

УДК 622.243.95

ПРОБЛЕМЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ СКВАЖИН И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ

Ковалев Артем Владимирович,

ассистент каф. бурения скважин Института природных ресурсов
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: arteka011287@mail.ru

Рябчиков Сергей Яковлевич,

д-р техн. наук, профессор каф. бурения скважин Института природных
ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: kafedrabcs@mail.ru

Алиев Фарух Рамизович,

студент каф. бурения скважин Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: faruh_aliev@mail.ru

Якушев Денис Андреевич,

студент каф. теоретической и прикладной механики Института физики
высоких технологий ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: joe7319@tpu.ru

Горбенко Вячеслав Михайлович,

студент каф. бурения скважин Института природных ресурсов ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: gorbenkovm@mail.ru

Цель работы: выявить наиболее перспективный способ бурения скважин в интервалах крепких горных пород и перспективные направления дальнейших исследований.

Методы исследований: анализ и обобщение результатов ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Результаты. Доказана перспективность гидродинамических способов разрушения горных пород. Разработана классификация гидродинамических способов разрушения горных пород по признаку характера силового воздействия на забой. По данной классификации все гидродинамические способы разделяются на 3 группы: эрозионные, абразивные и комбинированные. Анализ гидродинамических способов показал, что применительно к бурению скважин в крепких горных породах наиболее перспективным является гидромониторно-абразивный способ, реализуемый с помощью шароструйного бурения, который реализуется с помощью специального инжекторного аппарата, осуществляющий непрерывную циркуляцию шаров в призабойной зоне до их полного изнашивания. Проанализирован принцип работы шароструйного аппарата, а также основные результаты теоретических и экспериментальных исследований шароструйного способа бурения скважин. Сформулированы достоинства способа, а также недостатки, сдерживающие его внедрение на производстве. На основании этого выявлены перспективные направления дальнейших исследований. К ним относятся: совершенствование конструкций шароструйных снарядов; поиск путей увеличения механической скорости бурения и снижение затрат энергии на разрушение горной породы на забое скважины; разработка технических средств шароструйного бурения, обеспечивающих увеличение рейсовой скорости бурения; разработка гидравлической программы промывки скважины; исследование влияния типа и свойств промывочной жидкости на эффективность шароструйного бурения; анализ гранулометрического состава шлама.

Ключевые слова:

Разрушение горных пород, гидродинамические способы разрушения горных пород, породоразрушающий инструмент, шароструйное бурение, шароструйный снаряд, крепкие горные породы.

Анализ гидродинамических способов разрушения горных пород

Разрушение горных пород (РГП) при бурении скважин осуществляется двумя основными способами [1]: механическим, который получил наи-

большее распространение, и физическими, которые находятся в стадии изучения или применяются в ограниченных объемах. По мнению ряда авторов одним из наиболее перспективных является гидродинамический способ РГП, осуществляемый

высокоскоростной струей жидкости. Данным способом на забой скважины можно передавать значительные мощности. Этот способ легко вписывается в существующую технологию бурения механическими способами, при которой для промывки скважины на забой подается промывочная жидкость.

Авторами предложена классификация (рис. 1) гидродинамических способов разрушения горных пород (РГП) по признаку характера силового воздействия на забой. По данному признаку все гидромеханические способы РГП можно разделить на 3 группы: *эрозионные*, *абразивные* и *комбинированные*.

Разрушение горных пород при реализации *эрозионных* способов осуществляется высоконапорной струей жидкости. Взаимодействуя с разрушаемым материалом, струя создает нормальные давления за счет гидравлического удара и касательные напряжения, вызываемые радиальным течением жидкости (эрозия). Данному способу присуще также разрушение горных пород путем их растворения в промывочной жидкости. При высоких скоростях жидкости процесс разрушения может интенсифицироваться за счет кавитационной эрозии.

Наиболее полно изученным в группе эрозионных способов является *гидромониторный* способ РГП, при котором разрушение осуществляется непрерывной высоконапорной струей жидкости, движущейся с большой скоростью. Основные исследования гидромониторного способа бурения проводились в 70–80 гг. прошлого столетия в США, СССР, Голландии и Японии. Подробные результаты исследований приводятся в работах [2–4]. Установлено, что на забой можно передавать большую гидравлическую мощность, при этом скорость проходки возрастает в 5–8 раз по сравнению с шарошечными долотами.

Основными преимуществами гидромониторного бурения являются:

- простота конструкции породоразрушающего инструмента (ПРИ), отсутствие быстроизнашивающихся элементов;
- отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ;
- возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения).

Однако данный способ является очень энергоемким, так для эффективного разрушения забоя эрозионным способом необходимы высокие скорости жидкости (200–1000 м/с), а также, соответственно, высокие давления – не ниже 80–400 МПа. Таким образом, для его реализации необходим целый комплекс высоконапорного оборудования (насосов, вертлюгов, бурильных труб, уплотнений и др.).

При *гидроимпульсном* способе разрушение осуществляется за счет кратковременных импульсных нагрузках струи жидкости, которая обладает лучшей компактностью и дальностью, большей разрушающей способностью по сравнению с непрерывной. Однако применение данного способа

разрушения для бурения скважин сдерживается нерешенностью вопроса канализации энергии и рабочих компонентов на значительные расстояния.



Рис. 1. Классификация гидродинамических способов разрушения горных пород

Fig. 1. Classification of hydrodynamic methods of rock failure

Гидроударный способ заключается в разрушении горных пород гидравлическим ударом жидкости большой силы (реализация с помощью взрыва, электрического разряда в жидкости, создания вакуумных кавитационных полостей).

Разрушение *электрогидравлическим* способом происходит за счет электрического разряда в жидкости, сопровождающегося мощными гидравлическими и кавитационными ударами (эффект П.А. Юткина). Достоинствами данного способа являются малая энергоемкость и высокая выходная мощность. Однако способ малоэффективен при разрушении крепких горных пород (выше VI–VII категории по буримости).

Кавитационный способ осуществляется действием гидравлических ударных волн, возникающих в жидкости в момент удара ее и взвешенных в ней герметически закрытых капсул, из которых предварительно удален воздух. Способ обладает высоким разрушающим эффектом и имеет важную особенность: при одних и тех же параметрах вакуумной полости запас энергии и импульс давления в жидкости при ее смыкании увеличивается с ростом гидростатического давления, т. е. по мере углубления скважины при бурении. Однако серьезным препятствием для широкого применения способа являются малая выходная мощность и высокая стоимость капсул.

Сущность *абразивных* способов заключается в разрушении пород высоконапорной струей жидкости, содержащей во взвешенном состоянии абразивные частицы. При этом, помимо воздействия жидкости, разрушение горных пород происходит за счет многократного ударного действия абразивных частиц, что сопровождается и хрупкой, и пластической деформацией породы.

Основным представителем абразивного способа РГП является *гидромониторно-абразивный*, при котором разрушение осуществляется жидкостью, несущей абразивные частицы. По результатам об-

ширных исследований способа применительно к бурению скважин [2–4] установлено, что гидромониторно-эрозионный способ весьма эффективен при бурении в абразивных породах, где стойкость обычного ПРИ мала. Он сохраняет преимущества, присущие гидромониторному способу. Однако для эффективного разрушения забоя скважины необходимы меньшие скорости жидкости (100–200 м/с). Существенными недостатками способа являются:

- повышенный износ насосного оборудования, циркуляционной системы и сопловых насадок ПРИ;
- необходимость в большом количестве абразивных частиц (до 200 т для бурения глубокой скважины);
- большая вероятность прихвата бурильной колонны при внезапной остановке циркуляции промывочной жидкости;
- невозможность бурения в пластичных несцементированных горных породах.

Одним из направлений реализации гидромониторно-эрозионного способа РГП является так называемое шароструйное бурение, предложенное в 1955 г. американской нефтяной компанией «Картер Ойл К°». Данный способ реализуется с помощью специального инжекторного аппарата, который осуществляет непрерывную циркуляцию шаров в призабойной зоне до их полного изнашивания. При этом нет необходимости в большом количестве шаров, модернизации циркуляционной системы.

Гидроударно-эрозионный способ РГП представляет собой комбинацию гидроударного и эрозионного способов. При этом разрушение осуществляется под действием гидравлических ударов жидкости большой частоты и ударами твердых частиц, насыщающих эту жидкость. Однако низкая выходная мощность и КПД делают гидроударно-эрозионный способ неперспективным для бурения скважин.

Каждый из рассмотренных выше способов РГП наряду с достоинствами имеет недостатки, которые снижают показатели его работы в определенных условиях. Поэтому в практике бурения намеренно прибегают к комбинации различных способов РГП, что обычно повышает их эффективность, расширяет область применения. При этом один из способов является основным (ведущим). Можно выделить группу *комбинированных* способов РГП, в которых сочетается механический способ с эрозионным или абразивным, что обеспечивает рост эффективности разрушения горных пород без увеличения мощности бурового оборудования и расхода жидкости.

Механоэрозионный и механоабразивный способы реализуются в распространенном сегодня *гидромониторно-вращательном* способе РГП. При бурении *механоэрозионным* способом, который реализуется в гидромониторных долотах, разруше-

ние струей воды носит вспомогательный характер и эффективно лишь в мягких горных породах. Примером реализации *механоабразивного* способа является бурение гидромониторными долотами с использованием жидкости с абразивом либо шламом для интенсификации процесса разрушения.

Эрозионномеханический и абразивномеханический способы РГП реализуются в конструкциях долот для гидромониторного и гидромониторно-эрозионного бурения. Существенным недостатком долот, реализующих эрозионный и абразивный способы РГП, является формирование криволинейной формы забоя скважины, в связи с чем снижается механическая скорость бурения или останавливается процесс углубки скважины. Поэтому использование породоразрушающих элементов долота, реализующих механическое воздействие, повышает их эффективность.

Анализ гидродинамических способов РГП показал, что применительно к бурению скважин в крепких горных породах (выше VII–VIII категории по буримости) ни один из способов первой группы (эрозионные способы) не может быть успешно реализован на практике из-за большой энергоемкости.

Комбинированные способы РГП не представляют большого практического интереса для бурения скважин из-за значительной сложности технологии и технических средств для их реализации, а также высокой аварийности породоразрушающего инструмента.

Из группы абразивных способов РГП наиболее перспективным является гидромониторно-абразивный способ, реализуемый с помощью шароструйных аппаратов (рис. 2), осуществляющих непрерывную циркуляцию шаров в призабойной зоне. Принцип действия шароструйного аппарата следующий: рабочая жидкость, подводимая к аппарату с большой скоростью, проходит камеру подвода рабочей жидкости – 1, ускоряется в сопле – 2 и на выходе из него истекает с большой скоростью в камеру смешения – 3. При этом в пространстве, окружающем выход сопла с внешней стороны, образуется зона разряжения. В корпусе аппарата выполнены впускные окна – 4, через которые благодаря разряжению происходит всасывание рабочей жидкости со взвешенными шарами – 6 и частицами шлама – 7 из затрубного пространства. Далее двухфазная смесь проходит через камеру смешения, поступает в диффузор – 5 и ударяется о горную породу – 8, осуществляя разрушение.

В процессе исследований [5–7] было установлено, что наибольшая механическая скорость проходки наблюдается в случае использования шаров максимально возможного диаметра, не заклинивающих в камере смешения струйного насоса. Использование глинистого раствора обусловило падение скорости бурения на 25 %, а воздуха – на 75 % по сравнению с использованием воды.

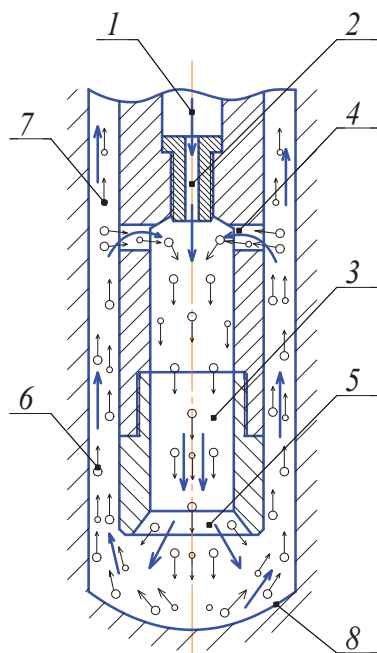


Рис. 2. Схема работы шароструйного аппарата: 1) камера подвода рабочей жидкости; 2) сопло; 3) камера смешения; 4) впускные окна; 5) диффузор; 6) шары; 7) частицы шлама; 8) горная порода

Fig. 2. Diagram of impact apparatus functioning: 1) chamber of working fluid input; 2) injection head; 3) mixing chamber; 4) admission ports; 5) diffuser; 6) balls; 7) sludge particles; 8) rock

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований шароструйного способа бурения скважин

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований было сделано заключение о возможности «производить разрушение горных пород с заметной скоростью, что показывает принципиальную возможность бурения скважин ударами шаров» [5]. Однако уже через пять лет (в 1961 г.) один из участников этих исследований Л.У. Леджервуд отмечал: «Импульсное шариковое бурение не имеет практического применения. На достигнутом уровне с его помощью можно разрушать горные породы, но с экономической точки зрения этот процесс значительно менее выгоден, чем обычное вращательное бурение» [6. С. 240].

Анализируя результаты американских ученых, А.Б. Уваков указывал на их не совсем объективные выводы [8], так как они делали акцент на выявление физической сущности работы шароструйных аппаратов, а вопросам разрушения горных пород уделялось неоправданно мало внимания. Так, например, при бурении различных по крепости горных пород скорость вылета шаров из аппарата была неизменной.

Крупномасштабные исследования данного способа бурения были продолжены в 1963 г. в Казахстане. В результате проведенных исследований [8–10] были решены следующие вопросы, имею-

щие важное научное и практическое значение для совершенствования шароструйного способа бурения скважин:

- сформулирована версия механизма разрушения горных пород ударами шаров;
- выявлены основные аналитические зависимости, характеризующие процесс разрушения горных пород ударами шаров;
- выявлены основные факторы, влияющие на скорость шароструйного бурения;
- разработана методика выбора и расчета основных геометрических параметров шароструйного аппарата;
- разработана методика расчета процессов шароструйного бурения;
- разработаны и испытаны различные конструкции шароструйных снарядов;
- разработана методика направленного бурения скважин и изучены основные закономерности искусственного искривления шароструйными отклонителями.

Авторами установлено, что при разрушении той ли иной горной породы существует оптимальная скорость соударения шаров с забоем (40–180 м/с), которая зависит от упругих свойств материала шаров и горной породы, диаметра и плотности шаров, динамической твердости горной породы. Скорость шароструйного бурения в режиме усталостного разрушения с увеличением твердости горных пород уменьшается, а в режиме оптимального разрушения – увеличивается. Эта зависимость является одной из самых важных, несомненных ни одному из существующих механических способов РГП. В оптимальном режиме износ шаров и шароструйного аппарата будет минимальным вследствие исключения отскока шаров от забоя. Скорость проходки при этом может быть достигать 20 м/ч в породах VII–XI категорий по буримости.

Результаты исследований С.А. Заурбекова [11] сводятся к следующему:

- получена количественная оценка рациональных параметров призабойных процессов при шароструйном бурении;
- разработан шароструйный снаряд с первичным и вторичным соплами кольцевой (щелевидной) формы и опорой по центру;
- установлены рациональные параметры натурального шароструйного снаряда и уточнены условия, обеспечивающие эффективность его работы;
- разработана методика расчета и конструирования шароструйных снарядов.

Промышленные испытания показали превышение механической скорости бурения на 20 % и проходки на долото на 43 % по сравнению с серийными долотами. Бурение осуществлялось в интервале 500–1100 м по породам средней крепости при следующих параметрах режима бурения: расход жидкости – 30 л/с, осевая нагрузка – 10 кН, частота вращения – 90 об/мин, плотность бурового раствора – 1060 кг/м³.

На основании вышеизложенного можно отметить ряд преимуществ шароструйного бурения:

- возможность реализации на забое скважины большой мощности;
- значительная продолжительность рейса, которая будет ограничиваться лишь износостойкостью шароструйного аппарата, т. к. заменять износившиеся шары можно подсыпанием их в скважину;
- простота конструкции шароструйного аппарата;
- отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ;
- возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения), что позволяет уменьшить износ буровых труб, упростить условия для проходки направленных скважин.

Выбор и обоснование перспективных направлений дальнейших исследований

Достоинства шароструйного бурения указывают на принципиальную возможность и экономическую целесообразность его использования для проходки крепких и очень крепких горных пород. Однако при разработке данного способа РГП не решено ряд проблем, сдерживающих его внедрение на производстве.

Не умаляя важности остальных звеньев комплекса буровой техники для шароструйного бурения, можно утверждать, что ключевым звеном является ПРИ, т. к. именно он реализует поступающую на забой скважины энергию в процесс взаимодействия шаров с породой. В процессе исследований был проведен большой объем поисковых работ, в результате которых созданы различные конструкции шароструйных снарядов [12–19]. На наш взгляд, они имеют ряд существенных недостатков. Дальнейшее совершенствование снарядов возможно за счет решения следующих задач:

- 1) создания снарядов, обеспечивающих формирование плоской формы периферийной части забоя и достаточную разработку стенок скважины;
- 2) создания систем управления циркуляцией шаров в призабойной зоне;
- 3) обеспечения возможности регулирования расстояния между струйным аппаратом и забоем;
- 4) корректировки работы струйного аппарата без подъема колонны буровых труб.

Одной из основных задач дальнейшего совершенствования шароструйного способа РГП является поиск путей повышения скорости бурения и снижения затрат энергии на разрушение породы на забое. Известно, что при работе струйного аппарата в камере смешения образуется турбулентный режим течения, связанный с течением рабочего и инжектируемого потоков, что приводит к износу камеры смешения и уменьшению дальности струи. Судя по открытию Ю.П. Конюшей, при высокочастотном звуковом облучении струи жидкости в диапазоне числа Струхала $s=2-5$ вблизи сопла в приосевой части струи наблюдается уменьшение нормальных и сдвиговых реинольдсовых

напряжений, что приводит к увеличению длины начального участка и вследствие этого к возрастанию дальности струи [20]. Для реализации этого эффекта возможно использование измененной геометрии струйного течения, которое обуславливает возникновение самовозбуждения струи [21]. При этом будет иметь место интенсификация процессов разрушения горных пород за счет эффекта кавитации.

Известно [8], что процесс проходки скважин при шароструйном бурении складывается из ряда последовательных операций: а) доставка на забой порции шаров; б) спуск шароструйного снаряда в скважину; в) бурение; г) подъем снаряда; д) извлечение шаров. Поэтому совершенствование технологии шароструйного бурения возможно за счет разработки технических средств для доставки и извлечения шаров, разработки средств автоматизации и контроля за процессом углубки, оптимизации всех перечисленных операций.

Ряд американских авторов [5, 7], основываясь на результатах исследований по изучению распределения гидравлической энергии бурового насоса при шароструйном бурении, пришли к выводу о низком значении его КПД, не превышающем 3 %, что связано с низким значением КПД струйных аппаратов (30–40 %). Основываясь на этих результатах, в отечественной литературе некоторые исследователи [4] характеризовали «ударно-дробовой способ бурения» как малоперспективный для бурения глубоких скважин. В.В. Штрассер опровергнул это мнение, доказав, что на разрушение породы затрачивается около 6–8 % поверхностной энергии [10]. Однако ни одним из исследователей не была разработана методика гидравлического расчета промывки скважины при шароструйном бурении, в которую входит выбор параметров и расхода жидкости, расчет давлений, выбор типа и числа насосов и режимов их работ. Кроме того, в рамках этих исследований можно провести оценку применимости способа для бурения глубоких скважин с использованием современной серийно выпускаемой буровой техники.

Проведенные исследования показали, что наибольшие механические скорости бурения наблюдаются при использовании в качестве промывочной жидкости воды [5]. Однако при шароструйном бурении к промывочным жидкостям предъявляют целый ряд дополнительных требований, которым не отвечает вода. Известно, что при ударах шаров забой покрывается сетью трещин, в связи с чем возможно эффективное использование понизителей твердости [9]. Поэтому актуально исследование и разработка различных рецептур промывочных жидкостей для шароструйного бурения.

Энергетическая картина процесса шароструйного бурения является очень важной для обоснованного выбора параметров долот, породоразрушающих частиц и режимов бурения, обеспечивающих максимальную эффективность бурения. В работе [9] приведены зависимости энергоемкости

разрушения от твердости горных пород и размеров шаров. Однако энергоемкость разрушения не была увязана со шламовыми характеристиками. Детальный анализ гранулометрического состава шлама позволит с высокой точностью исследовать

зависимость энергоемкости разрушения горных пород от различных технологических факторов и разработать методику выбора рациональных режимных параметров бурения скважин в различных горных породах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулакшин С.С., Чубик П.С. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Томск ТПУ, 2011. – 367 с.
2. Кожевников А.А., Давиденко А.Н. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин – М.: ВИЭМС, 1987. – 45 с.
3. Маковей Н. Гидравлика бурения. – М.: Недра, 1986. – 536 с.
4. Максимов В.И. Новые способы бурения скважин – М.: ВИЭМС, 1971. – 55 с.
5. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits // Transaction AIME. – 1956. – V. 207. – P. 135–150.
6. Леджервуд Л.У. Обзор работ по созданию усовершенствованных способов бурения нефтяных скважин / пер. с англ. – М.: ГОСИНТИ, 1961. – 258 с.
7. Маккрей Л.У., Коле Ф.У. Технология бурения нефтяных скважин. – М.: Гостехиздат, 1963. – 417 с.
8. Уваков А.В. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
9. Уваков А.В. Исследование и разработка шароструйного способа бурения направленных геологоразведочных скважин: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1965. – 120 с.
10. Штрассер В.В. Исследование процессов разрушения горных пород ударами шаров (к теории шароструйного бурения): дис. ... канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1966. – 217 с.
11. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
12. Hydraulic standoff control for pellet impact drilling: пат. 2724574 США. № 268883; заявл. 29.01.1952; опубл. 22.11.1955, Бюл. № 8. – 6 с.
13. Шароструйный снаряд для бурения скважин: пат. 417599 Рос. Федерация. № 1451266; заявл. 15.06.1970; опубл. 28.02.1974, Бюл. № 8. – 2 с.
14. Способ эрозионного бурения скважин и устройство для его осуществления: пат. 870705 Рос. Федерация. № 2798122/22-03; заявл. 18.07.1979; опубл. 07.10.1981, Бюл. № 37. – 3 с.
15. Устройство для шароструйного бурения скважин: пат. 1120733 Рос. Федерация. № 3597561; заявл. 31.05.1983; опубл. 15.08.1986, Бюл. № 30. – 4 с.
16. Устройство для шароструйного бурения скважин: пат. 2124620 Рос. Федерация. № 97100372/03; заявл. 14.01.1997; опубл. 10.01.1999, Бюл. № 16. – 3 с.
17. Пристрій для буріння: пат. 81068 № u201212576 Україна, МПК Е 21 В 7/00; заявл. 05.11.2012; опубл. 25.06.2013; Бюл. № 12.
18. Кулькоструминный прилад: пат. 68322 № u201109643 Україна, МПК Е 21 В 7/18; заявл. 02.08.2011; опубл. 26.03.2012; Бюл. № 6.
19. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография. – Днепрпетровск: НГУ, 2013. – 110 с.
20. Конюшная Ю.П. Открытия советских учёных. Ч. 1: Физико-технические науки / предисл. И.С. Наяшкова. – 3-е изд., доп. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 478 с.
21. Гиневский А.С., Власов Е.В., Каравосов Р.К. Акустическое управление турбулентными струями. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2001. – 240 с.

Поступила 14.06.2013 г.

UDC 622.243.95

PROBLEMS OF HYDRODYNAMIC METHODS OF WELLS DRILLING AND THE MAIN DIRECTIONS IN THEIR SOLUTION

Artyom V. Kovalyov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: arteka011287@mail.ru

Sergey Ya. Ryabchikov,

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kafedrabas@mail.ru

Farukh R. Aliev,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: faruh_aliev@mail.ru

Denis A. Yakushev,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: joe7319@tpu.ru

Vyacheslav M. Gorbenko,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: gorbenkovm@mail.ru

The main aim of the study is to find out the most effective drilling method in hard rocks and perspective directions of future researches.

The methods used in the study: the analysis and generalization of theoretical and experimental results.

The results. The research proves the perceptivity of hydrodynamic methods of rock destruction. The authors developed the classification of hydrodynamic rock destruction methods based on the character of impact on the bottom hole. In accordance with the developed classification, all hydrodynamic methods are divided into 3 groups: erosive, abrasive and combined cutting. The analysis of hydrodynamic methods revealed that jetting-abrasive method provided by pellet impact drilling is the most effective while drilling hard rocks. This method is realized by implementation of ejector that realizes continuous circulation of pellets in bottom hole zone up to their full deterioration. The authors analyzed the operation mode of pellet impact drill bit, as well as theoretical and experimental researches. The pellet impact drilling advantages and disadvantages that limit its implementation were determined. As a result, the study provided a new trend for current researches, namely: perfection of pellet impact drill bit construction, search for drilling rate increase and reduction of energy for rock destruction on the bottom hole, development of technical means for pellet impact drilling with increasing bit run speed, development of well flushing-out program, research of drilling fluid influence for effectiveness of this method of drilling, study of slime grain size.

Key words:

Rock failure, hydrodynamic methods of rock failure, rock destruction tool, pellet impact drilling, pellet impact apparatus, hard rock.

REFERENCES

1. Sulakshin S.S., Chubik P.S. *Razrushenie gornyykh porod pri provedenii geologorazvedochnykh rabot* [Rock destruction on geologic prospecting works]. Tomsk, TPU Publ. house, 2011. 367 p.
2. Kozhevnikov A.A., Davidenko A.N. *Gidromekhanichesky i erozionny sposoby razrusheniya gornyykh porod pri burenii skvazhin* [Hydromechanical and erosional methods of rock destruction while drilling]. Moscow, VIEMS publ., 1987. 45 p.
3. Makovey N. *Gidravlika bureniya* [Hydraulic of drilling]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 536 p.
4. Maksimov V.I. *Novye sposoby bureniya skvazhin* [New methods of well drilling]. Moscow, VIEMS Publ., 1971. 55 p.
5. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits. *Transaction AIME*, 1956, vol. 207, pp. 135–150.
6. Ledzhervud L.U. *Obzor rabot po sozdaniyu usovershenstvovannykh sposobov bureniya neftyanykh skvazhin* [Review of works on developing the improved methods for oil drilling]. Moscow, GOSINTI publ., 1961. 258 p.
7. Makkrey L.U., Kole F.U. *Tekhnologiya bureniya neftyanykh skvazhin* [Technology of drilling oil wells]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1963. 417 p.
8. Uvakov A.B. *Sharostruynoe burenie* [Pellet impact drilling]. Moscow, Nedra Publ., 1969. 207 p.
9. Uvakov A.B. *Issledovanie i razrabotka sharostruynogo sposoba bureniya napravlennykh geologorazvedochnykh skvazhin. Dis. Kand. nauk* [Investigation and developing pellet impact drilling directional and exploration wells. Cand. Diss.]. Moscow, 1965. 120 p.
10. Shtrasser V.V. *Issledovanie protsessov razrusheniya gornyykh porod udarami sharov (k teorii sharostruynogo bureniya). Dis. Kand. nauk* [Investigation of rock destruction by ball hits (to the theory of pellet impact drilling). Cand. Diss.]. Alma-Ata, 1966. 217 p.
11. Zaurbekov S.A. *Povyshenie effektivnosti prizaboynykh gidrodinamicheskikh protsessov pri sharostruynom burenii skvazhin. Avtoreferat Dis. Kand. nauk* [Improving the efficiency of hydrodynamic bottomhole processes in the pellet impact drilling. Cand. Diss. Abstract]. Almaty, 1995. 18 p.
12. Ledgerwood L.W. *Hydraulic standoff control for pellet impact drilling*. Patent USA, no. 268883, 1955.
13. Uvakov A.B. *Sharostruyny snaryad dlya bureniya skvazhin* [Pellet impact apparatus for well drilling]. Patent RF, no. 1451266, 1974.
14. Derbenev L.S. *Sposob erozionnogo bureniya skvazhin i ustroystvo dlya ego osushestvleniya* [Erosion well drilling method and device for its implementation]. Patent RF, no. 2798122/22–03, 1981.
15. Dugartsyrenov A.V. *Ustroystvo dlya sharostruynogo bureniya skvazhin* [Device for pellet impact drilling]. Patent RF, no. 3597561, 1986.
16. Zubkova T.N. *Ustroystvo dlya sharostruynogo bureniya skvazhin* [Device for pellet impact drilling]. Patent RF, no. 97100372/03, 1997.
17. Ignatov A.O. *Ustroystvo dlya bureniya* [Device for drilling]. Patent Uk, no. u201212576, 2013.
18. Ignatov A.O. *Sharostruyny snaryad* [Pellet impact apparatus]. Patent Uk, no. u201109643, 2012.
19. Davidenko A.N., Ignatov A.A. *Abrazivno-mekhanicheskoe udarnoe burenie skvazhin* [Abrasive-mechanical percussion drilling wells]. Dnepropetrovsk, NGU Press, 2013. 110 p.
20. Konyushaya Yu.P. *Otkrytiya sovetsskikh uchenykh. Fiziko-tekhnicheskie nauki* [Discoveries of soviet scientists. Engineering sciences]. Moscow, MGU Press, 1988. 478 p.
21. Ginevskiy A.S., Vlasov E.V., Karavosov R.K. *Akusticheskoe upravlenie turbulentnymi struyami* [Sound control of turbulent jets]. Moscow, FIZMAT LIT Publ., 2001. 240 p.

Received: 14 June 2013.