

УДК 624.132.3

## ТРЕБОВАНИЯ, ВЫДВИГАЕМЫЕ К ПАРАМЕТРАМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН, И ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕСТРАНШЕЙНЫХ МЕТОДОВ ИХ РАЗРАБОТКИ

В.Н. Супонев, доц., к.т.н., В.И. Олексин, доц., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
С.М. Вивчар, инж., ПАО «Свет Шахтера», г. Харьков

*Аннотация.* Рассмотрены требования к параметрам горизонтальных скважин, которые обусловлены диаметром и глубиной прокладываемой коммуникации, а также длиной пересекаемого препятствия. Представлен анализ эффективности установок, применяемых для разработки горизонтальных скважин бестраншейными методами.

*Ключевые слова:* бестраншейные технологии, комбинированный метод, коммуникации, горизонтальная скважина, эффективность, установка.

## ВИМОГИ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ПАРАМЕТРІВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН, І ЕФЕКТИВНІСТЬ БЕЗТРАНШЕЙНИХ МЕТОДІВ ЇХ РОЗРОБКИ

В.М. Супонєв, доц., к.т.н., В.І. Олексин, доц., к.т.н., Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет,  
С.М. Вівчар, інж., ПАТ «Світло Шахтаря», м. Харків

*Анотація.* Розглянуто вимоги до параметрів горизонтальних свердловин, обумовлені діаметром і глибиною комунікації, що прокладається, та довжиною переешкоди, яка перетинається. Представлено аналіз ефективності установок, які застосовуються для створення горизонтальних свердловин бестраншейними методами.

*Ключові слова:* бестраншейні технології, комбінований метод, комунікації, горизонтальна свердловина, ефективність, установка.

## THE REQUIREMENTS TO PARAMETERS OF HORIZONTAL WELLS AND EFFECTIVENESS OF TRENCHLESS METHOD OF THEIR DEVELOPMENT

V. Suponev, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc., V. Oleksyn, Assoc. Prof., Cand., Eng. Sc.,  
Kharkiv National Automobile and Highway University,  
S. Vivchar, engineer, Svitlo Shakhtarya plc, Kharkiv

*Abstract.* Requirements to parameters of horizontal wells determined by the diameter and depth of pipelines to be laid as well as by the length of obstacles to overcome have been considered. The efficiency of systems for trenchless horizontal well-making has been analyzed.

*Key words:* trenchless technology, combined method, pipelines, horizontal well, efficiency, mounting.

### Введение

При строительстве новых или реконструкции старых инженерных сетей в городских условиях возникает необходимость пересекать различного рода препятствия, такие как ав-

томобильные дороги, трамвайные пути, пешеходные тротуары и малые архитектурные формы (киоски, беседки и т.д.). Производство работ особенно затруднительно в центральной, более плотно застроенной, части города. Основными коммуникациями при

этом являются подводющие и распределительные сети водо-, тепло- и газоснабжения, сточные коллекторы, а также кабельные линии различного назначения. 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, тротуаров и др.

### Анализ публикаций

Технология прокладки подземных коммуникаций под различного рода препятствиями подразумевает прокладку не самого рабочего трубопровода или кабеля, а прокладку его в специальном защитном футляре – это стальные, асбестоцементные или полиэтиленовые трубы. В таком случае диаметр горизонтальной скважины будет значительно больше, чем диаметр самой коммуникации.

Следующим немаловажным параметром горизонтальной скважины является глубина заложения, на которую, в основном, оказывает влияние выбранный бестраншейный метод производства работ. Согласно строительным нормам ВБН В.2.2-45-1-2004, минимальное расстояние от верха покрытия автомобильной дороги до верха трубы, например для метода прокола грунта, должно составлять не менее 2,5 м. Эти рекомендации не учитывают ни физико-механических свойств грунта, ни диаметра защитного футляра, что может привести либо к неоправданной малой, либо неоправданно большой глубине обустройства приемков. В свою очередь Полтавцев И.С. [1] рекомендует закладывать скважину при применении метода прокола на глубину не менее 5 ее диаметров, при этом также не учитываются физико-механические свойства грунта.

При известных параметрах горизонтальной скважины необходимо определить наиболее эффективный метод ее разработки и, соответственно, подобрать подходящую установку. При этом обобщенных критериев по выбору установок для создания горизонтальных скважин в зависимости от выбранного метода в литературе не выявлено.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является определение метода прокладки подземных коммуникаций и выбор соответствующей установки для разработки горизонтальных скважин под автомобильными дорогами. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить диаметр, длину и глубину заложения горизонтальных скважин, разрабатываемых под распределительные коммуникации в различных грунтовых условиях;
- выполнить комплексный анализ эффективности машин и установок, которые применяются для разработки горизонтальных скважин, по их обобщенному критерию технического уровня.

### Обоснование параметров горизонтальных скважин и условий их формирования

Для выбора наиболее эффективного метода прокладки коммуникаций в условиях плотной городской застройки рассмотрим, какие виды подземных коммуникаций существуют и какие требования предъявляются к технологии их прокладки под препятствиями.

Основными инженерными коммуникациями, обеспечивающими жизнедеятельность населенных пунктов, являются сети: теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения, электроснабжения, связь и канализационные коллекторы.

Поскольку более 80 % всех коммуникаций, прокладываемых в городских условиях, относятся к распределительным сетям, то рассмотрим требования, предъявляемые к их строительству.

Так как основной задачей в рассматриваемых технологиях является прокладка под препятствиями не самого рабочего трубопровода или кабеля, а защитного футляра, через который они протаскиваются, то прежде всего необходимо определить его параметры. Размеры футляра должны превышать диаметр прокладываемой коммуникации на величину, установленную нормативными документами. Так, например, применительно к газопроводам условия выбора футляров определены ДБН В.2.5-20-2001. Ими установлено, что

для трубопроводов, которые прокладываются в стесненных условиях, должны применяться футляры из стальных труб. При этом внутренние диаметры футляров для стальных газопроводов следует принимать больше наружных диаметров газопроводов не менее чем на 100 мм при диаметрах газопроводов до 250 мм (включительно) и не менее чем 200 мм при диаметрах газопроводов более 250 мм.

Для полиэтиленовых газопроводов внутренний диаметр футляров следует принимать больше внешних диаметров газопроводов не менее чем на 40 мм при диаметре газопроводов до 90 мм и не меньше чем на 80 мм при диаметрах газопроводов более 90 мм.

Если учитывать, что основной диапазон диаметров распределительных трубопроводов не превышает 350 мм, то диапазон требуемых диаметров защитных футляров согласно данным, приведенным в табл. 1, составляет от 76 до 530 мм.

При прокладке газопроводов под проезжими частями дорог и уличных проездов глубину прокладки следует принимать не менее 1,2 м до верха футляра.

Диапазон диаметров местных кабельных линий, прокладываемых между сетевыми узлами в пределах города или сельского района, находится в пределах: для электрических кабелей – до 65 мм, для волоконно-оптических кабелей – 42,5 мм. Согласно ВБН В.2.2-45-1-2004 «Линейно-кабельные сооружения», при пересечении автомобильных дорог и желез-

нодорожных путей, проезжей части улиц и трамвайных путей кабели следует прокладывать в полиэтиленовых, стальных или, как исключение, в асбестоцементных трубах диаметром от 50 до 110 мм.

Глубина заложения кабеля под автомобильными дорогами и железнодорожными путями варьируется от 1 до 2,5 м в зависимости от способа производства работ при переходе. Так, например, если работы по созданию перехода выполняются открытым способом (траншейным), то глубина заложения кабеля под дорогой составляет 1 м, методом продавливания, горизонтального бурения или щитовой проходки – 1,5 м, методом прокола – 2,5 м.

При строительстве распределительных сетей чаще всего встречаются препятствия в виде автомобильных дорог различных категорий. Согласно ДБН В.2.3-4:2007 и ДБН 360-92\*\* ширина проезжей части составляет минимум 4,5 м для дорог V категории и максимум 30 м для дорог I категории.

Основываясь на вышеизложенном материале, установлено, что основной диапазон параметров скважин, который предъявляется при строительстве к основной массе коммуникаций в городских условиях, заключен в следующем:

- диаметр разрабатываемой горизонтальной скважины составляет от 50 до 530 мм;
- длина перехода при пересечении искусственных сооружений составляет от 4,5 до 30 м;

Таблица 1 Диаметры рабочих трубопроводов и стальных футляров для распределительных газопроводов

Условный диаметр рабочего трубопровода, <i>DN</i> , мм	Наружный диаметр рабочего трубопровода, мм		Наружный диаметр стального футляра, мм	
	стальные трубы	полиэтиленовые трубы	для стальных трубопроводов	для полиэтиленовых трубопроводов
20	25	32	127	76
30	32	40	133	89
40	45	50	152	108
50	57	63	159	133
65	76	90	219	159
80	89	110	219	219
100	108	125	219	219
125	133	160	273	273
150	159	180	273	273
200	219	225	377	325
250	273	280	530	377

– размеры и траектория скважины должны отвечать проектной документации и находиться в пределах допустимых норм отклонения.

Если диаметр скважины определен диаметром коммуникации с учетом футляра, а ее длина – шириной проезжей части дороги, то с глубиной заложения не все так однозначно. Особый интерес, в этом случае, вызывает метод прокола грунта, так как он является наиболее простым и часто применяемым для обустройства переходов и, с точки зрения нормативных документов, имеет самую невыгодную позицию по глубине заложения скважины. Связано это с тем, что при использовании метода прокола грунта вокруг скважины формируется зона структурно-упругих деформаций, которая может вызвать повреждение покрытия автомобильной дороги или находящегося в грунте ранее проложенных коммуникаций.

Для определения глубины заложения горизонтальной скважины при выполнении работ методом прокола в ХНАДУ [2] был проведен ряд полевых исследований в грунтах с разными физико-механическими свойствами. При этом изучалось влияние грунтовых условий и диаметра скважины на ее глубину заложения. Обработка экспериментальных данных проводилась методом наименьших квадратов, что позволило предложить следующую формулу для определения минимально допустимой глубины заложения горизонтальной скважины

$$H_{\min} = a + bd, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые физико-механическими свойствами грунта;  $d$  – диаметр горизонтальной скважины, мм.

Для более обобщенной формы определения минимальной глубины заложения горизонтальной скважины и замены коэффициентов  $a$  и  $b$  на определенный показатель свойства грунта было предложено уравнение регрессии, которое учитывает пористость грунта и диаметр горизонтальной скважины

$$H_{\min} = \left[ 4,4 + \frac{1}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}} \right] \cdot d, \quad (2)$$

где  $n_0$  – пористость грунта в естественном залегании, %.

На рис. 1 представлены графики зависимости минимальной глубины заложения горизонтальной скважины, построенные по уравнениям (1) и (2). Из приведенных данных видно, что расхождение между получаемыми значениями минимальной глубины не превышает 7 %.

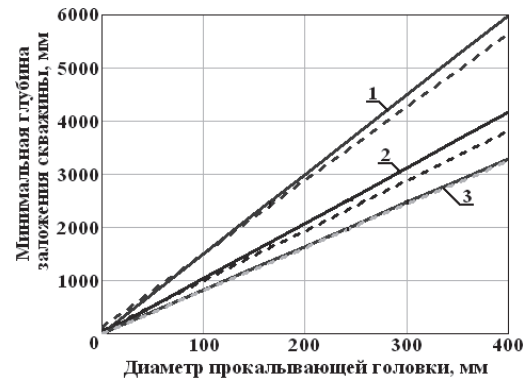


Рис. 1. Зависимость минимальной глубины заложения скважины от диаметра прокалывающей головки: — график, построенный по зависимости (1); --- график, построенный по зависимости (2); 1 –  $n_0 = 38\%$ ; 2 –  $n_0 = 45\%$ ; 3 –  $n_0 = 53\%$

Полученные расчетные зависимости (1) и (2) для определения минимальной глубины заложения горизонтальных скважин от их диаметра в различных грунтах позволяют более обоснованно подходить к формированию приямков для расположения в них установок для прокола грунта.

#### Анализ эффективности методов разработки горизонтальных скважин

Для оценки эффективности рассматриваемых бестраншейных технологий прокладки инженерных коммуникаций применительно к выявленным выше условиям необходимо установить общие для всех критерии.

Предлагается сопоставить рассматриваемые методы по следующим критериям: по техническим и технологическим показателям, по качеству получаемой скважины, по экономической эффективности и обобщенным показателям.

По техническим и технологическим показателям оцениваются: габаритные размеры машин, их вес, маневренность, необходимая площадь отведения земли под строительство,

объем вывозимого грунта, удаленного из скважины и технологических приямков.

Если рассматривать методы относительно требований, предъявляемых к распределительным инженерным сетям, то можно заключить, что каждый из рассматриваемых методов позволяет решить поставленную задачу в той или иной мере. Но если задаться конкретными условиями разработки скважины, например необходимый диаметр скважины  $d = 250$  мм и ее длина  $L = 15$  м, что является одним из наиболее часто встречающихся случаев, то окажется, что для скважин с такими параметрами сразу отпадает необходимость рассмотрения метода горизонтально направленного бурения (ГНБ).

По условию удаления разрабатываемого грунта лучшими можно считать методы, представленные в группе радиального уплотнения грунта в стенки скважины. Установки, которыми реализуются упомянутые методы, выгодно отличаются от остальных по таким параметрам как габаритные размеры, надежность, масса, простота в управлении и обслуживании.

Проанализируем машины и установки, которые наиболее часто используются при пересечении искусственных преград, применяемые для реализации статического и динамического прокола, продавливания, шнекового бурения и комбинированного метода.

Качество разработанной скважины разными методами можно оценить по соответствию созданной скважины технической документации, по наличию повреждения автомобильных дорог и прилегающих подземных коммуникаций, а также по состоянию внутренних стенок скважины.

Соответствие прокладки коммуникации технической документации характеризуется отклонением от проектной точки выхода головки из забоя в долях единицы длины. С этой точки зрения метод продавливания грунта имеет лучшие показатели, отклонение для него составляет 0,011. Худшими показателями обладают установки, работающие по методу прокола грунта. Их показатель составляет 0,051 и более. Известно, что по статистике из-за неточности попадания до 20 % образованных скважин методом прокола приходится переделывать.

В худшем положении эти установки находятся и по условию вероятности возможного повреждения автомобильных дорог и прилегающих коммуникаций. Об этом свидетельствуют рекомендации нормативных документов о применении установок для прокола грунта на большей глубине (не менее 2,5 м) независимо от принципа их действия.

А вот по условию устойчивости стенок скважины проигрывают методы шнекового бурения и продавливания. Для сохранения стенок от возможного разрушения в процессе разработки скважины их необходимо укреплять путем скользящей опалубки (защитным футляром) из стальных труб, либо дорогостоящими бентонитовыми смесями для глубокой пропитки и связки грунта.

В качестве обобщенного критерия технического уровня установок для разработки горизонтальных скважин воспользуемся обобщенным показателем эффективности  $\Pi_{NG}$  землеройной техники [3]

$$\Pi_{NG} = \frac{NG_{\text{общ}}}{\Pi^2} \rightarrow \min,$$

где  $N$  – мощность привода установки, кВт;  $G_{\text{общ}}$  – общая масса установки и энергетического модуля, т;  $\Pi$  – производительность, м<sup>3</sup>/ч.

Оценке по указанному показателю были подвергнуты технические параметры промышленно выпускаемых установок для методов статического и динамического прокола, продавливания и шнекового бурения.

При общем анализе для всех установок принято условие разработки горизонтальной скважины диаметром 250 мм без учета подготовительных и завершающих работ. Обобщенный показатель эффективности представлен в табл. 2 для каждой установки с учетом энергоблока (гидростанция, компрессор и т.п.). Сравнение полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. При обобщенном показателе эффективности  $\Pi_{NG} \rightarrow \min$  и заданном диаметре горизонтальной скважины лучшими являются установки, работающие по методу статического прокола грунта. Этот показатель, в сравнении с методами продавливания и шнекового бурения, в десятки раз меньше.



Таблица 2 Обобщенный показатель эффективности установок

Метод	Динамический прокол			Статический прокол			Комбинированный метод	Продавливание			Шнековое бурение			
	Установки	СО 134	HAMMER-HEAD 145 SR	Тайфун-70	ПУ-2	УПГ-25У «Стрела»		ГУПС 2-35/250	Газтехника МП-250 К	Bohrtec BM 150 D	УБПТ Горизонт-400	ЭСМ-3	ГПУ-600	ДМ-1
$G_{\text{общ}}, \text{Т}$	1,7	1,69	1,7	0,86	0,87	0,94	0,58	1,44	4,7	3,1	8	3,1	12,9	1,44
$N, \text{кВт}$	60	60	60	7	7	7	7	24	13	7,5	18	20	45	20
$P, \text{м}^3/\text{ч}$	1,23	1,23	1,23	0,83	0,92	0,74	0,25	0,2	0,15	0,05	0,15	0,15	0,59	0,49
$P_{\text{NG}}$	63,7	67,3	67,3	<b>8,65</b>	<b>6,32</b>	<b>12,14</b>	64,9	864	2817,5	9649	6640,2	2859	1673	119,5

В последние годы активно развивается направление комбинации методов, в котором объединяются преимущества разных способов разработки горизонтальных скважин, например, прокол и продавливание (установка МП-250 К), прокол и шнековое бурение (установка Bohrtec BM 150 D) и т.д. Принимая во внимание обобщенный показатель эффективности, можно заключить, что комбинацию методов целесообразно осуществлять на базе установок для статического прокола грунта.

Особый интерес вызывает прокольная установка фирмы НПП «Газтехника» МП-250 К для разработки горизонтальных скважин комбинированным методом [4], которая позволяет разрабатывать скважины больших диаметров с помощью кольцевых ножей, что исключает развитие зоны структурно-упругих деформаций вокруг скважины, а следовательно – повреждение дорог и прилегающих подземных коммуникаций.

### Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что прокладка подземных инженерных коммуникаций в стесненных городских условиях осуществляется на коротких дистанциях от 4,5 м до 30 м и для диаметров коммуникаций от 20 мм до 250 мм наиболее эффективной для этого является группа прокольных установок статического действия с наименьшим показателем  $P_{\text{NG}}$ .

Для разработки горизонтальных скважин больших диаметров до 530 мм и более целесообразно применять установки комбиниро-

ванного действия, которые исключают развитие структурно-упругих деформаций в грунтовом массиве.

Определен характер изменения минимальной глубины заложения горизонтальных скважин в зависимости от диаметра скважины и пористости грунта (диапазон пористости от 38 % до 53 %).

### Литература

1. 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.
2. Руднев В.К. Минимальная глубина заложения горизонтальных скважин для инженерных коммуникаций / В.К. Руднев, В.Н. Супонев, В.И. Олексин // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2013. – №3. – С. 65–69.
3. Баловнев В.И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара. – М.: Транспорт, 1993. – 383 с.
4. Олексин В.И. Комбинированный метод разработки горизонтальной скважины при бестраншейной прокладке коммуникаций / В.И. Олексин // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 57. – С. 207–213.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 30 апреля 2014 г.