

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШАРОСТРУЙНОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

А.В. Ковалев, С.Я. Рябчиков, Е.Д. Исаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Аннотация. Научная работа посвящена исследованию процессов шароструйного бурения твердых горных пород. Проведено моделирование технологического процесса, в результате которого создана физическая модель. Она позволяет рассчитать технические параметры для реализации шароструйного бурения в различных геологических и технологических условиях.

Abstract. The scientific work is devoted to research the processes pellet impact drilling hard rocks. The simulation process, which generates a physical model. It allows you to calculate the technical parameters for the implementation of pellet impact drilling in a variety of geological and technological conditions.

Введение

В мировой практике бурения скважин прослеживается тенденция к возрастанию объема бурения скважин различного назначения в твердых горных породах. Бурение в таких породах характеризуется низкой механической скоростью бурения и проходкой на долото. Повышение эффективности механического бурения в твердых горных породах может быть реализовано за счет создания новых материалов и новых конструктивных решений для породоразрушающего инструмента (ПРИ). Несмотря на постоянное совершенствование, бурение механическими способами в твердых горных породах остается недостаточно эффективным.

Поэтому актуальность приобретают разработки альтернативных способов разрушения горных пород. По мнению ряда авторов [1, 4, 6] одним из наиболее перспективных является гидродинамический способ разрушения горных пород, осуществляемый высокоскоростной струей жидкости. Данным способом на забой скважины можно передавать значительные мощности, при этом скорость бурения и проходка на долото могут возрасть в кратное число раз. Кроме того, этот способ легко вписывается в существующую технологию бурения механическими способами, при которой для очистки скважины от шлама на забой подается промывочная жидкость. Однако гидродинамический способ в традиционном виде мало перспективен для бурения скважин в твердых горных породах.

Шароструйный способ бурения скважин, заключающийся в разрушении горных пород ударами высокоскоростных шаров, непрерывно циркулирующих в призабойной зоне скважины, позволит решить ряд технических и технологических проблем при реализации гидродинамического способа разрушения горных пород. Данный способ характеризуется рядом существенных достоинств: простота конструкции бурового снаряда, отсутствие необходимости во вращении долота и создании на него осевой нагрузки. Проведенные ранее промышленные испытания способа [2, 3] показали увеличение механической скорости бурения и проходки на долото по сравнению с традиционными ПРИ.

Нами было доказано [5], что наиболее эффективной для разрушения твердых горных пород является конструкция шароструйно-эжекторного бурового снаряда с соплом, камерой смешения цилиндрической формы и коническим диффузором с их последовательным осевым расположением. Эффективность работы данного долота будет определяться точностью расчета согласованных геометрических параметров бурового снаряда и параметров режима бурения. Известные методики для расчета шароструйно-эжекторных буровых снарядов являются достаточно разрозненными и

разработаны для конкретных конструкций буровых снарядов. Поэтому необходима разработка физической модели шароструйного способа бурения снарядом выбранной конструкции, которая позволит создать научно-методическую основу для инженерного расчета технологических процессов в различных геолого-технических условиях.

Разработка физической модели шароструйного бурения скважин

Разработка указанной физической модели производилась по результатам экспериментальных исследований, в частности, высокоскоростной съемки. Гидродинамическая схема работы бурового снаряда представлена на рис. 1. При работе бурового снаряда можно выделить 4 стадии движения шаров: 1 – подъем шаров в затрубном пространстве 1 до зоны всасывания 2; 2 – переход шаров из зоны 2 в камеру смешения 3; 3 – движение шаров в камере смешения 3 и диффузоре 4; 4 – движение шаров в области между долотом и забоем скважины 5.

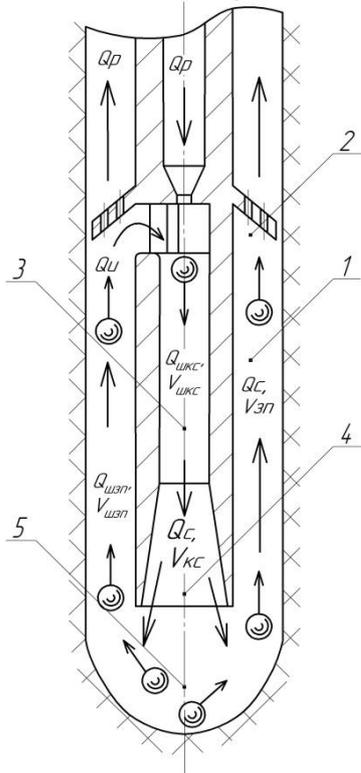


Рис.1. Гидродинамическая схема работы бурового снаряда:
 1 – затрубное пространство; 2 – зона всасывания шаров; 3 – камера смешения; 4 – диффузор; 5 – область между долотом и забоем скважины

Технологический процесс бурения при этом характеризуется следующими показателями:

Q_p – расход промывочной жидкости, подводимой к буровому снаряду;

Q_i – расход инжектируемой жидкости;

Q_c – расход смешанного потока;

V_{zn}, V_{kc} – скорости жидкости при течении в затрубном пространстве и буровом снаряде;

$Q_{шкс}, V_{шкс}$ – расход и скорость движения шаров в камере смешения;

$Q_{шзн}, V_{шзн}$ – расход и скорость движения шаров в затрубном пространстве

Отличительной чертой струйных аппаратов, лежащих в основе ШЭБС, является циркуляция жидкости совместно с породоразрушающими шарами. Таким образом, в процессе бурения исследуемым снарядом происходит циркуляция потока промывочной жидкости (Q_c) и шаров ($Q_{шкс}, Q_{шзн}$). Важным является тот факт, что включение в промывочную жидкость шаров меняет режим работы струйного аппарата.

Подъем шаров в затрубном пространстве

Среднюю скорость подъема шаров (в м/с) при условии их равномерного движения можно определить по формуле:

$$V_{шзн} = V_{zn} - U, \quad (1)$$

где V_{zn} – скорость движения бурового раствора в затрубном пространстве, определяемая исходя из условия равенства расхода смешенного потока в камере смешения и затрубном пространстве по формуле:

$$V_{zn} = \frac{V_{kc} \cdot d_{kc}^2}{(D_{скв}^2 - d_{бс}^2)}, \quad (2)$$

где d_{kc} – диаметр камеры смешения, $D_{скв}$ – диаметр скважины, $d_{бс}$ – наружный диаметр бурового снаряда;

U – скорость свободного падения шаров в буровом растворе для переходного и турбулентного режима обтекания, м/с, определяемая по формуле Риттенгера:

$$U = \omega \cdot \sqrt{\frac{d_{ш} \cdot (\rho_{ш} - \rho_{бр})}{\rho_{бр}}}, \quad (3)$$

где ω – постоянная Риттенгера, для шара в среднем $5,11 \sqrt{(м/с^2)}$, $d_{ш}$ – диаметр шаров, $\rho_{ш}$ – плотность шаров, $\rho_{бр}$ – плотность бурового раствора.

Количество шаров $N_{шзп}$, движущихся в затрубном пространстве, определяется по выведенной нами формуле, исходя из условия непрерывного движения шаров. Предполагается, что шары при этом выстраиваются в несколько рядов.

$$N_{шзп} = \left(\frac{l_{бс}}{d_{ш} \cdot C_1} \right) \times \left(\frac{\pi \cdot (d_{бс} + D_{скв})}{2 \cdot d_{ш} \cdot C_2} \right), \quad (4)$$

где C_1 – коэффициент, учитывающий зазор между рядами; C_2 – коэффициент, учитывающий зазор между шарами в ряду.

Формулу (4) необходимо применять для расчета оптимальной массы порции шаров. О справедливости данной формулы свидетельствуют результаты, полученные при экспериментальном исследовании влияния длины камеры смешения на эффективность шароструйного бурения. При увеличении длины камеры смешения оптимальное количество шаров увеличивается, что отражается в выше представленной формуле.

Необходимо отметить, что эффективный вынос шлама из призабойной зоны скважины может быть обеспечен за счет:

увеличения пропускной способности задерживающего устройства;
выбора оптимального незавышенного значения коэффициента эжекции, обеспечивающего необходимую скорость движения шаров в камере смешения.

Переход шаров из затрубного пространства в камеру смешения

В верхней части бурового снаряда шары, поднимаемые восходящим потоком, наталкиваются на задерживающее устройство с последующим проходом их через технологические окна в камеру смешения.

Для предупреждения заклинивания шаров под задерживающим устройством необходимо соблюдать условие:

$$Q_{шзп} \leq Q_{шкс}. \quad (5)$$

Экспериментальные исследования показали, что формула (5) справедлива при коэффициентах эжекции, превышающих значение 2.

Движение шаров в камере смешения и диффузоре

С помощью высокоскоростной съемки была исследована траектория движения шаров от входа в камеру смешения до выхода из диффузора. Было выявлено, что шары в камере смешения движутся не параллельно ее оси в связи с тем, что в момент входа шаров в камеру смешения вектор скорости направлен под углом к оси скважины. При движении шаров в камере смешения наблюдается их рикошетирующее от ее стенок. Отклонение траектории шаров при прохождении через диффузор не обнаружено.

Кроме того, анализ видеофрагментов показал, что в момент входа в камеру смешения шары ускоряются за счет воздействия на них струи бурового раствора, выходящей из сопла. При удалении от входного участка камеры смешения профиль скоростей струйного аппарата выравнивается, скорость шаров уменьшается до скорости $V_{шкс}$ и остается постоянной.

Скорость шаров в камере смешения рассчитывается по формуле:

$$V_{шкс} = \theta \cdot V_{кк}, \quad (6)$$

где θ – коэффициент, зависящий от отношения диаметра камеры смешения к диаметру шаров, расхода шаров в камере смешения и свойств промывочной жидкости;

$V_{кс}$ – скорость промывочной жидкости в камере смешения, вычисляемая по формуле:

$$V_{кс} = \frac{4 \cdot Q_p \cdot (1 + n_{эж})}{\pi \cdot d_{кс}^2}, \quad (8)$$

где $n_{эж}$ – коэффициент эжекции струйного аппарата.

Расход шаров в камере смешения при этом составит:

$$Q_{шкс} = C_3 \frac{2 \cdot V_{шкс}}{d_{ш}}. \quad (12)$$

Следует отметить, что полученная эмпирическая зависимость расхода шаров в камере смешения от скорости их движения хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований, приведенных в работе [2].

Движение шаров в призабойной зоне скважины

При выходе шаров из диффузора они ударяются о горную породу, разрушая ее.

В области между буровым снарядом и забоем скважины образуются скопления шаров, вызванные значительной турбулизацией потока бурового раствора после его удара о забой, а также взаимодействием движущихся вниз шаров и отсочивших от горной породы. Кроме того, сопоставление реальных геометрических размеров долота, шаров и расстояния между долотом и забоем скважины, а также наблюдения за траекторией шаров при скоростной съемке показали, что разрушение периферийной части забоя скважины главным образом обуславливается рикошетами отсочивших от породы шаров с шарами, движущимися на забой. Это еще раз подтверждает необходимость бурения скважин при минимальном расстоянии между долотом и забоем.

Выводы

Разработанная физическая модель шароструйного бурения скважин создает научно-методическую основу для инженерного расчета технологических процессов в различных геолого-технических условиях и позволяет:

- определять расход и скорость движения шаров в затрубном пространстве и буровом снаряде;
- обеспечить эффективный вынос шлама из призабойной зоны скважины;
- выявлять условия для предупреждения заклинивания шаров под задерживающим устройством бурового снаряда;
- для буровых снарядов исследуемой конструкции рассчитывать оптимальную массу технологической порции шаров.

Литература

1. Давиденко А.Н. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов; М-во образования и науки Украины, Нац. Горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 110 с.
2. 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.
3. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
4. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А., Горбенко В.М. Проблемы гидродинамических способов бурения скважин и основные направления для их решения. // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд. ТПУ, 2015. – Т. 326, №3. – С. 6–12.
5. Kovalyov A.V. Designing the ejector pellet impact drill bit for hard and tough rock drilling [Электронный ресурс] / A.V. Kovalyov, S.Ya. Ryabchikov, Ye.D. Isaev, F.R. Aliev, M.V. Gorbenko, A.B. Strelnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – Vol. 24. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/24/1/012016>.

6. Кожевников А.А., Давиденко А.Н. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин. – М., 1987. – 45 с.
7. Спивак А.И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов / А.Н. Попов [и др.]; под ред. А.И. Спивака. – М.: Недра, 2003. – 509 с. Уваков А.Б. Шароштруйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТВОЛА СКВАЖИНЫ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА

Д.Е. Козлов, К.М. Минаев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы возникновения и возможности ликвидации поглощений бурового раствора в скважине. Приведена схема кинематики движения бурового раствора в скважине, обладающей каналами ухода. Проанализированы существующие методы профилактики возникновения поглощений раствора и сформулированы рекомендации для реализации успешного бурения в осложненных условиях.

Abstract. The paper deals with the origin and the possibility of liquidation of acquisitions mud in the well. The circuit of kinematics motion of drilling fluid into the borehole having channels care. We analyzed the existing methods of prevention of acquisitions and solution recommendations for the implementation of successful drilling in the complicated conditions.

Поглощения бурового раствора при бурении скважин связано с вскрытием пористых или трещиноватых пластов. Поглощения могут быть вызваны технологическими причинами или геологическими условиями залегания горных пород.

В ходе откачки бурового раствора обратно на поверхность раствор соприкасается со стволом скважины. При традиционных методах бурения давление в стволе превышает пластовое давление, что предотвращает приток пластовых флюидов в скважину. По одному из механизмов ухода бурового раствора из ствола происходит фильтрация в проницаемые породы, при которой жидкий компонент бурового раствора поглощается породой, а твердые частицы и капли эмульсии собираются на стенке ствола, образуя фильтрационную корку. Низкая проницаемость такого осадка обеспечивает очень малый объем утечки, и его образование не расценивается как потеря циркуляции. Потеря циркуляции происходит в том случае, если порода является трещиноватой, кавернозной или очень пористой. Тогда имеет место другой механизм, и если давление в стволе превышает прочность породы на разрыв, образуются трещины. По каждому из этих механизмов наблюдается уход больших объемов раствора в зоны поглощения. В худшем случае значительная часть бурового раствора или даже весь его объем поглощается пластом, обуславливая дальнейший рост трещины (рис. 1) [1].

Уход бурового раствора в пласт существенно увеличивает затраты и риски бурения во всем мире и грозит стать еще более серьезной проблемой в будущем. Для предупреждения и ликвидации подобных осложнений в отрасли применяют разнообразные материалы для упрочнения ствола скважины, которые имеют различные принципы действия, но одни и те же задачи: остановить распространение трещин и сохранить буровой раствор в скважине.