ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(12):114-124
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.243.051 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-114-124

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАБОЙНОЙ КОМПОНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Т.Н. Мендебаев[1], Х.К. Исмаилов[2], Б.К. Изаков[2], Н.Ж. Смашов[1]

[1] ТОО «Научно-внедренческий центр Алмас», Алматы, Казахстан, e-mail: nvc_almas@mail.ru
[2] ТОО «Центргеолсъемка», Караганда, Казахстан

Аннотация: Рассмотрены способы и средства снижения энергозатрат и получения структурно цельного керна при бурении глубоких скважин. Наиболее приемлемыми способами являются гидроструйное разрушение горных пород и проводка скважин без вращения бурильной колонны. Эти принципы положены в основу разработки забойной компоновки с двухкамерной глубинной гидромашиной и алмазными породоразрушающими инструментами тонкостенной матрицей. Главное отличие двухкамерной глубинной гидромашины от всех известных видов забойных гидродвигателей — вращающийся статор вокруг неподвижного ротора. Эффект гидроструйного разрушения горных пород реализован созданием алмазных буровых коронок с раздельной системой промывочных каналов, предназначенных для бурения скважин кольцевым забоем с отбором керна. В состав компоновки также входят: колонковая труба, плавающий керноприемник с опорами скольжения и вращающаяся втулка, скользяще контактирующая с кернорвательным кольцом, обеспечивающая предохранения керна от размыва и разрушения на стадии формирования. Забойная компоновка, конструктивно нацеленная на максимальное использование потенциальной энергии промывочной жидкости, подводимой к породоразрушающему инструменту для создания момента силы вращения и разрушения пород, имеет технологические возможности для формирования и извлечения керна увеличенного диаметра ненарушенного строения одинарной колонковой трубой. Диапазон применения забойной компоновки по диаметрам бурения скважин от 59 мм до 215,9 мм и выше. На основании результатов апробации забойной компоновки в сочетании с двухкамерной глубинной гидромашиной в лабораторных условиях и на практике бурения скважин можно сделать вывод, что она может стать эффективным средством сооружения скважин.

Ключевые слова: бурение, скважина, забойная компоновка, гидромашина, алмазная коронка, керн.

Для цитирования: *Мендебаев Т.Н., Исмаилов Х.К., Изаков Б.К., Смашов Н.Ж.* Конструктивные особенности и технологические возможности забойной компоновки для бурения скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 114–124. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-114-124.

Design philosophy and technological capabilities of bottom hole assembly

T.N. Mendebaev[1], H.Kh. Ismailov[2], B.K. Izakov[2], N.Zh. Smashov[1]

[1] LLP Scientific Innovation Center Almas, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nvc_almas@mail.ru
[2] LLP Tsentrgeolsemka, Karaganda, Kazakhstan

© Т.Н. Мендебаев, Х.К. Исмаилов, Б.К. Изаков, Н.Ж. Смашов. 2020.

Abstract: The methods and means of energy usage reduction and structurally intact coring in long hole drilling are in the spotlight of this study. The best methods to this end are water-jet destruction of rocks and drilling without turning the drill string. These ground rules make a design framework for a bottom hole assembly with a twin-chamber deep hydraulic drilling unit and thin-wall diamond drill bits. The major difference of the twin-chamber deep hydraulic drilling unit from all other known bottom hole hydraulic motors consists in rotation of stator round immobile rotor. The water-jet rock destruction process uses diamond drill bits with split water courses, meant for ring drilling with coring. The bottom hole assembly also includes: a core barrel, a floating core receiver with sliding support and a rotary bushing being in slide contact with a ring core cutter and preserving core from wash and destruction. The bottom hole assembly designed for maximum usage of potential flush fluid energy fed to the rock cutting tool for rotation moment generation and rock destruction is technologically capable to form and remove intact large-diameter cores using a single core barrel. The bottom hole assembly is applicable to drilling holes with diameter from 59 mm to 215.9 mm and more. The lab-scale and field trials of the bottom hole assembly with a twin-chamber deep hydraulic drilling unit allow concluding on the potential efficiency of the equipment in long hole drilling.

Key words: drilling, borehole, bottom hole assembly, hydraulic drilling unit, diamond drill bit, core.

For citation: Mendebaev T.N., Ismailov H.Kh., Izakov B.K., Smashov N.Zh. Design philosophy and technological capabilities of bottom hole assembly. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(12):114-124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-114-124.

Введение

Наряду с повышением достоверности и информативности геологических материалов, актуальная проблема геологоразведки месторождений полезных ископаемых состоит в снижении энергозатрат бурения скважин. Проблема продиктована необратимой тенденцией роста глубины поиска, разведки и добычи природных ресурсов, что предъявляет высокие требования к способам и средствам сооружения скважин, особенно к выходу керна.

Структурно цельный, высокий выход керна есть условие объективной оценки достоверности элементов залегания месторождений полезных ископаемых, нерудного сырья, определения запасов и содержания компонентов, их промышленной значимости.

Подобные изучения керновых проб являются основным исходным материалам выбора схемы и средств разработки месторождений твердых и жидких полезных ископаемых, восстановления недр земли после завершения их отработки.

Причины нарушенности керна при бурении одинарной колонковой трубой — прямое попадание напорного потока промывочной жидкости на плоскую головку керна, последующее попадание разрушенных частиц породы в зазор между керном и колонковой трубой, приводящие к самозаклиниванию, воздействия крутильных колебаний вращающейся бурильной колонны.

Традиционной техникой получения керна с ненарушенной структурой являются комплексы снарядов со съемными керноприемниками ССК, NQ, HQ. В них исключен прямой контакт промывочной жидкости с керном, последний меньше подвержен воздействию крутильных колебаний со стороны бурильной колонны.

Характерные недостатки комплексов — необходимость использования

подъемной лебедки для извлечения керноприемника, наличие вспомогательных приспособлений, инструментов, утолщенная матрица алмазной коронки, причина повышения осевой нагрузки на забой скважины и рост расхода энергии на углубку скважин.

Основные энергозатраты процесса бурения скважин связаны с бурильной колонной, на вращение которой расходуется до 60—85% энергии от всей мощности бурового станка, передаваемой на породоразрушающий инструмент.

Кардинальное решение проблем снижения энергозатрат буровых работ возможно бурением скважин без вращения бурильной колонны. Кроме значительного расхода энергии, вращение бурильной колонны создает неблагоприятные забойные условия для работы породоразрушающего инструмента, сохранности керна, способствует отклонению трассы скважин от проектного направления, нарушению ее стенки и износу бурового станка.

Снизить энергоемкость процесса разрушения горных пород при бурении скважин возможно при уменьшении толщины матрицы алмазных породоразрушающих инструментов, создании опережающей зоны предразрушения на забое направленным потоком напорной промывочной жидкости.

Средством снижения металлоемкости буровых работ и обеспечения высокого выхода керна может стать конструкция колонкового набора, лишенного недостатков комплекса снарядов со съемными керноприемниками.

Решение пересекающихся проблем современной геологоразведки возможно на базе новых идей, технических решений, сформированных путем изучения конструктивных особенностей и условий применения существующих средств сооружения скважин.

Краткий анализ технических решений в области техники и технологии бурения скважин

Проводка скважин без вращения бурильной колонной осуществляется использованием забойных гидродвигателей — винтовых, турбинных, в принципе возможен и роторный тип.

Мощность, необходимая для вращения бурильной колонны, не является постоянной величиной, а изменяется в процессе проходки в связи с неравномерной подачей энергии от источника и неравномерного ее поглощения бурильной колонной.

Суммарная мощность, затрачиваемая на углубку скважин, состоит из энергии на холостое вращение бурильной колонны и на вращение породоразрушающего инструмента. В свою очередь, мощность, необходимая для вращения бурильной колонны, зависит от траектории скважин. По имеющимися данным, в скважине с интенсивностью искривления 0,040 м затраты энергии на вращение в 2—3 раза больше, чем в вертикальных [1].

Помимо траектории скважин, затраты мощности также зависят от протяженности и диаметра труб бурильной колонны, от величины осевой нагрузки на забой и частоты вращения породоразрушающего инструмента.

По сравнению с шарошечными долотами, энергосберегающим, эффективным инструментом снижения осевой нагрузки и величины крутящего момента являются импрегнированные алмазные долота. По частоте вращения на забое импрегнированные алмазные долота сочетаемы с высокооборотными турбобурами ТСА-195 (Россия) и гидротурбинными забойными гидродвигателями американских компании Neyrfor (Schlumberger) и Turbo Power (Halluburton) [2]. Однако серийные забойные гидродвигатели всех типоразмеров по

объему расхода потребной промывочной жидкости не соответствуют условиям алмазного бурения скважин кольцевым забоем с отбором керна.

Кроме того, конструктивные особенности турбобуров и винтовых забойных двигателей с удлиненной осью предопределяют как наличие высоких поперечных и продольных (осевых) вибраций корпуса, влияющих на долговечность и работоспособность двигателя, так и компоновки низа бурильной колонны [3].

При невращающейся бурильной колонне необходимая мощность на вращение породоразрушающего инструмента определяется по формуле:

$$N_n = N_0 \cdot F,$$

где N_0 — удельная энергия, отнесенная к 1 см^2 забоя; F — площадь забоя.

Приведем пример. Площадь сплошного забоя скважин при бурении долотом 215,6 мм составляет 380 см^2, кольцевым забоем с отбором керна коронками того же диаметра — 79 см^2, что в 4,8 раза меньше, при этом снижается количество затрачиваемой энергии.

Уменьшить расходы энергии при разрушении горных пород возможно с помощью алмазных коронок с тонкостенной матрицей. Исследованиями установлено, уменьшение ширины торца матрицы алмазной коронки позволяет на 20—30% повысить концентрацию напряжения на забое скважины и при ступенчатой форме матрицы снижает энергозатраты разрушения пород на 25—30%. При этом узкая площадь матрицы алмазной коронки, следовательно меньшая осевая нагрузка, при сохранении неизменным ее внешнего диаметра предполагает увеличение диаметра керна, более устойчивого к разрушению под воздействием вибрации колонковой трубы, размыву потоком промывочной жидкости [4].

В отношении снижения энергозатрат бурения скважин весомые ресурсы имеются в гидроструйном разрушении горных пород, где напорный поток воды используется для дробления, скалывания [5, 6]. Практикой доказано, что проницаемость породы имеет большое влияние на эффективность разрушения, для плотных пород струя воды может повысить степень дробления, если на их поверхностях имеются сети трещин, канавок [7, 8].

Для повышения эффективности механизма разрушения горных пород предлагается использовать эксцентрические импульсы. По утверждению авторов работы, использование эксцентрической ударной нагрузки вместо центральной может обеспечить повышение эффективности разрушения горных пород, снизить энергозатраты и избежать риска отклонения ствола скважины [9].

В направлении совершенствования конструкции алмазных буровых коронок имеется ряд исследований, указывающих на влияние конической формы матрицы на повышение стойкости коронок и увеличение скорости резания пород резцами за один проход [10, 11]. Применение технологии направленного бурения скважин с использованием алмазных инструментов с коническими элементами обеспечило резкий рост производительности труда и снижение энергозатрат [12].

На основании анализа состоянии техники и технологии бурения скважин, с учетом направлений научных поисков и тенденции разработок были сформулированы задачи:

- выбор забойного гидродвигателя по техническим и энергетическим характеристикам, соответствующим условиям алмазного бурения скважин с отбором керна;
- разработка энергосберегающей забойной компоновки, обеспечивающей

Таблица 1

Характеристики двухкамерной глубинной гидромашины
Twin-chamber deep hydraulic drilling unit specifications

Технические				Энергетические		
Диаметр бурения скважин, мм	**Длина, мм**	**Масса, кг**	**Расход промывочной жидкости, л/мин**	**Частота вращения на холостом ходу, об/мин**	**Момент силы, Н·м**	**Перепад давлений промывочной жидкости, МПа**
95,6 — 122	600	45	35 — 160	220 — 600	2000 — 2300	3,0 — 4,0

реализацию эффекта гидроструйного разрушения горных пород и получения структурно цельного керна;

• апробация забойной компоновки на стенде и в производственных условиях бурения скважин с целью установления практической применимости и технологических возможностей забойной компоновки, обусловленных конструктивными особенностями.

Методы исследования

Забойные гидродвигатели для бурения скважин с отбором керна должны быть высокооборотные, малорасходные по потреблению промывочной жидкости и малогабаритные по длине. На основе этих требований была выбрана конструкция двухкамерной глубинной гидромашины роторного типа, ранее опробованная в производственных условиях.

Рис. 1. Алмазная буровая коронка с раздельной системой промывочных каналов и гидроструйным эффектом разрушения горных пород
Fig. 1. Diamond drill bit with split water courses for water-jet destruction of rocks

Главное конструктивное отличие двухкамерной глубинной гидромашины от всех известных видов забойных гидродвигателей — вращающийся статор вокруг неподвижного ротора. Принцип работы основан на максимальном использовании наклонно направленного веса (энергии) промывочной жидкости, преобразуемого в момент силы статора, появлении плечо моментов сил и моментов реактивного истечения жидкости, устранении застойных зон и гидродинамических помех вращению [13, 14].

В табл. 1 приведены технические и энергетические характеристики двухкамерной глубинной гидромашины диаметром статора 90 мм.

Основным средством алмазного бурения скважин являются породоразрушающие инструменты. С учетом исходных предпосылок для реализации эффекта гидроструйного разрушения горных пород были разработаны алмазные буровые коронки с раздельной системой промывочных каналов для бурения скважин кольцевым забоем с отбором керна (рис. 1). Отличительные признаки алмазной буровой коронки — промывочные пазы. Они разделены перегородками не меньшей их высоты на ширину матрицы, продольные отверстия выходят в торец матрицы с тыльной стороны перегородки и гидравлически связаны с кольцевыми канавками на торцевой поверхности матрицы, причем связка продольных отверстий и кольцевых канавок между секторами, чередуясь, смещена по горизонтали [15].

В забойной компоновке бурения скважин алмазная коронка выполнена с тонкостенно ступенчатой матрицей. Другой элемент забойной компоновки — кернорвательное кольцо. В одинарной колонковой трубе вращающееся вместе с ней кернорвательное кольцо разрушает керн в момент формирования на забое скважины.

Конструктивную основу забойной компоновки бурения скважин (рис. 2) составляют: гидромашина *1*, содержащая периферийные выходные каналы *2*, присоединенная к колонковой трубе *3* с алмазной коронкой *4* тонкостенноступенчатой матрицей. В корпусе алмазной буровой коронки *4* плотной посадкой с упором на матрицу размещена пластиковая втулка *5* с конической внутренней поверхностью, скользяще контактирующая с кернорвательным кольцом *6*.

В полости колонковой трубы *2* установлен плавающий керноприемник *7*, в верхней и нижней части оснащенный центрирующими опорами скольжения *8* и *9* из неметаллических материалов, которые лучше работают на воде, чем на масле [16]. В исходном положении плавающий керноприемник *7* нижним окончанием опирается на втулку *5* (рис. 2).

При подаче промывочной жидкости вращение от двухкамерной глубинной гидромашины *1* через колонковую трубу *3* передается на алмазную коронку *4* с тонкостенной ступенчатой матрицей. При этом напорный поток промывочной жидкости через периферийные выходные каналы *2* и проемы опор скольжения *8* и *9* керноприемника *4*, втулки *5*, минуя керн в кернорвательном кольце *6*, попадает в кольцевые канавки на торцевой поверхности матрицы алмазной коронки *4*, в результате чего образуется зона предразрушения.

Керн, защищенный плавающим керноприемником *7* от разрушительного воздействия промывочной жидкости и

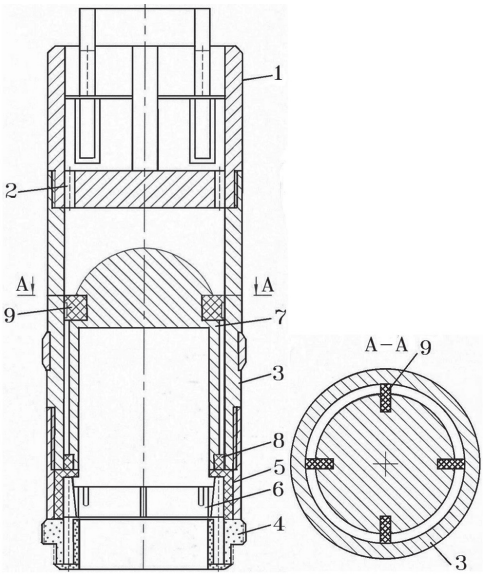

Рис. 2. Забойная компоновка с двухкамерной глубинной гидромашиной для бурения скважин: 1 — гидромашина; 2 — выходные отверстия; 3 — колонковая труба; 4 — алмазная буровая коронка; 5 — втулка; 6 — кернорвательное кольцо; 7 — керноприемник; 8 и 9 — опоры скольжения (центраторы)

Fig. 2. Bottom hole assembly with twin-chamber deep hydraulic drilling unit: 1 — hydraulic drilling unit; 2 — outlets; 3 — core barrel; 4 — diamond drill bit; 5 — bushing; 6 — ring core cutter; 7 — core receiver; 8, 9 — slide supports (centering skids)

крутильных колебаний колонковой трубы *2* граничным слоем обтекаемой промывочной жидкости и вращающейся втулкой *5*, совместно с керноприемником на опорах скольжения *8* и *9* движется вверх.

Эксперименты по изучению энергозатрат и технологических режимов работы компоновки двухкамерной глубинной гидромашины были проведены на стенде в лабораторных условиях. Стенд был оснащен промывочным насосом НБ-320/63, расходомером рабочей жидкости PROMASS 40, тахометром ИТ-371, манометром давления МП-2 и ваттметром WO.

Бурение условных скважин осуществлялось по блокам песчаников 7 — 8 кате-

Таблица 2

Результаты сравнительных экспериментов
Results of comparative experiments

Виды техники	Наружный диаметр коронки, мм	Внутренний диаметр коронки, мм	Диаметр керна, мм	Энергозатраты, кВт·ч/м	Режимы бурения скважин		
					осевая нагрузка, дан	частота вращения, об/мин	расход промывочной жидкости, л/мин
Колонковый набор HQ	95,6	63,5	63,0	1,6	800 — 900	200 — 300	18 — 30
Забойная компоновка с двухкамерной глубинной гидромашиной	95,6	69,5	69,0	1,1	500 — 600	220 — 250	35 — 40

гории по буримости. За базу сравнения взяты показатели работы колонкового набора HQ в идентичных условиях.

В табл. 2 приведены результаты экспериментов колонкового набора HQ и разработанной компоновки двухкамерной глубинной гидромашины.

Условиями сохранности керна от разрушения в забойной компоновке являются:

- перемещение плавающего керноприемника *7* в колонковой трубе *3* без вращения;
- режимы движения промывочной жидкости в кольцевом зазоре между керном и колонковой трубой *3*.

Для изучения этих условий были изготовлены условные колонковые трубы из прозрачного материала, что позволило визуально наблюдать за положением плавающего керноприемника.

Экспериментальные исследования проводились при длине колонковой трубы 2,0; 2,5 и 3,0 м, угле наклона колонковой трубы к горизонтали 45 — 90°, частоте вращения колонковой трубы 200 — 400 об/мин и расходе промывочной жидкости 35 — 120 л/мин.

Установлено, что заполненный столбиком керна плавающий керноприемник сохраняет устойчивое положение без вращения при всех углах наклона колонковой трубы и исследуемых частотах вращения. Режим движения промывочной жидкости в зазоре между керном и колонковой трубой является ламинарным при ее расходе до 85 — 90 л/мин, выше этого диапазона появляется вихреобразование, то есть переходная зона в турбулентное движение. Отметим, что для сохранности керна благоприятным режимом движения промывочной жидкости является ламинарный.

Производственные испытания забойной компоновки с двухкамерной глубинной гидромашиной и алмазными коронками с тонкостенноступенчатой матрицей прошли бурением скважин на рудопроявлении Аксоран (Центральный Казахстан). Геологический разрез интервала опытного бурения от 40 до 120 м представлен порфироидами и скарнами 10 категории по буримости. Скважина вертикальная. Технологический режим бурения скважин придерживался в следующих пределах: осевая нагрузка 9,0 — 11,0 кН, расход промывочной жидкости — 110 — 140 л/мин, частота вращения 300 — 500 об/мин в режиме холостого вращения. Всего пробурено 42 м скважин. При этом длина рейса бурения скважин забойной компоновкой составляла 5 — 6 м, что в среднем 2 — 4 раза выше, чем у колонковых наборов HQ в сопоставимых условиях.

По результатам производственных испытаний сравнительные показатели энергозатрат чистого времени бурения колонковым набором HQ и забойной

Таблица 3

Результаты производственных испытаний
Production test data

Виды техники	Единица измерения	Интервалы бурения скважин, м			
		40–65		100–115	
		частота вращения алмазной буровой коронки, об/мин			
		300–400	400–500	300–400	400–500
Колонковый набор HQ	кВт/ч	6,3	6,8	8,1 — 8,7	12,5 — 14,6
Забойная компоновка с двухкамерной глубинной гидромашиной	кВт/ч	2,6	2,9	2,8 — 3,0	3,0 — 3,3

компоновкой с двухкамерной глубинной гидромашиной в зависимости от интервалов скважин и частоты вращения алмазной буровой коронки приведены в табл. 3.

При этом установлено, что в отношении сохранности керна колонковые наборы HQ и забойная компоновка имеют одинаковые показатели, где удельная кусковатость находится в пределах 1 — 2 шт/м.

Отдельно установлено, что надежность эффективной работы забойной компоновки в сочетании с двухкамерной глубинной гидромашиной обеспечивается высокой чистотой промывочной жидкости (техническая вода), без шлама пород и твердых примесей.

Результаты и обсуждение

Техническими решениями на новой идейной основе создана конструкция забойной компоновки в сочетании с двухкамерной глубинной гидромашиной роторного типа, обеспечивающая решение проблем современной геологоразведки.

Применением малогабаритной по длине (600 мм), малорасходной по потреблению промывочной жидкости гидромашины роторного типа осуществляется переход на способ бурения скважин забойной компоновкой без вращения бурильной колонны, чем достигается значительное снижение энергозатрат буровых работ.

Следует отметить, что у серийных винтовых забойных двигателей и турбобуров одинакового диаметра с гидромашиной роторного типа рабочий расход промывочной жидкости находится в пределах 180 — 600 л/мин.

В отношении снижения энергозатрат процесса бурения скважин разработана конструкция алмазной буровой коронки с раздельной системой промывочных каналов, предусматривающая использование гидроструйного разрушения горных пород с образованием зоны предразрушения под тонкостенной ступенчатой матрицей коронки.

Использованием в составе забойной компоновки плавающего керноприемника, оцентрированного в колонковой трубе опорами скольжения из неметаллических материалов, а также втулкой, плотно посаженной в корпусе алмазной коронки, скользяще контактирующей с кернорвательным кольцом, обеспечивается изоляция керна от воздействия напорного потока промывочной жидкости и крутильных колебаний бурильной колонны.

Бесспорными технологическими преимуществами забойной компоновки в сочетании с двухкамерной глубинной гидромашиной в сравнении с комплексами снарядов со съемными керноприемниками с вращающейся бурильной колонной являются:

• отсутствие необходимости в использовании громоздкой подъемной ле-

бедки, системы роликов и вспомогательных инструментов для извлечения керноприемника из скважины;

• увеличение длины рейсовой проходки в несколько раз, тем самым снижается доля непроизводительных затрат времени;

• повышение достоверности и информативности геологических материалов за счет получения керна увеличенного диаметра;

• диапазон диаметра бурения скважин забойной компоновкой от 59 мм до 215,9 мм и выше, тогда как у снарядов CCK, NQ и HQ ограниченный диаметр 95,6 мм.

Заключение

В качестве силового привода для вращения породоразрушающего инструмента выбрана двухкамерная глубинная гидромашина роторного типа, малогабаритная по длине, массе, по объему потребляемой промывочной жидкости и энергетическим характеристикам соответствующая условиям алмазного бурения скважин с отбором керна.

Разработана конструкция забойной компоновки эффективного разрушения горных пород для получения качественного геологического материала в виде структурно цельного керна.

Проведением серии экспериментов на буровом стенде с целью получения качественного показателя (да или нет) забойной компоновки установлено, что по выполняемой функции составляющие элементы забойной компоновки соответствуют условиям исходной задачи — снижению энергозатрат и обеспечению сохранности керна.

Последующие производственные испытания забойной компоновки бурением скважин показали, что по технологическим возможностям обусловленные конструктивными особенностями забойная компоновка в сочетании с гидромашиной может стать эффективным средством изучения недр земли и добычи полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эпштейн Е. Ф., Мацейчик В. И. и др.* Расчет бурильных труб в геологоразведочном бурении. — М.: Недра, 1979. — С. 99—116.

2. *Симонянц С. Л., Мнацикинов И. В.* Актуальное направление модернизации турбинного способа бурения // Нефтесервис. — 2013. — № 2. — С. 48—50.

3. *Двойников М. В., Мураев Ю. Д.* Технические и технологические решения обеспечивающие устойчивую работу винтового забойного двигателя // Записки горного института. — 2016. — Т. 218. — С. 198—201.

4. *Иудин М. М.* Оценка влияния горно-геологических условий на выход керна при бурении скважин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 5-2 (59). — С. 176—178. DOI: 10.23670/IRJ.2017.59.092.

5. *Lu Yiyu, Tang Jiren, Ge Z., Xia Binwei, Liu Y.* Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistance // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2013. Vol. 60. Pp. 47—56. DOI: 10.1016/J.IJRMMS.2012.12.021.

6. *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. — № 2. — С. 74—78.

7. *Гореликов В. Г., Лыков Ю. В., Власов Л. А.* К выбору способа бурения скважин в неустойчивых осадочных породах // Экология и развитие общества. — 2019. — № 1 (28). — С. 28—30.

8. *Гореликов В. Г.* Конструктивные особенности алмазных коронок для бурения трещиноватых горных пород // Записки Горного института. — 2012. — Т. 197. — С. 29—33.

9. *Pushmin P., Romanov G.* Efficiency increase of hard rock destruction with the use of eccentric pulses // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2015. Vol. 27. No 1. Article 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/27/1/012052.

10. *Rodriguez R., Laguna A., Gaselles M. G., Trapuzzano R., Gomez J. M., Oyatomari C. G., Ulloa P., Chamorro D.* Durable yet aggressive conical diamond element bit increases ROP by 34% drilling difficult lower chert/conglomerate aection, Ecuador // SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Quito, Ecuador. 2015. November 18—20.

11. *Hempton R., Copeland C., Cox G., Faught J., Blackman W., Prewitt E., McDonough C., White A.* Innovative conical diamond element bits drill back-to-back tight curves in one run, improving economics while reducing risk in Avalon shale play, New Mexic // SPE Liguids-Rich Basins Conference-North America, Midland, Texas. 2015. September 2—3.

12. *Radhakrishan V., Chuttani A., Anggrani F., Nan H., Poy S. O.* Conical diamond element technology delivers step change in directional drilling performanse // IADS/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore. 2016. August 22—24.

13. *Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж., Исмаилов Х. К., Изаков Б. К.* Разработка ресурсосберегающей, малогабаритной забойной гидромашины для бурения скважин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2019. — Т. 6. — №1 (102). — С. 70—76. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184939.

14. *Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж.* Двухкамерная забойная гидромашина для бурения скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 6. — С. 66—74.

15. *Mendebaev T. N., Smashov N. Zh., Kuatova M. Zh.* Water jet destruction of rocks in wee drilling by diamond tools with in dependent flushing ports // Eurasian Mining, 2019. No 2. Pp. 41—43. DOI: 10.17580/em.2019.02.09.

16. *Орлов П. И.* Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Т. 2. — М.: Машиностроение, 1988. — С. 355—361. ГИАБ

REFERENCES

1. Epshteyn E. F., Matseychik V. I. *Raschet buril'nykh trub v geologorazvedochnom burenii* [Design of exploratory drilling stems], Moscow, Nedra, 1979, pp. 99—116.

2. Simonyants S. L., Mnatsikinov I. V. Efficient modification trend in turbo-drilling. *Nefteservis*. 2013, no 2, pp. 48—50. [In Russ].

3. Dvoynikov M. V., Muraev Yu. D. Engineering solutions and process designs to ensure stable operation of screw downhole motor. *Journal of Mining Institute*. 2016. vol. 218, pp. 198—201. [In Russ].

4. Iudin M. M. Effect of geological conditions on core recovery ratio of drilling. *International Research Journal*. 2017, no 5-2 (59), pp. 176—178. [In Russ]. DOI: 10.23670/IRJ.2017.59.092.

5. Lu Yiyu, Tang Jiren, Ge Z., Xia Binwei, Liu Y. Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistance. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2013. Vol. 60. Pp. 47—56. DOI: 10.1016/J.IJRMMS.2012.12.021.

6. Zhabin A. B., Pushkarev A. E., Malikov A. A., Polyakov A. V. Destruction of rocks by super-high pressure water jets. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2014, no 2, pp. 74—78. [In Russ].

7. Gorelikov V. G., Lykov Yu. V., Vlasov L. A. Selecting drilling method for troublesome sedimentary rocks. *Ecology and development of society*. 2019, no 1 (28), pp. 28—30. [In Russ].

8. Gorelikov V. G. Design features of diamond drill bits for jointed rock drilling. *Journal of Mining Institute*. 2012. Vol. 197, pp. 29—33. [In Russ].

9. Pushmin P., Romanov G. Efficiency increase of hard rock destruction with the use of eccentric pulses. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2015. Vol. 27. No 1. Article 012052. DOI: 10.1088/1755-1315/27/1/012052.

10. Rodriguez R., Laguna A., Gaselles M. G., Trapuzzano R., Gomez J. M., Oyatomari C. G., Ulloa P., Chamorro D. Durable yet aggressive conical diamond element bit increases ROP by 34% drilling difficult lower chert/conglomerate aection, Ecuador. *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Quito, Ecuador*. 2015. November 18 — 20.

11. Hempton R., Copeland C., Cox G., Faught J., Blackman W., Prewitt E., McDonough C., White A. Innovative conical diamond element bits drill back-to-back tight curves in one run, improving economics while reducing risk in Avalon shale play, New Mexic. *SPE Liguids-Rich Basins Conference-North America, Midland, Texas*. 2015. September 2 — 3.

12. Radhakrishan V., Chuttani A., Anggrani F., Nan H., Poy S. O., Conical diamond element technology delivers step change in directional drilling performanse. *IADS/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore*. 2016. August 22 — 24.

13. Mendebaev T., Smashov N., Ismailov H., Izakov B., Development of a resours — saving, small — sized downhole hydraulic macnine for well drilling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6. No 1(102). Pp. 70 — 76. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184939.

14. Mendebaev T. N., Smashov N. Zh. Twin-chamber downhole hydraulic drilling unit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 6, pp. 66 — 74. [In Russ].

15. Mendebaev T. N., Smashov N. Zh., Kuatova M. Zh. Water jet destruction of rocks in wee drilling by diamond tools with in dependent flushing ports. *Eurasian Mining*, 2019. No 2. Pp. 41 — 43. DOI: 10.17580/em.2019.02.09.

16. Orlov P. I. *Osnovy konstruirovaniya*. Spravochno-metodicheskoe posobie. T. 2 [Design principles. Reference manual. Vol. 2], Moscow, Mashinostroenie, 1988, pp. 355 — 361.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мендебаев Токтамыс Нусипхулович[1] — д-р техн. наук,
академик КазНАЕН и РАЕН,
главный научный сотрудник, e-mail: nvc_almas@mail.ru,
Исмаилов Хандаш Кабиоглы[2] — президент,
Изаков Бейбут Кадырович[2] — главный инженер,
Смашов Нурлан Жаксибекович[1] — канд. техн. наук, директор,
[1] ТОО «Научно-внедренческий центр Алмас»,
Алматы, Казахстан,
[2] ТОО «Центргеолсъемка», Караганда, Казахстан.
Для контактов: Мендебаев Т.Н., e-mail: nvc_almas@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

T.N. Mendebaev[1], Dr. Sci. (Eng.),
Academician of Kazakhstan Academy of Natural Sciences,
Academician of Russian Academy of Natural Sciences,
Chief Researcher, e-mail:nvcalmas@mail.ru,
H.Kh. Ismailov[2], President,
B.K. Izakov[2], Chief Engineer,
N.Zh. Smashov[1], Cand. Sci. (Eng.), Director,
[1] LLP Scientific Innovation Center Almas,
050009, Almaty, Kazakhstan,
[2] LLP Tsentrgeolsemka, 100019, Karaganda, Kazakhstan.
Corresponding author: T.N. Mendebaev, e-mail: nvc_almas@mail.ru.

Получена редакцией 07.02.2020; получена после рецензии 09.07.2020; принята к печати 10.11.2020.
Received by the editors 07.02.2020; received after the review 09.07.2020; accepted for printing 10.11.2020.