

УДК 622.24.085.5:622.24.053

## Оценка влияния компоновки низа бурильной колонны на механическую скорость бурения скважин гидроударными снарядами при отборе проб донных отложений

Каракозов А. А.

*Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина*

---

### Аннотация

На основании компьютерного моделирования проведена оценка влияния компоновок низа бурильной колонны на механическую скорость бурения скважин гидроударными снарядами при отборе проб геотехнических скважинах на морском шельфе. Приведены результаты моделирования, обоснован выбор компоновок и рекомендации по их использованию.

---

Освоение нефтегазовых месторождений украинского шельфа способствовало созданию новых технологий и технических средств бурения при проведении инженерно-геологических изысканий на площадках постановки платформ и трассах подводных трубопроводов. Исследования, выполненные специалистами кафедры «Технология и техника геологоразведочных работ» ДонНТУ при участии ЗАО «Компания „Юговостокгаз“», позволили разработать технологию поинтервального бурения глубоких инженерно-геологических скважин погружными гидроударными снарядами [1, 2, 3].

Осенью 2007 года при выполнении геотехнических исследований на Субботинском нефтегазовом месторождении, которое осваивается ГАО «Черноморнефтегаз», с самоподъёмной буровой установки (СПБУ) «Сиваш» с использованием данной технологии была пробурена инженерно-геологическая скважина глубиной 78 м.

Для отбора проб донных отложений в песках и песчаных грунтах использовались модернизированные гидроударные буровые снаряды ПБС-110 [4, 5] с колонковой трубой диаметром 108 мм, а для отбора монолитов – специально разработанные для этой цели вдавливаемые пробоотборники.

Технологическая схема поинтервальной проходки скважин гидроударными снарядами ПБС-110 с СПБУ «Сиваш» приведена на рис. 1.

Сначала с СПБУ спускается водоотделяющая колонна диаметром 219–245 мм. Её башмак устанавливается на расстоянии 1,5–2 м от дна моря. При наличии сильных течений башмак колонны следует заглубить в грунт во избежание её вибрации и изгиба при проведении работ. Затем спускается колонна обсадных труб диаметром 146 мм, предназначенная для крепления стенок скважины в процессе её углубки. После этого начинается отбор проб.

Сначала отбирается первая проба при помощи ПБС. Перед отбором следующей пробы размывают обрушившиеся породы первого интервала, а потом производят пробоотбор. Переключение режимов работы осуществляется за счёт распределительных узлов, входящих в состав снаряда. Все последующие интервалы опробуются аналогично. Дополнительно предусматривается периодическое крепление стенок скважины обсадными трубами диаметром 146 мм по мере её углубки на величину, соответствующую длине одной обсадной трубы.

Опыт бурения данной скважины показал, что использование снарядов ПБС-110 позволяет получить качественные пробы грунта. Однако механическая скорость бурения по плотным породам оказалась значительно меньше, чем ожидалось.

Поэтому были проведены дополнительные исследования по оценке влияния компоновки низа бурильной колонны на механическую скорость бурения при использовании гидроударных снарядов типа ПБС-110. Одновременно оценивалось соответствие результатов компьютерного моделирования реальным промышленным данным.

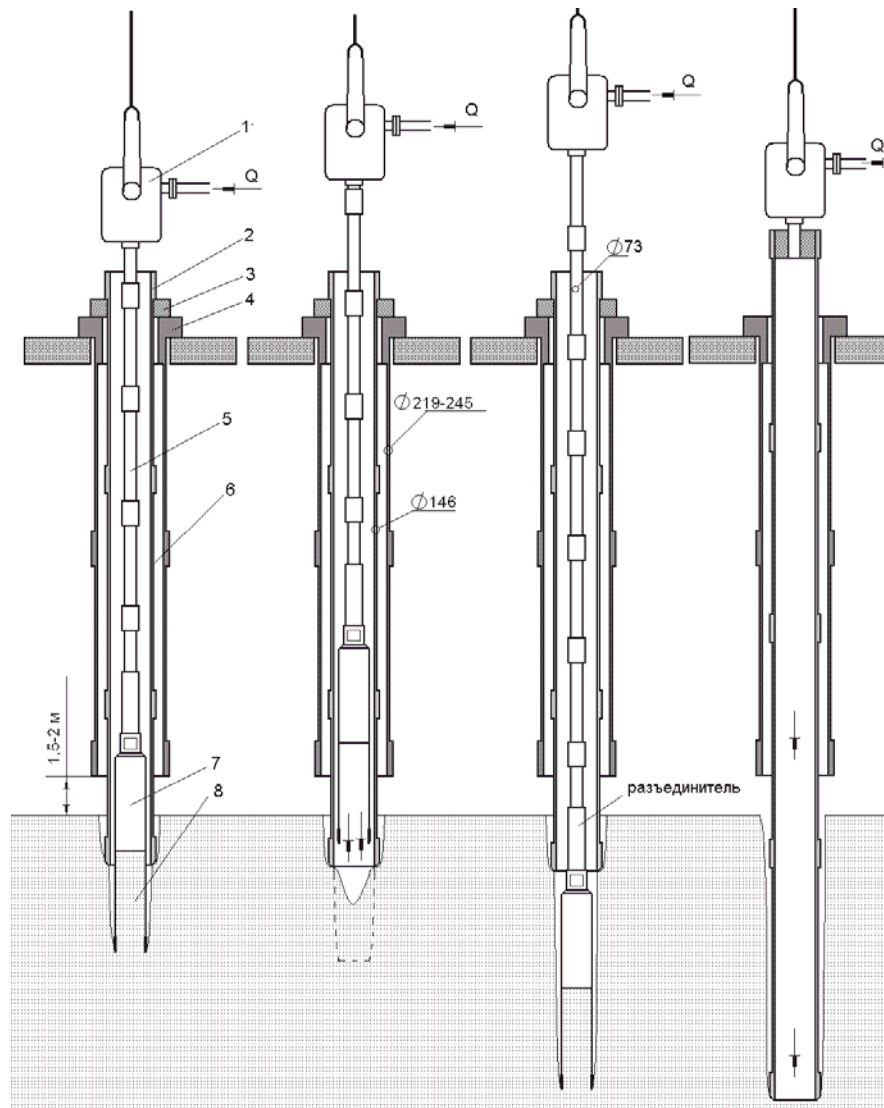


Рис. 1. Технологическая схема поинтервальной проходки скважин с СПБУ «Сиваш» при помощи ПБС-110:  
 1 – вертлюг-сальник; 2 – головка обсадной колонны  $\text{Ø}146$  мм; 3 – хомут; 4 – головка обсадной колонны  $\text{Ø}219\text{--}245$  мм; 5 – бурильные трубы  $\text{Ø}73$  мм; 6 – обсадная колонна  $\text{Ø}146$  мм; 7 – ПБС-110; 8 – керн;  
 Q – подача жидкости

Компьютерное моделирование проводилось на основании ранее проведенных исследований для гидроударных буровых снарядов погружных установок типа УМБ-130 [6, 7]. Исходными данными для моделирования являлись силы сопротивления, рассчитанные по методике И. Г. Шелковникова [8] на основании реальных характеристик грунтов, полученных ЗАО «Компания „Юговостокгаз“» при статическом зондировании разреза в нескольких метрах от пройденной скважины, а также конструктивные, энергетические и эксплуатационные параметры гидроударных буровых снарядов ПБС-110, в частности: лобовое сопротивление внедрению снаряда – 30–100 кН, масса снаряда – 141 кг, масса колонкового набора – 36 кг, масса бойка – 35 кг, предударная скорость бойка – 1,5–1,8 м/с, рабочее давление 2–3 МПа. При моделировании были рассмотрены пять компоновок низа бурильной колонны, схемы которых представлены на рис. 2.

В двух первых компоновках (рис. 2 а, б) ПБС-110 отделён от бурильной колонны разъединителем, который обеспечивает его свободное заглубление в грунт без взаимодействия с бурильными трубами. Отличие заключается в лишь конструкции разъединителя, которая определяет значение дополнительной статической нагрузки, действующей на снаряд за счёт давления промывочной жидкости в бурильных трубах при отборе пробы. В третьей компоновке (рис. 2 в) между снарядом и разъединителем устанавливается секция бурильных труб,

выполняющая функции статического утяжелителя. Четвёртая компоновка (рис. 2 г) предусматривает наличие двух разъединителей: один устанавливается непосредственно над снарядом, а второй – в колонне бурильных труб на различной глубине. Это даёт возможность использовать участок бурильной колонны между разъединителями как динамический утяжелитель, имеющий возможность ударного взаимодействия со снарядом. Пятая компоновка (рис. 2 д), в сущности, является комбинацией предыдущих двух компоновок, что позволяет создавать дополнительное статическое и динамическое нагружение снаряда при отборе пробы. Разъединители, используемые в трёх последних компоновках, могут иметь различные конструкции, соответствующие как первой, так и второй компоновкам.

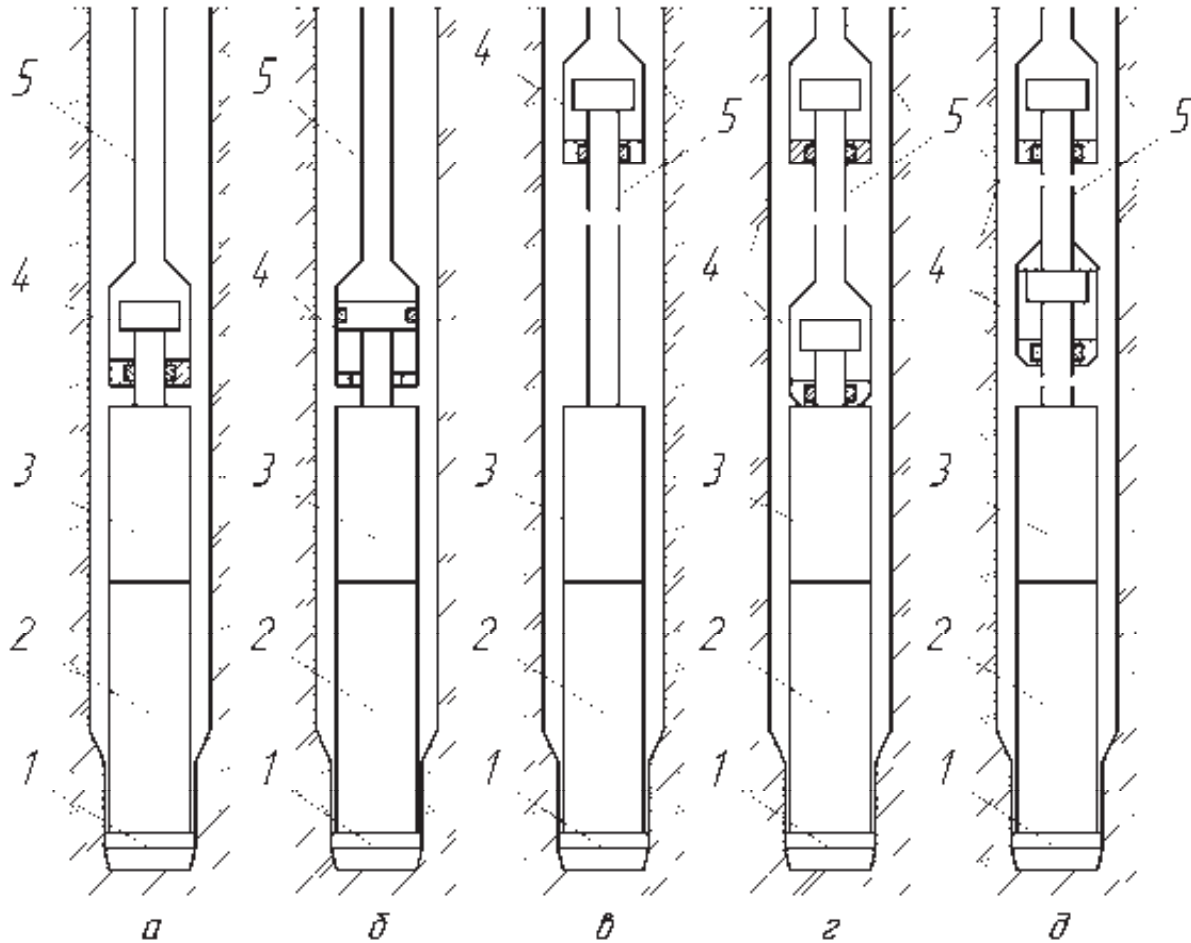


Рис. 2. Схемы возможных компоновок низа бурильной колонны при эксплуатации ПБС-110:  
1 – башмак, 2 – колонковый набор, 3 – гидроударник с распределительными узлами, 4 – разъединитель, 5 – бурильные трубы.

В двух первых компоновках (рис. 2 а, б) ПБС-110 отделён от бурильной колонны разъединителем, который обеспечивает его свободное заглубление в грунт без взаимодействия с бурильными трубами. Отличие заключается в лишь конструкции разъединителя, которая определяет значение дополнительной статической нагрузки, действующей на снаряд за счёт давления промывочной жидкости в бурильных трубах при отборе пробы. В третьей компоновке (рис. 2 в) между снарядом и разъединителем устанавливается секция бурильных труб, выполняющая функции статического утяжелителя. Четвёртая компоновка (рис. 2 г) предусматривает наличие двух разъединителей: один устанавливается непосредственно над снарядом, а второй – в колонне бурильных труб на различной глубине. Это даёт возможность использовать участок бурильной колонны между разъединителями как динамический утяжелитель, имеющий возможность ударного взаимодействия со снарядом. Пятая компоновка (рис. 2 д), в сущности, является комбинацией предыдущих двух компоновок, что позволяет создавать дополнительное статическое и динамическое нагружение снаряда при отборе пробы.

Разъединители, используемые в трёх последних компоновках, могут иметь различные конструкции, соответствующие как первой, так и второй компоновкам.

Кроме особенностей конструктивного исполнения компоновок при моделировании дополнительно учитывалось влияние глубины моря и работы насосного блока бурового снаряда на процесс его погружения в грунт, исследованное ранее [6]. Также была оценена возможность повышения механической скорости бурения за счёт изменения массы бойка. Эти данные могут быть использованы при проектировании модернизированных гидроударных снарядов для пробоотбора в глубоких скважинах. Некоторые результаты компьютерного моделирования представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Табл. 1. Изменение механической скорости бурения (м/мин) для различных компоновок низа бурильной колонны при эксплуатации ПБС-110

Сопротивление внедрению ПБС, кН	Глубина отбора пробы, м									
	50					100				
	Схема компоновки, рис. 2					Схема компоновки, рис. 2				
	а	б	в	г	д	а	б	в	г	д
30	1,06	1,55 (+46%)	1,29 (-19%)	1,58 (+2%)	1,04 (-33%)	1,2	1,92 (+60%)	1,615 (-16%)	2,03 (+6%)	1,307 (-32%)
50	0,54	0,644 (+19%)	0,526 (-18%)	0,665 (+3%)	0,221 (-66%)	0,57	0,69 (+21%)	0,563 (-18%)	0,72 (+4%)	0,243 (-65%)
70	0,362	0,41 (+13%)	0,331 (-19%)	0,482 (+18%)	0,368 (-10%)	0,375	0,426 (+14%)	0,345 (-19%)	0,504 (+18%)	0,402 (-6%)
90	0,272	0,299 (+10%)	0,242 (-19%)	0,426 (+42%)	0,195 (-35%)	0,28	0,308 (+10%)	0,248 (-19%)	0,39 (+27%)	0,188 (-39%)
110	0,218	0,236 (+8%)	0,19 (-19%)	0,323 (+37%)	0,133 (-44%)	0,223	0,241 (+8%)	0,194 (-19%)	0,33 (+37%)	0,172 (-29%)

**Примечание.** 1. Прирост механической скорости бурения для компоновки, выполненной по схеме рис. 2 б, рассчитан по сравнению с компоновкой рис. 2 а, а для компоновок, выполненных по схемам рис. 2 в, г, д, – по сравнению со схемой рис. 2 б. Массы утяжелителей для компоновок по схемам рис. 2 в, г, д – 100 кг.

По результатам компьютерного моделирования можно сделать следующие выводы.

Результаты (табл. 1), полученные для базовой компоновки (рис. 2 а), в целом соответствуют данным эксплуатации буровых снарядов ПБС-110 при отборе проб песков в геотехнической скважине на Субботинском нефтегазовом месторождении, что позволяет рассматривать их как подтверждение разработанной компьютерной модели.

Из табл. 1 видно, что использование разъединителя с большей рабочей площадью поршня (рис. 2 б), воспринимающей давление жидкости, более эффективно по сравнению с применением базовой компоновки (рис. 2 а) во всём спектре пород.

Анализ применения различных видов утяжелителей при использовании разъединителя показал, что применение статического утяжелителя не даёт положительного эффекта – механическая скорость бурения неизменно падает. Причём снижение механической скорости бурения происходит достаточно интенсивно с увеличением массы утяжелителя. При этом глубина заглупления снаряда под уровень моря оказывает незначительное влияние на характер этой зависимости (рис. 3 а, б). Это также свидетельствует о том, что попытка увеличить длину рейса за счёт роста длины колонковой трубы приведёт к снижению механической скорости бурения.

А использование динамического утяжелителя даже небольшой массы даёт существенное повышение механической скорости бурения, особенно в более твердых породах. При этом с увеличением массы утяжелителя свыше 3–4 масс снаряда наблюдается однозначный рост скорости бурения, особенно в более мягких породах. А при росте массы утяжелителя до этого предела механическая скорость бурения меняется почти периодически, причём имеются значения масс утяжелителя, при которых механическая скорость бурения будет ниже, чем при использовании компоновки с одним разъединителем (рис. 3 в). Анализ этих зависимостей показывает, что при вышеописанной технологии бурения (рис. 1) на глубинах отбора пробы свыше 40 м от уровня воды можно использовать компоновки с разъединителем (рис. 2 а, б), но бурильные трубы должны подаваться в скважину свободно и находится в контакте с верхней

частью ПБС-110. Это позволит использовать всю бурильную колонну в качестве динамического утяжелителя и даст существенный прирост механической скорости бурения за счёт того, что колонна будет ограничивать подскок снаряда над забоем, но не будет влиять на величину энергии, передаваемую снаряду от бойка гидроударника.

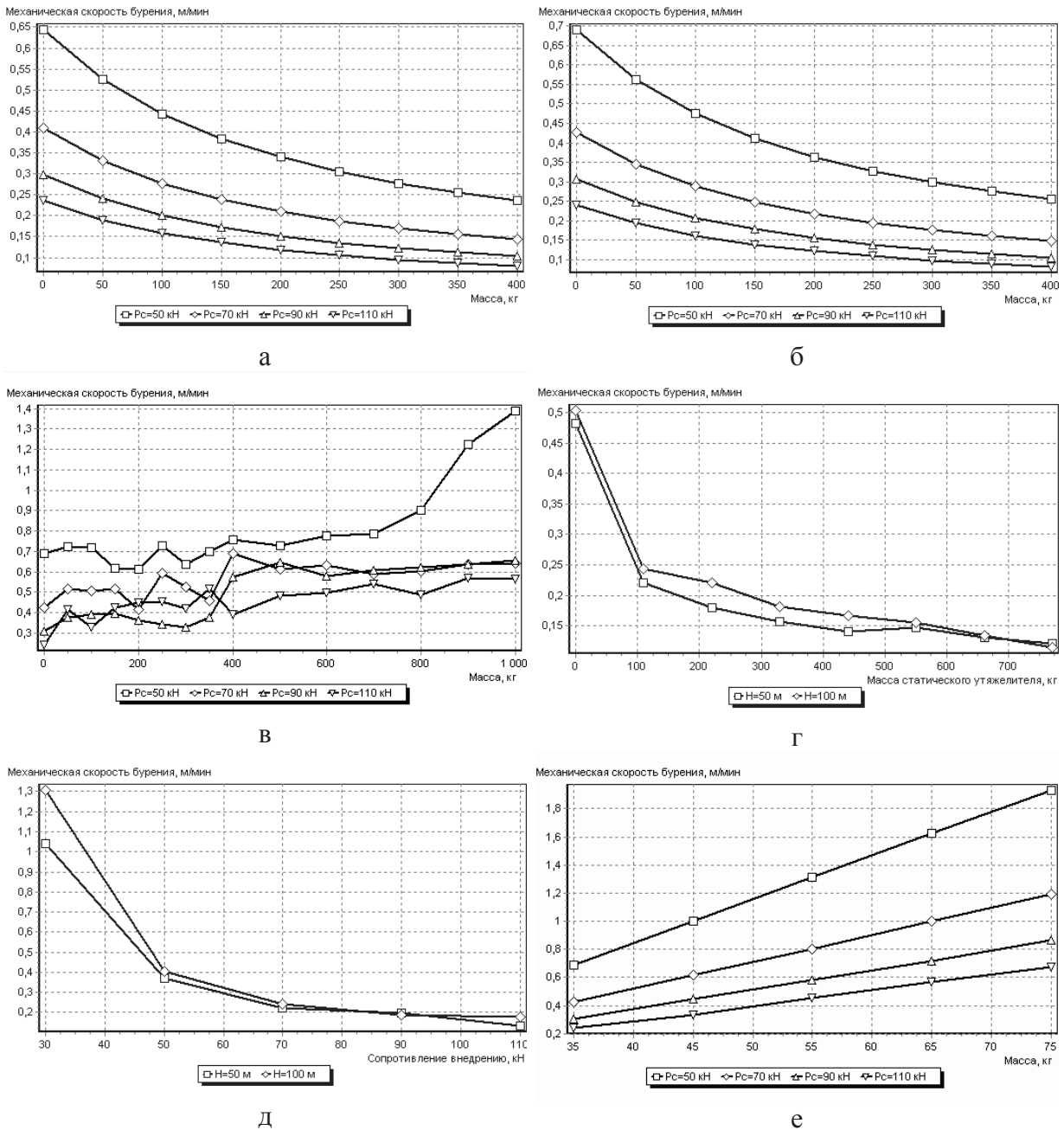


Рис. 3. Графики зависимостей механической скорости бурения по результатам компьютерного моделирования отбора проб в скважинах снарядами ПБС-110:

а – от массы статического утяжелителя при глубине бурения 50 м; б – то же, при глубине бурения 100 м; в – от массы динамического утяжелителя; г – от массы статического утяжелителя при его одновременном использовании с динамическим постоянной массы 100 кг; д – от сил сопротивления внедрению при одновременном использовании статического и динамического утяжелителей массой по 100 кг; е – от массы бойка гидроударника при использовании компоновки по рис. 2 б.

Рс – сила сопротивления внедрению, Н – глубина отбора пробы относительно уровня моря.



Одновременное использование статического и динамического утяжелителя также не даёт положительного эффекта. При этом наблюдается резкое снижение механической скорости бурения, как при росте массы статического утяжелителя, так и при росте силы сопротивления внедрению снаряда в грунт (рис. 3 г, д). Результаты по использованию статического утяжелителя показывают, что в скважинной компоновке обязательно должен присутствовать разъединитель, устанавливаемый непосредственно над снарядом.

В то же время имеется ещё один резерв для роста механической скорости бурения: увеличение массы бойка гидроударника в снаряде ПБС-110 (рис. 3 е). Но это приведёт к росту общей массы, как гидроударника, так и бурового снаряда. Поэтому такая мера может быть рекомендована в случае, если нет ограничений к массе гидроударника с точки зрения его обслуживания.

### Библиографический список

1. Калиниченко О. И., Каракозов А. А., Зыбинский П. В., Парфенюк С. Н. Разработка погружных гидроударных снарядов для бурения подводных разведочных скважин со специализированных плавсредств // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сборник научных трудов. – Вып. 8 – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2005. – С. 92–95.
2. Колонковий снаряд. Патент на корисну модель № 13609 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00, E21B 25/18 / Каракозов А. А., Калініченко О. І., Зибінський П. В., Опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.
3. Колонковий снаряд. Патент на винахід № 81016 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / Каракозов А. А., Калініченко О. І., Зибінський П. В., 26.11.2007.
4. Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., Каракозов А. А. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с.
5. Колонковий 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. Оценка влияния конструктивных особенностей буровых снарядов на процесс их погружения в донные отложения при бурении разведочных скважин на шельфе / Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». Випуск 96. – Донецьк, ДонНТУ, 2005. – С. 157–161.
7. Каракозов А. А. Сравнительная теоретическая оценка влияния применения утяжелителей и колонковых наборов с подвижными трубами на эффективность процесса бурения донных отложений гидроударными буровыми снарядами / Наукові праці ДонНТУ, Серія «Гірничо-геологічна». Випуск 111. Т.2. – Донецьк, ДонНТУ, 2006. – С. 113–118.
8. Шелковников И. Г. Использование энергии удара в процессах бурения. – Л.: Недра, 1977. – 159 с.

© Каракозов А. А., 2008.