

## ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.23.05

### ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНЫХ СХЕМ ОТКЛОНЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ В УСТАНОВКАХ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

**Б. Б. Данилов, Б. Н. Смоляницкий, Д. О. Чещин**

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: bsmol@misd.nsc.ru,  
Красный проспект 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Обсуждаются подходы к созданию бурового рабочего органа для направленного бурения скважин в породном массиве при разработке полезных ископаемых и подземном строительстве инженерных коммуникаций и объектов инфраструктуры. Приводится обоснование принципов работы механизмов, позволяющих отклонить буровой рабочий орган в требуемую сторону. Излагаются результаты экспериментальных исследований процесса изменения траектории движения пневмопробойника в грунте.

*Породный массив, скважина, грунт, направленное бурение, траектория, отклонение*

Проходка скважин в породном массиве является важной составной частью технологий разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Скважины широко используются в подземном строительстве для прокладки инженерных коммуникаций без вскрытия дневной поверхности, установки анкерov, сооружения свайных фундаментов, усиления грунтовых инженерных сооружений и реализации многих других технологических процессов. Горные и строительные технологии проходки скважин имеют ряд отличий, вытекающих главным образом из особенностей и свойств породного массива, в котором ведутся работы. В силу широкого разнообразия его физико-механических свойств к настоящему времени сформировались достаточно универсальные способы проходки скважин, различающиеся видом механического воздействия бурового рабочего органа на забой (вращательный, статическое вдавливание, ударный, ударно-вращательный, ударно-поворотный способы) [1].

Одной из особенностей современного горного производства является разработка все более глубоко залегающих месторождений полезных ископаемых, характеризующихся сложными горно-геологическими условиями. Это потребовало развития технологий бурения скважин [2–5], обеспечивающих увеличение их длины и возможность точного выхода в заданную область подземного пространства за счет направленного движения бурового рабочего органа по заданной траектории.

Это позволяет, например, достигать продуктивных нефтегазоносных слоев, расположенных за несколько километров от точки бурения, что особенно важно для месторождений, где вертикальная проходка затруднена из-за условий рельефа или может значительно навредить эколо-

гии. Благодаря направленному бурению сохраняется природный ландшафт и экологический баланс в местах проведения работ, исключается техногенное воздействие на флору и фауну, а также минимизируется негативное влияние на условия проживания людей в этой зоне. Направленное бурение эффективно и во многих других случаях: при проходке скважин в обход осложненных зон, под недоступными или занятыми различными объектами участками земной поверхности, при дегазации угольных месторождений и т. д. [4–6].

В подземном строительстве проходка скважин чаще всего осуществляется в грунтах. Поскольку грунт при механическом воздействии может уплотняться в радиальном направлении, то кроме упомянутых широкое распространение получили такие способы, как прокол и продавливание, основанные на статическом или ударном внедрении бурового рабочего органа в грунт [7–10]. Именно они явились основой бестраншейных технологий прокладки подземных коммуникаций на начальном этапе их развития [10].

Так как грунт не только уплотняется, но и достаточно легко разрушается струей жидкости под давлением, то развитие получил и метод гидравлического бурения, при котором жидкость используется как для разрушения грунта в забойной части, так и для выноса его из скважины [8]. Широкое внедрение метода бурения скважин в грунтовых массивах началось после того, как были разработаны и доведены до промышленного применения методы и оборудование для направленной проходки скважин. Чаще всего при этом используется гидравлическое бурение [10–13].

Ускоренному развитию методов направленной проходки скважин способствовали такие факторы, как урбанизация, а значит, потребность во все большем количестве городских инженерных коммуникаций, рост стоимости земли и, как следствие, уплотнение городской застройки, стремительное развитие трубопроводного транспорта с неизбежностью преодоления многочисленных естественных (реки, заболоченные пространства) и искусственных (каналы, шоссе, железнодорожные линии, аэродромы и т. д.) преград. В результате возросли требования к обеспечению безопасности ведения работ за счет снижения рисков обрушения породного массива и повреждения находящихся рядом объектов [11]. Закономерным образом это привело к появлению технологий направленного бурения, применение которых в промышленных масштабах стало возможным и рентабельным.

Таким образом, общей задачей совершенствования технологий проходки скважин как в горном деле, так и в подземном строительстве является развитие методов и технических средств, позволяющих прокладывать скважины с возможностью корректировки траектории для выхода в нужную область подземного пространства.

В 60-е годы прошлого века в ИГД СО РАН разработано компактное пневмоударное устройство для проходки в грунте методом прокола сравнительно коротких (до 40 м) скважин — пневмопробойник, ставший впоследствии известным во всем мире [7]. Опыт работ по проходке скважин пневмопробойником практически сразу выявил его самый серьезный недостаток — невысокую точность проходки и отсутствие каких-либо гарантий выхода скважины в намеченную точку. Это дало толчок работам по созданию устройств для стабилизации траектории скважины и управления этой траекторией.

В ходе работ проведен анализ практически всех известных на сегодня способов изменения траектории движения рабочего органа, формирующего скважину в грунте или в твердом породном массиве. Способы, представляющие практический или познавательный интерес, показаны на рис. 1 [14].

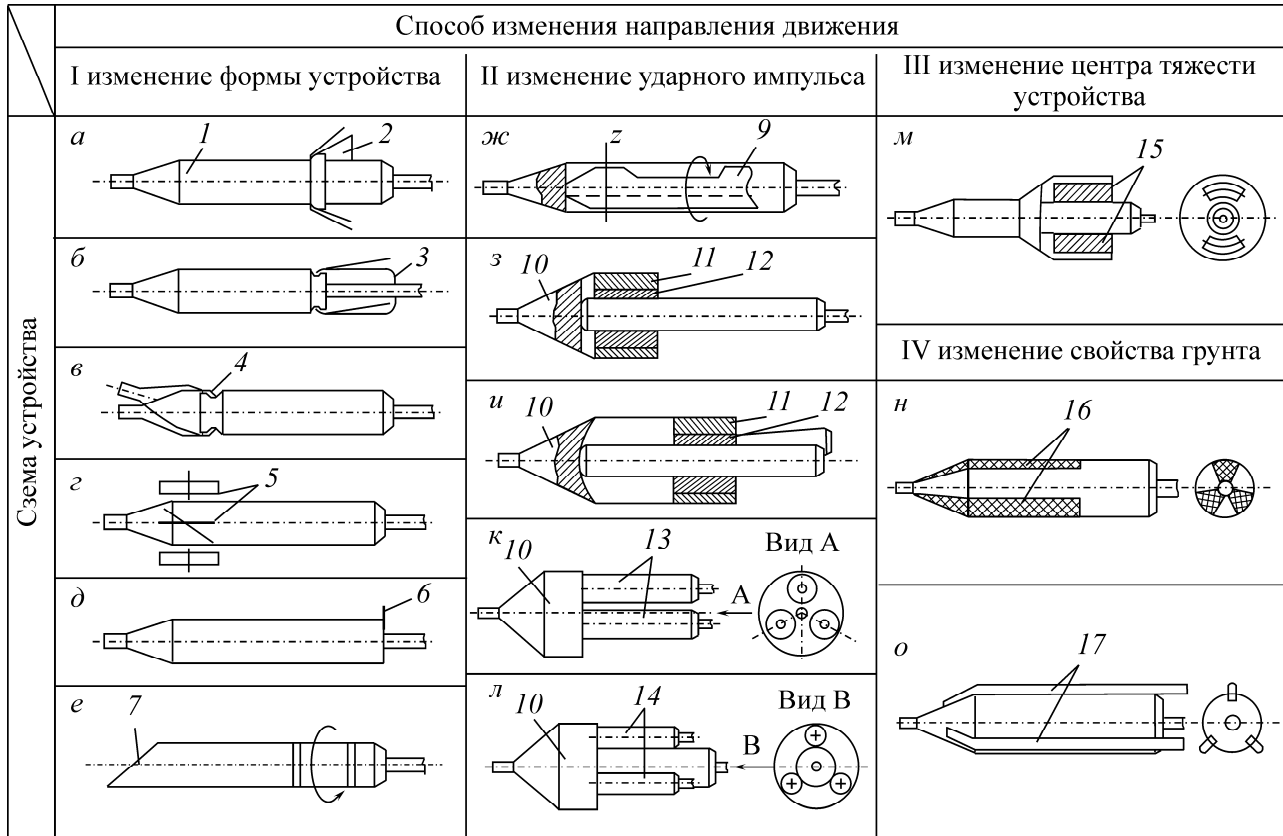


Рис. 1. Способы управления траекторией движения пневмопробойника в грунте: 1 — пневмопробойник; 2 — расширитель; 3 — цилиндр; 4 — наконечник; 5 — лопасть; 6 — тормоз; 7 — клин; 8 — крыльчатка; 9 — ударник; 10 — корпус; 11, 12 — втулка; 13, 14 — пневмопробойники управляющие; 15 — грузы; 16 — тепловые элементы; 17 — трубопроводы

В устройствах, действие которых основано на изменении внешней формы рабочего органа (группа I), поворот достигается за счет возникающих дополнительных сил, равнодействующая которых не совпадает с осью скважины. Форма рабочего органа может изменяться в процессе работы или оставаться неизменно асимметричной, как на схеме *е*, где его передний конец выполнен в виде одностороннего клина. Для проходки прямолинейного участка скважины в этом случае необходимо равномерное вращение рабочего органа вокруг продольной оси. При остановке вращения клин отклоняет рабочий орган в соответствующую сторону.

Во второй группе устройств (схемы *жс–л*) представлены схемы, в которых изменение направления движения достигается смещением равнодействующей ударных импульсов относительно продольной оси пневмопробойника или изменением направления удара. Характерной особенностью большинства принципиальных схем этой группы является увеличение диаметра механизма, что приводит к снижению удельной мощности и скорости проходки скважины.

Третий тип отклоняющих механизмов иллюстрируется схемой *м* устройства, в котором изменяется положение его центра тяжести. В случае проходки криволинейного участка скважины грузы смещаются в ту сторону, в которую следует отклонить устройство. При этом и центр тяжести устройства смещается относительно продольной оси, в результате чего возникает момент, разворачивающий устройство в сторону присоединенной массы. Недостатком такого схемного решения, как и в предыдущем случае, является увеличение радиальных размеров механизма и, как следствие, снижение удельной мощности и скорости проходки.

Принцип действия отклоняющих устройств группы IV (схемы *n, o*) основан на изменении физико-механических свойств грунта в некоторой локальной области скважины. Изменение свойств может достигаться, например, увлажнением грунта от пневмопробойника посредством подачи жидкости под давлением или местным нагреванием грунта. Результатом этого может быть изменение направления его движения. Эффективность действия таких устройств сильно связана с физическими свойствами грунта, которые могут значительно изменяться даже на протяжении одного бестраншейного перехода. Практическая реализация способа представляется весьма сложной задачей.

В практике создания различных конструкций управляемых рабочих органов наиболее часто используются два способа отклоняющего усилия: за счет изменения формы рабочего органа (группа I на рис. 1) и за счет изменения направления усилия подачи (группа II). Значительно реже предпринимались попытки создания отклоняющих механизмов, в конструкции которых задействована схема, основанная на смещении центра тяжести рабочего органа (группа III).

В наиболее работоспособных конструкциях отклоняющих механизмов используются схемы, действие которых основано на изменении внешней формы рабочего органа (схемы *a, б, в, е*) и точки приложения ударного импульса (схема *ж*). Причем схема *a* больше пригодна для работы в уплотняемых грунтах при сооружении скважин методом прокола. Остальные из перечисленных схем с одинаковым успехом могут применяться и для прокола скважин в уплотняемых грунтах, и при бурении в твердых горных породах.

Из группы I наиболее конструктивно просто в буровых процессах реализуются способы отклонения рабочего органа, основанные на применении в качестве отклоняющего устройства асимметричного клина. При вращении рабочего органа отклоняющая сила постоянно изменяет направление своего действия, в результате чего отклонения не происходит. Для отклонения рабочего органа вращение необходимо остановить.

В силу этих особенностей асимметричные клиновые рабочие органы нашли применение главным образом в установках горизонтального направленного бурения скважин в грунте, где вращение буровой колонны является обязательным элементом технологического процесса [12, 13]. На этапе корректировки траектории скважины при отсутствии вращения скважина образуется, по сути, методом прокола. Следовательно, такая технология не может использоваться при бурении в твердых породах.

В процессе создания управляемых проходческих устройств для работы в уплотняемых грунтах реализованы способы, основанные на схемах *a, б, е, ж* (рис. 1). В качестве базовой машины в подавляющем большинстве случаев использовались пневмопробойники [1]. Это объясняется сочетанием в них таких важных для погружной машины качеств, как простота конструкции и высокая надежность работы.

Действующие макеты управляемых пневмопробойников, выполненные по схеме изменения его внешней формы и по схеме смещения равнодействующей ударных импульсов относительно продольной оси пневмопробойника, разработаны, изготовлены и испытаны в Институте горного дела СО РАН [15].

Устройство по схеме *a* представляет собой серийную машину ИП 4603 с диаметром корпуса 130 мм, на которой шарнирно закрепляется конический расширитель диаметром 200 мм (рис. 2). Расширитель имеет возможность отклоняться от продольной оси пневмопробойника и управляется с помощью четырех воздушных камер [14]. Очевидным недостатком такого решения является то, что диаметр корпуса пневмопробойника значительно меньше диаметра скважины, что не позволяет обеспечить удельную мощность устройства на уровне серийных пневмопробойников.

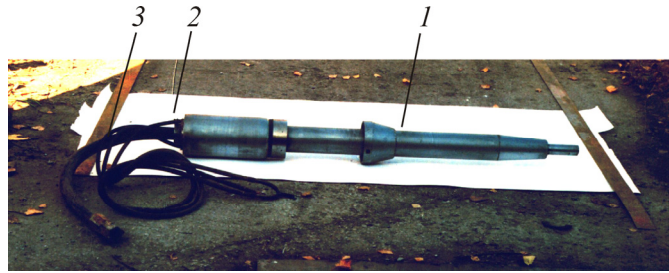


Рис. 2. Экспериментальный образец управляемого пневмопробойника: 1 — пневмопробойник; 2 — отклоняющее устройство с датчиком положения пневмопробойника в грунте; 3 — каналы системы управления движением

В пневмопробойнике, выполненном по схеме *жс*, исполнительным органом системы изменения направления движения является ударник, центр тяжести которого и точка приложения ударов по торцу наковальни (корпуса) смещены относительно продольной оси машины на определенную величину. Это обеспечивает отклонение машины в плоскости, проходящей через ось симметрии и центр тяжести ударника. Если в процессе работы машины ударник приводится во вращательное движение, то скважина будет прямолинейной. Недостаток такого конструктивного решения — усложнение конструкции ударного механизма и низкая эффективность управления, обусловленная невозможностью значительного смещения центра тяжести ударника относительно его продольной оси [15].

Американской фирмой “Эллайд Стилл энд Трактор Продакт” некоторое время выпускался управляемый пневмопробойник с системой наведения и слежения за перемещением его в грунте, защищенный патентом США [16]. Отклоняющим элементом пневмопробойника служит асимметричный клин. В процессе проходки прямолинейного участка скважины пневмопробойник вращался вокруг продольной под действием момента сил, создаваемого расположенными в его хвостовой части наклонными лопастями, направленными по винтовой линии. Втулка, на которой располагались лопасти, соединялась с основным корпусом муфтой. В конструкции предусмотрено два варианта этого соединения: свободное, когда муфта размыкает две части корпуса и лопасти вращаются при невращающемся корпусе, и замкнутое, при котором две части соединены жестко и пневмопробойник вращается при движении в грунте. Проходка прямолинейного участка скважины осуществляется при замкнутой муфте. Для изменения направления движения необходимо остановить вращение пневмопробойника, разомкнув муфту в момент, когда плоскость клина ориентировалась в нужном для отклонения направлении. Далее пневмопробойник двигался при свободно вращающейся муфте до окончания корректировки траектории, после чего муфта вновь замыкалась и прямолинейное движение продолжалось.

Энергоемкость процесса образования скважины таким пневмопробойником, по сравнению с обычным, возрастает из-за расходования части ударной мощности на вращение пневмопробойника в грунте. Кроме того, наклонные лопасти вращающейся муфты оказывают негативное действие на стенки скважины, нарушая их целостность и ухудшая устойчивость. Вероятно, совокупность указанных факторов и стала препятствием для внедрения этих машин в строительную практику.

Для корректирования траектории бурового инструмента в прочных горных породах способы изменения траектории проходки, основанные на деформации породного массива, становятся непригодными. Необходимо использовать другие схемы создания отклоняющего усилия или должным образом модернизировать технологию бурения с асимметричным клиновидным инструментом.

На рис. 3 отображен микротоннельный комплекс направленного шнекового бурения, в котором траектория скважины изменяется за счет углового отклонения оси вращающейся буровой головки (схема в на рис. 1).

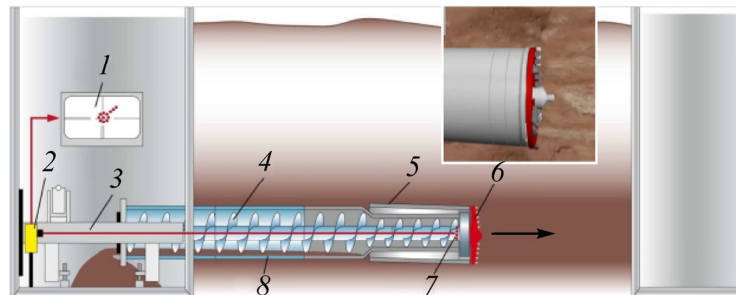


Рис. 3. Технологический процесс шнекового бурения в рыхлых породах и породах средней твердости: 1 — монитор; 2 — теодолит; 3 — лазерный указатель; 4 — шнек; 5 — отклоняющаяся головная часть; 6 — породоразрушающий инструмент; 7 — мишень; 8 — обсадная труба

Контроль за положением буровой головки осуществляется системой лазерного наведения с компьютерным управлением [11]. Этот же способ реализован в отклонителе с гидромеханическим распором, спроектированном на основе отклонителя ОНДГ-93МР конструкции ДПИ и ПО “Укруглегеология” на кафедре технологии и техники геологоразведочных работ ДонНТУ и предназначенном для бурения дегазационных скважин из подземной горной выработки [17].

Породоразрушающий инструмент в форме асимметричного клина также может использоваться для отклонения скважин в твердых породах, если в технологию бурения внести некоторые изменения [18, 19], обеспечивающие для отклонения инструмента в требуемую сторону выработки над плоскостью клина свободного пространства, в которое будет смещаться инструмент при упоре плоскости клина в породный массив. Это пространство образуется за счет попеременного поворота инструмента в противоположные стороны на небольшой угол. Разрушение породного массива осуществляется инденторами, расположенными на внешней цилиндрической поверхности инструмента (рис. 4). Этот метод получил название “карвинг”. Для безаварийной работы такой буровой установки необходимо оснастить ее соответствующим дополнительным механизмом и предотвратить возможность раскручивания резьбовых соединений звеньев буровой колонны при реверсе вращения, что, безусловно, усложняет конструкцию буровой установки и технологической оснастки. Подобный метод используют как при вращательном, так и при ударно-вращательном бурении, например погружными пневмударниками.



Рис. 4. Погружной пневмударник, реализующий метод “карвинга”: 1 — буровая коронка; 2 — клин; 3 — пневмударник

Здесь следует отметить, что при реализации этих способов бурения вращательный момент и осевое усилие породоразрушающему инструменту передается через буровую колонну. В связи с этим она, особенно при бурении прочных пород, подвергается интенсивному износу, осо-

бенно на кривых участках скважины и при значительной (более 100 м) ее протяженности. Поэтому исключение вращения буровой колонны — важная научно-техническая задача. В настоящее время она решается, как правило, за счет применения забойных двигателей различного типа [20]. Так, при бурении дегазационных и технологических скважин из подземных выработок, а также скважин для прокладки коммуникаций в достаточно плотных грунтах или прочных породах применяют гидравлические забойные двигатели. Примером такого бурового комплекса является буровой станок VLME серии 1000. В нем забойный двигатель используется для обеспечения работы привода вращения долота (рис. 5). Для работы забойного двигателя к нему по невращающейся буровой колонне подается вода.

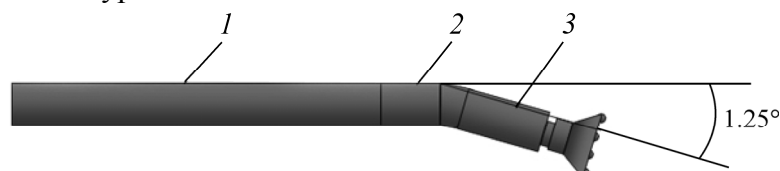


Рис. 5. Буровой рабочий орган на основе забойного двигателя: 1 — забойный двигатель; 2 — переходник; 3 — привод в сборе

Привод долота в сборе крепится к двигателю при помощи переходника, расположенного под углом  $1.25^\circ$  от оси забойного двигателя. При вращении долота и наличии осевой подачи бурой рабочий орган, состоящий из забойного двигателя, переходника и привода с долотом, будет перемещаться по дуге (схема *в* на рис. 1). Если повернуть забойный двигатель на  $180^\circ$ , то траектория скважины будет отклоняться в противоположную сторону.

Имея возможность контролировать положение и направлять забойный двигатель в требуемую сторону, оператор может бурить по заданному плану вдоль угольного пласта. При этом путь буровой колонны фиксируется в трехмерных планах.

Похожим образом производится проходка пилотной скважины в уплотняемых грунтах при двухстадийном шнековом бурении [11]. Она осуществляется методом прокола из стартового котлована, в котором размещается гидравлическая домкратная установка, вдавливающая в грунт буровую штангу с рабочим наконечником в форме одностороннего клина. При вдавливании штанги клин отклоняет ее от прямолинейной траектории. Это отклонение фиксируется контрольным прибором и периодически ликвидируется поворотом наклонной поверхности клина в противоположную сторону и продолжением вдавливания штанги. Таким образом продавливание буровой штанги проводят до выхода наконечника в приемный приямок. Процесс бурения с высокой степенью точности контролируется системой лазерного наведения с компьютерным управлением, поэтому, несмотря на слегка волнообразную траекторию скважины, она выходит в заданную точку.

Для интенсификации технологического процесса проходки пилотной скважины можно использовать забойный двигатель совместно с погружным ударным механизмом. Наибольшая эффективность работы и надежность такого рабочего органа будет достигнута, если ударный механизм установить под углом к буровой колонне (схема *б* на рис. 1). Так удастся избежать потерь энергии удара и увеличить эффективность действия отклоняющего усилия в процессе корректировки траектории скважины.

Проверка работоспособности и предварительная оценка эффективности выбранного технического решения, обеспечивающего управление траекторией скважины в грунтовом массиве, проведена на модели проходчика скважин с изменяемой внешней формой и его макетном образце с механической системой изменения траектории. Модель представляет собой полый ци-

цилиндр с заостренным передним концом, габаритные размеры которого в масштабе 1 : 2 соответствуют размерам серийного пневмопробойника ИП4605 [7]. Соотношение длины отклоняемой части к длине стабилизирующей части корпуса принято равным 1 : 5 исходя из необходимости обеспечения прочности шарнирного и резьбового соединений этих частей корпуса в условиях ударной нагрузки. Предельный угол отклонения оси с учетом конструктивных ограничений и необходимости сохранения целостности стенок скважины составляет 5°.

В качестве ударника использовался металлический цилиндр диаметром 36 мм и длиной 146 мм, который для нанесения ударов по головной части корпуса вручную перемещался внутри него при помощи стального стержня диаметром 0.01 м и длиной 2.5 м. Масса ударника и длина его хода определены исходя из соответствия удельной энергии удара (на единицу площади сечения скважины) параметрам серийных пневмопробойников.

Проведены две серии экспериментов на стенде “грунтовый канал” [21], в ходе которых модель с различными значениями угла отклонения хвостовой части под действием ударных импульсов внедрялась в грунт на длину 2 м. Плотность грунта в первой серии  $\rho = 1860$ , во второй —  $1970 \text{ кг/м}^3$ . Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты эксперимента по отклонению модели пневмопробойника в грунтовом массиве

$\alpha$ , °С	Вертикальное отклонение $\Delta Y$ , мм/м	Скорость погружения $V$ , мм/мин
$\rho = 1860 \text{ кг/м}^3$		
3.0	58.9	310
4.5	94.8	225
$\rho = 1970 \text{ кг/м}^3$		
3.4	61.3	248
5.0	69.0	107

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что соотношение длины отклоняемой части к стабилизирующей, равное 1 : 5, и угол отклонения хвостовой части до 5° обеспечивают отклонение оси скважины до 0.08 м на 1 м ее длины, достаточное для практических целей (обеспечение выхода скважины в заданную область подземного пространства), и не нарушают целостность стенок скважины.

Для более детальной и точной оценки технических возможностей проходчика изготовлен и испытан макетный образец с механической системой изменения траектории. В нем в качестве ударного привода применен пневмопробойник ИП 4605 — самодвижущееся пневмоударное устройство для проходки скважин в грунте.

Перед началом испытаний поворотная хвостовая часть пневмопробойника фиксировалась в отклоненном положении посредством жесткого упора. Затем пневмопробойник помещался на стартовое устройство так, чтобы его поворотная хвостовая часть была направлена вверх, подавался сжатый воздух, и начиналось внедрение пневмопробойника в грунт. После внедрения на длину корпуса пневмопробойника подача энергоносителя прекращалась, проводился замер глубины залегания корпуса от поверхности грунтового канала и определялся угол отклонения оси корпуса от горизонтали. Далее подавался сжатый воздух и происходило дальнейшее погружение пневмопробойника с воздействием отклоняющего устройства. При проходке участка определенной длины периодически измерялась глубина залегания корпуса в грунте. Измерения проводились с помощью щупа через загрузочные люки грунтового канала. Длина проходимой скважины и скорость погружения регистрировались с помощью отметок на воздухоподводящем шланге.



На основе полученных данных построена траектория движения пневмопробойника в грунтовом канале, которая отражает зависимость глубины залегания оси скважины  $Y$  от длины пройденного участка скважины  $X$  (рис. 6).

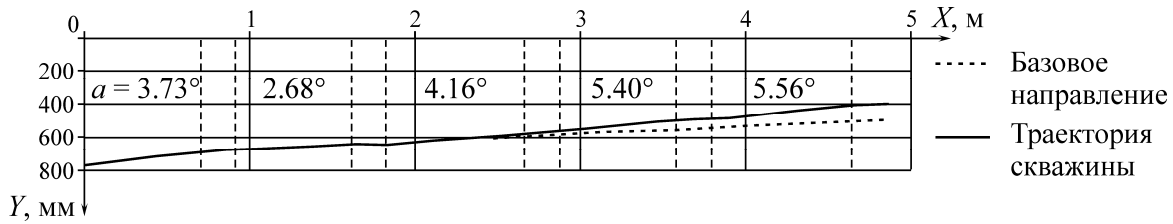


Рис. 6. Траектория движения пневмопробойника в грунтовом канале (диаметр пробиваемой скважины 100 мм; угол отклонения хвостовой части  $3.43^\circ$ ;  $a$  — угол скважины к горизонту; грунт — суглинок прочностью  $C = 3-5$  ед. ДорНИИ и влажностью  $W = 4.88\%$ )

Исследования процесса изменения траектории скважины в грунте естественного сложения проводились на территории инженерно-технического комплекса “Зеленая Горка”, где сооружены стартовый и приемный котлованы. Внедрение пневмопробойника в грунтовый массив на начальном этапе осуществлялось с использованием стартового устройства (рис. 7). Затем проходка скважины выполнялась непрерывно до момента выхода пневмопробойника в приемном котловане.



Рис. 7. Исследование процесса изменения траектории проходки скважины в грунте естественного сложения

Для определения пространственной ориентации оси сооруженной скважины использовалось устройство для установления местоположения и пространственной ориентации рабочего органа установки направленного горизонтального бурения. Электромагнитный излучатель устройства протягивался по скважине. Сигнал излучателя принимался и обрабатывался приемником на поверхности. Траектория движения макетного образца проходчика представлена на рис. 8.

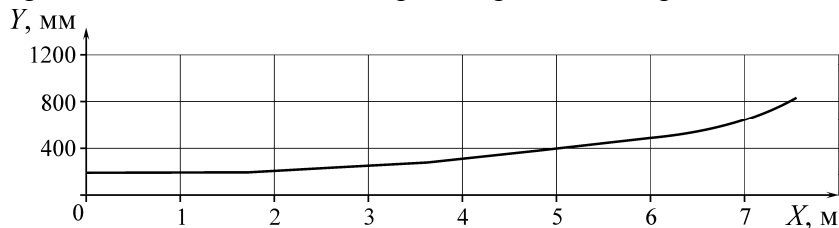


Рис. 8. Траектория движения макетного образца проходчика в грунте естественного сложения (грунт — суглинок прочностью  $C = 3-5$  ед. ДорНИИ; радиус кривизны скважины 46.1 м; средняя скорость проходки 27.3 м/ч)

Результаты ранее проведенных в ИГД СО РАН исследований точности выхода скважины в заданную область [3] свидетельствуют о том, что для скважины длиной 25 м среднее отклонение траектории от первоначального направления под действием случайных факторов в различных типах грунтов составляет около 0.15 м, или 0.006 м на 1 м ее длины.

Эксперименты показали, что исследуемое отклоняющее устройство позволяет достигать в несколько раз большего отклонения оси скважины (до 0.08 м на 1 м). Это свидетельствует о высоких потенциальных возможностях обеспечения выхода скважины в проектную точку. Полученные данные являются основой для построения математической модели проходческого устройства, адекватно описывающей процесс его движения в грунтовом массиве по криволинейной траектории. Создание такой модели позволит найти рациональные значения основных конструктивных параметров проходческого устройства.

В горных породах прочностью свыше 8–10 ед. по шкале Протодяконова проходку скважин целесообразно осуществлять ударно-вращательным способом, который реализуется с помощью погружных пневмоударников. Но по мнению многих ведущих специалистов по направленному бурению, проходка скважин погружным пневмоударником является одной из наиболее сложных. Для ее решения нами предложен способ изменения траектории проходки скважин, в корне отличающийся от трудоемкого и малоэффективного метода “карвинга”.

На рис. 9 представлен вариант конструктивной схемы пневмоударного механизма, предназначенного для реализации этого способа. В нем для создания отклоняющего усилия в пневмокамеру *б* подается давление. Камера надувается и отклоняющие элементы *3, 4* одним краем опираются на стенку скважины. При этом создается радиально направленное отклоняющее усилие, обеспечивающее изменение траектории проходки скважины. Поскольку сохраняется возможность вращения вала *2*, то процесс ударно-вращательного бурения не прекращается.

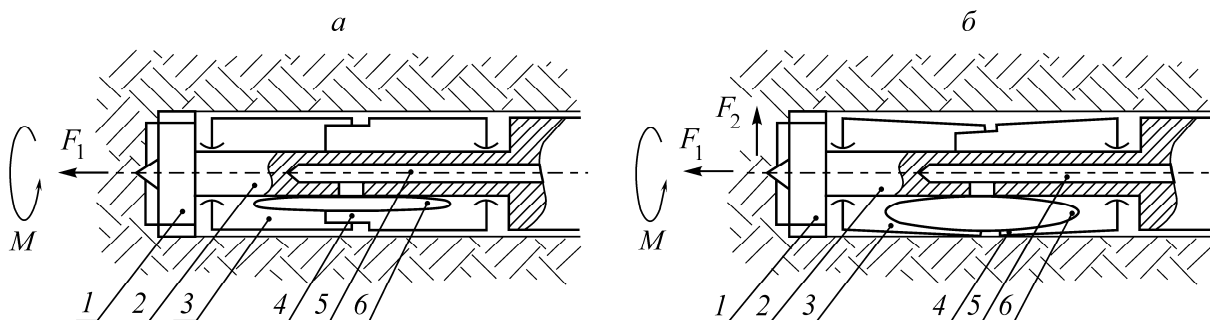


Рис. 9. Конструктивная схема отклоняющего механизма для направленного бурения скважин в прочных горных породах: *а* — бурение прямолинейной скважины; *б* — изменение траектории скважины: *1* — генератор ударных импульсов с буровым инструментом; *2* — вал; *3, 4* — отклоняющие элементы; *5* — воздушный канал; *6* — пневмокамера

Соединив этот механизм с погружным вращателем, можно получить забойный двигатель, обеспечивающий бурение скважины с изменением ее траектории, но без вращения буровой колонны. Такой двигатель в силу импульсного характера нагрузки позволит увеличить скорость проходки скважины и уменьшить габариты бурового станка по сравнению с известными техническими средствами.

## ВЫВОДЫ

Представленный краткий анализ развития горизонтально-направленного бурения свидетельствует о том, что на сегодняшний день ни в России, ни за рубежом до конца не решена научно-техническая задача управления траекторией проходки скважины при ударно-вращательном способе бурения погружным пневмоударником. Намечены лишь подходы к ее решению.

Создание буровых установок ударно-вращательного действия, обеспечивающих проходку скважин по управляемой траектории в массиве прочных горных пород, и организация выпуска такого оборудования на отечественных предприятиях усилит конкурентные позиции отечественной буровой техники и обеспечит перспективы для развития прорывных технологий в горнодобывающей отрасли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Повышение** эффективности и долговечности импульсных машин для сооружения протяженных скважин в породных массивах: интеграционные проекты. Вып. 43 / Б. Н. Смоляницкий, А. А., Репин, Б. Б. Данилов и др.; отв. ред. Б. Ф. Симонов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013.
2. **Вэн Жон.** Внедрение техники направленного бурения в скважине для извлечения и добычи угольного метана // Научные труды ДонНТУ. Серия горно-геологическая. Вып. 14 (181). — 2011.
3. **Клишин В. И., Кокоулин Д. И., Кубанычбек Б., Гуртенко А. П.** Станок для бурения разведочных, дегазационных и технических скважин СБР-400 // ФТПРПИ. — 2010. — № 4.
4. **Маметьев Л. Е., Ананьев А. Н., Любимов О. В., Жалнин Д. В.** О перспективах бурения горизонтальных скважин в подземных условиях // ГИАБ. — 2000. — № 11.
5. **Левинсон Л. М., Акбулатов Т. О., Акчурин Х. И.** Управление процессом искривления скважин: учеб. пособие. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000.
6. **Калинин А. Г., Никитин Б. А., Солодкий К. М.** Бурение наклонных и горизонтальных скважин. — М.: Недра, 1997.
7. **Гурков К. С., Клиماشко В. В., Костылев А. Д., Плавских В. Д., Русин Е. П., Смоляницкий Б. Н., Тупицын К. К., Чепурной Н. П.** Пневмопробойники. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 1990.
8. **Рыбаков А. П.** Основы бестраншейных технологий. — М.: Пресс Бюро. № 1. — 2005.
9. **Кюн Г., Шойбле Л., Шлик Х.** Закрытая прокладка непроходных трубопроводов. — М.: Стройиздат, 1993.
10. **Данилов Б. Б.** Пути совершенствования технологий и технических средств для бестраншейной прокладки коммуникаций // ФТПРПИ. — 2007. — № 2.
11. **Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н.** Анализ тенденций развития современных технологий сооружения скважин в породном массиве // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2014. — Т. 2. — № 2.
12. **Балаховский М. С.** На Российском рынке — американская фирма “Vermeer” // Механизация строительства. — 2000. — № 13.
13. **Хейборт П.** Обзор выставки “NO-DIG LIVE’ 96” в Абингдоне // РОБТ. — 1996. — № 2.
14. **Костылев А. Д., Маслаков П. А., Смоляницкий Б. Н.** Проблемы создания управляемого пневмопробойника для проходки скважин по заданной траектории // Изв. вузов. Строительство. — 1999. — № 11.
15. **Костылев А. Д., Тупицын К. К., Караваяев А. Т.** Управляемый пневмопробойник // ФТПРПИ. — 1985. — № 4.
16. **Управляемый пневмопробойник** фирмы “Эллайд Стилл” (США): Рекламный проспект, штат Огайо Солон, 1988.
17. **Юшков И. А., Петраков А. Е.** Разработка бурового снаряда для бурения дегазационных направленных скважин // Научные труды ДонНТУ. Серия горно-геологическая. — Донецк: ДонНТУ. — 2012. — № 2.
18. **Бурение прочных пород в горных условиях методом ГНБ** [http://www.mgs.ru/articles/2011\\_JULAY](http://www.mgs.ru/articles/2011_JULAY).
19. **Шахназаров Д.** Методы ГНБ скальных пород // Строит. техника <http://www.estateline.ru>.
20. **Балденко Д. Ф., Коротаев Ю. А.** Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей // Бурение и нефть. — 2012 — № 3.
21. **Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Шер Е. Н.** Определение условий транспортирования пластичного грунта сжатым воздухом по горизонтальному трубопроводу при бурении скважин // ФТПРПИ. — 2014. — № 3.

*Поступила в редакцию 2/IV 2015*