

УДК 624.132.3

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РАЗРАБОТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКЕ КОММУНИКАЦИЙ

В.И. Олексин, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Проведены сравнительные исследования разработки горизонтальной скважины методом прокола и продавливания грунта.

Ключевые слова: бестраншейные технологии, метод прокола грунта, метод продавливания грунта, кольцевой нож, комбинированный метод.

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РОЗРОБКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СВЕРДЛОВИНИ ПРИ БЕЗТРАНШЕЙНОМУ ПРОКЛАДАННІ КОМУНІКАЦІЙ

В.І. Олексин, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Проведено порівняльні дослідження розробки горизонтальної свердловини методом проколу і продавлювання ґрунту.

Ключові слова: бестраншейні технології, метод проколу ґрунту, метод продавлювання ґрунту, кільцевий ніж, комбінований метод.

A COMBINED METHOD OF DEVELOPING A HORIZONTAL WELL FOR TRENCHLESS LAYING OF UTILITY LINES

V. Oleksyn, post-graduate, KhNAHU

Abstract. Comparative studies of developing a horizontal well by moling and pipe-jacking have been carried out.

Key words: trenchless technologies, moling, pipe-jacking, cutting shoe, combined method.

Введение

Рост объемов работ по строительству и реконструкции подземных коммуникаций, особенно в городских условиях, требует совершенствования технологий и соответствующих им средств механизации.

Одним из наиболее эффективных направлений при этом являются бестраншейные технологии, использование которых не требует разрытия траншеи по оси коммуникации, что, в свою очередь, не только приводит к резкому сокращению объемов земляных работ, но и позволяет сохранить от разрушений асфальтобетонное покрытие дорог и тротуаров [1].

Анализ публикаций

При строительстве новых или реконструкции старых инженерных сетей в городских условиях возникает необходимость пересекать различного рода препятствия, такие как автомобильные дороги, трамвайные пути, пешеходные тротуары. Производство работ особенно затруднительно в центральной, более плотно застроенной части города. Основными коммуникациями при этом являются подводящие и распределительные сети водо-, тепло- и газоснабжения, сточные коллектора, а также кабельные линии различного назначения. Их прокладка под дорогами осуществляется, как правило, в защитных футлярах – это стальные, асбестоцементные

или полиэтиленовые трубы. Поэтому диаметр горизонтальной скважины должен быть соответственно больше диаметра защитного футляра для его свободного протаскивания через образованную полость.

Проведенный анализ показал, что основной диаметр скважин для футляров распределительных сетей находится в пределах 500 мм [2]. Длина футляров соответствует ширине проезжей части дорог, размеры которых определены в нормативных документах [3, 4], и составляет до 23 м.

Цель и постановка задачи

Целью работы является анализ методов разработки горизонтальных скважин для бесшланговой прокладки коммуникаций под различным рода препятствиями, в частности, методов прокола и продавливания, а также достижение большей эффективности выполнения работ путем применения комбинации этих методов.

Результаты исследований

Среди существующих технологий разработки горизонтальных скважин для инженерных коммуникаций были проанализированы методы, которые наиболее полно отвечают требованиям выполнения работ при прокладке распределительных сетей в стесненных городских условиях. К наиболее эффективным установкам и оборудованию для образования скважин относятся те, которые работают по методу прокола и продавливания [5]. Рассмотрим эти методы и проведем анализ их достоинств и недостатков.

Метод прокола представляет собой разработку горизонтальной скважины путем внедрения в грунтовой массив конусного наконечника. Этот метод рекомендуется применять для прокладки труб диаметром до 350 мм в глинистых и суглинистых грунтах. Известны случаи прокола грунта и до 500 мм.

Основными достоинствами такого метода являются малые габариты прокольных установок и то, что конусный наконечник, формируя скважину, вытесняет грунт в стороны, чем исключает необходимость извлечения его из забоя. Кроме того, благодаря радиальному вытеснению грунта образуются устойчивые плотные стенки, что является важным

условием для беспрепятственного протаскивания сквозь скважину защитного футляра.

Однако следует отметить, что радиально вытесненный грунт при этом создает вокруг скважины зону структурно-упругих деформаций. Твердые частицы, перемещаясь в зону меньших напряжений, занимают в ней весь объем пор. При этом эпюра распространения напряжений, согласно Вазетдинову А.С. [6], представляет собой концентрические круги (рис. 1), центром которых является ось скважины.

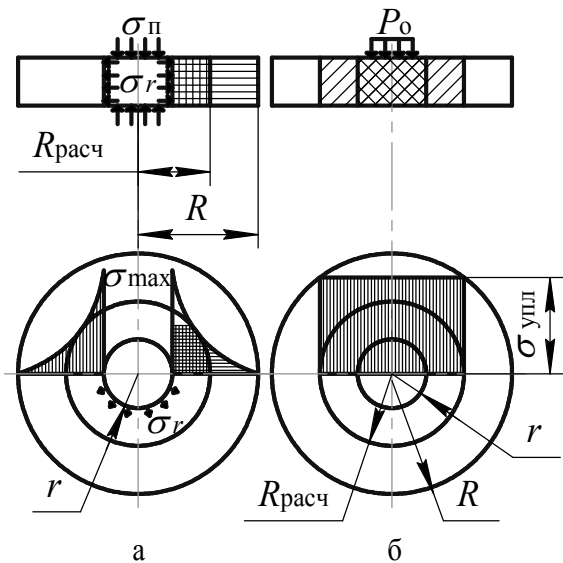


Рис. 1. Эпюра распределения напряжений вокруг скважины: а – схема напряженного состояния грунта при проколе; б – схема расчетной зоны уплотнения

Наибольшее напряжение наблюдается у поверхности скважины. Зона структурной деформации, по данным автора, ограничивается некоторым радиусом $R_{расч}$, далее которой находится зона упругих деформаций R , ограничиваемая величиной напряжения в грунте и равная естественным напряжениям. Величина $R_{расч}$ рассчитывается по формуле:

$$R_{расч} = \frac{r}{\sqrt{n_0}}, \quad (1)$$

где r – радиус разрабатываемой скважины; n_0 – первоначальная пористость грунта.

Согласно исследованиям Полтавцева И.С. [7] зона структурно-упругих деформаций R составляет

$$R = (3 \div 5)D, \quad (2)$$

где D – диаметр разрабатываемой скважины.

Формирование зоны структурно-упругих деформаций вокруг скважины приводит к смещению и уплотнению грунта, что существенно ограничивает применение метода прокола в связи с возможным повреждением покрытия дорог и находящихся в грунте коммуникаций (рис. 2).

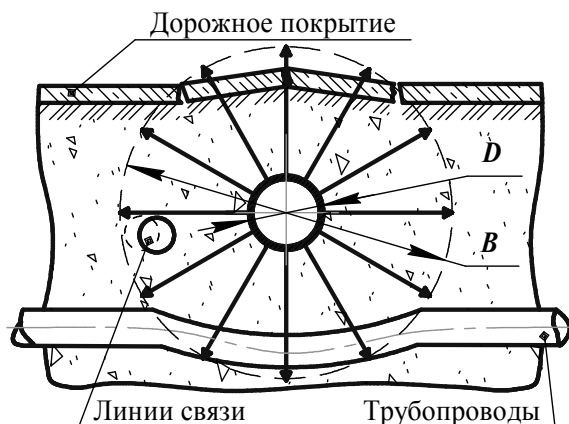


Рис. 2. Влияние зоны структурно-упругих деформаций на инженерные коммуникации и сооружения

Необходимо учитывать и то, что при таком методе разработки скважины прокалывающая установка должна развивать значительное нажимное усилие. А это приводит к увеличению реактивной силы опирания установки в стенку приямка, что соответственно требует увеличения ее опорной плиты.

Метод продавливания представляет собой разработку горизонтальной скважины путем внедрения в грунтовой массив трубы с открытым торцом. Этот метод, как правило, применяют для прокладки труб больших диаметров 250–1500 мм в грунтах I–IV категорий.

Одним из основных достоинств этого метода является то, что вокруг продавливаемой трубы не формируется зона структурно-упругой деформации, в отличие от метода прокола, и не создается разрушительное воздействие на существующие коммуникации и сооружения. Отсутствие зоны структурно-упругих деформаций связано с тем, что разработанный грунт поступает в полость трубы, а не вытесняется в стороны.

Основными недостатками этого метода являются необходимость отрывки рабочих приямков значительных размеров, что не всегда возможно в стесненных городских условиях, а также извлечение уплотненной грунтовой пробки из полости трубы через каждые 2–3 метра ее внедрения в массив грунта. Это требует применения дополнительных устройств, таких как шнек с приводом для его вращения, или специальной желонки с лебедкой и системой распоров.

Указанные недостатки сильно усложняют процесс прокладки коммуникаций, а порой делают метод продавливания неприменимым в определенных условиях.

Поскольку сопротивление грунта P является одним из основных факторов, определяющих энергоемкость процессов и соответственно габариты установок для прокола и продавливания грунта, построим зависимость сил P для каждого метода.

Для этого лобовое сопротивление P , необходимое для внедрения конусного наконечника в массив грунта, можно определить по формуле, предложенной Ромакиным Н.Е. [8], согласно которой

$$P = \pi r^2 \sigma_r \frac{\operatorname{tg}(\alpha/2 + \varphi)}{\sin \alpha/2}, \quad (3)$$

где r – радиус основания конуса; σ_r – среднее критическое напряжение; α – угол при вершине конуса; φ – угол трения грунта по стали.

Лобовое сопротивление P , необходимое для внедрения торца трубы при продавливании, можно определить по формуле, предложенной Васильевым Н.В. [9], согласно которой

$$P = \pi q D, \quad (4)$$

где q – усилие на единицу длины окружности кольцевого ножа; D – диаметр кольцевого ножа.

График зависимости возникающих сил сопротивления от диаметра скважины, разрабатываемой в суглинке II категории, представлен на (рис. 3).

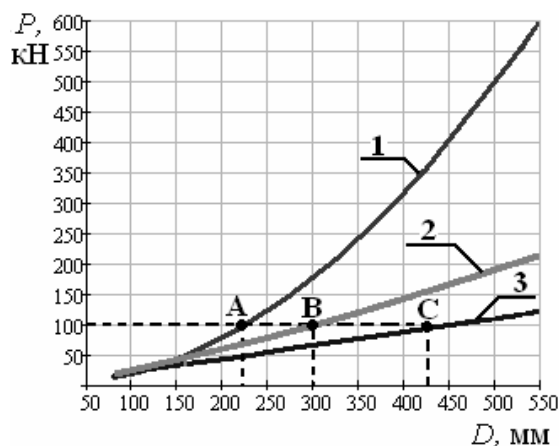


Рис. 3. Зависимость сил сопротивления грунта при проколе, продавливании и резании кольцевым ножом от диаметра скважины: 1 – метод прокола; 2 – метод продавливания; 3 – комбинированный метод (зависимость получена экспериментальным путем)

Из графика видно, что характер зависимости сил сопротивления от диаметра скважины у предложенных методов отличается. При проколе наблюдается резкий рост P от D по степенной зависимости. При продавливании зависимость обладает характером с более пологим приращением P от D . При комбинации методов прокола и продавливания приращение P от D имеет практически линейный характер и принимает значения, меньшие, нежели при продавливании и проколе.

Так, например, при равных задавливающих усилиях 100 кН можно образовать скважину методом прокола диаметром 225 мм (точка А), методом продавливания – 300 мм (точка В), а комбинированным методом – 425 мм (точка С) (рис. 3).

Для достижения большего эффекта при формировании скважин предлагается рассмотреть комбинированный метод, который объединил бы достоинства каждого из проанализированных методов, а именно, разработку скважин большого диаметра при сохранении малых габаритов установки.

Для реализации комбинированного метода требуется разработка новой технологии образования горизонтальной скважины с помощью комбинации рабочего оборудования: конусных расширителей скважины и кольцевых ножей (рис. 4).

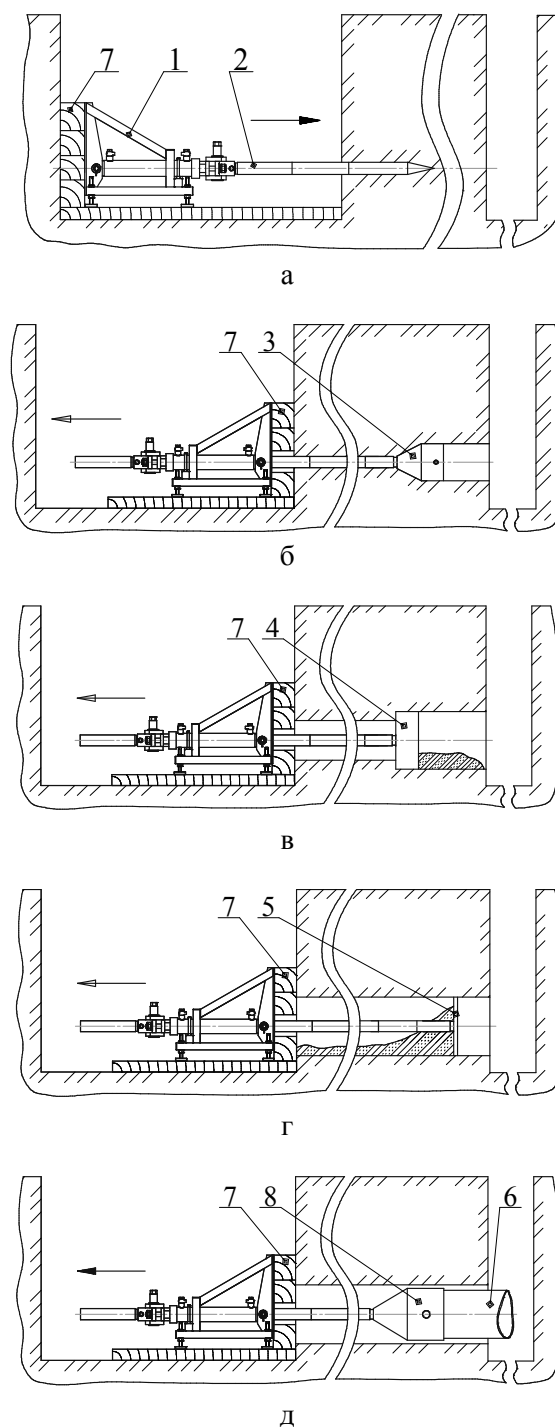


Рис. 4. Разработка скважины комбинированным методом: а – пилотный прокол; б – расширение скважины расширителем; в – расширение скважины кольцевым ножом; г – подчистка скважины; д – затягивание защитного футляра в скважину; 1 – прокольная установка МП-250; 2 – составная штанга; 3 – конусный расширитель; 4 – кольцевой нож; 5 – дисковый скребок; 6 – защитный футляр; 7 – упорные брусья; 8 – захват для трубы

На первом этапе скважина формируется по методу прокола – разработка пилотной скважины (рис. 4, а) и расширение ее конусными расширителями (рис. 4, б). Размеры скважин при этом достигают допустимых значений, исключающих разрушение дорожного покрытия и повреждение прилегающих коммуникаций от уплотнения грунта.

На втором этапе применяется метод продавливания (рис. 4, в), который осуществляется с помощью последовательного протягивания специальных кольцевых ножей, когда диаметр последующего кольца больше диаметра предыдущего. После подчистки скважины скребковым рабочим органом (рис. 4, г) в ее полость затягивается защитный футляр (рис. 4, д).

Таким образом достигается максимальный эффект от метода прокола, когда процесс осуществляется без выемки грунта, а от использования метода продавливания сохраняются от разрушительного воздействия дорожное покрытие и прилегающие коммуникации. Диаметр скважины при этом достигает необходимых размеров при малых габаритах установки.

Для подтверждения работоспособности предложенной технологии образования горизонтальных скважин путем комбинации методов прокола и продавливания специально был проведен поисковый полевой эксперимент.

Эксперимент проводился с применением прокольной установки МП-250 производства НПП «Газтехника» (г. Харьков) (рис. 5).

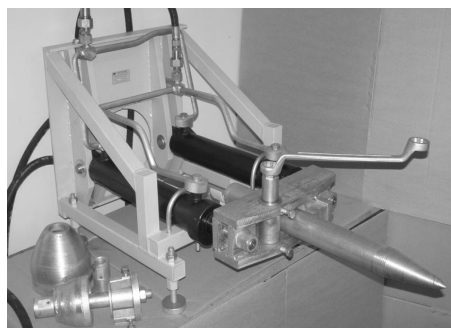


Рис. 5. Установка прокольная МП-250

Установка предназначена для образования горизонтальных скважин в грунте путем внедрения в массив грунта прокольной головки и последующего увеличения диаметра

скважин конусными расширителями. Краткая техническая характеристика представлена в табл. 1.

Таблица 1 Техническая характеристика прокольной установки МП-250

Габаритные размеры д/ш/в, мм	820/550/540
Диаметр прокола min, мм	65
Диаметр расширения max, мм	273
Длина прокола, м	25
Развиваемое усилие, кН	250
Скорость прокола, м/мин	0,5
Масса установки, кг	116

Для реализации предложенной технологии были изготовлены экспериментальные образцы кольцевых рабочих органов (рис. 6, а), диаметры которых больше каждого из соответствующих конусных расширителей (рис. 6, б). Соответствия кольцевых ножей расширителям приведены в табл. 2.

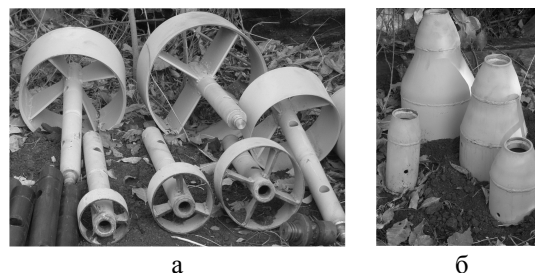


Рис. 6. Сменное рабочее оборудование: а – кольцевые ножи; б – конусные расширители

Таблица 2 Диаметры кольцевых ножей и конусных расширителей

Диаметр конусных расширителей, мм	108	159	219	273	326	377
Экспериментальный диаметр кольцевых ножей, мм	159	219	273	325	377	426
Расчетный диаметр кольцевых ножей, мм	134	200	278	352	418	487

Это позволило реализовать ряд различных комбинаций применения кольцевых ножей после предварительного образования скважин соответствующим конусным расширителем.

Как видно из табл. 2, толщина грунтовой стружки, срезаемой последующими кольцевыми ножами, составляет 20–30 мм. Также интерес представляло последовательное расширение скважины только кольцевыми ножами после прохода расширителя определенного размера.

В процессе поисковых экспериментальных исследований проводился визуальный контроль характера рабочего процесса, осуществлялись замеры изменения давления рабочей жидкости в гидросистеме установки, анализировался как грунтовой фон в целом, так и зоны уплотнения вокруг скважины по общепринятым параметрам, характеризующим физико-механические свойства грунта. Испытания проводились на полигоне ХНАДУ (рис. 7) в суглинистом грунте II категории прочности.



Рис. 7. Поисковый эксперимент на полигоне ХНАДУ

При проведении эксперимента было установлено, что ожидаемый эффект срезания стружки грунта со стенок скважины (рис. 8) и ее свободного обрушения во внутреннюю полость происходит при определенном условии. Свободное заполнение скважины стружкой грунта будет происходить при выполнении следующего неравенства

$$S_{\text{стр}} \cdot K_p \leq S_{\text{скв}} \cdot K_{\text{МК}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{стр}}$ – площадь срезаемой стружки; $S_{\text{скв}}$ – площадь скважины, образованная методом прокола; K_p – коэффициент разрыхления срезанной стружки грунта; $K_{\text{МК}}$ – коэффициент коррекции свободного сечения скважины на величину площади металлоконструкции кольцевого ножа.

Это объясняется тем, что внутренний объем скважины после прокола должен быть достаточным для свободного его заполнения срезанным грунтом с учетом коэффициента его разрыхления, который составляет для уплотненного суглинка $K_p = 1,3$, а коэффициент свободного сечения скважины $K_{\text{МК}} = 0,85$.

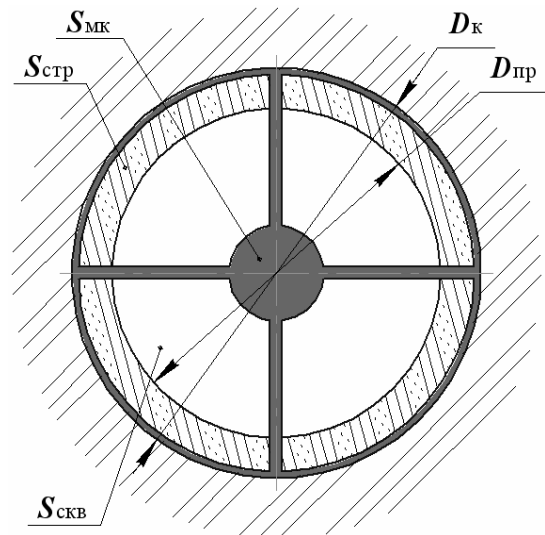


Рис. 8. Поперечное сечение скважины с кольцевым ножом: $S_{\text{МК}}$ – площадь металлоконструкции ножа; $S_{\text{стр}}$ – площадь срезаемой стружки грунта; $S_{\text{скв}}$ – площадь скважины, образованная методом прокола; $D_{\text{к}}$ – диаметр кольцевого ножа; $D_{\text{пр}}$ – диаметр скважины, образованный методом прокола

Преобразовав выражение (5), получим зависимость диаметра кольцевого ножа $D_{\text{к}}$ от диаметра прокола $D_{\text{пр}}$

$$D_{\text{к}} \leq D_{\text{пр}} \sqrt{\frac{K_{\text{МК}} \cdot K_p}{K_p}}, \quad (6)$$

где $D_{\text{к}}$ – диаметр скважины, образованный кольцевым ножом; $D_{\text{пр}}$ – диаметр скважины, образованный методом прокола.

Расчетное значение диаметров кольцевых ножей, исходя из принятых условий, приведены в табл. 2. Расхождение с экспериментальными данными определено сортаментом применяемых для кольцевых ножей труб.

Поэтапное расширение скважины подтвердило предположение о возможности ее практически неограниченного увеличения даже при тех относительно небольших усилиях, которые позволяет реализовать экспериментальная установка. Так, при заданной возможности развития протягивающих усилий установки 100 кН расширить скважину до диаметра 500 мм можно в 3 этапа, из условия образования первоначальной скважины диа-

метром 219 мм методом прокола. Зависимость сил сопротивления грунта при разработке скважины комбинированным методом представлена на графике (рис. 3).

Было замечено, что сопротивление резанию грунта кольцевыми рабочими органами определяется не только толщиной снимаемой стружки грунта, но и его плотностью. Замеры показали, что в непосредственной близости к стенкам скважины коэффициент сцепления составил 0,3 МПа, в то время как в естественном состоянии он равен 0,05 МПа.

Отработаны также были технологические операции по извлечению разрушенного грунта из полости скважины с помощью дискового скребка и затаскивания трубы в образованную скважину. Установлено, что сопротивление удалению грунта растет по мере продвижения скребка вглубь скважины. Это объясняется образованием призмы перед скребком, а затем цилиндра из разрушенного грунта, стенки которого по мере нарастания его объема встречают сопротивление трения о стенки скважины, что приводит к его естественному распору и приращению от перемещения образованной массы цилиндра. Как показал эксперимент, в диапазоне скважин от 219 мм до 377 мм этот рост на участке 15 м составил не более 20 % от усилий, необходимых на протаскивание кольцевого ножа. Скважина при этом очистилась за один проход до состояния, достаточного для протаскивания через нее трубы.

Выводы

Поскольку в результате проведенного поиска не выявлено исследований, связанных с работой кольцевых ножей в комбинации с прокалывающими конусными рабочими органами, то возникает необходимость решения следующих задач:

– разработать математическую модель определения усилий, возникающих при расширении скважины кольцевыми ножами после прокола;

– с помощью экспериментальной модели установки провести полевые исследования по разработке скважин, с целью подтверждения закономерностей процесса разработки грунта и сравнения полученных данных с теоретическими расчетами;

– разработать практические рекомендации по выбору параметров рабочего оборудования для предложенного комбинированного метода.

Литература

1. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций / С.В. Кравец, Н.Д. Каслин, В.К. Руднев, В.Н. Супонев. – Х.: ООО «Фавор», 2008. – 256 с.
2. Інженерне устаткування будівель і споруд. Зовнішні мережі і споруди. Газопостачання : ДБН В.2.5-20-2001. [Чинний від 2001-08-01]. – К.: Держбуд України, 2001.
3. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : СНиП 2.07.01-89*. [Введен в действие с 1990-01-01]. – М.: Госкомархитектуры, 1989.
4. Споруди транспорту. Автомобільні дороги ДБН В.2.3-4:2007. [Чинний від 2008-03-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007.
5. Супонев В.Н. Обоснование параметров установок для бестраншейной прокладки распределительных сетей инженерных коммуникаций методом гидростатического прокола / В.Н. Супонев, В.И. Олексин // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2010. – № 5. – С. 66 – 74.
6. Вазетдинов А.С. Опыт определения усилий внедрения и местоположения в грунте головного снаряда при проколе / А.С. Вазетдинов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1958. – №1. – С. 21 – 26.
7. Полтавцев И.С. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства / И.С. Полтавцев, В.Б. Орлов, И.Ф. Ляхович. – К.: Будівельник, 1977. – 136 с.
8. Ромакин Н.Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н.Е. Ромакин, Н.В. Малкова // Строит. и дор. машины. – 2006. – №10. – С. 35 – 37.
9. Васильев Н.В. Закрытая прокладка трубопроводов / Н.В. Васильев. – М.: Недра, 1964. – 214 с.

Рецензент: А.Г. Маслов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 4 июня 2012 г.