ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ БЕЗАВАРИЙНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

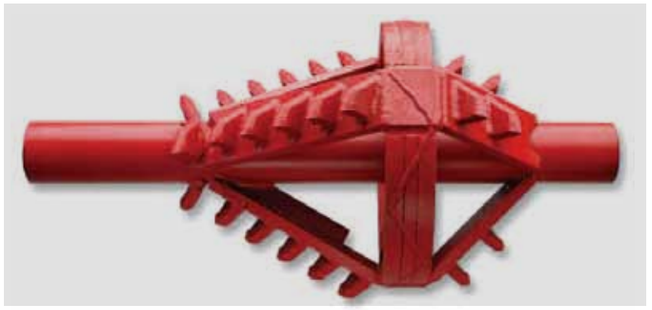
В.В. Елизаров, независимый эксперт журнала РОБТ

Продолжение тематики предотвращения аварий в ГНБ, затронутой в статье «Секреты буровых штанг» в №6 «РОБТ», не может не коснуться бурового инструмента. Именно на этом поле произрастает наибольшее количество аварийных ситуаций, причина которых – использование расширителей, непригодных для строительства скважины в данных геологических условиях. Основной задачей технологии ГНБ является не затяжка трубы, как это не покажется странным, а именно строительство скважины! Затяжка трубы в хорошо построенную скважину, является предсказуемой тривиальной операцией. А вот если вы скважину не построили, то, чтобы вы не предпринимали в процессе затяжки трубы, результатом будет авария.

Прежде чем приступить к классификации расширителей, описанию их свойств, ограничений к применению и преимуществ, определим, что такое скважина, и сформируем требования к ней.

По большому счету, скважиной является устойчивая выработка грунта. Определение простейшее, но ключевым словом является понятие «устойчивая». За счёт чего обеспечивается устойчивость горизонтальной выработки грунта? Во-первых, за счёт круглого сечения, имеющего несущий свод, распределяющий нагрузку от верхнего массива грунта на боковые стенки. Во-вторых, за счёт заполнения всего объёма выработки шламом, который изнутри оказывает на стенки скважины гидростатическое давление. Теперь на основе этих несложных заключений, можно сформировать требования к горизонтальной скважине, затяжка трубы в которую потребует минимального усилия.

«Бобровый хвост»



«Fly Cutter»

Скважина должна быть круглого сечения, сечение в виде эллипса уменьшает устойчивость скважины, тем сильнее, чем более вытянут эллипс.

Стенки скважины должны быть уплотнены, для обеспечения однородности свода, отсутствия трещин и увеличения модуля сцепления частиц грунта.

Шлам, заполняющий скважину должен быть подвижным (текучим), однородным, (отсутствие не перемешанных пластов грунта), твёрдая фракция не должна выпадать в осадок при перемещении шлама по скважине (идеально 20-30 мм максимум).

Стенки должны быть заглажены, для уменьшения сопротивления на продвижение шлама по скважине. При увеличении давления происходит разрыв и наиболее подвижная фракция шлама вырывается на поверхность, а тяжёлая фракция уплотняется и закупоривает скважину.

Ось скважины должна иметь плавную лекальную траекторию, в профиле недопустимы любые ступеньки.

На основе этих требований к скважине можно обоснованно, а не голословно, описать преимущества и области применения всех типов расширителей. Начнём с особенностей «срезающих» расширителей – одних из самых распространённых ввиду низкой цены. Это Fly Cutter и «бобровый хвост». Расширители типа «бобровый хвост» различных модификаций, благодаря разнонаправленным пластинам, по сути являются «миксером» для грунта. Качество перемешивания грунта с буровым раствором, уплотнение стенок скважины и стабильность относительно оси пилотной скважины зависит от скорости вращения. Этот тип расширителей отлично работает на буровых станках с высокими (от 150 об /мин) оборотами шпинделя (например, Ditch Witch) и не используется на «низкооборотистых» машинах. Ограничением к применению являются грунты с наличием твёрдых включений, диаметром соответствующим диаметру скважины и более (так как из-за отсутствия боковых поверхностей «бобровые хвосты» отжимаются, обходят препятствия, уменьшая проходное сечение скважины), а так же грунты с низкой несущей способностью. На мой взгляд, предельным диаметром для этого типа расширителей является значение 500 мм, то есть вы можете иметь в своём арсенале два подобных расширителя диаметром 300 и 500 мм. При этом нужно очень внимательно оценивать параметры бурения при расширении 500 мм. Если вы вынуждены были перейти на пониженные обороты, если бобровый хвост «закусывало» по трассе с остановкой вращения, то скважина перед затяжкой требует дополнительной калибровки. Недопустимым является повторная проходка «бобровым хвостом» по слабым грунтам.

Надо понимать, что эти расширители центрируются только за счет оборотов и натяжки на зону забоя, и при повторной проходке разрабатывают лоток скважины, делают скважину эллипсовидной. Есть ещё одно ограничение, связанное с затяжкой трубы этим типом расширителей. При больших изгибах траектории бурения расширитель, нагруженный трубой, активно срезает грунт на изгибах, спрямляя траекторию. Это увеличивает давление, потребное для вытеснения дополнительного объёма грунта, и создаёт опасность повреждения близлежащих коммуникаций. Вывод, областью применения этого типа расширителей является первое, максимум второе расширение, преимущественно по глинистым грунтам, где эти расширители наилучшим образом расщепляют глину до однородного жидкого состояния. И в этом случае они имеют неоспоримое преимущество по скорости проходки и качеству шлама, по сравнению с любыми другими типами расширителей.

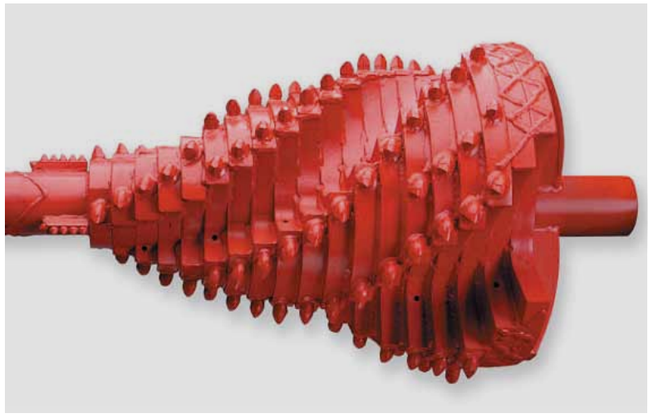
Римеры Fly Cutter различаются углом наклона несущих рёбер. Fly Cutter с расположением рёбер под прямым углом преимущественно используются в большом бурении, как при одиночном расширении, так и при расширении двумя и более расширителями в сборке. Это объясняется более высокой износостойкостью FlyCutter в виде «открытого колеса». Дело в том, что режущие зубцы, расположенные на передней кромке цилиндра, выступают относительно зубцов, расположенных на рёбрах, и воздействуют на массив грунта по одной круговой траектории, эффективно пропиливая его, нарезая своего рода «стакан». Тем самым, ослабляя массив грунта, и зубцам

«Fly Cutter» диаметром 600 мм (Vermeer)

«Fly Cutter» диаметром 1600 мм (Colli Drill)

на ребрах требуется лишь разломить его на части, что бы грунт прошёл через расширитель. А Fly Cutter с наклоном рёбер вынужден воздействовать на всю площадь забоя, разрабатывая его зубцами на рёбрах – зубцы и рёбра быстро изнашиваются. И если буровой раствор подается не через рёбра в зону забоя, а через ствол расширителя внутрь цилиндра, то такой расширитель является разовым, и предназначен для коротких переходов по суглинкам. Но по отношению к «открытому колесу» он имеет возможность центрироваться в скважине, и многие буровые команды, специализирующиеся на небольших переходах под дорогами используют именно этот недорогой инструмент. Они даже и не подозревают, что «пятнадцатитонным» станком можно «таскать пятисотку» длиной 250 м.

По сути, данный вид инструмента скважину не формирует, и является просто культивато-



«All Terrain»

«Kodiak» диаметром 550 мм (Альбрехта)

ром, пригодным для предварительной разработки грунта, и технология ГНБ превращается в технологию по запрессовыванию трубы во влажный разрыхлённый грунт.

Очень часто на станках «макси» и «мега» используется приём, когда предварительное расширение быстро производится с помощью Fly Cutter, после этого формируется скважина с применением Barrel, и за ним же затягивается труба. При этом линейка Fly Cutter должна иметь определённый шаг увеличения диаметра. Например, первый 400 мм, второй 600 мм, третий 900 мм, далее – 1350 мм. Это необходимо потому, что при проходке Fly Cutter не центрируется в скважине: штанги ложатся в лоток и грунт разрабатывается вниз от лотка на половину диаметра инструмента. Если последовательно по скважине «прогнать» FlyCutter диаметром 400, 600, 800, 1000 мм, то уже после третьего расширения сечение скважины будет в виде «матрёшки», а после четвёртого расширения такая неустойчивая скважина, как правило, разрушается и внутрь падают пласты грунта. Дальнейшая чистка и калибровка с помощью Barrel проходит в несколько раз дольше и не приводит к восстановлению круглой формы скважины, так как разрушенный массив грунта восстановить невозможно. Последующая затяжка трубы характеризуется большим усилием и высоким крутящим моментом. Но даже если соблюдать размерность Fly Cutter при расширении, то этот приём таит серьёзную опасность получить аварию. Это происходит при бурении грунтовых пластов разной плотности. Flycutter, как говорилось выше, не центрируются относительно оси пилотного бурения, и при прохождении под небольшими углами, границы грунтовых пластов разной плотности и несущей способности, резко меняет траекторию и «засекает» скважину. Последующая калибровка с помощью стандартного Barrel не может исправить «вильнувшую» скважину и в результате получаем защемлённую трубу. Поэтому для гарантированного, предсказуемого соосного расширения Fly Cutter в одиночной проходке используются только по пилотной скважине, а далее используются в паре с направляющим Barrel. Например, если первое расширение выполняется Fly Cutter 450 мм, то на второе расширение ставится Barrel 400 мм в паре Fly Cutter 650мм, на третье – Barrel 600 мм в паре с Fly Cutter 870 мм, на четвёртое – Barrel 800 мм в паре с Fly Cutter 1080 мм, и т.д. После этого выполняется чистка, калибровка и уплотнение скважины, в данном случае с помощью Barrel 1000 мм, и за ним же затягивается труба. Как видим, для большого бурения обязательным является наличие линейки обоих типов расширителей, и они должны строго соответствовать друг другу по диаметру, иначе это приведёт к критическому износу Barrel, что является последствием высокого потребного момента и низкой скорости проходки.

Необходимо акцентировать внимание, что при работе сборками расширителей необходимо настраивать форсунки. На Barrel необходимо поставить заглушки вместо задних форсунок, а так же заглушить часть форсунок на переднем конусе, расположенных ближе к центру, так как его задача повысить текучесть шлама, для лучшего его вытеснения, обеспечить центровку идущему следом Fly Cutter и при этом не создавать чрезмерного сопротивления на вращение. На ребрах Fly Cutter должны быть открыты форсунки, расположенные на двух ближайших рядах к цилиндрической режущей части (на расширителях диаметром более 800 мм – три ряда форсунок). Именно в этой зоне забоя осуществляется срезка и разработка грунта, поэтому именно здесь должны быть установлены форсунки максимального диаметра, а так же открыто несколько задних форсунок. Настройка форсунок позволяет в разы повысить скорость проходки, уменьшить потребный крутящий момент и, следовательно, износ инструмента, а также сэкономить буровые материалы. Вообще, любой расширитель требует настройки форсунок под конкретный буровой станок, с определённым крутящим моментом и производительностью бентонитового насоса высокого давления. Исходными характеристиками являются потребное давление раствора в расширителе (на песке это 5-15 bar, на глине – 30-50 bar) и количество подаваемого раствора на единицу объёма срезаемого грунта. Диаметр, количество и расположение форсунок зависит от геологии, производительности насоса и возможности станка развивать ту или иную скорость проходки.

Рассмотрим следующий тип бурового инструмента – уплотняющие расширители. Они делятся на три группы Kodiak и All Terrain , Compact, Barrel. Расширители Kodiak и All Terrain представляют собой набор увеличивающихся пластин сваренных между собой. Благодаря этому можно собрать расширитель с любыми пропорциями длина/диаметр. Расширитель характеризуется большими продольными выемками для прохода шлама, а хвостовая часть Kodiak представляет собой три эксцентрика, которые отлично уплотняют и заглаживают стенки скважины, кроме того, даже при потере всех зубцов такой расширитель способен построить скважину, благодаря эксцентрикам и высокой прочности тела, как раскатчик грунта. Но есть и существенные недостатки. Для обеспечения прочности сборной конструкции, через всё тело проходит труба, буровой раствор попадает внутрь расширителя через боковые отверстия в трубе. И таким образом создаётся внутренняя закрытая полость, в которой накапливается различный мусор и твёрдые включения, блокирующие работу форсунок. При запуске расширителя, находящегося под отрицательным углом к горизонту все форсунки работают, так как мусор сосредоточен в передней части расширителя. Но когда расширитель заходит в горизонтальную часть скважины, твёрдые включения распределяются по всему объёму и закупоривают форсунки. Поэтому эти расширители требуют регулярной чистки внутренней полости путём вскрытия задней торцовой стенки. Первым симптомом необходимости чистки расширителя является увеличение давления раствора при расширении между начальным и горизонтальным участком. Ещё одним ограничением к применению является высокий удельный вес расширителей этого типа. Kodiak и All Terrain

«Compact» диаметром 700 мм

Характерный износ ремера «Compact»

диаметром более 600 мм при работе в песке и суглинках начинают, как и FlyCutter, «просаживать» скважину вниз, делают её сечение эллипсовидным. Чтобы стабилизировать такой тяжёлый расширитель с небольшой площадью цилиндрической поверхности, относительно оси скважины путём натяжки его на забой, требуется значительный крутящий момент из-за его «агрессивной» формы. Например, для диаметра 800 мм - не менее 30 кНм.

Расширители типа Compact имеют ярко выраженную коническую форму и спиральные продольные выемки для прохода шлама, которые снижают потребный крутящий момент. Они широко распространены, так как серийно выпускаются и рекомендованы для применения на буровых комплексах Vermeer и Ditch Witch. Эти расширители имеют следующие преимущества по отношению к Kodiak и AllTerrain. Полностью опорожняются, достаточно поднять его за вертлюг, что бы остатки

Грушевидный ример (Pear typ) фирмы Tracto-Technik

бурового раствора вместе с мусором покинули ваш расширитель. Имеют на 30 % меньший удельный вес, благодаря чему на станках с крутящим моментом 15-18 кНм возможно использовать Compact диаметром до 900 мм. Хорошо центрируются в скважине, формируют предсказуемую траекторию соосную с пилотной скважиной. Но есть и недостатки. По спиральным выемкам расширитель пропускает через себя крупную фракцию твёрдых включений, которая в дальнейшем выпадает в осадок, уменьшая проходное сечение скважины. Тело расширителя сильно изнашивается в промежутках между зубцами. Сильному износу подвержена и затылочная часть конуса, так как на относительно небольшую по площади часть расширителя в виде узкой полосы приходится высокая нагрузка. Именно этой зоной - краем конуса, расширитель уплотняет скважину. Очень часто при ремонте данных расширителей, допускается грубейшая ошибка – на изношенную затылочную часть приваривают зубцы. Локально расположенные зубцы не способны защитить эту зону от износа, но самое плохое, что такой «модифицированный» расширитель перестаёт уплотнять и заглаживать скважину. Кроме того при вращении на месте он просаживается, выкапывает приямок внутри скважины, это происходит на каждой штанге. Результатом простейшей ошибки может быть не только многократное увеличение потребного усилия на протягивание трубы в неустойчивую скважину, но и потеря её вместе с инструментом, если мощности станка на протяжку трубы не хватит.

Я предвижу, как зреет вопрос: «А есть ли расширители, у которых отсутствуют недостатки, которые можно признать универсальными, за гарантированный, предсказуемый результат при их применении?» Да, есть. Это «грушевидные» расширители (Pear typ), которые характеризуются наличием хвостовой цилиндрической части, и плавным переходом с направляющего конуса на калибрующую цилиндрическую часть. Такая оптимальная форма пули, позволяет плавно, с небольшим крутящим моментом, разрабатывать грунт, уплотнять и заглаживать скважину. Такую форму болванки можно изготовить только технологией литья, благодаря чему получается монолитное прочное тело, с небольшой толщиной, порядка 20 мм. Это даёт наименьший в своем классе удельный вес и, соответственно, минимальную вертикальную нагрузку на грунт. В сочетании с большой площадью цилиндрической части, такими расширителями строят самотёчные трубопроводы по слабым грунтам, то есть можно гарантировать, что скважина не будет иметь просадку, и будет соосна пилотной скважине по всей длине. Такие расширители до 2008 г. выпускала немецкая компания Tracto Technik - диаметром от 160 до 900 мм. Они потребовали единственную небольшую модернизацию: на цилиндрической части вместо рёбер были наварены пластины в виде трёх заглаживающих эксцентриков, которые как мастерки штукатура идеально формируют скважину. Шлам, прошедший через такой расширитель не содержит крупных включений, так как они либо истираются между массивом грунта и цилиндрической частью расширителя, либо вдавливаются в стенки скважины эксцентриками.

Эти расширители имеют ещё один важный элемент, позволяющий уменьшить потребный крутящий момент, повысить скорость измельчения грунта, и перемешивания его с буровым раствором. Это спирали, которые проходят через всё тело и заканчиваются на цилиндрической части под углом 45 град. в проекции к оси. Они являются эскалаторами грунта, отводят его из зоны забоя. При этом твёрдые включения перекатываются спиралями и истираются о стенки скважины, а не попадают в выемки и не проскакивают по ним за расширитель. Кроме того, спирали создают «рубашку» вокруг остального тела расширителя, заполненную жидким шламом, благодаря чему тело не изнашивается. Этот момент важен для понимания физических процессов, происходящих в скважине. Если убрать спирали, то всё тело расширителя будет участвовать в истирании грунта как жернов, при этом начнёт расти давление, потребное на проход шлама вокруг расширителя, потому что грушевидное тело начнёт выполнять роль пробки, которую вкручивают в грунт. А трение тем больше, чем большая площадь участвует в движении поверхностей. А что же делают зубцы в этот момент? Зубцы выполняют две задачи, разрушают твёрдые включения, и производят первоначальное перемешивание грунта с «взорвавшим» его раствором.

Поэтому, резюмирую, спирали резко уменьшают площадь абразивного контакта с грунтом, выгребают грунт из зоны забоя, создают рубашку вокруг расширителя, по которой с небольшим сопротивлением транспортируется жидкая фракция шлама. Спирали и эксцентрики всегда изнашиваются, и требуют постоянного ремонта, как и замена зубцов, но он не сопоставим с восстановлением всего тела расширителя. Преимущество этого типа расширителей подтверждают рекордные переходы. Например, 2006 г.

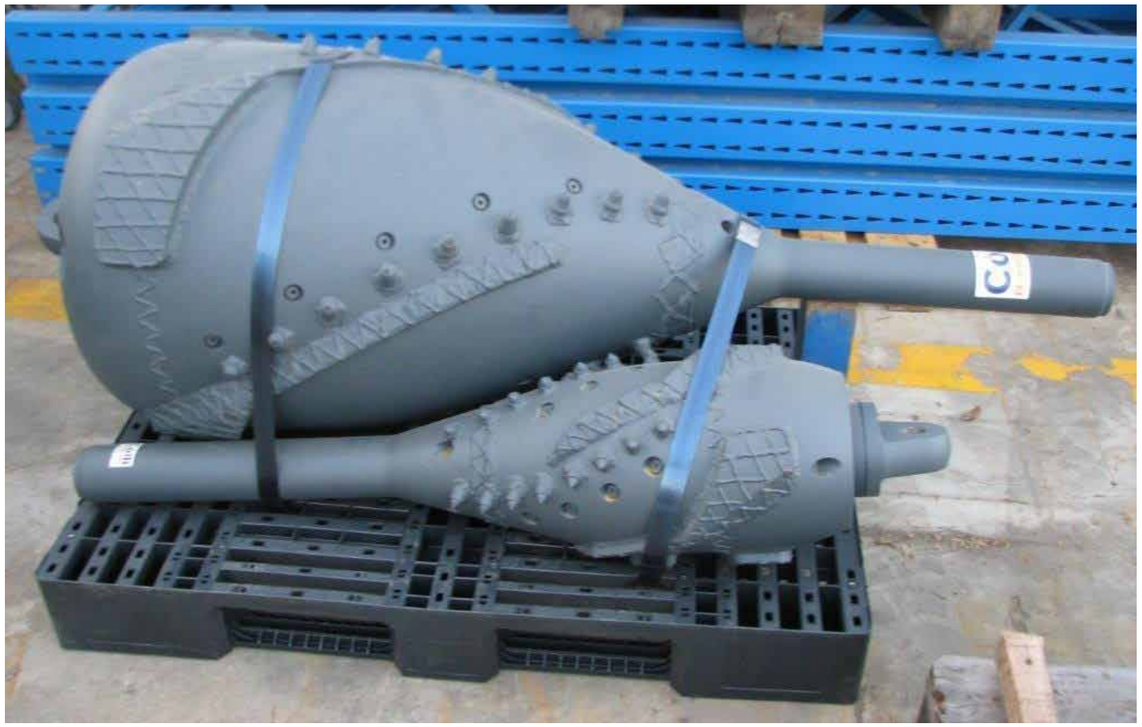
Станок Grundodrill 15X (4 кНм, 15 т тяги), водопровод 500 мм, Шереметьево-1 (привокзальная площадь), труба ПНД (не балластировалась), длина 245 м, грунт – песок, усилие протяжки 14 т; кабельный футляр диаметром 630 мм, перрон Шереметьево-1, труба ПНД (не балластировалась), длина 150 м, грунт – песок, усилие протяжки 13 т.

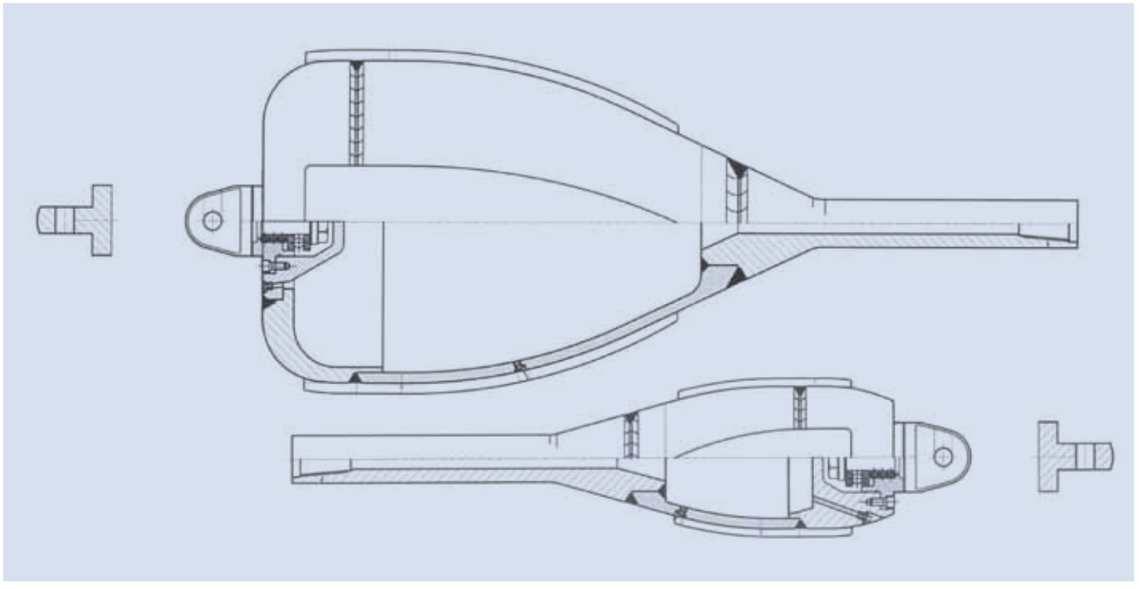
В 2011 г. потребовалось укомплектовать новые станки 25 и 40 т тяги уплотняющим инструментом. Оказалось, что литые «грушевидные» расширители никто не выпускает из-за сложной технологии производства, приводящей к высокой цене. Руководству компании ООО «СУ-27» не пришлось долго объяснять преимущества этого типа расширителей, и оно готово было пойти на дополнительные затраты на качественный инструмент. Осталось найти производителя качественного инструмента и уговорить его изготовить линейку «грушевидных» расширителей.

Это оказалось на порядок сложнее, чем уговорить купить. Крупные немецкие и американские производители, в силу своего менталитета, занимают позицию – «мы лучше знаем, как надо работать и чем надо работать». Чтобы добиться результата, нужен был прямой, неформальный контакт с главным инженером предприятия, а не с «манагерами» по продаже.

Такое предприятие нашлось (COLLI), состоялось общение с главным инженером, который в прошлом имел большой опыт практического бурения, что позволило найти общий язык и уговорить начать разработку этого типа расширителей. Но потребовалось полгода кропотливой работы, переписки, дополнительных встреч. К счастью у меня и у них хватило терпения, чтобы получить результат. На чертеже показаны последние правки, касающиеся радиуса затылочной части, для обеспечения возможности вытолкнуть расширитель назад. Это говорит о высокой степени проработки конструкции вплоть до последней мелочи. Качество произведенных расширителей «Pear typ» COLLI не хуже Tracto Technik. Цена, конечно на первую партию была высокой, но это того стоило. Сейчас они выпускаются серийно и стали доступнее.

Рассмотрим последний тип уплотняющего инструмента Barrel, который характеризуется наличием большой цилиндрической части тела. Эти расширители имеют наименьший удельный вес, не только за счёт использова-





Римеры Pear typ диаметром 300 и 650 мм (Colli Drill)

Эскиз «доработанных» римеров (Pear typ, Colli Drill)

ния внешней трубы толщиной всего 15-20 мм, но и устройства кессона в цилиндрической части или частях, которые не заполняются раствором. Выпускаются два типа Barrel, редукционные и конические. Одни из самых надёжных и распространённых в большом бурении, редукционные римеры Barrel производит Prime Drilling. Они имеют направляющий цилиндр, который центрирует расширитель в скважине, и таким образом, обеспечивается идеальная соосность выработки с пилотной скважиной. Ряд высокопрочных пластин, наваренных на кромках направляющего и калибрующего цилиндров, создают рубашку, по которой шлам вытесняется из зоны забоя. Редукционная конструкция расширителя предусматривает применение его для последовательной одиночной проходки. Качество скважины при этом самое высокое. Но за это приходится расплачиваться большим потребным крутящим моментом, низкой скоростью проходки и высоким расходом бурового раствора. При этом Barrel быстро и сильно изнашивается. Основные зоны износа – места перехода с конической на цилиндрическую часть и с направляющего цилиндра на основной конус. Пластины на кромках цилиндров быстро стираются и трение основного цилиндра о стенки скважины резко увеличивается. Для того, чтобы Barrel можно было применять на станках с крутящим моментом 10 кНм, Tracto Technik изготавливает Barrel с разгрузочными каналами на цилиндрической части и большим количеством зубцов в зоне забоя. Эти расширители пришли на смену «грушевидным». Они строят отличную скважину, но за это приходится расплачиваться падением производительности.

А в случае бурения грунта с твёрдыми включениями или мусором, «грушевидные» расширители имеют неоспоримое преимущество. Рекомендации по выбору того или иного типа расширителей, следующие.

Обводнённые пески и суглинки, торфяники и другие грунты с небольшой несущей способностью при диаметрах скважины более 600 мм требуют применения Barrel. Также их применяют при прокладке самотёчных трубопроводов, как инструмент с нейтральной плавучестью. Во всех остальных случаях имеет преимущество «грушевидный» расширитель. Но предельный диаметр у него – 900 мм. Далее из-за большого веса и стоимости «грушевидные» расширители применять не имеет смысла.

Конструкция редукционного римера Barrel представляет собой пять отсеков разделённых между собой четырьмя герметичными перегородками. Буровой раствор подаётся только в первый, второй и задний конические отсеки. Цилиндрические отсеки являются поплавками, за счёт чего удельный вес расширителей около 1,5 т/м . Чем больше диаметр редукционного Barrel, тем меньшее давление раствора может привести к разрушению его перегородок. Так расширители Prime Drilling диаметром более 1000 мм выдерживают давление раствора не более 30 bar. Поэтому Barrel в лобовой проходке нельзя применять для бурения глины, где потребуется давление более 30 bar. Компания COLLI нашла инженерное решение этой проблемы: во-первых, сократила количество отсеков до трёх, начав производить конические Barrel, во-вторых, весь расширитель является поплавком, так как раствор подаётся на каждую линию форсунок по отдельной трубке и не создаёт давление на

Редукционный расширитель Barrel диаметром 800 мм (Prime Drilling)

Редукционный ример Barrel диаметром 600 мм (Tracto-Technik)

Конический ример Barrel диаметром1600 мм с нейтральной плавучестью (Colli Drill)

Конический ример Barrel диаметром 600 мм, модифицированный спиралями (Colli Drill)

внутренний объём. Давление на разрыв составляет не менее 60 bar. Эти расширители имеют рекордно малый удельный вес – 1,2 т/м^3, и по праву могут называться расширителями с нейтральной плавучестью. Они, с учётом нагрузки от штанг, разрабатывают скважину, не оказывая воздействия ни на свод, ни на лоток. Благодаря этому не требуется дополнительно центрировать инструмент с помощью направляющего цилиндра. Конструкция стала проще, дешевле и надёжнее. Вместо трёх зон повышенного износа и, следовательно, сопротивления вращению, осталась одна, т.е. сократился потребный крутящий момент.

Но у нас остался ещё один козырь, описанный выше, это спирали, которые навариваются на конические Barrel, по аналогии с «грушевидными» расширителями. Это простое решение позволяет не только защитить Barrel от износа, но и применять его на станках с небольшим крутящим моментом, что даёт возможность прокладывать рекордные по диаметру и длине трубопроводы. Так, например, буровым станком Grundodrill 20S с крутящим моментом 10 кНм прокладывалась труба ПНД без балластировки диаметром 800 мм, длиной 140 м, усилием протяжки 12 т. Линейка расширителей выглядела так: 400 мм, 600 мм – «грушевидные» расширители, 750 мм, 900 мм, 1050 мм – Barrel. Похожий результат был получен другой буровой командой в Томске, при прокладке водопровода диаметром 800 мм. Труба ПНД не балластировалась, длина 240 м, усилие протяжки 18 т. Просто на трёх завершающих расширениях использовались расширители Barrel.

На станках с крутящим моментом от 40 кНм и насосами высокого давления от 1000 л/мин предпочтительнее работать парами расширителей Barrel+Fly Cutter, это увеличивает скорость проходки и снижает износ инструмента. Обязательной операцией является чистка скважины перед затяжкой трубы с помощью Barrel.

Переход Р. Шантала (труба – сталь диаметром 530 мм, длина – 530 мм, усилие протяжки – 16 т)

Операция затяжки должна начинаться без перерыва, сразу после окончания чистки скважины. Это даёт минимально возможное усилие протяжки. Ярким примером применения такой схемы расширения является переход через р. Шантала при строительстве продуктопровода Альметьевск – Нижний Новгород. Длина перехода 530 м, труба стальная, диаметр 530 мм, буровой станок Prime Drilling 75/50, грунт суглинок с вкраплениями доломита. Угол забуривания составлял 14 %, и станок пришлось заглубить относительно поверхности на 80 см, для чего была устроена специальная рабочая площадка, на которую станок спускался по пандусу. На фотографии видно, что станок после затяжки трубы отъехал от опорной стенки на 2 м и подтянул трубу за счёт собственного веса. Вес бурового станка составляет 21,5 т, усилие протяжки не превышало 16 т.

Инструмент для скального бурения разделяют на шарошечный и роллерный, принцип работы которого – сумма точечных «ударов» при перекатывании конических высокопрочных элементов по зоне забоя. На расширителях используются стандартные шарошки на лапах от долот, применяемых в вертикальном бурении. При этом шарошечные заготовки, «не сваренные в готовое долото», являются редкостью, и производителям расширителей приходится распиливать готовые долота на три части. Шарошки кроме геометрических размеров различаются так называемым вооружением. Простое стальное вооружение, вольфрамо-кобальтовое вооружение, алмазное вооружение. Шарошки со стальным вооружением эффективно работают по грунтам до 8 категории твёрдости по классификации М.М. Протодъяконова. Это доломит, мрамор, сцементированные песчаники.

Шарошки с вольфрамо- кобальтовыми вставками победят грунты до 15 категории: это гранит, кварцит, боксит. Алмазное вооружение применяют по грунтам до 20 категории крепости: это базальты, особо прочные кварциты.

Надо понимать, что универсальных шарошек не бывает, например высокопрочные шарошки с алмазным вооружением для бурения гранита и базальта не работают по большей части известняков, а шарошки со стальным вооружением не преодолеют высокопрочную породу. Поэтому при подготовке инструмента важно знать достоверную геологию. Есть несколько слабых мест шарошечных расширителей. Во-первых, подшипники в шарошках выдерживают незначительное усилие по сравнению с усилием развиваемым буровым станком. Важно, чтобы оно было в зоне чувствительности возможных регулировок усилия протяжки. Во-вторых, конструкция долота

Характерный износ шарошечного расширителя

не позволяет проскакивать крупным твёрдым включениям между тремя вращающимися шарошками. Зазор между шарошками меньше, чем между шарошкой и лапой, её удерживающей. И при использовании серийных долот заклинивание вращения шарошек горной породой невозможно. На расширителях же расстояние между шарошками больше чем зазоры между шарошкой и лапой, а на больших диаметрах оно превышает диаметр самой шарошки. Это приводит к заклиниванию шарошек при бурении «разборных» скальных грунтов. Вероятность заклинивания есть и при бурении скального массива, так как любой массив имеет трещины, при прохождении которых может выкрошиться обломок и заклинить вращение шарошки. Поэтому качество скального шарошечного инструмента определяется не только качеством шарошек и точностью их установки на основание расширителя, но и дополнительной защитой зазоров между шарошками и лапами от обломков горной породы. Важно, чтобы эти защитные пластины или выступы не создавали чрезмерного сопротивления вращению, то есть не приводили к защемлению обломков между стенками скважины и расширителем. Скважина при скальном бурении не уплотняется и агрессивная форма защитных направляющих пластин приводит к ударным нагрузкам на вращающуюся колонну (износ штанг, износ гидромоторов вращения, износ тисков мехразворота). Поведение бурового станка будет напоминать езду на велосипеде по шпалам железной дороги. Чтобы обеспечить плавную долговечную работу инструмента на больших диаметрах, часто

Шарошечный расширитель со стальным вооружением

Наборный роллерный расширитель диаметром 1000 мм (Альбрехта)

Роллерный ример диаметром 700 мм (Альбрехта)

применяют скальный шарошечный расширитель с направляющим Barrel в сборке.

Роллерные расширители по области применения соответствуют шарошечным со стальным вооружением, но принципиально отличаются от них, отсутствием лапы крепления.

Роллерные головки устанавливаются непосредственно на основание расширителя, и тем самым не могут быть заблокированы скальными обломками. Есть ещё ряд преимуществ роллерных расширителей перед шарошечными. Во-первых, диаметр и плечо установленных в роллерах подшипников увеличивают допустимую осевую нагрузку на расширитель. Во-вторых, режущие диски роллеров нарезают канавки в породе по одной круговой траектории, и при достижении определённой глубины, нарезанные в породе рёбра просто откалываются. Это увеличивает как скорость проходки, так и время работы головок. В третьих, на основание одного расширителя можно устанавливать дополнительные проставки с конической посадкой, на которые крепится роллерная головка. Это позволяет быстро менять не только сами роллерные головки, но и их положение относительно оси расширителя, и получить из одного расширителя три. К недостаткам этого типа расширителей можно отнести невозможность самостоятельной центровки в скважине, как и у Fly Cutter, а также сильный износ торцов роллеров. Эти недостатки нивелируются применением роллерных расширителей в сборке с направляющим Barrel. Подобная комбинация более предпочтительна при бурении грунтов до 8-ой категории перед парой Barrel+Fly Cutter, и перед шарошечными расширителями. Роллерные расширители позволяют сократить список потребного инструмента, и оптимизировать состав скальных дорогостоящих шарошечных расширителей.

P.S. Профессионала в любом деле всегда отличает инструмент, как и умение им пользоваться. Если в вашем арсенале имеются только несколько «срезающих» расширителей, то такая экономия на инструменте приведёт к значительным потерям от аварии, которая не заставит долго себя ждать. Если у вас достаточно качественного инструмента, но вы им не умеете пользоваться, например не настраиваете форсунки под конкретную геологию, не обеспечиваете подобающего восстановительного ремонта, не знаете области применения тех или иных типов расширителей, то результатом будет вышеописанный вариант, когда в вашем арсенале окажется несколько дешёвых «срезающих» расширителей.

Если у Вас есть вопросы, в том числе по опубликованному материалу, пишите *elizgnb@mail.ru* ■