



**О ВЕЛИЧИНЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАБОЧИЙ ОРГАН ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЕГО
В ПОРОДНЫЙ МАССИВ СПОСОБАМИ ПРОКОЛА И ПРОДАВЛИВАНИЯ**

Б. Б. Данилов, Д. О. Чешчин

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: dimixch@mail.ru,
ул. Красный проспект 54, г. Новосибирск, Россия*

Выполнен сравнительный анализ технологических особенностей способов прокола, продавливания и их комбинирования при сооружении горизонтальных скважин в грунтовом массиве. Приведены результаты экспериментальных исследований процесса взаимодействия скважинообразующего инструмента с грунтом для указанных способов. Обоснована перспективность комбинированного способа для расширения технологических возможностей процесса сооружения скважин.

Бурение, прокол, скважины, расширители, бестраншейные технологии

**ON SIGNIFICANCE OF FORCE IMPACT ON THE WORKING TOOL CUTTING
INTO ROCK MASS BY PUNCTURE AND PIPE RAMMING METHODS**

B. B. Danilov and D. O. Cheshchin

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: dimixch@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

This paper provides a comparative analysis of technological characteristics of the methods of puncture and pipe ramming and their combination in horizontal hole-making in soil mass. The results of experimental studies of the interaction between the working tools and soil massive for these methods are given. The combined method potential for expanding the technological capabilities of boreholes construction is substantiated.

Drilling, puncture, holes, hole-reaming tool, trenchless technologies

Бестраншейные способы сооружения коммуникаций играют важную роль в подземном строительстве. В настоящее время существует необходимость дальнейшего ускоренного развития методов ведения подземных работ и создания для этого новых технических средств.

В основе многообразия технологий сооружения горизонтальных скважин в приповерхностном грунтовом слое земной коры находятся три способа — прокол, продавливание и бурение. С учетом их технологических особенностей сложилось некоторое, хотя часто и весьма условное, разделение сфер их применения.

При проколе рабочий орган внедряется в грунтовый массив, образуя при этом полость за счет вытеснения некоторого объема грунта на периферию скважины. Происходит реструктуризация грунта, повышение его плотности на стенках скважины и в некотором объеме вокруг нее. Зона значительных деформаций достигает величины трех, иногда четырех диаметров скважины [1, 2], что приводит к увеличению энергоемкости процесса. Поэтому верхний предел диаметра скважин, образуемых способом прокола, для большинства видов оборудования составляет 300–350 мм.

В зависимости от вида силового воздействия принято различать проколы статические, вибрационные и виброударные. Наиболее эффективным является способ виброударного прокола, получивший мощный импульс в своем развитии, когда в ИГД СО РАН были созданы надежно

работающие пневматические машины ударного действия [3]. Исследования процессов уплотнения грунта показывают, что при ударно-импульсном воздействии на инструмент перемещения грунта в окрестности скважины уменьшаются в 1.3–1.6 раза по сравнению с процессом внедрения под действием статического усилия [4]. Это обеспечивает более высокую плотность грунтового слоя непосредственно на стенках скважины и повышает ее устойчивость. Объясняется такой эффект инерционностью грунтовой массы, проявляющейся при высокой скорости ее деформирования.

Продавливание относится к способам проходки с выемкой грунта и лидирующей обсадкой скважин стальной трубой. В связи с тем, что при продавливании разрушение грунта происходит по периметру скважины, силы сопротивления могут быть существенно меньше, чем при проколе. Соответственно, и энергоемкость продавливания, как правило, меньше по сравнению с проколом. Особенность этого способа — наличие значительного, так называемого, “свайного эффекта”. Его суть заключается в том, что поступающий внутрь трубы грунт (кern) тормозится силой трения о внутреннюю поверхность трубы. Тем самым создается препятствие, затрудняющее движение следующих порций грунта, который все более уплотняется, способствуя дальнейшему возрастанию силы трения вплоть до возникновения грунтовой пробки. Дальнейшее внедрение трубы становится возможным только после удаления грунтовой пробки.

В ИГД СО РАН разработаны основы комбинированной технологии сооружения скважин, сочетающей в себе достоинства способов прокола и продавливания [5]. Суть комбинированного способа состоит в том, что определенная часть грунта не извлекается из скважины, а вдавливается в ее стенки (рис. 1). Скважина приобретает дополнительную устойчивость, что позволяет при необходимости обойтись без ее обсадки и применения закрепляющих буровых растворов. Зона деформаций грунта вокруг скважин имеет незначительные размеры, а энергоемкость процесса формирования скважины невелика.

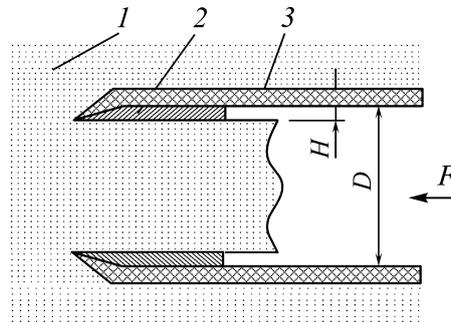


Рис. 1. Схема формирования скважины кольцевым инструментом: 1 — грунтовой массив; 2 — кольцевой инструмент; 3 — уплотненные стенки скважины; F — рабочее усилие; H — толщина кольца; D — диаметр скважины

Для сравнительного анализа величины усилий, возникающих при взаимодействии инструмента с грунтом при формировании скважины разными способами, проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях на специальном стенде “грунтовой канал”. В качестве макетного образца скважинообразующего инструмента использовалась стальная труба диаметром 0.09 м и длиной 1.5 м. На переднем торце макета располагались попеременно насадки для проходки скважины комбинированным способом с частичным уплотнением грунта и способом прокола. Установка для проведения эксперимента (рис. 2) состоит из маятникового копра 4, смонтированного на корпусе грунтового канала 1 при помощи ползьев 3. Передний торец грунтового канала закрыт крышкой 2 с тремя отверстиями, которая фиксировалась четырьмя стальными уголками. Направляющая неподвижно крепилась к стальному листу 6 металлической стойкой 7, а к крышке 2 — планкой 8. На конце макетного образца инструмента для передачи ему энергии удара приварена пятка 9.

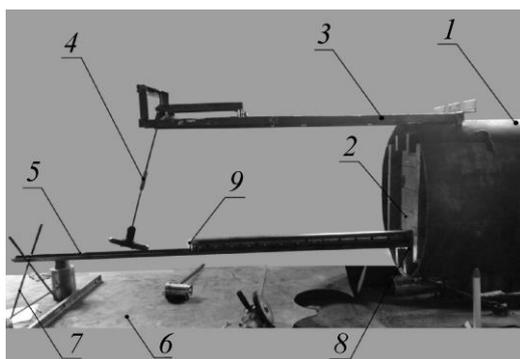


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Эксперимент состоял из трех серий, в каждой из которых осуществлялось по три опыта с заглублением макетного образца скважинообразующего инструмента. В первой серии макетный образец заглублялся в грунт с открытым передним торцом, во второй — с установленной на передний конец конусной насадкой для проходки скважины способом прокола грунта (рис. 3), а в третьей — с насадкой, обеспечивающей проходку скважины комбинированным способом с частичным уплотнением грунта.



Рис. 3. Насадки, формирующие скважину

В каждой серии макетный образец с разными насадками заглублялся последовательно в грунт через три равноудаленных отверстия в деревянной щите, которые находились друг от друга на расстоянии четырех диаметров макетного образца и на расстоянии трех его диаметров — от стенок грунтового канала. Расстояния выбраны из условия исключения влияния деформаций грунтового массива на процесс формирования скважины [3].

Для определения силы трения между инструментом и грунтом использовался косвенный метод измерения. Измерялась величина момента, необходимого для поворота макетного образца в грунте относительно продольной оси инструмента и скважины. При одинаковом диаметре величина момента соответствует силе трения инструмента с грунтом. Усилие, необходимое для поворота макета инструмента в грунте, определялось с помощью динамометра при плече силы, равном 0.55 м.

После каждой серии опытов грунт извлекался из грунтового канала через люки, после чего заново уплотнялся слоями толщиной 0.1 м. Прочность каждого слоя, измеренная с помощью плотномера ДОРНИИ, составляла $C = 3 \div 4$ единицы.

Результаты предварительных опытов показали, что резкое увеличение момента, необходимого для поворота макета инструмента в грунте и, соответственно, силы трения, наступает после заглубления инструмента на 0.7 м независимо от его типа. Для исключения влияния фактора длины инструмента его конструкция была изменена таким образом, что после заглубления образца в грунт на 0.7 м площадь боковой поверхности, контактирующей с грунтом, оставалась неизменной. Результаты опытов приведены на рис. 4.

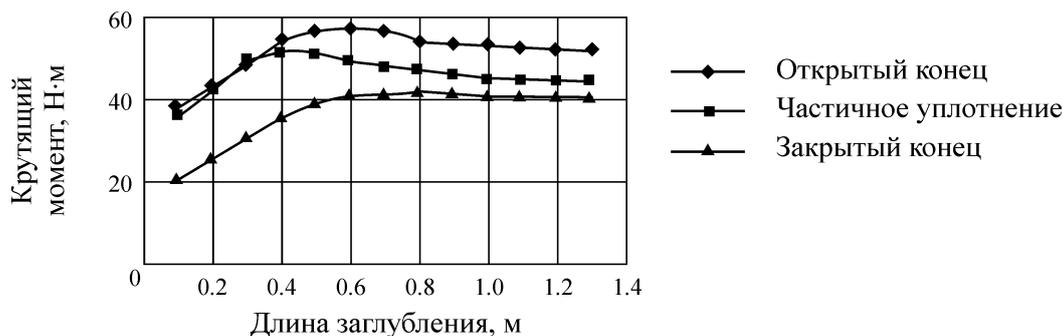


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от длины заглабления в грунт макетного образца скважинообразующего инструмента при уточняющем эксперименте

Видно, что при длине рабочего органа 0.7 м кривые выполаживаются, свидетельствуя о том, что рациональная длина калибрующей части рабочего органа находится в этих пределах. Наименьшая сила трения инструмента с грунтом достигается при внедрении способом прокола, а наибольшая — продавливания. Сила трения в случае комбинированного способа имеет промежуточное значение. Наиболее вероятно это объясняется тем, что по мере увеличения плотности грунта на стенках скважины уменьшается упругая составляющая реакции грунта.

ВЫВОДЫ

Комбинированный способ, будучи компромиссным по своей сути, в отличие от прокола дает возможность осуществлять прокладку скважин без ограничения их диаметра. При этом стенки скважины уплотняются, что позволяет, в отличие от продавливания, укреплять ее обсадной трубой после формирования скважинного пространства (технология с последующей обсадкой) или вообще не использовать ее. Использование комбинированного способа является перспективным направлением совершенствования техники для прокладки скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Kostylev A. D.** Analysis of well penetration by pneumatic punches, *Journal of Mining Science*, 2000, no. 3, pp. 95–100 (in Russian) [**Костылев А. Д.** Анализ проходки скважин пневмопробойниками // ФТПРПИ. — 2000. — № 3. — С. 95–100.]
2. **Timoshenko V. K.** The effect of tip shape on puncture force, *Pipeline construction*, 1968, no. 4, pp. 18–22 (in Russian) [**Тимошенко В. К.** Влияние формы наконечника на усилие прокола // Строительство трубопроводов. — 1968. — № 4. — С. 18–22.]
3. **Bondar M. Yu.** Self-moving pneumatic percussion machines, *Overview*, Moscow, TsNIITestroymash, 1978, 53 pp. (in Russian) [**Бондарь М. Ю.** Самопередвигающиеся пневматические машины ударного действия. Обзор. — М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. — 53 с.]
4. **Isakov A. L. and Tkachuk A. K.** Stress-strain state of the soil mass when the pneumatic punch is moving in it, *Journal of Mining Science*, 2000, no. 2, pp. 23–28 (in Russian) [**Исаков А. Л., Ткачук А. К.** Напряженно-деформированное состояние массива грунта при движении в нем пневмопробойника // ФТПРПИ. — 2000. — № 2. — С. 23–28.]
5. **Danilov B. B.** Ways to improve technologies and technical means for trenchless laying of communications, *Journal of Mining Science*, 2007, no. 2, pp. 69–75 (in Russian) [**Данилов Б. Б.** Пути совершенствования технологий и технических средств для бестраншейной прокладки коммуникаций // ФТПРПИ. — 2007. — № 2. — С. 69–75.]