

УДК 622.271.5

**Л.Н. Федоров, С.А. Ермаков**

## **НОВЫЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ КРЕПКИХ И МЕРЗЛЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОД**

*Приведен краткий обзор комбинированного породоразрушающего бурового инструмента, со специальными фрикционными элементами и резами. Предлагается ряд новых конструкций термофрикционных коронок, защищенных патентами России.*

*Ключевые слова: геологоразведочное бурение, многолетнемерзлые породы, комбинированный породоразрушающий инструмент, термофрикционная коронка, механическое разрушение, предразрушение, теплота трения, термо- и износостойкие материалы.*

---

**L.N.Feodorov, S.A. Ermakov**  
**NEW THERMOMECHANICAL  
TOOLS FOR BORING OF STRONG  
AND FROZEN DISPERSE ROCKS**

*The briefly review and analysis of the combined drilling instrument with special friction elements and incisors have been presented. A wide array of new constructions of thermal and friction crowns, protected by patents, have been proposed.*

*Key words: prospecting boring, age-frozen rocks, combined rock-destroying tool, thermoclutch crown, mechanical destruction, predestruction, warmth of a friction, heat- and wear-resistant materials.*

**Р**азвитие породоразрушающего инструмента, включая долота для бурения скважин в многолетнемерзлых породах, долгие годы в России шло за счет создания новых конструкций, основанных на идеях механического разрушения, и применения твердого сплава и алмазов, как природных, так и синтетических. Начатые в 60-70 годах прошлого века широкие исследования по разработке новых конструкций породоразру-

шающего инструмента, основанных на идее комбинированного воздействия на породу различными физическими полями, закончились почти нулевым результатом [1]. Объясняется это в большей степени объективными причинами развития фундаментальных и технических наук, техники и технологии [2]. По этим же причинам на сегодня отсутствует альтернатива взрывному разрушению в горном производстве и в передовых технически развитых странах.

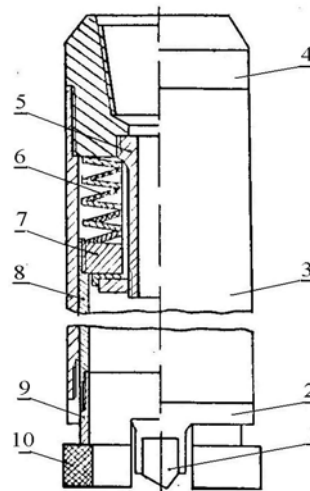
Многие идеи по разрушению горных пород, выдвинутые 40-50 лет назад и не реализованные техникой и технологией того времени, сохраняют свою новизну до настоящего времени. Масштабная их реализация предвидится на новом витке научно-технического прогресса, который многими учеными связывается с развитием нанотехники и нанотехнологии. В свете вышесказанного становится актуальным рассмотрение некоторых «старых» идей и конструкций породоразрушающего инструмента (коронки) для бурения геологоразведочных

скважин. Чрезмерно стесненные условия для размещения коронки в скважине предъявляют специфические требования к ее конструктивным параметрам. С этих позиций наиболее отвечающим условиям геологоразведочного бурения является использование теплоты трения самой коронки для разупрочнения породы.

### 1. Краткий обзор известных конструкций термофрикционных коронок

Идея использования выделяющегося тепла при трении породоразрушающего инструмента о породу для ее разупрочнения была высказана и экспериментально показана П.Ф. Рошиным еще в 1945 году [3]. Однако из-за отсутствия термо- и износостойких материалов эта работа в свое время развития не получила. Только с развитием алмазного бурения, когда при разработке алмазного породоразрушающего инструмента стали широко применяться методы порошковой металлургии, появились работоспособные, так называемые, зерновые коронки. Первая зерновая коронка была разработана К.Ф. Клубничкиным. Конструктивно коронка состоит из стального корпуса, промывочных пазов и рабочего элемента, представляющего собой кольцевой сектор, на котором сцементированы латунию зерна твердого сплава размером 2-3 мм. Затем появились коронки А.М. Заржина и А.В. Колчина, отличающиеся длиной рабочих секторов.

Специально поставленные исследования работы зерновых коронок показали, что положительные результаты при бурении ими гранита и кварцита, объясняются тепловыми эффектами [4]. Было показано, что зерна твердого сплава теплотой трения нагревают и разупрочняют породу, и потом прорезают неглубокую



**Рис. 1. Комбинированная термофрикционная коронка ТМК-4:** 1 - породоразрушающие элементы; 2 - наружный корпус; 3 - наружная труба; 4, 7 - переходники; 5 - шпindel; 6 - тарельчатые пружины; 8 - внутренняя труба; 9 - внутренний корпус; 10 - фрикционные элементы

канавку на поверхности породы. Однако высокая температура способствовала ускоренному износу зерен твердого сплава, одновременно нагревающих и срезающих тонкий слой породы. Поэтому в Днепропетровском горном институте было принято решение разделения функции генерирования тепла и резания, и была предложена новая конструкция комбинированной термофрикционной коронки ТМК-4 для бурения геологоразведочных скважин (рис. 1) [5]. Отличительная особенность коронки состоит в том, что в процессе бурения фрикционные элементы только нагревают и разупрочняют породу, а отделение от забоя разупрочненного слоя проводится режущими элементами. При этом происходит также дополнительное разупрочнение поверхностного слоя за счет охлаждения нагретой породы промывочным раствором, проходящим через промывочные

каналы, расположенные между фрикционными и режущими элементами.

Наиболее разработанной конструкцией комбинированного термофрикционного инструмента является коронка Г.С. Бродова, созданная во Всероссийском институте техники и методики разведки (ВИТР), г. С.-Петербург [6]. Им теоретически и экспериментально в лабораторных и производственных условиях показана эффективность использования тепла трения термо- и износостойкого фрикционного элемента для предразрушения пород забоя скважины и разработана термомеханическая коронка с уширенной матрицей, работающая в комплексе с двойной колонковой трубой. В этой коронке фрикционные элементы трением нагревают породу, а резцы отделяют нагретый предразрушенный слой породы. Производственные испытания этой коронки показали, что во всех случаях результаты бурения в 1,3-2,2 раза превосходят показатели существующих способов бурения. В условиях бурения в четвертичных песчано-валунных отложениях, когда возможно только бурение твердосплавными коронками и шарошечными долотами, коронки Г.С. Бродова показали самые высокие результаты. Успешность применения новых коронок, прежде всего, объясняется введением в состав матрицы фрикционного элемента новых сверхтвердых и термостойких материалов.

Однако, исходя из анализа конструкций и работы коронок с отдельным вводом энергии, следует заметить, что не только вышеописанные, но и большинство комбинированных коронок могут применяться только в комплексе с двойными трубами, что сужает область их применения. Известно, что двойными колонковыми трубами бурят исключительно в усло-

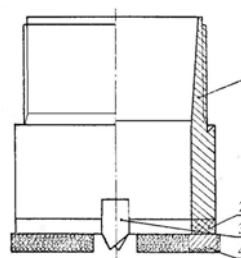
виях геологических осложнений, чтобы обеспечить требуемый геологами коэффициент выхода керна. Доля бурения двойными трубами в общем объеме геологоразведочного колонкового бурения составляет 10-15%. С другой стороны по двойной трубе можно больше ввести энергии в забой для его разрушения. Однако современные интенсификаторы разрушения на сегодня не обеспечивают реальных преимуществ по энергоемкости бурению двойными трубами перед бурением одинарными трубами. Это объясняется тем, что из-за более уширенной матрицы коронки для двойных труб объем разрушения увеличивается почти в 1,5-2,0 раза по сравнению с бурением коронкой для одинарных труб. Поэтому на сегодня не менее актуальным является поиск путей модернизации конструкций вышеописанных коронок для бурения одинарными колонковыми трубами.

Для обоснования путей модернизации термофрикционных коронок необходимо выбрать способы доразрушения, перспективные для применения в бурении скважин различного целевого назначения. Для решения этой задачи исключительную роль играет анализ 25 различных способов бурения на потенциальную производительность, проведенный В.К. Маурером в 1968 г [7] и несколько позже Д.С. Роули [8]. Анализ показал, что вращательный способ бурения (резание) имеет высокую производительность, уступая только эрозионному, искровому и взрывному. Однако практика бурения до сих пор не имеет на своем вооружении новых методов разрушения. В настоящее время процесс бурения совершенствуется, в основном, через создание новых инструментальных материалов и через оптимизацию параметров режима бурения. В силу этого выводы В.К.

Маурера и Д.С. Роули сохраняют свое значение и до сего времени.

В России аналогичный вывод о перспективности механических способов разрушения был сделан в 1966 г. Л.И. Бароном и подтвержден им же в 1978 г. [9]. Таким образом, основываясь на этих выводах с точки зрения производительности, а также технологичности и возможности автоматизации, в качестве способа доразрушения целесообразно принять резание механическим инструментом. Преимущества резания по сравнению с ударным доразрушением мы видим не только в высокой производительности, но и в том, что при резании лезвийным инструментом подготавливаются условия для очистки забоя от бурового шлама. Лезвие инструмента, отделяя и поднимая в виде стружки разрушенный материал над поверхностью забоя, создает условия для взвешивания и транспортировки его очистным агентом. Совсем другая картина вырисовывается при доразрушении ударом, когда часть разрушенной породы под торцом инструмента, наоборот, вдавливается в забой, и последующая очистка забоя затрудняется, требуя большего расхода очистного агента. Ударное доразрушение приемлемо при бурении восходящих скважин, когда буровой шлам отделяется от забоя под действием собственного веса или когда от нагрева порода становится хрупкой, вследствие чего продукты разрушения отделяются от забоя с некоторой скоростью, при котором очистный агент их подхватывает и уносит от забоя.

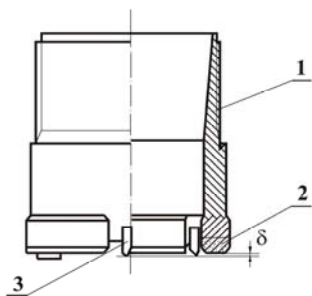
Однако потенциальные возможности резания будут эффективно реализовываться, если материал резца будет обладать высокой износостойкостью и прочностью. С этой точки зрения необходим анализ физико-механи-



**Рис. 2. Одинарная термофрикционная коронка ТМК-5:** 1 и 2 – части корпуса; 3 – резцовые элементы; 4 – фрикционные элементы

ческих свойств существующих инструментальных материалов, т.е. обоснование способа доразрушения необходимо провести в свете достижений современного материаловедения. Результаты такого анализа можно найти в работах [10, 11, 12]. Дополнительные требования к материалу резцов будут зависеть от характера выбранного способа доразрушения.

Проблема уменьшения ширины торца термофрикционных коронок стояла уже перед первыми разработчиками, и их предложения по решению этой проблемы достаточно оригинальны [13]. В одном из этих предложений корпус термофрикционной коронки состоит по длине из двух частей, материал которых имеет различные модули упругости (рис. 2). При этом часть корпуса из материала с большим модулем упругости, например, из стали, соединена с резцами, а часть корпуса из материала с меньшим модулем упругости, например, из металлорезины, – с фрикционными элементами. Благодаря тому, что под действием осевого усилия часть корпуса, представленная металлорезиной, сжимается, резцы имеют возможность перемещаться относительно фрикционных элементов в осевом направлении, внедряясь в разупрочненную породу.



**Рис. 3. Термофрикционная коронка КФР-76 с выступающими резцами**

Однако данное предложение не учитывает возможную при бурении тангенциальную деформацию металлорезины, которая приведет к искривлению скважины. Кроме того, нет и металлорезины с требуемым модулем упругости, обеспечивающей надежную работу корпуса коронки.

## 2. Термофрикционные коронки конструкции ИГДС СО РАН

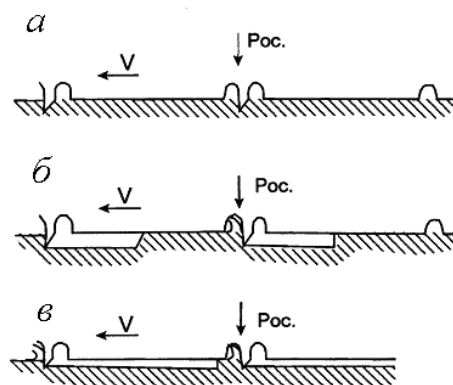
В Институте горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИГДС СО РАН) работы по разработке породоразрушающего инструмента различного целевого назначения ведутся с 1980 г. В последнее время направление работ несколько конкретизировалось в сторону использования новых инструментальных и функциональных материалов. Это позволило несколько по-другому решить проблему уменьшения ширины торца термофрикционных коронок. В коронке КФР-76 (рис. 3) [14] предлагается решить эту задачу путем установки фрикционных и режущих элементов на одном корпусе, причем резцы крепятся с опережением фрикционных элементов на глубину разупрочнения породы. Тогда глубина разупрочнения поверхности пород забоя, т.е. величина выпуска резцов  $\delta$  составит

$$\delta = \frac{V}{nk},$$

где  $V$  - м/сек - проектная скорость бурения;  $n$  - число оборотов инструмента за 1 сек;  $k$  - число резцов на одной линии резания.

Работоспособность такого инструмента обеспечивается тем, что резцы обладают достаточной прочностью и износостойкостью, чтобы в начале бурения внедриться в породу забоя без разупрочнения при максимальном сопротивлении пород резанию.

Коронка состоит из корпуса 1, фрикционных элементов 2 и резцов 3 и работает следующим образом. При вращении буровой коронки под действием осевого усилия резцы внедряются в породу на величину их опережения фрикционных элементов и снимают слой породы толщиной  $\delta$  (рис. 4). Фрикционные элементы и резцы установлены неподвижно на одном корпусе. Причем резцы опережают фрикционные элементы на 0,2-0,8 мм.



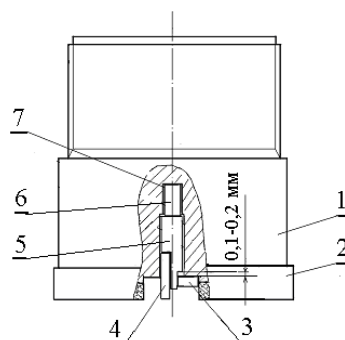
**Рис. 4. Схема работы коронки с выступающими резцами**

При постановке коронки на забой и подаче осевого усилия резцы внедряются в породу, а фрикционные элементы всей площадью своих торцов вступают в контакт с забоем (рис. 4, а).

При вращении коронки резцы начинают снимать слой породы толщиной равной глубине внедрения, а фрикционные элементы начинают трением нагревать породу. Когда от тепла трения порода в контакте нагреется до температуры 300-600°C, приповерхностный слой породы разупрочнится и резец будет отделять уже разупрочненный слой.

Особенностью работы этой коронки является ступенчатый характер ее углубки. Как известно, у обычных твердосплавных коронок все резцы при бурении описывают траекторию в виде плавной винтовой линии. В нашем случае углубка тормозится массивными фрикционными элементами, и коронка вращается без проходки, снимая стружку как рубанок. Однако при этом под фрикционными элементами образуется уступ, длина которого по мере вращения коронки уменьшается, и удельное давление на породу все увеличивается (рис. 4, б). Так как порода под торцом коронки находится, почти, в условиях всестороннего давления, то только в конце этого уступа порода раздавится (рис. 4, в), и резец снова углубится на величину своего выпуска над плоскостью торца коронки (рис. 5, а). При двухрезцовой коронке угол поворота резца от внедрения до следующего внедрения можно принимать приближенно равным 160-170°.

Таким образом, анализ траектории движения коронки показывает, что в момент внедрения резцов приповерхностный слой породы в конце уступа под сбегающей частью фрикционных элементов коронки перед резцами не успевает нагреться и разупрочниться.



**Рис. 5. Термофрикционная коронка ТФПР-76 с приводом резцов из сплава с памятью формы**

В это время порода испытывает минимальное удельное давление, так как площадь контакта коронки с забоем максимальна. Порода в начале уступа сначала под набегающей, а затем сбегающей частью фрикционных элементов коронки нагревается от трения и разупрочняется в течение времени, пока коронка не повернется на 160-170°. Удельное давление коронки на уступ в течение этого времени увеличивается, так длина уступа, следовательно, и площадь контакта породы с торцом коронки, уменьшаются. Таким образом, при самых оптимальных режимах бурения такой коронкой резец циклически внедряется и начинает резать малоразупрочненный слой породы. Только к концу цикла резания он снимает максимально разупрочненный слой. Из этого вытекают циклический характер работы резца от максимальной нагрузки до минимальной и особые требования к прочности резцов коронки. Фрикционный элемент тоже работает циклически. После внедрения резцов его набегающая часть на трение почти не работает, она как бы зависает над уступом. Только сбегающая часть все время работает на трение, но сила трения тоже меняется от минимального до максимального значения. Отсю-

да можно прогнозировать опережающий износ задней части фрикционных элементов коронки, что в какой-то степени изменит описанную картину работы коронки.

Основными достоинствами разработанной коронки по сравнению с известными термофрикционными коронками для двойных труб являются: простота конструкции и эксплуатации, уменьшение объема разрушения породы в два раза при выбуривании керна приблизительно равного диаметра, более высокая механическая скорость бурения и меньшая стоимость. Областью применения является бурение геологоразведочных скважин в перемежающихся породах VII-IX крепости, которая может быть значительно расширена при изготовлении резцов из сверхтвердых материалов типа эльбора, гексанита или плотного нитрида бора. Данное техническое решение может быть также реализовано в виде кольцевой коронки разного диаметра для бурения скважин различного целевого назначения в мерзлых дисперсных породах с включениями.

Несмотря на простоту конструкции, технология изготовления термофрикционной коронки требует высокотемпературного спекания. Фрикционные элементы коронки изготавливаются по технологии производства алмазных коронок. Основу технологии изготовления фрикционных элементов коронки составляют специальные материалы, имеющие повышенные износостойкие свойства. Пропитка матричного слоя коронки осуществляется сплавом "монель-металл" при температуре  $1370 \pm 20^\circ\text{C}$  или заменителем – сплавом МНЖКТ (Cu, Ni, Fe, Co, Ti) при температуре  $1250 \pm 20^\circ\text{C}$  в высокочастотной установке. В качестве наполнителя матричного слоя используется карбид

вольфрама и крупка релита. Прессование шихты производится при давлении 15 кН, а горячая допрессовка – при давлении 10 кН. Отличительной особенностью разработанной технологии является отсутствие водородной среды спекания. Таким образом, наиболее трудоемким является изготовление фрикционного элемента коронки. Со временем технология изготовления может быть достаточно упрощена при применении в качестве фрикционных элементов материалов с высокой твердостью и термостойкостью.

Проблема уменьшения ширины торца комбинированных коронок, в том числе и термофрикционных, может быть успешно решена, путем использования современных функциональных материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ). Суть применения этого эффекта в коронках может быть показана на следующем примере. Возьмем сплав с ЭПФ цилиндрической формы, к примеру, никелид титана (нитинол), и нагреем его до температуры  $400 - 500^\circ\text{C}$ . При этой температуре сплав находится в аустенитном состоянии и при последующем охлаждении переходит в мартенсит и сохраняет первоначальную высокотемпературную форму, к примеру, высоту 10 мм. В мартенситном состоянии никелид титана сравнительно легко пластически деформируется. Если этот цилиндр сжать до 9 мм, а затем нагреть его выше температуры начала обратного мартенситного превращения, например, выше  $50-60^\circ\text{C}$ , он примет первоначальную форму, заданную при температуре  $400 - 500^\circ\text{C}$ , т.е., увеличит свою высоту до 9,8-10 мм. При этом при формовосстановлении цилиндр будет развивать усилие на каждый квадратный миллиметр своего сечения от 300 до 600 Н. Анализ работы термофрикцион-

ной коронки и свойств этих сплавов показывает, что цилиндры диаметром 3-5 мм в качестве привода резцов могут быть установлены в корпусе одинарной буровой коронки, не вызывая увеличения ширины торца ее корпуса, следовательно, и объема разрушения.

В новой термофрикционной коронке ТФПР-76 сплав с ЭПФ является силовым приводом резцов (рис. 5) [15]. Данная коронка предназначена для бурения геологоразведочных скважин одинарной колонковой трубой в горных породах VII-XI категории по буримости.

Принцип действия - фрикционное тепловое предразрушение (разупрочнение) поверхностного слоя пород и отделение этого слоя резцовым элементом. При этом под фрикционным элементом температура достигает 600-900°C и не влияет на геологическую информативность керна. Базовый модуль коронки – фрикционный элемент изготовлен на основе износ- и жаростойкой композиции, резцовые элементы в зависимости от условий бурения выполняются из твердосплавных пластин или из сверхтвердых синтетических и искусственных материалов. Привод резцов из сплава с памятью формы - никелид титана около экваторного состава. Техническая характеристика коронки приведена в таблице.

Коронка состоит из кольцевого корпуса 1, фрикционных элементов 2, замков 3, удерживающих резец от выпадения, режущей пластины 4 с державкой 5 и привода 6 из сплава с ЭПФ, установленных в цилиндрическом канале 7 корпуса коронки. Коронка работает следующим образом. После спуска коронки на забой, на пониженном режиме с подачей промывочной жидкости начинается взаимоприработка забоя и фрикционных элементов. При этом резцы коронки, благодаря предварительной деформации

в мартенситном состоянии, находятся в утолщенном состоянии, так как температура самой коронки не выше температуры промывочной жидкости. Затем в течение 3-5 минут параметры режима бурения доводят до оптимального уровня, сначала расход жидкости, потом и другие параметры. При этом поверхность пород забоя под торцом фрикционных элементов нагреется до температуры разупрочнения. Одновременно с этим нагреется корпус коронки, а затем сплав с ЭПФ. Их температура контролируется потоком промывочной жидкости.

При достижении температуры начала обратного мартенситного превращения сплав начнет восстанавливать свою заданную форму и, преодолевая сопротивление породы, начнет вдавливать лезвие резца в разупрочненный слой. Когда сила восстановления формы сплава уравнивается силой сопротивления породы, этот процесс стабилизируется, и резец будет отделять от забоя разупрочненный слой, обнажая при этом новый и малопрогретый. Следующий за резцом фрикционный элемент снова трением прогреет и разупрочнит поверхностный слой, который срежется следующим за ним резцом, и т.д.

При подъеме коронки сплав полностью восстановит свою форму, а опоры резцов 5 своими запечками повиснут на замках 3. Перед началом следующего цикла бурения, когда сплав примет температуру ниже температуры конца прямого мартенситного превращения, к примеру, ниже 40°C, его осаживают, чтоб резец не выходил за плоскость торцов фрикционных элементов. Для этого на трубооборот ставят подкладку с ровной поверхностью и опускают на нее буровой снаряд. Затем, установив под резцы пластинки толщиной 0,1 мм, подают осевое усилие до тех пор, пока фрикционные элементы не сядут



### Техническая характеристика коронки ТФПР-76

Наименование параметров	Ед. изм.	Значения параметров
Диаметр бурения	мм	76,0
Диаметр коронки		
- наружный	мм	76,0
- внутренний	мм	58,0
Рабочий слой ТФ матрицы	мм	5,0
Основа матрицы	-	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Наполнитель	-	Релит + WC
Пропитка	-	МНЖКТ+Монель-металл
Твердость матрицы	HRC	70-80
Число сегментов	шт.	3
Ширина резцовых пазов	мм	12
Резцовые элементы	-	ВК-8, сиалон
Число резцовых элементов	шт.	3
Частота вращения	мин <sup>-1</sup>	350-450
Расход промывочной жидкости	дм <sup>3</sup> /мин	10-15
Нагрузка на резцовые элементы	даН	200-300
Развиваемая температура на забое	К	900-1200
Категория пород по буримости	-	V-XI

на подкладку. Так как при температуре ниже прямого мартенситного превращения сплав становится пластичным, то он легко деформируется, и резец утопает за торец фрикционных элементов. Коронка готова к работе.

Рассмотренные конструкции коронок предназначены для бурения геологоразведочных скважин в крепких породах с очисткой забоя промывочными жидкостями и могут применяться при бурении многолетнемерзлых песчано-валунных отложений с очисткой забоя воздухом. По типу предлагаемых коронок могут быть изготовлены лопастные долота с фрикционными элементами и с выступающими резами или с приводом резцов из сплава с ЭПФ для бурения скважин различного целевого назначения в многолетнемерзлых породах.

#### Заключение

Из приведенного краткого обзора и анализа комбинированного инструмента для бурения геологоразведочных скважин можно сделать следующие выводы:

- комбинированные породоразрушающие инструменты для бурения

геологоразведочных скважин позволяют вводить в забой скважины дополнительную энергию, обеспечивающую эффективное разрушение крепких пород, однако увеличенная ширина торца коронок делает их применимыми только с двойными трубами, что увеличивает объем разрушения и сводит на нет положительный эффект от увеличения нагрузки на забой;

- применение сплавов с памятью формы в качестве силового привода резцов взамен пружин и гидравлических нажимных устройств позволяет изготовить термофрикционные коронки для бурения одинарными трубами и реализовать все преимущества комбинированного разрушения;

- комбинированный термофрикционный породоразрушающий инструмент с опережающим выпуском резцов прост в изготовлении и в эксплуатации;

- термофрикционные инструменты имеют широкий диапазон применения в породах различной крепости, в том числе и в многолетнемерзлых дисперсных породах, включая песчано-валунные отложения.

1. *Кутузов, Б.Н.* Приоритетные направления технического переоснащения взрывных технологий открытой добычи угля, руд, строительных пород [Текст] / Б.Н. Кутузов: сб. докл. III межд. конф. по буровзрывным работам. 27-28 мая 1997 г. – М., 1997. – С. 18-28.
2. *Федоров, Л.Н.* Методологические аспекты создания и совершенствования способов разрушения горных пород [Текст] / Л.Н. Федоров // Физические проблемы разрушения горных пород (20-25 октября. 2004 г.) Институт комплексного освоения недр РАН. – М.: ИПКОН, 2004. – С. 110-115.
3. *Рошин, П.Ф.* Бурение горных пород трением [Текст] / П.Ф. Рошин // Ч. I. – Нефт. хоз-во, 1945. – № 10. – С. 7-11.
4. *Клочко, Н.А.* Термомеханический способ колонкового бурения горных пород зерновыми коронками [Текст] / Н.А. Клочко, Л.А. Шрейнер // Техника геологоразведочных работ // Изв. высших уч. завед. // Геология и разведка. – 1963. – № 3. – С. 113-117.
5. А.с. 505800 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> Е 21С 21/00; Е 21С 13/02; Е 21С 37/16. Термомеханический буровой инструмент [Текст] / Е.Ф. Эпштейн, В.Ф. Сирик, А.А. Кожевников, П.П. Вырвинский, И.А. Баскилович, Ф.М. Красновский и М.Е. Гренадер (СССР). – № 1923704/22-3; заявл. 22.05.73; опубл. 05.03.76, Бюл. № 9. – 2 с.: ил.
6. *Бродов, Г.С.* Основы термомеханического колонкового бурения [Текст] / Г.С. Бродов. – С.-Петербург: Изд-во ВИТР, 2001. – 56 с.
7. *Maurer W.C.* “Nowill drill now and in the future”, the Oil and Gas Jurnal, March 18, 1968, pp 85-86.
8. *Rowleu D.S.* Rotaries to play biq role in Future rock-drilling methods Oil and Qas Jurnal. № T-44, 1970, pp 82-87.
9. *Барон, Л.И.* Разрушение горных пород проходческими комбайнами [Текст] / Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, Ю.Н. Козлов и др. // Разрушение агрегированными инструментами. – М.: Наука, 1977. – 160 с.
10. *Баженов М.Ф., Байчман С.Г., Корначев Д.Г.* [Текст] / Твердые сплавы [Текст] / М.Ф. Баженов, С.Г. Байчман, Д.Г. Корначев // Справочник. – М.: Metallургия. – 1978. – 236 с.
11. *Алмазный и твердосплавный инструмент в горном деле* [Текст] / – Киев: Техника, 1965. – 342 с.
12. *Сверхтвердые материалы в зарубежных странах* [Текст] / – Киев.; ИСМ, 1981. – 264 с.
13. А.с. 505801 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> Е 21С 21/00; Е 21С 13/02; Е 21С 37/16. Термомеханический породоразрушающий инструмент [Текст] / Е.Ф. Эпштейн, А.М. Бражененко, А.А. Кожевников, В.Ф. Сирик, П.П. Вырвинский, И.А. Баскилович, Ф.М. Красновский и М.Е. Гренадер (СССР). – № 1923704/22-3; заявл. 22.05.73; опубл. 05.03.76, Бюл. № 9. – 2 с.: ил.
14. Пат. 2247217 С2 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 21 В 10/46, 7/14. Термомеханический породоразрушающий инструмент [Текст] / Бродов Г.С., Ермаков С.А., Фёдоров Л.Н.; заявитель и патентообладатель институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. – № 2003111120/03; заявл. 17. 04. 2003; опубл. 27.02. 2005, Бюл. № 6. – 6 с.: ил.
15. Пат. 2247216 С2 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 21 В 10/46, 7/14. Термомеханический породоразрушающий инструмент [Текст] / Ермаков С.А., Фёдоров Л.Н.; заявитель и патентообладатель Якутск институт горного дела Севера СО РАН (RU). – № 2003108844/03; заявл. 31. 03. 2003; опубл. 27.02. 2005, Бюл. № 6. – 5 с.: ил.

ГИАБ

**Коротко об авторах**

*Ермаков С.А.* – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, заведующий лабораторией открытых горных работ, s.a.ermakov@igds.usn.ru

*Федоров Л.Н.* – научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, s.v.panishev@igds.usn.ru