь под дорогами устраивают защитные кожухи или футляры, а затем в них прокладывают сами рабочие трубопроводы. Для выполнения данной задачи следует соблюдать следующее условие: диаметр кожуха (футляра) должен быть больше, чем диаметр прокладываемого трубопровода [7].

Длина кожуха рассчитывается исходя из ширины дорожного полотна (или дорожной насыпи) и рекомендуемых нормативных расстояний. Кожухи предохраняются от коррозии песчано- или асбестоцементными, асфальто-цементно-битумными, полимерными или эпоксидными антикоррозийными покрытиями, наносимыми на их поверхность. Закрытая прокладка труб кожухов (футляров) выполняется в основном способами прокола, продавливания, горизонтального бурения, микротоннелирования [8].

Выбор бестраншейного метода прокладки труб в конечном итоге зависит от длины трубопровода и его диаметра, гидрогеологических условий разрабатываемых грунтов и физико-механических свойств.

Способ прокола рекомендуется применять для прокладки труб малых и средних диаметров (не более 400–500 мм) в глинистых и суглинистых (связных) грунтах. Не допускается применение способа в кремнистых и скальных грунтах. Ограничение диаметра прокалываемых труб обусловливается тем, что при этом способе массив грунта прокалывают трубой, оснащенной наконечником, без удаления грунта из скважины, в результате чего для прокола требуются значительные усилия. В связи с этим длина прокола труб не превышает 60–80 м. Конусный наконечник применяется для уменьшения сопротивления грунта, а также силы бокового трения. Его закрепляют на окончании трубы, диаметр основания наконечника на 20 мм больше, чем наружный диаметр прокладываемой трубы. При небольшом диаметре трубы наконечник не устанавливается, а грунт прокалывается трубой (с созданием уплотняющего ядра). В таком случае точность выполнения прокола будет выше, чем с применением конусного наконечника, поскольку коническая поверхность может встретить различные препятствия (булыжники, валуны и т.п.) и сдвинуться от оси прокола [8].

Усилия для прокола различны и колеблются в диапазоне 150–2450 кН. Просчитав необходимое нажимное усилие, определяют тип упорной стенки в вырытом котловане и число домкратов для силовой установки [2].

Необходимым оборудованием при проколе является нажимная насосно-домкратная установка. Она представляет собой размещенные на общей раме гидравлические домкраты ГД-170 (один или два спаренных) с усилием до 1700 кН на каждый. Штоки домкратов имеют большую амплитуду хода – до 1,15–1,3 м. Домкратную установку помещают на дно рабочего котлована – из него и будет вестись прокол. Недалеко от котлована находится гидравлический насос с давлением до 30 МПа [3].

Процесс прокола представляет собой циклическое вдавливание – домкраты поочередно переключают на прямой и обратный ход. Воздействие на трубу осуществляется через наголовник зажимными хомутами, шомполами или сменными нажимными патрубками. Используя патрубки длиной от 1 до 4 м, полностью вдавливая трубу на длину хода штока, его возвращают в начальное положение и в образовавшийся проем размещают патрубок двойной длины. Этот процесс повторяется, пока прокол первого звена трубопровода не будет завершен (обычно он составляет 6 м). После этого к нему присоединяют следующее звено, и операция повторяется. Схема производства работ с применением гидродомкратной установки и нажимных патрубков можно приведена на рис. 5, *а* [7].

Для уменьшения сопротивлений трения при прокладке труб-кожухов прокалыванием применяются различные наконечники, наружный диаметр которых на 20–50 мм больше диаметра прокладываемых труб [5].

Нажимные заглушки предназначены для передачи нажимных усилий на торцы прокладываемых труб-кожухов. Для прокладки трубы-кожуха способом прокола нажимную заглушку изготовляют из отрезка трубы и двух стальных дисков, которыми этот отрезок закрывают по концам [5].

Также популярен прокол с применением шомпола – трубы с боковыми отверстиями. Расстояние между этими отверстиями определяется длиной хода штоков домкрата. Шомпола делятся на два вида: внутренние (движутся внутри кожуха и имеют меньший диаметр, чем прокладываемая труба) и наружные (охватывают кожух с внешней стороны). В процессе проталкивания первого звена, с обратным ходом штоков, назад одновременно выдвигается и шомпол. Стержень переставляют в следующее отверстие и действия повторяются до полного вдавливания звена. Приварив следующее звено, его вдавливают при помощи этого же шомпола [8].

В случаях, когда требуется обеспечить высокую точность проходки способом прокола (с соблюдением заданного уклона трубопровода), осуществляют протаскивание труб (диаметром до 300 мм и длиной до 30 м) через направляющие пионерные скважины (пилот-скважины) с помощью каната и лебедки [8].

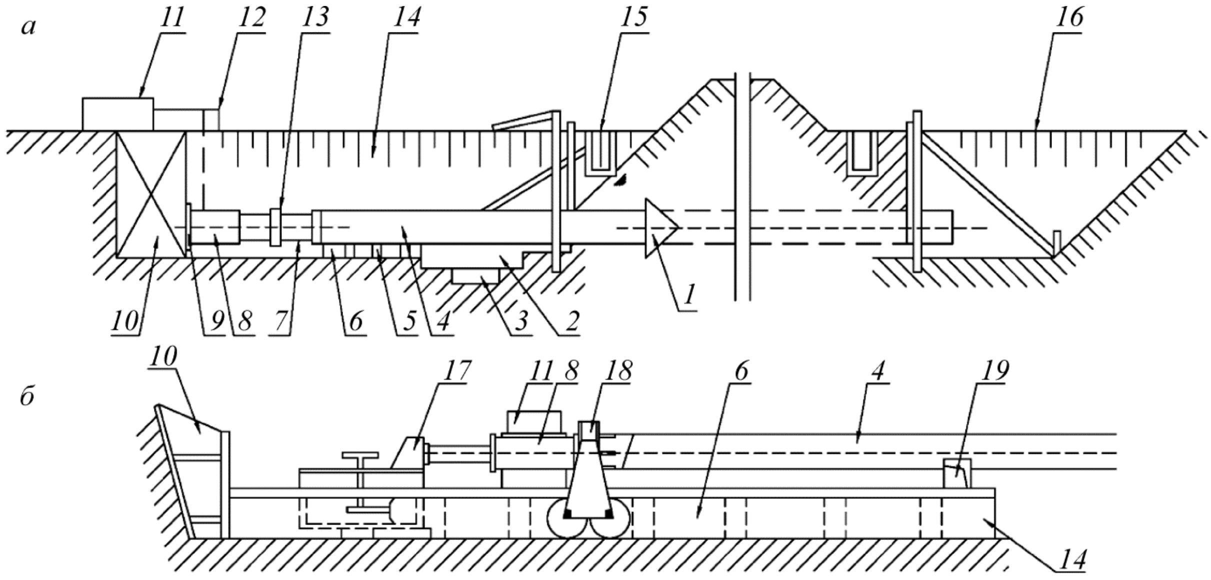

Рис. 5. Способы прокола труб: *а* – общая схема работ, *б* – прокол установкой ГПУ-600; *1* – наконечник; *2*, *3* – приямки; *4* – прокалываемая труба; *5* – шпалы; *6* – направляющая рама; *7* – нажимной патрубок; *8* – гидродомкраты; *9* – упорный башмак; *10* – упорная стенка; *11* – насосная станция; *12* – маслопроводы; *13* – нажимная заглушка; *14*, *16* – рабочий и приемный котлованы; *15* – обводной лоток; *17* – подвижный упор; *18* – нажимная плита на тележке; *19* – фиксатор

Fig. 5. Methods puncture tubes: *a* – the general scheme of work; *b* – puncture installation GPU-600; *1* – a tip; *2, 3* – pits; *4* – punctures the pipe; *5* – railway sleepers; *6* – guide frame; *7* – pressure pipe; *8* – hydraulic jacks; *9* – resistant shoe; *10* – resistant wall; *11* – pumping station; *12* – oil lines; *13* – push the plug; *14, 16* – working and receiving pits; *15* – bypass tray; *17* – the movable fence; *18* – pressure plate on the truck; *19* – lock

Для бестраншейной прокладки стальных труб диаметром 100–630 мм на длину до 80 м в грунтах I–IV групп (без крупных включений) способом прокола применяют установки ГПУ-600 (рис. 5, *б*). Принцип ее работы – устройство «шагающих домкратов». За счет этого значительно снижается время работы. Сначала путем включения маслостанции гидродомкратами продвигают подвижную нажимную плиту с прокалываемой трубой на длину хода штока домкратов (1,2 м), далее по окончании рабочего цикла подвижной упор освобождают и обратным ходом домкратов подтягивают его вслед за прокладываемой трубой. Данные операции циклично производят до полного внедрения в грунт первого звена укладываемой трубы, после чего подвижной упор, салазки с домкратами и нажимную плиту возвращают в начальное положение. После этого монтируют последующие звенья труб, повторяя цикл работ до завершения полного прокола трубопровода [7].

Гидропроколом называют метод, при котором для прокладки трубы используется кинетическая энергия струи воды, выходящей под давлением из расположенной впереди трубы со специальной конической насадкой. Струя воды, выходящая из насадки под давлением, размывает в грунте отверстие диаметром до 500 мм, в котором впоследствии прокладывают трубы. Удельный расход воды зависит от напора воды, скорости струи и категории проходимых грунтов. Метод гидропрокола имеет следующие преимущества: довольно высокая скорость образования скважины (до 30 м/смену) и простота ведения работ. Главными его недостатками являются малая протяженность проходки (до 20–30 м), возможные отклонения от проектной оси и необходимость мест для сброса пульпы, а также сложные условия работы вследствие загрязненности рабочего котлована [3].

При проколе с прокладыванием трубы диаметром до 100 мм вода подается непосредственно в трубу, а оттуда под давлением 0,15–1,5 МПа выходит из конического сопла. Если диаметр трубы 100–400 мм, то вода через наконечник подается по специальной насадке, укрепленной в диафрагме трубы в концевой части наконечника [8].

При гидропроколе воду подают центробежными насосами или мотопомпами, а воду, возвращающуюся в котлован, откачивают грязевыми насосами.

Подавать трубу в скважину следует согласованно со скоростью размыва скважины для предотвращения забивания грунтом сопла наконечника, а также образования каверн в скважине. Во время гидропрокола требуется проверять уклон трубы, чтобы исключить ее отклонение от заданного направления. Для этого направляющая рама установки для гидропрокола должна иметь жесткую конструкцию, чтобы ее деформация не искажала заданное направление движения трубы. Следует отметить, что благодаря малому усилию подачи при гидропроколе не требуется специальная упорная стенка, воспринимающая усилие подачи [8].

По совокупности всех достоинств и недостатков данный способ рекомендуют применять для образования скважины вне городских условий при пересечении трасс подземных коммуникаций.

Продавливание. Бестраншейная прокладка труб методом продавливания отличается тем, что прокладываемую трубу открытым концом, снабженным ножом (при прокладке труб-кожухов продавливанием в качестве лобовой обделки применяют ножи серпообразного сечения и кольцевые ножи), вдавливают в массив грунта, а грунт, который поступает в трубу в виде плотного керна (пробки), разрабатывают и удаляют из забоя. При продвижении трубы преодолевают усилия трения грунта по наружному ее контуру и врезания ножевой части в грунт. Способ не применяется в плывунных грунтах, в твердых грунтах применяется только для максимального диаметра [1].

Способом продавливания производят прокладку не только стальных труб, но и железобетонных коллекторов и тоннелей из элементов разнообразной замкнутой по периметру формы.

Поскольку при продавливании труб больших диаметров, особенно в твердых грунтах, применяются особо мощные нажимные установки из нескольких домкратов, способные создать усилия более 10 000 кН, для них требуются прочные упорные стенки. Разработка грунта – механическая, с применением различных установок. Схема производства работ методом прокалывания приведена на рис. 6 [1].

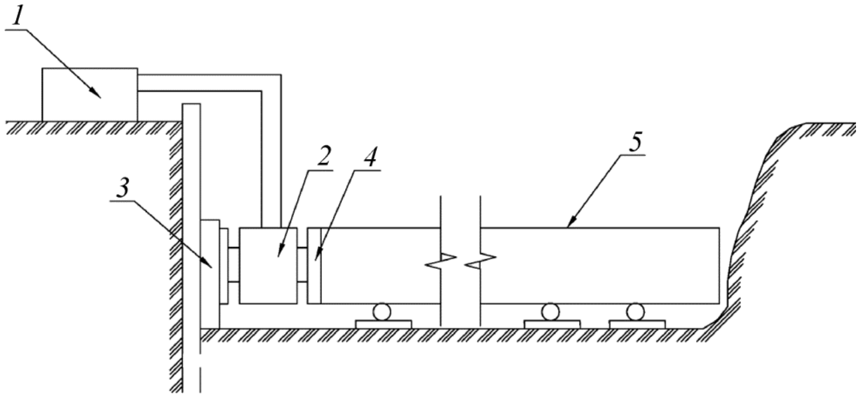

Рис. 6. Схема выполнения продавливания: *1* – масляный насос; *2* – гидравлический домкрат; *3* – опорная конструкция; *4* – опорная плита; *5* – продавливаемая труба
Fig. 6. Driving performance of punching: *1* – the oil pump; *2* – hydraulic jack; *3* – the support structure; *4* – the base plate; *5* – burst pipe

Методом продавливания прокладывают трубы диаметром от 600 до 1700 мм. Длина проходки каждого рабочего котлована – от 30 до 100 м. Более длинные трассы необходимо делить на несколько участков. Из каждого котлована проходку ведут вначале в направлении одного участка, затем – в противоположном. Рабочий и приемный котлованы подготавливают так же, как и при способе укладки труб проколом [7].

В технологии проведения работ можно выделить основные этапы:

- разработка котлована;
- заливка упорной стенки;
- монтаж силового оборудования;
- вдавливание трубы;
- заключительный этап.

Первый этап включает в себя разработку укрепленного котлована, длина которого не должна быть менее 4 м, а ширина – превышать 3 м. Глубина принимается на 0,5 м ниже лотка рабочей трубы [6].

При бестраншейной укладке труб-кожухов применяются горизонтальные и вертикальные рамы. Горизонтальные направляющие рамы изготовляют из укороченных шпал и рельсов или же равноблочных уголков. Эти рамы размещают на дне рабочего котлована, при этом их длина должна быть на 1–1,5 м меньше длины звеньев прокладываемого кожуха; при наращивании кожуха звеньями длиной 6 м направляющие рамы должны иметь длину 4,5–5 м. Вертикальные рамы изготовляют из деревянных брусьев одновременно с устройством крепления передней стенки рабочего котлована. Для передачи нажимных усилий от гидродомкратной установки на упорную стенку применяют опорные башмаки или опорные пакеты [4].

Второй этап заключается в заливке упорной железобетонной стенки, которая служит упором для гидравлических домкратов. Их монтируют в заднем конце рабочего котлована. Стенки необходимы для передачи на грунт реактивных усилий от продавливания или прокалывания.

Конструкция упорных стенок зависит от условий работы стенок и прочностных характеристик грунтов. Упорные стенки I и II типа рекомендуется использовать в слабых грунтах, стенки III–V типа – в грунтах средней прочности и стенки VI–VII типа – в прочных грунтах. В котловане укладывается звено трубы с наконечником и после выверки домкратом вдавливается на длину хода штока в грунт. После возврата штока в исходное положение на его место вводится нажимной патрубок (шомпол), и процесс повторяется. Шомпол изготавливают из трубы диаметром меньше или больше диаметра прокладываемого трубопровода. После вдавливания первого звена трубы на полную длину шомпол убирается, в котлован помещается следующее звено и приваривается встык к уже задавленному в грунт. Далее задавливается наваренное звено, и цикл повторяется до прокола на всю длину участка. За каждый цикл труба продвигается на 150 мм. Разработаны установки с подвижным упором, подтягивающие его при обратном ходе штоков домкратов – шагающие домкраты. В таком случае шомпол не требуется. Домкраты с нажимной плитой и подвижным упором перемещаются вслед за прокалываемой трубой до полного ее внедрения в грунт, а после возвращаются в исходное положение. К свободному концу трубы приваривают следующее звено, и цикл повторяется [4].

На третьем этапе производится монтаж силового оборудования в котловане. Для продавливания труб применяются нажимные насосно-домкратные установки из двух, четырех, восьми и более гидродомкратов усилием по 500–3000 кН каждый, с ходом штока

1,1–2,1 м, работающие от насосов высокого давления. Число домкратов в установке зависит от необходимого нажимного усилия [3].

Четвертый этап – циклическое вдавливание трубы. Передача нажимных усилий от гидравлических домкратов к торцу прокалываемой трубы-кожуха осуществляется зажимными хомутами, а также нажимными штангами (шомполами), нажимными патрубками и заглушками. Вдавливание происходит посредством переключения домкратов на прямой и обратный ход. Стальной футляр подается в котлован отрезками длиной от 1 м (в зависимости от длины котлована) и сваривается с уже проложенной трубой. Скорость проходки 4–5 м в день [8].

Пятый этап, заключительный. Производится ручная разработка грунта внутри футляра, его погрузка и вывоз из забоя на поверхность земли в отвал или самосвал. Разработка грунта осуществляется поэтапно, по мере продавливания футляра в грунт. По завершении данных работ оборудование извлекают из котлована, а его поэтапно разбирают и производят обратную засыпку.

Метод продавливания грунта хорошо подходит для выполнения проколов под автомобильными и железнодорожными путями, а также другими сооружениями.

Горизонтально направленное бурение (ГНБ) – это метод бестраншейной прокладки трубопроводов, который основан на применении специальных буровых комплексов. Метод был изобретен в 1963 г. Мартином Черрингтоном.

Длина прокладки труб с помощью ГНБ может равняться как нескольким метрам, так и нескольким километрам, а диаметр трубопроводов – более 1200 мм. Используются трубы из стали, полиэтилена (ПНД) и других видов материалов. Работы при бестраншейной прокладке проводятся при минимальном воздействии на окружающую среду [10].

Перед тем как приступить к работе, специалисты изучают состав грунта и его свойства, а также расположение существующих подземных коммуникаций. Производится выборочное зондирование грунтов и выборочное шурфление особо сложных пересечений предполагаемой трассы бурения с уже заложенными коммуникациями.

ГНБ предусматривает следующие основные технологические операции:

- бурение пилотной скважины;
- расширение скважины;
- протаскивание трубопровода;
- заключительный этап.

Первый этап работ является особенно ответственным, от него во многом зависит итоговый результат. Бурение пилотной скважины осуществляется гидромеханическим способом, при котором грунт разрушается под воздействием породоразрушающего инструмента – буровой головки со скосом в передней части, соединенной с помощью полого корпуса с гибкой приводной штангой, а также встроенным излучателем. Такой инструмент позволяет управлять траекторией прохода пилотной скважины и огибать выявленные на этапе подготовки к ГНБ подземные препятствия в любом направлении в пределах естественного изгиба прокладываемой рабочей нити. Буровая головка имеет отверстия для подачи специального бурового раствора, который закачивается в скважину и образует суспензию с измельченной породой. Данный раствор снижает трение на буровой головке и штанге, охлаждает породоразрушающий инструмент, предохраняет от обвалов, разрушает породу и очищает скважину от ее обломков, вынося их на поверхность [9].

Для контроля за движением буровой головки в ее корпус встроен излучатель, посылающий сигналы на локатор, который впоследствии их обрабатывает. На мониторе локатора отображается визуальная информация о местоположении, азимуте и уклоне буровой головки. Кроме того, эта информация отображается на дисплее оператора буровой установки. Полученные данные являются определяющими для контроля соответствия траектории строящегося трубопровода и минимизируют риски излома рабочей нити. При отклонении буровой головки от проектной траектории оператор останавливает вращение буровых штанг и устанавливает скос буровой головки в необходимое положение. Далее осуществляется задавливание буровых штанг без вращения с целью коррекции траектории бурения.

Строительство пилотной скважины оканчивается выходом буровой головки в заданной проектом точке [9].

Вторым этапом является расширение скважины (рис. 7, *а*), которое осуществляется после завершения пилотного бурения. Расширение производится буровой установкой путем приложения через колонну буровых штанг тягового и вращающего усилия к расширителю. Расширители протаскиваются через ствол скважины, увеличивая диаметр и уплотняя стенки скважины. Расширение скважины производится этапами, путем последовательного протаскивания расширителей различного диаметра, до получения требуемых параметров скважины [10].

На третьем этапе трубопровод протаскивается при помощи тягового усилия, развиваемого буровой установкой. К колонне буровых штанг, находящейся в скважине, последовательно присоединяются: расширитель, вертлюг, головное тяговое устройство, к которому прикреплена плеть трубопровода. Под действием тянущего усилия и одновременным вращением расширителя трубопровод протаскивается через ствол скважины в направлении буровой установки. Принцип работы проиллюстрирован на рис. 7, *б* [11].

а

б

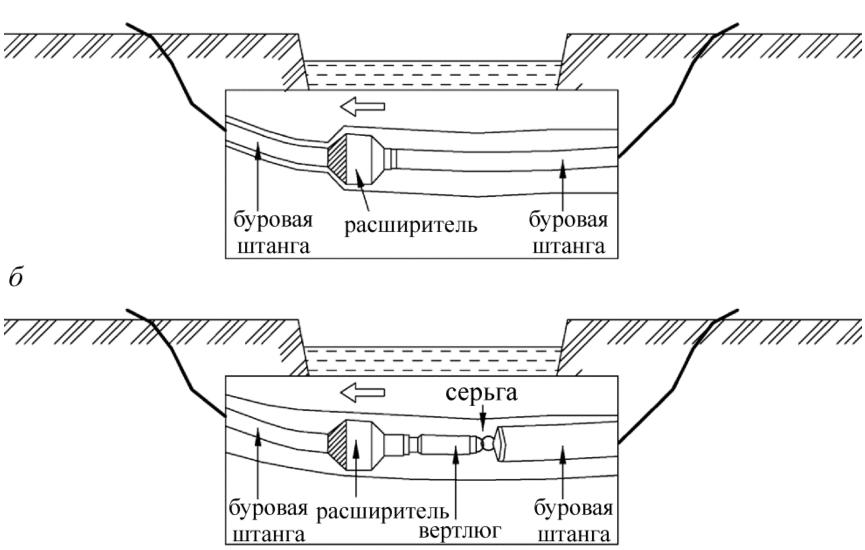

Рис. 7. Схема бестраншейной прокладки трубопровода: *а* – предварительное расширение; *б* – протягивание трубопровода

Fig. 7. Scheme the pipeline: *a* – a preliminary expansion; *b* – pulling the pipeline

Четвертый этап. По окончании основных технологических этапов инженерно-технический персонал сдает заказчику исполнительную документацию, на которой указывается фактическое положение проложенного трубопровода в различных плоскостях, с обязательным указанием «привязок» к ориентирам на местности [10].

При производстве работ в песчаных грунтах часто сталкиваются с проблемой водопоглощения и фильтрации, что обусловлено свойствами самого грунта, так как песок по своей природе пористи высокопроницаем. Что касается сланцевых глин и суглинков, часто встречающихся в местах проведения буровых работ, то под воздействием воды такие виды пород становятся липкими и набухают. Результатом подобных процессов может стать потеря циркуляции жидкости, застревание и заклинивание бурового инструмента, что приводит к невозможности дальнейшего выполнения работ при так называемом «прихвате инструмента» [9].

Для предотвращения данных проблем используют бентонитовые буровые растворы и различные компоненты для ликвидации осложнений, ингибиторы или стабилизаторы глин, смазочные добавки для смазки инструмента и стенок скважины для облегчения проходки, полимеры, загущающие буровой раствор для поддержания его необходимой вязкости. Особой популярностью пользуются «одномешковые» многокомпонентные смеси на основе бентонита для облегчения приготовления промывочной жидкости с низким содержанием твердой фазы на объекте выполнения работ. На крупных объектах раствор готовится индивидуально, согласно геолого-технологическому наряду (ГТН), диаметру протягиваемой трубы, составу грунтов, мощности насоса и тяговому усилию установки [11].

Метод микротоннелирования (МТ). Микротоннелирование – автоматизированная проходка тоннеля диаметром от 200 до 3600 мм с продавливанием трубной конструкции обделки, которая выполняется без присутствия людей в выработке. Это бестраншейный способ прокладки трубопроводов и коммуникаций с помощью специальных домкратных станций, при котором труба «продавливается» сквозь грунт от одной станции до другой на расстояние до 50–5000 м. Схема работ представлена на рис. 8 [12].

Точность проходки достигается при помощи компьютерного комплекса управления с применением системы лазерного ведения щита. Изменяя типоразмер проходческого щита, можно осуществлять прокладку подземных микротоннелей различного диаметра [13].

Технология микротоннелирования позволяет прокладывать трубопроводы в любых группах грунтов – от неустойчивых суглинков и водоносных песков до скальных пород. В зависимости от класса грунтов подбирается соответствующий режущий орган, с помощью этого добиваются оптимальных скоростей и параметров проходки [13].

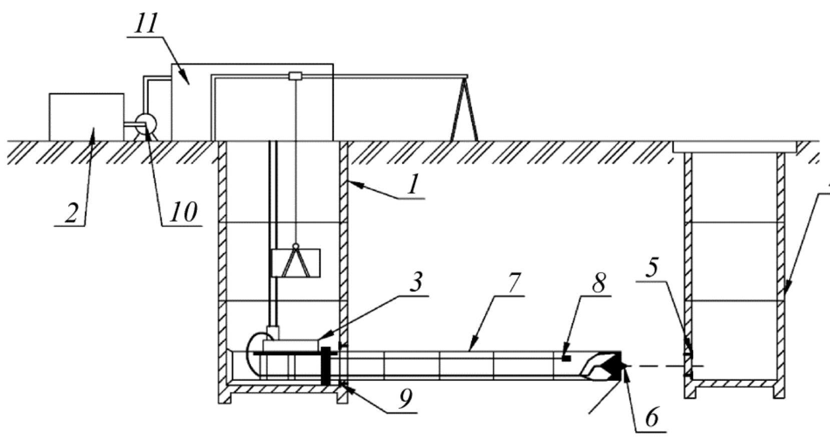

Рис. 8. Процесс микротоннелирования: *1* – стартовая шахта; *2* – отстойник; *3* – транспортирующий насос; *4* – приемная шахта; *5* – уплотнение в приемной шахте; *6* – AVN рабочий орган; *7* – трубы; *8* – лазер; *9* – стартовое уплотнение; *10* – питающий насос; *11* – контейнер управления
Fig. 8. Microtunnelling process: *1* – start the mine; *2* – settler; *3* – conveying pump; *4* – reception mine; *5* – shaft seal in the reception; *6* – AVN working body; *7* – tube; *8* – laser; *9* – start-seal; *10* – feed pump; *11* – container management

Процесс микротоннелирования предусматривает следующие технологические операции:

- подготовка шахт;
- установка оборудования;
- прокладка трубопровода;
- заключительный этап.

Первый этап. Подготовка приемной и стартовой шахт. Первоначально на месте работ готовят рабочий и приемный котлованы. При помощи опалубки и бетона формируются стены шахт. Далее в стартовой шахте устраивается упорная стенка для крепления пресс-рамы. Размеры шахт зависят от диаметра микропроходческого щита, глубина определяется глубиной прокладки [12].

На втором этапе в подготовленную шахту опускается пресс-рама, которая крепится с помощью анкерных болтов к упорной стенке. Домкратная станция устанавливается и фиксируется путем заливки быстросхватывающегося раствора между задней стенкой шахты и опорной плитой домкратной станции. После этого в шахту спускается тоннельная буровая машина (микропроходческий щит с оборудованием) и монтируется вместе с энергетическими линиями. Установка для приготовления и нагнетания бурового раствора в забой располагается на поверхности недалеко от стартовой шахты [13].

Третьим этапом является прокладка трубопровода. Из стартовой шахты рабочий орган микротоннельного комплекса осуществляет проходку при избыточном давлении воды в забое. Подача воды к режущему рабочему органу и отсос образовавшейся пульпы выполняются насосами, которые устанавливаются на поверхности грунта рядом со стартовой шахтой. Также в стартовую шахту подаются отдельные звенья труб обделки, которые вдавливаются в грунт домкратами, что позволяет осуществлять горизонтальную проходку коллектора [14].

Для проходки микротоннелей применяются щиты различной компоновки и оснастки. Силовое оборудование агрегата может размещаться как на поверхности земли, так и внутри щита. В зависимости от категории грунта меняются вид и твердость режущих кромок рабочего органа. Для перемещения породы из тоннеля на поверхность используются щиты со шнековым устройством, обеспечивающим транспортировку отработанной породы на поверхность (при необводненном грунте) и щиты с гидропригрузом (при обводненном грунте) [15].

Точность проходки микропроходческого щита контролируется при помощи лазерной системы. Все технологические и контрольные функции в технологии МТ компьютеризованы. Отработанная пульпа насосами подается в отстойник, вода из которого повторно используется в проходке, а твердый осадок по мере накопления вывозится на утилизацию. Вся проходка коллектора при микротоннелировании осуществляется в автоматическом режиме под контролем операторов, находящихся в блоке управления [15].

На конечном, четвертом, этапе после выхода микропроходческого щита в приемную шахту производится демонтаж установки. Из стартовой шахты извлекается домкрат, из приемной – удаляется микропроходческий щит. Производится разбор укреплений котлована и обратная засыпка с последующим благоустройством.

Несколько лет назад для компенсации недостатков ГНБ и микротоннелирования была разработана комбинированная технология строительства трубопроводов, сочетающая в себе элементы горизонтально направленного бурения и микротоннелирования.

Комбинированная технология и сопутствующее оборудование были представлены на выставке бестраншейных технологий, проходившей в 2006 г. в Германии. В 2007 г. в этой же стране был возведен первый переход через р. Рейн, длина которого составила 464 м. На сегодняшний день максимальной протяженности перехода (1400 м) достигли при строительстве перехода Ommen-Esveld в Нидерландах 2011 г. [10].

Комбинированный метод ГНБ и микротоннелирования представляет собой щитовую проходку пород с одновременной укладкой трубопровода. Осевое перемещение плети осуществляется за счет гидравлического доталкивателя труб, который располагается в непосредственной близости от точки входа микрощита на поверхности или в приямке. Данная технология может быть использована для прокладки трубопроводов под естественными или искусственными препятствиями, такими как:

- автомобильные и железные дороги;
- реки, каналы;
- овраги и ущелья;
- пересечения с инженерными коммуникациями;

Эффективным комбинированный метод можно считать при строительстве переходов через автомобильные и железные дороги, когда процесс инженерно-геологических изысканий весьма затруднен. При помощи данного метода строительства переходов решается задача по удержанию стенок скважины от обрушения в сложных геологических условиях (гравийные и галечниковые грунты с включением валунов), когда в ходе строительства нельзя применить метод горизонтально направленного бурения. Строительство перехода ведется в один этап (процессы продавливания и бурения трубопровода производятся одновременно). Доталкиватель представляет собой машину для проталкивания труб с гидравлическим приводом силовых органов (рис. 9) [10].

Рис. 9. Доталкиватель (unirus.ru/catalog/hdd-technics/pipe_thruster_herrenknecht)
Fig. 9. Pipe thruster

Доталкиватель – это мобильный комплекс, состоящий из рамы, на которой установлено силовое оборудование (гидравлические домкраты), и хомута. Удерживая трубу при помощи захватов, хомут перемещается и продавливает ее на длину рабочего хода гидроцилиндров. Далее механизм, который фиксирует трубу в хомуте, раскрепляется, и хомут возвращается в начальное положение. Затем процесс повторяется.

Сравнение методов укладки труб
Comparison of laying pipes methods

Способ	Трубопровод		Область применения (тип грунта)	Скорость проходки, м/ч	Достоинства	Недостатки
	диаметр, мм	длина, м				
Траншейный	не ограничен	не ограничена	1–3 группы	зависит от количества рабочих	Малая стоимость работ. Исключено отклонение трубы	Значительный ущерб ландшафту. Невозможность обойти препятствия
Прокол механический	50–600	80	песчаные и глинистые без твердых включений	3–6	Не требует удаления грунта	В скальных и кремнистых грунтах не применяется. Возможно отклонение от намеченного пути
Гидропрокол	100–200 400–500	30–40 20	песчаные и супесчаные	1,4–1,6	Высокая скорость работ. Не требуется упорная стенка	Необходим источник воды и место сброса пульпы
Продавливание	400–2000	30–100	1–4 группы	0,2–1,5	Высокая скорость работ	В плывунных грунтах способ не применим. В твердых породах может быть применим лишь для продавливания труб максимального диаметра
Горизонтально направленное бурение (ГНБ)	325–1720	40–70	в песчаных и глинистых грунтах	1,5–19	Применим в специфических грунтах (скальные, плавуны). Высокая точность вывода бура. Малые сроки работ.	При наличии грунтовых вод и большого увлажнения грунта не применим. Требует утилизации большого объема отработанного бентонита
Микротоннелирование	200–3600	50–5000	все виды	1,0–2	Высокая точность проходки. Применим в смешанном забое даже на малых диаметрах	Применяется при наличии большого затрубного пространства. Дорогостоящее оборудование
Комбинированный метод	200–3600	40–100	все виды	–	Исключены просадки грунта. Оптимальный профиль трассы	Дорогостоящее оборудование

Положение труб по всей длине тоннеля контролируется при помощи современной навигационной системы, состоящей из курвиметра и гирокомпаса-гидроуровня, показания которых анализируются компьютером, вычисляющим отклонения от проектной оси в режиме реального времени, что позволяет добиваться высокой точности измерений. Управление рабочим органом и установкой в целом осуществляется аналогично способу продавливания труб. Вся проходка контролируется операторами, которые находятся в блоке управления [10].

Из стартового котлована рабочий орган щита осуществляет проходку при избыточном давлении бурового раствора в забое. Подача этого раствора к режущему рабочему органу и отсос образовавшегося шлама выполняется насосами, расположенными на площадке технологического оборудования с противоположной стороны кожуха (относительно щита). В стартовый котлован подается стальная труба, которая вдавливается в грунт гидроцилиндрами доталкивателя. Это позволяет осуществлять горизонтальную проходку кожуха. На входе устанавливается и закрепляется стартовое уплотнение, конструкция которого зависит от величины гидростатического давления грунтовых вод. Для снижения сил трения при вдавливании и прохождении стальной трубы по разработанному штреку в затрубье через специальные форсунки, размещенные в теле трубы, подается бентонитная паста нужной консистенции. Для перемещения породы из забоя кожуха на поверхность применяются шламовые трубопроводы [15].

Все управляющие и транспортные линии располагаются внутри рабочей трубы на специальных колесных рамах, которые обеспечивают быструю сборку и демонтаж. Проходку ведут до момента достижения щитом приемной шахты. После чего щит, доталкиватель и энергетические коммуникации демонтируются [15].

По результатам анализа технологий укладки трубопроводов была составлена сводная таблица, где представлены основные характеристики технологий (длина прокладываемого трубопровода, скорость проведения работ), область применения, а также приведены преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов.

По результатам анализа технологий прокладки трубопроводов можно сделать вывод, что для выбора способа производства работ необходимо провести комплексную оценку технологических параметров, стоимости, области применения и сроков проведения работ. Для каждой конкретной ситуации целесообразно рассмотреть вариантное проектирование технологии прокладки трубопровода на основе технико-экономического сравнения методов. В дальнейшем исследовании планируется рассмотреть многофакторный анализ для разработки рекомендаций по выбору применяемой технологии.

Библиографический список

1. Дубенских М.С., Каргин А.А., Гилязидинова Н.В. Технологии бестраншейной прокладки коммуникаций // Россия молодая: II Всерос., 55 науч.-практ. конф. – Кемерово, 2010. – 397–399 с.

2. Белецкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства: учебник. – 3-е изд. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 752 с.

3. Данилкин М.С., Шубин А.А. Технология строительного производства: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 505 с.

4. Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М., 2005.

5. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации / А.К. Перешивкин, А.А. Александров, Е.Д. Булынин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 653 с.

6. Технические рекомендации по технологии уплотнения грунта при обратной засыпке котлованов, траншей, пазух / Правительство Москвы. – М., 1998.

7. Строительство и реконструкция трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения с использованием бестраншейных технологий / Т.В. Поливанова [и др.]. // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых. – 2014. – С. 198-201.

8. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий. – М.: ПрессБюро № 1, 2005. – 304 с.

9. Hennig P. Trenchless installation methods of Sea Outfalls // International Symposium on Outfall Systems. – Argentina, 2011. – URL: www.osmgp.gov.ar/symposium2011/Papers/50-henning.pdf (дата обращения: 14.01.2016).

10. Никишин А.В., Ченцов А.Н. Бестраншейная прокладка трубопроводов: новые технологии // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – С. 14–18.

11. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. – Прима-Пресс-М, 2002. – 301 с.

12. Руководство по применению микротоннелепроходческих комплексов и технологий микротоннелирования при строительстве подземных сооружений и прокладке коммуникаций закрытым способом. – М., 2004.

13. По материалам редакции. Бестраншейная технология – микротоннелирование // СтройПРОФИль. – 2006. – № 6-06.

14. Доуни Д. О новых достижениях в области бестраншейных технологий [Электронный документ]. – Лондон, Великобритания, 2011. – URL: http://rudocs.exdat.com/docs/index-340303.html (дата обращения: 14.01.2016).

15. Downey D. Innovation in Water and Wastewater Pipe Construction and Renovation. San Fran – moves at golden rate. Trenchless international. – 2014. – URL: http://trenchlessinternational.com/pdfs/TRI_JULY14_web.pdf (дата обращения: 14.01.2016).

References

1. Dubenskikh M.S., Kargin A.A., Giliazidinova N.V. Tekhnologii bestransheinoi prokladki kommunikatsii [Trenchless technology Communications]. *II Vserossiiskaia, 55 nauchno-prakticheskaia konferentsiia "Rossiia molodaia"*. Kemerovo, 2010, pp. 397-399.

2. Beletskii B.F. Tekhnologiia i mekhanizatsiia stroitel'nogo proizvodstva [Technology and mechanization of construction production]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2004. 752 p.

3. Danilkin M.S., Shubin A.A. Tekhnologiia stroitel'nogo proizvodstva [Technology of building production]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2009. 505 p.

4. Rukovodstvo po stroitel'stvu lineinykh sooruzhenii mestnykh setei sviazi [Manual on construction of linear structures of local communication networks]. Moscow, 2005.

5. Pereshivkin A.K. [et al.] Montazh sistem vneshnego vodosnabzheniia i kanalizatsii [Mounting systems external water supply and Sewerage]. Moscow: Stroiizdat, 1988. 653 p.

6. Tekhnicheskie rekomendatsii po tekhnologii uplotneniia grunta pri obratnoi zasypke kotlovanov, transhei, pazukh [Technical recommendations for soil compaction in return for sapke ditches, trenches, cavities]. Moscow, 1998.

7. Polivanova T.V. [et al.] Stroitel'stvo i rekonstruktsiia truboprovodov sistem vodosnabzheniia i vodootvedeniia s ispol'zovaniem bestransheinykh tekhnologii [Construction and reconstruction of pipelines of water supply and sanitation with the use of trenchless technologies]. *Pokolenie budushchego: Vzgliad molodykh uchenykh*, 2014, pp. 198-201.

8. Rybakov A.P. Osnovy bestransheinykh tekhnologii [Fundamentals of trenchless technologies]. Moscow: PressBiuro, 2005, no. 1, 304 p.

9. Peter Hennig. Trenchless installation methods of Sea Outfalls. *International Symposium on Outfall Systems*. Argentina, 2011, available at: www.osmgp.gov.ar/symposium2011/Papers/50-henning.pdf (accessed 14 January 2016).

10. Nikishin A.V., Chentsov A.N. Bestransheinaia prokladka truboprovodov: novye tekhnologii [Trenchless Technology: New technologies]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov*, 2012, pp. 14-18.

11. Khramenkov S.V., Primin O.G., Orlov V.A. Bestransheinye metody vosstanovleniia truboprovodov. Prima-Press-M, 2002. 301 p.

12. Rukovodstvo po primeneniiu mikrotonneleprokhodcheskikh kompleksov i tekhnologii mikrotonnelirovaniia pri stroitel'stve podzemnykh sooruzhenii i prokladke kommunikatsii zakrytym sposobom [Guidance on the application of microtelephonic complexes and technology of microtunnelling at the construction of underground structures and the construction of communications by the closed method]. Moscow, 2004.

13. Po materialam redaktsii. Bestransheinaia tekhnologiia – mikrotonnelirovanie [Trenchless technology – microtunnelling]. *StroiPROFIl'*, 2006, no. 6-06.

14. Downey D. O novykh dostizheniiakh v oblasti bestransheinykh tekhnologii [On the new developments in the field of trenchless technologies]. London, United Kingdom, 2011, available at: http://rudocs.exdat.com/docs/index-340303.html.

15. Downey D. Innovation in Water and Wastewater Pipe Construction and Renovation. San Fran – moves at golden rate. Trenchless international. 2014, available at: http://trenchlessinternational.com/pdfs/TRI_JULY14_web.pdf.