

4. Калиниченко, О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с.
5. Колонковый снаряд. Патент на корисну модель № 31821 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / Калініченко О.І., Каракозов А.А., Зибінський П.В., Опубл. 25.04.2008, Бюл. №8.
6. Каракозов, А. А. Совершенствование технических средств и технологий отбора проб грунта при бурении геотехнических скважин с плавучих самоподъёмных установок на шельфе Чёрного моря / А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк, А.В. Хохуля, П.Л. Комарь // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сборник научных трудов. – Вып. 11 – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2008. – С. 66–74.
7. Каракозов, А. А. Оценка влияния компоновки низа бурильной колонны на механическую скорость бурения скважин гидроударными снарядами при отборе проб донных отложений // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». Випуск 7(135). – Донецьк, ДонНТУ, 2008. – С. 130–135.
8. Калиниченко, О. И. Установки для бесколонного бурения скважин на морских акваториях: Монография / Калиниченко О.И., Хохуля А.В., Зыбинский П.В., Каракозов А.А. – Донецк: Донбасс, 2013. – 163 с.
9. Колонковый снаряд. Патент на корисну модель № 81274 UA МПК(2013.01) E21B 21/00 25/00 / Каракозов А.А., Рязанов А.М., Парфенюк С.М., Титенок Н.І, Опубл. 25.06.2013, Бюл. №12.
10. Каракозов, А. А. Анализ рабочего цикла забивного пробоотборника с гидравлическим приводом / А. А. Каракозов, А. Н. Рязанов, В. И. Пилипец // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Выпуск 21. – Екатеринбург: УГГА, 1998. – С.170-177.
11. Пробовідбирач. Деклараційний патент № 51070 UA МПК(2006) E21B 25/18 / Каракозов А.А., Калініченко О.І., Рязанов А.М., Русанов В.А., Юшков І.О., Опубл. 15.11.2002, Бюл. №11.
12. Рязанов, А. Н. Теоретические исследования забивного пробоотборника с разжимающейся на рабочем ходе бойка пружинной / А. Н. Рязанов, О. В. Середа // Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». Випуск 14(181). – Донецьк, ДонНТУ, 2011. – С. 48–53.
13. Пробовідбірник. Патент на корисну модель № 76613 UA МПК(2013.01) E21B 25/18 / Каракозов А.А., Рязанов А.М., Зибінський П.В., Парфенюк С.М., Опубл. 10.01.2013, Бюл. №1.
14. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики. – М. : Высшая школа, 1986. – 416 с.
15. Александров, Е. В. Прикладная теория и расчёты ударных систем / Е. В. Александров, В. Б. Соколинский. – М. : Наука, 1969. – 201 с.

РАЗРАБОТКА ОДНОСЛОЙНЫХ КОРОНОК, АРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ АЛМАЗНЫМИ МОНОКРИСТАЛЛАМИ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТЬЮ

*А. А. Каракозов, М. С. Попова, Донецкий национальный технический университет, Украина
Р. К. Богданов, А. П. Загора, Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН
Украины*

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований однослойных алмазных коронок, оснащённых синтетическими монокристаллами с повышенной термостойкостью, синтезированными в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Потребность геологоразведочной отрасли в эффективном породоразрушающем инструменте для колонкового бурения и успешные результаты исследований в области синтеза

крупных монокристаллических термостойких алмазов обусловили разработку новых конструкций однослойных алмазных коронок, позволяющих применять на форсированные режимы бурения, обеспечивающие более интенсивное разрушение пород на забое и как следствие – увеличение механической скорости бурения.

Для успешного решения этой задачи необходимо проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований по изучению особенностей работы на забое однослойных алмазных коронок, касающихся определения нагрузок на конкретные алмазы в зависимости от конструкции коронки, вида раскладки и их месторасположения в секторе, а также картины циркуляции промывочной жидкости в коронке, обуславливающей эффективность очистки забоя от шлама и температурный режим коронки.

При этом вопросы определения нагрузок на конкретные алмазы в секторе имеют большое значение с точки зрения рационального использования различных партий алмазного сырья, отличающихся по прочностным характеристикам и стоимости.

Определение нагрузки на алмазы проводилось для коронок, схемы раскладки в которых подразделяются на два типа по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: I тип – алмазы находятся на разных линиях резания; II тип – алмазы находятся на одних линиях резания.

Геометрические параметры этих коронок рассчитывались по методике Н.В. Цыпина [1] с варьированием расчётных коэффициентов в рекомендуемых им пределах.

Анализ работы однослойных коронок и обработка результатов компьютерного моделирования показали, что наибольшее нагружение алмазных резцов наблюдается в начальный период работы коронки на забое. При работе в установившемся режиме наибольшее сопротивление со стороны породы испытывают алмазы, расположенные в первом рабочем ряду (первые два радиальных ряда). Однако, и среди этих алмазных резцов нагрузка, обусловленная сопротивлением породы, может быть неодинакова, например, для коронок II типа наиболее нагруженными являются алмазы второго радиального ряда. Кроме того, нагружение конкретного алмаза зависит не только от типа раскладки, расположения алмаза в линии резания, но и от отношения расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами впередиидущего сектора к расстоянию между алмазами внутри сектора. Следует отметить, что равномерная нагрузка на все алмазы коронки наблюдается только в случае размещения в каждом секторе одного рабочего ряда. Толщина снимаемого слоя породы любым монокристаллом в таких коронках всегда одинакова. Таким образом, эти коронки при прочих равных условиях должны обеспечивать максимум механической скорости при равномерной нагрузке на все алмазы [2].

Для коронок с несколькими рабочими рядами в секторе наиболее рациональной конструкцией, обеспечивающей более высокую механическую скорость бурения при меньшей нагрузке на алмазы, является коронка с раскладкой I типа. При такой раскладке алмазы первого рабочего ряда сектора при взаимодействии с породой испытывают одинаковое сопротивление. Однако нагрузка на алмазы первого рабочего ряда не менее чем в 2 раза превышает нагрузку, действующую на алмазы последующих рядов. Для коронок с раскладкой II типа характерно неравномерное распределение нагрузки на алмазы первого рабочего ряда. 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%) [3].

Чем больше радиальных рядов в секторе коронки, тем меньше будут задействованы в работе алмазы последних радиальных рядов этого сектора. Неравномерность распределения нагрузки ведет к преждевременному износу части алмазов, расположенных в передней части сектора, что снижает технико-экономические показатели применения данных коронок. Кроме того, при большой длине сектора повышается вероятность накопления шлама под ним. 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 меньшей прочности. В этом случае обеспечивается рациональное использование алмазного сырья при сохранении качества работы коронки.

Синтезированные в ИСМ партии алмазных монокристаллов зернистостью 1,25-1,6 мм отличаются по прочностным характеристикам, приведенным в табл. 1 (термообработка проводилась для учёта потери прочности алмаза при его длительной работе на забое скважины).

Таблица 1 – Прочностные характеристики алмазных монокристаллов зернистостью 1,25-1,6 мм

| Номер партии монокристаллов | Прочность P , Н | |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|
| | Исходная | После термообработки |
| 1 | 1630 | 1300 |
| 2 | 2160 | 1250 |
| 3 | 1900 | 840 |
| 4 | 1740 | 740 |

Эти монокристаллы в любых сочетаниях могут использоваться при изготовлении алмазных коронок при условии, что в любом радиальном ряду будут использоваться алмазы только из одной партии или из партий с близкими прочностными свойствами.

Пример возможных схем раскладок I типа при использовании алмазов различной прочности для коронки диаметром 59 мм с двумя, четырьмя и шестью радиальными рядами в секторе показан в табл. 2. При этом параметры коронок подобраны таким образом, что в них содержится одинаковое количество алмазов и при равной осевой нагрузке обеспечивается одна и та же углубка за оборот. Величина углубки за оборот, приведенная в табл. 2, рассчитывалась для породы VII категории по буримости с твёрдостью по штампу $\sigma_{ш}=3000$ МПа. При этом, для оценки нагрузки на алмазы при форсированном режиме работы, осевая нагрузка на коронку была принята из условия нагружения одного алмаза усилием, равным 10% от критической нагрузки для монокристалла второй партии после термообработки. Таким образом, расчётная осевая нагрузка для данных коронок может быть в 1,75-2 раза больше, чем рекомендуемая для серийных коронок этого диаметра.

Данные по нагрузкам на единичный алмаз в табл. 2 приведены с учётом результатов [4], показывающих, что:

- для коронки с двумя радиальными рядами в секторе все алмазы будут нагружены одинаково;
- для коронки с четырьмя радиальными рядами в секторе нагрузка на алмазы первых двух рядов будет в 4 раза больше нагрузки на третий и четвёртый ряды;
- для коронки с шестью радиальными рядами в секторе нагрузка на алмазы первых двух рядов будет в 2,66 раза больше нагрузки на третий и последующий ряды.

Анализ табл. 2 позволяет сделать следующие выводы.

При работе в форсированном режиме в коронке с двумя радиальными рядами запас прочности составляет 6-10 для алмазов различных партий монокристаллов.

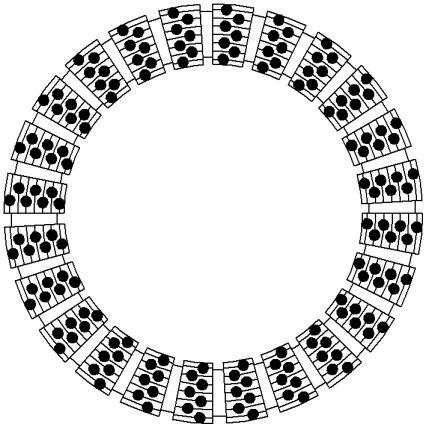
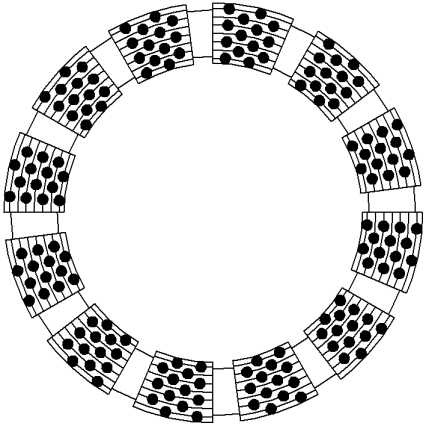
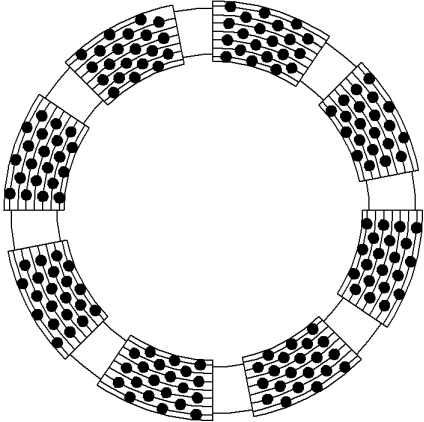
Для коронки с четырьмя радиальными рядами для первых двух рядов этот показатель составляет 6,25-6,5 при условии использования алмазов первых двух партий. Для третьего и четвёртого ряда запас прочности будет находиться в пределах 14,8-16,8 даже при условии использования алмазов третьей и четвёртой партий.

Для коронки с шестью радиальными рядами по аналогии имеем запас прочности равный, соответственно, 5,9-6,1 и 9,1-10,3.

Таким образом, исходя даже из пятикратного запаса прочности, можно сделать вывод о возможности использования имеющихся алмазов во всех приведенных выше конструкциях коронок. Естественно, при меньших осевых нагрузках ситуация будет ещё более благоприятной.

ятой с точки зрения обеспечения прочности алмазных монокристаллов при работе на забое.

Таблица 2 – Нагрузка на алмазы в радиальных рядах для различных вариантов раскладок для однослойной коронки диаметром 59 мм

| Конструкция коронки | Количество | | | Осевая нагрузка на коронку, кН | Нагрузка на алмазы в рядах, Н | Углубка за оборот, мм |
|---|------------|---------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | секторов | алмазов | радиальных рядов | | | |
|  | 24 | 168 | 2 | 21 | 125 | 0,42 |
|  | 12 | 168 | 4 | 21 | 200/200/50/50 | 0,42 |
|  | 8 | 168 | 6 | 21 | 213/213/81/81/81/81 | 0,42 |

Для оценки работоспособности коронок, в радиальных рядах которых установлены алмазы различной прочности, запланирован ряд последовательных экспериментов.

На первом этапе были изготовлены опытные алмазные коронки диаметром 59 мм (рис. 1) с использованием имеющегося пуансона для разработанных ранее коронок с 22 радиальными рядами алмазов в секторе. Размер и прочностные показатели алмазов соответствуют данным табл. 1.

Испытания, проходившие в ИСМ, осуществлялись в лабораторных условиях на экспериментальном стенде, выполненном на основе модернизированного радиально-сверлильного станка модели 2Н58 с мощностью двигателя основного привода 13 кВт, дополнительно оснащенного гидравлической системой подачи и системой промывки скважины. Гидравлическая система предназначена для плавного регулирования величины осевой нагрузки.



Рис. 1. Опытные образцы однослойных алмазных коронок.

Она состоит из пульта управления регулирования давления в гидросистеме, шлангов высокого давления и исполнительного гидроцилиндра, установленного на сверлильной головке станка. Пульт управления, оснащенный насосом Г-12-21А и регулятором давления РД-4, обеспечивает плавное регулирование осевой нагрузки на коронку в пределах 0-2500 даН. В станке имеется многоскоростной редуктор, позволяющий ступенчато регулировать частоту вращения от 35 до 1250 об/мин. Кроме этого станок оборудован редуктором, который обеспечивает принудительную механическую подачу шпинделя в диапазоне от 0,063 до 3,15 мм, что позволяет проводить исследования при постоянной механической скорости бурения и разных сочетаниях частоты вращения и осевой нагрузки.

Для измерения износа алмаза по высоте после проведения испытаний использовался специальное устройство – измерительная стойка с индикаторной головкой типа МИГ-1, позволяющая делать измерения с точностью до 1 мкм (рис. 3). За счет дополнительного оснащения измерительной стойки вертикальной призмой коронка при каждом следующем измерении может быть зафиксирована в том же самом положении по соответствующим отметкам.

Опытное бурение выполнялось по диориту VIII категории по буримости при следующих режимах бурения: частота вращения 400 об/мин; осевая нагрузка 500–1000 даН. За базу сравнения были приняты серийные импрегнированные буровые коронки типа БС06 диаметром 59 мм, оснащенные синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм. Результа-

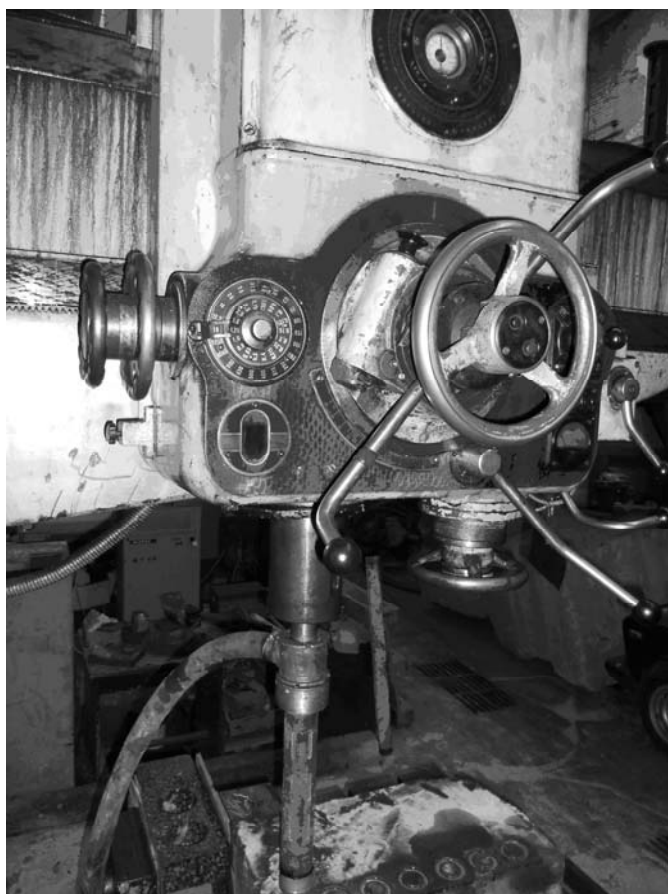


Рис. 2. Экспериментальный стенд для испытаний однослойных алмазных коронок.

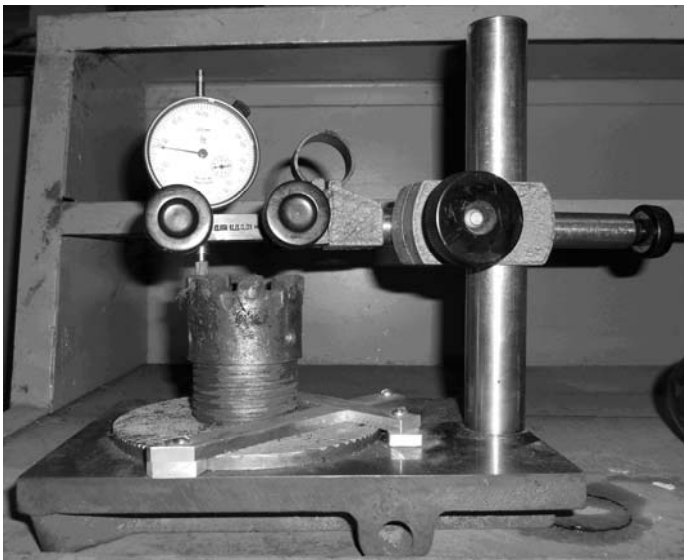


Рис. 3. Измерительная стойка с индикаторной головкой типа МИГ-1.

ми алмазами с размером зерна 1600/1250 мкм.

Таблица 3 – Результаты сравнительных лабораторных испытаний буровых коронок

| Тип коронки | Размер алмазов, мкм | Параметры режима бурения | | Механическая скорость бурения, $V_{\text{мех}}$, м/ч |
|---------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|---|
| | | Частота вращения, об/мин | Осевая нагрузка, даН | |
| Однослойная (экспериментальная) | 1600/1250 | 400 | 500 | 2,9 |
| | | | 750 | 5,0 |
| | | | 1000 | 6,0 |
| Импрегнированная БС06 | 315/250 | 400 | 500 | 2,1 |
| | | | 750 | 2,6 |
| | | | 1000 | 3,3 |

В ДонНТУ испытания коронки проводились в лабораторных условиях на буровом станке СКБ-4, промывка обеспечивалась насосом НБЗ-120/40. Режимы бурения пока варьировались в пределах, соответствующих имеющимся рекомендациям. Частота вращения изменялась от 280 об/мин до 640 об/мин. Осевая нагрузка изменялась от 6 кН до 12 кН. Согласно рекомендациям для алмазного бурения коронками диаметром 59 мм подача промывочной жидкости составляет от 15 л/мин до 40 л/мин. Однако, в ходе эксперимента выяснилось, что для нормальной работы коронки данной конструкции подача промывочной жидкости должна быть не меньше 24 л/мин, т.е. подачи насоса 15 и 19 л/мин вообще нельзя использовать. Это связано с тем, что при малых подачах жидкости из-за большой длины сектора происходит скопление шлама в его сбегавшей части (рис.4). Результаты экспериментального бурения опытной коронкой по песчанику показаны на рис. 5.

Эксперимент показал, что использование новых алмазных монокристаллов даёт существенные результаты с точки зрения повышения механической скорости бурения: первоначальная механическая скорость бурения по таким породам как песчаник может достигать 20 м/час, а по алевролитам – не менее 25 м/час. При этом подтвердилась возможность использования в секторе коронки алмазного сырья разной прочности.

Учитывая полученные данные и потребности буровых предприятий, для второго этапа экспериментальных исследований и последующих производственных испытаний разработана конструкция однослойной буровой коронки диаметром 93 мм, оснащенной термостойкими монокристаллическими алмазами с размером зерна 1600/1250 мкм.



Рис. 4. Скопление шлама на сбегавшей части сектора коронки

Алмазы в секторе размещены по I схеме раскладки. Рабочая часть коронки состоит из двенадцати секторов по четыре радиальных ряда алмазов в каждом (аналог – вторая коронка из табл. 2). Сектора разделены прямыми промывочными окнами длиной 8 мм. Оснащение радиальных рядов рабочего торца коронки осуществляется алмазными зернами различной прочности: первые два ряда выполнены из монокристаллов первой и второй партии, а последние – из монокристаллов третьей и четвертой партии.

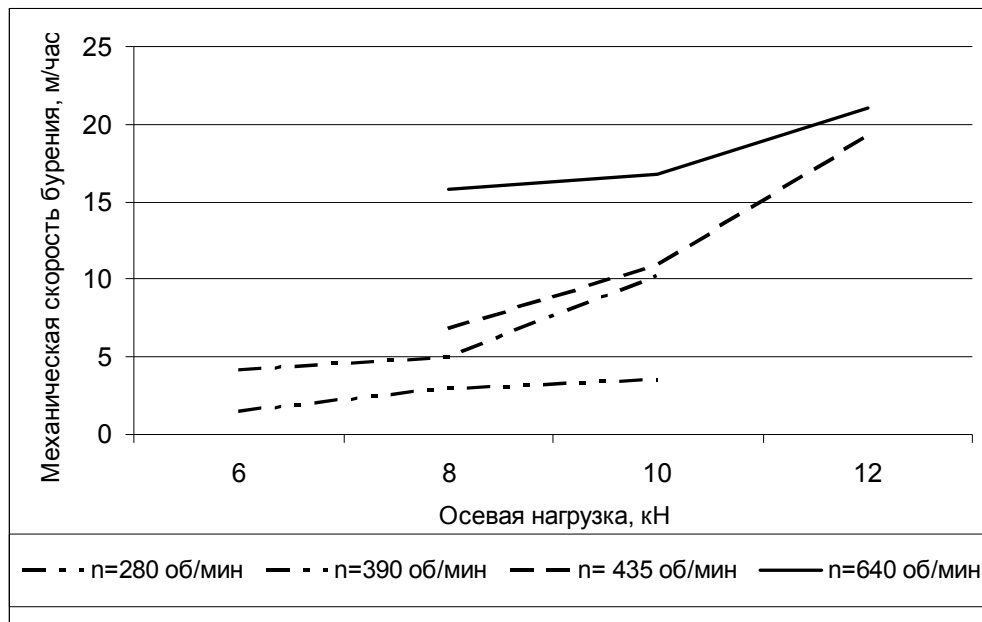


Рис. 5. Экспериментальные данные изменения механической скорости бурения

Список литературы

1. Цыпин, Н. В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента / Н. В. Цыпин. – К.: Наукова думка, 1983. – 191 с.
2. Каракозов, А. А. 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.
3. Каракозов, А. А. 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.
4. Каракозов, А. А. 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.