

Код МРНТИ 52.47.15

*Т.Н. Мендебаяв¹, Н.Ж. Смашов¹, Х.К. Исмаилов², Б.К. Изаков²¹Товарищество с ограниченной ответственностью «Научно-внедренческий центр Алмас» (г. Алматы, Казахстан),²Товарищество с ограниченной ответственностью «Центргеолсьемка» (г. Караганда, Казахстан)

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЗАБОЙНАЯ КОМПОНОВКА ГИДРОСТРУЙНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Аннотация. При геологоразведке глубоководных месторождений полезных ископаемых проблемы бурения скважин – сохранность заданного направления, снижение энергозатрат и получение структурно цельного керна – решаются внесением в конструкцию забойной компоновки новых физических принципов и ресурсов. Ресурс – гидроструйное бурение, позволяющее максимально использовать потенциальную энергию промывочной жидкости. Разработаны универсальные забойные компоновки гидроструйного бурения скважин. Новизна – гидрораспределитель, алмазная бурильная головка с многоступенчатой матрицей и раздельная система промывочных канавок. При бурении скважин поток промывочной жидкости направляется на ступеньки забоя скважин, образуются зоны разрыхления и снижая сопротивляемость горных пород к разрушению. Универсальная забойная компоновка имеет преимущество по сравнению с серийными колонковыми наборами NQ и HQ по механической скорости, энергозатратам и цельности керна.

Ключевые слова: скважина, забойная компоновка, бурильные головки, матрица, резы, разрыхление, порода, гидроструйное разрушение, керн, промывочная жидкость.

Ұңғыны қысымды сұйықтықпен бұрғылайтын әмбебап құрылым

Анатпа. Терең іргелес пайдалы қазбалар кен орындарын геологиялық барлау кезінде ұңғымаларды бұрғылау проблемалары – берілген бағыттың сақталуы, энергия шығынын азайту және құрылымдық тұтас өзек алу. Бұл кенжар құрылымына жаңа физикалық принциптер мен ресурстарды енгізген кезде мүмкін болады. Ресурс – жуу сұйықтығының потенциалдық энергиясын барынша пайдалануға мүмкіндік беретін гидрожарық бұрғылау. Ұңғымаларды бұрғылаудың әмбебап кенжарлары жасалды. Жаңалық-гидравликалық дистрибутор, көп сатылы матрицасы бар Гауһар бұрғылау басы және бөлек жуу ойығы жүйесі. Ұңғымаларды бұрғылау кезінде жуу сұйықтығының ағыны ұңғымаларды сою сатыларына бағытталады, қосыту аймақтары пайда болады, тау жыныстарының бұзылуға төзімділігі төмендейді. Әмбебап кенжардың орналасуы механикалық жылдамдық, энергия шығыны және негізгі тұтастық бойынша NQ және HQ сериялық баған жиынтықтарымен салыстырғанда артықшылыққа ие.

Түйінді сөздер: ұңғыма, ұңғы құрастыру, бұрғылау бастиектері, матрица, кескіштер, қосыту, тау жынысы, гидроагрегат, керн, бұрғылау сұйықтығы.

Universal bottomhole assembly for hydrojet drilling of wells

Abstract. In geological exploration of deep-lying mineral deposits, the problems of drilling wells are the preservation of a given direction, reducing energy consumption and obtaining a structurally solid core. This is possible when new physical principles and resources are introduced into the design of the downhole layout. The resource is hydrojet drilling, which makes it possible to maximize the potential energy of the washing liquid. Universal downhole layouts of hydraulic well drilling have been developed. The novelty is a hydraulic distributor, a diamond drill head with a multi-stage matrix and a separate system of flushing grooves. When drilling wells, the flow of flushing fluid is directed to the steps of the well face, loosening zones are formed, reducing the resistance of rocks to destruction. The universal downhole layout has an advantage over the serial NQ and HQ column sets in terms of mechanical speed, energy consumption and core integrity.

Key words: well, downhole assembly, drilling heads, matrix, cutters, loosening, rock, hydrojet, core, drilling fluid.

Введение

Основной способ геологоразведки – бурение скважин – предназначен для вскрытия рудных тел, жил, продуктивных пластов с целью получения источника информации – керна.

Проводка скважин в глубь недр земли со сложными построениями геологических разрезов, ростом температуры и давления с глубиной предъявляет высокие требования к конструкции и технологическим возможностям применяемых средств их совместимости с условиями горной среды.

Основные проблемы бурения глубоких скважин – сохранность заданного направления скважин, снижение энергозатрат и получение структурно цельного керна.

Решение проблем сооружения глубоких скважин на качественно высоком уровне представляется возможным при привлечении физических принципов, ресурсов, ранее малоизвестных, в области техники бурения скважин. Одним из таких

ресурсов является гидроструйное разрушение горных пород, основанное на использовании энергии высокоскоростных струй воды, которые, вырываясь из струеформирующих каналов под большим давлением, обеспечивают работу по разрушению материала.

По тематике проанализированы результаты научных исследований и опытно-конструкторских разработок, перспективные направления развития гидроструйного способа разрушения пород. Установлены конструктивные требования к средствам бурения скважин для создания условий проявления гидроструйного разрушения пород, благоприятного кернообразования и организованного выноса шлама с забоя скважин.

Объект разработки и исследования – универсальная забойная компоновка гидроструйного бурения скважин, результаты ее апробации на практике.

В работе [1] предложена схема экспериментальной установки для получения сверхвысокого давления

по способу двухступенчатого сжатия. В ней практический интерес представляют параметры: давление воды, 100-500 МПа; диаметр отверстия струеформирующей насадки 0,2...0,8 мм, расстояние между срезами струеформирующей насадки и поверхностью горной породы 2...200 мм.

Интенсивно развивается технология ударного бурения с использованием гидроударных частиц при бурении глубоких скважин на месторождениях угля. Механизм разрушения породы заключается в том, что высокоскоростные частицы и водоструйные удары о породу образуют кольцевую зону разрыхления породы. По мере того, как прочность пород уменьшается с образованием канавок, твердая порода может быть эффективно разрушена с помощью режущего действия бурового долота [2]. Технология ударно-струйного бурения частиц представляет собой метод бесконтактного разрушения горных пород, используемый для увеличения скорости проходки глубоких скважин [3].

В статье [4] приведены результаты применения технологии радиального водоструйного бурения пяти горизонтальных скважин в стенке карьера. Установлено влияние геометрии сопла гидромониторных устройств на скорость проходки скважин. Замечено, что выброшенные из отверстий струи могут пересекать трещины пород под разными углами, что сказывается на скорости проходки. Выбуренную породу, извлеченную из скважины, можно использовать для оценки проницаемости пород.

Исследования [5] показали, что гидроструйное бурение может увеличить скорость проходки, по сравнению с ротором, до 40% снижением механического усилия на долото PDC от 30% до 52%.

Существует множество факторов, влияющих на разрушающее воздействие водяных струй, среди которых нельзя не учитывать силу удара. Для изучения влияния формы контактной поверхности на характер течения струи и силу удара были проведены эксперименты по изучению плоскостей соударения скважин и струи воды при различных значениях давления [6]. Обнаружено, что при столкновении струи воды с разными формами контактных поверхностей материалов возникает отраженный поток, оказывающий влияние формы на силу удара.

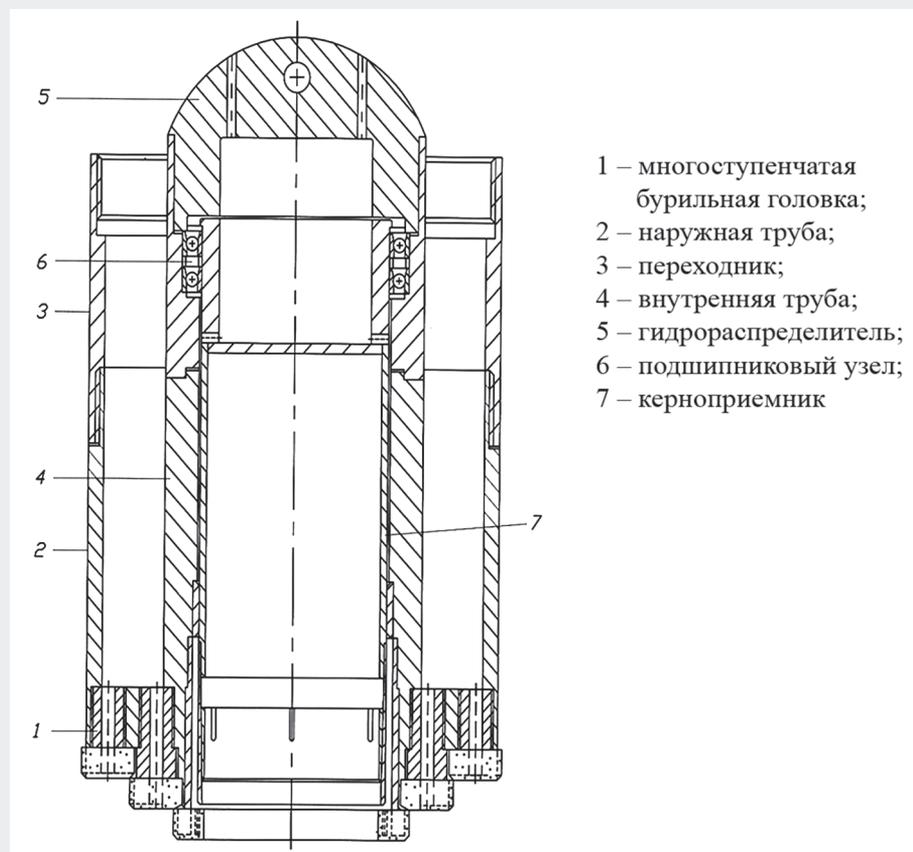
Имеется исследование [7] механизма разрушающего бурения с использованием струйного долота высокого давления. В нем изложены результаты бурения боковых стволов с использованием скважинных высокоскоростных струйных насадок. Выполнены расчеты по определению значений конструктивных параметров насадок.

Особое место среди разновидностей гидроструйных технологий, используемых в горном деле, занимает гидромеханический способ разрушения горных пород [8], основанный на комбинации механического резцового и шарошечного инструмента с высокоскоростной струей воды. Сущность способа заключается в том, что струя воды, ориентированная относительно механического инструмента, обеспечивает

снижение его нагруженности, расширение области их применения для разрушения крепких пород.

Гидроабразивное резание горных пород основывается на совместном воздействии на материал

высокоскоростных струй воды и абразивных частиц, находящихся внутри этих струй [9, 10]. В результате такого воздействия в породе прорезается щель определенной глубины и ширины.



**Рис. 1. Универсальная забойная компоновка диаметром 215,9 мм.
Сурет 1. Диаметрі 215,9 мм болатын эмбебап ұңғыма жинағы.
Figure 1. Universal bottomhole assembly with a diameter of 215.9 mm.**



**Рис. 2. Алмазные бурильные головки с гидроструйным эффектом разрушения пород диаметром 215,9 мм.
Сурет 2. Диаметрі 215,9 мм тау жыныстарының бұзылуының гидроағынды әсері бар алмас бұрғыларының бастіектері.
Figure 2. Diamond drill heads with hydrojet effect of rock destruction with a diameter of 215.9 mm.**

Таблица 1

Сравнительные данные бурения скважин универсальной забойной компоновкой, оснащенной многоступенчатой бурильной головкой диаметром 75,6 мм и 95,6 мм и серийными колонковыми наборами NQ и HQ

Кесте 1

Диаметрі 75,6 мм және 95,6 мм көп сатылы бұрғылау бастиегімен және NQ және HQ сериялық керн жинақтарымен жабдықталған әмбебап ұңғыма жинағы бар бұрғылау ұңғымаларының салыстырмалы деректері

Table 1

Comparative data on drilling wells with a universal downhole assembly equipped with a multi-stage drill head with a diameter of 75.6 mm and 95.6 mm, and serial core sets NQ and HQ

Виды компоновки, колонковых наборов	Пробурено, м	Режимы бурения скважин			Механическая скорость бурения, м/ч	Выход керна, %	Затраты энергии, кВт·ч
		Осевая нагрузка, Н	Частота вращения, об/мин	Расход промывочной жидкости, л/мин			
1. Серийные колонковые наборы:							
NQ (75,6 мм)	300	18000-20000	600-700	60-70	3,1-3,3	93	1,6-1,8
HQ (95,6 мм)	242		500-600	80-90	2,8-3,0	93	2,1-2,4
2. Универсальная забойная компоновка:							
диаметром бурения 75,6 мм	275	4000-6000	400-500	35-40	2,7-3,0	95	0,7-0,9
диаметром бурения 95,6 мм	181	7000-9000	300-400	60-70	2,5-2,7	95	1,2-1,5

Причем, глубина щели в этом случае в 3-8 раз превышает глубину щели, получаемую при резании обычными высокоскоростными струями воды без добавления абразивного компонента.

Исследованиями [11] была сделана попытка инициирования и распространения трещин в горных породах при совместном воздействии механических и гидравлических способов. Проведены эксперименты по исследованию механизма разрушения пород под высоким давлением струи жидкости при применении шарошечных долот, оснащенных карбид-вольфрамовой вставкой. Выяснено, что размеры и формы вставки существенно влияют на интенсивность распространения сети трещин. По выводам авторов, наличие трещин на контакте взаимодействия напорной струи и горной породы способствуют расширению и увеличению глубины проникновения

жидкости в материнскую породу на забое скважин. Это возможно и при бурении скважин по плотным породам, если на их поверхностях предварительно появляются сети трещин, борозды и канавки [12].

Цель настоящей работы – создание универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения скважин, в том числе с возможностью получения керна увеличенного диаметра.

Задачи:

1) разработка конструктивных схем универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения скважин с отбором высокоинформативного керна и сплошным забоем, изготовление опытных образцов;

2) оценка промышленной применимости и эффективности универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения скважин в сравнении с серийными колонковыми наборами в сопоставимых условиях горной среды.

Методы исследования

На основании исходных предположений, изложенных во введении, разработаны конструкции универсальных забойных компоновок, предназначенных для реализации эффекта гидроструйного разрушения горных пород. Универсальность забойной компоновки заключается в том, что повариантно она может быть использована как при бурении скважин с отбором керна, так и со сплошным забоем.

Разработка универсальных забойных компоновок согласно стандартным размерам горного оборудования велась по методике конструирования машин, принятой в области общего машиностроения, а именно: конструктивная преемственность, сфера применения, метод инверсии и компонование.

Метод инверсии был использован при разработке конструкции многокамерной забойной гидромашины. В узлах машин, установок

иногда бывает выгодным поменять детали ролями, ведущую деталь сделать ведомой, направляющую – направляемой, неподвижную – подвижной. Согласно методу инверсии, со сменой выполняемой функции неподвижный ротор расположен в полости вращающегося статора. Это позволило увеличить длину плеча моментов силы между составляющими элементами многокамерной забойной гидромашины, упростить конструкции и максимально использовать потенциальную энергию рабочего агента – промывочной жидкости.

При проектировании 3D моделей многоступенчатой алмазной бурильной головки со сменяемыми резцами и технологической оснастки в виде графитовой пресс-формы, необходимой для их изготовления, использовался вариант программы САПР Kompas 3DV14 Home, соответствующей стандартам ЕВРА-ЗЭС. По ней были разработаны чертежи короночной заготовки и детали пресс-форм. Рабочая программа ARTCAM была использована для изготовления этих деталей на станке 4PUREMAX40302.

Универсальная бурильная головка может быть встроена в конструкцию серийных колонковых наборов NQ и HQ. При бурении же скважин со сплошным забоем, врубная часть в виде коронки сменяется на буровое долото.

При бурении скважин важно получить информативный геологический материал в виде структурно цельного керна, необходимого для определения интервалов расположения рудных тел, продуктивных горизонтов, достоверности оценки содержания полезных компонентов, проницаемости и коллекторских свойств.

Информативность и структурная цельность керна достигается увеличением диаметра керна, более стойкого к разрушению и размыву промывочной жидкости. Весомый ресурс для получения керна увеличенного диаметра и снижения энергозатрат процесса разрушения пород – алмазные коронки с тонкостенной матрицей. Установлено, что уменьшение ширины торца

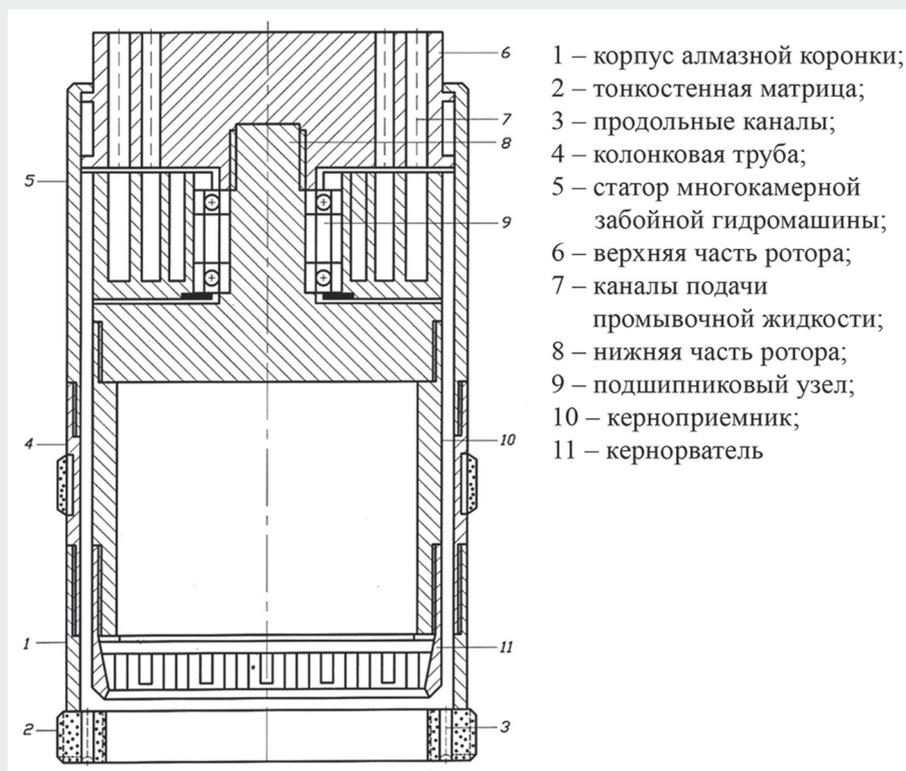


Рис. 3. Универсальная забойная компоновка диаметром бурения скважин 215,9 мм, предназначенная для отбора керна увеличенного диаметра.

Сурет 3. Диаметрі ұлғайтылған кернді сынамалауға арналған бұрғылау саңылауларына арналған диаметрі 215,9 мм әмбебап түптік жинақ.
Figure 3. Universal bottomhole assembly with a diameter of 215.9 mm for drilling holes, designed for sampling a core of increased diameter.

матрицы позволяет на 20-30% повысить концентрацию напряжения на забое скважин.

Производственные испытания опытных образцов универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения проходили на месторождении полиметаллов центрального Казахстана. Геологический разрез месторождения сложен из горных пород (алевролиты с многочисленными прожилками кварца, кальциты и бариты), жил окремненных известняков и кремнистых аргиллитов, встречаются кремнистые сланцы. Средняя категория пород по буримости – 8.5. Угол наклона скважин – 70°. Бурение осуществлялось буровой установкой CDH-100, насос НБ-3-120/40. Промывочная жидкость – техническая вода.

За базу сравнения в сопоставимых условиях бурения скважин приняты показатели серийных алмазных коронок типа КБ-ИЗ-12АГ Ø75,6 мм колонкового набора NQ и КБ-ИЗ-12АГ Ø95,6 мм (HQ).

Планирование объемов экспериментального бурения скважин универсальными забойными компоновками и обработка результатов хронометражных наблюдений осуществлялись согласно основным понятиям теории вероятностей (математическое ожидание, вероятность события, дисперсия и точность определения оценки).

Результаты

На рис. 1 представлена конструктивная схема универсальной забойной компоновки диаметром 215,9 мм гидроструйного бурения скважин с отбором информативного керна; на рис. 2 – алмазные бурильные головки с гидроструйным эффектом разрушения пород диаметром 215,9 мм: с отбором керна и для бурения скважин со сплошным забоем. На рис. 3 показана универсальная забойная компоновка гидроструйного бурения скважин диаметром 215,9 мм с отбором керна увеличенного диаметра; на рис. 4 – алмазная бурильная головка со ступенчатой

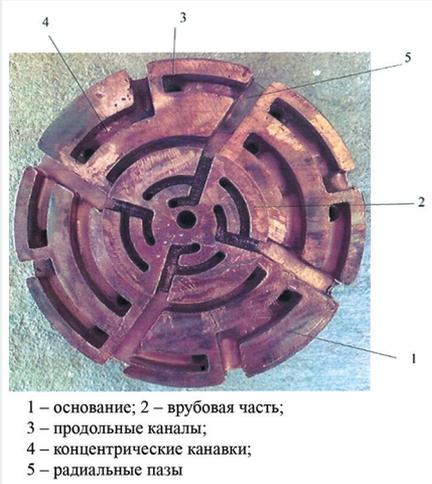


Рис. 4. Алмазная бурильная головка со ступенчатой матрицей диаметром 215,9 мм с отдельной системой промывочных каналов и гидроструйным эффектом разрушения горных пород. Сурет 4. Диаметрі 215,9 мм сатылы матрицасы бар алмаз бұрғысының бастигі бөлек жуғыш арналар жүйесі және тау жыныстарын бұзудың гидроағынды әсері.
Figure 4. Diamond drill head with a stepped matrix with a diameter of 215.9 mm with a separate system of flushing channels and a hydro-jet effect of rock destruction.

матрицей диаметром 215,9 мм, с отдельной системой промывочных каналов и гидроструйным эффектом разрушения пород.

Применение и эффективность универсальной забойной компоновки с гидроструйным эффектом разрушения пород

На рис. 5 показано состояние отобранных керновых проб серийным колонковым набором HQ и универсальной забойной компоновкой с многоступенчатой алмазной бурильной головкой. По состоянию удельной кусковатости керна на погонный метр бурения скважин в сопоставимых геолого-технических условиях видно, насколько эффективны универсальные забойные компоновки в обеспечении структурной целостности керна. В табл. 1 приведены сравнительные данные бурения скважин универсальной забойной компоновкой,

оснащенной многоступенчатой бурильной головкой диаметром 75,6 мм и 95,6 мм со сменяемыми алмазными резцами и серийными колонковыми наборами NQ и HQ.

По результатам отработки универсальной забойной компоновкой и серийными колонковыми наборами (NQ и HQ) установлено, что ресурсные возможности универсальной забойной компоновки на 180-220 м больше, чем у серийных колонковых наборов.

Обсуждение результатов

Полученные результаты – снижение энергозатрат процесса разрушения пород, получение структурно цельного керна – объясняются конструктивными особенностями универсальной забойной компоновки, в силу чего меняются форма забоя скважин, вид разрушения пород, система подачи промывочной жидкости и выноса шлама, условия кернаобразования, появляется возможность перехода на низкие значения параметров режимов бурения.

Результаты подтверждаются конструкцией универсальных забойных компоновок, видами алмазных бурильных головок (рис. 1-4).

Конструктивные особенности универсальных забойных компоновок заключаются в использовании направленной потенциальной энергии промывочной жидкости для повышения интенсивности разрушения пород и снижения энергозатрат углубки скважин, сохранении целостности

керна и применении составных алмазных бурильных головок.

Направленным потоком промывочной жидкости по продольным каналам на ступеньках забоя скважин образуются зоны разрыхления, повышается проницаемость горной породы.

Реализуются конструктивные особенности посредством:

- появления опережающей зоны трещин на ступеньках забоя скважин – исходной предпосылки объемного разрушения пород, чему способствует и смещение концентрических канавок по горизонтали между секторами матрицы;
 - выполнения концентрических канавок на торце матрицы, пересеченных радиальными пазами, исключающих попадание шлама выбуренной породы из одного сектора в другой; устранения гидравлической подпорки под матрицей алмазной бурильной головки;
 - предохранения керна от воздействия потока напорной промывочной жидкости, появления условий для жидкостной смазки между керном и керноприемником;
 - снижения значений режимов бурения скважин, осевой нагрузки на забой и частоты вращения.
- Совокупностью конструктивных особенностей и последствиями их применения универсальные забойные компоновки гидроструйного бурения скважин, оснащенные составными алмазными бурильными

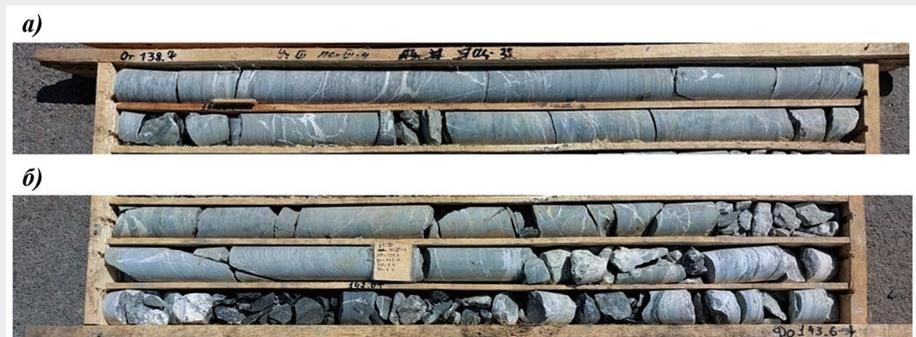


Рис. 5. Состояние отобранных керновых проб: а – универсальной забойной компоновкой, диаметром врубной части 95,6 мм; б – серийным колонковым набором HQ 95,6 мм.
Сурет 5. Тандалған керна үлгілерінің шарттары: а – әмбебап ұңғыма жинағы, кесу диаметрі 95,6 мм; б – сериялық баған жиынтығы HQ 95,6 мм.

Figure 5. Conditions of selected core samples: a – universal bottomhole assembly, cut-in diameter 95.6 mm; b – serial column set HQ 95.6 mm.

головками со ступенчатой матрицей, принципиально отличаются от серийных колонковых наборов.

Недостаток – при бурении скважин по плотным глинам, суглинкам возможны закупорки продольных отверстий матрицы алмазных бурильных головок, перекрытие движения напорного потока промывочной жидкости. Недостаток может быть устранен подбором поперечных размеров продольных отверстий, соответствующих свойствам пород, и повышением расхода промывочной жидкости.

Перспективным направлением в расширении сферы применения универсальной забойной компоновки может быть применение ее при проходке стволов шахт, шурфов, вскрытии и освоении залежей подземных вод и термальных источников,

извлечении полезных ископаемых способом скважинной гидродобычи.

Заключение

1. Разработана конструкция универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения скважин, содержащей составные алмазные бурильные головки со ступенчатой матрицей, оснащенные сменяемыми резцами или врубовой частью.

Технологические возможности: объемное гидромеханическое разрушение пород, раздельная система подачи промывочной жидкости и удаления шлама с забоя скважин, чистота обработки поверхности стенки скважин, снижение энергозатрат.

Разработана конструкция универсальной забойной компоновки гидроструйного бурения скважин, предназначенной для отбора керна увеличенным диаметром 165 мм.

В качестве силового привода в конструкции может быть использована многокамерная забойная гидромашинка, мало-расходная по потреблению промывочной жидкости.

2. Проверка применимости универсальной забойной компоновки осуществлялась в производственных условиях бурения скважин на месторождениях полиметаллов Центрального Казахстана.

Эффективность универсальных забойных компоновок гидроструйного бурения скважин, в сравнении с серийными колонковыми наборами NQ и HQ, выражается в снижении энергозатрат процесса углубки скважин на 40-50%, получении структурно цельного керна с ростом механической скорости бурения на 8-9%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жабин А.Б., Пушкарев А.Е., Маликов А.А., Поляков А.В. Разрушение горных пород струями воды сверхвысокого давления. // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2014. – Вып. 2. – С. 74-78 (на русском языке)
2. Fushen Ren, Tiancheng Fang, Xiaoze Cheng. Исследование повреждения горных пород и глубины разрушения при воздействии водоструйной муфты с частицами. // Международный журнал ударной техники. – 2020. – Т. 139. – С. 1-6 (на английском языке)
3. Tiancheng Fang, Fushen Ren, Hanxu Liu, Yuan Zhang, Jianxin Cheng. Прогресс и разработка технологии струйного бурения, увеличивающей скорость, и механизма разрушения пород для глубоких скважин. // Журнал технологии разведки и добычи нефти. – 2022. – №12. – С. 1697-1708 (на английском языке)
4. Thomas Reinsch, Bob Paap, Simon Hahn, Volker Wittig, Sidney van den Berg. Взгляд на технологию радиального водоструйного бурения – применение в карьере. // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. – 2018. – Т. 10. – Вып. 2. – С. 236-248 (на английском языке)
5. Songyong Liu, Hongsheng Li, Huanhuan Chang. Производительность бурения буровой установки для бурения горных пород струей воды высокого давления при различных режимах конфигурации. // Удары и вибрация. – 2017. – Т. 3. – С. 1-14 (на английском языке)
6. Yabin Gao, Xin Xiang, Ziwen Li, Xiaoya Guo, Peizhuang Han. Экспериментально-имитационное исследование характеристик гидродинамических ударов в скважинах // Энергетика и разведка. – 2021. – Т. 40(6). – С. 1-21 (на английском языке)
7. Chunsheng Wang, Yang Liu, Qiji Sun, Shan Meng, Kai Zhang, Yufei Dong. Исследование механизма разрушающего бурения с использованием струйного долота высокого давления // Открытый нефтяной инженерный журнал. – 2017. – Т. 10. – С. 12-18 (на английском языке)
8. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. и др. Перспективы развития гидроструйных технологий в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве. // Горные машины и автоматика. – 2002. – №5. – С. 2-10 (на русском языке)
9. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. Разрушение горных пород при помощи гидроструйных технологий. // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия Горно-электромеханическая. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Вып. 99. – С. 81-93 (на русском языке)
10. Yiyu Lu, Jiren Tang, Zhaolong Ge, Binwei Xia, Yong Liu. Техника бурения твердых пород с помощью гидроабразивной струи. // Международный журнал механики горных пород и горных наук. – 2013. – №60. – С. 47-56 (на английском языке)

11. Thomas Stoxreiter, Robert Wenighofer и др. Иницирование и распространение трещин в горных породах механическим и гидравлическим воздействием. // Открытые науки о земле, – 2019. – №11. – С. 783-803 (на английском языке)
12. Mendebaev T.N, Smashov N.Zh, Kuatova M.Zh. Водоструйное разрушение горных пород при бурении скважин алмазными инструментами с независимыми промывочными отверстиями. // Евразийская горнодобывающая промышленность. – 2019. – №2(32). – С. 41-43 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Жабин А.Б., Пушкарев А.Е., Маликов А.А., Поляков А.В. Тау жыныстарын аса жоғары қысымды су ағындарымен бұзу. // ТулГУ Известиясы. Жер туралы ғылымдар. – 2014. – Шығ. 2. – Б.74-78 (орыс тілінде)
2. Fushen Ren, Tiancheng Fang, Xiaoze Cheng. Бөлшектері бар су ағынының муфтасына ұшыраған кезде тау жыныстарының зақымдануын және жойылу тереңдігін зерттеу. // Халықаралық соқпалы инженерия журналы. – 2020. – Т. 139. – Б. 1-6 (ағылшын тілінде)
3. Tiancheng Fang, Fushen Ren, Hanxi Liu, Yuan Zhang, Jianxin Cheng. Жылдамдықты арттыратын реактивті бұрғылау технологиясының және терең ұңғымаларға арналған тау жыныстарын жою механизмінің дамуы мен дамуы. // Мұнай барлау және өндіру технологиясының журналы. – 2022. – №12. – Б. 1697-1708 (ағылшын тілінде)
4. Thomas Reinsch, Bob Paap, Simon Hahn, Volker Wittig, Sidney van den Berg. Радиалды су ағындарын бұрғылау технологиясына шолу – карьерде қолдану. // Тау жыныстары механикасы және геотехникалық инженерия журналы. – 2018. – Т. 10. – Шығ. 2. – Б. 236-248 (ағылшын тілінде)
5. Songyong Liu, Hongsheng Li, Huanhuan Chang. Әртүрлі конфигурация режимдерінде жоғары қысымды су ағынымен тау жыныстарын бұрғылауға арналған бұрғылау машинасының өнімділігі. // Соққы және діріл. – 2017. – Т. 3. – Б. 1-14 (ағылшын тілінде)
6. Yabin Gao, Xin Xiang, Ziwen Li, Xiaoya Guo, Peizhuang Han. Ұңғымалардағы су ағынының соққыларындағы ағын сызбасының сипаттамаларын эксперименттік және имитациялық зерттеу. // Энергетикалық барлау және пайдалану. – 2021. – Т. 40(6). – Б. 1-21 (ағылшын тілінде)
7. Чуншэн Ван, Ян Лю, Цицзюнь Сун, Шан Менг, Кай Чжан, Юфэй Дон. Жоғары қысымды реактивті қашауды қолдана отырып, тау жыныстарын бұзатын бұрғылау механизмін зерттеу // ашық Петролеум инженерлік журналы. – 2021. – Т. 40(6). – Б. 1-21 (ағылшын тілінде)
8. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. және т.б. Тау-кен өнеркәсібіндегі және жерасты құрылысындағы гидрореактивті технологиялардың даму болашағы. // Тау-кен машиналары және автоматика. – 2002. – №5. – Б. 2-10 (орыс тілінде)
9. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. Гидрожеттік технологиялар көмегімен тау жыныстарын бұзу. / Донецк ұлттық техникалық университетінің ғылыми тәжірибелері. Тау-кен электромеханикалық сериясы. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – Шығ. 99. – Б. 81-93 (орыс тілінде)
10. Yiyu Lu, Jiren Tang, Zhaolong Ge, Binwei Xia, Yong Liu. Абразивті су ағынымен қатты жыныстарды бұрғылау технологиясы. // Тау жыныстары механикасы және тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы. – 2013. – №60. – Б. 47-56 (ағылшын тілінде)
11. Thomas Stoxreiter, Robert Wenighofer және т.б. Механикалық және гидравликалық әсер ету арқылы тау жыныстарының бұзылуын бастау және тарату // Ашық жер туралы ғылымдар. – 2019. – №11. – Б. 783-803 (ағылшын тілінде)
12. Mendebaev T.N, Smashov N.Zh, Kuatova M.Zh. Тәуелсіз жуу тесіктері бар алмаз құралдарымен Ұңғымаларды бұрғылау кезінде тау жыныстарының су ағынының бұзылуы. // Еуразиялық тау-кен өнеркәсібі. – 2019. – №2(32). – Б. 41-43 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Zhabin A.B., Pushkarev A.E., Malikov A.A., Polyakov A.V. Razrushenie gornyx porod struyami vody sverkhvysokogo davleniya [Destruction of rocks by ultrahigh pressure water jets]. // Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle = News of TulGU. Earth Sciences, 2014. – Issue 2. – P. 74-78 (in Russian)
2. Fushen Ren, Tiancheng Fang, Xiaoze Cheng. Study on rock damage and failure depth under particle water-jet coupling impact. // International Journal of Impact Engineering. – 2020. – Vol. 139. – P. 1-6 (in English)

3. *Tiancheng Fang, Fushen Ren, Hanxu Liu, Yuan Zhang, Jianxun Cheng. Progress and development of particle jet drilling speed-increasing technology and rock-breaking mechanism for deep well. // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2022. – №12. – P. 1697-1708 (in English)*
4. *Thomas Reinsch, Bob Paap, Simon Hahn, Volker Wittig, Sidney van den Berg. Insights into the radial water jet drilling technology – Application in a quarry. // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2018. – Vol. 10. – Issue 2. – P. 236-248 (in English)*
5. *Songyong Liu, Hongsheng Li, Huanhuan Chang. Drilling performance of rock drill By high-pressure water jet under different configuration modes. // Shock and Vibration. – 2017. – Vol. 3. – P. 1-14 (in English)*
6. *Yabin Gao, Xin Xiang, Ziwen Li, Xiaoya Guo, Peizhuang Han. An experimental and simulation study of the flow pattern characteristics of water jet impingements in boreholes. // Energy Exploration & Exploitation. – 2021. – Vol. 40(6). – P. 1-21 (in English)*
7. *Chunsheng Wang, Yang Liu, Qiji Sun, Shan Meng, Kai Zhang, Yufei Dong. Investigation on a rock-breaking drilling mechanism by using a high pressure jet bit. // The Open Petroleum Engineering Journal. – 2017. – Vol. 10. – P. 12-18 (in English)*
8. *Brenner V.A., Zhabin A.B., Pushkarev A.E. et al. Perspektivy razvitiya gidrostrujnyx texnologii v gorno-dobyvayushhej promyshlennosti i podzemnom stroitel'stve [Prospects for the development of hydrojet technologies in the mining industry and underground construction]. // Gornye mashiny i avtomatika = Mining machines and automation. – 2002. – №5. – P. 2-10 (in Russian)*
9. *Brenner V.A., Zhabin A.B., Pushkarev A.E. Razrushenie gornyx porod pri pomoshhi gidrostrujnyx texnologij [Destruction of rocks with the help of hydrojet technologies]. // Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo texnicheskogo universiteta. Seriya Gorno-e'lektromexanicheskaya = Science practices of the Donetsk National Technical University. Mining and Electromechanical series. – Donetsk: DonNTU, 2005. – Issue 99. – P. 81-93 (in Russian)*
10. *Yiyu Lu, Jiren Tang, Zhaolong Ge, Binwei Xia, Yong Liu. Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistance. // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. – 2013. – №60. – P. 47-56 (in English)*
11. *Thomas Stoxreiter, Robert Wenighofer et al. Rock fracture initiation and propagation by mechanical and hydraulic impact. // Open Geosciences. – 2019. – №11. – P. 783-803 (in English)*
12. *Mendebaev T.N., Smashov N.Zh., Kuvatova M.Zh. Water jet destruction of rocks in well drilling by diamond tools with independent flushing ports. // Eurasian Mining. – 2019. – №2(32). – P. 41-43 (in English)*

Сведения об авторах:

Мендебаев Т.Н., д-р техн. наук, главный научный сотрудник Товарищества с ограниченной ответственностью «Научно-внедренческий центр Алмас» (г. Алматы, Казахстан), nvc_almas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9737-840X>

Смашов Н.Ж., PhD, директор Товарищества с ограниченной ответственностью «Научно-внедренческий центр Алмас» (г. Алматы, Казахстан), nur_cm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1095-7431>

Исмаилов Х.К., Президент Товарищества с ограниченной ответственностью «Центргеолсъемка» (г. Караганда, Казахстан), zaocgs@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-1316-1246>

Изаков Б.К., главный инженер Товарищества с ограниченной ответственностью «Центргеолсъемка» (г. Караганда, Казахстан), zaocgs@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-1732-9783>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мендебаев Т.Н., техника ғылымының докторы, «Алмас ғылыми-енгізу орталығы» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Смашов Н.Ж., PhD, «Алмас ғылыми-енгізу орталығы» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі директоры (Алматы қ., Қазақстан)

Исмаилов Х.К., «Центргеолсъемка» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің президенті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Изаков Б.К., «Центргеолсъемка» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі бас инженері (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Mendebaev T.N., Doctor of Technical Sciences, Chief Research Officer of the Limited Liability Company «Almas Research and Implementation Center» (Almaty, Kazakhstan)

Smashov N.Zh., Candidate of Technical Sciences, Director of the Limited Liability Partnership «Almas Research and Implementation Center» (Almaty, Kazakhstan)

Ismailov H.K., President of the Limited Liability Company «Tsentrgeolsemka» (Karaganda, Kazakhstan)

Izakov B.K., Chief Engineer of the Limited Liability Company «Tsentrgeolsemka» (Karaganda, Kazakhstan)