УДК 622.692

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

REQUIREMENTS TOWARDS THE TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF PIPELINES CROSSINGS BY DIRECTIONAL DRILLING METHOD

Ю. И. Спектор, З. З. Шарафутдинов, С. Л. Голофаст
Yu. I. Spektor, Z. Z. Sharafutdiniov, S. L. Golofast

ОАО «Газпром промгаз», г. Москва
Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: ***подводный переход магистрального трубопровода (ПМТ); технология строительства ПМТ; наклонно-направленное бурение; буровая установка; породоразрушающий инструмент; технология расширения скважины переходов; утилизация отходов***
Key words: ***underwater crossing of the main pipeline; underwater crossing construction technology; directional drilling; drill rig; rock breaking tool; method of well crossing widening; wastes disposal***

Строительство переходов трубопроводов через естественные и искусственные водные преграды способом направленного бурения получило широкое распространение в мировой практике. Данный метод обеспечивает высокую эксплуатационную надежность переходов, исключает возможность внешних воздействий на трубопровод и позволяет прокладывать трубопроводы на переходах, где применение траншейных способов технически невозможно или трудновыполнимо.

За последние годы способом направленного бурения построено значительное количество подводных переходов в различных горно-геологических условиях, характеризующихся широким диапазоном изменения условий бурения. Несмотря на значительный объем ПМТ, построенных в РФ и других странах, недостаточно проработаны технологические нормы контроля для проектирования и строительства ПМТ методом наклонно-направленного бурения. В ряде случаев, особенно по мере усложнения горно-геологических условий строительства ПМТ, это приводит к возникновению аварийных ситуаций, резкому увеличению затрат на строительство или даже к потере строящегося перехода. Поэтому были изучены условия и проанализирован опыт строительства ПМТ, что позволило нормировать технологические аспекты процесса в проектировании строительства ПМТ, дать проектные решения по строительству, обеспечить требуемый контроль. Все это помогло снизить стоимость их строительства, ограничить возможность создания аварийных ситуаций и предотвратить возможность потери ПМТ.

Характеристика условий строительства подводных переходов. Следует выделить факторы, препятствующие строительству подводных переходов.

- Невозможность строительства подводного перехода по причине горно-геологических условий, характеризующихся несовместимостью условий бурения с техническими возможностями способа. Примером этому может служить наличие валунного материала более 15 %, повышенная карстовость карбонатных пород и размер полостей более 2–3 м, мерзлый галечник и т. п.
- Экономические соображения по строительству подводного перехода в тех или иных горно-геологических условиях.
- Недостаточная технологическая подготовленность бурового персонала. Это приводит к повышенной аварийности при строительстве подводных переходов.
- Отсутствие у подрядчика бурового оборудования, необходимого для успешного строительства подводного перехода. Подобные факты вызывают замедление сроков строительства подводных переходов и требуют значительных затрат времени на ликвидацию технических осложнений.

Таким образом, на техническую сложность строительства переходов магистральных нефтепроводов (переходов) оказывают влияние конструктивные параметры подводных переходов и технические возможности имеющегося оборудования, но определяющую роль играют горно-геологические условия бурения и совместимость различных интервалов бурения для реализуемой технологии. Ограничением будет являться также и экономическая целесообразность реализации технологии направленного бурения. В случае приближения величины затрат на бурение к затратам на сооружение микротоннеля или в случае невозможности бурения необходима реализация микротоннельного способа строительства переходов трубопроводов.

Анализ затрат на строительство различных переходов, приведенный на рисунке, показывает, что стоимость строительства переходов плавно растет до величины конструктивного параметра $L^*D \approx 500–600$ (где L — длина перехода, D — диаметр трубопровода). За данной границей необходимо изыскание дополнительных технических резервов для снижения затрат на строительство переходов методом направленного бурения. К ним можно отнести многоступенчатое расширение, новые типы породоразрушающего инструмента, совершенствование технологии ведения работ, снижения затрат на буровой раствор и др. Большинство переходов, имеющих конструктивный параметр L^*D менее 600, строились с высокой скоростью, не имели аварийных ситуаций и т. п.

Об этом также свидетельствуют данные по затратам времени на основные операции строительства переходов: бурение пилотной скважины, ее расширение и протаскивание трубопровода. Рост затрат времени характерен лишь для переходов, осуществлявших бурение в высокопластичных глинах, а также в условиях, характеризующихся наличием валунного материала, в прочных карбонатных породах, гравийно-галечниковых и щебенистых отложениях, а также в твердых глинах и мергелях. С увеличением конструктивного параметра $L^*D > 400–500$ затраты времени на строительство переходов возрастают более интенсивно, особенно в осложненных условиях бурения.

Разбиение построенных переходов по цикловой скорости строительства позволяет выделить, что вне зависимости от величины L^*D их можно разделить на три времен-

ные категории и на основании этого осуществлять прогноз затрат времени на строительство переходов.

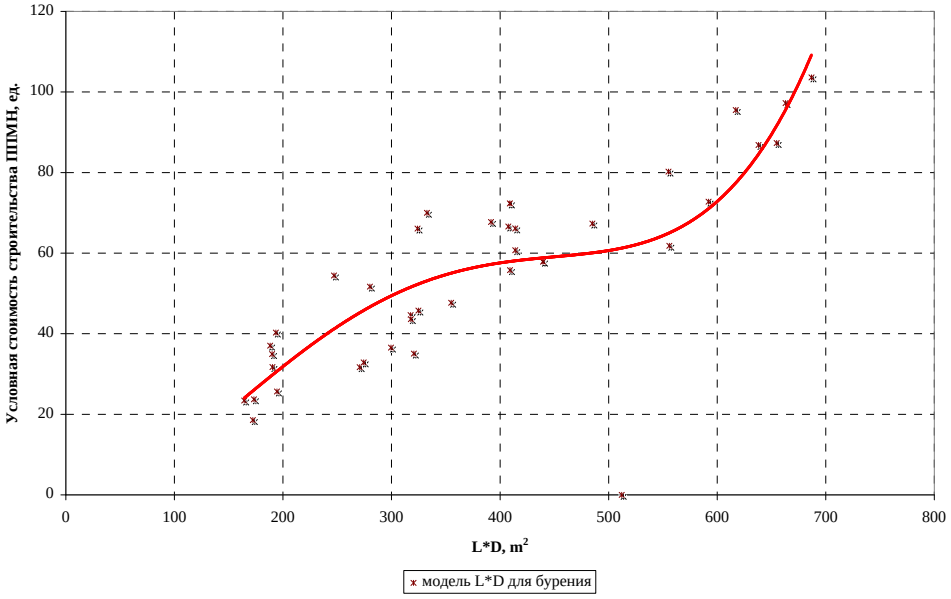

Рисунок. ***Распределение затрат на строительство переходов трубопроводов в зависимости от его конструктивных параметров***

Эти же результаты позволяют разбить строительство переходов по группам технологической усложненности ведения буровых работ исходя из наработанного резерва по технологии бурения в тех или иных горно-геологических условиях. Подобную инженерно-техническую оценку горно-геологических условий и результатов строительства подводных переходов можно свести в табл. 1.

Таблица 1

Распределение переходов по трудности разработки методом направленного бурения

Временная категория сложности	Группа технологической сложности	Характеристика категорий по конструктивному параметру переходов, литологическому составу и условиям бурения	
		I группа	II группа
		L*D < 500	L*D > 500
I	**1**	Чередование по стволу скважины и однородное залегание монолитных пород 1–2 категории прочности и песков	
	2	Однородное залегание и чередование по стволу скважины пород 1–2 категории прочности с гравийно-галечниковыми или щебенистыми отложениями, содержащих песчаный или глиносодержащий заполнитель более 40 %, с их мощностью по стволу скважины не более 100 м.	
II	**3**	Однородное залегание и чередование по стволу скважины монолитных пород 1–2 категории прочности с гравийно-галечниковыми или щебенистыми отложениями, содержащих песчаный или глиносодержащий заполнитель более 40 %, с их мощностью по стволу скважины более 100 м.	
	4	Чередование по стволу скважины и однородное залегание закарстованных пород 3–4 категории прочности с размером полостей не более 2 м. Наличие высокопластичных монолитных грунтов	

Продолжение табл. 1

Временная категория сложности	Группа технологической сложности	Характеристика категорий по конструктивному параметру переходов, литологическому составу и условиям бурения	
		I группа	I группа
		L*D < 500	L*D < 500
II	**5**	Чередование по стволу скважины и однородное залегание монолитных пород 3–4 категорий прочности. Наличие гравийно-галечниковых и щебенистых отложений с содержанием песчаного или глиносодержащего заполнителя менее 40 %, с мощностью залегания по стволу скважины более 100 м.	
III	**6**	Разновысотность точек входа и выхода более 20 м. Чередование по стволу скважины пород с разными категориями прочности (1–5 категория прочности)	
	7	Чередование по стволу скважины и однородное залегание пород 5–6 категории прочности. Наличие карстовых полостей размером более 2 м	
	8	Монолитные породы 1–2 категории прочности, содержащие высокопрочные включения в виде валунника, валунов с размером не более 300 мм. Допускается содержание валунов не более 20 %	

Выбор буровых установок и бурового оборудования для строительства скважины подводного перехода. При строительстве подводных переходов трубопроводов используются буровые установки средней и большой мощности. Средние буровые установки с максимальным тяговым усилием до 40 т и крутящим моментом до 30 кНм применяются на переходах трубопроводов небольшого диаметра через малые реки. В остальных случаях применяются большие и сверхбольшие установки по классификации, приведенной ниже

Буровые установки (тип)	**Максимальная сила тяги, тс**	**Максимальный крутящий момент, кНм**	**Масса, т**
Средние	>15,0 $\leq$ 40,0	10–30	10–25
Большие	>40,0 $\leq$ 250,0	30–100	25–60
Сверхбольшие	> 250,0	>100	> 60

Буровая установка должна создавать усилие, не менее чем в 2 раза превышающее расчетную величину тягового усилия (с учетом возможного ее увеличения при обрушении стенок и сужении ствола скважины). При этом напряжения в трубопроводе от тяговых усилий не должны превышать допустимых величин.

В настоящее время не существует общепринятой модели расчета тягового усилия, на которое необходимо ориентироваться при выборе буровой установки. Очевидно, что это усилие должно быть существенно больше расчетного усилия протаскивания трубопровода в скважине. При расчете усилий протаскивания учитываются весовые характеристики трубопровода и тяговой колонны, взвешивающие силы бурового раствора, силы трения трубопровода на роликовых опорах и в скважине, соответствующие длины участков, радиусы кривизны скважины и другие факторы.

Состав оборудования по приготовлению и очистке бурового раствора, используемого при строительстве переходов, определяется исходя из условий его строительства, свойств бурового раствора и размера частиц выбуренной породы, выносимых из скважины. Блок приготовления (БПР) и очистки бурового раствора состоит из емкостей очистки, вибросита, пескоотделителя, илоотделителя, центробежных насосов, смесителя, рабочей емкости на 10 м^3. Наиболее простая технологическая схема по приготовлению бурового раствора включает в себя емкость для перемешивания компонентов бурового раствора, которая может быть оснащена механическими и гидравлическими перемешивателями; гидроэжекторным смесителем с загрузочной воронкой и шиберным затвором; центробежным или поршневым насосом (обычно один из подпорных насосов) и манифольдами.

Тип применяемых бурильных труб зависит от силы тяги и крутящего момента, реализуемых в процессе бурения. Бурильная колонна должна выдерживать максимальные ожидаемые нагрузки на сжатие, растяжение, кручение и изгиб с учетом коэффициента

безопасности. Как показывает опыт бурения, наиболее часто разрушению подвергаются элементы компоновки перед расширителем (по телу бурильной трубы и в резьбовых соединениях). Бурильные трубы подвергаются сильному износу, особенно при бурении твердых пород с абразивными включениями.

Породоразрушающий инструмент, используемый в строительстве подводных переходов, можно разделить в соответствии с подходами, реализуемыми в [1], на:

- гидромониторный породоразрушающий инструмент;
- инструмент режуще-скалывающего действия (РС) — вооружение выполняется в виде лопастей с режущей кромкой, которая во время бурения находится в постоянном контакте с разрушаемой породой;
- дробяще-скалывающего действия (шарошечные) — вооружение в виде фрезерованных зубьев или вставных зубков размещено на шарошках, и во время бурения каждый элемент имеет кратковременный периодический контакт с забоем.

По назначению породоразрущающий инструмент, используемый для строительства скважин подводных переходов, делится на две группы: для бурения пилотной скважины, для расширения пилотной скважины. Принципиальным отличием для различных конструкций породоразрушающего инструмента, кроме их функционального назначения, будет являться лишь принцип воздействия на забой. Для бурения пилотной скважины в основном используют тот же породоразрушающий инструмент, что и для бурения глубоких скважин. Для расширения используются расширители режуще-скалывающего типа (Fly Cutter, Barrel Reamer), также расширители дробяще-скалывающего действия (Hole Opener). В отдельных конструкциях расширителей имеет место комбинирование различных схем разрушения породы.

Конструкция породоразрушающего инструмента является важным фактором для успешного строительства переходов. Это обусловлено тем, что расширители могут иметь диаметр до 1 600 мм. Одним из факторов, отвечающих за разрушение горной породы, является количество элементов вооружения и их расстановка по площади инструмента, что отражается на перекрытии площади забоя разрушающими элементами и их эффективной одновременной работе. Для этого необходима оптимизация количества разрушающих элементов с частотой вращения инструмента на забое скважины, что влияет на время контакта разрушающего элемента с забоем скважины. Оптимальная величина количества разрушающих элементов для расширителей зависит от диаметра расширителя, поэтому для успешного разрушения породы на забое скважины необходимо увеличивать размер секторов, оснащенных разрушающими элементами, и количество самих разрушающих элементов. В практической деятельности это находит отражение, например, в увеличении размера шарошек на расширителе или их количества. Например, с увеличением диаметра расширителя необходимо увеличивать и количество разрушающих элементов.

Породоразрушающий инструмент гидромониторного действия используется только при бурении мягких, рыхлых несцементированных грунтов до 1 категории прочности, для которых достаточно лишь соблюдение гидравлической программы бурения, а процесс разрушения идет за счет размыва грунта (породы) [1]. Основным требованием к их конструкции является абразивная устойчивость, наличие насадок требуемого диаметра и количества. Количество насадок выбирается исходя из производительности насоса.

Породоразрушающий инструмент режуще-скалывающего действия. К данному типу инструмента относятся лопастные долота, а также расширители Fly Cutter и Barrel Reamer. Разрушение горной породы при работе инструмента режуще-скалывающего действия осуществляется резанием-скалыванием и истиранием при совместном действии нормальных и тангенциальных напряжений. Процесс разрушения породы в этом случае является прерывистым, возникают колебания инструмента и динамические нагрузки на него. При прочих равных условиях динамичность тем меньше, чем больше число лопастей. Чем больше лопастей имеет породоразрушающий инструмент, тем ближе сечение скважины к круглому. Это одна из причин, по которой расширитель должен иметь конструкцию с числом лопастей (секторов) более 5–6 или обладать бочкообразной формой. Эти положения будут справедливы для всех типов расширителей.

С целью уменьшения амплитуды поперечных колебаний режущие кромки лопастей необходимо готовить так, чтобы образуемый ими забой имел выпуклую форму, а перед породоразрушающим инструментом и после устанавливать центраторы-калибраторы, или же инструмент должен выполняться в бочкообразной форме (расширитель Barrel

Reamer). Бочкообразный корпус расширителя имеет двойное назначение: уменьшать динамические колебания инструмента, способствовать дополнительному выносу шлама и калибровке скважины.

Расширитель Fly Cutter отличается тем, что при бурении образуется крупный размер частиц шлама, поэтому данный тип расширителей чрезвычайно требователен к объему промывки и качеству буровых растворов. Несоблюдение условий промывки при его работе ведет к формированию на них сальников, что создает технологические осложнения при бурении и увеличивает непроизводительное время бурения. Данный тип инструмента неприменим при бурении в твердых глинах, гравийно-галечниковых отложениях.

Расширитель Barrel Reamer неэффективен в абразивных породах, а также в гравийно-галечниковых грунтах, так как это ведет к износу его корпуса. Для повышения эффективности его работы в ряде случаев производители буровых работ дополнительно оснащают шарошечным вооружением. При работе в гравийно-галечниковых грунтах с содержанием песчаного заполнителя менее 40–50 % он не способен упрочнять ствол скважины даже при повышении структурно-механических свойств бурового раствора. Это обусловлено особенностями действия корпуса расширителя на забой скважины.

Породоразрушающий инструмент дробяще-скалывающего действия. Шарошечные долота для бурения сплошным забоем нашли широкое применение в глубоком бурении [2]. Их используют для прохождения пород более второй категории прочности совместно с забойным двигателем. Шарошечные расширители, используемые при расширении пилотного ствола скважины до требуемого размера, именуются Hole Opener. Конструкция таких расширителей отличается значительным многообразием, они зависят от диаметра, способа расширения пилотной скважины — одноэтапный или многоэтапный. Механическая скорость бурения зависит от диаметра расширителя и меняется в широком диапазоне значений 0,5–10 м/ч.

Общим для них является оснащение слабоконусными шарошками или лапами шарошечного долота. Количество шарошек в расширителях меняется от 4 до 8. К сожалению, их количество не всегда оптимизируется по отношению к разбуриваемой породе, и они не являются сменным элементом в конструкции расширителя. Смена шарошек предусмотрена только в расширителях конструкции фирмы INROCK.

Расширители Hole Opener, используемые для одноэтапного расширения, имеют, как правило, щитовую конструкцию. Их общим недостатком является то, что они обладают малым числом породоразрушающих элементов (шарошек) и оставляют значительные пространства между своими рабочими элементами. Это приводит к тому, что при бурении данное пространство забивается шламом, образуются сальники, препятствующие эффективному разрушению породы. Подобные расширители требуют повышенного расхода буровых растворов с высокими структурно-механическими свойствами. При бурении в прочных породах они позволяют реализовать величину механической скорости бурения 0,1–4 м/час.

Подобные конструкции расширителей, позволяют успешно строить скважины и обеспечивать протаскивание трубопровода в несцементированных породах, то есть в условиях залегания гравийно-галечниковых и щебенистых грунтов. Это обусловлено влиянием давления расширителя на забой, сложенный несцементированными отложениями гравийно-галечниковых и щебенистых грунтов. Тяговое усилие, действующее на расширитель, уплотняет грунт на его периферии с одновременным насыщением грунта буровым раствором, обладающим высокими структурно-механическими свойствами. Это обеспечивает значительное упрочнение несцементированных отложений на стенке скважины. Подобный эффект увеличивает эффективность работы одноэтапных, щитовых расширителей Hole Opener.

Шарошечные расширители, используемые для ступенчатого расширения, не показывают подобной эффективности при строительстве скважин в условиях залегания гравийно-галечниковых и щебенистых грунтов. Однако использование многоэтапного расширения в устойчивых грунтах более 2 категории с помощью шарошечных расширителей позволяет за счет уменьшения площади забоя обеспечить высокие механические скорости бурения и успешное строительство подводных переходов.

Технология расширения скважины переходов. Расширение скважины переходов может выполняться за один проход расширителя максимального диаметра или путем

последовательного ступенчатого увеличения диаметра ствола скважины с применением нескольких типоразмеров расширителя.

Среди специалистов, занимающихся проблемами строительства подводных переходов методом направленного бурения, идет широкая дискуссия о предпочтительности того или иного способа расширения скважин. Конечным критерием успешности строительства подводных переходов является успешное протаскивание трубопровода в построенную скважину, коммерческая скорость строительства, а также объем финансирования, необходимого для успешного строительства перехода.

Сравнение между собой результатов реализации одно-, многоступенчатого расширения позволяет выделить следующее. Одноэтапный способ расширения наиболее предпочтителен в строительстве переходов, отличающихся наличием в разрезе ствола скважины несцементированных пород в виде гравийно-галечниковых, щебенистых отложений. Граничной величиной эффективного использования одноэтапного способа расширения являются подводные переходы с конструктивным параметром до величины L*D < 500–600 м^2. При отсутствии осложненных зон бурения, таких как отложения гравийно-галечниковых и щебенистых грунтов, многоэтапный и одноэтапный способы расширения при L*D < 600 м^2 сопоставимы. В устойчивых грунтах при геометрической характеристике подводного перехода L*D > 500–600 м^2 наиболее предпочтителен многоэтапный способ расширения.

Промывка ствола скважины и расход бурового раствора при строительстве переходов. Значительную роль в формировании программы промывки скважины играют реологические параметры буровых растворов. Они определяют вынос выбуренной породы на дневную поверхность, величину гидродинамического давления в скважине. Анализ выносных свойств бурового раствора показывает, что при превышении диаметра скважины более 600 мм значения величины скоростного напора чрезвычайно малы и несущая способность бурового раствора определяется только величиной предельного динамического напряжения сдвига.

Зная превалирующий размер частиц шлама горной породы в скважине, прогнозируя их вынос из скважины, можно определить безопасное содержание шлама в буровом растворе для безаварийного бурения. Величины допустимого содержания шлама, реализованные в практической деятельности, приведены в табл. 2.

Знание величин допустимого содержания шлама позволяет реализовать следующий технический подход. Расчет необходимой подачи насосов следует вести из условия величины механической скорости бурения, реализуемой при строительстве скважины подводного перехода. Расчет подачи насоса Q определится как

$$Q_1 = \frac{F_Z * V}{C}, \qquad (1)$$

где Q_1 — подача бурового насоса из условия безопасного содержания шлама, м^3/час; V_{MEX} — механическая скорость бурения, м/час; F_Z — площадь забоя, м^2; C — допустимая доля шлама в объеме бурового раствора, д. е.

Таблица 2

Допустимое содержание шлама в объеме бурового раствора при строительстве скважины перехода

Горно-геологические условия строительства	Допустимое содержание шлама в объеме бурового раствора, %		
	Пилотная скважина	Одноэтапное расширение	Многоэтапное расширение
Ил, глинистые отложения, песок	1–2	10–20	20–30
Высокопластичные глинистые отложения	1–2	10	10–15
Гравийно-галечниковые, щебенистые отложения	1–5	10	Нецелесообразно
Скальные породы невысокой прочности	3–5	10	20–30
Прочные скальные породы	3–5	10	20–30

Сравнение технологий одноэтапного и многоэтапного расширения (при фиксированном содержании шлама и механической скорости бурения) показывает, что при многоэтапном расширении становится возможным снизить подачу бурового раствора. Данный эффект достигается за счет снижения величины площади забоя. Поэтому в процессе строительства подводных переходов скорость бурения ограничена производительностью блока по приготовлению бурового раствора. Например, при подаче насоса 30 л/с, диаметре скважины 1 600 мм скорость бурения не должна превышать 5–6 м/час.

Расчет подачи насоса для многоэтапного расширения с использованием расширителя Barrel Reamer осуществляется по условию реализации гидромониторного эффекта для очистки забоя или разрушения породы. Исходя из этих условий, подача бурового раствора определяется по формуле [1]

$$Q_2 = Q_Y + 0,95 * f * \sqrt{\frac{2\Delta P_д}{\rho_{бр}}} \quad (2)$$

где Q_2 — подача бурового раствора из условия реализации гидромониторного эффекта на породоразрушающем инструменте, м^3/с; Q_Y — утечки через уплотнительный узел вала гидравлического забойного двигателя, м^3/с; $\Delta P_д$ — перепад давления в породоразрушающем инструменте, Па; $\rho_{бр}$ — плотность бурового раствора, кг/м^3; f — площадь гидромониторных насадок.

Подача бурового раствора для работы гидромониторных насадок и реализации гидромониторного эффекта намного ниже, чем подача бурового раствора из условия безопасного содержания шлама для проводки скважины. Поэтому расчет производительности насоса более целесообразно проводить по уровню безопасного содержания шлама в процессе бурения.

Недостатком известных методов расчета расхода бурового раствора является то, что при них не учитывается квалификация бурового подрядчика, его опыт работы, используемый породоразрушающий инструмент и многие другие факторы. Технически наиболее корректным будет являться расчет объема раствора, потребляемого в процессе бурения, исходя из возможности реализации той или иной величины механической скорости бурения, затрат времени на ликвидацию технических осложнений. Поэтому справедливым будет подход к расчету расхода бурового раствора в процессе бурения по пути, когда расход бурового раствора будет определяться необходимой подачей бурового раствора на время его производительного использования

$$V_{бр} = Q * T, \quad (3)$$

$$Q = Q_{бур} - \vartheta * Q_{возврат} + Q_{погл}, \quad (4)$$

$$Q_{бур} = Q_1 = \vartheta * Q_{бл\_бр}, \quad (5)$$

$$T = T_{бур} + T_{осл}, \quad (6)$$

где Q_1, $Q_{бур}$, $Q_{бл\_бр}$, $Q_{возврат}$, $Q_{погл}$ — соответственно подача бурового раствора, необходимая для поддержания проектной величины механической скорости бурения, производительность блока по приготовлению бурового раствора, производительность блока по регенерации бурового раствора, интенсивность поглощения бурового раствора в процессе бурения, м^3/ч; υ — количество блоков по приготовлению или регенерации бурового раствора; $T_{бур}$, $T_{осл}$, T — затраты времени на механическое бурение, ликвидацию осложнений, время производительного использования бурового раствора, ч.

Для расчета объема потребляемого бурового раствора выражение 4 можно записать следующим образом:

$$Q = Q_{бур} + Q_{погл} - Q_{возврат} = Q_{бур}\left(1 + K_{погл}\right) - Q_{возврат} \quad (7)$$

или

$$Q = Q_1\left(1 + K_{погл}\right) - Q_{возврат} \ ,$$

где $K_{погл} = V_{погл}/V_{бр}$ — коэффициент потери циркуляции.

Для оценки производительного времени использования бурового раствора необходимо пользоваться данными по времени, затрачиваемому буровым персоналом на процессы бурения пилотной скважины, расширения, калибровки и протаскивания. В полевых условиях необходимую подачу насоса можно вести по формуле

$$Q_1 = \frac{Fz * V_{МЕХ}}{1 - K} * \frac{\rho_П - \alpha * \rho_{БРС}}{\rho_{БРС} - \rho_{БР}}, \qquad (8)$$

где $\rho_{П,}\, \rho_{БРС,}\, \rho_{БР}$ — плотности разбуриваемой породы, бурового раствора, выходящего из скважины, закачиваемого в скважину; α — степень выноса шлама разбуренной породы из скважины, д. е.

Выбор типа и параметров буровых растворов, компонентов для его приготовления и обработки является важным фактором, способствующим безаварийной проводке скважины и охране окружающей среды. Основным элементом, определяющим эффективность промывки скважины в процессе бурения, является состав бурового раствора и соответствие его свойств и расхода геолого-техническим условиям бурения.

Буровой раствор должен обеспечивать стабильность глинистых отложений в процессе бурения. Данный вопрос не является актуальным при строительстве подводных переходов с длиной менее 500 м. Увеличение длины строительства подводного перехода, наличие в разрезе ствола скважины высокопластичных и осыпающихся глинистых отложений требует пристального внимания к данной технической проблеме.

В процессе бурения используемые буровые растворы должны обеспечить устойчивость несцементированных грунтов. Насыщение образцов несцементированного грунта буровым раствором позволило выяснить, что на физическое состояние грунта значительное влияние оказывают структурно-механические и реологические параметры бурового раствора.

Сопоставление состава и свойств буровых растворов, использующихся различными компаниями в строительстве подводных переходов, а также результаты строительства подводных переходов показывают необходимость дифференцированного подхода к проектированию состава и свойств бурового раствора в зависимости от горно-геологических условий бурения, длины и диаметра проектируемого перехода.

Протаскивание трубопровода. Окончательным результатом строительства переходов является протаскивание трубопровода. Осложнения в процессе протаскивания трубопровода связаны в основном с прохождением криволинейных участков скважины в грунтах, склонных к обрушению, главным образом, гравийно-галечниковых (иногда с включениями валунов) и крупнообломочных материалов. На этих участках отмечается значительное увеличение нагрузок при одновременном снижении скорости протаскивания. Это обусловлено недостаточным распределением нагрузки (положительной или отрицательной плавучести), необходимой для изгиба трубопровода. Поэтому появляются распорные усилия на криволинейных участках траектории скважины. Значительные усилия распора способны вызвать большие контактные нагрузки, а при наличии в скважине и на ее стенках обломков твердой породы — привести к повреждению изоляционного покрытия. Для предотвращения возможности появления подобных явлений осуществляют балластировку трубопровода путем заливки в него воды.

Оптимизировать процесс балластировки трубопроводов различных диаметров позволяет аналитическое моделирование движения трубопровода. Н. Т. Овчинниковым был произведен расчет усилий по протаскиванию трубопровода через пробуренную скважину. Проведенные расчеты показывают, что для трубопровода диаметром D = 530 мм и толщиной стенки δ = 12 мм полное заполнение трубопровода водой не дает положительного эффекта, так как полый трубопровод и полностью заполненный трубопровод имеют близкие весовые характеристики.

При протягивании трубопровода большего диаметра основные закономерности изменения усилий меняются в зависимости от объема балластировки. От каждого добав-

ленного объема воды достигается определенный эффект, уменьшающийся по мере дальнейшего движения трубопровода. Расчеты показывают, что в этом случае часть трубопровода (переходная зона) не контактирует со стенками скважины, за счет этого усилие протягивания должно снижаться.

Утилизация отходов бурения. Одной из сложных проблем является проблема утилизации бурового раствора и шлама, нейтрализация его вредного воздействия на объекты природной среды. В ее решении важная роль отводится разработке методов и технологии утилизации, и обезвреживания указанных отходов бурения. Очевидно, что создание систем закрытого цикла и рециркуляции, а также уменьшение токсичности буровых растворов уменьшает расходы на утилизацию. Это снизит объем отходов бурения для утилизации. Существуют следующие методы утилизации отходов бурения.

- Самый простой метод ликвидации амбаров включает обезвоживание отработанного бурового раствора (ОБР), засыпку и захоронение его твердых остатков в специальных амбарах.
- Использование ОБР в сельском хозяйстве. Это характерно только для недиспергированных буровых растворов с низким содержанием солей, а также известковых и гуматных буровых растворов, применяемых для строительства нефтяных и газовых скважин.
- В нефтяной и газовой промышленности используется подвижная система обработки воды, полимерной флокуляции и отверждения остатков в амбарах.
- Разработаны методы удаления отработанных буровых растворов, например, путем импульсной и факельной сушки и сжигания. Однако при этом загрязняется воздух. Этот метод связан с высокими затратами энергии.
- Предлагается к использованию бактериальная деградация. В настоящее время продают сухие замороженные бактерии и питательные пакеты для ускорения разложения реагентов в амбарах. Метод эффективен, но требует для своей реализации значительного времени.

Все известные методы переработки буровых растворов включают в себя отделение твердой фазы от воды путем коагуляции. Это можно осуществить как в амбаре, так и в специальных блоках по переработке раствора.

Данные мероприятия осуществляются посредством ввода в состав отработанного бурового раствора соединений, разрушающих структуру бурового раствора реагентов в их составе. Такими соединениями являются гидроксихлорид алюминия, сульфаты алюминия и железа, гидролизованный полиакриламид, водорастворимый полимер катионный (ВПК-402), известь негашеная и др. Данные соединения вследствие своей очень высокой гидрофильности сворачивают полимеры и приводят также к коагуляции глины. В результате этих процессов имеет место разделение раствора на твердую фазу и осветленную воду. В дальнейшем наблюдается седиментационное осаждение твердой фазы. После прохождения описанных процессов осуществляется удаление жидкой фазы.

Основным путем снижения экологической нагрузки является, прежде всего, снижение объема потребляемого раствора. Отработанный раствор, в свою очередь, должен быть разделен на твердую и жидкую фазу. Это лежит в основе всех технологий по переработке буровых растворов.

Просуммированный нами опыт строительства ПМТ методом наклонно-направленного бурения показывает, что существует ряд специфических требований к технологии их строительства. В частности, это требования к буровому оборудованию, реализуемой технологии расширения, применяемым буровым растворам, промывке скважин в процессе расширения. Данные требования обусловлены геологическими условиями строительства ПМТ и его конструктивными параметрами. Соблюдение данных требований позволило разрабатывать программы по строительству ПМТ в составе проектной документации, обеспечить контроль процесса строительства и его успешное завершение.

Список литературы

1. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов / А. Н. Попов, А. И. Спивак, Т. О. Акбулатов и др.; под общей редакцией А. И. Спивака. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 509 с.

Сведения об авторах

Спектор Юрий Иосифович, *д. т. н., генеральный директор ОАО «Газпром промгаз», г. Москва, тел. 8(495)5044270, e-mail: promgaz@promgaz.ru*

Шарафутдинов Зариф Закиевич*, д. т. н., главный научный сотрудник ОАО «Газпром промгаз», г. Москва, тел. 8(495)5044378, e-mail: z.sharafutdinov@promgaz.gazprom.ru*

Голофаст Сергей Леонидович, *д. т. н., профессор кафедры «Кибернетические системы», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)488111, e-mail: trasser@inbox.ru*

Information about the authors

Spektor Yu. I.*, Doctor of Engineering, General Director of OJSC «Gasprom promgas», phone: 8(495)5044270, e-mail: promgaz@promgaz.ru*

Sharafutdiniov Z. Z.*, Doctor of Engineering, chief scientific worker of «Gasprom promgas», phone: 8(495)5044378, e-mail: z.sharafutdinov@promgaz.gazprom.ru*

Golofast S. L.*, Doctor of Engineering, professor of the chair «Cybernetic systems», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)488111, e-mail: trasser@inbox.ru*