

УДК 624.138.002.7

**А.С. Кондратенко, В.В. Тимонин, А.А. Абиров, М.К. Госманов,  
Б.У. Есенов, Е.Б. Жаркенов**

## **ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОГО СООРУЖЕНИЯ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАКЛОННЫХ СКВАЖИН**

Автомобильные и железнодорожные магистрали являются зонами повышенной опасности. Тысячи человек гибнут ежегодно в различного рода катастрофах и состояние дорожного полотна играет далеко не последнюю роль в вопросах безопасности дорожного движения. Однако, повсеместно встречаются провалы дорожного полотна или его всучивание. Провалы достигают десятков метров по площади и способны поглотить сразу несколько транспортных средств (рис. 1).

Подобные примеры имеют место в любом крупном городе. Помимо угрозы жизни человека, находящегося в провалившемся транспортном средстве, очевидны проблемы по эвакуации автомобилей из ямы, их восстановлению, а также транспортный коллапс на разрушенном участке дороги. Восстановление дорожного полотна потребует значительных финансовых затрат и продлится несколько дней.

Очевидно, что такие провалы являются следствием образования пустот в основании дорожного полотна.

Как правило, эти пустоты образуются размывом сточными или грунтовыми водами, а также при прорыве водопроводных труб. Если при прорыве водоносных коммуникаций процесс размыва носит стихийный характер, то при размыве сточными или грунтовыми водами до обрушения дневной поверхности может пройти несколько лет. Однако, размыв не образуется на ровном месте. «Зародышем» опасных пустот под транспортными магистралями являются полости в дорожном основании не заполненные грунтом. Вода, попадая в такую полость, вымывает грунт, а в

зимнее время происходит ее замерзание, что также приводит к увеличению размеров полости. Такие полости являются результатом выполнения ранее работ в подземном пространстве вблизи разрушенного участка. Почти все подземные работы связаны со строительством подземных коммуникаций бестраншейным методом.

Бестраншевые технологии, известные в мире как NO-DIG или TRENCHLESS TECHNOLOGIES, представляют собой вариант выполнения протяженных подземных выработок без вскрытия дневной поверхности. Их применение обусловлено ведением большого объема работ на ограниченных участках в условиях современного мегаполиса, а также высокой себестоимостью проведения работ траншнейшими методами, обусловленной высокими затратами на изменение схем движения транспорта и восстановления дорожного покрытия.

При использовании бестраншевых технологий более 90% всех работ проводится под землей, что исключает:

- необходимость восстановления дорожного покрытия;
- нарушения привычного ритма жизни города;
- перекрытия транспортных магистралей;
- нарушения существующих коммуникаций.

Бестраншевые технологии являются в 2,5-3 раза экономически выгодными по сравнению с традиционными траншнейшими. Большим достоинством бестраншевых методов прокладки коммуникаций является практическое отсутствие ущерба окружающей среде.

В последние годы в подземном строительстве расширилось применение установок направленно-



*Рис. 1. Провал дорожного полотна*



Рис. 2. Принцип работы установок ГНБ

го горизонтального бурения. Среди экспонентов выставки «Бестраншейные технологии строительства и ремонта инженерных коммуникаций» NO-DIG (Москва 5-6 июня 2012 г.) 80% компаний представляли технику для горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Принцип работы ГНБ установок представлен на рис. 2.

Работы по строительству переходов с применением ГНБ можно условно разбить на 2 этапа: сооружение пилотной скважины и ее последующее расширение. И в том и другом случае осевое усилие и вращение на буровую головку передается по штангам от буровой установки. Разрушение массива осуществляется струями бурового раствора, который также выносит разрушенный материал по заштатновому или затрубному пространству в котлован или на поверхность, а давление этого раствора достигает 100бар при бурении глины [1].

Буровой раствор призван не только для разрушения массива и транспортирования разрушенного материала, но и для укрепления стенок скважин за счет бентонитовых добавок. Однако, обрушение стенок скважины в процессе бурения происходит довольно часто. В результате этого труба обжимается массивом, что затрудняет вынос разрушенного материала от забоя (рис.3).

Подача раствора под давлением не останавливается, и в районе буровой головки образуются прогрессирующие в размере пустоты. Поступательное движение буровой головки не прекращается, а значит, вокруг трубы на значительном расстоянии будет вытянутая полость, не заполненная грунтом. Возможен даже прорыв раствора на дневную поверхность. Вероятнее всего место обжатия трубы массивом в процессе работы будет разрушено буровым раствором, однако образовавшиеся пустоты никуда не денутся. Как раз эти пустоты впоследствии и приводят к обвалам и обрушениям.

Еще одним «источником пустоты» в технологии ГНБ служит затрубное пространство, по которому транспортируется разрушенный материал. В

результате диаметр скважины, в которую затягивается труба, превышает диаметр трубы на 20-30%.

Это может привести как к образованию прогрессирующих пустот, так и появлению небольших углублений или провалов в дорожном полотне по оси бестраншейного перехода. Полости образуются также в нижней точке криволинейной скважины (рис.2), в которой скапливается большое количество бурового раствора.

Таким образом, применение технологии ГНБ неизбежно ведет к образованию нежелательных пустот при прокладке подземных коммуникаций. По статистике только в г. Москва за 6 лет произошло 25 крупных провалов дорожного полотна, причиной которых стали подземные работы. Мобильность установок, применимость на широком спектре грунтов, возможность образования скважин до 1000м в широком диапазоне диаметров получаемой скважины приводят к тому, что подрядчики, выполняющие подземные работы, закрывают глаза на проблемы ГНБ и применяют именно эту технологию, а заказчик работ не в состоянии проконтролировать наличие пустот в зоне пробуренной скважины.

Такое положение дел увеличивает вероятность чрезвычайной ситуации техногенного характера и может привести к значительному материальному ущербу, а в некоторых случаях и к жертвам среди населения.

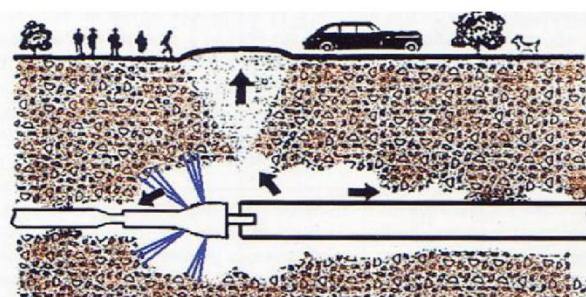


Рис.3. Образование пустот при ГНБ

При прокладке коммуникаций под транспортным магистралью, особенно на небольшой глубине заложения, эффективен и безопасен метод, основанный на погружении в грунт трубы с открытым передним торцом, поскольку он в наибольшей степени исключает возможность вспучивания или просадки дорожного полотна [2].

Реализация такой проходки возможна двумя различными способами. В первом случае труба забивается в грунтовый массив пневмомолотом (рис.4а), а во втором вдавливается статической силой гидродомкратами (рис.4б).

Виброударное погружение характеризуется высокой скоростью проходки скважины и отсутствием необходимости сооружения подпорной стенки в рабочем котловане.

К недостаткам виброударного погружения относятся повышенный уровень шума от работы пневмомолота, что не всегда приемлемо в городских условиях, и вибрация, способная не только переуплотнить технологические песчаные и щебеночные «подушки» под авто- и ж/д магистралями, но и привести к разрушению фундаментов близлежащих строений.

Как при статическом, так при динамическом погружении во внутреннюю полость трубы поступает грунт, который постепенно уплотняется, в конечном счете образуя грунтовую пробку.

Продвижение трубы с грунтовой пробкой требует больших затрат энергии. Это связано с тем,

что очередные порции грунта из забоя уже не могут поступать во внутреннюю полость трубы. Происходит вытеснение грунта в стенки скважины, что приводит к резкому росту деформаций окружающего грунтового массива в радиальном направлении, т.е. труба продолжает перемещаться в грунте с заметно меньшей скоростью аналогично трубе с закрытым передним торцом. Таким образом, своевременное удаление грунтового керна является важным фактором определяющим эффективность технологии в целом.

Существующие технологии промежуточного удаления керна не в полной мере соответствуют достигнутым возможностям, которые обеспечивают современные средства для погружения кожуха.

Циклическое удаление керна эффективно для переходов длиной до 20-25м [3,4]. При большей длине начинает существенно сказываться органический недостаток любого циклического процесса – наличие холостого хода.

Технология гидоразмыва связана с обводнением рабочих приямков, что далеко не всегда приемлемо. Бурение со шнековым транспортером связано с применением громоздких и энергоемких механизмов, которые подвержены интенсивному износу. Способ вибротранспортирования основан на перемещении керна при действии на трубу ударной или вибрационной нагрузки.

Как показывают исследования, в чистом виде

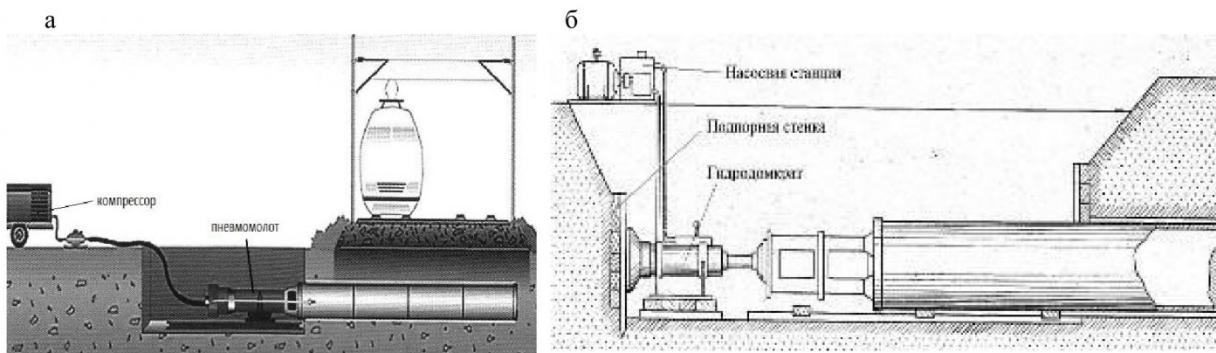


Рис. 4. Методы погружения труб в грунтовый массив с открытым переднем торцом:  
а-виброударное; б - статическое

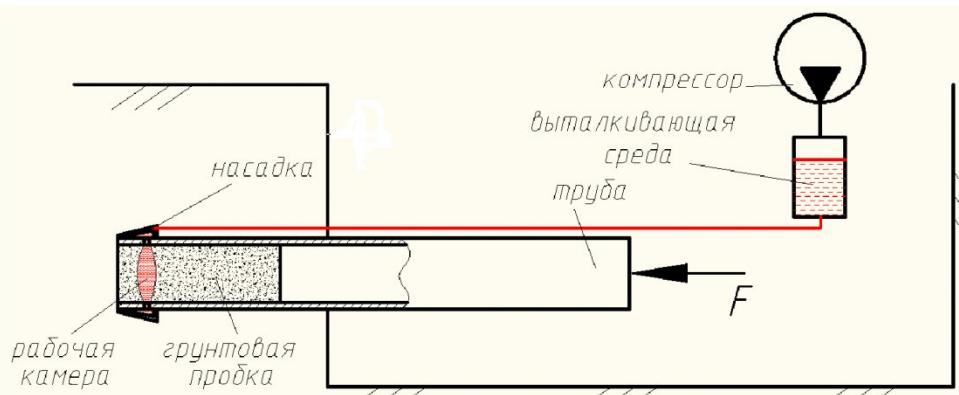


Рис. 5. Продавливание с порционным удалением керна

этот процесс малопроизводителен, весьма неустойчив и не обеспечивает качественную очистку трубы [5].

Наиболее логичным представляется удаление грунтового керна из трубы по мере его поступления без применения дополнительных средств механизации циклического действия [6]. Реализация такой возможности представлена на рис. 5.

Сущность предлагаемого решения заключается в установке на переднем торце трубы насадки, короткая образует с трубой герметичную круговую камеру с одним входным отверстием для подачи выталкивающей среды и несколькими выходными, равномерно распределенными в диаметральной плоскости по внутреннему периметру трубы. При образовании грунтовой пробки в насадку по отдельному трубопроводу под давлением подается выталкивающая среда, которая попадая через выходные отверстия во внутреннюю полость трубы, отсекает часть грунтового керна и образует внутри трубы рабочую камеру. Сила, создаваемая давлением выталкивающей среды, перемещает грунтовую пробку по трубе в рабочий котлован.

Важным моментом в технологии порционной очистки является герметичность рабочей камеры, т.е. грунтовая пробка должна быть достаточно плотной и заполнять все поперечное сечение трубы. В противном случае порционная очистка будет невозможна.

Порционное удаление не только повышает эффективность продавливания, но и расширяет границы его применения.

Очевидные достоинствами предлагаемого способа -

- Возможность прокладки труб малого диаметра (до 300мм) с открытым передним торцом.
- Применимость как при статическом, так и при виброударном продавливании.
- Снижение энергоемкости продавливания, за счет гарантированного отсутствия грунтовой пробки и значительного снижения сил трения

между внутренней поверхностью трубы и грунтовым керном.

- Высокая производительность, независимость от стадии погружения трубы и при некоторых условиях возможность очистки без остановки процесса продавливания.

- Высокая точность скважины за счет постоянного режима резания грунта и отсутствия продавливания грунта в стенки скважины.

- Отсутствие гидротранспортирующего оборудования, лебедки или шнекового транспортера, не происходит обводнения котлованов.

Насадка на переднем торце трубы, безусловно, увеличивает лобовое сопротивление трубы, однако ее применение снижает силу трения между трубой и грунтовым массивом, за счет зазора (рис.6) [7].

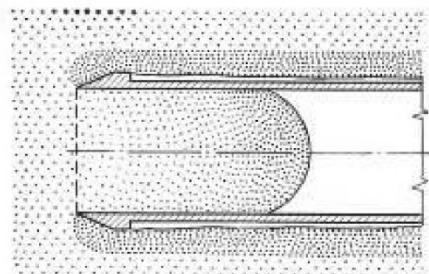


Рис.6. Влияние насадки на погружение трубы

Экспериментально подтверждена возможность порционного удаления керна сжатым воздухом или воздушно-жидкостной смесью.

Эксперименты проводились в условиях максимально приближенных к реальности. Труба длиной 2м и диаметром 100мм погружалась в грунтовый массив на глубине 1м от дневной поверхности (рис.7).

Фиксировалось нарастание длины грунтового керна по мере продвижения трубы в грунтовый массив. Очистка осуществлялась после прекращения роста грунтового керна, т.е. после образования



Рис.7. Экспериментальное оборудование для проверки работоспособности способа очистки трубы от грунтового керна

ния грунтовой пробки, путем подачи сжатого воздуха или воздушно-жидкостной смеси по специальному каналу внутри основной трубы.

После удаления первой порции процесс погружения возобновлялся до момента образования новой пробки, которая впоследствии также удалялась. Так продолжалось до полного погружения трубы в грунтовый массив.

В результате выявлен ряд особенностей, влияющих на эффективность процесса:

1. При диаметре трубы 100 мм максимальная возможная длина грунтовой пробки составляет 300мм.

2. При виброударном погружении трубы грунтовая пробка значительно длиннее. В этом случае на первый план выходит равенство между выталкивающей силы и силами трения в паре «труба-керн».

3. Для увеличения длины грунтового керна и уменьшения сил трения в паре «труба-керн» в процессе погружения в зону контакта трубы и керна можно подавать под незначительным давлением жидкость.

4. При виброударном погружении трубы насадка должна быть установлена на некоторое расстояние от переднего торца трубы. В противном случае происходит разгерметизация рабочей ка-

меры через переднюю часть трубы.

5. Расположение канала для подачи выталкивающей среды внутри трубы уменьшает герметичность рабочей камеры и целостность движущейся грунтовой пробки. В случае, когда этот канал расположен на внешней поверхности трубы на первый план выходит проблема его надежного крепления к насадке.

Полученные результаты позволяют рассчитывать на получение в конечном счете современного способа удаления грунтового керна из внутренней полости трубы при сооружения протяженных бестраншейных переходов высокой точности на основе метода продавливания. Основными направлениями дальнейших исследований являются:

1. Выявление взаимосвязи факторов влияющих на образование грунтовой пробки (свойства грунтового массива, размеры трубы и качество ее внутренней поверхности, энергия и частота ударов пневмомолота).

2. Исследование процесса перемещения грунтовой пробки в трубе с целью: оптимизации давления выталкивающей жидкости при очистке и ее состава, определения влияния стыков секций трубы и длины транспортирования на целостность движущейся грунтовой пробки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий – М.: Недра 2005. - 299 с.
2. Кондратенко А.С. Удаление грунтового керна из трубы с помощью комбинированного воздействия на систему «труба с керном в грунте» // Механизация строительства. — 2013. — № 4. — С. 3-5
3. Kondratenko A. S. Features of the earth core removal from a pipe under combined vibro-impact and static action / A. M. Petreev// Journal of Mining Science, 2008, Volume 44, Number 6, Pages 559-568
4. Кондратенко А.С. Особенности очистки обсадной трубы от грунтового керна // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2008 - №7. С.326 - 331
5. Воронцов Д.С. Проходка скважин в грунте ударным устройством с кольцевым инструментом / А.М. Петрев, Б.Н. Смоляницкий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – Новосибирск, 2005-№5. – С. 45-52
6. Патент №2116405 Российской Федерации, МПК E02F5/18 C1. Способ бестраншейной прокладки трубопровода в грунте и устройство для его осуществления / Костылев А.Д., Курленя М.В.,Маслаков П.А.,Смолянский Б.Н.,Терсов А.Д.; заявитель и правообладатель Институт горного дела СО РАН; заявл. 28.11.1996; опубл. 27.07.1998. - Бюл. №2
7. Кершенбаум Н. Я., Проходка горизонтальных и вертикальных скважин ударным способом / В. И. Минаев — М: Недра, 1984. - 245с.

□ Авторы статьи:

Кондратенко  
Андрей Сергеевич,  
канд.техн.наук ,научный сотрудник  
ИГД СО РАН,  
email:[kondratenko@misd.nsc.ru](mailto:kondratenko@misd.nsc.ru)

Госманов  
Мейрам Калияскарович,  
старший научный сотрудник  
ИГД СО РАН,  
email: [mikitok90@mail.ru](mailto:mikitok90@mail.ru)

Тимонин  
Владимир Владимирович,  
канд.техн.наук , научный  
сотрудник ИГД СО РАН,  
email: [timonin@misd.nsc.ru](mailto:timonin@misd.nsc.ru)

(ТОО "Казахстанский научно-  
технический центр развития ЖКХ")

Есенов  
Берик Усеинович,  
старший научный сотрудник  
ИГД СО РАН,  
email: [esenov-76@mail.ru](mailto:esenov-76@mail.ru),

Абиров  
Аскар Абашевич,  
канд.техн.наук, зав.лабораторией  
"Водоснабжение и водоотведение"  
ИГД СО РАН,  
email: [askar\\_abirov@mail.ru](mailto:askar_abirov@mail.ru)

Жаркенов  
Еркебулан Берденович,  
научный сотрудник  
ИГД СО РАН,  
email: [morocco@inbox.ru](mailto:morocco@inbox.ru)