

## **Раздел 1**

# ***ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ***

УДК 622.24.05:621.921.34:621.921.34–413

**А. П. Загора, Л. Ф. Стасюк, Р. К. Богданов**, кандидаты технических наук,  
**А. А. Шульженко**, член-корр. НАН Украины, **М. В. Супрун; В. Г. Гаргин, А. Н. Соколов,**  
**Г. Д. Ильницкая**, кандидаты технических наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БУРОВОЙ КОРОНКИ, ОСНАЩЕННОЙ ГИБРИДНЫМИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ**

Показано, что гибридные алмазно-твердосплавные пластины можно успешно использовать в буровом инструменте. Разработана конструкция буровой коронки, оснащенная гибридными алмазно-твердосплавными пластинами. Приведены результаты лабораторных испытаний коронок, оснащенных такими гибридными пластинами.

Ключевые слова: алмазно-твердосплавные пластины, CVD-алмаз, буровая коронка, горная порода, шлам, износостойкость.

### **Введение**

Создание в восьмидесятых годах прошлого века алмазного бурового инструмента, оснащенного режущими элементами из поликристаллических алмазов и алмазно-твердосплавными пластинами (АТП), позволило расширить объемы использования алмазных коронок при бурении геологоразведочных скважин. Значительно превышая показатели твердосплавных коронок по проходке, они успешно конкурируют с ними по механической скорости бурения. Это привело к тому, что по всему миру доля алмазного породоразрушающего инструмента в общем объеме бурения достигла 80%, а инструмента, оснащенного АТП в общем объеме использования алмазного инструмента – около 60%. Это обусловлено тем, что большинство разработчиков АТП активно работают над созданием термостойких элементов, способных бурить скважины не только в мягких породах, но и средней твердости и твердых, где показатели бурения алмазными коронками существенно превышают показатели бурения коронками, оснащенными твердосплавными режущими элементами.

Применение АТП эффективно при бурении скважин в породах с упруго-пластическими свойствами (IV–VII категорий по буримости). По сравнению с твердосплавным инструментом при использовании АТП скорость бурения повышается до 1,5 раз, а стойкость – до 15 раз.

Режущая кромка «традиционной» пластины АТП в процессе работы притупляется, энергоемкость разрушения горной породы постепенно повышается, так как увеличивается площадь контакта с забоем горной породы. При этом существенно снижается механическая скорость бурения. Для поддержания постоянной механической скорости бурения на практике обычно интенсивнее повышают осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, что, в свою очередь, приводит к увеличению износа пластин АТП.

Обычно для уменьшения износа режущей кромки АТП увеличивают ее высоту и повышают термостабильность пластины. Кроме того, для использования в условиях бурения скважин в твердых и трещиноватых породах на поверхность АТП наносят демпфирующее двухслойное покрытие. Указанные технические решения в некоторой степени уменьшают износ пластин АТП, но это не приводит к ощутимому повышению скорости бурения.

Для повышения эффективности и работоспособности бурения геологоразведочных скважин, особенно в условиях интенсивного износа (твердые, абразивные породы VII–IX категорий по буримости), возникает целесообразность разработки породоразрушающего инструмента режущего типа на основе нового алмазного поликристаллического гибридного материала в виде гибридных АТП, который положительно зарекомендовал себя при точении керна коростышевского гранита XI категории по буримости [1].

Гибридные сверхтвердые материалы сочетают положительные свойства алмаза, синтезированного методом НРНТ, и CVD-алмаза, полученного методом химического газофазного осаждения. Одним из таких материалов является разработанный коллективами Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины и Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН новый гибридный поликристаллический материал (гибридайт) [2–4], полученный

путем армирования алмазного поликристаллического композита АКТМ [5] поликристаллическим CVD-алмазом BlackDiamond [6].

В работе [1], посвященной созданию гибридной АТП, установлено, что армирование в условиях высокого давления и высокой температуры алмазного слоя элементами CVD-алмаза способствует повышению его твердости на 40%.

Результаты сравнительного испытания на износостойкость гибридных АТП, армированных элементами CVD-алмаза размерами 0,5×0,5×4,0 и 0,3×1,0×4,0 мм показали, что наиболее износостойки при точении коростышевского гранита АТП, оснащенные CVD-алмазом с явно выраженной столбчатой структурой.

Цель настоящей работы – исследовать работоспособность коронки, оснащенной гибридными АТП при бурении твердых пород.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования взяли буровую коронку, армированную гибридными АТП. В поликристаллическом алмазном слое АТП размещены элементы CVD-алмаза размером 0,5×0,5×4,0 мм с явно выраженной столбчатой структурой. В качестве исходного материала для алмазного поликристаллического слоя использовали алмазные микропорошки АСМ 60/40.

Спекали гибридные АТП в аппарате высокого давления типа «тороид» при давлении 7,7 ГПа и температуре 1800 °С.

Для сравнительных лабораторных испытаний разработали и изготовили шести резовую буровую коронку типа БП-24 диаметром 76 мм, оснастив ее гибридными АТП, установленными под отрицательным углом резания 20° (рис. 1).

Объектом сравнения выбрали шести резовую буровую коронку типа БП-02 диаметром 76 мм, оснащенную серийными АТП, также установленными под отрицательным углом резания 20°. Особенность конструкции буровой коронки БП-24, защищенной патентом Украины [7], состоит в последовательном чередовании углов поворота армированной элементами CVD-алмаза износостойкой поверхности АТП в скважино- и кернаобразующем направлениях с углом поворота 5°.

Гибридные АТП, используемые в данной конструкции коронки, оснастили двумя и тремя элементами CVD-алмаза и для полного перекрытия забоя при бурении их также последовательно чередовали при закреплении в корпусе коронки (рис. 2).



Рис. 1. Общий вид буровой коронки типа БП-24, оснащенной гибридными АТП

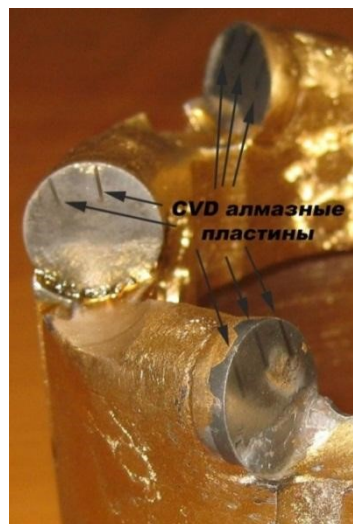


Рис. 2. Последовательное чередование гибридных АТП в оснащении буровой коронки типа БП-24

Сравнительные испытания проводили на специальном буровом стенде, представляющем собой модернизированный радиально-сверлильный станок модели 2Н58 с двигателем основного привода мощностью 13 кВт, дополнительно оснащенный гидравлической системой подачи и системой промывки скважины.

Измеряли износ породоразрушающего инструмента по высоте после бурения специальным приспособлением – измерительной стойкой с индикаторной головкой DIGICO10(рис. 3),

позволяющей производить измерения с точностью до 1 мкм. При этом за счет дополнительного оснащения вертикальной призмой измерительной стойки породоразрушающий инструмент можно фиксировать при каждом последующем измерении в одном положении по соответствующим меткам.

Фиксируемые параметры: осевая нагрузка – с точностью 50 даН; мощность потребляемой энергии – с точностью до 0,1 кВт; углубка при бурении – с точностью до 1 мм; продолжительность бурения – с точностью до 0,1 с.

В качестве горной породы для испытания износостойкости инструмента выбрали торезский песчаник IX категории по буримости (твердость по штампу Рш = 2,90 ГПа), характеризующийся стабильными свойствами, высокой твердостью и высокой абразивностью – 35 мг.



Рис. 3. Общий вид специального приспособления для измерения износа породоразрушающего инструмента по высоте

Режимы бурения коронками были выбраны близкими к используемым на практике, а именно: частота вращения – 400 мин<sup>-1</sup>; осевая нагрузка – 750, 1000 и 1250 даН. Проходка на каждом режиме бурения – 0,6 м.

С целью оценки эффективности разрушения горной породы каждой из коронок, проводился отбор шлама, образующегося в процессе бурения.

Крупность шлама песчаника оценивали ситовым методом с помощью набора сит диаметром 120 мм с поддоном, крышкой и с сетками согласно ГОСТ 6613-86. При этом размер ячеек сит составил 200–40 мкм, что позволяло разделять шлам по фракциям от +200 до – 40 мкм.

Набор сит помещали и закрепляли в вибрационной установке, где рассеивали шлам в течение 10±1 мин.

При рассеиве тонких фракций шлама (менее 40 мкм) для устранения залипания ячеек сит в каждое сито помещали дополнительно по два–три твердосплавных шарика размером 8–10 мм.

Шлам, оставшийся после отсева на ситах и в поддоне, начиная с верхнего сита последовательно высыпали из сит и взвешивали.

Массовую долю каждой фракции шлама оценивали по формуле:

$$\gamma_{\phi} = \frac{M_{\phi}}{M} \cdot 100\%$$

где  $\gamma_{\phi}$  – содержание шлама отдельной фракции (оставшегося на сите), %;  $M_{\phi}$  – масса шлама отдельной фракции (оставшегося на сите), г;  $M$  – масса всего подвергнувшегося отсеиванию шлама, г.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты сравнительных лабораторных испытаний работоспособности буровых коронок БП-02 и БП-24 представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сравнительных лабораторных испытаний работоспособности буровых коронок

Тип коронки	Осевая нагрузка Р, даН	Механическая скорость бурения V <sub>мех</sub> , м/ч	Средний износ АТП по высоте Δh <sub>ср</sub> , мкм
БП-02	750	4,20	0,182
	1000	4,80	0,204
	1250	5,40	0,244
БП-24	750	4,80	0,150
	1000	5,40	0,187
	1250	6,24	0,219

Как следует из результатов сравнительных испытаний, показатели коронки типа БП-24 на всех режимах бурения превышают показатели коронки типа БП-02, по механической скорости бурения – на 12,5–15,5%, при этом средний износ АТП по высоте меньше на 9–21%.

Следует отметить, что наряду с наблюдаемым равномерным износом алмазоносного слоя гибридных АТП по рабочему торцу буровой коронки БП-24 (рис. 4 а), при достаточном увеличении можно заметить очевидное выступание вершины элемента CVD-алмаза над торцевой кромкой режущего слоя АТП (рис. 4 б).

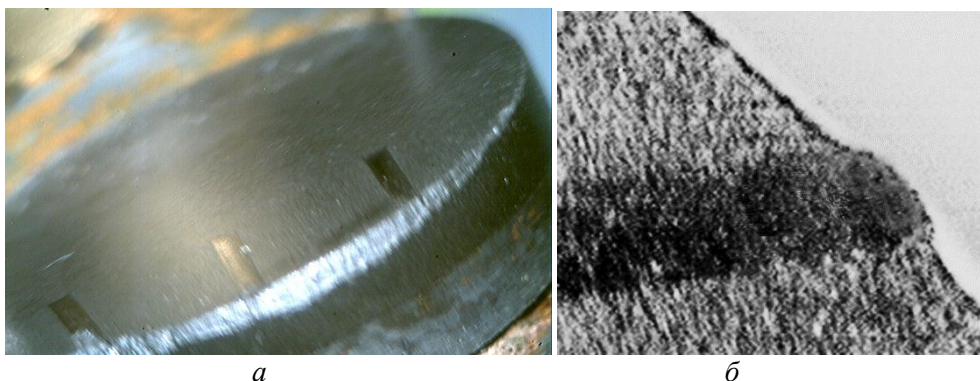


Рис. 4. Вид торцевой кромки гибридного АТП: а – общий; б – при увеличении

Указанный факт свидетельствует о том, что более твердые и износостойкие элементы CVD алмаза в гибридных АТП в процессе бурения постепенно обнажаются и выступают из менее твердого и износостойкого материала режущей кромки алмазоносного слоя, принимая на себя более высокие контактные нагрузки и создавая в массиве буримой горной породы зону предразрушения, состоящую из сети макро- и микротрещин. Предразрушение породы сопровождается малыми затратами мощности за счет образования ступенчатой формы зоны предразрушения в течение всего периода работы инструмента. Менее твердый материал алмазоносного слоя режущих АТП, проходя вслед по забою, разрушает уже ослабленную сетью макро- и микротрещин породу и крупные частицы шлама, непосредственно завершая разрушение породы.

Приведенные результаты доказывают более высокую работоспособность инструмента, оснащенного гибридными АТП, по сравнению с инструментом, оснащенный серийными АТП.

Результаты рассева шлама, отделившегося при бурении песчаника буровыми коронками типа БП-24 и БП-02, оснащенными АТП соответственно гибридными и серийными, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты рассева шлама песчаника по фракциям

Зернистость частиц шлама, мкм	Содержание частиц в шламе, %, для буровой коронки		Превышение размера частиц в шламе при бурении песчаника гибридными АТП
	БП-02	БП-24	
+250	1,68	2,54	1,50
250/200	2,05	3,08	1,50
200/160	3,12	4,06	1,30
160/125	8,06	14,00	1,20
125/100	16,63	19,96	1,20
100/80	19,75	23,70	1,20
80/63	5,46	10,00	1,83
63/50	17,65	10,12	0,80
50/40	15,60	7,80	0,50
– 40	10,00	4,74	0,47
Всего	100	100,0	–

Как видим, при разрушении песчаника буровой коронкой, оснащенной серийными АТП, основной размер частиц шлама составляют зерна размером от 125/100 до 50/40 мкм (15,6–19,75%), а при работе буровой коронкой, оснащенной гибридными АТП, наблюдается смещение процентного содержания основного размера частиц шлама в сторону их увеличения – от 160/125 до 63/50 мкм (10,00–23,70%).

Следует особо отметить, что при разрушении песчаника буровыми коронками, оснащенными гибридными АТП, крупного шлама (от +250 мкм до 80/63 мкм) в процентном соотношении больше в 1,2–1,83 раза, чем при работе буровыми коронками, оснащенными серийными АТП.

В результате ранее выполненных исследований установлено [8], что увеличение размеров частиц шлама при бурении сопровождается уменьшением работы, затрачиваемой на разрушение породы. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о более эффективном разрушении породы буровыми коронками типа БП-24, оснащенными гибридными АТП, по сравнению с буровыми коронками, оснащенными серийными АТП, так как при этом от массива горной породы отделяются частицы шлама более крупного размера и в большем объеме.

#### Выводы

1. Разработана конструкция буровой коронки типа БП-24, оснащенная гибридными АТП, бурение которой сопровождается малыми затратами мощности за счет образования ступенчатой формы зоны предразрушения.

2. При бурении скважин в песчанике коронками, оснащенными гибридными АТП, образуется более крупный шлам по сравнению с коронками, оснащенными серийными АТП, что свидетельствует о более эффективном разрушении ими горной породы.

3. В результате сравнительных лабораторных испытаний установлено, что механическая скорость бурения коронками типа БП-24 по сравнению с коронками типа БП-02 повышается до 15,5%. При этом их износ по высоте меньше износа коронок типа БП-02 от 9 до 21% в зависимости от параметров режима бурения.

*Показано, що гібридні алмазно-твердосплавні пластини можна успішно використовувати в буровому інструменті. Розроблено конструкцію бурової коронки, оснащеної гібридними алмазно-твердосплавними пластинами. Наведено результати лабораторних випробувань коронок, оснащених такими гібридними пластинами.*

**Ключові слова:** алмазно-твердосплавні пластини, CVD-алмаз, бурова коронка, гірська порода, шлам, зносостійкість.

#### RESEARCH PERFORMANCE DRILL BIT EQUIPPED WITH A HYBRID PLATES PDC

*It is shown that the hybrid plate PDC can be successfully used in a drilling tool. The design of the drill bit fitted with hybrid plates PDC. The results of laboratory tests crowns equipped with hybrid plates PDC.*

**Key words:** PDC, CVD diamond, drill bit, rock, sludge, wear resistance.

#### Литература

4. Гибридная алмазно-твердосплавная пластина / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, Л. И. Александрова и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – Вып. 17. – С. 232–240.
5. Новый гибридный ультратвердый материал / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, А. Н. Соколов и др. // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 5. – С. 3–14.
6. Пат. № 89732 Україна МПК С04 В 35/00. Надтвердий матеріал / О. О. Шульженко, О. М. Соколов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 25.02.2010, Бюл. № 4.
7. Свідоцтво України на знак для товарів і послуг № 158183. – Гібридайт. – Опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
8. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189–196.
9. Structure and properties of high-temperature annealed CVD diamond / V. Ralchenko, L. Nistor, E. Pleuler et. al. // Diamond and Related Mater. – 2003. – 12. – N 10–11. – P. 1964–1970.
10. Пат. № 104239 Україна МПК E21B 10/46. Бурова коронка / Р. К. Богданов, А. П. Загора, О. О. Шульженко та ін. – Опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
11. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении : Монография / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин. – Донецк : Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

Поступила 07.07.15

УДК 622.24.051.01.5

Л. К. Горшков, В. П. Оницин, доктора технических наук<sup>1</sup>; А. А. Буканов<sup>2</sup>;  
А. И. Осецкий, д-р техн. наук<sup>3</sup>, В. И. Спирин, Ю. Е. Будюков, доктора технических наук<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный горный институт им. В. Г. Плеханова, Россия

<sup>2</sup>ООО «Русская буровая компания», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ОАО «ПОЛИМЕТАЛЛ УК», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>ОАО «Тулское научно-исследовательское геологическое предприятие», Россия

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК

*Рассмотрены вопросы оптимизации движения потока промывочной жидкости в циркуляционных каналах алмазных буровых коронок при бурении. Предложены конструкции алмазных коронок, позволяющих активизировать поступление промывочной жидкости в призабойную зону и сохраняющих местную циркуляцию даже после прекращения подачи промывочной жидкости в течение определенного времени.*

**Ключевые слова:** циркуляционная система, алмазная коронка, промывочный канал, очистной агент.

Известно, что циркуляционная система алмазной буровой коронки представляет собой совокупность каналов для движения очистного агента, обеспечивающих полное омывание режущей части матрицы коронки в целях ее очищения от шлама и надежного охлаждения. При этом от выбуренного шлама очищается также забой скважины, а шлам транспортируется к устью скважины восходящим потоком очистного агента (например, воды, специального бурового раствора, пены, сжатого воздуха).

Кроме того, циркуляционная система коронки должна способствовать беспрепятственному проникновению очистного агента, прежде всего, жидкого, в каналы, пустоты, поры и трещины в буримой породе как в зоне сжатия-смятия перед алмазными резцами, так и позади них в образующуюся зону растяжения породы от действия высвобождающейся энергии упругой деформации породы забоя скважины.

Проникновение очистного агента, т.е. промывочной жидкости, на некоторую глубину в породу забоя способствует сглаживанию влияния анизотропии породы на механизм ее разрушения при бурении и реализации эффекта Ребиндера, т.е. снижения прочности буримой породы под действием энергии поверхностного натяжения промывочной жидкости внутри породы.

Действие эффекта Ребиндера основано на адсорбционном ослаблении твердых пород, ускорении их деформаций и разрушения вследствие обратимого физико-химического воздействия промывочной жидкости как окружающей среды [1].

Основное условие проявления эффекта Ребиндера – родственный характер контактирующих фаз твердой породы и промывочной жидкости по химическому составу и строению. Формы и степень проявления этого эффекта зависят от интенсивности межатомного (межмолекулярного) взаимодействия соприкасающихся фаз, значения и типа напряжения (необходимо растягивающее напряжение), скорости деформации и температуры. При этом существенную роль играет структура породы, т.е. наличие дислокаций, трещин, посторонних включений. Наиболее характерная форма проявления эффекта – многократное снижение прочности, повышение хрупкости сокращение долговечности породы. Из других форм проявления эффекта Ребиндера следует отметить пластифицирующее действие очистного агента, особенно если последний содержит поверхностно-активные вещества.

Термодинамической основой проявления эффекта Ребиндера можно считать уменьшение величины работы на образование новых поверхностей при деформации в результате снижения свободной поверхностной энергии породы под влиянием промывочной жидкости.

Для обеспечения выполнения промывочной жидкостью указанных функций, включая действие эффекта Ребиндера, жидкость должна заполнять все открытые полости в породоразрушающем инструменте (алмазной коронке) и не отрываться от его поверхностей при движении в призабойной зоне, т.е. следовать теореме Н. Е. Жуковского [2]. Согласно этой теореме если в теле (в данном случае коронке) имеется полость, заполненная трущейся жидкостью и такой системе сообщена начальная скорость, она будет стремиться к предельному состоянию, при этом вся система будет вращаться относительно главной

оси инерции как одно неизменяемое тело с постоянной заданной угловой скоростью (при бурении это будет заданная частота вращения бурового снаряда).

Это условие может быть обеспечено, если пространственное положение и геометрические размеры промывочных каналов в матрице и корпусе коронки будут способствовать неотрывности потока очистного агента, т.е. промывочной жидкости, от поверхностей вращающейся алмазной коронки. При этом неотрывность потока предполагает минимальное гидравлическое сопротивление в каналах коронки при высокой скорости омывания поверхностей коронки потоком.

Повысить скорость движения потока в циркуляционной системе коронки можно следующим образом:

- увеличением расхода очистного агента при сохранении геометрии промывочных каналов как у серийных коронок, выпускаемых государственными и некоторыми акционерными компаниями;
- изменением количества, размеров и геометрической формы промывочных каналов при неизменном или даже пониженном расходе очистного агента.

Второй путь перспективнее, так как подача меньшего количества очистного агента в скважину обуславливает использование менее металлоемких буровых насосов. Кроме того, при малом расходе очистного агента, движущегося в призабойной зоне и промывочных каналах коронки, снижается степень эрозионного воздействия потока, обогащенного шламом, на коронку и столбик керна, а большое количество мелких каналов способствует более равномерному охлаждению как матрицы коронки, так и буровых алмазов.

Для оценки влияния изменения геометрии промывочных каналов на расход очистного агента можно использовать методику [3], основанную на учете гидравлической мощности потока очистного агента, подводимой к работающему на забое алмазному инструменту. Результаты расчетов по этой методике показывают, что по мере износа матрицы коронки по высоте уменьшается эквивалентный диаметр каналов, и при поддержании расхода очистного агента на начальном уровне повышается скорость движения потока. При этом повышается перепад давления в промывочных каналах. Для обеспечения приемлемого уровня следует такого перепада снижать расход очистного агента (иногда до 2–5 раз) в зависимости от типоразмера коронки. При этом интенсивность очистки коронки от шлама и ее охлаждение не ухудшатся [4] при обеспечении безотрывного обтекания потоком поверхностей коронки. Достичь этого можно приданием промывочным каналам такой геометрической формы, при которой поток будет плавно изменять направление своего движения по каналам без образования зон завихрения и, как следствие, кавитации.

Кавитация возникает при разрыве сплошности потока очистного агента, что возможно при превышении критической скорости движения потока, значительном объеме промывочной жидкости при подаче ее на забой (как правило 50–60 л/мин). Сплошность потока нарушается из-за невозможности прокачивания через каналы коронки больших объемов промывочной жидкости. Эти разрывы заполняются газом и паром, образуя кавитационные пузырьки, которые схлопываются при попадании в области пониженного давления, а такие области могут возникать при поступлении в поток шлама, при использовании газожидкостных очистных агентов, повышении скорости течения, распространении в потоке звуковых волн и пр. Уменьшение размеров кавитационного пузырька вызывает повышение давления внутри него, и при схлопывании пузырька наблюдаются резкие всплески давления, во много раз превышающие его фоновое значение при бурении. При этом возникают ударные волны, которые могут привести к повышенному износу матрицы коронки в местах выхода потока из промывочных каналов, что отмечено, в частности, в [5; 6]. Возникновению кавитации способствует повышение контактной температуры на забое, достигающей в некоторых случаях 600 °С [7].

При кавитации резко снижается плотность промывочной жидкости вследствие насыщения ее воздушными включениями: для серийных коронок типов 02ИЗ или 22ИЗ плотность потока снижается от 700–770 кг/м<sup>3</sup> при расходе промывочной жидкости 10 л/мин до 540–600 кг/м<sup>3</sup> при расходе 125 л/мин [6]. При этом установлено, что изменение геометрии промывочных каналов в сторону увеличения их проходных сечений и достижение скорости движения потока ниже критической способствуют снижению интенсивности кавитации, наблюдаемой при испытаниях коронок типа БИТ, когда увеличение расхода жидкости с 10 до 125 л/мин соответствовало изменению плотности потока с 830 до 680 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому направление, связанное с совершенствованием конструктивного исполнения и технологии бурения коронок, следует считать перспективным.

В этом отношении интерес может вызвать непараллельное забою пространственное положение части сектора матрицы, т.е. создание конфузорного зазора между торцом сектора и забоем, названного



«вязким клином» (рис. 1) и способствующего оптимизации гидродинамического воздействия потока промывочной жидкости на забой скважины и режущую часть матрицы коронки [6].

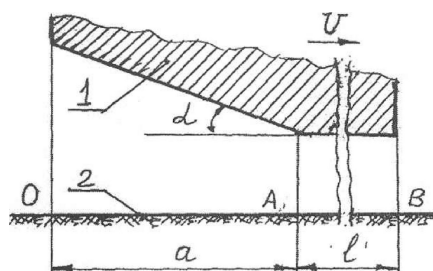


Рис. 1. Зазор между торцом сектора матрицы коронки и забоем в виде «вязкого клина»: сектор матрицы, 2 – забой скважины;  $a$ ,  $l$ ,  $\alpha$  – параметры «вязкого клина»;  $\bar{V}$  – скорость перемещения коронки по забою скважины

каналам – относительно радиуса (рис. 2).

Расположение промывочных каналов по указанной схеме обеспечивает снижение гидравлических сопротивлений в призабойной зоне с одновременным увеличением проходки за один оборот без изменения мощности буровых насосов. Более того, наклонное положение продольных каналов на боковых поверхностях коронки делает ее своеобразным центробежным насосом, активизирующим циркуляцию промывочной жидкости.

Существуют различные мнения: например, П. С. Пушмин [9] считает, что поток в каналах внутренней боковой поверхности матрицы следует направлять в сторону, обратную перемещению коронки по забою скважины, полагая, что это будет способствовать снижению возможности заклинивания керна частицами разрушенной породы, повышению степени очистки и охлаждения коронки. Однако это требует дополнительных исследований, в частности, связанных с интенсификацией проникновения промывочной жидкости в зону предразрушения породы и усилением эффекта Ребиндера. Более того, можно предположить, что движение потока по схеме Л. С. Пушмина будет вызывать повышенную турбулентность потока с усилением кавитации, с которой, как показано, необходимо бороться.

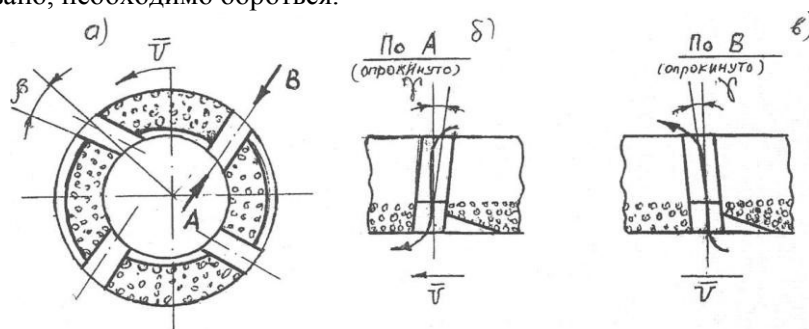


Рис. 2. Пространственное расположение промывочных каналов в матрице алмазной коронки нового поколения: а – вид на коронку с торцевой части матрицы; б – вид по стрелке А на внутреннюю поверхность матрицы; в – вид по стрелке В на внешнюю поверхность матрицы;  $\beta$  – угол между осями торцевых каналов и радиусом коронки;  $\gamma$  – угол между вертикальной осью коронки и продольными

каналами;  $V$  – вектор перемещения коронки по забою скважины;  $\curvearrowright$  – направление движения потока промывочной жидкости

Как следует из рис. 2, секторы матрицы попеременно смещаются от средней окружности коронки то к периферии, то к центру, образуя амплитудное расположение секторов с высвобождением полостей, заполняемых промывочной жидкостью на боковых поверхностях матрицы, которые, играя роль резервуаров для гидродинамической смазки трущихся поверхностей, способствуют снижению эрозионного воздействия потока на керн и тем самым создают возможность для повышения выхода последнего при бурении, что, кроме настоящего исследования, отмечено Ю. Е. Будюковым [10].

Активизировать поступление промывочной жидкости в призабойную зону можно с помощью придания небольшого наклона дополнительным каналам в корпусе коронки на его поверхностях (внутренней и внешней). Эта конструктивная особенность реализована при создании алмазной коронки нового поколения 01АЗН-59 в Иркутском политехническом университете [11], испытания которой показали повышение механической скорости бурения до 20%.

Развитие представлений об определяющей роли циркуляционной системы коронки на эффективность ее работы следует считать выполнение названной системы в виде упрощенного лопастного центробежного насоса, рабочим органом которого является непосредственно вращающаяся коронка с промывочными каналами в матрице, выполненными так, чтобы набегающие стороны каждого из каналов обеспечивали расширение канала в сторону движения жидкости [12]. При работе таких коронок жидкость движется одновременно относительно торца матрицы и забоя скважины вместе с матрицей. В этом случае поток жидкости в призабойной зоне совершает вращательное движение благодаря контакту с вращающейся колонковой трубой и импульсному обмену одной части потока, уже вошедшего в промывочные каналы, с другой его частью вне каналов, что и обеспечивает закручивание всего потока в процессе бурения.

Таким образом, предлагаемая конструкция алмазной коронки позволит сохранить местную призабойную циркуляцию даже после прекращения подачи промывочной жидкости в течение определенного времени и тем самым предотвратить аварийную ситуацию и нарушение экологического состояния буровой площадки на поверхности.

*The problems of optimizing the flow of washing liquid circulating in the channels of diamond drill bits during drilling. Designs of diamond drill bits that enhance the flow of the washing liquid in the bottom zone and preserve local circulation even after cessation of the flushing fluid over a certain time.*

**Keywords:** circulation system, diamond crown, flushing channel, cleaning agent.

*Розглянуто питання оптимізації руху потоку промивальної рідини в циркуляційних каналах алмазних бурових коронок при бурінні. Запропоновано конструкції алмазних коронок, що дозволяють активізувати надходження промивної рідини в привибійну зону і зберігають місцеву циркуляцію навіть після припинення подачі промивної рідини протягом певного часу.*

**Ключові слова:** циркуляційна система, алмазна коронка, промивний канал, очисний агент.

### Литература

1. Ребиндер П. А., Щукин Е. Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физ. наук. – 1972. – Т. 108. – Вып. 1.
2. Спиринов В. И., Левин Д. М. Новые направления создания алмазного породоразрушающего инструмента. – Тула : Тульск. гос. ун-т, 2000. – 149 с.
3. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения / Б. И. Воздвиженский, Г. А. Воробьев, Л. К. Горшков и др. – М. : Недра, 1990.
4. Будюков Ю. Е., Власюк В. И., Спиринов В. И. Алмазный породоразрушающий инструмент. Тула : ИПП «Гриф и Ко», 2005. – 288 с.
5. Горшков Л. К., Яковлев А. А. Конструктивные особенности циркуляционной системы алмазной коронки нового поколения / Современные направления теоретических и прикладных исследований: сб. научн. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Одесса, 2011. – Т. 4.
6. Чихоткин В. Ф. Разработка основных положений процесса алмазного бурения с целью создания высокоэффективного алмазного породоразрушающего инструмента: Дис. ... д-ра техн. наук. – М. : МГГА, 1996.
7. Горшков Л. К., Гореликов В. Г. Температурные режимы алмазного бурения. – М. : Недра, 1992.
8. Горшков Д. К., Мендебаев Т. Н. Разведочное бурение с гидроизвлечением керноприемника. – СПб. : Недра, 1994.
9. Пушмин П. С. Обоснование модели алмазной коронки на основе исследования механики разрушения твердых анизотропных пород: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2006.
10. Будюков Ю. Е. Разработка научных основ проектирования специального алмазного породоразрушающего инструмента и технологии его применения: Дис. ... д-ра техн. наук. – М. : МГГА, 2003.
11. Пат. № 4908508. РФ. Алмазная буровая коронка / В. В. Нескоромных, П. С. Пушмин, Р. Пуревсурен. – Б.И., 2005, №31.
12. Пат. № 2120021. РФ. Буровая коронка / Л. К. Горшков., Т. Н. Мендебаев, В. С. Прокопенко. – Б.И., 1998, № 28.

Поступила 08.06.15

УДК 622.24.051

Є. Р. Мрозек, канд. техн. наук<sup>1</sup>, А. І. Вдовиченко, акад. АТН України<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОВ «Укрбурсервіс», Україна, м. Київ

<sup>2</sup>Спілка буровиків України, м. Київ

## ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ДОЛІТ PDC НА РОДОВИЩАХ БОРИСЛАВСЬКОГО НАФТОГАЗОВОГО ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Наведені результати впровадження доліт PDC в комплексі з гвинтовими вибійними двигунами на родовищах Бориславського нафтогазового промислового району. Доведена їх суттєва перевага над шарошковими долотами і роторним бурінням. Визначено перспективи застосування доліт PDC при бурінні похило-скерованих свердловин із горизонтальним закінченням.

**Ключові слова:** долото PDC, гвинтовий вибійний двигун, шарошкове долото, горизонтальна свердловина, сервісний супровід.

В останні роки при бурінні нафтогазових свердловин широкого використання все більше набувають безопорні долота, армовані штучними полікристалічними алмазними різцями типу PDC (Polycrystalline Diamond Compact).

Враховуючи їх високу вартість, порівняно з шарошковими долотами визначення оптимальних умов ефективного використання породоруйнівного інструменту такого типу потребує спеціальних підходів.

**Метою даної роботи** – визначення оптимальних умов ефективного використання доліт PDC на підставі аналізу їх застосування при бурінні свердловин на родовищах Бориславського нафтогазового промислового району (БНГПР).

**Аналіз опублікованих праць із застосування доліт PDC.** Аналіз відпрацювання доліт PDC на різних родовищах України і світу висвітлений в роботах Т. О. Пригоровська, О. Т. Драганчук [1; 2], М. О. Бондаренко, Д. Л. Коростишевського [3], Я. С. Коцкулича, Є. Р. Мрозека, Я. С. Яремійчука [4; 5] та інших. Оцінка зносу доліт PDC та розробка відповідних рекомендацій у промислових умовах надана в роботі Я. В. Мясникова, А. В. Йоненка та ін. [6].

Незважаючи на широку область застосування доліт PDC різного виробництва, в опублікованих роботах відсутня інформація про їх відпрацювання на родовищах БНГПР, геолого-технічні умови буріння свердловин якого суттєво відрізняються від інших деякими особливостями. Тому результати перших впровадження в таких умовах представляють науково-практичний інтерес.

**Основне дослідження.** Протягом 2013–2014 років Прикарпатським УБР ПАТ «Укрнафта» було відпрацьовано 5 доліт типу PDC виробництва ВАТ «Пермнафтомашремонт» на свердловинах № 3 Перемишлянського (ЗП), № 1 Південного Бориславського (ІПБ) і № 100 Верхньомасловецького (100ВМ) родовищ БНГПР.

Результати відпрацювання доліт PDC представлені в табл.1. Для порівняння наведені також показники відпрацювання в аналогічних умовах шарошкових доліт.

Таблиця 1. Показники відпрацювання доліт PDC та шарошкових.  $P_d$  – проходка на долото,  $T_b$  – тривалість буріння,  $V_{мех}$  – механічна швидкість

№ п.п.	№ свердл.	Тип долота, способ буріння	Дата буріння	Інтервал буріння, м		$P_d$ , м	$T_b$ , год	$V_{мех}$ , м/год
				від	до			
1	ЗП	295.3СТ-619СА PDC ГВД	27.11.13–30.11.13	503	829	326	51,4	6,34
2	ЗП	295.3МС-619СА PDC ГВД	08.12.13–11.12.13	986	1100	115	39,8	2,88
3	ІПБ	295.3 МС-619СА PDC ГВД	08.12.13–13.12.13	393	683	290	46,5	6,09
4	100ВМ	215.9 ТАКГ-СТА-613П, PDC ГВД	07.06.14–14.06.14	1210	1458	248	154,5	1,6
5	100ВМ	215.9 ТАКГ-СТА-613П, PDC ГВД	14.06.14 – 20.06.14	1458	1700	242	79,0	3,1

Закінчення табл. 1

6	10BM	215,9Z-34RS, шарошечне роторне буріння	20.04.11- 26.04.11	1593	1685	92	130,0	0,71
7	10BM	215,9Z-34RS, шарошечне роторне буріння	26.04.11- 06.05.11	1685	1774	89	207,0	0.43
8	21BM	215,9GF-15 PS, шарошечне роторне буріння	16.03.12- 24.03.12	1323	1470	147	169,5	0,87
9	31BM	215,9GF- 15 PS, шарошечне роторне буріння	20.09.12- 30.09.12	1291	1402	111	125,8	0,88
10	31BM	215,9 BSZIGHL, шарошечне роторне буріння	30.09.12- 03.10.12	1402	1443	41	46,5	0,88
11	31BM	215,9GF- 15 PS, шарошечне роторне буріння	04.10.12- 07.10.12	1443	1304	61	61,8	0,99

Долота PDC використовувались в комплексі з гвинтовими вибійними двигунами (ГВД) виробництва ВАТ «Пермнафтомашремонт» спеціальної конструкції з профільованим статором [7].

На похило - скерованих свердловинах ЗП і 1БП в інтервалах 503–1100 м по м'яким і середнім породам з прошаруванням твердих були використані долота діаметром 295,3 мм типу МС і СТ 619 СА. Проходка на долото складала від 115 до 326 м, а механічна швидкість – 2,88–6,34 м/год (при плановій для трьох шарошкового буріння роторним способом – 2.8 – 3.5 м/год).

Найвищі показники були досягнуті при буріння похило-скерованої свердловини з горизонтальним закінченням № 100ВМ. Проектування та сервісне супроводження буріння цієї свердловини здійснювалось сервісним підприємством ТОВ «Укрбурсервіс» [8]. Проектний профіль свердловини показаний на рис. 1.

Вертикальний стовбур до глибини 750 м, похило-скерований (по горизонтальній проекції) – 405 м, горизонтальний – 203 м. Загальна довжина свердловини – 1700 м.

Інтервал 1210–1700 пройдений двома

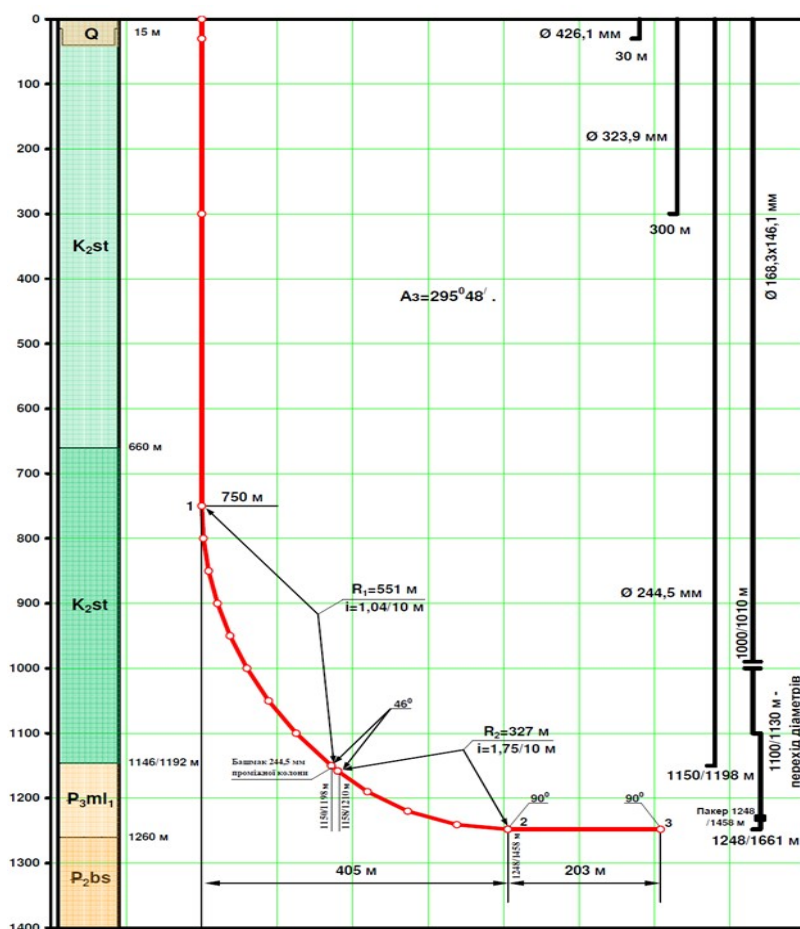


Рис. 1. Проектний профіль стовбура свердловини №100  
Верхньомасловецького родовища

удосконаленими долотами 215,9 ТАКГ – СТА-613П з оптимальною конструкцією озброєння, застосуванням різців підвищеної ударної та абразивної стійкості, підсилення калібруючої частини термостійкими алмазними вставками та додатковими стабілізаційними вставками.

Перше долото відпрацьоване в інтервалі 1200–1458 м. Проходка по ньому досягла 248 м (рис. 2 а) при середній швидкості  $V_{\text{мех}}=1,6$  м/год (планова – 1,5 м/год). Долото знято з роботи з оцінкою зносу по API [7] (CT, LM, LT, WT, N, T, S, G, I, NR, PR)

Друге долото відпрацьоване в інтервалі 1458–1700 м. Знято з роботи по досягненні проектної глибини свердловини із зносом CT, WT, CR, C, N, T, S, G, I, NR, TD. Проходка склала 242 м (рис. 2 б) при середній швидкості  $V_{\text{мех}}=3,1$  м/год ( планова – 1,7 м/год).

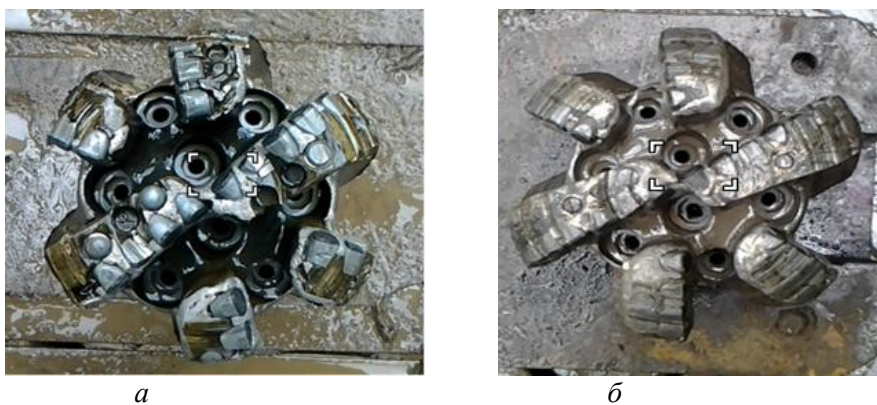


Рис. 2. Вигляд торця доліт PDC після відпрацювання: а – 248 м , б – 242 м у свердловині №100 Верхньомасловецького родовища

Для порівняння взято відпрацювання 6 шарошкових долот діаметром 215.9 мм на свердловинах Верхньомасловецького родовища № 10ВМ, 21ВМ та 31ВМ в інтервалі 1294– 774 м роторним способом. Проходка склала від 41–147 м при середніх швидкості  $V_{\text{мех}} = 0,87\text{--}0,99$  м/год. Порівняння показників відпрацювання доліт PDC і шарошкових наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Порівняння показників відпрацювання доліт PDC і шарошкових на свердловинах Верхньомасловецького родовища

Показник	Шарошкові долота	Долота PDC	Порівняння PDC/Шар.
Номер свердловини	10ВМ, 21ВМ, 31ВМ	100ВМ	–
Інтервал буріння, м	1200– 1700	1291–1774	–
Обсяг буріння, м	541	490	–
Кількість доліт	6	2	–
Тривалість буріння, год	741	234	–
Середня проходка на долото, м	90	245	2,72
Максимальна проходка на долото, м	147	248	1,69
Середня механічна швидкість буріння, м/год	0,73	2,09	2,87

За рахунок застосування доліт PDC з підвищеною стійкістю та високоефективних гвинтових вибійних двигунів виробництва ВАТ «Пермнафтомашремонт» у комплексі з спеціальними полімерними промивальними рідинами KCl/Polymer – ProductionZone свердловина була пробурена за 45 діб, що на 14 діб швидше планового терміну.

Застосування телеметричної системи з електромагнітним каналом зв'язку дозволило вивести свердловину під необхідним кутом з заданими координатами та отримати дебіт до 90 т нафти за добу, що в декілька разів перевищує показники сусідніх подібних свердловин (рис. 3).

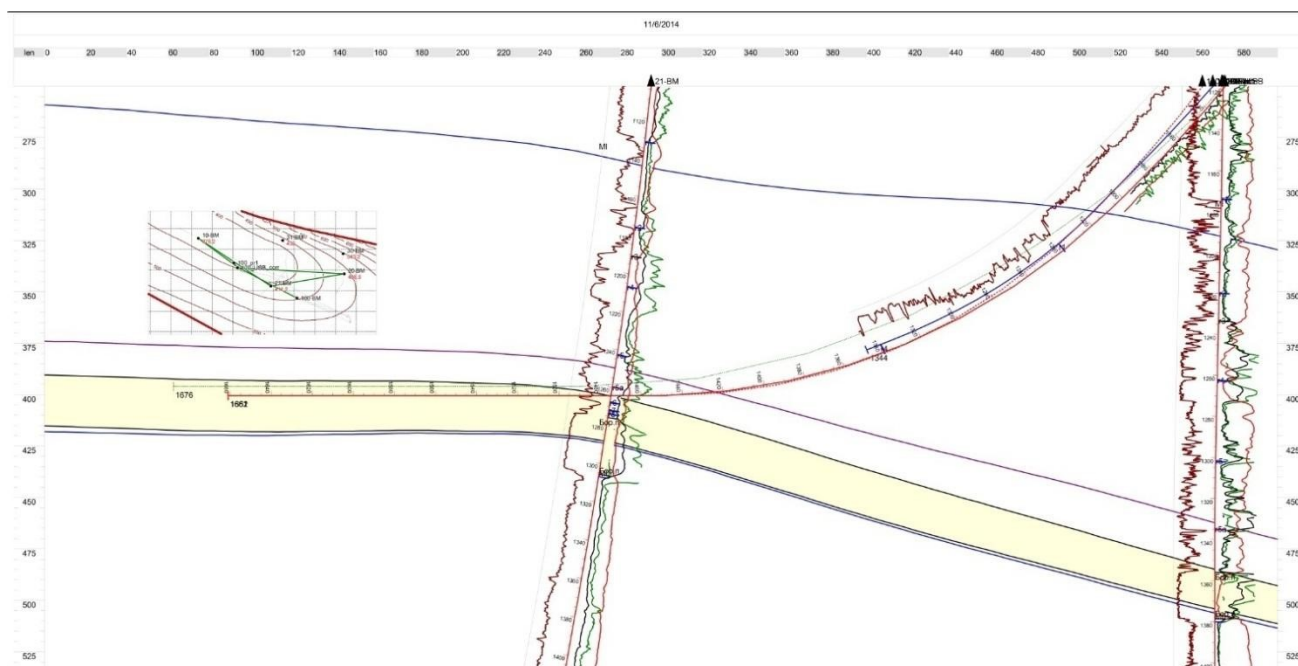


Рис. 3. Фактичний профіль свердловини №100 Верхньомасловецького родовища

### Висновки

1. Підтверджено високу ефективність використання доліт типу PDC в умовах родовищ Бориславського нафтогазового промислового району.
2. Кращі результати застосування доліт PDC досягнуто при бурінні горизонтального стовбура в комплексі з ГВД.
3. В цілому застосування доліт PDC підвищеної стійкості в комплексі із високомоментними ГВД, спеціальними полімерними промивальними рідинами, сучасними телеметричними системами та висококваліфікованим сервісним супроводом дозволяє на 25% скоротити терміни спорудження скерованої свердловини із горизонтальним закінченням та суттєво підвищити якість і результативність бурових робіт.

*Приведены результаты использования долот в комплексе с винтовыми забойными двигателями на месторождениях Бориславского нефтегазового промышленного района. Доказано их существенное преимущество по сравнению шарошечными долотами и роторным бурением. Определены перспективы применения долот PDC при бурении наклонно-направленных скважин из горизонтальным окончанием.*

**Ключевые слова:** долото PDC, винтовой забойный двигатель, шарошечное долото, горизонтальная скважина, сервисное сопровождение.

*The brought results over of introduction of chisels of PDC in a complex with spiral downhole motors on the deposits of Borysav of oil and gas industrial district. Well proven them substantial advantage above roller bits and rotor boring drilling. Certain prospects of application of chisels of PDC at the boring drilling of the aslope directed mining holes from horizontal completion.*

**Keywords:** chisels of PDC, spiral downhole motor, roller bit, horizontal mining hole, service accompaniment.

### Література

1. Пригоровська Т.О., Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С. 33–39.
2. Пригоровская Т.А. Статистический анализ отработки долот типа PDC и прогнозирование их стойкости // Электронный науч. журн. «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 3. – С. 41–56. [Электронный ресурс] [http://www.ogbus.ru/authors/Prigorovskaya/Prigorovskaya\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Prigorovskaya/Prigorovskaya_1.pdf)
3. Бондаренко Н.А., Коростышевський Д.Л. Результаты отработки долот и бурильных головок ИСМ АП на площадях Хрестыщенского УБР // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 59–62.

4. Коцкулич Я.С., Мрозек Є.Р., Яремійчук Я.С. Аналіз відпрацювання породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин на нафтогазових родовищах України // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 22–28.
5. Мрозек Є.Р. Результати промислових випробувань гвинтових вибійних двигунів і доліт підвищеної стійкості // БУРІННЯ. – 2012. – № 9. – С. 61–64.
6. Руководство по оценке износа долот типа PDC в промысловых условиях / Я.В. Мясников, А.В. Ионенко, С.Г. Гаджиев, и др. // Бурение и Нефть. – 2014. – № 3. – С. 14 – 18.
7. Мрозек Є.Р. Повышение ресурса работы и результаты отработки ВЗД с профилированной двигательной секцией и долот в Украине // Инженерная практика. – 2012. – № 7. – С. 46–49.
8. Мрозек Є.Р. Вдосконалення техніки та технології буріння похило-спрямованих та горизонтальних свердловин // БУРІННЯ. – 2013. № 10. – С. 41–44.

Надійшла 16.06.15

УДК 622.24.085

А. К. Хамидуллин, Т. А. Саакян, Н. В. Кисляков, В. П. Оницин, д-р техн. наук

ЗАО «ЭЗТАБ», Санкт-Петербург, Россия

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА ОБЪЕКТАХ ОАО АК «АЛРОСА»

*В работе описываются варианты технологических и технических решений, внедрение которых позволило в значительной степени улучшить технико-экономические показатели буровых работ на объектах АК «АЛРОСА».*

**Ключевые слова:** пневмударное бурение, экспресс-тампонирование, колонковую труба.

Значительный объем бурения на объектах АК «АЛРОСА», связанный с проходкой поисковых, разведочных и структурных скважин в чрезвычайно сложных геолого-технических условиях, требует постоянного совершенствования технологии буровых работ, позволяющей достигать наиболее высоких технико-экономических показателей, совершенной методики проводки скважин при оптимальных режимах бурения с высоким качеством получаемых образцов кернового материала.

В сущности, технология бурения скважин представляет собой широкий комплекс способов, приемов и средств бурения в соответствии с их назначением, включая определение конструкции скважины, сборку бурового снаряда, спуск в скважину и подъем из нее бурового инструмента и колонны труб, крепление интервалов скважины обсадными трубами, выбор породоразрушающего инструмента, типа очистного агента, подбор оптимальных режимов бурения горных пород, искривление, расширение и проработку ствола скважины, устранение осложнений и т.д.

В 2012 г. НИГП АК «АЛРОСА» заключила хозяйственный договор с отечественной организацией ЗАО ГПГ «ЭЗТАБ» по теме «Совершенствование буровых технологий и технических средств, применяемых для бурения поисковых скважин глубиной до 200 м».

Основные проблемы, которые необходимо было решить при выполнении договорных работ, заключались в следующем.

- В экспедициях используют довольно низкие параметры режимов бурения, при которых невозможно достичь высокой производительности.

- Отсутствуют средства очистки оборотной промывочной жидкости, вследствие чего раствор интенсивно обогащается шламом и илом, увеличивается содержание в нем песка, снижаются реологические параметры промывочной жидкости, повышается износ плунжерных пар бурового насоса.

- Применяемая конструкция буровых установок не позволяет забуривать скважины под проектным углом, из-за чего приходится выводить скважину на проектную трассу с помощью установления съемных клиньев.

- Недостаточный и некондиционный выход керна в разрушенных, слабосцементированных породах.

- Растепление стенок скважин, образование шламовых сальников на стенках скважин, а также бурильных, колонковых и шламовых трубах, породоразрушающем инструменте, осыпание стенок скважин при бурении с воздухом.

- Стандартные кернорватели для твердосплавных коронок не применяют, при бурении с воздухом необходимо затирать керн всухую после каждого рейса.

- Недостаточно эффективный вынос шлама с забоя; необходимость применения шламовых труб при бурении с воздухом.

- Низкий ресурс применяемых серийных твердосплавных коронок – в среднем 5 м.

- Большие затраты времени на забуривание скважин с установкой кондуктора, особенно в условиях водопроявлений или по «курумникам» в условиях сухих сыпучих пород.

В результате исследования специалистами ЗАО ГПГ «ЭЗТАБ» технологии бурения на объектах АК «АЛРОСА» и определения задач, требующих решения, было предложено несколько вариантов технологических и технических решений, внедрение которых может в значительной степени улучшить технико-экономические показатели буровых работ на объектах АК «АЛРОСА».

1. Внедрить способ экспресс-тампонирования составами на основе полиуретановых композиций с целью крепления стенок скважины при забуривании, а также бурении интервалов скважин в условиях сыпучих неустойчивых пород. Предполагаемый эффект – снижение затрат времени на забуривание скважины, посадку кондуктора или промежуточной колонны. Испытать способ ликвидации водопроявлений и крепления стенок скважины смесями на основе пенополиуретановых композиций с использованием тампонажного контейнера производства ЗАО ГПГ «ЭЗТАБ». Предполагаемый эффект – оперативная ликвидация геологических осложнений, возможность продолжения бурения с продуванием воздухом вследствие ликвидации водопритока в скважину.

2. Разработать, изготовить и испытать колонковый набор и коронки типа КПЗ для пневмоударного бурения, внедрить пневмоударно-забивной способ бурения. Предполагаемый эффект – повышение механической скорости бурения и ресурса породоразрушающего инструмента, обеспечение кондиционного выхода керна.

3. Разработать, изготовить и испытать двойную колонковую трубу с соответствующей коронкой для бурения с пневмоударником. Предполагаемый эффект – обеспечение кондиционного выхода керна в сложных условиях без ограничения длины рейса.

4. Разработать, изготовить и испытать коронку резового типа на основе синтетических спеков (КС, КРС) для вращательного способа бурения с промыванием. Предполагаемый эффект – повышения ресурса породоразрушающего инструмента в породах VII–VIII категории по буримости.

5. Разработать, изготовить и испытать различные варианты твердосплавных секторов для изготовления коронок различных типоразмеров и конфигураций в ЦРММ экспедиции, используемых при вращательном способе бурения с продуванием. Предполагаемый эффект – расширение ассортимента твердосплавных коронок и значительное снижение их стоимости.

6. Разработать и изготовить промывочный сальник (или сальник-вертлюг), обеспечивающий минимальное аэродинамическое сопротивление для бурения с воздухом. Предполагаемый эффект – снижение градиента скорости повышения температуры воздуха при его прохождении через отверстия малого диаметра, следовательно, снижение скорости оттаивания мерзлых пород.

7. Выполнить опытные работы по возможному применению бурения с обратным продуванием. Для этого разработать и изготовить соответствующий герметизатор. Предполагаемый эффект – обеспечение кондиционного выхода керна, увеличение длины рейса и значительное повышение производительности буровых работ.

8. Оптимизировать диаметры бурения и компоновки бурового снаряда на поисковых скважинах без снижения объема керновых проб. Предполагаемый эффект – увеличение скорости восходящего потока воздуха, отказ от шламовых труб, снижение аварийности при бурении скважин, использование форсированных режимов бурения.

9. Изготовить и испытать башмаки, армированные синтетическими алмазами, необходимые при посадке обсадных труб в сложных условиях. Предполагаемый эффект – снижение затрат времени при посадке кондуктора и промежуточной колонны обсадных труб в сложных условиях.

10. Разработать технологию применения стабильных структурных пен в качестве очистного агента при бурении поисковых скважин в сложных условиях. Предполагаемый эффект – ликвидация вероятности возникновения сальников, предотвращение оттаивания пород, возможность



использования компрессоров низкой производительности (1,0–1,5 м<sup>3</sup>/мин) при давлении 25–40 атм, предотвращение возникновения геологических осложнений.

11. Внедрить в практику механизированный вибрационный способ извлечения керна из колонковой трубы. Предполагаемый эффект – снижение затрат времени на извлечение керна при затирке всухую.

12. Внедрить в практику реверсивный пневмоударник. Предполагаемый эффект – повышение производительности труда, ликвидация аварий, связанных с прихватом бурового снаряда, экономия от извлечения обсадных труб из скважины.

13. Разработать, изготовить и внедрить технические средства для бурения с одновременной обсадкой. Предполагаемый эффект – снижение затрат времени на операции по обсадке скважин.

Из приведенных задач основными являются те, решение которых существенно повысит продуктивность породоразрушающего инструмента, производительность буровых работ и выход керна в разрушенных и слабосцементированных породах IV–VIII категорий по буримости.

В течение 2012–2013 гг. в рамках договорных отношений НИГП АК «АЛРОСА» и ЗАО ГПГ «ЭЗТАБ» многие из перечисленных направлений и разработок успешно осуществлены, выполнены соответствующие испытания на объектах заказчика, инструмент и технологии внедрены в производство буровых работ, получен существенный экономический эффект.



Рис. 1. Коронка типа CM-5 с дополнительными приварными секторами

Приведем способы и методики осуществления поставленных инженерных и технологических задач, данные опытно-промышленных испытаний инструмента, анализ полученных положительных результатов на примере разработки принципиально новых конструкций твердосплавных буровых коронок для бурения с продуванием воздухом поисковых скважин на объектах АК «АЛРОСА».

Для бурения скважин глубиной до 200 м в экспедициях АК «АЛРОСА» в основном использовали серийно выпускаемые твердосплавные коронки типа CM-5, значительно реже коронки типов CA-5, CA-6.

Для повышения продуктивности коронок типа CM-5 в экспедициях АК «АЛРОСА» к корпусам коронок по наружному диаметру приварили дополнительно три сектора, вырезанные из аналогичной коронки (рис. 1).

Это позволило за счет увеличения площади резания увеличить зазор между стенкой скважины и колонковой (а также шламовой) трубой, что резко снизило эффект шламового

сальникообразования. Однако, существенно повысить непосредственно ресурс серийных коронок CM-5 данное мероприятие не позволило.

Специалисты ЗАО «Горнопромышленная группа «ЭЗТАБ» сконструировали и поставили для натурных испытаний в экспедициях АК «АЛРОСА» три новых типа породоразрушающего инструмента под индексом КТСС (коронки твердосплавные секторные ступенчатые), принципиальная конструкция которых показана на рис. 2.

Коронка типа КТСС состоит из корпуса 1 и приваренного к корпусу коронки ступенчатого сектора 2. В каждый сектор впаивали твердосплавные резцы 3 и вставки 4 с наилучшими прочностными и режущими свойствами. В 2013 г. испытывали твердосплавные коронки КТСС-118x92, КТСС-132x92, КТСС-137x12, отличающиеся отдельным изготовлением корпуса коронки и секторов, армированных твердосплавными резцами.

Секторы выполняли из трубных заготовок (сталь 20), что обеспечило качественное паяние твердосплавных элементов. Для корпуса коронок использовали сталь 45, позволяющую снизить вероятность деформации коронок при отвинчивании их в процессе эксплуатации в условиях повышенного крутящего момента.

Ступенчатость самого сектора позволяет обеспечить меньший износ пластинчатых резцов за счет установки на ступени дополнительных вставок, выполняющих роль подрезных резцов по наружному диаметру коронки.

Испытания коронок типа КТСС проводили 2012–2013 гг. в Амакинской, Ботубинской и Арктической экспедициях АК «АЛРОСА».

### Амакинская экспедиция

В Амакинской ГРЭ на испытания была представлена первоначально одна коронка КТСС-118х92. Испытания проводились на скважинах участка «Болотный». Общая проходка на коронку составила 78 м при средней механической скорости бурения 9,7 м/ч. Использовали режимы бурения, традиционно принятые в экспедиции: осевая нагрузка – до 800 даН, частота вращения 45–60 об/мин (редко 80–90 об/мин). Бурение осуществляли с продуванием воздухом компрессором НВ-10.

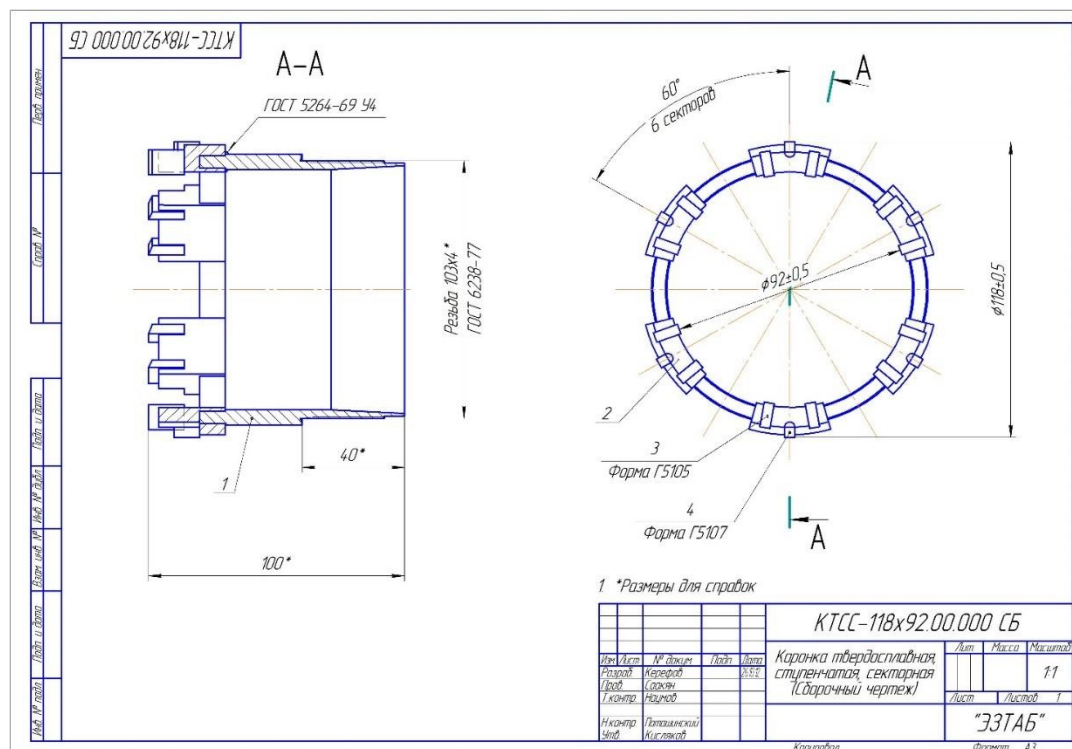


Рис. 2. Чертеж твердосплавной секторной ступенчатой коронки

На одной из скважин в интервале 59–60 м для сравнения была запущена в работу коронка СМ-5. В качестве породы выбрали карстовые отложения с прослойками льда. Ресурс серийной коронки до полного износа составил 1 м. Бурение сопровождалось образованием сальников и повышением давления в нагнетательной линии. Длина рейса в этом интервале составила 0,8–2,0 м, механическая скорость бурения – 1,3 м/ч.

### Ботубинская экспедиция

Всего в Ботубинской ГРЭ на испытания были представлены 5 коронок: одна КТСС-118х92 (проходка 18,6 м), по две КТСС-137х112 (общая проходка 34,2 м) и КТСС-132х112 (общая проходка 32,9 м). Все коронки проходили испытания, в основном, по известнякам и доломитам VI–VIII категории по буримости. Коронки СМ-5 с приварными расширителями, принятые за базу сравнения, имели ресурс от 0,45 до 1,5 м. Отдельные рейсы коронок КТСС по породам IV–V категории по буримости сопровождалось образованием сальников, налипанием глины, что приводило к повышению давления в нагнетательной линии и уменьшению длины рейса.

### Арктическая экспедиция

В Арктической ГРЭ на испытания были представлены две коронки КТСС-118х92, с ресурсом соответственно 91,5 м и 53,0 м и механической скоростью бурения более 4 м/ч.

Сводная ведомость отработки опытных и серийных коронок в сопоставимых условиях приведена в таблице.

Таблица

Экспедиция	Тип коронки	Кол-во коронок, шт.	Проходка, м		Категория пород	Породы	Режимы бурения			$V_{\text{мех}}$ , м/ч	Примечание
			всего	на коронку			$P$ , даН	$n$ , об/мин	$L_{\text{об}}$ , атм.		
Амакнская	КТСС-118х92	1	78,0	78,0	VII-VIII	Песчаник, известняк	800	45-60	-	9,7	
	СМ-5	1	1,0	1,0	IV-V	Алевролит	300-400	87	-	2,6	СМ-5-129 с расширителем
	КТСС-118х90	2	30,5	15,3	V-VI	Алевролит, песчаник	800-1000	60	3-4	7,4	-
	СМ-5	2	17,0	8,5	VI	Известняк	500-600	60	3-4	3,6	СМ-5-112 без расширителя
	КТСС-125х90	1	82,5	82,5	V-VI	Алевролит, песчаник	800-1000	60	3-4	8,0	-
	СМ-5	6	24,0	4,0	VI	Известняк	600-800	60	3-3,5	5,1	СМ-5-129 с расширителем
Богубовинская	КТСС-118х92	1	18,6	18,6	VII-VIII	Доломиты	1000-1500	40-127	-	4,5	-
	СМ-5	1	0,5	0,5	VII-VIII	Доломиты	800	45	-	2,0	СМ-5-129 с расширителем
	КТСС-137х112	1	16,6	16,6	VII	Доломиты	700-1100	94-127	-	6,0	-
	СМ-5	1	1,5	1,5	VII	Доломиты	700-800	60	-	2,5	СМ-5-129 с расширителем
	КТСС-132х112	1	35,5	20,0	VI-VII	Алевролит, доломит	1000-1200	94	-	9,0	-
	КТСС-137х112	1	17,6	17,6	V-VII	Пески, доломит	400-1300	94	-	3,8	-
Арктическая	СМ-5	1	0,45	0,45	VIII	Доломит	600	44	-	0,75	СМ-5-129 с расширителем
	КТСС-118х92	1	91,5	91,5	VI-VII	Песчаник, известняк	750-1000	87	5,5	-	-

Приведем основные выводы, рекомендации и предложения по результатам отработки опытных коронок типа КТСС.

#### **Выводы**

1. Общий объем бурения твердосплавными коронками КТСС на объектах АК «АЛРОСА» составил более 300 погонных метров.
2. Согласно результатам испытаний опытные коронки типа КТСС превосходят серийные коронки типа СМ-5 при бурении в идентичных условиях: по ресурсу на коронку – в 12–20 раз; по механической скорости бурения – в 2,2–3,1 раза; по длине рейса – более чем в 1,5 раза.
3. Результаты испытания опытных образцов коронок КТСС удовлетворительные.
4. Требуется изменить геометрические параметры коронки (внутренний диаметр – с 92 до 90 мм).
5. Следует рассмотреть возможность быстрого перевооружения коронок КТСС непосредственно на буровой готовыми секторами с напаянным твердым сплавом без замены тела коронки.
6. Коронки типа КТСС после незначительной доработки с учетом рекомендаций могут быть успешно внедрены при бурении на всех объектах АК «АЛРОСА» взамен применяемых коронок СМ-5.

#### **Рекомендации**



Рис. 3. Фото твердосплавной секторной ступенчатой коронки

1. Изменить конструкцию коронки, уменьшив количество секторов с расширителями до трех, тем самым снизить площадь контакта секторов на уступе забоя при бурении и площадь контакта корпуса со стенками скважины при подъеме коронки (рис. 3).

2. Увеличить на 2–3 мм диаметр внутреннего зазора между керном и секторами во избежание образования сальников внутри колонковой трубы.

3. Повысить ударную стойкость основных прямоугольных пластин в целях предотвращения их сколов при высоких значениях изгибающих и ударных нагрузок в трещиноватых крепких породах, а также при форсированном затирании керна всухую.

4. Разработать конструкцию, изготовить и испытать опытные образцы керна вращательного устройства для совместной работы с коронками типа КТСС в целях надежного отрыва и удержания керна без форсированного и продолжительного затирания его в коронке.

5. По результатам испытаний коронок КТСС производства ЗАО ГПГ «ЭЗТАБ» была получена экономия порядка 832 000 рублей при проходке около 260 погонных метра скважин за счет значительного увеличения средних показателей проходки на коронку и механической скорости бурения по сравнению с применяемыми серийными коронками СМ-5.

*У роботі описується варіанти технологічних і технічних рішень, впровадження яких дозволило в значній мірі поліпшити техніко-економічні показники бурових робіт на об'єктах АК «АЛРОСА».*

**Ключові слова:** пневмоударное буріння, експрес-тампування, колонкову труба.

*The article describes variants of technological and technical decisions, which allowed to achieve considerable improvement in technical and economic performance of drilling work at the facilities of OJSC ALROSA.*

**Key words:** air percussion drilling, rapid plugging, the core barrel.

Поступила 03.06.15

УДК 622.276.6

**Р. А. Исаев, А. М. Исмаилов, О. Э. Багиров** канд. техн. наук

*ООО «SOCAR-AQS», г. Баку, Азербайджан*

## **СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В АЗЕРБАЙДЖАНЕ**

*В статье рассматриваются вопросы разработки месторождений с разными пластовыми давлениями, проведен сравнительный анализ бурения в трех месторождениях, разработана и внедрена методика бурения скважин в условиях гидродинамического равновесия в результате прогнозирования пластового давления, вычисления статических, динамических забойных давлений давления гидроразрыва и специального анализа геологических условий данных районов.*

**Ключевые слова:** бурение, пластовое давление, геологические условия

Исторические корни азербайджанской нефти уходят в очень древние времена. На Апшеронском полуострове нефть добывалась ещё в VIII в. Промышленную добычу нефти начали с середины XIX в. В 1899 г. Азербайджан занял первое место в мире по добыче и переработке нефти и давал больше половины мировой добычи. За прошедший период в стране добыто около 2 млрд т нефти и 1 трлн м<sup>3</sup> газа [1].

Согласно анализу состояния мировой добычи нефти и газа конца прошлого века эра легкой добычи нефти завершается и начинается эра трудноизвлекаемой нефти. Нефть уходит все глубже и для ее добычи необходимо развитие используемых в нефтяной промышленности технологий и техники.

На суше и акваториях Каспийского моря Азербайджана выявлено более 300 перспективных нефтяных и газоконденсатных структур, из которых в настоящий момент разрабатывается более 80. Эти нефтяные и газоконденсатные месторождения существенно различаются. Если в одних месторождениях наблюдается аномально высокое пластовое давление (АВПД), в других с аномально низкое (АНПД).

Для сравнительного анализа выбрали три месторождения.

Месторождение «Булла море» расположено в 55 км от Баку в полосе мелководья Каспийского моря. Разрез месторождения в пределах изученных глубин представлен комплексом отложений от среднего плиоцена до современных включительно.

В настоящее время промышленные скопления нефти и газа установлены в горизонтах V, VII и VIII (средняя мощность – соответственно 150; 140 и 60 м) продуктивной толщи (средний плиоцен), в связи с чем сводный литолого-стратиграфический разрез составлен только по этому комплексу отложений.

В литологическом отношении отложения горизонта V представлены песчано-глинистым комплексом, причем верхняя часть разреза более глинистая, нижняя – более песчаная. Разрез горизонтов VII и VIII характеризуется увеличением мощности песчаных пластов по сравнению с горизонтом V (табл. 1).

Месторождение «Умид» расположено в 75 км от Баку в акваториях Каспийского моря. Разрез месторождения в пределах изученных глубин представлен комплексом отложений от среднего плиоцена до современных отложений включительно.

В настоящее время промышленные скопления нефти и газа установлены в горизонтах V и VII (средняя мощность – соответственно 120 и 150 м) продуктивной толщи (средний плиоцен), в связи с чем сводный литолого-стратиграфический разрез составлен только по этому комплексу отложений

В литологическом отношении отложения горизонтов V, VII представлены песчано-глинистым комплексом (табл. 2).

Месторождение «Бузовна-Маштаги» расположен на Апшеронском полуострове. Разрез месторождения представлен комплексом отложений от среднего плиоцена до современных отложений включительно.

В настоящее время промышленные скопления нефти и газа установлены в горизонтах НКП и ПК (средняя мощность – соответственно 20 и 100 м) продуктивной толщи (табл. 3).

Таким образом, поглощение бурового раствора или проявление пластового флюида при бурении скважин на площадях Бакинского архипелага связано с нарушениями равновесия давлений в стволе скважины, которое чаще всего возникает по нескольким причинам [2]: геологическим (физико-механические свойства горных пород и наличие в разрезе тектонических нарушений) и

*РАЗДЕЛ 1. ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И ТЕХНОЛОГИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ*

технико-технологическим (применение бурового раствора повышенных и сниженных свойств, высокое гидравлическое давление возникающее при промывке, проработке или СПО, а также образовании сальника на бурильном инструменте или долоте).

Таблица 1.

Глубина, м	Стратиграфический разрез	Породы, твердость	Давл. МПа Пласт/гидр.	Уд.вес, г/см <sup>3</sup>
0–750	Четвертичные отложения	Глина мягкая, песок, песчаник, известняк средний	–	–
1200			13,2/22,8	1,35–1,40
1500				1,65–1,70
750–1530	Апшерон	Глина мягкий, песок, песчаник, известняк средний	–	–
1530–1600	Акчагил	Глина, песок, алевроит средний	–	–
1600–5000	ПТ	Глина твердый, песок, песчаник, алевроит средний	–	–
1700			–	1,75–1,80
2250			–	1,80–1,85
2800			39,2/60,2	1,90–1,95
3300			–	1,95–2,05
4000			–	2,05–2,10
4950			71,5/112,7	2,10–2,15
5000–5150	Горизонт V (Балаханы)	Песчаник твердый, песок, алевроит, глина средняя	–	–
5150–5490	–	Песчаник, песок твердый, глина средняя	–	–
5400	–	–	63,0/116,1	1,72–1,82
5490–5630	Горизонт VII (Перерыв)	Песчаник твердый, алевроит, песок, глина средняя	–	–
5650			62,2/121,5	1,62–1,67
5630–5800		Глина средняя	–	–
5800–5860	Горизонт VIII (НКП)	Песчаник, песок, глина твердая	–	–
5860–5900	–	Глина твердая	83,0/137,0	2,15–2,20

Таблица 2

Глубина, м	Стратиграфический разрез	Породы	Давление, МПа Пласт/гидр.	Уд. вес, г/см <sup>3</sup>
0–900	Четвертичные отложение	Глина, песок	–	1,25–1,30
1200	–	–	13,2/21,6	1,30–1,35
1850	–	–	–	1,60–1,65
900–2000	Апшерон	Глина, песок	–	1,70–1,75
2000–2100	Акчагил	Песок	–	1,75–1,80
2100–5800	ПТ	Глина, песок, песчаник, аргиллит	–	–
2600			33,8/55,9	1,80–1,88
3100			–	1,88–1,95
3300			–	1,95–2,05
4500			65,2/99,0	2,05–2,10
5800			93,0/134,0	2,15–2,20
5800–5920	Горизонт V (Балаханы)	Песчаник, глина	–	–
5920–6300	–	Песок, глина, аргиллит	93,7/136,8	2,05–2,10
6300–6450	Горизонт VII (Перерыв)	Песчаник, песок, глина	95,5/137,5	–
6450–6500	–	Глина	–	1,95–2,0

В результате исследования разработана и внедрена методика бурения скважин в условиях гидродинамического равновесия как результат прогнозирования пластового давления, расчета

статических и динамических забойных давлений гидроразрыва, а также специального анализа геологических условий исследованных районов.

Таблица 3.

Глуб, м	Стратиграфический разрез	Породы	Давление, МПа Пласт/гидр	Уд. вес, г/см <sup>3</sup>
0–750	Отложение Апшерон-Акчагил	Глина, песок, пепел	8,5/12,0	1,16–1,18
750–875	Сураханы	Глина, песок, аргиллит	–	
875–1150	Сабунчи	Глина, песок, аргиллит, песчаник	–	1,10–1,12
1150–1500	Балаханы	Глина, песок, песчаник, аргиллит	–	–
1500–1595	НКГ	Глина, аргиллит	–	–
1595–1635	НКП	Глина, песок, песчаник	–	–
1635–1852	Кирмакы	Глина, песчаник, аргиллит	–	–
1852–1950	ПК	Глина, песок, песчаник, аргиллит	–	–
1950–2000	–	Глина	10,0/28,0	1,04–1,08

У статті розглядається питання розробки родовищ з різними пластовими тисками, проведено порівняльний аналіз буріння в трьох родовищах, розроблена і впроваджена методика буріння свердловин в умовах гідродинамічної рівноваги в результаті прогнозування пластового тиску, обчислення статичних, динамічних забійних тисків, тиску гідророзриву і спеціального аналізу геологічних умов даних районів.

**Ключові слова:** буріння, пластовий тиск, геологічні умови.

The article discusses the development of deposits of different formation pressures, a comparative analysis of drilling in three fields, developed and implemented a method of drilling wells in hydrodynamic equilibrium as a result of prediction of reservoir pressure, calculate the static, dynamic downhole pressure fracturing pressure and special analysis of the geological conditions of these areas.

**Keywords:** drilling, reservoir pressure, geological conditions.

### Литература

1. Основные принципы и задачи технологии проводки скважин, обеспечивающей доведение обсадных колонн до проектной глубины и предотвращение их повреждений в осложненных условиях / О. К. Мамедбеков, Г. М. Новрузов, Г. М. Эфендиев, О. Э. Багиров. Сер. «Нефтегазодобывающая промышленность». – Баку: АЗНИИТИ, 1998. – 20с.
2. Меджидов Г. Н., Багиров О. Э. Бурение скважин в осложненных условиях Каспия // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. тезисов – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2001, – Вып. . – С. 34–35.

Поступила 19.05.2015

УДК 622.276.6

**П. М. Гулизаде<sup>1</sup>**, канд. техн. наук; **Е. Р. Яраданкулиев;**  
**О. Э. Багиров<sup>2</sup>**, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Азербайджанский государственная нефтяная академия, г. Баку

<sup>2</sup>ООО «SOCAR-AQS», г. Баку, Азербайджан

### УСЛОВИЯ БУРЕНИЯ И ОСЛОЖНЕНИЯ НА НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БАКИНСКОГО АРХИПЕЛАГА

Рассмотрены вопросы разработки месторождений с разными геологическими условиями. Проведен сравнительный анализ бурения в нескольких месторождениях. Разработана схема для анализа геологических условий данных районов.

**Ключевые слова:** бурение, месторождение, геологические условия.

Обобщенные модели градиентов АВПД в зависимости от проявления интенсивности и сложностей прогнозируют по зонам.