

**Николай И. Слюсарев\*, Виктор В. Феллер\***

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН**

Повышение эффективности и полноты извлечения углеводородов из недр в значительной мере зависят от совершенствования технологии разработки. Новые технологии, основанные на применении горизонтально-направленных стволов скважин существенно изменили теорию и практику добычи нефти и газа. Освоение горизонтальных технологий позволило значительно повысить дебиты скважин, увеличить продолжительность безводного периода их эксплуатации за счет снижения депрессии и выработать запасы нефти на месторождениях, которые ранее считались неизвлекаемыми. Практика показывает, что горизонтальные скважины могут быть эффективно использованы для доразведки и доразработки многих нефтяных, газовых и нефтегазовых месторождений, для добычи высоковязких нефтей и битумов, а также применяться при разработке залежей недоступных для разбуривания в силу экологических причин.

Темпы развития бурения горизонтальных скважин в мировой практике исключительно высоки. Бурение горизонтально-направленных скважин в настоящее время находится на стадии своего развития и совершенствования. Еще существует ряд сложных проблем, нуждающихся в своем решении. Успешная, безаварийная проводка горизонтальных стволов скважин определяется прежде всего степенью совершенства процесса промывки и оборудования для его осуществления.

Проведенный анализ накопленного опыта бурения горизонтальных стволов указывает на то, что основная причина приводящая к повышению сроков и стоимости строительства ГС, это аварии вызванные поломками, прихватом скважинного инструмента и другого технологического оборудования с последующим оставлением его на забое.

---

\* Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) им. Г.В. Плеханова, Санкт-Петербург, Россия

В большинстве случаев при разбуривании пластов ГС применяют промывочные растворы на водной основе. При невращающихся бурильных трубах в горизонтальных участках ствола скважины для эффективного выноса шлама необходимо задавать турбулентное течение промывочной жидкости, что приводит к непропорционально высоким энергозатратам, так как потери давления возрастают в квадратичной зависимости от скорости потока. Однако увеличение турбулентности за счет повышения средней скорости не в полной мере обеспечивает эффективность промывки, поскольку в широком зазоре (висячий бок ствола) жидкость может двигаться в турбулентном режиме, а в узкой части будет сохраняться структурный режим с гораздо меньшей скоростью течения, где будет оседать значительное количество бурового шлама, что может привести к существенным осложнениям. Увеличение расхода промывочной жидкости для достижения высоких скоростей потока в большинстве случаев невозможно. Кроме того, в системе «скважина-пласт» создается положительный перепад давления при этом, как правило происходит поглощение промывочной жидкости и кольматация призабойной зоны пласта. Общеизвестно, что сохранение коллекторских свойств пласта для повышения нефтеотдачи достигается при бурении на депрессии – отрицательном перепаде давления (ОПД) скважина-пласт или равновесии между давлением в скважине и пластовым давлением. Кроме того, бурение горизонтального ствола при отрицательном перепаде давления происходит с более высокой эффективностью, нежели в условиях репрессии.

Условия ОПД применимы в бурении как горизонтальных, так и вертикальных скважин из-за неоспоримых преимуществ, позволяющих свести к минимуму проблемы, связанные с бурением, сократить затраты по добыче нефти и газа, уменьшить пагубное воздействие на окружающую среду и повысить безопасность работ.

Повреждение коллекторских свойств пристволенной части пласта сводится к минимуму или исключается совсем, благодаря притоку пластовой жидкости во время бурения, что в свою очередь позволяет обойтись без стимуляции и очистки продуктивного пласта, которые, как правило, необходимы в обычном бурении. Благодаря данной технологии значительно уменьшаются проблемы и риск при бурении в истощенных пластах, такие, например, как потеря циркуляции и прихваты бурового инструмента из-за перепада давления. Себестоимость нефти и газа снижается за счет увеличения механической скорости проходки, продления срока службы долота, уменьшения расходов на ликвидацию или предотвращение проблем бурения. На уменьшении себестоимости продукции сказывается также увеличение объемов добычи вследствие снижения эффекта нарушения проницаемости (скин-эффекта) призабойной части пласта. Уменьшение или полное отсутствие необходимости в утилизации отработанного бурового раствора повышает экологическую оценку технологии.

Исследованиями Э.А. Аكوпова, А.С. Денисова, и др. было установлено, что вращение бурильной колонны благоприятным образом сказывается на транспортировке частиц шлама и эвакуации из застойных зон.

Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности бурения ГС и минимизации нарушения эксплуатационных качеств пласта является формирование вращательно-поступательного потока промывочной жидкости в неподвижных стенках кольцевого канала. Для оценки возможности создания закрученных

потоков в кольцевых каналах горизонтальных стволов скважин при циркуляции промывочной жидкости, оценки степени влияния основных факторов, определяющих технологические особенности и режимные параметры процесса удаления шлама, закономерности которого можно установить только опытным путем, были проведены исследования.

Исследования проводились на специально разработанном стенде с прозрачной трубой подобном участку призабойной зоны кольцевого канала скважины длиной 6 м. Конструкция стенда позволяла проводить исследования, как при создании вращения потока в кольцевом канале специально установленной турбинкой, с возможностью вращения вокруг своей продольной оси под действием потока промывочной жидкости, так и без вращения. Окружные компоненты скорости турбинки измерялись специальным устройством, а степень закрутки потока оценивалась по вводимым частицам магнитного материала  $\gamma$  окись железа  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ , которая используется в качестве магнитного компонента для магнитозаписи и специального красителя стробоскопическим и тахометрическим методом. В качестве промывочной жидкости использовалась вода и малоглинистый раствор. Шлам (строительный песок с эквивалентным  $d \cong 1,5 - 2,2$  мм) подавался в заданной концентрации специальным устройством под торец центратора. Полнота вытеснения шлама оценивалась как визуально, так и отбору из емкости после отстоя.

Соотношение между центробежным и гравитационным ускорением оценивалась числом Фруда [1]

$$Fr = \omega^2 r/g \quad (1)$$

При значении критерия Фруда  $Fr \geq 1$  проявляется активное воздействие центробежных сил и поток жидкости соответствует вращению по закону твердого тела.

При уменьшении числа Фруда  $Fr < 1$  наблюдается радиальное и вертикальное расслоение потока.

Закрутка потока оценивалась по динамическому критерию Рейнольдса, подсчитанная по динамической скорости  $v_{ж} = \sqrt{\tau/\rho}$

$$Re^* = \frac{\sqrt{\tau/\rho} \cdot r}{\nu} \quad (2)$$

В пределах достигнутого исследования, ограниченного длиной трубы стенда 6 м наблюдалось устойчивое сохранение начального момента вращения, динамический параметр Рейнольдса  $Re^* = 5,5-5,6$ .

Результаты исследований показали, что для очистки забоя при концентрации твердых частиц 10–12% по массе к жидкости при невращающихся трубах скорость потока должна достигать 5–6 м/с, в то же время при закрученных потоках, полный вынос обеспечивается при скорости 0,3–0,4 м/с, с концентрацией до 20%.

Проведенные исследования подтвердили правильность физических предпосылок использования центробежных сил и осевых скоростей потока для эффективного

выноса твердых частиц шлама при бурении горизонтальных стволов скважин. В закрученном потоке обеспечивается полный вынос твердых частиц при концентрации до 20% по массе к промывочной жидкости, а ее расход снижается на порядок по сравнению с минимально допустимым пределом скорости потока без вращения. Установленные закономерности позволяют обосновывать принципиальные схемы и методики проектирования и расчета технических средств управления процессом промывки горизонтально-направленных скважин, как в режиме равновесия, так и на депрессии с минимальными энергетическими затратами при полной очистке кольцевого канала практически без ограничения обогащения объема жидкости твердыми частицами при высокой механической скорости бурения.

Вскрытие продуктивных пластов на депрессии позволяет сохранять природные фильтрационные свойства коллектора, и повышать эффективность извлечения углеводородов из недр.

Дальнейшее совершенствование технологических операций, составляющих процесс промывки бурящихся горизонтально направленных скважин целесообразно осуществлять созданием вращательно-поступательных потоков и систем для его управления.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кафаров В.В.: *Основы массопередачи*. М., Высшая школа 1972, 542 с