

УДК 622.24.051

**А. А. Кожевников**, д-р техн. наук

*Национальный горный университет, г. Днепропетровск, Украина*

**150 ЛЕТ АЛМАЗНОЙ БУРОВОЙ КОРОНКЕ**  
**Часть 2**  
**РАБОТЫ ДГИ-НГУ ПО АЛМАЗНОМУ БУРЕНИЮ**

*Приведен обзор работ, выполненных в ДГИ-НГУ по алмазному бурению скважин.*

**Ключевые слова:** *коронка, алмаз, бурение, горная порода.*

Днепропетровский горный институт (ДГИ), ныне Национальный горный университет (НГУ), основан в 1899 году. Кафедра техники разведки месторождений полезных ископаемых создана в нем в 1929 году. Но работы по алмазному бурению начаты еще до создания кафедры. Профессор А. Я. Гиммельфарб, основатель кафедры, в 20-е годы прошлого столетия опубликовал ряд статей по алмазам и их применению в промышленности, а также по алмазному бурению на уголь в Донбассе и на железные руды Курской магнитной аномалии [1].

Цель настоящей статьи дать краткий обзор работ, выполненных сотрудниками кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых ДГИ-НГУ в области алмазного бурения геологоразведочных скважин.

Работы по алмазному бурению скважин в ДГИ-НГУ выполнялись по двум направлениям:

- конструкторскому;
- технологическому, т. е. по технологии бурения алмазными коронками.

К конструкторскому направлению относятся следующие разработки:

- алмазные буровые вибрационные коронки [2];
- алмазная буровая коронка с несимметричной гидравлической системой [3];
- съемная алмазная буровая коронка [4];
- дисковый породоразрушающий инструмент [5].

В ДГИ и Тульском филиале ЦНИГРИ разработаны коронки алмазные буровые виброгасящие 01АЗ-ЖМ с природными алмазами и 01АЗсв-ЖМ с синтетическими алмазами [2]. Корпуса коронок выполнены из виброгасящего (демпфирующего) композиционного материала ДЗ0-МП. Диаметры коронок – 46, 59, 76 и 93 мм. Коронки предназначены для вращательного бурения геологоразведочных скважин кольцевым забоем с отбором керна в малоабразивных, монолитных, слаботрещиноватых породах IV-IX категорий по буримости. Применение коронок 01АЗ-ЖМ и 01АЗсв-ЖМ взамен коронок 01АЗ и 01АЗсв со стальными корпусами позволяет повысить их средний технический ресурс (стойкость) на 25–30 % и механическую скорость бурения на 10–15 %. Алмазные коронки 01АЗ-ЖМ и 01АЗсв-ЖМ приняты к серийному производству КБЗАИ.

При разрушении твердых и крепких горных пород значительная часть энергии расходуется на трение буровой коронки о горную породу. Эта часть энергии переходит в тепло. Тепловую энергию трения можно использовать с целью интенсификации процессов разрушения, для чего температура в зоне контакта режущих элементов и горной породы забоя должна иметь высокое значение, достаточное для нагрева призабойного слоя породы и разупрочнения ее. Для использования тепловой энергии трения в Национальной горной академии Украины совместно с Институтом сверхтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины разработаны термомеханические буровые коронки, в которых применены сверхтвердые композиционные материалы и алмазы. Были проведены стендовые исследования и производственные испытания различных конструкций буровых коронок, оснащенных

различными сверхтвердыми материалами: поликристаллическими алмазами, карбидом бора, нитридом кремния, материалом «геотермал», релитом и крошкой карбида вольфрама.

Для опытно-промышленных испытаний были приняты термомеханические коронки на основе искусственных алмазов, которые отличались от серийных коронок типа БС-33 наличием одного или двух широких промывочных каналов [6]. Как показали результаты стендовых исследований, удельный износ опытных коронок по сравнению с серийными алмазными был в 1,6–2,4 раза ниже при бурении гранита Кудашевского месторождения, плотностью 2,7 кг/м<sup>3</sup>, пористость 0,98–1,6, с пределом прочности при одноосном сжатии 140–192 МПа и истираемостью 0,48–0,45 г/см (табл. 1).

Результаты бурения скважин в производственных условиях термомеханическими коронками приведены в табл. 2. За счет использования тепловой энергии трения при разрушении горных пород забоя механическая скорость бурения возросла 1,20–1,25 раза, проходка за рейс увеличилась в 1,21–1,26 раза (табл. 2).

Таблица 1. Результаты стендовых исследований термомеханических буровых коронок

Тип коронки	Механическая скорость бурения		Удельный износ	
	м/ч	%	мм/м	%
БС-33-59	2,53	100	0,026	100
БС-33-59-ТМ1/1	2,81	112	0,017	63
БС-33-59-ТМ2/1	3,24	128	0,011	42
БС 33-59-ТМ2/2	3,00	118	0,096	369

Таблица 2. Результаты опытного бурения скважин в производственных условиях термомеханическими буровыми коронками

Тип коронки	Объем бурения, м	Проходка на коронку		Механическая скорость бурения	
		м	%	м/ч	%
БС-33-59	14,80	7,40	100	2,99	100
БС-33-59-ТМ2/1	18,64	9,32	126	3,60	120
БС-33-59-ТМ1/2	17,90	8,95	121	3,75	125

К технологическому направлению относятся следующие разработки:

- импульсные технологии бурения:
  - с переменной осевой нагрузкой,  $F = \text{var}$  [7],
  - с переменным расходом промывочной жидкости,  $Q = \text{var}$  [8–11],
  - с переменной частотой вращения породоразрушающего инструмента,  $n = \text{var}$  [12; 13];
- технология алмазного бурения на минимальном расходе промывочной жидкости с обеспечением термомеханического разрушения горных пород [14; 15];
- технология алмазного бурения с применением промывочных жидкостей, содержащей ПАВ, ПААД. В разработке принимали участие Эпштейн Е. Ф., Сирик В. Ф., Дудля Н. А., Гавриленко Н. М., Давиденко А. Н., Вареник А. В. В процессе исследований при разработке рецептур промывочных жидкостей происходило уточнение представлений о механизмах воздействия ПАВ на горную породу и промывочную жидкость и учете факторов для выбора рецептуры:
  - $C$ , % – концентрация ПАВ,
  - рН – водородный показатель,
  - $\sigma$  – поверхностное натяжение,
  - $\sigma\mu$  – произведение поверхностного натяжения на коэффициент трения  $\mu$ ;
  - $\zeta$  – дзетта-потенциал;
  - $I$  – потенциал ионизации.

За годы исследований накоплен большой объем материала, который требует отдельного рассмотрения.

Днепропетровским горным институтом и СКБ НПО "Геотехника" разработана равнорасходная технология гидроударно-алмазного бурения высокочастотными гидроударниками Г59В и Г76В с комбинированными отражателями ОГ59 и ОГ76, расположенными по рекомендации ДГИ с внутрифазовой и внутрицикловой установкой на расходе алмазного вращательного бурения [7].

Приемочные испытания отражателей ОГ59 и ОГ76 провели на железорудных месторождениях Криворожской ГРЭ ПГО «Южургеология» и Зырянской ГРЭ ПГО «Востказгеология». В результате проведения испытаний получены следующие результаты: рост механической скорости бурения составил 10,3–21,8 %; рост проходки за рейс составил 10,2–42 %; ресурс отражателя 1150–1400 ч; максимальная глубина бурения 2280 м.

ДГИ и ОМПНТ ПГО «Южургеология» разработана и внедрена равнорасходная технология вращательно-ударного бурения высокочастотными гидроударниками Г59В и Г76В без отражателя и с отражателем ОГВ-МП, на расходах алмазного вращательного бурения, что обеспечивает повышение механической скорости бурения 7,8–20,8 % и проходки за рейс – на 34 %.

Таким образом, разработанная равнорасходная технология вращательно-ударного бурения высокочастотными гидроударниками на расходе алмазного бурения с отражателями гидравлических волн с внутрифазовой и внутрицикловой установкой повышает эффективность и глубину гидроударного бурения. Впервые в мировой практике бурения скважин на твердые полезные ископаемые глубина бурения превысила 2000 м и составила 2280 м. Гидроударные комплексы ГВ+ОГВ приняты к серийному производству на ФМЗ

Подача очистного агента с переменным расходом обеспечивает, с одной стороны, большую глубину прогревания породы на забое скважины за счет полного проявления внутреннего трения между зернами минералов, входящих в состав горной породы, а также между атомами, ионами и молекулами внутри их кристаллических решеток. С другой стороны наблюдается эффект повышения хрупкости пород в результате наличия нестационарного температурного поля.

Такой режим промывки (продувки) осуществляется при использовании стандартного оборудования и инструмента за счет включения в их состав поверхностных или погружных устройств, прерывающих поток очистного агента при постоянной подаче насоса (компрессора), или за счет изменения паспортных конструктивных параметров в процессе эксплуатации насоса (компрессора) – уменьшения количества работающих плунжеров или клапанов.

Стендовые исследования алмазного бурения с импульсной промывкой осуществлялись при бурении блоков гранита с промывкой технической водой [8–11]. В табл. 4 приводятся результаты стендового бурения при режимах импульсной промывки, которые приведены в табл. 3.

Как следует из данных табл. 4, все исследованные режимы импульсной промывки обеспечивают рост механической скорости бурения. Коэффициент роста скорости изменяется от 1,18 до 2,2. Характер импульсной пульсации с отношением времени паузы к времени подачи промывочной жидкости 1:1 вызывает большее влияние на скорость бурения, чем при соотношении 1:5.

**Таблица 3. Режимы импульсной промывки**

Время паузы подачи промывочной жидкости $t_{п}$ , с	0,315	0,205	0,125	0,105	0,068
Время подачи промывочной жидкости $t_{под}$ , с	0,315	0,205	0,625	0,525	0,342

Таблица 4. Влияние режима промывки на механическую скорость алмазного бурения

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Осевая нагрузка $P$ , даН	Режим промывки	Время паузы $t_{п}$ , с	Время подачи $t_{под}$ , с	$t_{п}/t_{под}$	Средние расходы промывочной жидкости, л/мин	Механическая скорость бурения	
							см/мин	%
Коронка 01А3-59								
239	700	импульсный	0,375	0,375	1:1	13,3	1,23	211
		импульсный	0,125	0,635	1:5	26,6	1,15	197
		постоянный	–	–	–	40,0	0,58	100
239	700	импульсный	0,205	0,205	1:1	23,3	1,07	220
		импульсный	0,068	0,342	1:5	46,6	0,99	203
		постоянный	–	–	–	–	0,48	100
377	900	импульсный	0,315	0,315	1:1	14,4	4,47	146
		импульсный	0,105	0,525	1:5	28,8	3,64	118
		постоянный	–	–	–	40,0	3,06	100
Коронка АК1-59								
377	900	импульсный	0,315	0,315	1:1	14,4	1,78	144
		постоянный	–	–	–	40	1,24	100
699	700	импульсный	0,315	0,315	1:1	14,4	1,31	127
		постоянный	–	–	–	40,0	1,03	100
699	1100	импульсный	0,315	0,315	1:1	14,4	7,16	143
		постоянный	–	–	–	40,0	5,00	100

На коэффициент роста механической скорости бурения при импульсной промывке оказывает влияние уровень забойной мощности. В табл. 5 приведены расчетные значения забойной мощности  $N$  определенные по следующей формуле

$$N = 2 \cdot 10^{-7} F n d_{ср},$$

где  $F$  – осевая нагрузка;  $n$  – частота вращения;  $d_{ср}$  – средний диаметр коронки.

Таблица 5. Расчетные значения забойной мощности

$n$ , мин <sup>-1</sup>	$P$ , даН	$N$ , кВт
239	700	1,7
377	900	3,4
699	700	4,9
699	1100	7,1

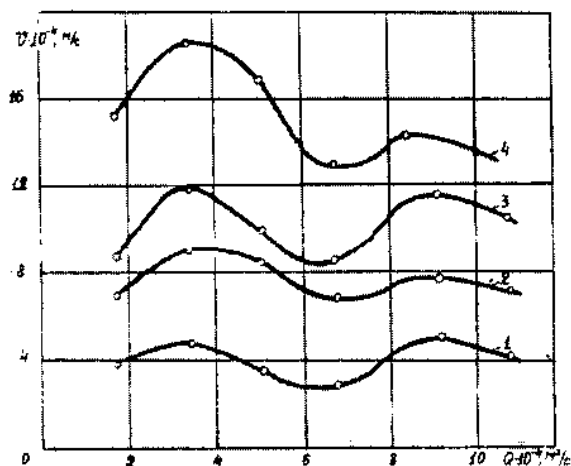
Результаты сравнение данных табл. 4 и 5 свидетельствуют о том, что при забойной мощности в 1,7 кВт импульсная промывка приводит к повышению механической скорости бурения более чем в 2 раза, при 3,4–7,1 кВт – в 1,18–1,46 раза.

В ДГИ разработано устройство ЗРМА с резинометаллическим упругим элементом, обеспечивающим не только виброгашение, но и работу буровой коронки с переменной частотой вращения. Использование этого устройства в Донбасс существенно сократило количество аварий, поломок бурового инструмента, что позволило повысить:

- механическую скорость бурения твердосплавными коронками на 25 %, алмазными – на 30 %.
- проходку за рейс твердосплавными коронками на 15 %, алмазными – на 12 % [12–13].

Результаты исследования влияния расхода промывочной жидкости на механическую скорость показали, что эта зависимость имеет сложный характер (см. рисунок) [14; 15].

На графике наблюдается два максимума механической скорости при различных значениях расхода очистного агента, причем наибольший максимум отмечается при меньшем расходе промывочной жидкости.



Зависимость механической скорости бурения алмазной коронкой по песчанику от расхода очистного агента (скорость вращения инструмента  $n = 377 \text{ мин}^{-1}$ ; диаметр коронки – 76 мм): 1 – осевая нагрузка  $P = 5 \text{ кН}$ ; 2 – осевая нагрузка  $P = 8 \text{ кН}$ ; 3 – осевая нагрузка  $P = 11 \text{ кН}$ ; 4 – осевая нагрузка  $P = 14 \text{ кН}$

Аналогичные зависимости механической скорости бурения для импрегнированных коронок от расхода очистного агента получили С. А. Волков и Н. В. Соловьёв.

#### Выводы

1. Разработки на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых ДГИ имели значительный результат. Прошли всесоюзные приемочные испытания и были приняты к серийному производству:

- алмазные виброгасящие буровые коронки 01АЗ-ЖМ, 01АЗсв-ЖМ-К63АИ;
  - гидроударные комплексы, включающие высокочастотный гидроударник и отражатель гидравлических волн, для равнорасходной алмазногидроударной технологии бурения скважин;
2. Некоторые разработки прошли производственные испытания:
- технология алмазного бурения при минимальном расходе промывочной жидкости;
  - алмазная коронка с несимметричной гидравлической системой;
  - технология бурения с  $n = \text{var}$  за счет применения ЗРМА.
3. Ряд разработок находится на стадии лабораторного эксперимента.

*Приведений огляд робіт, виконаних в ДГІ-НГУ по діамантовому бурінню свердловин.*

**Ключові слова:** коронка, алмаз, буріння, гірська порода.

*The review of works, executed in DMI-NMU on the diamond well-drilling is resulted.*

**Key words:** Crown, diamond, boring drilling, mountain breed.

#### Литература

1. Гиммельфарб А. Я. Алмазы и их применение в промышленности СССР. – Горный журнал, 1927. – № 7. – С. 397–403.
2. А. с. 1239254 СССР, МКИ Е21 В10/02. Породоразрушающий инструмент / И. А. Баскилович, Ю. Д. Бессонов, А. Н. Давиденко, А. А. Кожевников, М. Н. Скурихин, В. Ш. Хажуев, А. И. Шепель, И. В. Мелентьев, М. Е. Гренадер (СССР). – № 3783130: Заяв. 22.06.84.
3. Пат. № 65676 А. UA, МКИ Е21 В10/02. Бурова коронка / Ю. А. Бакаржієв, А. Х. Бакаржієв, А. О. Кожевников, В. Ф. Сірик (UA). – № 2002042880; Заяв. 10.04.02; Друк. 15.04.2004; Бюл. № 4.

4. А. с. 948174 СССР, МКИ E21 B25/02. Колонковый снаряд /А. В. Пашенко, А. М. Бражененко, А. А. Кожевников, А. Н. Давиденко, В. Ф. Сирик, В. Я. Голиков (СССР). – № 2971010: Заяв. 28.07.80; Оpubл. 01.04.82; Бюл. № 53.
5. А. с. 588333 СССР, МКИ E21 B09/02. Дисковый породоразрушающий инструмент / Е. Ф. Эпштейн, Н. М. Гавриленко, А. А. Кожевников, В. Ф. Сирик (СССР). – № 2156549: Заяв. 16.07.75; Оpubл. 15.01.78; Бюл. № 2.
6. Бурение геологоразведочных скважин с использованием тепловой энергии трения / А. А. Кожевников, А. М. Бражененко, В. С. Сирик и др. // Тр. 2-й науч.-техн. конф. «Эпштейновские чтения». – Днепропетровск: НГАУ, 1998. – С. 33–34.
7. Кожевников А. А. Научные основы вращательно-ударного бурения глубоких геологоразведочных скважин высокочастотными гидроударными машинами с отражателями гидравлических волн: Дис. ... д-ра. техн. наук: 05.15.10 / Гос. горн. акад. Украины. – Днепропетровск, 1998.
8. Исследование термомеханического разрушения горных пород при разведочном бурении генерированием тепловой энергии трения; Отчет о НИР/ Днепропетровск. горный ин.; Рук. А. А. Кожевников. – № ГР 01670024155. – Днепропетровск, 1988. – 150 с.
9. Влияние режима подачи очистного агента на эффективность термомеханического разрушения горных пород с генерированием тепловой энергии трения при алмазном бурении / А. А. Кожевников, С. Я. Сологуб, П. П. Вырвинский и др. // Деп. В УкрНИИТИ 16.06.86, №1349-Ук 86.
10. Разработка технологии алмазного бурения с импульсной промывкой; Отчет о НИР НГУ Рук. А. А. Кожевников. – № ГР 0101U4001793. – Днепропетровск, 2002. – 133 с.
11. Импульсная промывка скважин / А. А. Кожевникова, Н. Т. Филимоненко, Н. В. Жикаляк. – Донецк: Ноулидж Донецк. отд., 2010. – 275 с.
12. А. с. 649820 СССР, МКИ E21 B09/02. Дисковый породоразрушающий инструмент / Е. Ф. Эпштейн, А. И. Шепель, А. А. Кожевников, В. В. Черненко, Ю. А. Меламед, Я. Я. Малков (СССР). – № 2457572; Заяв. 01.03.77; Оpubл. 28.02.79; Бюл. № 8.
13. Результаты отработки алмазных и твердосплавных буровых коронок с использованием забойных резино-металлических амортизаторов / Е. Ф. Эпштейн, А. И. Шепель, А. А. Кожевников и др. // Тез. докл. Всесоюз. науч.-технич. Конф. «Пути совершенствования производства твердосплавного и алмазного бурового инструмента и расширения областей его применения». – Самарканд, 1979.
14. Вырвинский П. П. Исследование процесса разрушения горных пород и разработка технологии колонкового бурения с генерированием тепла трением: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 04.00.19 / Днепропетровский. горный ин-т. – Днепропетровск, 1981. – 25 с.
15. Разрушение горных пород при колонковом бурении геологоразведочных скважин: Монография / А. А. Кожевников, С. В. Гошовский, И. И. Мартыненко, П. П. Вырвинский. – К.: УкрГГРИ, 2006. – 146 с.

*Поступила 05.07.12*