

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ГРУНТОПРОХОДЧИКА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Игорь Владимирович Тищенко

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории механизации горных работ, тел. (383)205-30-30, доп. 210, e-mail: ighor.tishchienko.70@mail.ru

Рассмотрены особенности комбинированного способа образования скважин с частичным уплотнением и экскавацией грунта. Предложена схема с непрерывным циклом проходки и транспортированием грунтового керна по трубопроводу потоком отработанного сжатого воздуха. Исследована возможность использования для привода грунтопроходчика пневмомолота с упругим клапаном в системе воздухораспределения. На примере физической масштабной модели с массой ударника 4 кг уточнен характер изменения энергетических и частотных показателей импульсного генератора при наличии противодействия в выхлопной камере. Получены экспериментальные кривые составляющих параметров ударной мощности.

Ключевые слова: скважина, комбинированный способ проходки, грунтопроходчик, давление сжатого воздуха, энергия и частота ударов.

SUPPOSITIONS OF DEVELOPMENT OF SOIL DRIFTER OF CONTINUOUS ACTION

Igor V. Tichshenko

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Mining Mechanization, phone: (383)205-30-30, extension 210, e-mail: ighor.tishchienko.70@mail.ru

Features of combined method of hole forming with particular compaction and excavation of soil are considered. Scheme with continuous cycle of drifting and transportation of soil core-sample at pipe line by flow of worked air is proposed. The possibility of using pneumohammer with elastic valve in system of air distribution as drive for soil drifter is studied. Behavior of change of its energetic indicators when there is backpressure at exhaust chamber is clarified.

Key words: hole, combined method of drifting, soil drifter, compressed air pressure, percussing energy and frequency.

Бестраншейные технологии прокладки подземных коммуникаций находят все большее распространение в современной практике подземного строительства ввиду их неоспоримых преимуществ, а так же существенного ужесточения требований норм и правил, касающихся уменьшения техногенной нагрузки на существующие природные ландшафты и максимально возможного сохранения структуры наземных транспортных магистралей [1–5]. Среди таких технологических приемов определенное место на рынке может занять предложенный в ИГД СО РАН комбинированный способ проходки скважин в породном мас-

сиве, когда часть грунта уплотняется в радиальном направлении, обеспечивая тем самым устойчивость стенок канала, а другая – удаляется за его пределы. Исследования показали, что в результате удалось достичь снижения энергоемкости и упрощения техники ведения работ за счет отказа от применения закрепительных растворов, устранения переуплотнения грунтового массива и исключения необходимости разработки всего сечения забойной зоны [6 – 8].

Все известные на данный момент проходческие установки для образования каналов с частичным уплотнением и экскавацией грунта можно разделить на две группы: непрерывного и циклического действия. В первом случае разработка забоя и продвижение грунтопроходчика происходит одновременно с разделением грунтовой массы на фракции и удалением керна за пределы получаемой скважины, а во втором эти операции технологически разделены по времени.

К установкам непрерывного действия относится комплект специального оборудования с кольцевым режущим органом, приводимым в действие пневматическим импульсным механизмом и транспортированием грунта потоком сжатого воздуха от компрессорной станции [9]. В качестве ударного узла устройства (рис. 1) использован пневмопробойник 1, на передней части которого установлена втулка 2 с поперечными ребрами 3 для закрепления рабочего органа 4 с наружной цилиндрической обечайкой 5 и наклонными кольцевыми ножами 6. В передней части имеется сопло 7 для подхватывания измельченных грунтовых фракций потоком сжатого воздуха, поступающего в забойную зону через отверстие во фланце 8 с предохранительным клапаном 9. Запуск оборудования в работу включает предварительную проходку пионерного направляющего и транспортного канала 11, ось которого совпадает с проектной трассой перехода. При работе грунтопроходчика ребра разделяют грунт на секторы, а ножи вырезают кольцевые измельченные стружки, пригодные для пневмотранспортирования. Перемещение устройства сопровождается образованием конечной скважины 11. В ходе полевых испытаний оборудования были выявлены следующие недостатки:

- большой расход сжатого воздуха для обеспечения достаточной скорости потока в полости расширителя;
- возможно подрезание стенки скважины передней кромкой направляющей и увод устройства от проектной оси перехода;
- низкая эффективность работы в плотных и глинистых грунтах.

Принцип циклической проходки реализован в оборудовании, осуществляющем комплексное нагружение грунтового массива динамическим импульсным воздействием грунтопроходчика и статическим усилием тягового устройства [10, 11]. Схема проходческой установки в базовом ее исполнении представлена на рис. 2. Она состоит из пневмоударного механизма 1 с кольцевым рабочим органом 2, являющимися основными функциональными элементами проходчика, доставляемого к забою по скважине 3 тяговым устройством двустороннего действия 4 из рабочего котлована 5 посредством подающего 6 и извлекающего 7 стальных канатов через обводной блок 8, находящийся в выход-

ном приямке 9. Расширитель выполнен в виде обечайки 10 с поперечными ребрами 11 и центральной втулкой 12. Передний торец рабочего органа имеет уплотняющий конус 13 для формирования стенок скважины. Режим работы оборудования состоит из повторяющихся промежуточных технологических циклов, включающих подачу грунтопроходчика к забою, разработки забойной зоны, извлечения устройства с удаляемой частью грунта из скважины.

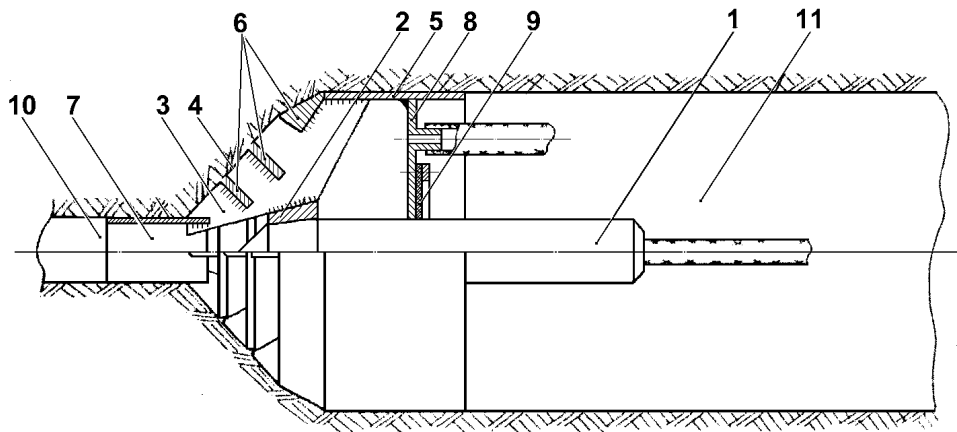


Рис. 1. Грунтопроходчик с пневмотранспортированием грунта:

- 1 – пневмопробойник; 2 – втулка; 3 – ребро; 4 – рабочий орган; 5 – обечайка; 6 – кольцевые ножи; 7 – сопло; 8 – фланец; 9 – предохранительный клапан; 10 – пионерный канал; 11 – скважина

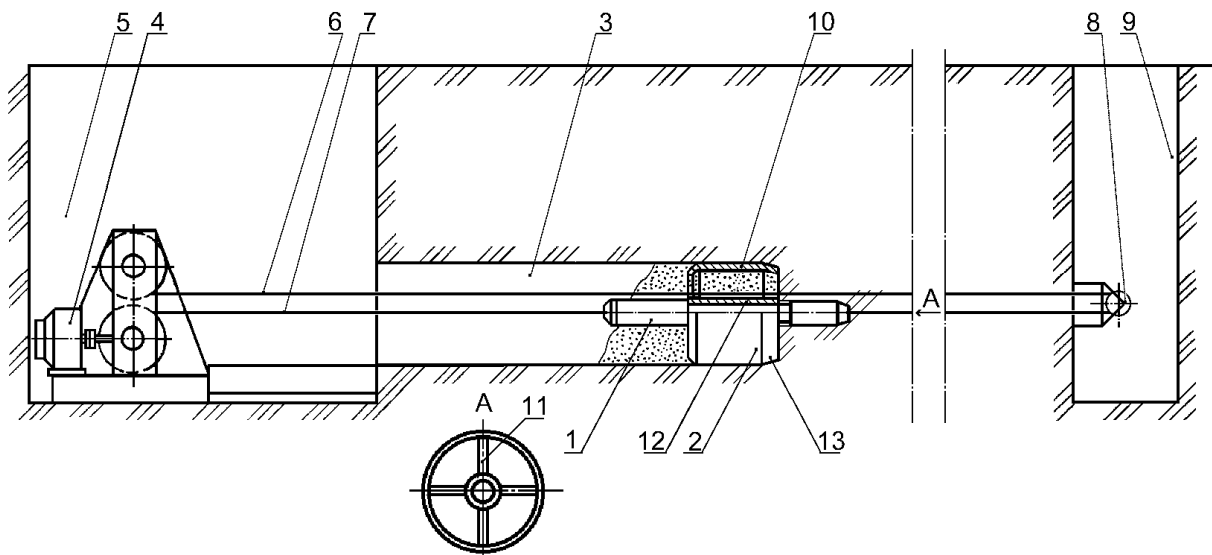


Рис. 2. Схема проходческой установки циклического действия:

- 1- пневмоударный механизм; 2 – рабочий орган; 3 – скважина; 4 – тяговое устройство; 5 – рабочий котлован; 6 – подающий канат; 7 – извлекающий канат; 8 – обводной блок; 9 – выходной приямок; 10 – обечайка; 11 – ребро; 12 – втулка; 13 – уплотняющий конус

Опытный образец такого грунтопроходческого комплекса прошел полевые испытания на полигоне ИГД СО РАН и на различных строительных площадках в г. Новосибирске. При этом было пройдено около 200 м промышленных скважин диаметром 325–426 мм, предназначенных для размещения коммуникаций различного назначения. В ходе испытаний было установлено, что оборудование в целом удовлетворяет предъявляемым требованиям по большинству технических и эксплуатационных характеристик. Наиболее существенным недостатком является невозможность совмещения операций по образованию канала с одновременной затяжкой в него защитной оболочки или продуктопровода, что ограничивает использование предложенных технических средств для производства работ в слабых и обводненных грунтах.

Для решения таких задач и с целью дальнейшего совершенствования комбинированного способа проходки скважин был проведен дальнейший цикл исследований, по результатам которых предложена принципиальная схема проходческой установки непрерывного действия [12] (рис. 3).

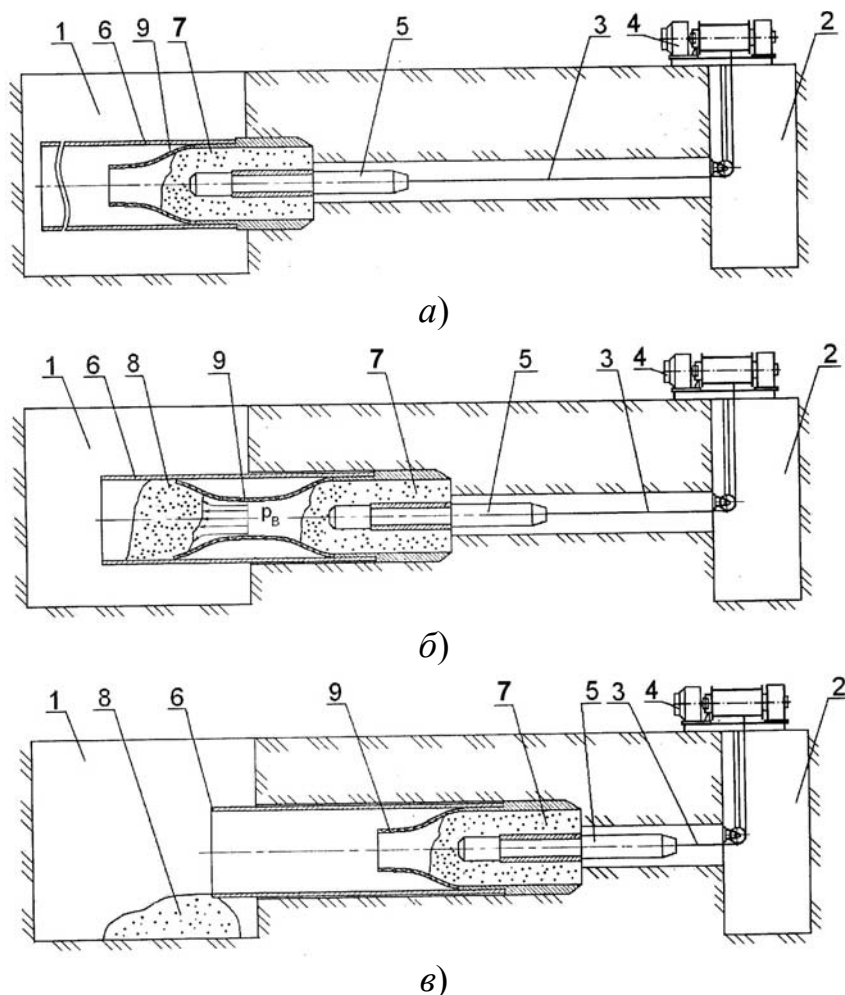


Рис. 3. Схема проходческой установки непрерывного действия при разработке забоя (а), формировании (б) и удалении (в) грунтового керна из трубопровода:

1 – рабочий котлован; 2 – выходной прямок; 3 – подающий канат; 4 – тяговый механизм; 5 – пневмоударное устройство; 6 – трубопровод; 7 – грунт; 8 – грунто-вая пробка; 9 – диффузор

Подготовительные операции включают образование лидерного связующего канала между входным 1 и выходным прямыми 2, в котором размещают подающую гибкую связь 3, соединяющую силовой тяговый орган 4 с пневмоударным устройством 5, осуществляющим образование скважины с одновременной затяжкой в нее трубопровода 6. Кольцевой режущий рабочий орган грунтопроходчика дополнительно оснащен диффузором 9, способствующим формированию порционных грунтовых масс.

Проходка осуществляется путем разработки забоя и перемещения поступающего грунта 7 в трубную полость для последующей эвакуации (рис. 3, а). При этом по мере продвижения грунтопроходчика количество грунтовой массы возрастает, а наличие участка сужения в виде эластичного рукава способствует ее накоплению и уплотнению. Таким образом, формируется керновая пробка, перекрывающая выход отработанного сжатого воздуха пневмоударного устройства в атмосферу (рис. 3, б). В образовавшейся полости возрастает противодавление, которое, достигнув критического порогового значения $p_в$, создает необходимое статическое усилие для удаления грунта из прокладываемого трубопровода (рис. 3, в). По мере продвижения грунтопроходчика в породном массиве описанная технологическая последовательность многократно повторяется.

В качестве ударного привода целесообразно использовать генератор, основанный на принципе пневмомолота с упругим клапаном в системе воздухораспределения. Такие устройства созданы в ИГД СО РАН, известны на рынке под маркой «Тайфун» и хорошо зарекомендовали себя при выполнении специальных строительных работ в широком спектре климатических и производственных условий эксплуатации [13].

Основными элементами пневмомолота (рис. 4) являются ударник 1, наковальня 2, закрепленная на цилиндрическом корпусе 3, задняя гайка с воздухоподводящим патрубком 4. Рабочие камеры прямого A_1 и обратного A_2 хода соединены дроссельным каналом 5. Управление фазой выхлопа осуществляется посредством кольцевого упругого клапана 6. При этом отработанный сжатый воздух попадает в полость A_3 , сообщенную с атмосферой.

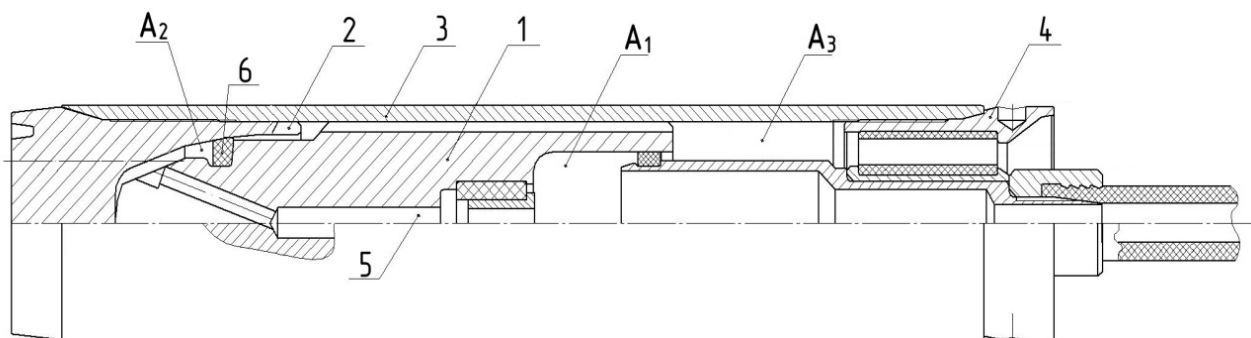


Рис. 4. Устройство пневмомолота:

1 – ударник; 2 – наковальня; 3 – корпус; 4 – задняя гайка; 5 – дроссельный канал; 6 – упругий клапан; A_1 , A_2 – камеры прямого и обратного хода; A_3 – выхлопная камера

Как указано выше, при создании данного оборудования одним из специфических требований является необходимость эффективной работы пневмоударного привода при наличии противодействия со стороны выхлопного тракта. Для изучения таких критических режимов рабочего цикла импульсного механизма проведен цикл лабораторных экспериментов. В качестве объекта исследований была выбрана модель пневмомолота «Тайфун-4» с массой ударной части $m_y = 4$ кг [14].

Работы проводились на специальном стенде (рис. 5). Его механическая часть включала переднюю цилиндрическую капсулу 1, с закрепленным в ней ударным устройством, отработанный сжатый воздух которого поступал в герметичную полость 2 и накапливался в ней, имитируя условия работы при наличии дополнительного сопротивления в выхлопном тракте машины. Величина противодействия регулировалась воздушным краном Кр и визуально контролировалась по показаниям манометра Мн. Измерительная цепь состояла из датчиков давления $D_1 - D_3$, блока усилителей электрического сигнала БУ, аналого-цифрового преобразователя АЦП, соединенного с переносным компьютером. Данные обрабатывались стандартным пакетом программ Power Graph Professional и Excel.

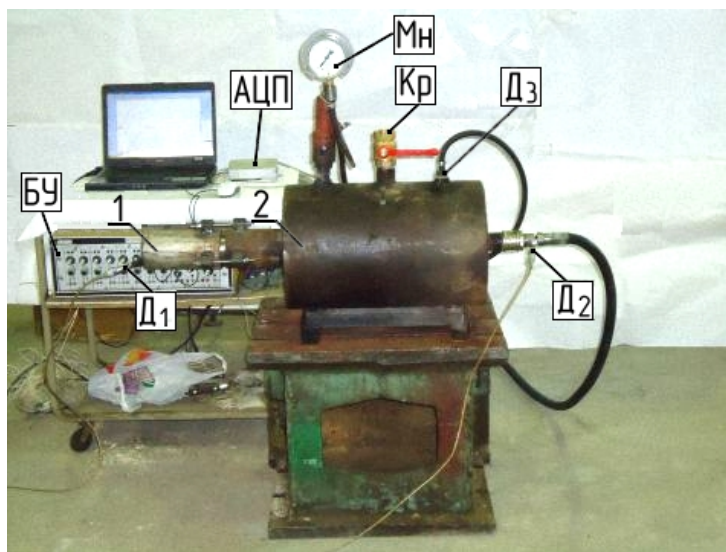


Рис. 5. Схема измерительного стенда:

1 – капсула; 2 – полость; D_1, D_2, D_3 – датчики давления; БУ – блок усилителей; АЦП – преобразователь сигнала; Кр – кран; Мн – манометр

Полученные результаты позволили уточнить характер изменения рабочего цикла устройства ударного действия с кольцевым упругим клапаном в воздухо-распределительной системе при наличии дополнительного сопротивления отработанному воздушному потоку со стороны выхлопной камеры. В ходе проведения экспериментов данный показатель измерялся величиной противодействия, которая изменялась в диапазоне: $p_3 = 0 - 0,5$ МПа. В итоге во всем иссле-

двум интервалам отмечалась устойчивая стабильная работа машины при магистральном давлении подаваемого энергоносителя 0,6 МПа. Как видно из представленных графиков (рис. 6), накопление отработанного сжатого воздуха сопровождается практически монотонным снижением энергии импульсного воздействия от своего исходного значения: $E = 40$ Дж при $p_3 = 0$ до $E = 1,5$ Дж при максимуме противодействия: $p_3 = 0,5$ МПа. Обратная картина наблюдается с изменением частотной компоненты ударной мощности модели $f(p_3)$. Тенденция выражается в увеличении показателей функции от $f = 14,2$ Гц ($p_3 = 0$) до $f = 26$ Гц ($p_3 = 0,5$ МПа). Наибольший рост этого параметра зафиксирован на участке $p_3 = 0,3 - 0,4$ МПа, когда частота изменяется от 17,4 до 24 Гц.

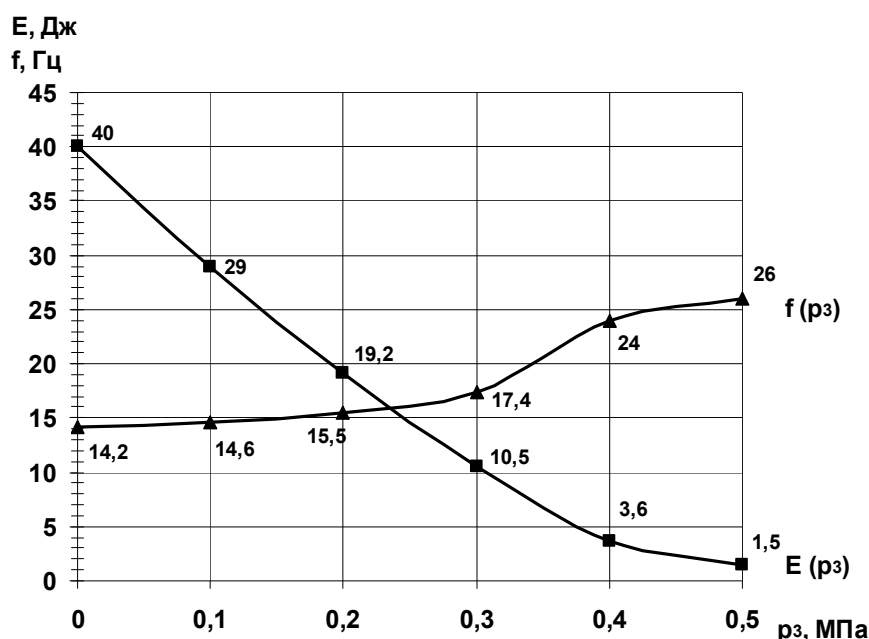


Рис. 6. Выходные параметры пневмомолота «Тайфун-4» при наличии противодействия в выхлопной камере

Отмеченные выше характерные особенности объясняются сокращением рабочего хода ударника (рис. 4) при воздействии на его заднюю торцевую поверхность дополнительного противодействия со стороны выхлопной камеры. При этом снижается его кинетическая энергия за счет падения предударной скорости разгона и уменьшается период рабочего цикла машины, сопровождаемый ростом количества наносимых ударов за единицу времени.

Изменение характера работы импульсного генератора соответствует режиму работы грунтопроходчика. Так по мере его продвижения в забое растет количество поступающей через рабочий орган керновой массы и постепенно формируется грунтовая пробка, затрудняющая выход отработанного сжатого воздуха. Возрастает противодействие в выхлопной камере, падает энергия ударного привода, что сопровождается снижением скорости разработки забойной зоны и уменьшением интенсивности накопления грунта в затрубном про-

странстве. Такая тенденция сохраняется до тех пор, пока величина давления сжатого воздуха на грунтовый керн не достигнет своего критического значения, достаточного для его отрыва от расширителя скважины и перемещения по трубе во входной приямок. Наблюдаемый при этом рост частотных показателей способствует более интенсивному очищению рабочего органа и снижению трения грунта о внутреннюю трубную поверхность при его эвакуации (эффект виброперемещения) [15, 16]. Далее после удаления очередной грунтовой порции сопротивление на выхлопе снижается до нулевой отметки и цикл работы ударного привода грунтопроходчика переходит в штатный режим, восстанавливая все исходные энергетические показатели. Скорость перемещения забоя возрастает и начинается процесс формирования новой керновой пробки.

Выводы

1. Проанализированы известные технические решения по технологии и средствам проходки горизонтальных скважин в породном массиве комбинированным способом с частичным уплотнением и экскавацией грунта.

2. Предложен альтернативный метод с непрерывной разработкой забоя пневмоударным устройством с кольцевым режущим органом, порционным выносом грунтового керна отработанным сжатым воздухом и одновременной затяжкой в образуемую скважину секционных элементов прокладываемого трубопровода.

3. На примере физической модели с массой ударника 4 кг установлен характер изменения режима работы пневмомолота с упругим клапаном в системе воздухораспределения при наличии противодействия в выхлопном тракте в диапазоне 0–0,5 МПа. Зафиксировано снижение энергетических показателей более чем в 20 раз и одновременное нарастание частотной компоненты ударной мощности в 1,8 раза. Показана возможность применения таких устройств для привода грунтопроходчика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нестле Х. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии. – М. : Техносфера, 2007.
2. Кершенбаум Н. Я., Минаев В. И. Прокладка горизонтальных и вертикальных скважин ударным способом. – М. : Недра, 1984.
3. Костылев А. Д., Гилета В. П. и др. Пневмопробойники в строительном производстве. – Новосибирск : Наука, 1987.
4. Рыбаков А. И. Основы бестраншейных технологий (теория и практика). – М. : Стройиздат, 2007.
5. Кюн Г., Шойбле Л., Шлик Х. Закрытая прокладка непроходных трубопроводов. – М. : Стройиздат, 1993.
6. Ткач Х. Б. Исследование способа и устройства для пробивания скважин с частичным удалением грунта: дис. ... канд. техн. наук / Х. Б. Ткач. – Новосибирск, 1973. – 241 с.
7. Воронцов Д. С. Обоснование принципиальной схемы и конструктивных параметров грунтопроходчика: дис. ... канд. техн. наук / Д. С. Воронцов. – Новосибирск, 2005. – 123 с.

8. Тищенко И. В. Создание оборудования для проходки скважин с частичным уплотнением и экскавацией грунта: дис. ...канд. техн. наук / И. В. Тищенко. – Новосибирск, 2006. – 124 с.
9. Ткач Х. Б. Технология и механизация расширения скважин с частичным удалением грунта. – Ярославль: Изд-во Института ОМТПС Минстроя СССР, 1976. – 2 с.
10. Пат. 2181816 Российская Федерация. Способ образования скважин в грунте и пневмоударное устройство для его осуществления / Гилета В. П., Смоляницкий Б. Н., Леонов И. П., Тищенко И. В.; опубл. 8. 08. 2002., Бюл. № 12 – 8 с.
11. Тищенко И. В., Смоляницкий Б. Н., Гилета В. П. Комбинированная проходка скважин в грунте ударными устройствами с кольцевым инструментом // ФТПРПИ. – 2006. – № 6. – С. 87 – 97.
12. Пат. 2410497 Российская Федерация. Способ бестраншейной прокладки трубопроводов / Червов В. В., Тищенко И. В., Трубицын В. В., Ванаг Ю. В.; опубл. 27.01.2011., Бюл. № 3 – 8 с.
13. Смоляницкий Б. Н., Червов В. В., Трубицын В. В. и др. Новые пневмоударные машины для специальных строительных работ // Механизация строительства. – 1997. – № 7. – С. 12–16.
14. Тищенко И. В. Модели пневматических импульсных генераторов с переменной структурой ударной мощности // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С. 79–87.
15. Червов В. В., Кондратенко А. С. Пневмомолот «Тайфун-70» и новый метод очистки трубы от грунтового керна // Механизация строительства. – 2006. – № 8. – С. 29–33.
16. Востриков В. И., Опарин В. Н., Червов В. В. О некоторых особенностях движения твердых тел при комбинированных виброволновом и статическом воздействиях // ФТПРПИ. – 2000. – № 6. – С. 82–93.

© И. В. Тищенко, 2019