

# ГОРНОЕ ДЕЛО

---

---

МРНТИ 52.13.07

Т.Н. Мендебаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Смашов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-внедренческий центр «АЛМАС», г. Алматы, Казахстан

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С РАЗДЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ПРОМЫВОЧНЫХ КАНАЛОВ

---

---

**Аннотация.** Проблемы алмазного бурения глубоких скважин – сохранность заданного направления, энергозатраты растущие с глубиной и получения информативного геологического материала керна. Они обусловлены усложнением условий работы инструмента на забое, свойствами горных пород, в особенности трещиноватости. Из анализа источников информации следует, что решение проблем возможно с привлечением новых ресурсов, физических эффектов, вложением их в конструктивную схему инструментов, пересмотром технологии изготовления. Создана схема с гидродинамическим эффектом разрушения горных пород направленной струей рабочей жидкости, повышением интенсивности выноса шлама, обеспечивающие благоприятные забойные условия работы инструмента. Разработана технология изготовления инструментов, основанная на поэтапном выполнении операции – вакуумная фильтрация алмазов с холодным прессованием и горячее прессование. По данным экспериментов, в сопоставимых условиях опытные образцы инструментов имеют близкие показатели работы с серийными коронками  $NQ$ , при заметно меньших значениях осевой нагрузки и частота вращения, основных причин искривление скважин и рост энергозатрат.

**Ключевые слова:** бурение, породоразрушающий инструмент, бурение скважин, алмазный инструмент, схема бурения, технология бурения.

• • •

**Түйіндеме.** Терең ұңғыларды алмас құралдармен бұрғылау тәсілінің күрделі мәселесі – оның жобадағы бағытын сақтау, қуат шығыны және толық мәлімет беретін тау жыныстарын алу. Олар ұңғы табанындағы құралдың жұмыс жағдайының күрделенуіне, тау жыныстарының қасиеттеріне, әсіресе жарықшақтарына байланысты болып отыр. Ақпарат көздеріндегі мәліметтерді талдай келе мәселені алмас құралдарының құрылым сызбаларына жаңа физикалық заңдылықтарды енгізу, жасау технологиясына өзгеріс енгізу арқылы шешуге болатыны анықталды. Алмас құралының ұңғы табанындағы жұмыс жағдайын жақсарту бойынша оның сызбасына тау жыныстарын қысымды сұйықпен бұзатын тәсіл енгізілген, солай аталған мәселелерді түбегейлі шешуге болады. Тәсілді іске асыру үшін алмасты вакуум инфильтрациясын

және қуат қысымымен, одан кейін ыстық қысыммен пісіретін технологияның сызбасы дайындалған. Зертханада жүргізілген тәжірибе жұмыстарының деректері бойынша жаңа технологиямен жасалынған, сұйықтың қысымымен тау жыныстарын бұзатын алмас құралдарының үлгілерінің жұмысы ұңғы табанына түсетін жүктеме және айналу жылдамдығы азайтылған жағдайда жүреді. Көрсеткіштері жалпы қолданыстағы NQ алмас құралдарымен бірдей. **Түйінді сөздер:** бұрғы, тау жынысын бұзатын құрал, Ұңғымаларды бұрғылау, алмас құрал-сайман, бұрғылау схемасы, бұрғылау технологиясы.

• • •

**Abstract.** The problems of diamond drilling in deep wells are the preservation of a given direction, the energy costs growing with depth and obtaining informative geological core material. This is due to the complication of the working conditions, namely the tool on the face, the properties of rocks, and especially fracturing. The analysis of information sources indicates that the solution of problems is possible by attracting new resources, physical effects, investing them in the structural scheme of tools, revising the manufacturing technology. A scheme was created with the hydrodynamic effect of the destruction of rocks by a directed jet of working fluid, an increase in the intensity of sludge removal, providing favorable bottom-hole working conditions of the tool, thereby the integrity of the core, the source of information. A technology has been developed for making tools based on a phased implementation of the operation - vacuum filtration of diamonds with cold pressing and hot pressing. According to the experimental data, in comparable conditions, the prototypes of the instruments have similar performance indicators with serial NQ crowns, with significantly lower values of axial load and rotation frequency, the main causes of the curvature of the wells and the increase in energy costs.

**Keywords:** drilling, well drilling, diamond tool, drilling scheme, drilling technology.

**Введение.** Современные проблемы сооружения глубоких скважин с применением алмазных породоразрушающих инструментов – это энергозатраты, сохранность заданного направления скважин и получение информативного геологического материала в виде керна [1]. В литературных источниках [2-4] отмечено, что эффективность алмазного бурения зависит от физического соответствия инструментов (коронка, долото) к свойствам горных пород, в особенности трещиноватых. Это объясняется склонностью последних к образованию крупных частиц шлама, способствующих самозаклиниванию керна в колонковой трубе, росту энергозатрат. По экспериментальным данным мощность потребляемая буровым станком при бурении трещиноватых, раздробленных горных пород оказывается на 15-20% выше, чем при бурении монолитных [5].

Другая проблема, отклонения скважин от заданной трассы связана с геометрией формы матрицы алмазного породоразрушающего инструмента. Наиболее оптимальные, концентрические впадины и выступы на торцевой поверхности матрицы, которые воспринимают динамическую нагрузку при вращении, противодействуя моменту его отклонения. Для усиления механизма противодействия, в техническом решении [6] кольцевые каналы на поверхности матрицы инструмента выполнены закругленным поворотом пролегающими противоположно его вращению. Для получения информативного геологического материала имеются бурильные головки содержащие продольные каналы в торцевой части для подачи промывочной жидкости вне зоны образования керна. Тем самым обеспечивается высокий процент выхода керна даже в разрушенных горных породах [7].

Эффективными средствами извлечения качественного керна являются зарубежные снаряды со съемными керноприемниками типов NQ и HQ. Их недостатки – интенсивность искривления скважин и энергозатраты из-за увеличенной площади торца матрицы. Тенденции развития техники и технологии в области разработки, изготовления и эксплуатации алмазных породоразрушающих инструментов в мире показывают, что решение проблем алмазного бурения глубоких скважин возможно при создании инструментов на основе новых физических принципов вложенных в их конструктивную схему, пересмотром технологии изготовления [8-11].

Имеются интересные разработки в сфере водоструйного разрушения горных пород при бурении скважин, шпуров, карьерной отработке месторождений полезных ископаемых [12]. По их выводам, струя используется для оказания помощи дробления породы, где наличие трещин создают условия для увеличения глубины проникновения жидкости. Это возможно и при бурении плотных пород, если на их поверхностях появляются опережающие трещины, борозды.

**Цель исследования.** На основе изложенных предпосылок была создана конструктивная схема алмазного инструмента с отдельной системой промывочных каналов, нацеленная на использование гидродинамического эффекта разрушения горных пород, ставшая объектом исследования (рисунок 1). Инструмент содержит алмазную матрицу 1, разделенную промывочными пазами 2 на сектора, на них выполнены кольцевые канавки 3 в шахматном порядке смещенные по горизонтали между секторами, взаимно перекрывающимися друг друга по окружности. Промывочные пазы 2 разделены перегородка-

ми 4, на тыльной стороне которых проведены продольные отверстия 5 выходящие в кольцевые канавки 3. На дне и боковых стенках кольцевых канавок 3 выполнены проточки (не показаны) параллельно простирающимися до промывочных пазов 2 противоположно вращению инструмента.

Отличительное преимущество инструментов с отдельной системой промывочных каналов – создание опережающих забойных условий для полного проявления гидродинамического эффекта объемного разрушения горных пород направленной струей рабочей жидкости, присутствием проточек исключение гидравлической подпорки под матрицей и интенсивный вынос шлама по кольцевым канавкам.

**Методы исследования.** Изучением состава и прочностных свойств матрицы алмазных инструментов зарубежных фирм установлено, что один из определяющих факторов их эффективности – твердость матрицы. Чем тверже порода и менее абразивна, тем более мягкая должна быть матрица. В ней слои алмазных зерен полностью вскрываются, отсутствует их заполировка, что является причиной падения скорости бурения. Принятая в Казахстане, традиционная технология изготовления алмазных инструментов предусматривает вакуумную фильтрацию алмазов с разделением операции холодного прессования и спекания матрицы, в силу чего реально достигаемая ее твердость находится в интервале 20-35 HRC за счет содержания в составе до 50% карбида вольфрама с твердостью 70-75 HRC.

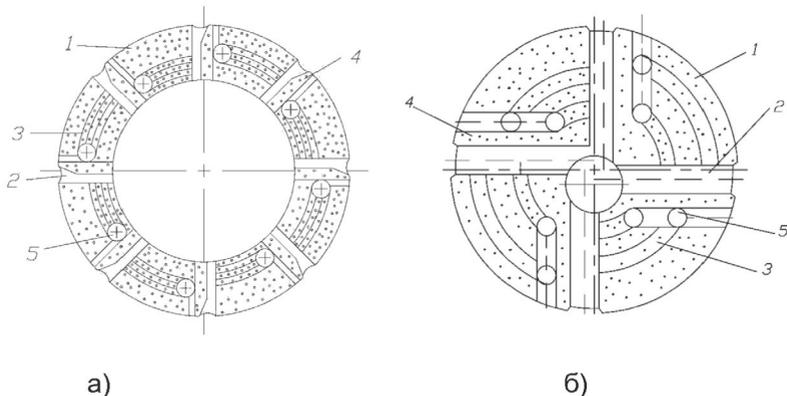


Рисунок 1 - Конструктивная схема матрицы алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов: а - с отбором зерна, б – со сплошным забоем бурения скважин

По технологии горячего прессования матриц, широко используемой зарубежными фирмами производителями алмазных инструментов, в ее составе карбид вольфрам отсутствует, геометрию изделия формирует графитовая пресс-форма, обеспечивающая твердость матриц в широком диапазоне 15-50 HRC. Кроме того, весомое преимущество технологии горячего прессования матриц, сохранение свойств алмазных зерен, так как совмещенный процесс прессования и спекание протекает при более низкой температуре 900-950°C против 1100°C вакуумной фильтрации, где деградация алмазных зерен начинается при температуре 1000°C.

Освоение способа горячего прессования матриц при изготовлении опытных образцов инструментов предложенной схемы, потребовала значительных изменений производственного процесса в технологическом и техническом аспекте. Прежде всего, сложная конфигурация матрицы при отсутствии карбида вольфрама не позволяла сохранить ее форму до спекания. В то же время нагрев будущего изделия должен был производиться достаточно быстро, чтобы избежать окисления металлических порошков. Другие трудности были связаны с определением состава матрицы, обусловленной ее геометрией, нормы антифрикционных и других добавок, повышающие ее износостойчивости. В итоге выбрана наиболее рациональная схема технологического процесса изготовления алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов (рисунок 2).

Для проектирования 3D моделей инструментов и графитовой пресс-формы использовался упрощенный вариант программы САПР Kompas 3D V14 Home. Достоинство семейства данных программ производимых в Российской Федерации, это полная совместимость со стандартами Евразес. По ней были разработаны рабочие чертежи короночной заготовки и детали пресс-формы. Рабочая программа ARTCAM была использована для изготовления этих деталей на станке 4ПУРЕМАХ40302. Сборка опытных образцов алмазных инструментов осуществлялась приклеиванием подрезных зерен и армирующих твердосплавных вставок по принятой схеме их расположения к поверхности графитовой оболочки и вкладышу пресс-формы. После этого в собранную пресс-форму засыпают смесь порошка ВК-8 и объемных алмазов фракции 600/400 мкм. Сверху устанавливалась заготовка и произвели предварительное холодное прессование под давлением 15 т.

1. Проектирование



2. Изготовление



Рисунок 2 - Схема технологического процесса изготовления алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов

Инструмент, подготовленный к процессу инфильтрации в печи с защитной средой совместно с пресс-формой был установлен в нагревательный муфель, расположенный в вакуумной камере, из которой откачивался воздух до вакуума 0,1 мм рт. ст. Далее в течении 20 мин. осуществляется нагрев изделия до температуры 850°C с последующим охлаждением до комнатной температуры. Процесс горячего прессования изделия проходил на специально собранной под задачу индукционной установке до температуры 950°C с одновременным прессованием

под нагрузкой 15-20 т и остыванием под нагрузкой при температуре 200-300°C. Завершающая стадия изготовления алмазных породоразрушающих инструментов – механическая зачистка, нарезка резьбы и покраска (рисунок 3).

С целью проверки работоспособности и выявления потенциала изучаемой конструктивной схемы, опытные образцы алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов в исполнении с отбором керна, обрабатывались на буровом стенде в сравнении с серийными буровыми коронками типа NQ. Буровой стенд оснащен станком СКБ-4, промывочным насосом НБЗ-120/40, манометром давления МП-2, тахометром частоты вращения – ИТЗ-71, расходомером PROMASS40 и ваттметром энергозатрат. Бурение условных скважин осуществлялось по блокам песчаников средней трещиноватости, категории пород 8-9 по шкале буримости (Таблица 1).

**Таблица 1 - Сравнительные результаты обработки опытных образцов алмазных породоразрушающих инструментов (коронки) с отдельной системой промывочных каналов и серийных коронок NQ фирмы «Борт-Лонгир» (США)**

Инструменты	Диаметр бурения, мм	Пробурено, м	Режимы бурения			Механическая скорость, м/ч.	Энергозатраты квт. /ч. на один погонный метр
			Осевая нагрузка, кгс	Расход рабочей жидкости, л/мин.	Частота вращения, об/мин.		
NQ каратоемкость – 44 карат	75,8	15	700-800	35-40	400-500	2,8	0,3-0,4
Опытные образцы – 44 карат	75,8	18	400-500	35-40	300-400	2,4	0,25-0,28

**Выводы.** Изданных экспериментов следует, что при заметно меньших значениях осевой нагрузки на коронку и большей вероятности сохранения заданной трассы скважин, опытные образцы имеют

близкие показатели по механической скорости бурения с серийными коронками NQ. (рисунок 3)



Рисунок 3 - Подготовленные к работе алмазные породоразрушающие инструменты с отдельной системой промывочных каналов

Значимой структурной особенностью алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов, является сила веса (энергия) рабочей жидкости, которая возрастает с увеличением глубины скважин, в силу чего негативный фактор – рост энергозатрат становится позитивным. Конструктивные особенности и технологические возможности изготовленных по новой технологии алмазных породоразрушающих инструментов отечественного производства дают основание для вывода, что они могут стать эффективным средством решения проблем сооружения глубоких скважин. С их применением возможен переход на скважинные способы добычи полезных ископаемых, взамен шахтных и карьерных, развитие горноскважинной ветроэнергетики, геотермальной энергии, выработкой электрического тока в подземных условиях, вскрытие и освоение месторождений подземных вод принудительным самоизливом [13].

### Список литературы

- 1 *Симонянц С.Л., Мнацаканов И.В.* Актуальное направление модернизации турбинного способа бурения // Нефтесервис. – 2013. – №2. – С. 48-50.
- 2 *Гореликов В.Г.* Конструктивные особенности алмазных коронок для бурения трещиноватых горных пород // Записки горного института. – Санкт-Петербург. – 2012. – Т. 197. – С. 29-33.
- 3 *Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А.* Алмазные коронки нового поколения // Neftgaz.ru 5117. – 2016. – С. 25-28.
- 4 *Романов В.А., Горшков Л.К., Селиванов А.Н.* Технология бу-

рения алмазными долотами при искривлении геологоразведочных скважин с отклонителями непрерывного действия ВСБ: Исследования, разработка и внедрение технологии алмазного бурения скважин на твердые полезные ископаемые // М. ВПО «Геотехника». – 2004. – С. 105-112.

5 Пономарев П.П. Алмазное бурение трещиноватых пород // Л.: Недра. – 1985.

6 Пат. 2613458 Российская Федерация. Колонковый набор / Мендебаев Т.Н., опубли. 22.09.2017, Бюл. №27.

7 Масленников И.К., Матвеев Г.И. Инструмент для бурения скважин // Справочное пособие // «Недра». – Москва. – 1981. – С. 268-271.

8 Блинов Г.А., Гореликов В.Г., Архилев А.Г. Исследование и метод расчета объема межконтактного пространства матрица коронки – горная порода с учетом шероховатости поверхностей матрицы и забоя // Сб. Научных трудов. Методика и техника разведки. – Санкт-Петербург. – №1. – 1993. – С. 76-84.

9 Горшков Л.К., Яковлев А.А. Аномальный износ алмазных буровых коронок // Записки горного института. – Т. 197. – Санкт-Петербург. – 2012. – С. 25-28.

10 *Viyu Lu, Jiren Tang, Zhaolong Ce, Binwei Xia, Yong Liu.* Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistange // International journal of rock Mechanics & Mining Sciences 60. – 2013. – P. 47-56.

11 *Jia Meiling, Cai Jiapih, Ouyang Zhiyong, Shen Lina, Wi Haixia, Li Chun.* Desing & Application of Diamond Bit to Drilling Hard Rock in Deep Borehole. Geological Engineering Drilling Technology Conference (JGEDTC), New International Convention Exposition center Chengdu century city on 23rd-25th May 2014. Procedia Engineering 73(2014). P. 134-142.

12 *Thomas Reihersch, Bob Paap, Simon Hahn, VolkerWitting, Sidnei Van Den Berg.* Insights into the radial water jet drilling technology // Application in a quarry. Journal of Rock Mechanics and Geotechnica Engineering 10 (2018). – P. 236-248.

13 Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж. Метод и средства освоения месторождений подземных вод принудительным самоизливом // Новости науки Казахстана. – №1. – 2014. – С. 115-122.

**Мендебаев Т.Н.** - доктор технических наук, академик КазНАЕН и РАЕН (Россия), e-mail: nvc\_almas@mail.ru

**Смашов Н.Ж.** - кандидат технических наук, e-mail: nur\_cm@mail.ru