

УДК 621.23.05

Б.Б. Данилов, Б.Н. Смоляницкий

Способ и буровой инструмент для изменения траектории скважины при шнековом бурении

Наиболее востребованными в настоящее время являются технологии, в которых предусматривается возможность изменения траектории проходки скважины для попадания в нужную точку подземного пространства как с поверхности земли, так и из подземной выработки. Предлагается способ изменения траектории скважины при шнековом бурении в породном массиве при разработке полезных ископаемых и подземном строительстве инженерных коммуникаций и объектов инфраструктуры. Отклоняющее усилие создается за счет того, что при смещении оси буровой головки с одной стороны корпуса рабочего органа вырабатывается избыточное скважинное пространство, а с противоположной стороны при этом возникает невыработанная область породного массива. В процессе поступательного движения корпус рабочего органа деформирует этот невыработанный слой. Сопротивление деформированию создает отклоняющее усилие, эффективность действия которого усиливается наличием свободного скважинного пространства с противоположной стороны. Основным достоинством предложенного способа является возможность управления траекторией скважины непосредственно в процессе шнекового бурения, без предварительной прокладки направляющей пионерной скважины.

Описывается конструктивная схема рабочего органа для направленного бурения скважин, в котором реализован предложенный способ управления. Важным достоинством схемы является то, что отклоняющее усилие не действует на прямолинейных участках скважины, а создается только тогда, когда возникает необходимость изменения направления оси скважины. За счет этого создаются предпосылки достижения большей прямолинейности траектории скважины и повышения точности ее выхода в заданную область подземного пространства.

Приводятся результаты экспериментальных исследований процесса бурения криволинейных скважин предложенным способом с использованием макета рабочего органа с отклоняющим устройством, выполненного в натуральную величину. В результате испытаний в лабораторных условиях на специальном стенде с грунтовым каналом определены значения конструктивных параметров рабочего органа, при которых обеспечивается криволинейная траектория скважины в выбранном направлении и достигается приемлемый для практических целей радиус кривизны, позволяющий обеспечить выход скважины в заданную точку подземного пространства.

Ключевые слова: породный массив, скважина, грунт, направленное бурение, отклоняющее усилие, траектория, величина отклонения.

Сооружение протяженных скважин в породном массиве является важнейшей составляющей технологий различных специальных работ в подземном строительстве, особенно при бестраншейной прокладке всевозможных коммуникаций. В основе бестраншейных технологий лежат три метода образования скважин – прокол, продавливание и бурение. Наиболее универсальным и широко применяемым является метод бурения [1, 2]. По способу разрушения забойной части скважины принято различать механическое и гидравлическое бурение. Установки для механического бурения отличаются более широкими технологическими возможностями и имеют вращательный режущий орган, транспортер (как правило, шнековый) и приводы подачи режущего органа и обсадной трубы [3, 4].

Наиболее востребованными в настоящее время являются технологии, в которых преду-

сматривается возможность изменения траектории проходки скважины для попадания в нужную точку подземного пространства как с поверхности земли, так и из подземной выработки [5, 6]. Анализ возможных способов создания и передачи управляющего воздействия на рабочий орган показывает, что наиболее простыми в конструктивном отношении и в достаточной мере эффективными являются способы, базирующиеся на использовании основных рабочих усилий бурового станка – крутящего момента и осевого напорного усилия.

В ИГД СО РАН разработано оригинальное отклоняющее устройство бурового рабочего органа, в котором отклонение скважины достигается за счет смещения рабочего органа вперед относительно корпуса и обсадной трубы [7]. При этом происходит и радиальное смещение буровой головки за счет поворота шарнирного рычага, соединяющего ее с обсад-

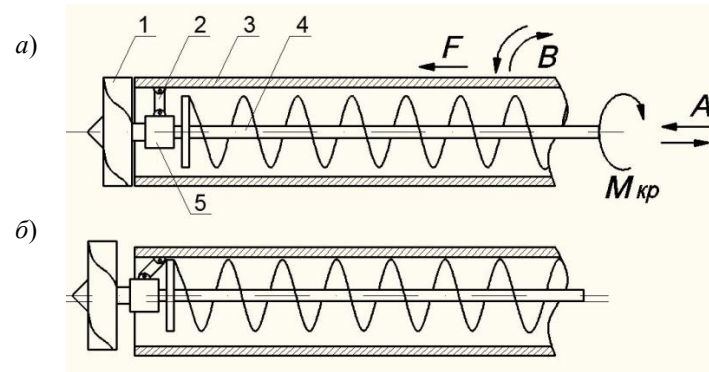


Рис. 1. Способ и буровой инструмент для изменения траектории скважины при шнековом бурении:

a – положение инструмента для прямолинейного движения; *б* – положение инструмента для отклонения скважины вверх; 1 – породоразрушающий инструмент; 2 – шарнирная подвеска; 3 – обсадная труба; 4 – шнековый транспортер; 5 – подшипниковый узел

ной трубой, которая в процессе проходки скважины не вращается, однако имеет возможность поворота на 90 или 180° в ту или иную сторону (рис. 1).

Поворотом трубы осуществляется выбор направления смещения оси вращения буровой головки, а следовательно и оси формируемой им скважины относительно продольной оси обсадной трубы. Диаметр буровой головки необходимо выбирать таким образом, чтобы при смещении ее оси в процессе бурения обеспечивалось формирование свободного пространства с соответствующей стороны наружной поверхности обсадной трубы.

Такое решение позволяет существенно упростить конструкцию бурового рабочего органа, систем управления траекторией скважины и передачи управляющих команд, обес-

печивая высокую надежность оборудования, простоту его применения и обслуживания, снижение энергоемкости процесса бурения без потери производительности.

Важным достоинством конструктивной схемы, изображенной на рис. 1, является то, что она позволяет создавать отклоняющее усилие только тогда, когда в этом есть необходимость. За счет этого создаются предпосылки большей прямолинейности траектории скважины и повышения точности ее выхода в заданную область подземного пространства [2, 8].

Конструкция прототипа рабочего органа с механизмом отклонения оси скважины за счет осевого смещения режущей головки показана на рис. 2. Механизм размещен внутри корпуса 1, который является продолжением обсадной трубы – кожуха. Основным несущим

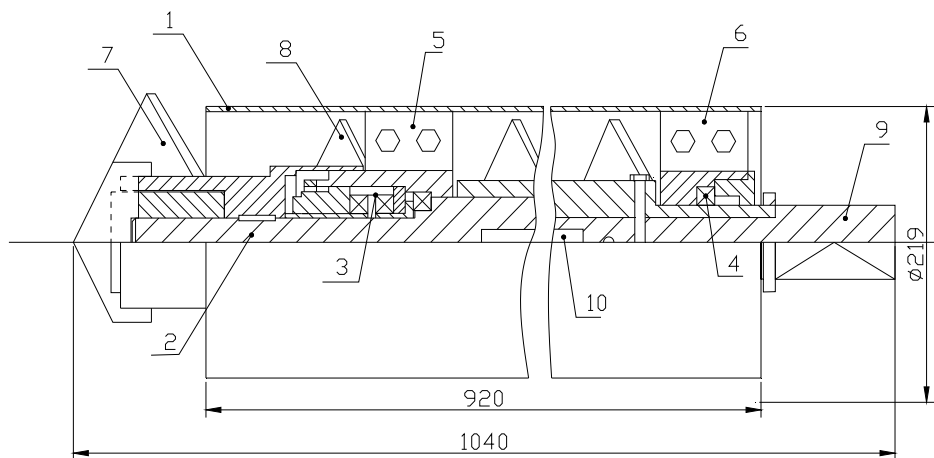


Рис. 2. Конструкция механизма изменения траектории скважины:

1 – корпус; 2 – приводной вал; 3 – передняя подшипниковая опора; 4 – задняя подшипниковая опора; 5, 6 – соединительные элементы; 7 – буровая головка; 8 – шнековая лента; 9 – хвостовик; 10 – зонд-излучатель системы подземной локации

элементом конструкции является приводной вал 2, установленный на передней и задней подшипниковых опорах 3 и 4.

В передней части приводного вала 2 установлена буровая головка 7, на боковой поверхности вала смонтирована шнековая лента 8, а заканчивается вал хвостовиком 9, который служит для передачи крутящего момента. Внутри приводного вала 2 может быть установлен зонд-излучатель 10 системы подземной локализации, сигналы которого позволяют определить местоположение и пространственную ориентацию рабочего органа в породном массиве в процессе бурения. На основе этой информации производится корректирование траектории скважины в процессе бурения.

Радиальное смещение оси буровой головки происходит в процессе перемещения вала 2 в осевом направлении. Конструкция соединительных элементов 5 и 6 допускает смещение оси вала 2 относительно оси корпуса 1 до 10 мм

в каждую сторону. При этом окружность формируемой буровой головкой скважины также смещается относительно корпуса рабочего органа и обсадной трубы. За счет этого смещения достигается отклонение оси скважины при поступательном движении корпуса рабочего органа вперед в процессе бурения.

Для проведения экспериментальных исследований процесса взаимодействия рабочего органа направленного бурения с грунтовым массивом и установления зависимости отклонения оси скважины от осевого смещения буровой головки был изготовлен прототип рабочего органа в натуральную величину (рис. 3) для бурения скважин диаметром 230 мм.

Перемещение рабочего органа в осевом направлении в процессе передачи на буровую головку управляющего воздействия достигается воздействием на него упорного оголовка 2, установленного на каретке 3 бурового станка (рис. 4). Оголовок предназначен для передачи обсадной трубе осевого усилия.

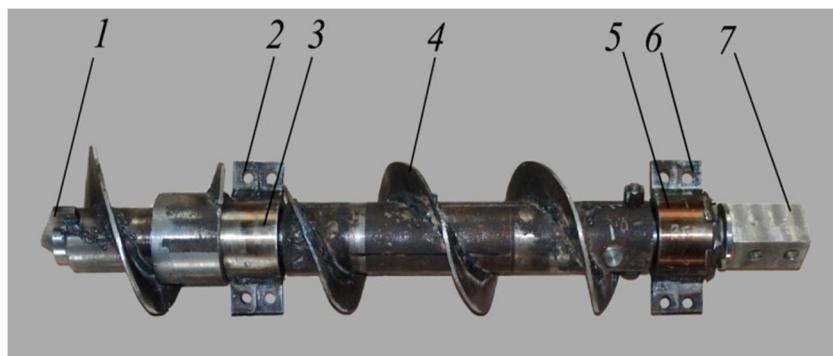


Рис. 3. Прототип рабочего органа:

1 – буровая головка; 2 – передний подшипниковый узел; 3, 6 – опорные гнезда; 4 – шнек;
5 – задний подшипниковый узел; 7 – приводной вал



Рис. 4. Конструкция тягово-вращательного привода бурового станка:

1 – обсадная труба; 2 – упорный оголовок; 3 – каретка; 4 – приводной вал; 5 – редуктор

Оголовок является промежуточным элементом между обсадной трубой и кареткой бурового станка. Он установлен на каретке с возможностью осевого перемещения и фиксации в крайних положениях. При изменении положения оголовка шнековая колонна вместе с валом рабочего органа смещается относительно обсадной трубы и корпуса рабочего органа в продольном направлении.

Возможность перемещения оголовка относительно корпуса каретки и редуктора с приводным валом, как правило, предусмотрена в конструкции подавляющего большинства шнековых буровых станков, поскольку упрощает и облегчает монтаж секций шнековой колонны и обсадной трубы [9].

Отклоняющее усилие создается за счет того, что при смещении оси буровой головки с одной стороны корпуса рабочего органа вырабатывается избыточное скважинное пространство, а с противоположной стороны при этом возникает невыработанная область породного массива. В процессе поступательного движения корпус рабочего органа деформирует этот невыработанный слой. Сопротивление деформированию создает отклоняющее усилие, эффективность действия которого усиливается за счет наличия свободного пространства с противоположной стороны (рис. 5).

Показателем эффективности действия отклоняющего устройства является величина отклонения оси скважины на определенном отрезке ее длины. Задачей испытаний рабочего органа с отклоняющим устройством яв-

лялась проверка его работоспособности и количественная оценка величины отклонения скважины от первоначального направления.

Испытания рабочего органа с отклоняющим устройством проводились в лабораторных условиях на специальном стенде, основными элементами которого являются:

- грунтовый канал длиной 10 м и диаметром 1 020 мм;
- обсадная колонна, внутри которой расположены шнековые звенья;
- тягово-вращательный привод;
- прототип рабочего органа с отклоняющим устройством;
- контрольно-измерительные приборы и инструменты;
- дополнительные приспособления.

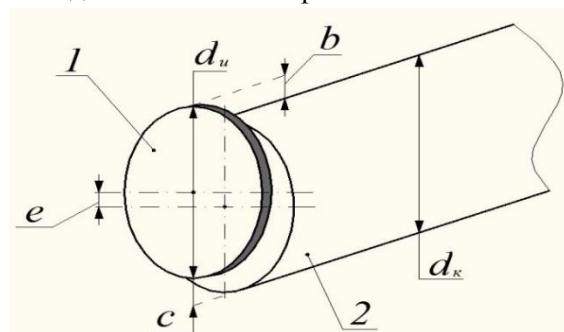


Рис. 5. Схема формирования выработанного скважинного пространства:

- 1 – буровая головка; 2 – корпус рабочего органа;
e – величина осевого смещения буровой головки;
b – размер избыточно выработанного скважинного пространства; c – величина зоны недостаточного скважинного пространства; d_k – диаметр корпуса;
 d_u – диаметр бурового инструмента



Рис. 6. Экспериментальный стенд «Грунтовый канал»

Грунтовый канал, изображенный на рис. 6, представляет собой стальную цилиндрическую емкость, заполняемую грунтом. Емкость установлена на бетонном основании и закреплена на специальных опорах.

Цилиндрическая форма емкости препятствует сдвигу грунтовых слоев в радиальном направлении при сооружении скважин. В верхней части емкости предусмотрены люки, через которые производится загрузка грунта. Для предотвращения вспучивания грунта в процессе проходки скважин люки снабжены крышками, которые могут быть жестко зафиксированы в закрытом положении. Торцы цилиндрической емкости снабжены съемными крышками.

Основой стендового грунта являлся естественный супесчаный грунт, взятый на глубине 1,5–2 м, который предварительно разрыхлялся и просеивался для исключения попадания посторонних крупных включений, а затем укладывался в загрузочную емкость грунтового канала с увлажнением и послойным его трамбованием пневмотрамбовкой. Толщина каждого уложенного слоя не превышала 0,15–0,20 м. Объемный вес, влажность, ударная плотность полученного таким образом стендового грунта определялись с использованием рекомендаций и методики по ГОСТ 5180–84 [10, 11].

Упорный оголовок, предназначенный для передачи осевого усилия на обсадную трубу, был смонтирован на основании каретки с помощью подвижных направляющих с фиксаторами, которые позволяют выбирать положение оголовка относительно каретки, соответствующее соосному или эксцентричному положению буровой головки в корпусе рабочего органа. Изменение этого положения приводит к продольному перемещению шнековой колонны в обсадной трубе, т.е. является управляющим воздействием, вызывающим смещение буровой головки в радиальном направлении относительно корпуса рабочего органа.

Для восприятия осевой нагрузки, возникающей в процессе бурения, направляющая рама бурового станка, выставленная предварительно в горизонтальное положение, неподвижно соединялась с корпусом грунтового канала.

После завершения подготовительных операций производилось бурение скважины в грунтовом канале при несоосном положении

буровой головки и корпуса рабочего органа. По мере проходки скважины периодически определялись координаты расположения рабочего органа в грунтовом массиве. По результатам измерений производилась оценка величины отклонения оси рабочего органа и передней части обсадной трубы от первоначального горизонтального направления.

Во всех опытах бурение скважин начиналось при исходном горизонтальном положении рабочего органа и при смещении оси буровой головки вверх. По достижении буровым инструментом примерно середины длины грунтового канала осуществлялось изменение направления отклоняющего воздействия на противоположное путем поворота обсадной трубы вокруг своей оси на 180°. Таким образом, производилось отклонение скважины в вертикальной плоскости сначала вверх, а затем вниз. Такое решение обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, чаще всего при сооружении скважин более жесткие требования предъявляются к точности траектории именно в вертикальной плоскости. Примером является прокладка трубопроводов для самотечной канализационной сети. Во-вторых, отклонение в вертикальной плоскости легче измерить с необходимой точностью, поскольку линия горизонта является стабильной базой или точкой отсчета, от которой осуществляется измерение.

Переменными конструктивными параметрами являлись величина радиального смещения буровой головки и ее диаметр. Различное сочетание значений этих параметров определяет величины избыточно выработанного скважинного пространства с одной стороны корпуса рабочего органа и недостаточность скважинного пространства с другой его стороны. Соответственно этому изменяется отклоняющее усилие и результирующее смещение оси скважины. В процессе испытаний радиальное смещение буровой головки задавалось равным 2,5 или 5 мм, а диаметр буровой головки имел одно из двух значений – 230 или 232 мм.

В первом опыте значения варьируемых параметров были выбраны таким образом, чтобы при смещении оси буровой головки создавалось главным образом избыточно выработанное скважинное пространство. Величина эксцентриситета составляла около 1 % от

диаметра корпуса рабочего органа. Буровая головка выходила за пределы контура окружности корпуса на величину, равную 1,5 % от его диаметра. С противоположной стороны при этом возникал недостаток скважинного пространства примерно в три раза меньшей величины.

В результате эксперимента установлено, что принятое сочетание геометрических параметров рабочего органа не обеспечивает создания необходимой величины отклоняющего усилия. В начале внедрения в грунт рабочего органа, когда стабилизирующее действие окружающего грунта еще мало, рабочий орган отклоняется вверх. Но при дальнейшем внедрении возросшее стабилизирующее действие окружающего грунта сохраняет это направление независимо от действия отклоняющего усилия (рис. 7). Вероятно, что этот эффект является следствием небольшого отклоняющего усилия, обусловленного малым размером зоны недостаточного скважинного пространства, которое следовало увеличить.

Это было сделано на втором этапе эксперимента, при проведении которого было осуществлено увеличение эксцентриситета оси бу-

ровой головки и уменьшение ее диаметра. Зона недостаточно выработанного пространства при этом увеличилась примерно в три раза. Одновременно в той же пропорции уменьшилось избыточно выработанное скважинное пространство с противоположной стороны.

Результатом этих мер явилось уменьшение отклонения скважины на первом участке, когда рабочий орган забуривался в грунт (рис. 8). В дальнейшем направление скважины так же, как и в первом случае, не изменялось, несмотря на смену направления действия отклоняющего усилия. Отсюда был сделан вывод о том, что действие отклоняющего усилия компенсировалось стабилизирующим воздействием грунта, которое в этом опыте увеличилось в связи с уменьшением избыточно вырабатываемого скважинного пространства.

На третьем этапе эксперимента было выбрано сочетание конструктивных параметров, обеспечивающее примерно равные области недостаточного и избыточного скважинного пространства. Это было достигнуто за счет того, что буровая головка имела практически одинаковый с корпусом рабочего органа диа-

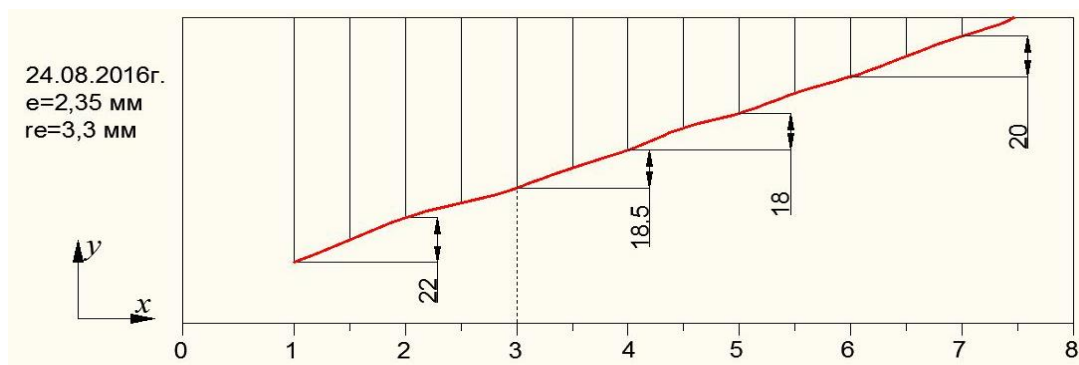


Рис. 7. Траектория скважины при относительно небольшом эксцентриситете и малой недостаточности скважинного пространства

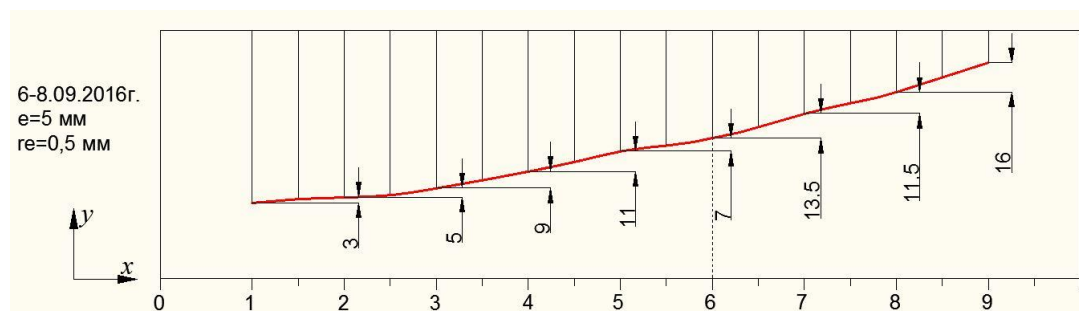


Рис. 8. Траектория скважины при меньшей величине избыточного скважинного пространства и увеличенной его недостаточности с противоположной стороны

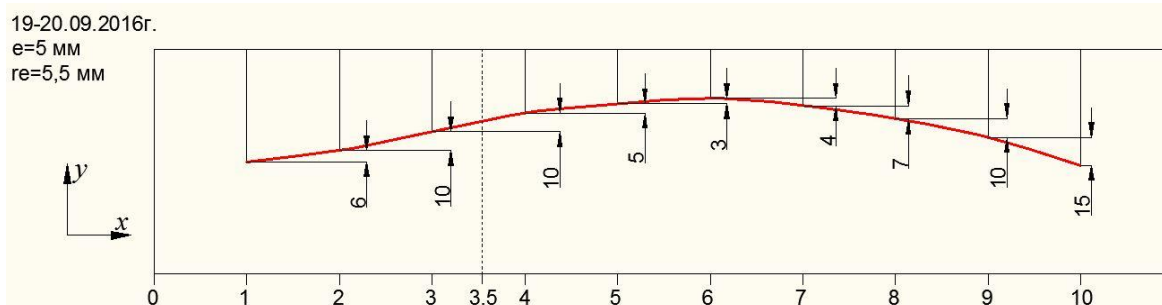


Рис. 9. Траектория скважины при равных значениях недостаточного и избыточного скважинного пространства

метр (231 и 230 мм), а эксцентриситет был увеличен примерно в два раза ($e = 5$ мм). Результат этого опыта отображен на рис. 9.

На первом участке, как и ожидалось, траектория скважины имела дугообразную форму. После проходки скважины длиной 4 м рабочий орган был повернут на 180° в положение «движение вниз», и проходка продолжилась. На следующем после разворота участке длиной 2,5 м был отмечен процесс выравнивания инструмента в горизонтальное положение, а затем рабочий орган начал перемещаться вниз по дугообразной траектории, увеличивая вертикальное смещение на каждом участке скважины (см. рис. 9). Общая длина проходки скважины составила 10 м, а вертикальное отклонение оси скважины на последнем участке достигло 15 мм на одном метре ее длины, что обеспечивает приемлемый для практических целей радиус кривизны и гарантированный выход скважины в заданную точку подземного пространства.

В результате экспериментальной проверки работы отклоняющего устройства бурового рабочего органа определены значения конструктивных параметров рабочего органа, при которых обеспечивается криволинейная траектория скважины в выбранном направлении и достигается приемлемый для практических целей радиус кривизны, позволяющий обеспечить выход скважины в заданную точку подземного

пространства. Установлено, что наибольшая эффективность действия отклоняющего механизма достигается при сочетании конструктивных параметров, обеспечивающем примерно равные области недостаточного и избыточного скважинного пространства.

Выводы

1. Создан и экспериментально проверен в грунтовом канале прототип бурового рабочего органа, в котором изменение траектории скважины достигается за счет смещения оси вращения бурового инструмента относительно оси корпуса рабочего органа комбинацией главных движений бурового станка.

2. Установлен диапазон смещений оси инструмента, соотношения диаметра буровой головки и эксцентриситета ее оси относительно оси корпуса рабочего органа, при которых обеспечивается криволинейная траектория скважины в выбранном направлении и достигается приемлемый для практических целей радиус кривизны для гарантированного выхода скважины в заданную точку подземного пространства.

3. Подтверждены важные по сравнению с аналогами преимущества, заключающиеся в эффективном управлении траекторией проходки скважины при существенном упрощении конструкции рабочего органа.

Библиографический список

1. Данилов Б.Б., Смоляницкий Б.Н. Анализ тенденций развития современных технологий сооружения скважин в породном массиве // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2014. № 1, Т. 2. С. 104–113.
2. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика). М.: Пресс Бюро № 1, 2005. 304 с.
3. Маметьев Л.Е. Обоснование и разработка способов горизонтального бурения и оборудования буровых машин: Дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1992. 492 с.