

материалов обеспечили дальнейшее развитие алмазного бурения, расширение областей применения и повышение его эффективности.

*Наведено результати досліджень по створенню конструкцій бурових коронок, оснащених дрібними фракціями синтетичних алмазів і надтвердими композиційними алмазовмісними матеріалами.*

**Ключові слова:** бурова коронка, концентрація і зернистість алмазів, сектор коронки, форма торця матриці.

*The results of researches are resulted on creation of constructions of drilling tools, equipped shallow factions of synthetic diamonds and superhard composition containing diamond materials.*

**Key words:** drilling tools, concentration and grittiness of diamonds, sector of drilling tools, form of butt end of matrix.

### Литература

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В. Н. Бакуля, – К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.
2. Оницин В. П. Оценка распределения давлений под торцом импрегнированных коронок // ОНТИ ВИТР. – 1964. – № 46. с. 61–65.

Поступила 20.06.12

УДК 622.244.4.06

**А. И. Вдовиченко**, член-корр АТН Украины

*Союз буровиков Украины*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ

*На основании углубленного анализа опубликованных результатов отечественных научно-производственных экспериментов с достижением рекордных показателей при использовании эмульсионных промывочных жидкостей с повышенными смазочными свойствами уточнены отдельные закономерности влияния поверхностно-активных веществ на процесс алмазного бурения, которые могут быть использованы в новых разработках.*

**Ключевые слова:** алмазное бурение, поверхностно-активные вещества, стойкость алмазного инструмента.

В течение 100 лет с момента изобретения алмазной коронки (1862 г.) ее широкое использование в колонковом бурении сдерживалось растущей стоимостью природных алмазов. Применение с 1899 г более дешевого дробового бурения, а с 1923 г твердых сплавов еще более ограничило область эффективного использования алмазов в колонковом бурении.

И только с появлением в начале 30-х годов прошлого века мелкоалмазных коронок получило развитие алмазное бурение. Фирма «Антон Смит» (Нью-Йорк) в то время выпустила три типа мелкоалмазных коронок: Ascolait из высокосортных бортсов, закрепленных в твердом сплаве; Castolait из светлых алмазов, закрепленных в бронзе и Nicolait из алмазов, закрепленных в специальном твердом сплаве. Эти коронки диаметром 26 мм использовали при бурении шпуров на глубину до 15 м в твердых породах со скоростью вращения 2000–4000 об/мин, обеспечивая очень высокую производительность. Такого же

типа коронки диаметром 36–46 мм начали широко использовать в колонковом бурении в США, Канаде, Южно-Африканском Союзе, Швеции и Норвегии [1].

В бывшем Советском Союзе алмазное бурение применяли в основном при подземном бурении восстающих и горизонтальных скважин в крепких породах в случаях, когда твердыми сплавами эти породы не бурятся, а дробь не удерживается на забое.

В середине 60-ых годов в геологоразведке дробовое бурение начало постепенно заменяться на алмазное. Этому способствовало широкое использование консистентных антивибрационных смазок (КАВС), а также смазочных добавок (СД) и поверхностно-активных веществ (ПАВ) к промывочным жидкостям, что привело к революционному скачку в повышении эффективности алмазного бурения [2]. В этот период проявляется всплеск научной и опытно-методической деятельности по совершенствованию технологии бурения геологоразведочных скважин. Было проведено огромное количество экспериментальных исследований, результаты которых оперативно использовали на практике, показывая при этом выдающиеся достижения мирового уровня, не превзойденные по некоторым показателям до настоящего времени. Результаты этих достижений в свое время были изучены недостаточно, вследствие чего не совсем верно были определены оптимальные направления дальнейшего совершенствования технологии алмазного бурения. Это привело к тому, что несмотря на огромное количество в дальнейшем научных разработок их практическая реализация в последние десятилетия не привела к ожидаемому результату. Проведение подобных экспериментальных работ и промышленных испытаний в современных условиях весьма затруднено из-за высокой их стоимости и отсутствия планомерной и целенаправленной системы финансирования научной деятельности. Это вызывает необходимость поиска менее затратных путей решения современных научно-технических задач. Среди таких путей особого внимания заслуживают новые подходы к изучению результатов прошлых исследований, практическая реализация которых привела к выдающимся достижениям.

Цель настоящей работы – уточнить закономерности действия СД и ПАВ на процесс алмазного бурения на основе углубленного анализа результатов ранее проведенных научно-экспериментальных исследований и производственных испытаний эмульсионных промывочных жидкостей, массовое промышленное применение которых позволило достичь наиболее высокой эффективности бурения геологоразведочных скважин алмазным инструментом.

Предметом исследований являются опубликованные результаты научно-экспериментальных работ, промышленных испытаний и практического применения промывочных жидкостей с повышенными смазочными свойствами, выполненные УкрГИПРОНИИнефть и Партией производственно-технической тематики треста «Киевгеология» в 1967–1972 гг, широкое использование которых при бурении разведочных скважин на Кременчугском железорудном месторождении привело к выдающимся достижениям в алмазном бурении [3; 4].

Общий обзор этих работ и предварительные выводы приведены в [5; 6] и апробированы на международных научно-технических конференциях.

В работе особое внимание уделили результатам экспериментальных работ, которые входят в противоречие с известным положением о зависимости механической скорости бурения от поверхностного натяжения промывочной жидкости, которую установил профессор Днепропетровского горного института Е. Ф. Эпштейн в 1969 г. [7].

Из всех проведенных опытов с растворами и эмульсиями, применяемыми в то время в бурении в качестве понизителей прочности пород (NaCl, HCl, NaOH, CaCl<sub>2</sub>, сульфонол, ОП-10, олеиновая кислота, омыленная смесь гудронов (ОСГ), сульфатное мыло, щелочные отходы дизельного топлива, масло машинное, керосин), не было выявлено снижения прочности породы при разрушении ее алмазным инструментом. В некоторых опытах с эмульсиями и маслами, наоборот, отмечено некоторое повышение (на 3–7 %) прочностных свойств пород. Это свидетельствует о том, что в условиях бурения гранитов алмазным инструментом не проявляется расклинивающего действия эффекта Ребиндера в зоне предразрушения и тем самым экспериментально не подтверждено предположение Е. Ф. Эпштейна для условий алмазного бурения твердых пород.

В результате исследований влияния ПАВ (сульфонола НП-1, ОП-10, ОСГ и таллового масла) на скорость разрушения наиболее распространенной гранитной породы было установлено невысокое повышение этого показателя – 8–14 %, что не соответствует расчетам по критерию Эпштейна, в соответствии с которым это повышение должно составлять 39–53 %.

Исследованиями также были выявлены интересные закономерности влияния окружной скорости на коэффициент трения при использовании различных эмульсий и смазок. Так, с повышением скорости скольжения повышается коэффициент трения. Однако в случае использования эмульсий при скорости скольжения 3 м/с коэффициент трения существенно снижается. Этим можно объяснить вхождение в безвибрационный режим при переходе на повышенную скорость вращения бурильного вала (600–1000 об/мин), а также повышение стойкости алмазных коронок при бурении в этом режиме. С применением ОСГ, в отличие от ЭЛ-4, значительно снижается коэффициент трения в глинистых растворах, что является важнейшим преимуществом ОСГ.

Следует отметить, что КАВС в большей степени снижает коэффициент трения и в меньшей степени подвергается влиянию нагрузки по сравнению с эмульсией. Однако при этом не отмечается скачка снижения коэффициента трения с повышением скорости скольжения более 2 м/с.

Особую значимость приобретают исследования изнашивания единичного алмаза о горную породу (гранит) в среде 2 %-ной водной эмульсии на основе омыленной смеси гудронов (ОСГ).

Установлено, что линейный износ алмаза при работе в среде эмульсии с ОСГ в 13–18 раз меньше, чем при работе в водной среде, а глубина поврежденного слоя алмаза при этом уменьшается более чем в 3 раза (с 0,044 до 0,014 мм). Отмечается линейная зависимость интенсивности износа алмаза в течение всего периода его работы на эмульсии и прогрессирующее резкое повышение интенсивности износа алмаза в водной среде. Микрорельеф рабочей поверхности изношенного в эмульсии алмазного кристалла значительно менее повреждается. Это свидетельствует об образовании прочной структурированной защитной адсорбционной пленки на рабочей поверхности алмаза при работе в эмульсии.

В результате исследований в инфракрасном спектре показали, что интенсивность образования в зоне трения органометаллических мыл выше в растворах с ОСГ, талловым маслом и другими растительными и животными продуктами. Благодаря высокой адгезионной и когезионной способности хемосорбированных вязко-пластичных пленок органо-металлических водонерастворимых мыл обеспечиваются повышенные смазочные и противоизносные свойства водных растворов высокомолекулярных карбоновых кислот и их производных.

В результате влияния ПАВ на скорость абразивного износа установлено, что добавки ПАВ к воде снижают абразивный износ материалов матрицы. Наибольшее снижение скорости абразивного износа достигается в ограниченно растворимых средах при большом поверхностном натяжении. Добавки ОСГ и таллового масла в количестве 0,5 % позволяют максимально снизить износ до уровня среды веретенного масла.

Результаты стендовых исследований работоспособности алмазного инструмента в средах с добавками ПАВ (табл. 1) показали, что при их применении механическая скорость повышается незначительно – на 6–8 %. Это подтверждает экспериментальные данные степени влияния ПАВ на скорость разрушения горных пород.

**Таблица 1. Показатели стендовых исследований работоспособности алмазных коронок КАИ (ИСМ) диаметром 59 мм в различных промывочных средах**

Показатель	Единица измерения	Водная среда	Добавка к воде ПАВ	
			сульфонол НП-1 (0,1 %)	ОСГ (2,0 %)
Проходка на коронку	м	5,9	9,7	18,5
Механическая скорость	м/ч	1,09	1,16	1,18
Расход алмазов,	карат/м	3,3	1,8	1,0
Износ матрицы по высоте	мм/м	0,94	0,52	0,27

При постоянной скорости вращения (238 об/мин) и осевой нагрузке (500 кгс) на стенде повышение скорости бурения обеспечивалось только за счет влияния ПАВ. Испытания проводили на блоке Лавриковского железистого кварцита 12 категории по буримости алмазными коронками типа КАИ диаметром 59 мм конструкции Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ).

Как показали результаты исследований, при бурении на водном растворе сульфонола проходка на коронку повысилась в 1,8 раза, а при бурении на эмульсии ОСГ – в 3,5 раза по сравнению с результатами бурения в водной среде. Показателен также характер износа коронок. При отработке на эмульсии износ равномерный, без сколов и выкрашиваний. Это также свидетельствует об эффективном действии защитной адсорбционной пленки на алмазы и матрицу коронки.

На основании положительных лабораторных и стендовых исследований выполненных УкрГИПРОНИИнефть, в 1969 г. Партия производственно-технической тематики треста «Киевгеология» провела промышленные испытания эмульсии на основе ОСГ в Кременчугской ГРЭ на Лавриковском железорудном месторождении при алмазном бурении диаметром 76 мм по трещиноватым железистым кварцитам 11–12 категории по буримости в интервале 100–400 м.

Таблица 2. Результаты промышленных испытаний алмазных коронок КАИ (ИСМ) 76 мм

Показатель	Единица измерения	Водная среда добавок	Добавка ОСГ 2, %	Изменение показателя, %
Проходка на коронку	м	3,2	14,2	450
Механическая скорость	м/ч	0,34	1,45	425
Проходка за рейс	м	1,3	2,9	220
Удельный расход алмазов	карат/м	6,5	1,6	–396
Удельный расход смеси гудронов	кг/м	–	3,1	–
Скорость вращения бурильного вала	об/мин	182	470	260
Осевая нагрузка на коронку	кгс	700–1000	1000–1500	150

Высокие показатели были достигнуты при использовании коронок КАИ. Проходка на коронку повысилась в 4,5 раза. За счет повышения скорости вращения в 2,5 раза и осевой нагрузки в 1,5 раза механическая скорость возросла более чем в 4 раза. С повышением проходки на коронку рейсовая проходка увеличилась в 2,2 раза. Этому способствовало также уменьшение подклиники керна за счет смазки.

Промышленные испытания добавок ОСГ к глинистому раствору с использованием коронок диаметром 76 мм, оснащенных природными алмазами производства Кабардино-Балкарского завода алмазного инструмента (КБЗАИ) также показали высокие результаты (табл. 3). Исходный раствор обрабатывали УЩР, его плотность составляла 1,2 г/см<sup>3</sup>, вязкость – 22–25 с, водоотдача в течение 30 мин – 12 см<sup>3</sup>. Концентрация в глинистом растворе ОСГ 1,5–2,0 % позволяет повысить скорость вращения до 470 об/мин и тем самым в 2 раза повысить механическую скорость бурения при увеличении более чем в 2,3 раза проходки на коронку.

Результаты опытно-методических работ показали, что применение КАВС позволяет за счет снижения сил трения и вибрации повысить скорость вращения до 277 об/мин и механическую скорость – на 30–60 %, проходку за рейс – на 13–25 % при повышении стойкости алмазных коронок на 30–50 %, и снижении удельного расхода алмазов на 25–33 %.

Для определения эффективности широкого использования эмульсионной промывочной жидкости на основе ОСГ при бурения скважин в условиях Кременчугского железорудного месторождения были проведены опытно-методические работы с отработкой при непрерывном хронометраже 57 алмазных коронок типов КАИ, 02И4 и 02И3 диаметром 76 мм.

В качестве базы для сравнения взяли результаты обработки 151 таких же типов алмазных коронок в аналогичных условиях без смазки и эмульсии. Полученные результаты (табл. 3) полностью подтвердили теоретические предпосылки, взятые за основу при разработке рецептуры эмульсионной промывочной жидкости на основе ОСГ.

При форсированных режимах бурения с повышением скорости вращения до 470–699 об/мин и нагрузки на коронку до 1400 кг для коронок О2И3 механическая скорость повышалась до 1,4 м/ч (в 2,6 раза), рейсовая проходка – до 3,0 м (в 2 раза) при повышении стойкости коронки до 35 м (в 5 раз) и снижении расхода алмазов до 0,46 карат/м.

При бурении с глинистым раствором в таких же условиях показатели были несколько ниже: механическая скорость – 1,2 м/ч; проходка за рейс – 2,6 м; стойкость коронки – 19,0 м; удельный расход алмазов – 0,85 карат/м.

Это рекордные показатели, которых до настоящего времени современными технологиями в сопоставимых условиях не достигнуто, особенно в таких экстремальных условиях, как бурение диаметром 76 мм трещиноватых и очень твердых высокоабразивных кварцитов. Эти показатели могут служить критерием оценки новых разработок в технологии алмазного бурения.

Таблица 3. Показатели использования эмульсии на основе ОСГ на Кременчугском железорудном месторождении

Показатель	Единица измерения	Водная среда без добавок	Добавка ОСГ 2, %	Изменение показателя, %
<b>Коронки КАИ (ИСМ) 76мм</b>				
Проходка на коронку	м	3,2	12,9	268
Механическая скорость	м/ч	0,34	1,2	189
Проходка за рейс	м	1,3	3,0	203
Удельный расход алмазов	карат/м	7,0	1,8	-262
<b>Коронки О2И4 (КБЗАИ) 76 мм</b>				
Проходка на коронку	м	6,5	16,2	250
Механическая скорость	м/ч	0,5	1,1	220
Проходка за рейс	м	1,5	2,8	187
Удельный расход алмазов	карат/м	2,5	1,0	-250
<b>Коронки О2И3 (КБЗАИ) 76мм</b>				
Проходка на коронку	м	7,5	20,3	+267
Механическая скорость	м/ч	0,55	1,13	+238
Проходка за рейс	м	1,53	2,54	+66
Удельный расход алмазов	карат/м	2,29	0,79	-290
Скорость вращения	Об/мин	153–193	277	–
Нагрузка на коронку	кГс	900–1400	900–1400	–

В целом на Кременчугском железорудном месторождении за период с 1968 по 1971 гг. за счет широкого применения эмульсионных промывочных жидкостей на основе ОСГ производительность возросла со 143 до 330 м/ст.- мес. при максимальной 482 м/ст.- мес. Средняя проходка на алмазную коронку повысилась с 7 до 21 м при снижении удельного расхода алмазов с 2,5 до 0,9 карат/м. Средняя механическая скорость бурения возросла с 0,6 до 1,2 м/ч.

### Выводы

1. Результаты отечественных научно-экспериментальных исследований, реализованные при достижении рекордных производственных показателей, представляют большой научно-практический интерес и при более глубоком изучении их можно успешно использовать для уточнения отдельных закономерностей бурового процесса, которые могут быть положены в основу дальнейшего совершенствования технологии бурения.

2. В результате изучения результатов экспериментальных исследований и промышленных испытаний при разработке эмульсионной промывочной жидкости на основе ОСГ дополнительно выявлены новые закономерности влияния ПАВ на процесс алмазного бурения.

3. Убедительно доказано, что основное действие эффекта Ребиндера при алмазном бурении проявляется не в снижении прочности разрушаемой породы, а повышении стойкости алмаза и матрицы коронки за счет образования на рабочей поверхности быстро обновляющейся сверхпрочной хемосорбированной пленки, обладающей особыми структурно-механическими свойствами с повышенными адгезионными и когезионными характеристиками.

4. Высокие моющие свойства ПАВ (в определенных пределах) существенно влияют на очистку забоя от шлама, значительно снижают его повторное измельчение, что также способствует в незначительной степени (до 10 %) повышению скорости бурения.

5. Дальнейшее совершенствование рецептур, а также технологии приготовления и применения эмульсионных промывочных жидкостей для алмазного бурения должно осуществляться с учетом установленных закономерностей.

6. Установленные закономерности следует также учитывать в научных разработках, при конструировании и практическом применении алмазного инструмента.

*На підставі поглибленого аналізу опублікованих результатів вітчизняних науково-виробничих експериментів з досягненням рекордних показників при використанні емульсійних промивних рідин з підвищеними змащувальними властивостями уточнено окремі закономірності впливу поверхнево-активних речовин на процес алмазного буріння, які можуть бути використані в нових розробках.*

**Ключові слова:** алмазне буріння, поверхнево-активні речовини, стійкість алмазного інструменту

*On the basis of deep analysis of the published results of domestic developmental experiments, with achievement of record indexes at the use of emulsive washings liquids with enhanceable lubricating properties, separate conformities to law of influence surface active matters are specified on the process of the diamond boring drilling, which can be used in new developments.*

**Key words:** diamond drilling, surface active matters, resistance of diamond tools.

### Литература

1. Справочник разведчика полезных ископаемых. Разведочное бурение / Б. И. Воздвиженский, Н. И. Куличихин, Е. Г. Меерсон и др. – М.–Л.: Госнаучтехиздат нефтяной и горно-топливной литературы, 1946. – 712 с.
2. Блинов Г. А., Курочкин П. Н., Суманев Н. Н. Антивибрационные средства для алмазного бурения. – Л.: Недра, 1974. – 120 с.
3. Вдовиченко А. И. О некоторых особенностях действия поверхностно-активных веществ при алмазном бурении // Матер. міжнар. конф. «Форум гірників – 2011». – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2011. – С. 24–29.
4. Вдовиченко А. И. К вопросу об эффекте Ребиндера и действии поверхностно-активных веществ при алмазном бурении // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения. – Вып. 14. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – С. 134–140.
5. Буровые растворы с улучшенными смазочными свойствами / А. Н. Яров, Н. А. Жидовцев, К. М. Гильман, М. Ш. Кендис. – М.: Недра, 1975. – 143 с.
6. Зайонц О. Л., Комар В. Я., Арцимович Г. В. Опыт скоростной проходки скважин алмазными коронками. – К.: Наук. думка, 1973. – 36 с.
7. Гавриленко М. М., Давиденко О. М., Дудля М. А. Поверхностно-активные антифрикционные добавки при бурении скважин. – К.: Наук. думка, 1990. – 104 с.

*Поступила 14.06.12*