

Анализ передовых технологий бурения наклонно-направленных скважин на примере буровых агрегатов компании Herrenknecht

Д. Ю. СЕРИКОВ – д.т.н., профессор РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина
И. П. ЧАЙКОВСКИЙ – инженер

При прокладке нефтегазопроводов нередко встает задача прохождения участков, требующих подземного размещения трубопровода. К ним относятся различные водные преграды, горные массивы, строительные сооружения и т.д. Основным способом формирования таких переходов является наклонно-направленное бурение, включающее в себя несколько этапов: бурение пилотной наклонно-направленной скважины, последующее ее расширение до требуемого диаметрального размера для размещения в ней трубопровода. Если бурение пилотной наклонно-направленной скважины осуществляется с помощью стандартных долот, используемых при бурении нефтяных и газовых скважин, то процесс расширения осуществляется с помощью специально разработанных шарошечных (или оснащенных другими видами породоразрушающих элементов) расширителей различных конструкций.

Так сложилось, что в нашей стране производству и совершенствованию данного вида бурового инструмента уделялось недостаточное внимание. И основные объемы бурения, особенно под магистральные нефтяные и газовые трубопроводы, осуществлялись с использованием иностранного оборудования и инструмента.

Как известно, буровой инструмент играет одну из ключевых ролей в успешной реализации проектов горизонтально-направленного бурения.

Рассмотрим на примере разработок компании Herrenknecht основные тенденции развития и совершенствования бурового инструмента, применяемого при строительстве подземных переходов нефтегазопроводов. Компания Herrenknecht является одним из мировых лидеров по разработке, созданию и изготовлению данного вида бурового инструмента. Совместно со специалистами в области горизонтально-направленного бурения совершенствует существующий и создает новый высокоэффективный скважинный инструмент и оборудование, позволяющие буровым и сервисным компаниям иметь целый ряд технических и технологических преимуществ, обеспечивая снижение общей стоимости строительства подземных переходов нефтегазопроводов.

В то же время решаются стандартные технологические проблемы, связанные с трудностями при бурении, включая размывание грунта и гидроразрывы пласта.

Так, например, для безопасного и более эффективного бурения пилотных скважин компания Herrenknecht разработала инновационный бурильный переводник Weeper Sub, представляющий собой компактный гидронасос (рис. 2), принцип работы которого заключается в следующем.



Рис. 1. Схема формирования пилотной скважины подземного перехода нефтегазопровода

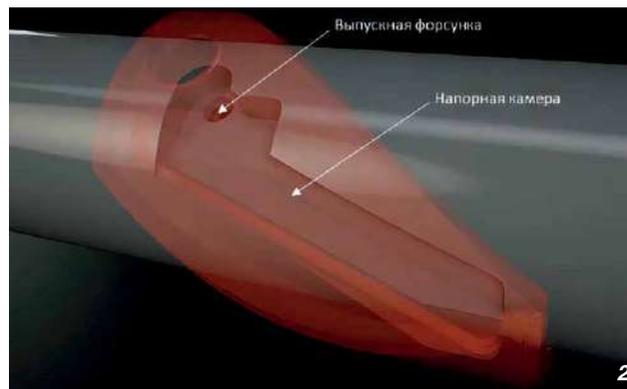
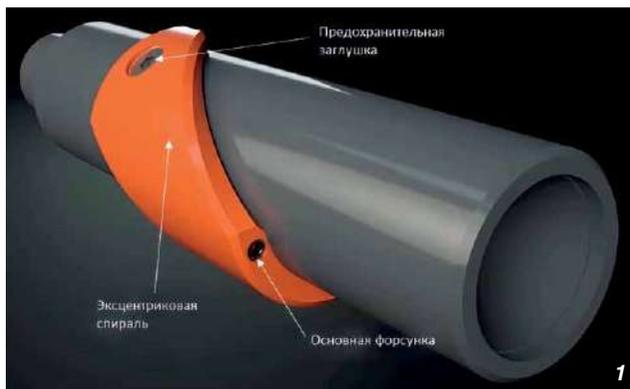


Рис. 2. Бурильный переводник Weeper Sub: 1 – общий вид, 2 – геометрия внутренней полости

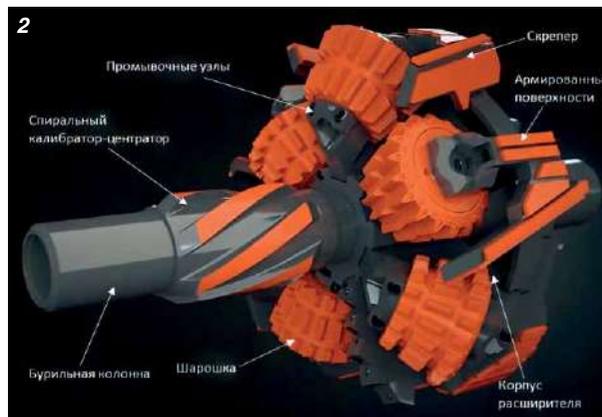


Рис. 3. Буровые снаряды компании Herrenknecht: 1 – с твердосплавным зубчатым вооружением, 2 – со стальным поверхностно-армированным зубчатым вооружением

В процессе бурения пилотной скважины часть промывочной жидкости из буровой колонны направляется в обратную линию бурового раствора в затрубное пространство посредством системы выпускных форсунок (рис. 2), что увеличивает объем выноса разрушенной породы в кольцевом пространстве и интенсифицирует удаление оседающего шлама. Эксцентриковая винтовая форма бурильного переводника Weeper Sub упрощает выполнение данной задачи. Результатом является ровная пилотная скважина без крупных отложений шлама. Как правило, несколько бурильных переводников устанавливаются на буровую колонну с определенными интервалами. В зависимости от характеристик разбуриваемых пород и длины пилотной скважины расстояние между двумя соседними переводниками варьируется от 200 до 300 метров. При использовании нескольких переводников Weeper Sub объемный расход бурового раствора в скважине постепенно увеличивается. С другой стороны, количество бурового раствора уменьшается при приближении к буровому долоту, что снижает уровень давления в кольцевом пространстве и, в частности, максимальное давление в призабойной зоне, т.е. области работы бурового долота. Таким образом обеспечивается значительное снижение рисков размыва породы и гидроразрыва пласта. Однако необходимо заметить, что данное техническое решение наряду со своими неоспоримыми достоинствами имеет и существенный недостаток, т.е. приводит к повышению гидравлического сопротивления в затрубном пространстве и требует использования более мощных буровых насосных агрегатов для обеспечения требуемого объема и скорости потока бурового раствора как в зоне работы породоразрушающего инструмента, так и для качественной очистки всего затрубного пространства.

Для эффективного расширения пилотных скважин в один или несколько этапов компания Herrenknecht разработала расширитель Full Face Hole Opener (рис. 3). Несомненным достоинством данного скважинного расширителя является тот факт, что он представляет собой модульную конструкцию, поэтому отдельные элементы, наиболее подверженные износу, при необходимости могут быть быстро и экономично заменены непосредственно в полевых условиях силами буровых бригад. Опорные узлы шарошек являются герметизированными за счет специально разработанных конструкций уплотнительных устройств, обеспечивающих герметизацию внутренних

полостей шарошек в условиях сильного зашламления забоя и значительных скоростей вращения шарошек. Это предотвращает нежелательную фильтрацию технологических жидкостей в призабойную зону пласта или вымывание смазочного материала из подшипниковых узлов. Кроме того, подшипники имеют увеличенный диаметральный размер, а цапфы – консольную, а двухпорную конструкцию, что позволяет им выдерживать значительно большие нагрузки, чем подшипники стандартных шарошек при горизонтально-направленном бурении. Таким образом, к торцу расширителя может быть приложена более высокая осевая нагрузка с целью интенсификации процесса разрушения породы и, как следствие, увеличения механической скорости бурения. Благодаря модульной конструкции, в зависимости от геологических условий, на одном и том же корпусе расширителя могут быть установлены шарошки с различными видами и типами зубчатого вооружения. Например, шарошки с твердосплавным зубчатым вооружением серии TCI (рис. 3.1) или шарошки со



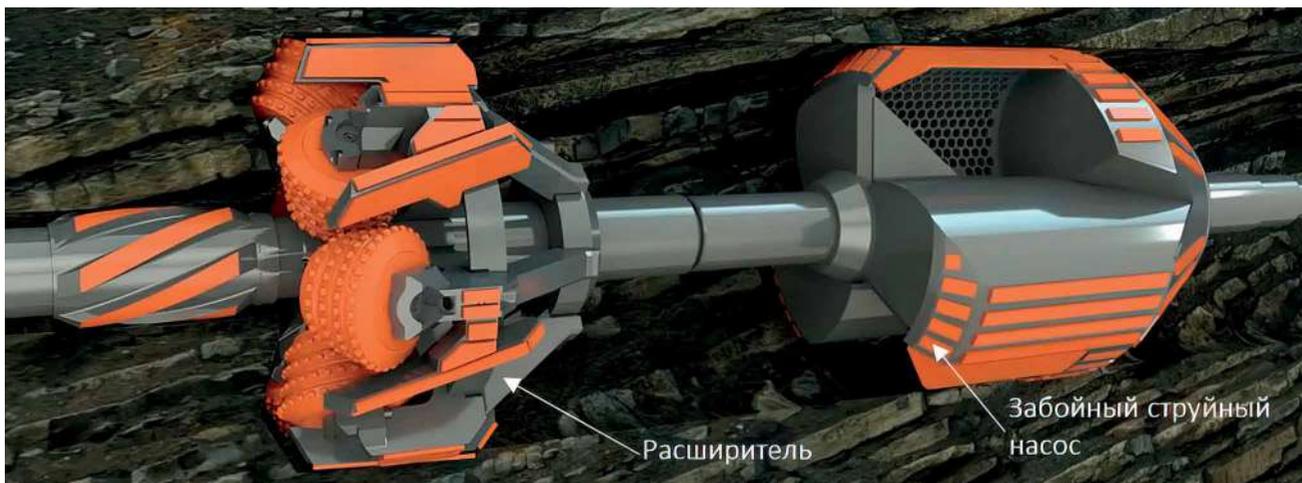


Рис. 4. Буровой снаряд компании Herrenknecht

стальным поверхностно армированным или комбинированным зубчатым вооружением с различной геометрией зубчатой структуры (рис. 3.2). Важным моментом является тот факт, что шарошки обладают одноконусной геометрией, что позволяет обеспечить более полное соответствие геометрии зубчатой структуры, условиям и характеру разрушения кольцевого забоя зубчатым вооружением шарошек.

Корпус расширителя Full Face Hole Opener имеет защиту от износа за счет сменных панелей серии ТС. Благодаря этому расширитель может использоваться в нескольких последовательных процессах бурения без потери работоспособности, а при необходимости может быть отремонтирован непосредственно силами буровой бригады. Расширитель также оснащен специальной системой промывки, включающей в себя целую сеть специально ориентированных гидромониторных насадок, способствующих улучшению условий бурения и удалению разрушенной породы. Потоки бурового раствора, выходящие из гидромониторных насадок, очищают как сам расширитель, так и шарошки, предотвращая налипание шлама, и обеспечивают быстрое удаление разрушенной породы с торцевых поверхностей расширителя (рис. 3).

С целью обеспечения плавного вращения в процессе бурения, расширитель Full Face Hole Opener оснащен несколькими центраторами. В результате, как буровой инструмент, так и весь буровой комплекс, включая буровую установку для горизонтально-направленного бурения, имеют защиту от сильных вибраций и ударов. Это уменьшает износ и одновременно обеспечивает ровный профиль ствола скважины.

В процессе бурения осаждающаяся выбуренная порода с торцов расширителя и со дна скважины собирается с помощью скреперов (скребков) и принудительно направляется в обратную линию бурового раствора. Процесс расширения до конечного диаметра осуществляется в один этап. Стандартное расширение в несколько этапов не требуется. Таким образом, расширитель Full Face Hole Opener увеличивает производительность, сокращает сроки проекта и снижает совокупные издержки (рис. 4).

Для очистки ствола скважины и удаления шлама в процессе горизонтально-направленного бурения компания Herrenknecht разработала забойный струйный насос Down Hole Jet Pump. Он является дополнением к расширителю Full Face Hole Opener и значительно повышает эффективность процесса бурения. Для забора породы из скважины забойный струйный насос оснащен шламособорником с тремя боковыми скрепер-лопатками (скребками) со встроенной сетчатой фильтрационной решеткой (рис. 4).

При вращении снаряда шлам определенного размера (определяемого диаметрами проходных отверстий сетки) попадает во внутреннее пространство насоса. Далее посредством встроенного струйного насоса он перемещается в бурильную колонну и транспортируется к выносу на дневную поверхность (рис. 5). Это дает возможность, буровым и сервисным компаниям использовать простые по своему составу буровые растворы даже при работе с более крупным шламом. Единственной функцией бурового раствора остается поддержание устойчивости не обсаженных интервалов в стволе скважины и предотвращение притока сторонних флюидов. В отличие от большинства традиционных способов бурения, вынос выбуренной породы осуществляется внутри бурильной колонны, расположенной за шарошечным расширителем. При этом нет необходимости в использовании специальных дорогостоящих присадок к буровому раствору.

Конструктивной особенностью забойного струйного насоса является тот факт, что всасывание происходит в основном во внутренней части корпуса шламособорника, в районе сетчатого фильтра и периферии эффект всасывания сведен к минимуму, таким образом снижаются риски возникновения отрицательного давления внутри скважины. В отличие от традиционного метода выноса выбуренной породы избыточное давление также не создается. Таким образом, сводятся к минимуму риски возникновения крупных размывов, обвалов стенок разбуриваемой скважины, а также гидроразрыва пласта в процессе расширения пилотной скважины. Еще одним достоинством забойного струйного насоса является возможность его автономного использования при финальной очистке или ремонте уже пробуренных скважин.

В результате очистки остается практически полностью чистый ствол скважины. В процессе горизонтально-направленного бурения могут использоваться различные комбинации описанных выше скважинных инструментов компании Herrenknecht.

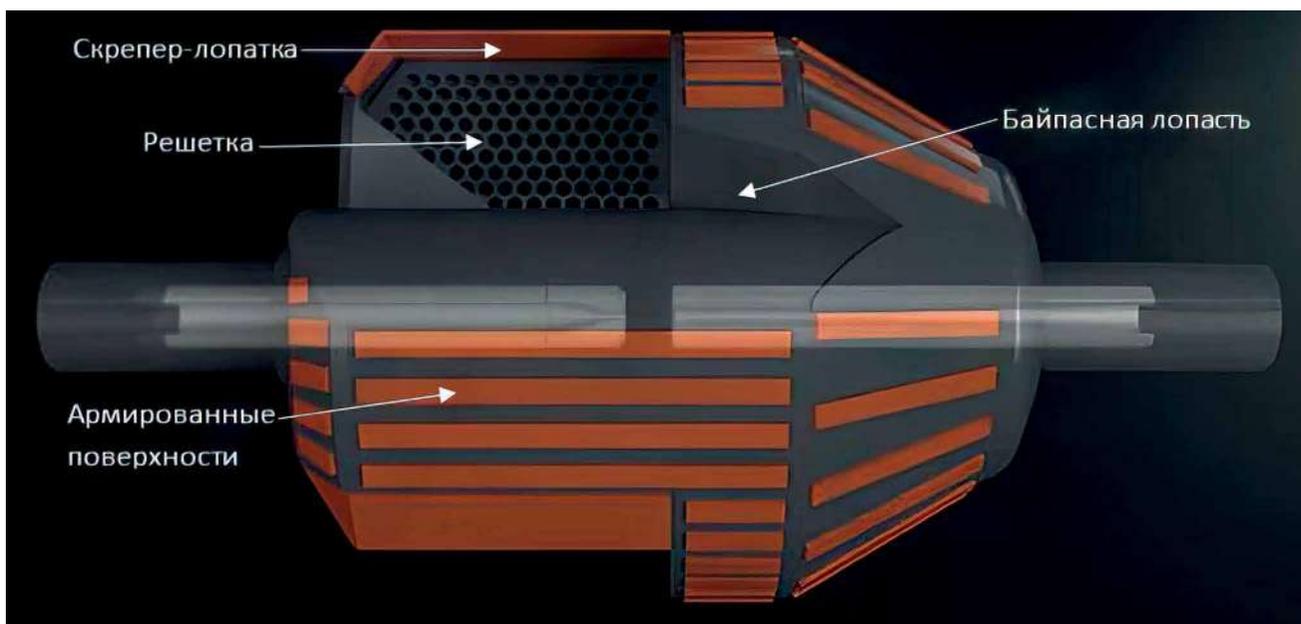


Рис. 5. Забойный струйный насос Down Hole Jet Pump

Однако, несмотря на множество неоспоримых преимуществ, использование данной конструкции имеет ряд существенных ограничений. Например, невозможность использования при бурении глинистых и вязких пород, интервалов, при бурении которых образуется крупнодисперсный шлам высокоабразивных пород, размывающих основные рабочие элементы струйного насоса и т.д.

Таким образом, с помощью различных скважинных инструментов и оборудования от компании Herrenknecht буровые компании могут сократить сроки строительства подземных переходов нефтегазопроводов проекта, снизить риски и сократить накладные расходы.

В заключение проведенного анализа необходимо обратить внимание на тот факт, что в настоящее время многие отечественные сервисные компании, самостоятельно или совместно с проектно-конструкторскими и научно-исследовательскими центрами, проектируют и создают свои собственные относительно недорогие конструкции шарошечных расширителей. Как правило, при создании таких конструкций используют имеющиеся в наличии у предприятий, осуществляющих различного рода буровые работы, стандартное новое или уже использованное оборудование и инструмент: шарошечные долота, переводники, утяжеленные бурильные трубы, буровые головки и т.д. В подавляющем большинстве такие конструкции шарошечных расширителей состоят из корпуса и приваренных к нему секций (лапа с шарошкой) стандартных шарошечных буровых долот.

Однако, несмотря на простоту и относительную дешевизну изготовления таких конструкций шарошечных расширителей, при их проектировании зачастую не учитываются существенные изменения в кинематике шарошек, связанных со значительным, чем в долоте, удалением их от оси вращения бурового инструмента. В большинстве случаев это приводит к полному или частичному несоответствию геометрических параметров вооружения бурового инструмента, условиям и характеру взаимодействия зубьев шарошек расширителей в процессе разрушения горной породы кольцевого забоя.

Хочется надеяться на то, что данная статья сподвигнет наших российских инженеров и производителей бурового инструмента более качественно и на более серьезном техническом и технологическом уровне подойти к разработке, созданию и производству нашего отечественного бурового инструмента, предназначенного для бурения наклонно-направленных скважин при строительстве подземных переходов нефтегазопроводов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мустафин Ф. М., Быков Л. И., Васильев Г. Г., Лаврентьев А. Е. и др. Технология сооружения газонефтепроводов / Под ред. Васильева Г. Г. Т.1. Уфа: Нефтегазовое дело. 2007. 632 с.
2. Буримов Ю. Г., Копылов А. С., Орлов А. В. Бурение верхних интервалов глубоких скважин большого диаметра. Москва, 1975.
3. Сериков Д. Ю. Совершенствование шарошечного бурового инструмента, оснащенного косозубым вооружением // СФЕРА. Нефть и Газ: всерос. отр. инф.-техн. журн. – М.: ООО «ИД «СФЕРА», 2023. – №3. – С. 28–36
4. Вафин Д. Р., Сапсай А. Н., Шаталов Д. А. Техно-экономические границы применения метода наклонно-направленного бурения в строительстве подводных переходов магистральных трубопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. – Т. 7. № 3.– С. 66–73.
5. Лурье М. В., Мастобаев Б. Н., Ревель-Мороз П. А., Сощенко А. Е. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов. Учебник для нефтегазовых вузов. М.: Издательский дом «Недра». 2019. 434 с.