

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНЫХ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ**

В.М. Горбенко

Научный руководитель профессор Л.А. Саруев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Исследования теории и практики работы шароструйно-эжекторных буровых снарядов уходят своими корнями к середине прошлого столетия, когда практически одновременно схожие конструкции буровых снарядов разрабатывались в США и СССР. Наиболее известные работы в этой области принадлежат Deily, I.E. Eckel, L.W. Ledgerwood, A.B. Увакову, А.Н. Давиденко, А.В. Ковалеву. К настоящему времени известно множество конструкций шароструйно-эжекторных буровых снарядов, как полностью бесконтактных, не предполагающих непосредственного взаимодействия снаряда с породой, так и комбинированных, когда центральная или периферийная часть забоя разрушается с помощью лопастей с твердосплавными вставками. Авторами [2, 3] разработана методика расчета технологических процессов шароструйного бурения в различных режимах разрушения.

Целью настоящей работы является обобщение результатов, представленных в работах [2, 3], и определение области применения шароструйно-эжекторных буровых снарядов для проходки скважин различных геометрических размеров в совокупности с традиционно применяемым парком бурового оборудования.

К числу основных параметров, определяющих режимы работы шароструйно-эжекторных буровых снарядов, следует отнести оптимальную скорость соударения шара с горной породой, расход промывочной жидкости, коэффициент эжекции струйного аппарата, перепад давления на сопле, давление нагнетания буровых насосов, механическую скорость бурения [2].

Чтобы отразить внутренние связи между различными параметрами, влияющими на режимы работы шароструйно-эжекторных буровых снарядов, основываясь на методике расчета процессов шароструйного бурения, подробно представленной в [2, 3], а также определить возможность бурения скважин с их помощью в оптимальном и усталостном режимах в различных геолого-технических условиях, были проведены расчеты модельных скважин в широком диапазоне диаметров и глубин.

Для проведения расчетов и выбора бурильного инструмента были взяты типовые диаметры геологоразведочных и нефтегазовых скважин в диапазоне от 59 до 444,5 мм. Глубины скважин диаметрами 59, 76 и 93 мм варьировались от 250 до 2500 м, для скважин диаметром от 120,6 до 444,5 мм расчеты проводились до глубины 5000 м, при этом глубина скважин варьировалась с шагом 250 м. Для расчетов был выбран типовой ряд горных пород, механические свойства которых определены с достаточной достоверностью.

Поскольку основным механическим свойством, характеризующим горную породу, является ее твердость, был сделан вывод о необходимости проведения расчетов забойных процессов для горных пород, твердость которых равномерно увеличивается: плотный известняк, гранит, доломит окремненный, диабаз мелкозернистый, кварцит мелкозернистый, джеспилит мелкозернистый.

Следует отметить, что для расчета процессов разрушения горных пород ударами шаров, движущихся с высокой скоростью, помимо статической твердости по штампу, также важно знать динамическую твердость, модуль упругости первого рода, коэффициент Пуассона.

В соответствии с [4] в рамках настоящего расчета было принято, что динамическая твердость породы превосходит твердость по штампу в среднем в 1,8 раза.

В значительной степени эффективность разрушения горных пород определяется механическими свойствами материала используемых шаров. При шароструйном бурении могут использоваться как стальные (из сталей марок ШХ-9, ШХ-15, ШХ-15СГ) так и твердосплавные шары (сплав ВК-8В). Твердосплавные шары обладают большей в 1,8–1,9 раз плотностью и большим в 2–3 раза модулем упругости, большим на 8–15 % коэффициентом передачи энергии, в связи с чем требуется меньшая оптимальная скорость шаров в момент соударения с породой. Также твердосплавные шары обладают большими значениями прочности на сжатие, поэтому они способны выдерживать более высокие значения контактных нагрузок. В связи с этим, дальнейшие расчеты проводились для бурения с помощью твердосплавных шаров из сплава ВК-8В.

При бурении с помощью шароструйно-эжекторных буровых снарядов возможны два режима разрушения горной породы: оптимальный и усталостный. Предполагается, что при оптимальном режиме разрушения энергии от единичного удара шара в точку породы будет достаточно для ее объемного разрушения с образованием воронки выкола, по объему сопоставимой с размером самого шара. При усталостном режиме порода разрушается за счет накопления деформационных нарушений в ее структуре за несколько циклов нагрузки-разгрузки.

Значения скоростей соударения шаров с породой для реализации оптимального режима разрушения варьируются от 30 м/с для плотного известняка до 140 м/с для мелкозернистого джеспилита.

Для расчета гидравлической программы промывки скважины использовался модельный буровой раствор со следующими параметрами: плотность 1200 кг/м³, динамическое напряжение сдвига 2 Па, динамическая вязкость 0,020 Па*с.

Существенное влияние на бурение с точки зрения гидродинамических процессов оказывает буровой инструмент. Выбор бурильного инструмента производился на основе следующих критериев: обеспечение возможности безаварийной проводки скважины; максимально возможное облегчение веса бурильной колонны; минимизация суммарных потерь давления в скважине. Выбраны бурильные трубы СБТН-42, СБТН-50 для скважин диаметрами от 59 до 93 мм, трубы типа ЛБТ диаметрами от 90 до 168 мм для скважин диаметрами от 121 до 445 мм.

Важно отметить, что для снижения потерь давления внутри бурильной колонны при реализации шароструйного способа бурения требуется выбирать инструмент большего диаметра, поскольку чтобы обеспечить эффективную работу шароструйно-эжекторного бурового снаряда требуется до двух раз больший расход промывочной жидкости по сравнению с «классическими» способами бурения.

Разгон породоразрушающих шаров осуществляется за счет передачи кинетической энергии потока промывочной жидкости, движущейся в камере смешения снаряда к породоразрушающим шарам. В среднем скорость породоразрушающих шаров составляет 0,8 от скорости потока. Таким образом, скорость потока промывочной жидкости в камере смешения должна составлять от 40 до 175 м/с. При этом расход в камере смешения бурового снаряда может до 4 раз превышать расход, создаваемый буровым насосом за счет эжекции промывочной жидкости из затрубного пространства. Для создания струйных аппаратов с коэффициентом эжекции до 4 требуется существенно уменьшать диаметр сопловой насадки, что неизбежно ведет к увеличению перепада давления на ней. Известно, что современные металлокерамические сопловые насадки буровых долот способны выдержать перепад давления до 13 МПа. При больших значениях перепада наблюдается преждевременный эрозионный износ насадок и их выход из строя, что для шароструйно-эжекторных буровых снарядов, в отличие от стандартных буровых долот, является критическим, поскольку сопло является одним из основных частей снаряда.

Расчет требуемых перепадов давления на сопловых насадках в зависимости от выбранной породы показывает, что с учетом данного ограничения в оптимальном режиме разрушения можно бурить породы, близкие по совокупности физико-механических свойств к плотным известнякам.

Проведенный расчет суммарных гидравлических потерь для скважин, вскрывающих разрезы плотного известняка показал, что с имеющимся в промышленности парком буровых насосов, предельное давление нагнетания которых варьируется от 250 до 500 атмосфер, можно бурить скважины диаметрами 59-93 мм до глубины 1000 м, скважины диаметрами 121-245 мм до глубины 4000 м. Скважины большего диаметра бурить данным способом нерационально вследствие высоких требований к расходу бурового раствора, когда требуется параллельная работа более трех насосов одновременно.

Очевидно, что область применения шароструйно-эжекторных буровых снарядов в оптимальном режиме достаточно мала, однако данный метод показывает неплохие результаты и при реализации усталостного режима разрушения. Для достижения максимальной скорости бурения в данном случае требуется выполнить два условия: создать перепад давления на сопловой насадке бурового снаряда, не превышающий 13 МПа, и выдержать значения коэффициента эжекции в диапазоне от 2 до 4, поскольку согласно исследованиям [1], в этом диапазоне обеспечивается наибольший вынос продуктов разрушения. При этом с точки зрения гидравлических потерь можно бурить скважины всех рассмотренных диаметров вплоть до глубины 5000 м.

В результате проведенной работы апробирована методика расчета технологических процессов шароструйного бурения, что позволило определить оптимальные области применения данного способа:

1. Бурение в оптимальном режиме разрушения горных пород возможно для скважин диаметрами от 120 до 270 мм и глубинами в диапазоне от 2000 до 5000 м, проходящих через породы, близкие по совокупности физико-механических свойств к рассмотренным плотным известнякам и не требующие скоростей соударения породоразрушающих шаров с забоем более 40 м/с;

2. В усталостном режиме разрушения наиболее оптимально применять способ бурения шароструйно-эжекторными буровыми снарядами для проходки скважин диаметрами от 120 до 295-350 мм в интервалах глубин от 1500 до 4000 – 5000 м в зависимости от выбранного насосного оборудования.

Литература

1. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits // Transaction AIME. – Dallas, 1956. – Vol. 207. – p. 15.
2. Ковалев А.В. Теоретические и экспериментальные исследования технологических процессов шароструйного бурения скважин: Дис. канд. техн. наук – Томск, 2016г. – 143с.
3. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Горбенко В.М., Горбенко М.В., Саруев Л.А. Расчет технологических процессов шароструйного бурения в оптимальном режиме разрушения горных пород // Георесурсы, научно-технический журнал. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 102-106.
4. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.