

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 622.243.24:621.644:621.131.34

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, С. Г. ДРОБОВ, М. А. ШАМОВА, ООО «ФэтСит», г. Гомель

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Рассмотрены тенденции развития, примеры устройства подземных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения, а также применение локационного оборудования. Предлагается шире использовать метод горизонтально направленного бурения в железнодорожном строительстве.

В последние годы в строительной отрасли стали широко применять закрытые способы прокладки коммуникаций. Это обусловлено рядом причин. В условиях городской застройки и при реконструкции действующих предприятий, где в значительных объемах размещены подземные сооружения (водопровод, канализация, водостоки, тепловые и кабельные сети) прокладка новых и замена старых подземных сетей открытым способом затруднена. Открытый способ прокладки коммуникаций под железнодорожными и трамвайными путями, водными преградами, городскими улицами с интенсивным движением транспорта практически невозможен. Кроме того, закрытый способ позволяет уменьшить объем земляных работ на 60–80 %, осуществлять строительство в зимних условиях без больших удорожаний, а также минимизировать расходы и ущерб окружающей среде. При закрытом способе возможна разработка грунта и прокладка коммуникаций с помощью щитовой проходки, продавливания, прокола и горизонтально направленного бурения (ГНБ) [1].

В Республике Беларусь сейчас насчитывается около 650 переходов через водные объекты, а именно магистральных трубопроводов. Поскольку наше государство имеет трансграничное расположение, то количество переходов будет увеличиваться. Это будет связано и с газопроводами, и с трубопроводами, и другими коммуникациями. И все это будет проходить через водные объекты. Если река небольшая, то при прокладке трубопровода может происходить подпор реки, изменение ее водообмена, что приводит к негативному влиянию на флору и фауну водной артерии и прибрежной территории. Все действующие трубопроводы были проложены 20–50 лет назад и, естественно, устарели. Они могут вызывать опасность прорыва, особенно нефтепродуктов. Кроме того, трубопроводы проходят и через болота, овраги, лесные массивы, дороги, по территории действующих предприятий. Таким образом, трубопроводы, проложенные с помощью горизонтально направленного бурения (ГНБ), являются прогрессивными конструкциями, особенно с позиции охраны окружающей среды.

Из зарубежного опыта [2] можно отметить ряд знаковых объектов. В штате Алабама при строительстве газопровода диаметром 254 мм наибольшие трудности возникли при пересечении реки Алабама, ширина которой на участке составляет 210 м, а

глубина – 12 м, высота же обоих берегов достигала от 6 до 9 м. Из-за бурного течения реки, вызывающего сильный размыв нарушенного донного грунта, производство земляных работ по устройству подводной траншеи считалось нежелательным и было принято решение о прокладке трубопровода методом горизонтального бурения. Весь технологический процесс строительства перехода длился две недели при ведении работ только в дневное время. Для сравнения нужно отметить, что для сооружения подводного перехода по традиционной траншейной схеме прокладки потребовалось бы около 10 недель при круглосуточном графике работ. Также стоимость земляных работ по заглублению трубопровода в траншею дна реки в три раза превысила бы расходы на выполнение буровых работ. И принципиально нужно отметить, что в данном случае в процессе строительства перехода с помощью технологии наклонного направленного бурения дно и берег реки не подвергались никаким неблагоприятным внешним воздействиям.

Сравнительные технико-экономические расчеты различных способов прокладки показали, что при строительстве методом направленного бурения вместо традиционных схем достигается экономия ресурсов примерно на 40 %. Результаты технико-экономического анализа, который проводился Всероссийским научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов, подтверждают преимущества метода горизонтально направленного бурения. При этом объем земляных работ составляет всего 1,5 %. В целом применение метода горизонтально направленного бурения для сооружения трубопроводов позволяет существенно сократить как сроки строительства, так и объемы земляных работ. Кроме того, это создает предпосылки для круглогодичного строительства и не оказывает отрицательного воздействия на состояние водоема [2].

Преимущества способа ГНБ при строительстве подводных переходов:

- возможность прокладывать трубопроводы ниже прогнозируемых русловых деформаций, что надежно защищает трубопровод от любых механических повреждений (не менее 6,0 м от самой низкой отметки дна на участке перехода и не менее 3,0 м от линии возможного размыва или прогнозируемого дноуглубления русла);

- при строительстве и эксплуатации сохраняется естественный режим водной преграды, что соответствует повышенным экологическим требованиям и имеет

особое значение при пересечении трубопроводами рек с развитым рыболовством, судоходством;

- способ ГНБ исключает необходимость дноуглубительных, подводно-технических, водолазных и берегоукрепительных работ при строительстве переходов через водные препятствия, составляющих более 50 % стоимости перехода;

- исключается необходимость балластировки трубопроводов (балластных грузов и утяжеляющих покрытий);

- строительство переходов возможно в любое время года.

Протяженность участка перехода, сооружаемого способом ГНБ, определяется местоположением точек входа и выхода скважины. Допускается отклонение точки выхода пилотной скважины на дневную поверхность от проектного положения на 1 % от длины перехода, но не более +9,0 м или –3,0 м по оси скважины и $\pm 3,0$ м по нормали к ней. Местоположение точек входа и выхода скважины определяется требованиями к ее трассировке с учетом геологических и топографических условий, плановых деформаций русла, удобного размещения рабочих площадок.

Условиями, ограничивающими возможность применения способа ГНБ, являются неблагоприятные грунтовые условия – направленное бурение представляет значительную сложность в гравийных грунтах (гравия более 30 %), в грунтах типа плывунов, в грунтах с включениями валунов и булыжника. В таких случаях усложняется контроль при бурении пилотной скважины, возможен обвал грунта при расширении пилотной скважины и заклинивание рабочего трубопровода при его протаскивании.

Процесс выполнения работ по бестраншейной прокладке трубопроводов методом горизонтального направленного бурения с применением установки ГНБ подразделяется на три основных этапа [3]:

- пилотное бурение;

- расширение скважины до необходимого диаметра с одновременным наращиванием и демонтажем буровых штанг и бурового оборудования;

- протаскивание плети трубопровода с одновременным демонтажем штанг и последующим демонтажем бурового оборудования.

Для осуществления пилотного бурения выполняется следующий комплекс работ:

- подготовка оборудования (смазка, затягивание соединений, сборка буровой головки и закрепление ее на первой штанге, проверка сопел, разработка пилотного отверстия, калибровка локационного оборудования);

- непосредственно выполнение пилотного бурения (бурение, добавление секций (штанг) буровой колонны, руление, завершение пилотного бурения).

Перед забуриванием скважины лафет буровой установки с вращателем и зажимным устройством ориентируется в нужном направлении (позиционирование установки), на первой штанге крепится буровая головка, оснащенная передатчиком, выполняется калибровка локационного оборудования, пробный запуск установки с подачей бурового раствора в буро-

вую колонну и через сопла буровой головки. Общий вид буровой головки приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид буровой головки

Вид и конструкция буровой головки подбирается в зависимости от геологических условий, в которых будет выполняться бестраншейная прокладка трубопровода.

После завершения всех работ по подготовке оборудования приступают непосредственно к пилотному бурению скважины. Бурение пилотной скважины ведется ориентированным способом. В процессе наращивания буровых штанг проводится контроль траектории ствола скважины. Траектория пилотной скважины отслеживается при помощи локационного оборудования. С помощью локационного оборудования определяется расстояние и глубина местонахождения буровой головки по отношению к заданной траектории.

Полученные результаты сравниваются с заданными величинами траектории пилотной скважины и, в случае необходимости, выполняется соответствующая корректировка движения буровой головки путем ее поворота (руление). При этом вращательное движение буровой колонны прекращается, а перемещение буровой головки в скважине осуществляется путем задавливания буровой колонны. При достижении необходимой отметки вращательное движение буровой колонны возобновляется. При необходимости возможен обратный ход штанг, демонтаж буровой колонны с последующим продолжением работ.

В соответствии с технологическими особенностями работы буровой установки для выхода буровой головки на заданную отметку бурения горизонтальной скважины процесс пилотного бурения в начальной точке забуривания осуществляется под углом 10–20° к траектории скважины горизонтального бурения с выполнением «технологического хода», величина которого зависит от проектных координат расположения горизонтальной скважины. После окончания работ по пилотному бурению в зависимости от диаметра прокладываемого трубопровода выполняется одно, два или несколько расширений горизонтальной скважины. При необходимости выполнения повторного расширения горизонтальной скважины цикл работ повторяется с применением риммер-расширителя соответствующего диаметра.

Необходимо отметить, что диаметр формируемой скважины должен быть на 20–50 % больше диаметра затягиваемого (протаскиваемого) трубопровода (исходя

из условий нормальной циркуляции бурового раствора и должного вымывания разбуриваемой породы). Вид и конструкция ример-расширителя подбираются в зависимости от геологических условий, в которых выполняется бестраншейная прокладка трубопровода, и определяются условиями прохождения скважины в наиболее неблагоприятных грунтах.

Общий вид ример-расширителей приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид ример-расширителей

Наиболее вероятными осложнениями при бурении скважины являются обвалы стенок скважины и интенсивное поглощение бурового раствора при проходке песчаных или других слабоцементированных высокопроницаемых грунтов [3]. В этом случае изменяются значения скорости проходки и подачи промывочной жидкости с целью обеспечения максимально возможного выноса выбуренной породы. После того, как пробурена очередная буровая штанга, интервал последнего долбления прорабатывается вращением и дополнительной промывкой. Данная технологическая операция позволяет разрушать образующиеся при ориентированном бурении скопления шлама, отнесенные к зонам застоя.

Основные мероприятия по предотвращению и ликвидации осложнений следующие:

- проведение специальных технологических операций для формирования качественного ствола скважины;
- применение специальных реагентов для придания промывочной жидкости специальных свойств.

Возможные аварийные ситуации при бурении скважины:

- увеличение толкающих усилий и «прихват» буровой колонны при бурении пилотной скважины;
- заклинивание расширителя в процессе расширения скважины;
- увеличение тяговых усилий выше расчетных и допустимых при протаскивании трубопровода в скважину.

Мероприятия по освобождению бурового инструмента (главным образом расширителей) от заклинивания определяются в зависимости от конкретной возникшей ситуации.

Обрыв штанги во время расширения скважины ликвидируется при помощи обсадной трубы, ловильного инструмента и захватывающего устройства. В случае неудачного применения данной технологии и при условии нахождения места обрыва штанги на относительно небольшой глубине (до 3–4 м) и небольшого расстояния от точек входа и выхода скважины (20–30 м) возможно применение способа разработки котлована над местом обрыва для непосредственного соединения двух частей буровой колонны или инструмента.

В случае невозможности продолжения бурения пилотной скважины по проектному профилю (отдельно

встречающиеся валуны, аномалии) пространственное положение оси скважины может быть изменено. Незначительное исправление ведется в обход препятствия без извлечения буровой колонны. Также возможно произвести заново бурение в новом створе, но при обязательном согласовании с проектным институтом.

Одной из основных проблем, возникающих при бурении скважин большого диаметра, является изменение пространственных размеров ствола. Причины нарушения геометрии скважин могут быть разными и они такие же, как и при бурении глубоких скважин на нефть и газ, но усугублены диаметром разрабатываемой скважины. При нарушениях геометрии скважины меняется эффективное проходное сечение скважины, что приводит к силовому взаимодействию между протаскиваемым трубопроводом и стенками скважины, сопровождающееся увеличением тяговых усилий, нарушению изоляции трубопровода, а в некоторых случаях к аварийным ситуациям с заклиниванием джокера.

Например, подобное техническое осложнение возникло при строительстве подводного перехода через р. Белая, выполненного в 2017 году с применением технологии цементации гравелистых грунтов. Цементирование гравелистых грунтов проводилось с применением технологии струйной цементации. Произведено 4 попытки протаскивания джокера в скважину. Каждая попытка сопровождалась повышением тяговых усилий. После извлечения джокера зафиксированы повреждения изоляции джокера по окружности трубы по направлению протаскивания, свидетельствующие о нарушенной геометрии ствола скважины (рисунок 3).



Рисунок 3 – Нарушение изоляции трубопровода при нарушенной геометрии ствола скважины

В строительстве переходов возникали и аварийные ситуации, связанные с неоднородностью геологического разреза. Так, в 2002 году при строительстве перехода магистрального нефтепровода Сургут – Полоцк через реку Оку на этапе расширения происходили заклинивания и затяжки расширителей, сопровождавшиеся сломом бурового инструмента. Геологический разрез перехода через р. Оку представлен чередованием суглинков, супесей, глин, песка, ангидритов, гипсов и доломитов различной твердости (из менее прочных грунтов в более прочные).

При наличии на участке траектории ствола скважины литологической или геологической границы перехода из мягкой породы (глины, песка, гравелистые грунты) в твердые грунты (известняки, аргиллиты) расширитель, двигаясь в разбуренной до промежуточного диаметра скважине, соприкасается с твердой породой в точке контакта расширителя с литологической границей и начинает скользить по границе с

твердыми грунтами. Даже при наличии правильно подобранного вооружения и конструкции породоразрушающего инструмента увеличение тягово-толкающих усилий приводит к скольжению расширителя по границе геологических разностей, сопровождаемому увеличением крутящего момента во время прижимания компоновки рабочих элементов буровой колонны к своду скважины вследствие возрастания сил трения и реакции от твердой поверхности.

При выходе расширителя из твердых пород в мягкие в верхней точке соприкосновения расширителя с литологической границей образуется уступ.

В конечном итоге расширенная скважина на участке прохождения литологической границы выглядит так, как показано на рисунке 4. Расширенная скважина осложняется 2 уступами.

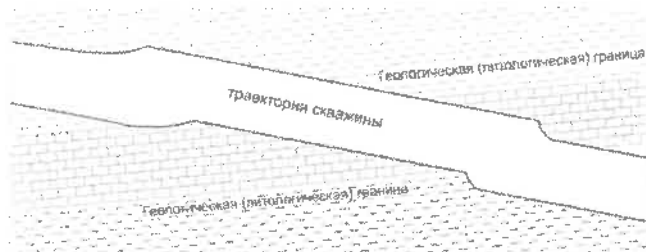


Рисунок 4 – Траектория расширенной скважины на границе изменения литологии пород по оси скважины

Условием, при котором траектория скважины не будет отклоняться от заданного проектного направления, является параллельность общего вектора действующих на расширитель сил с осью скважины.

На сегодняшний день правила проведения инженерно-геологических изысканий не нормируют требования по определению элементов залегания литологических границ. Мероприятия по освобождению бурового инструмента (главным образом расширителей) от заклинивания определяются в зависимости от конкретной возникшей ситуации.

При возникновении опасности обрушения береговых участков расширенной скважины непосредственно вблизи точек входа-выхода производится отрывка приямков (котлованов) по створу скважины на длину возможного обрушения.

Решение замены одного типа бурового инструмента на другой принимается на месте в зависимости от возникающих проблем с разработкой грунтовой породы.

Увеличение тяговых усилий в процессе протаскивания трубопровода может быть вызвано ростом местных сопротивлений, причиной которых являются:

- неточная высота подъема трубопровода на входе в скважину, вследствие чего изменяется угол входа трубопровода и увеличивается трение поверхности трубы о стенку скважины на начальном участке протаскивания;
- плохо подготовленная к протаскиванию скважина, а именно недостаточное расширение, заиливание, плохая промывка разбуренной породы;
- заклинивание трубопровода в результате обрушения стенок скважины.

Плохое качество промывки скважины и большое усилие при протаскивании последнего расширителя

являются предпосылкой для прохода дополнительного расширителя. Для увеличения тяговой способности буровой установки в аварийных ситуациях может применяться вспомогательная техника.

Специфика прокладки трубопроводов методом горизонтально направленного бурения – перемещение расширителя на каждом этапе по всей длине скважины – создает определенные технические риски, при осложнениях серьезную проблему создает недостаток достоверной информации о ранее проложенных коммуникациях. В плане не всегда отражается либо ошибочно указывается расположение действующих инженерных сетей и остатков старых линий. В процессе ГНБ на трассе может оказаться объект значительно тверже остального грунта. Проблема решается бурением насквозь бурами высокой прочности, сдвигом объекта в сторону при пилотном бурении или изменением трассы трубопровода [3, 4].

Одной из основных проблем при работе в сфере ГНБ является интерференция (помехи). Блокируя передачу данных, она не дает полноценно отслеживать буровую головку под землей и снижает точность показаний. Способность локационной системы хорошо работать в условиях сильных помех стала критическим фактором в эффективности и способности выполнить работу в установленные сроки.

Вид комплекта локационного оборудования показан на рисунке 5, а принцип измерения дистанции, заложенный в основу любой современной локационной системы, – на рисунке 6.



Рисунок 5 – Вид комплекта локационного оборудования

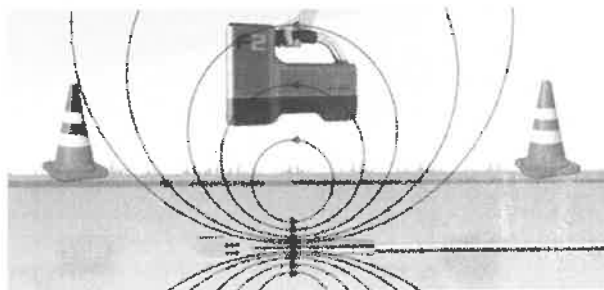


Рисунок 6 – Принцип измерения дистанции

Вычисление расстояния происходит путем измерения напряжения на вторичной обмотке «пространственного трансформатора», первичной обмоткой возбуждения которого является ферритовая антенна, размещаемая в зонде.

Таким образом, технология горизонтального направленного бурения может быть применена при обустройстве любых коммуникационных магистралей, в т.ч. и в случае необходимости прокладки трассы под железнодорожными путями.

Наличие литологических границ на пути траектории скважины является одним из факторов, приводящих к нарушению пространственных размеров геометрии ее ствола и осложнению для протаскивания дюкера. Знание механизма образования уступов поможет при конструировании геометрических размеров расширителей, расположении породоразрушающих элементов на их корпусе, а также в подборе элементов компоновки буровой колонны, что обеспечит ее жесткость при прохождении литологических границ.

Понимание физических процессов, происходящих при прохождении буровым инструментом литологических границ, имеет практическое значение для операторов буровой установки для прогнозирования и предотвращения заклиниваний бурового инструмента, контроля траектории ствола скважины, а также при подборе режимов бурения и расширения скважины для протаскивания трубопровода.

Для предотвращения подобных технических проблем необходимо изучать условия и особенности работы бурового инструмента в строительстве горизонтальных скважин большого диаметра при пересечении железнодорожных земляных сооружений.

Список литературы

- 1 Дробов, С. Г. Влияние подземного горизонтального направленного бурения на окружающую среду / С. Г. Дробов, М. А. Шамова // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, 16–17 нояб. 2023 г., г. Гомель : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель, 2023. – Ч. 1. – С. 383–385.
- 2 Бестраншейное строительство методом горизонтального направленного бурения // Строительство и недвижимость. – Минск, 2005. – URL : <https://nestor.minsk.by/sn/2005/27/sn52709.html> (дата обращения: 12.10.2023).
- 3 Курицын, К. Р. ТК-1000294434.003-2015. Технологическая карта на бестраншейную прокладку трубопроводов диаметрами 100–900 мм методом горизонтального направленного бурения с применением бурильной установки Ditch Witch JT Ditch Witch JT3020 / К. Р. Курицын, Н. И. Паршина. – Минск : ОРГСТРОЙ, 2015. – 129 с.
- 4 Храменков, С. В. Технологии восстановления подземных трубопроводов бестраншейными методами : учеб. пособ. для студ. вузов / С. В. Храменков, В. А. Орлов, В. А. Харькин. – М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2004. – 237 с.
- 5 Дробов, С. Г. Анализ мировых тенденций возведения подземных сооружений методом горизонтально-направленного бурения / С. Г. Дробов, М. А. Шамова, П. В. Ковтун // Горная механика и машиностроение. – 2024. – № 1. – С. 27–34.
- 6 Технология бестраншейной прокладки трубопроводов методом горизонтального направленного бурения / С. Г. Дробов, М. А. Шамова, П. В. Ковтун, О. В. Осипова // Горная механика и машиностроение. – 2024. – № 2. – С. 20–29.

Получено 05.05.2025

P. V. Kovtun, S. G. Drobov, M. A. Shamova. Experience in the application of horizontal directional drilling.

The article discusses the development trends, examples of underground utilities by horizontal directional drilling, as well as the use of locating equipment. It is suggested to use the method of horizontal directional drilling in railway construction more widely.