

2. воздействие на забойный шаропитатель с целью подачи на забой первой порции шаров;
3. воздействие на задерживающее устройство (ЗУ), перевод его в рабочее положение;
4. процесс бурения до появления признаков чрезмерного износа шаров;
5. воздействие на ЗУ, перевод его в транспортное положение (при этом лепестки ЗУ перекрывают технологические окна бурового снаряда);
6. включение бурового насоса, подъем шаров до забойного шароуловителя, их улавливание;
7. воздействие на забойный шаропитатель, приводящее к высыпанию второй порции шаров на забой;
8. воздействие на ЗУ, перевод его в рабочее положение;
9. включение насоса, возобновление процесса бурения.

На первом этапе конструкторских работ нами разработан забойный шаропитатель [6], представленный на рисунке 2.

Забойный шаропитатель состоит из корпуса 1, соединенного в верхней части с колонной бурильных труб 2 и в нижней части с шароструйным аппаратом 3, и подвижного элемента 4, имеющего седло 5 для герметизированной посадки запорного клапана 6. В корпусе 1 имеется центральный 7 и перепускной канал 8. Между корпусом 1 и подвижным элементом 4 располагается пружина 9 и отсек для размещения шаров 10.

Принцип работы шаропитателя заключается в следующем. Перед спуском шаропитателя в скважину в отсек для размещения шаров 12 засыпаются шары. В процессе бурения через центральный канал 7 корпуса прокачивают буровой раствор. Подвижный элемент 4 удерживается в крайнем верхнем положении пружинной 9. Для осуществления подпитки шаров без остановки циркуляции бурового раствора с устья скважины в колонну бурильных труб 2 сбрасывают запорный клапан 6, который садится в седло 5 и перекрывает центральный канал 7. За счет роста давления бурового раствора на седло 5 пружина 9 будет сжиматься и подвижный элемент 4 переместится в крайнее нижнее положение, открыв перепускной канал 8. Благодаря воздействию сил гравитации и давления бурового раствора, подводимого через перепускной канал 8, шары высыпятся из отсека для их размещения 10 в затрубное пространство. После высыпания шаров останавливается циркуляция бурового раствора, при этом подвижный элемент 4 возвращается в исходное положение. Запорный клапан 6 извлекается из колонны бурильных труб 2 при помощи овершота, спускаемого на талевом канате. Далее включается буровой насос, процесс бурения возобновляется.

Разработана принципиальная схема улавливающе-подпитывающего устройства, способного осуществлять наряду с заменой изношенных шаров новыми спуск шаров на забой и их подъем с забоя скважины вместе с буровым снарядом. Также предложена конструкция забойного шаропитателя, позволяющего высыпать одну порцию шаров на забой скважины.

К числу дальнейших конструкторских работ следует отнести:

- разработка устройства и способа приведения задерживающего устройства в рабочее и транспортное положение;
- разработка конструкций забойных шаропитателей, обеспечивающих порционную подачу шаров на забой скважины;
- создание эффективных конструкций забойных шароуловителей;
- поиск альтернативных способов воздействия на элементы УПУ.

Литература

1. 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://iopscience.iop.org/1755-1315/24/1/012016>.
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. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
4. 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.
5. Kovalyov A.V. Pellet impact drilling operational parameters: experimental research [Электронный ресурс] / A.V. Kovalyov, S.Ya. Ryabchikov, Ye.D. Isaev, F.R. Aliev, M.V. Gorbenko, A.V. Baranova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – Vol. 24. – Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/24/1/012015>.
6. Заявка на патент РФ № 2014148550, МПК E21B7/16. Забойный шаропитатель / Исаев Е.Д., Ковалев А.В. и др., заявл. 02.12.2014.

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЗАКЛИНИВАНИЯ ШАРОВ ПРИ ШАРОСТРУЙНОМ БУРЕНИИ

А.В. Ковалев, И.О. Лисачев, Е.Д. Исаев

Научный руководитель профессор С.Я. Рябчиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет г. Томск, Россия

Одним из перспективных гидродинамических способов разрушения пород является абразивный способ, реализуемый с помощью шароструйного бурения. Способ разрушения горных пород ударами шаров был предложен в 1955 г. Группой ученых американской нефтяной компании «Картер Ойл». Результаты этих исследований освещены в работах И.Э. Эскеля, Ф.Г. Дэйли, Л.У. Леджервуда. В результате проведенных

теоретических и экспериментальных работ был сделан вывод о возможности осуществления бурения данным способом. Дальнейшие исследования в данной области являются довольно перспективными, однако требуют проведение теоретических и экспериментальных проработок.

На кафедре бурения скважин ведутся исследования в данном направлении, был создан стенд, отработана методика проведения экспериментальных исследований.

Исследование влияния наличия и типа задерживающего устройства на эффективность шароструйного бурения

В ходе пробных испытаний было выявлено, что шары, поднимающиеся в затрубном пространстве, несмотря на разрежение поднимаются выше окон всасывания, потом, теряя скорость, опускаются и подсаживаются в камеру смешения. Заурбековым С.А. было предложено использование задерживающего устройства (ЗУ) цилиндрической формы, которое позволяет снять ограничения на производительность насосов при работе снаряда.

Нами спроектировано ЗУ цилиндрической формы, которое устанавливается над впускными окнами и центрирует буровой снаряд в стволе скважины. ЗУ было усовершенствовано путем создания в нем отверстий для выхода жидкости со шламом. Испытание показало, что при бурении шарами диаметром 2 и 2,5 мм образуются их скопления под ЗУ, а при использовании шаров диаметром 3 мм – их заклинивание в затрубном пространстве. Данная проблема была решена за счет создания ЗУ конусной формы с отверстиями для истечения жидкости со шламом, одновременно выполняющее роль центриатора. Лабораторные испытания показали эффективность данного ЗУ при использовании шаров всех используемых диаметров. Все поднимающиеся шары направляются от ЗУ к технологическим окнам, далее – непосредственно в камеру смешения снаряда.

При прочих равных условиях было проведено бурение струйным аппаратом без ЗУ, с ЗУ цилиндрической и конусной формы. Результаты показали, что наибольшая эффективность разрушения наблюдается при использовании ЗУ конусной формы. Так же нами было разработано еще несколько форм ЗУ, которые еще не были испытаны экспериментально (Рис.1).

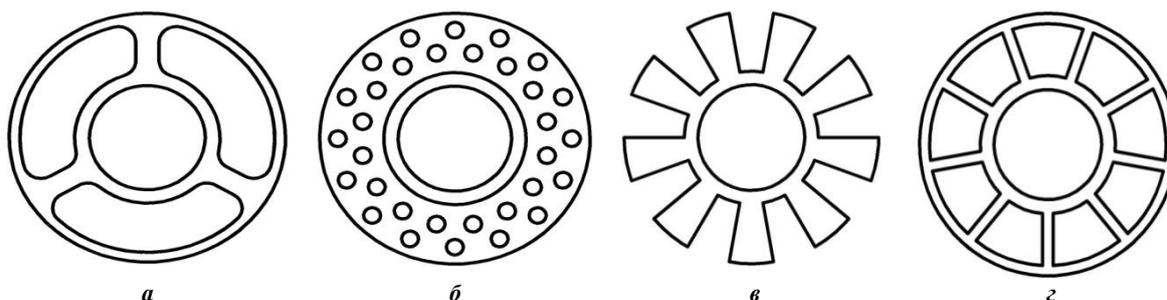


Рис.1 Виды задерживающих устройств

Исследование влияния массы порции шаров на эффективность шароструйного бурения

На следующем этапе было проведено исследование влияния массы порции шаров на эффективность разрушения керамической плитки при забурке скважины (Рис.2). Установлено, что при увеличении массы порции шаров диаметр скважины слабо зависит от массы порции шаров. При увеличении массы порции шаров объем скважины вначале увеличивается, а потом уменьшается, что говорит о наличии оптимального значения массы порции шаров для конкретных условий бурения. Вследствие меньшего количества ударов шаров в начале эксперимента наблюдается меньший объем скважины. При увеличении массы порции шаров до оптимального значения наблюдается увеличение объема скважины до определенного предела. Дальнейшее повышение массы порции шаров приводит к снижению объема скважины, а при достижении критической массы порции шаров бурение вовсе прекращается в связи с заклиниванием шаров в затрубном пространстве под задерживающим устройством.

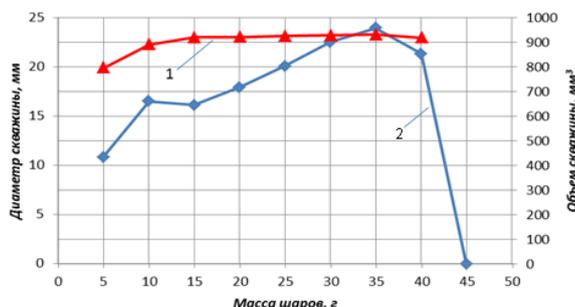


Рис.2 Зависимость диаметра (1) и объема (2) скважины от массы порции шаров

С помощью высокоскоростной съемки проведено исследование причин заклинивания шаров в затрубном пространстве при их критическом количестве. Под заклиниванием шаров подразумевается скопление шаров перед впускными окнами, приводящее к прекращению их циркуляции, следовательно, остановке процесса

бурения. Заклинка происходит в начальный момент бурения при большом количестве шаров, реже – в процессе бурения. Стоит отметить, что причина заклинки связана с применением задерживающего устройства. На рисунке 5 представлены кадры, характеризующие этапы, предшествующие заклиниванию шаров.

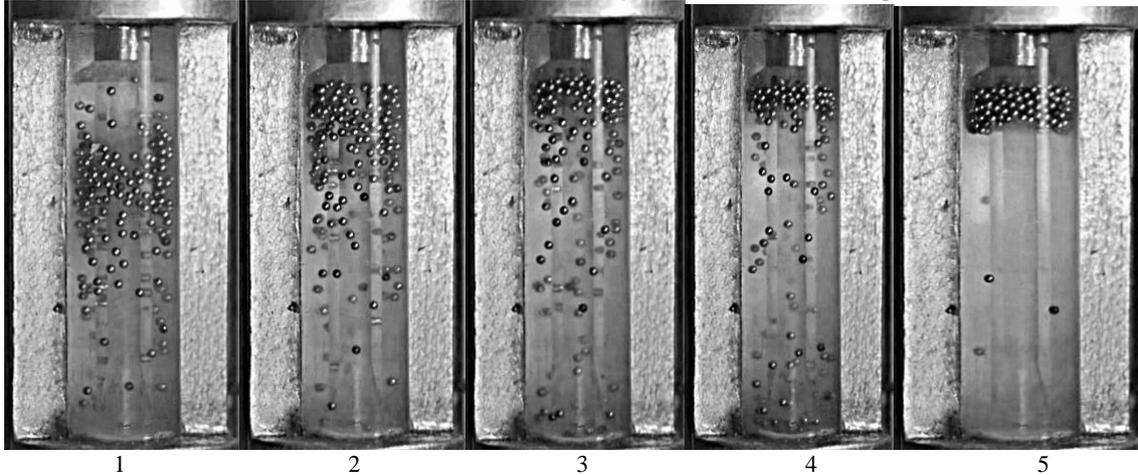


Рис. 5 Кадры, характеризующие этапы, предшествующие заклиниванию шаров в начале бурения

Ниже приводится описание этапов, предшествующих заклиниванию шаров:

1. В начальный момент времени шары поднимаются в затрубном пространстве за счет взаимодействия с восходящим потоком жидкости.
2. Шары поднимаются к задерживающему устройству, взаимодействуя с которым, направляются к впускным окнам.
3. Пришедшие первыми к задерживающему устройству шары подсасываются через впускные окна в камеру смешения.
4. Количество шаров, проходящих через впускные окна, меньше количества шаров, подходящих к задерживающему устройству. В результате у впускных окон наблюдается скопление шаров.
5. В определенный момент времени перед задерживающим устройством скапливается критическое количество шаров, когда нижерасположенные шары оказывают давление на вышележащие ряды с силой, направленной вертикально вверх. В результате этого процесса шары, находящиеся перед впускными окнами, располагаются таким образом, что не имеют возможности проходить через впускные окна. Происходит их заклинивание. [3].

Вышеописанные наблюдения позволили сделать следующие выводы:

1. Заклинка происходит в результате переизбытка шаров в системе, когда их количество больше оптимального, соответствующего наибольшей эффективности бурения. Следовательно, при правильном расчете оптимального количества шаров она не является серьезной проблемой.
2. Заклинка безусловно связана с использованием задерживающего устройства, поэтому избежать ее возможно путем совершенствования его конструкции и расположения относительно технологических окон.

В ходе проведения экспериментальных работ были выявлены следующие способы ликвидации заклинивания:

1. Произвести кратковременный подъем долота с последующим опусканием. В результате подъема долота давление, оказываемое потоком жидкости на скопление шаров в затрубном пространстве уменьшится. Это в свою очередь приведет к перераспределению шаров перед впускными окнами, что позволит устранить заклинку.
2. Придать шароструйному аппарату малую угловую скорость. В результате будет происходить перераспределение шаров перед впускными окнами, что поспособствует прохождению шаров и устранению заклинки.

Исследование влияния длины камеры смешения на эффективность шароструйного бурения

Для определения оптимальной длины камеры смешения в ряду длин $5 \cdot d_{кз}$; $7,5 \cdot d_{кз}$; $10 \cdot d_{кз}$; $12,5 \cdot d_{кз}$; $15 \cdot d_{кз}$; $17,5 \cdot d_{кз}$ предварительно были выявлены значения оптимальных масс порции шаров при забурке скважины. Стоит отметить, что оптимальная масса порции шаров при увеличении длины камеры смешения увеличивается, что связано с большим объемом бурового снаряда и затрубного пространства.

Таблица 1

Влияние длины камеры смешения на оптимальную массу порции шаров

Длина камеры смешения	40	60	80	100	120	140
Оптимальная масса порции шаров	20	25	30	30	35	35
Исходные данные: Исходные данные: $d_{аэ}^H=16$ мм, $d_{кз}=8$ мм, $d_c=2$ мм, $\alpha_{зв}=40^\circ$, $h_{мо}=6,1$ мм, $\alpha_{рз}=10^\circ$, $h_o=1$ мм, $d_{из}=3,5$ мм, $R_{дз}=5$ мм, $Q_p=6,7$ л/мин, $t_{рас}=5$ мин, $t=40$ мин, горная порода – мрамор, промывочная жидкость – вода						

Экспериментальные исследования влияния длины камеры смешения на оптимальную массу порции шаров проводились при бурении скважин в образцах мрамора с расхаживанием снаряда. Полученные результаты исследований, представленные в табл. 1.

В ходе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Более эффективной формой ЗУ является коническая, благодаря которой шары направляются к технологическим окнам.
3. При использовании конического ЗУ при критической массе порции шаров происходит их заклинивание в затрубном пространстве.
4. С помощью высокоскоростной съемки исследована причина заклинивания шаров под задерживающим устройством.
5. Разработаны способы ликвидации заклинивания.

Литература

1. Патент № 143090, Е 21 В 7/18. Стенд для исследования технологических процессов шароструйного бурения / А.В. Ковалев, С.Я. Рябчиков и др. – № 2014106459/03; Заявлено 20.02.2014; Опубл. 10.07.2014.
2. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
3. Исаев Е.Д. Исследование процессов шароструйного бурения с помощью высокоскоростной видеосъемки // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 401–405.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНЫХ СНАРЯДОВ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ДЛЯ ИХ РАСЧЕТА

Т.Е. Константинов

Научный руководитель ассистент А.В. Ковалев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В Томском политехническом университете на кафедре бурения скважин проводятся исследования шароструйно-эжекторных буровых снарядов (ШЭБС). Ключевым вопросом является разработка геометрических параметров ШЭБС. Для этого были разработаны лабораторный стенд [1] и методика проведения экспериментальных исследований. При этом впервые для шароструйного бурения использовалась высокоскоростная съемка.

На рис. 1. представлена конструкция ШЭБС, с возможностью смены составных частей долота.

Ранее был проведен литературный обзор [2], который выявил значительное количество различных методик расчета струйных аппаратов. Одним из основных геометрических параметров скважины, характеризующий эффективность бурения является объем скважины $V_{скв}$. Объем скважины определяется по формуле:

$$V_{скв} = V_{ш} \cdot N \cdot t \cdot \rho, \quad (1)$$

где $V_{ш}$ – объем воронки разрушения при ударе одного шара; N – количество соударений шаров с забоем за единицу времени; t – время бурения; ρ – коэффициент, учитывающий снижение скорости разрушения в реальных условиях.

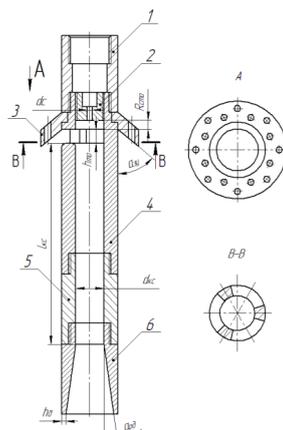


Рис. 1. Шароструйно-эжекторный буровой снаряд: 1 – переходник на нагнетательную магистраль; 2 – сопло; 3 – задерживающее устройство; 4 – камера всасывания; 5 – камера смешения; 6 – диффузор; d_c – диаметр сопла; $R_{смо}$ – расстояние между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон; $h_{мо}$ – высота технологических окон; $\alpha_{зп}$ – угол конусности задерживающего устройства; $l_{кc}$ – длина камеры смешения; $d_{кc}$ – диаметр камеры смешения; $\alpha_{р0}$ – угол раскрытия диффузора; $h_{д}$ – толщина стенки диффузора.