

УДК 624.132.3

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОКОЛА ГРУНТА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЯНУЩЕЙ СИЛЫ ПАРЫ  
«ВИНТОВАЯ ЛОПАСТЬ – ГРУНТ»**

**С.М. Вивчар, асп.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Предлагается экспериментальный стенд для проведения исследований в натуральных грунтовых условиях рабочего процесса прокола грунта с использованием тянущей силы пары «винтовая лопасть – грунт». Разработан оригинальный измерительный комплекс для измерения крутящего момента при разработке горизонтальных скважин винтовым грунтопрокалывающим рабочим органом.

*Ключевые слова:* бестраншейные технологии, инженерные коммуникации, горизонтальная скважина, установка, винтовой рабочий орган, прокол грунта.

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОКОЛУ ҐРУНТУ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ТЯГОВОГО ЗУСИЛЛЯ ПАРИ  
«ГВИНТОВА ЛОПАСТЬ – ҐРУНТ»**

**С.М. Вівчар, асп.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Запропоновано експериментальний стенд для проведення досліджень у натурних ґрунтових умовах робочого процесу проколу ґрунту з використанням тягового зусилля пари «гвинтова лопасть – ґрунт». Розроблено оригінальний вимірювальний комплекс для вимірювання крутного моменту при розробці горизонтальних свердловин гвинтовим ґрунтопроколюючим робочим органом.

*Ключові слова:* бестраншейні технології, інженерні комунікації, горизонтальна свердловина, установка, гвинтовий робочий орган, прокол ґрунту.

**TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR SOIL PUNCTURE BY USING PULLING  
POWER OF A «SCREW BLADE–SOIL» PAIR**

**S. Vivchar, P.G., Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* The experimental desk for conducting the research in natural ground conditions of the working process for soil puncture by using pulling power of a ‘screw blade-soil’ pair is offered. An original measuring system for measuring a torque when developing horizontal wells by the screw-shaped soil puncturing actuating device has been developed.

*Key words:* trenchless technologies, service lines, horizontal well, plant, screw blade working tool, soil thrust.

**Введение**

Технологии бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций приобретают все большую значимость при их строительстве и

ремонте, особенно в стесненных городских условиях. Существующие технологии формирования горизонтальных скважин в грунте имеют свои области рационального применения. Среди них интерес представляют

наиболее часто встречающиеся случаи прокладки распределительных сетей трубопроводов и кабелей различного назначения, у которых диаметр скважины находится в пределах 300 мм, а длина переходов под дорогами, как правило, ограничивается короткими участками до 15 – 20 м. Повышение эффективных способов разработки скважин малогабаритными установками для данных условий является актуальной задачей.

### Анализ публикаций

Общие закономерности процессов прокола грунта и расширения скважины раскрыты в работах [1, 2]. Результаты исследований влияния конструкций лопастей на процессы при вертикальном завинчивании якорных устройств и винтовых свай хорошо раскрыты в работах [3 – 5]. В диссертационных работах [6, 7] предлагаются основы теории взаимодействия пары «винтовая лопасть – грунт» для этих случаев.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является научное обоснование параметров и особенностей оборудования для прокола грунта с использованием тянущей силы пары «винтовая лопасть – грунт». Одной из задач для достижения поставленной цели является создание экспериментального оборудования для проведения натурных исследований процессов прокола грунта.

### Технология и оборудование для прокола грунта

В основе экспериментального комплекса лежит предложенное автором техническое ре-

шение, которое базируется на гипотезе формирования горизонтальной скважины путем радиального уплотнения грунта конусным наконечником, продвигающимся в массиве по принципу самозавинчивания винтового рабочего органа. Этот принцип хорошо описан в работах [8, 9]. Схематично предложенная технология прокола представлена на рис. 1. Как видно из рисунка, для формирования горизонтальной скважины (1) между приямками (2) нужен винтовой рабочий орган (3) и наборные штанги (4) для передачи на него вращательного движения от силовой установки (5). Процесс образования скважины рассчитан на самопродвижение прокалывающей головки в грунте только за счет её вращения, без приложения к ней внешних осевых напорных усилий. Для научного обоснования возможности реализации предложенной технологии и оборудования для прокола грунта с использованием тянущей силы винтовых лопастей и оценки влияния параметров винтового рабочего органа на процесс прокола в полевых условиях была создана экспериментальная установка (рис. 2).

Экспериментальная установка состоит из рамы (1) с направляющими (2), на которой монтируется на передвижной рамке (3) мотор-редуктор (4). Продольное перемещение рамки по направляющим и регулировка её положения производится при помощи опорных роликов (5). На выходном валу редуктора устанавливается промежуточная муфта (6) с измерительным комплексом (7) для определения крутящего момента, через которую производится соединение наборных штанг (8) с винтовым грунтопрокалывающим органом (9).

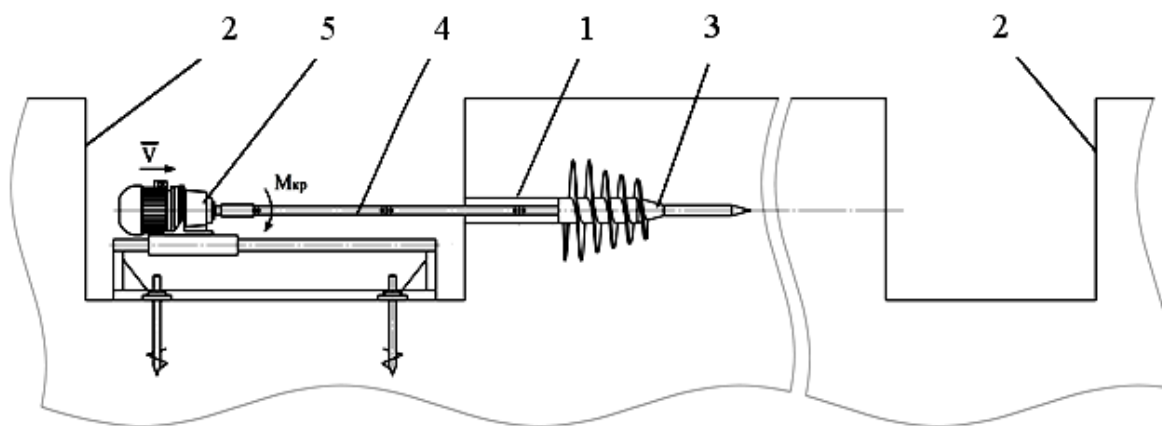


Рис. 1. Метод горизонтального прокола грунта с помощью винтового рабочего органа

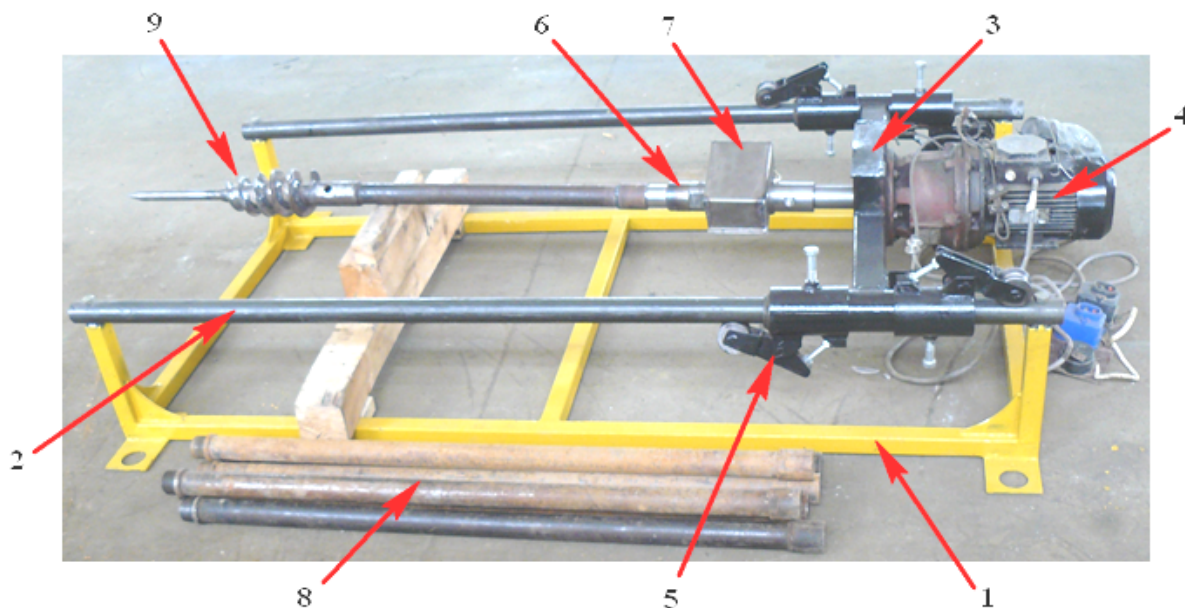


Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования процессов прокола грунта: 1 – рама; 2 – направляющие; 3 – рамка мотор-редуктора; 4 – мотор-редуктор; 5 – опорные ролики; 6 – промежуточная муфта; 7 – измерительный комплекс; 8 – штанги; 9 – винтовой грунтопрокалывающий орган

При включении мотор-редуктора происходит завинчивание лопастей винтового рабочего органа в грунтовой массив и перемещение мотор-редуктора по направляющим. При прохождении прокола на длину штанги происходит отключение привода, его отсоединение от штанги и обратное перемещение рамки в начальное положение. После присоединения последующей штанги процесс завинчивания повторяется.

В силу того, что измерение крутящего момента необходимо проводить в точке, которая постоянно вращается и находится в возвратно-поступательном движении, передача электрических сигналов от тензометрических датчиков, установленных на муфте, к аналого-цифровому преобразователю и компьютеру с соответствующим программным обеспечением по соединительным проводам является непростой задачей. Для её решения был специально разработан и изготовлен измерительный комплекс, который преобразовывает и регистрирует полученные сигналы прямо на месте его установки, то есть на промежуточной муфте.

Определение крутящего момента осуществлялось путем преобразования изменений электрических сигналов от тензорезисторов, наклеенных на промежуточной муфте, по мостовой схеме согласно [10].

Для регистрации показаний датчиков использовался специально разработанный измерительный комплекс на базе микроконтроллера ATmega 128, позволяющий преобразовывать усиленное напряжение с тензомоста в цифровой сигнал, который записывается на Flash SD-карту с расширением файла \*.dat. Частота опроса канала может варьироваться от 1 Гц до 1 кГц. Измерительный блок компактен и полностью автономен. Питание производится от аккумуляторной батареи. Настройка и управление прибором осуществляется через дисплей с помощью кнопок управления.

После произведения записи сигналов на Flash SD-карту она извлекается и переносится в стационарный компьютер, где данные обрабатываются в программных продуктах, таких как Mathcad, Matlab и др.

Общий вид измерительного комплекса и его принципиальная схема представлены на рис. 3. Прочность переходной муфты рассчитана на ее работу в пределах упругих деформаций от предельного вращательного момента 375 Н·м, который может быть реализован от редуктора с электродвигателем мощностью 2,2 кВт. В пределах этого значения крутящего момента проводилась тарировка измерительного комплекса.

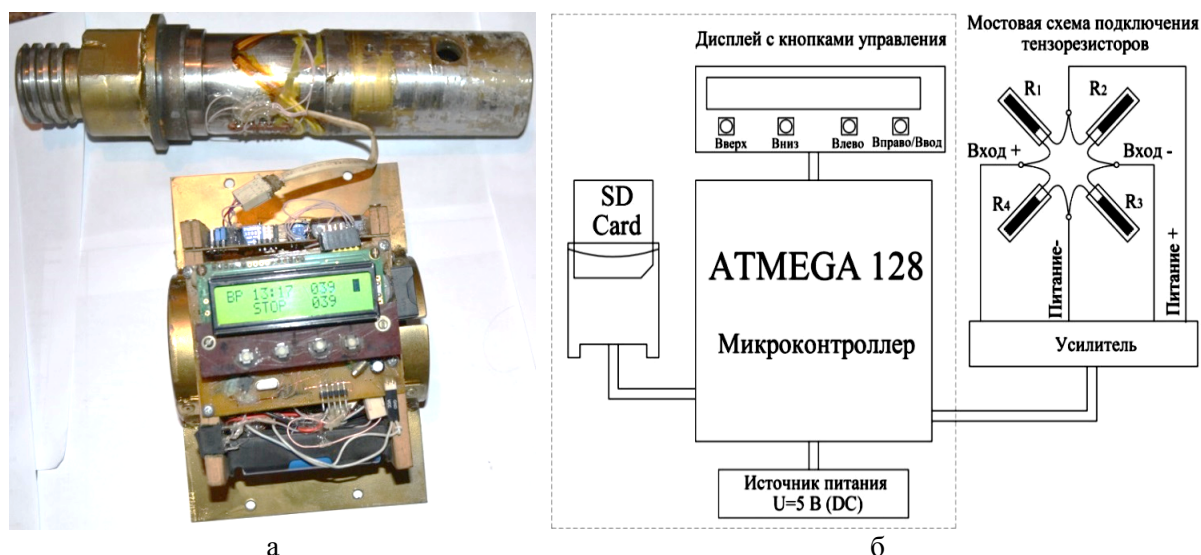


Рис. 3. Измерительный комплекс: а – общий вид с промежуточной муфтой; б – принципиальная схема

Для исследования процессов прокола и влияния на них параметров рабочих органов были изготовлены следующие конструкции винтовых прокалывающих органов (рис. 4).

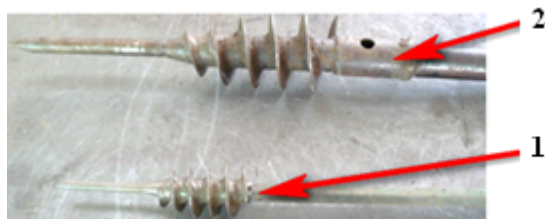


Рис. 4. Образцы винтовых прокалывающих рабочих органов: 1 – с диаметром цилиндрической части 30 мм, диаметром лопасти 67 мм, с шагом 20 мм; 2 – с диаметром цилиндрической части 48 мм, диаметром лопасти 116 мм, с шагом 35 мм

При назначении их конструктивных размеров были использованы известные рекомендации для аналогичных процессов заглубления в грунт винтовых свай и анкеров. Для всех моделей выдерживалось следующее условие соотношения их параметров относительно диаметра прокалывающего стержня  $d$ : диаметр лопасти  $D = 2,5d$ ; шаг винтовой лопасти  $t = 0,7d$ .

Экспериментальные исследования проводились в условиях полигона НПП «Газтехника» в суглинистых грунтах с прочностью по ударнику ДорНИИ, равной 6–7 ударам. Длина проходки между приямками равнялась 12 м, глубина прокола составляла не менее 1,5 м.

По итогам испытаний было установлено, что обе модели успешно прошли установленную дистанцию. Отклонение скважины от расчетной траектории на выходе находилось в пределах 0,5 м, что соответствует допустимым нормам при прокладке инженерных сетей. Скважины получились с устойчивыми, хорошо уплотненными стенками, позволяющими прокладывать в них кабели и трубопроводы. Установлено также, что техническая производительность проходки скважины методом завинчивания прокалывающей головки с винтовыми лопастями на зачетном участке составила 0,8 м/мин. Частота вращения рабочего органа при этом была равна 71 об/мин. В сравнении со статическим и динамическим методами прокола, этот темп выполнения работ более чем в 2–3 раза выше.

Экспериментальные значения усилий крутящих моментов при разработке скважины моделями винтовых рабочих органов для скважин диаметрами 30 мм и 48 мм представлены в виде фрагмента осциллограмм (рис. 5).

Полученные записи при проходке заданного зачетного участка позволили установить характер процесса прокола грунта винтовым рабочим органом. Условно его можно разбить на три этапа: внедрение головки в грунт с приращением усилия вращения, этап проходки скважины с относительно постоянным усилием и выход головки с падением усилия вращения.

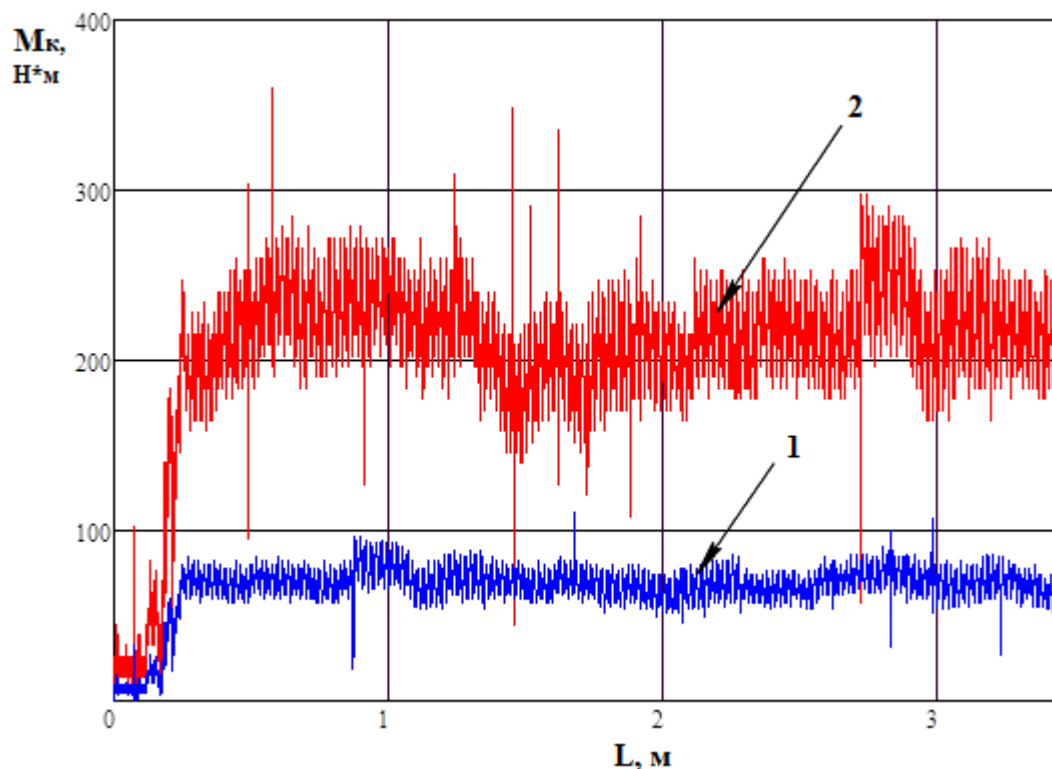


Рис. 5. График зависимости крутящего момента от длины и диаметра скважины: 1 – рабочий орган с диаметром цилиндрической части 30 мм, диаметром лопасти 67 мм, с шагом 20 мм; 2 – рабочий орган с диаметром цилиндрической части 48 мм, диаметром лопасти 116 мм, с шагом 35 мм

Анализ графика также показал, что увеличение диаметра скважины в 1,7 раза влечет за собой увеличение крутящего усилия при внедрении винтового рабочего органа более чем в 2,5 раза. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе параметров силовой установки и расчете ее привода.

Экспериментальное подтверждение работоспособности предложенной технологии и оборудования для прокола позволяет оценить возможности их практического применения в пределах небольших диаметров. Поскольку размеры скважин для распределительных сетей, как правило, требуется формировать до 300 мм, то целесообразно проведение дальнейших исследований с применением тянущей силы пары «винтовая лопасть – грунт» при расширении лидерной проходки до необходимого размера с использованием возможностей созданного экспериментального стенда.

### Выводы

Предлагаемое экспериментальное оборудование позволяет проводить весь цикл поле-

вых исследований процесса прокола грунта с использованием тянущей силы пары «винтовая лопасть – грунт», а также подтверждает возможность разработки горизонтальной скважины более легкой и компактной установкой.

Экспериментальными исследованиями, проведенными на полигоне НПП «Газтехника», подтверждена работоспособность и уникальность конструкции установки, которая позволяет осуществлять замер крутящего момента, передаваемого от силового привода вращения на винтовой рабочий орган в процессе его работы.

Предложен оригинальный регистрирующий комплекс, который осуществляет преобразование электрического сигнала от тензорезисторов и его запись на карту памяти. Его исполнение в виде автономного устройства позволяет проводить замеры крутящего момента непосредственно на выходном валу силового привода экспериментальной установки, работающего в условиях продольной подачи с одновременным вращением рабочего оборудования.

Установлено, что процесс прокола грунта винтовым рабочим органом состоит из трех этапов: внедрения головки в грунт с приращением усилия вращения, этапа проходки скважины с относительно постоянным усилием и выхода с его падением. При увеличении диаметра скважины в 1,7 раза крутящее усилие при внедрении винтового рабочего органа увеличивается более чем в 2,5 раза.

### Литература

1. Ромакин Н.Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н.Е. Ромакин, Н.В. Малкова // Строительные и дорожные машины. – 2006. – №10. – С. 35–37.
2. Васильев Н.В. Закрытая прокладка трубопроводов / Васильев Н.В. – М.: Недра, 1964. – 214 с.
3. Цюрупа И.И. Инженерные сооружения на винтовых сваях / И.И. Цюрупа, И.М. Чистяков. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 78 с.
4. Боград Л.Я. Винтовые сваи и анкера в электросетевом строительстве / Л.Я. Боград. – М.: Энергия, 1967. – 200 с.
5. Железков В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства / В.Н. Железков. – С.Пб.: Прагма, 2004. – 128 с.
6. Мартюченко И.Г. Развитие научных основ создания винтовых рабочих органов для разработки мерзлых грунтов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.04 / Мартюченко Игорь Гаврилович. – Саратов, 2006. – 360 с.
7. Лебедев С.В. Обоснование оптимальных параметров винтовых анкеров и редуктора привода вращения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Лебедев Сергей Владимирович. – Новочеркасск, 2012. – 206 с.
8. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор: монография / В.А. Пенчук. – Донецк: Ноулидж. – 2010. – 180 с.
9. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор / В.А. Пенчук. – К.: Будівельник. – 1985. – 96 с.
10. Немец И. Практическое применение тензорезисторов / И. Немец. – М.: Энергия, 1970. – 144 с.

Рецензент: Н.Д. Каслин, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 14 марта 2016 г.