

*Possibility to define of two orthogonally related components of deflecting load on bit was received as result. Value of these components depends on torsion moment.*

**Key words:** *deflecting load on bit, drill string bottom, intense-deformed state, elastic beam.*

### Література

1. Гречин Е.Г., Овчинников В.П., Панов К.Е. Анализ работы стабилизирующих компоновок на скважинах Уренгойского газоконденсатного месторождения // Бурение и нефть. – 2005. – № 5. – С. 29–31.
2. Янтурин Р.А. Совершенствование методов расчетов параметров компоновок низа бурительной колонны и их элементов для безориентированного бурения: автореф. дис. на стиск. уч. ст. канд. тех. наук: спец. 05.02.13. Технология бурения скважин. – Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2005. – 20 с.
3. Светлицкий В.А. Механика стержней: Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Статика. – М.: Высш. шк., 1987. – 320 с.

УДК 622.24.051.64

**А. А. Каракозов**, канд. техн. наук<sup>1</sup>, **М. С. Попова**<sup>1</sup>, **С. Н. Парфенюк**<sup>1</sup>,  
**Р. К. Богданов**, **А. П. Загора**, кандидаты технических наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, Украина

<sup>2</sup> Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля  
НАН Украины, Киев, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОДНОСЛОЙНОЙ БУРОВОЙ КОРОНКИ С СИНТЕТИЧЕСКИМИ МОНОКРИСТАЛЛАМИ АЛМАЗА

*Приведены результаты разработки однослойных алмазных коронок, оснащённых монокристаллами зернистостью 1600/1250 мкм с повышенной термостойкостью, синтезированными в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. Создание коронок основано на результатах моделирования тепловых и гидравлических процессов, а также механического нагружения. При моделировании учитывались особенности работы отдельных алмазов, а также влияние на температурный режим частоты вращения бурового снаряда, интенсивности подачи промывочной жидкости и конструктивных особенностей коронки. Данные моделирования положены в основу разработки новых коронок БСО-1, прошедших предварительные испытания в производственных условиях.*

**Ключевые слова:** *однослойная алмазная коронка, синтетические алмазные монокристаллы, моделирование работы алмазной коронки, температурный режим алмазной коронки.*

Потребность геологоразведочной отрасли в новых видах алмазного породоразрушающего инструмента для бурения в породах средней крепости может быть реализована за счёт создания новых видов однослойных коронок, оснащённых крупными синтетическими алмазными монокристаллами с повышенной термостойкостью (до 1150 °С). В то же время, рекомендации и расчётные модели, имеющиеся для однослойных алмазных коронок, были созданы достаточно давно и часто имеют приближённый характер.

На современном этапе разработка новых коронок может быть обеспечена современными уточнёнными компьютерными моделями различных процессов протекающих при взаимодействии алмазных резцов с горной породой на забое скважины. При этом каждый

алмаз коронки при взаимодействии с горной породой может быть рассмотрен как отдельный элемент единой системы, в которой происходят взаимосвязанные механические, тепловые и гидравлические процессы.

Поэтому разработка новых алмазных коронок производилась на основании комплекса исследований, в процессе которых определялись:

- нагрузки, действующие на каждый алмаз при взаимодействии коронки с породой;
- механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента;
- поле скоростей жидкости при промывке забоя с учётом вращения коронки;
- температура на контакте алмазов с породой и температурное поле в теле коронки с учётом циркуляции промывочной жидкости на забое скважины.

В процессе исследований рассматривались только однослойные алмазные коронки с радиальной раскладкой, которая общепризнано считается наиболее эффективной.

На первом этапе определялась нагрузка на отдельные алмазы секторов коронки, пропорциональная слою снимаемой ими породы. Толщина слоя породы, снимаемая алмазом, зависит от его месторасположения в секторе, количества алмазов и вида их раскладки в коронке. Поэтому коронки с радиальной раскладкой были условно разделены на два типа по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: на разных линиях резания (I тип) и на одних линиях резания (II тип). Соответствие коронки тому или иному типу определяет характер нагрузок на конкретные алмазы в зависимости от конструкции коронки. Наиболее равномерно распределяется нагрузка на алмазы коронки I типа. Толщина слоя породы, который снимают алмазы первого и второго радиального ряда одинаковая, но больше чем толщина слоя, снимаемого третьим и последующими рядами не менее чем в 2 раза, причем, чем больше рядов в секторе, тем больше эта разница. Сложнее распределяется нагрузка на алмазы в коронках II типа. В них два первых радиальных ряда нагружены не одинаково, максимальная нагрузка приходится на алмазы второго радиального ряда и превышает нагрузку на алмазы третьего и последующих радиальных рядов более чем в 3 раза (по сравнению с раскладкой I типа этот показатель больше примерно на 25%) [1–3].

Чем больше радиальных рядов в секторе коронки, тем меньше будут задействованы в работе алмазы последних радиальных рядов сектора. Неравномерность распределения нагрузки ведет к преждевременному износу части алмазов, расположенных в передней части сектора, что снижает технико-экономические показатели применения коронки. Кроме того, при большой длине сектора повышается вероятность накопления шлама под его сбегавшей частью. Поэтому следует ограничивать количество радиальных рядов в коронке, при этом в радиальных рядах, расположенных ближе к концу сектора, можно использовать алмазное сырьё, имеющее более низкие прочностные характеристики.

Таким образом, алмазы в секторе могут отличаться по качеству в зависимости от типа раскладки и своего расположения в секторе. В первом рабочем ряду сектора всегда нужно использовать более прочные алмазы, а для последующих рядов возможно использование алмазов партий меньшей прочности. В этом случае обеспечивается рациональное использование алмазного сырья при сохранении качества работы коронки. Верхний предел осевой нагрузки на коронку определяется значением разрушающей нагрузки менее прочных алмазов, т.е. алмазов, расположенных в последнем радиальном ряду сектора.

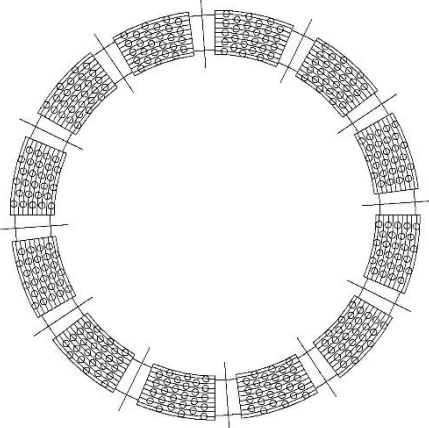
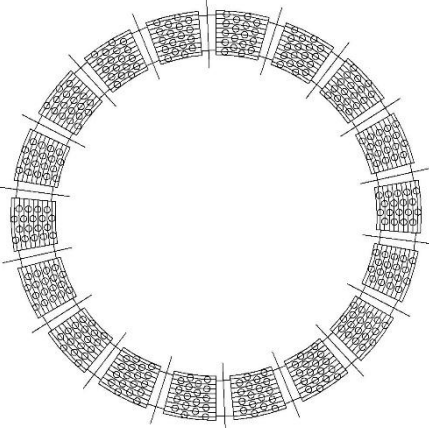
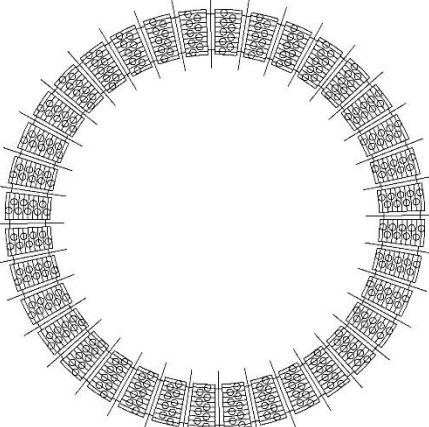
Одинаковая же толщина слоя породы, снимаемого каждым алмазом, наблюдается лишь при использовании коронок I типа с двумя радиальными рядами в секторе [2].

В табл. 1 показаны возможные величины толщины слоя породы, срезаемого алмазами первого и второго радиальных рядов сектора по сравнению с алмазами третьего и последующих рядов для исследуемых коронок I типа, принятых в качестве основных прототипов при создании новых коронок.

Учитывая различную толщину снимаемого слоя породы и окружную скорость для каждого

алмаза, можно определить забойную мощность на отдельном алмазе, которая будет различна для алмазов даже одного радиального ряда. Как следствие, алмазы и торец коронки будут неравномерно нагреваться в процессе бурения. Кроме того, на распределение температуры будет существенно влиять жидкость, циркулирующая в промывочной системе коронки.

Таблица 1. Толщина слоя породы, срезанная алмазами однослойных коронок диаметром 93 мм с 324 алмазами

Схема торца коронки	$l_a$ , мм	Толщина слоя породы, мм		$h_1/h_2$
		$h_1$	$h_2$	
	5,13	0,022	0,002	11
	4,79	0,015	0,0019	7,9
	—	0,0087	0,0087	1

Примечание:  $l_a$  – расстояние между алмазами в секторе по линии резания;  $h_1$  и  $h_2$  – соответственно, толщина слоя породы, срезанного алмазами первого и второго (и последующих) рабочего ряда при установившемся режиме разрушения породы;  $h_{об}$  – углубка за оборот.

Для детального исследования температурных процессов на контакте алмазов с породой на

забое скважины было проведено моделирование тепловых и гидравлических процессов, протекающих при бурении на забое скважины. Результаты моделирования (рис. 1) показали, что алмазы первых радиальных рядов многорядных секторов сильнее омываются промывочной жидкостью, которая поступает в промывочный канал, и, следовательно, охлаждаются лучше, чем более отдаленные от промывочного канала алмазы вторых радиальных рядов. Поэтому алмазы второго радиального ряда каждого сектора подвергаются наибольшему нагреву и износу, и при прочих равных условиях они первыми будут выходить из строя.

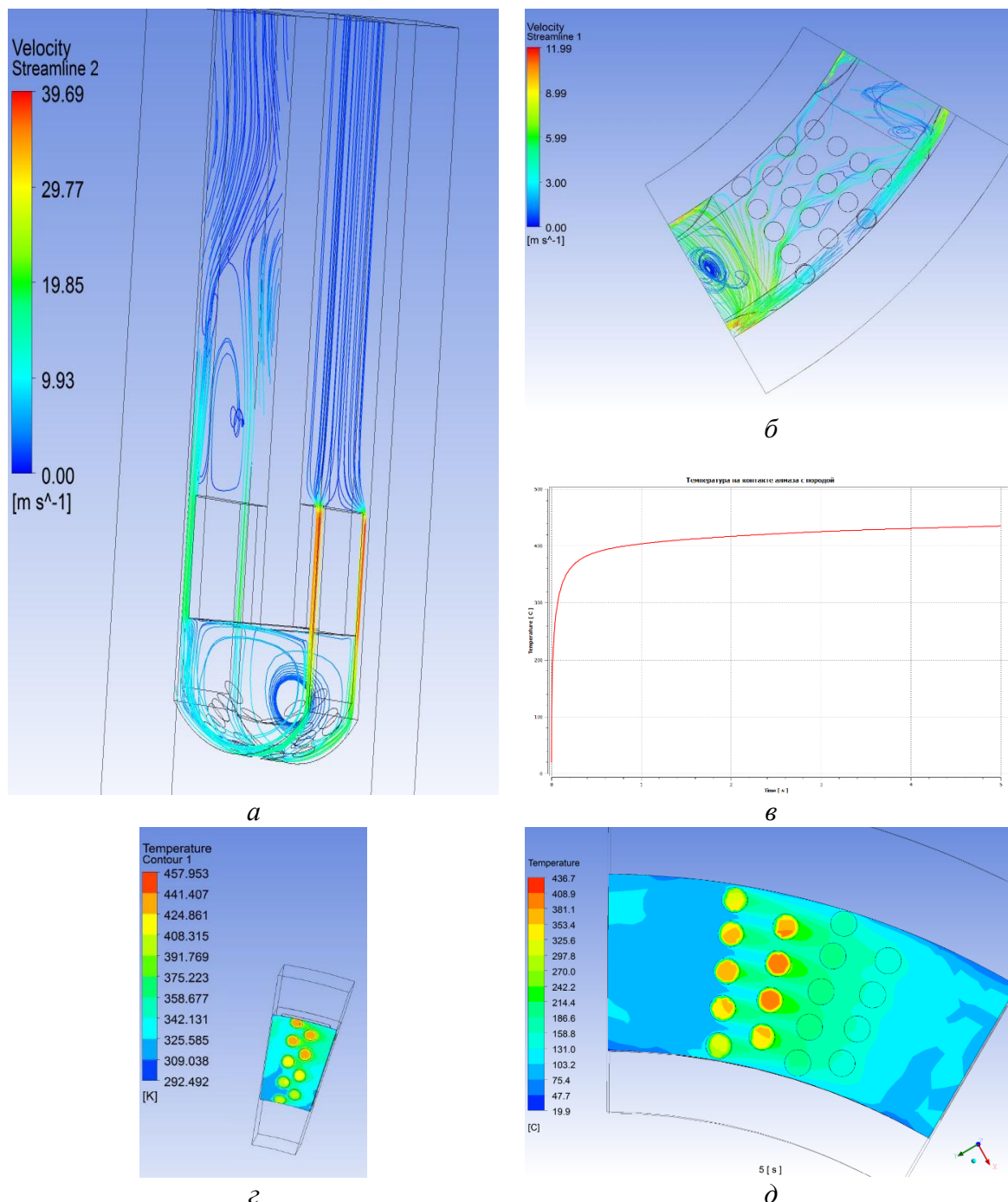


Рис. 1. Примеры результатов моделирования тепловых и гидравлических процессов, протекающих на забое скважины: а – линии тока промывочной жидкости в пределах сектора коронки; б – течение жидкости на забое; в – график изменения температуры алмаза; г – температура алмазов коронки с двухрядным сектором; д – температура алмазов коронки с четырёхрядным сектором



Рис. 2. Опытный образец коронки БСО-1

Следовательно, в коронках с многорядными секторами целесообразно в качестве алмазов первых двух радиальных рядов сектора использовать более прочные алмазы, причем наиболее термостойкими должны быть алмазы второго ряда.

Лишь алмазы коронки с двумя радиальными рядами в секторе равномерно омываются и охлаждаются промывочной жидкостью, что является одним из преимуществ данной конструкции коронки.

При одной и той же углубке за оборот температура нагрева алмазов коронки с двумя радиальными рядами в секторе в 1,3–3 раза меньше чем у коронки с четырьмя радиальными рядами (табл. 2), однако эта разница резко уменьшается с увеличением частоты вращения, практически исчезая при частотах свыше 800 мин<sup>-1</sup>.

С учётом результатов моделирования для дальнейшей конструкторской проработки были выбраны коронки с двумя и четырьмя рядами алмазов в секторе.

Таблица 2. Максимальная температура (°С) нагрева алмазов сектора для различных конструкций коронки и частот вращения (при осевой нагрузке 20 кН, подаче промывочной жидкости 40 дм<sup>3</sup>/мин)

Количество радиальных рядов в секторе	Температура нагрева, °С		
	4	579*	436**
2	457*	132**	78***

Примечание: \* – при частоте вращения 600 мин<sup>-1</sup>; \*\* – при частоте вращения 400 мин<sup>-1</sup>; \*\*\* – при частоте вращения 200 мин<sup>-1</sup>

На первом этапе, учитывая имеющиеся в ИСМ технологические возможности производства алмазных коронок, разработана конструкция однослойной коронки БСО-1 диаметром 93 мм, оснащенной термостойкими монокристаллическими алмазами с размером зерна 1,6/1,25 мм (рис. 2).

Рабочая часть коронки состоит из двенадцати секторов, разделены прямыми промывочными окнами длиной 8 мм, с четырьмя радиальными рядами алмазов. Особенностью конструкции данной коронки является оснащение радиальных рядов ее рабочего торца алмазными зёрнами различной прочности, т. е. прочность алмазных зёрен понижается от первого ряда к последнему ряду сектора.

Для коронки методом конечных элементов дополнительно определялись механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента (рис. 3), что позволило оценить её прочность при различных режимах бурения.

Опытные образцы разработанной коронки БСО-1 диаметром 93 мм испытывались на объектах ГПП «Донецкгеология». Испытания проводились при бурении скважин установкой УКБ-4С в породах VII-IX категории по буримости с использованием одинарного колонкового снаряда. Результаты сравнительных испытаний коронок БСО-1 и 01А3 приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний коронок типа БСО-1 и 01А3

Тип коронки	Количество, шт.	Средние показатели бурения	
		Механическая скорость, м/ч	Проходка на коронку, м
БСО-1	5	2,5	15,4
01А3	5	1,5	9,4

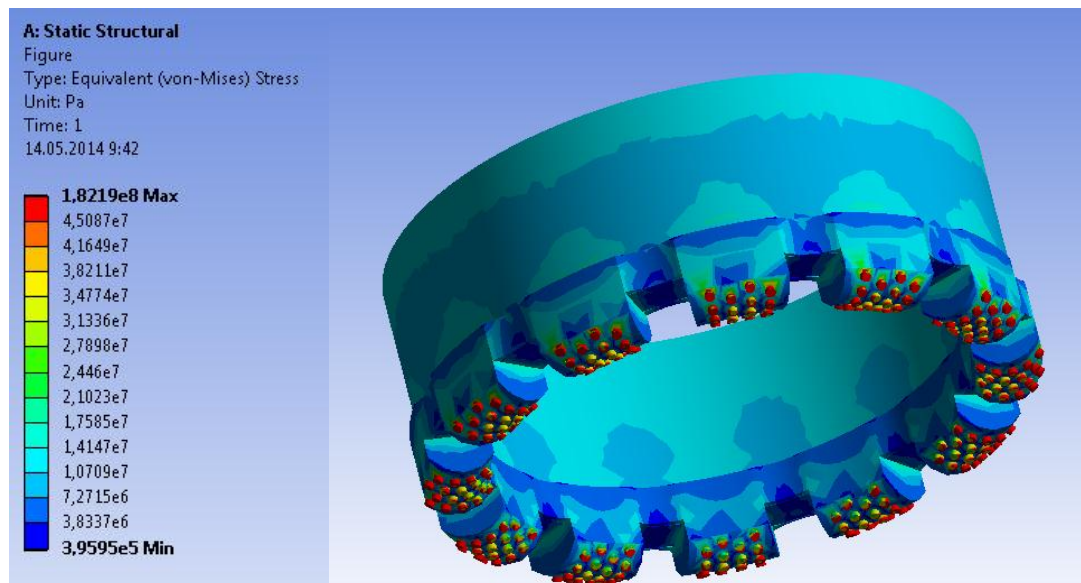


Рис. 3. Пример определения механических напряжений в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента

Результаты испытаний показали, что по сравнению с серийно выпускаемой коронкой 01А3 коронка БСО-1 обеспечила повышение механической скорости бурения в 1,67 раза. Проходка на коронку также увеличилась в 1,64 раза.

Полученные результаты также предварительно подтвердили возможность использования различного по прочности алмазного сырья в секторе, что позволяет оптимизировать расход монокристаллов разных групп прочности при изготовлении коронки [3].

*Приведені результати розробки одношарових алмазних коронок з монокристалами зернистістю 1600/1250 мкм з підвищеною термостійкістю, які були синтезовані в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України. Створення коронок базується на результатах моделювання теплових і гідравлічних процесів, а також механічного навантаження. При моделюванні враховувалися особливості роботи окремих алмазів, а також вплив на температурний режим частоти обертання бурового снаряда, інтенсивності подачі промивальної рідини і конструктивних особливостей коронки. Дані моделювання покладені в основу розробки нових коронок БСО-1, які пройшли попередні іспити в виробничих умовах.*

**Ключові слова:** одношарова алмазна коронка, синтетичні алмазні монокристали, моделювання роботи алмазної коронки, температурний режим алмазної коронки.

*The results of development single-layer diamond core bits equipped with single crystals grit 1600/1250 microns with high thermal stability synthesized in ISM by VN Bakul NAS Ukraine. Bit design is based on the results of modeling of thermal and hydraulic processes, as well as mechanical*



loading. Simulation reflects the specificity of individual diamond crystals, as well as the influence on the temperature of drill rate, drilling fluid flow rate and the design features of the bit. Simulation data as the basis for the development of new crowns BSO-1, passed preliminary tests in a production environment.

**Key words:** single-layer diamond core bit, synthetic diamond single crystals of diamond core bit modeling, temperature control of the diamond core bit.

### Литература

1. О процессе взаимодействия алмазов с забоем скважины при работе однослойных коронок / А. А. Каракозов, М. С. Попова, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 14. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2011. – С. 78–85.
2. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. науч. тр. – Вып.15, – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2012. – С. 203–206.
3. Моделирование работы алмазных резцов однослойных коронок на забое и оценка влияния схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения / А.А. Каракозов, М.С. Попова, С.Н. Парфенюк, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Наукові праці ДонНТУ, серія «Гірничо-геологічна». Випуск 16 (206). – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 162–166.

*Поступила 10.07.14*

УДК 622.24 (085). (477.62)

**А. М. Исонкин, Т. М. Дуда, Г. Д. Ильницкая**, кандидаты технических наук

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

### ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ «АЛМАЗ–ПОКРЫТИЕ–МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СВЯЗКА» НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛА МАТРИЦЫ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК

*Показано влияние переходной зоны «алмаз–покрытие–материал матрицы», сформированной одно- и двухслойным металлическим тугоплавким покрытием высокопрочных алмазов на износостойкость композита алмаз – WC–Co–Si.*

**Ключевые слова:** металлизация, тугоплавкое покрытие, синтетические алмазы, материал матрицы, износостойкость.

### Введение

Анализ данных о перспективах развития геологоразведочного бурения как области применения алмазного породоразрушающего инструмента повышенной работоспособности является одним из наиболее нужных, но и наиболее сложным с точки зрения условий его работы.

Алмазный породоразрушающий инструмент представляет собой макрокомпозит, в котором алмазы закреплены в металлической матрице. Опыт эксплуатации такого инструмента показывает, что 30–95% алмазов выпадают из матрицы, не достигая