

УДК 622.24.085

А.А. Каракозов¹, канд. техн. наук, **О.И. Калиниченко¹**, д-р техн. наук,
П.В. Зыбинский², канд. техн. наук, **С.Н. Парфенюк¹**,
А.В. Хохуля¹, **П.Л. Комарь¹**

¹Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), Украина
²ЗАО «Компания «Юговостокгаз», г. Донецк, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИИ ОТБОРА ПРОБ ГРУНТА ПРИ БУРЕНИИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СКВАЖИН С ПЛАВУЧИХ САМОПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Results of development of technologies and the equipment for drilling geotechnical wells during engineering-geological researches on a shelf are presented. Constructive schemes of the equipment, its characteristics and technological schemes of operation which have been tested at work on Subbotin's oil-and-gas deposits in Black sea are presented too. Estimation of the influence of configurations of a bottom of a drill string on drilling mechanical speed has been done for improvement of technology of drilling by hammer tools. Some results of modeling are presented, the choice of configurations and recommendations on their use is proved.

Активное освоение нефтегазовых месторождений украинского шельфа сопровождается увеличением объемов инженерно-геологических изысканий на площадках постановки платформ и трассах подводных трубопроводов. Этот фактор способствовал разработке ряда технических средств и технологий поинтервального бурения инженерно-геологических скважин погружными гидроударными снарядами [1 – 3].

Однако в последнее время перед исполнителями инженерно-геологических работ была поставлена задача бурения геотехнических скважин глубиной до 100 м с плавучих самоподъемных буровых установок (СПБУ). По требованию заказчиков при бурении таких скважин отбор монолитов в мягкопластичных грунтах должен осуществляться вдавливаемыми пробоотборниками, а монолитов и проб в плотных, полутвердых глинистых грунтах и песках различной плотности – погружными буровыми гидроударными снарядами (ПБС).

Для решения этой задачи специалистами кафедры Технологии и техники геологоразведочных работ ДонНТУ и ЗАО «Компания «Юговостокгаз» были разработаны новая технология поинтервального бурения и технические средства для ее реализации.

Для поинтервального отбора проб при бурении геотехнических скважин с СПБУ рекомендуется использовать следующие технологические схемы (рис. 1, 2).

Сначала с СПБУ спускают колонну обсадных труб диаметром 219 – 245 мм. Ее башмак устанавливают на расстоянии 1,5 – 2 м от дна моря. При сильных течениях башмак колонны следует заглубить в грунт во избежание вибрации и изгиба колонны при проведении работ. Затем в эту колонну спускают колонну обсадных труб диаметром 146 мм, предназначенных для крепления стенок скважины в процессе ее углубления.

Если первый рейс по отбору пробы планируется проводить ПБС, колонну следует остановить на расстоянии 0,5 м от дна во избежание заклинивания снаряда в обсадных трубах. Если при первом рейсе планируется использовать вдавливаемый пробоотборник, колонну необходимо опереть о дно. После этого начинают отбор проб.

В зависимости от средства отбора керна предусматривается применение двух компоновок бурового снаряда.

1. При бурении тугопластичных глин, суглинков, песков различной консистенции применяют гидроударный снаряд ПБС-110 с диаметром корпуса 108 мм, снабженный одинарным колонковым набором и разъединителем, который спускается в скважину на буриль-

ных трубах диаметром 73 мм (рис. 1).

2. В мягкопластичных грунтах используют вдавливаемый пробоотборник с диаметром корпуса 102 мм, который спускают в скважину на бурильных трубах диаметром 73 мм. При этом над пробоотборником устанавливают секцию УБТ диаметром 89 мм, длиной 30 – 40 м и массой не менее 2 – 2,5 т, которая обеспечивает внедрение пробоотборника в глинистые грунты (рис. 2).

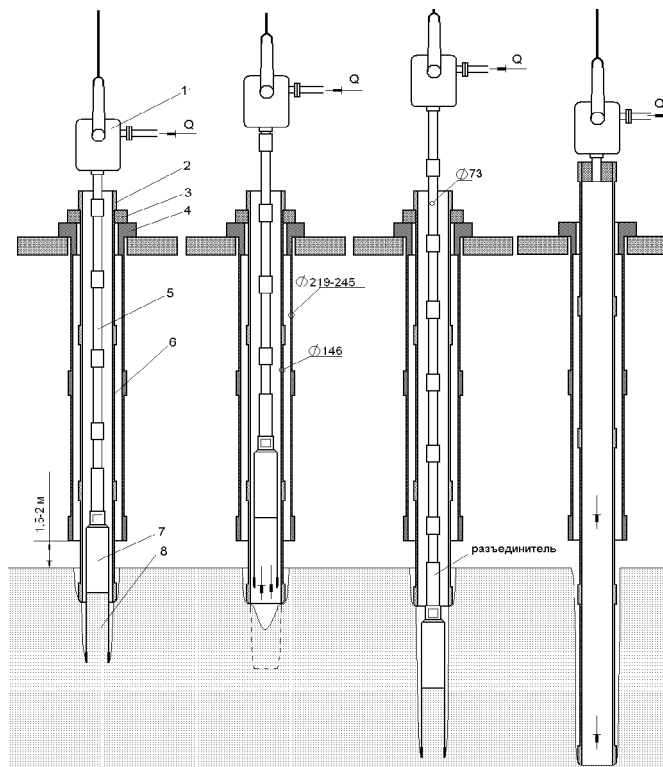


Рис. 1. Технологическая схема поинтервальной проходки скважин с СПБУ с помощью ПБС-110: 1 – вертлюг-сальник; 2 – муфта обсадной колонны диаметром 146 мм; 3 – хомут; 4 – головка обсадной колонны диаметром 219-245 мм; 5 – бурильные трубы диаметром 73 мм; 6 – обсадная колонна диаметром 146 мм; 7 – ПБС-110; 8 – керн; Q – подача жидкости

Технология работ с применением ПБС-110 с борта СПБУ заключается в следующем (рис. 1). При первом рейсе ПБС с разъединителем спускают на бурильной колонне диаметром 73 мм до касания с дном. К верхней части колонны присоединяют вертлюг-сальник с нагнетательным шлангом для подачи морской воды от бурового насоса к снаряду. При этом расстояние от муфты обсадной колонны диаметром 146 мм до вертлюга-сальника не должно быть меньше длины колонковой трубы ПБС. Запускают буровой насос, рабочую жидкость (морскую воду) подают в ПБС и производят бурение на заданную длину рейса (до 3 м). Затем гидроударник выключают, ПБС на бурильных трубах поднимают на СПБУ и из колонковой трубы извлекают керн. После этого обсадную колонну диаметром 146 мм заглубляют в грунт на длину первого рейса.

Второй и последующие рейсы ПБС-110 выполняются в следующей последовательности. Снаряд спускают в скважину на бурильной колонне диаметром 73 мм до момента разгрузки инструмента. Если загрузка произошла в момент, когда снаряд не дошел до забоя, это свидетельствует о частичном обрушении стенок скважины. Тогда к верхней бурильной трубе присоединяют одну или несколько бурильных труб с вертлюгом-сальником так, чтобы при дальнейшей подаче снаряда обеспечивалось установление ПБС на забой и углубление на длину рейса. Запускают буровой насос и рабочую жидкость подают в ПБС с расходом, достаточным для срабатывания нижнего пускового узла (НПУ) снаряда, обеспечивающего размывание пород на забое скважины. В таком режиме ПБС опускают на глубину на 10 см выше достигнутой ранее отметки забоя скважины.

После этого насос кратковременно выключают и НПУ возвращают в исходное положение, обеспечивающее отбор пробы грунта. С помощью питателя в нагнетательную линию сбрасывают шарик. Буровой насос снова включают. При медленном увеличении расхода жидкости обеспечиваются срабатывание верхнего пускового узла (ВПУ) и запуск гидроударника. Выполняют бурение скважины на заданную длину рейса. После этого расход жидкости уменьшают до остановки гидроударника и ПБС поднимают во внутреннюю полость обсадных труб. Затем насос выключают и ПБС поднимают на поверхность для извлечения керна.

После углубления скважины на длину обсадной трубы (9 – 12 м) обсадную колонну диаметром 146 мм наращивают еще одной трубой с установленным в верхней части вертлюгом-сальником. Затем обсадную колонну с расхаживанием и промывкой спускают до достигнутого ранее забоя скважины.

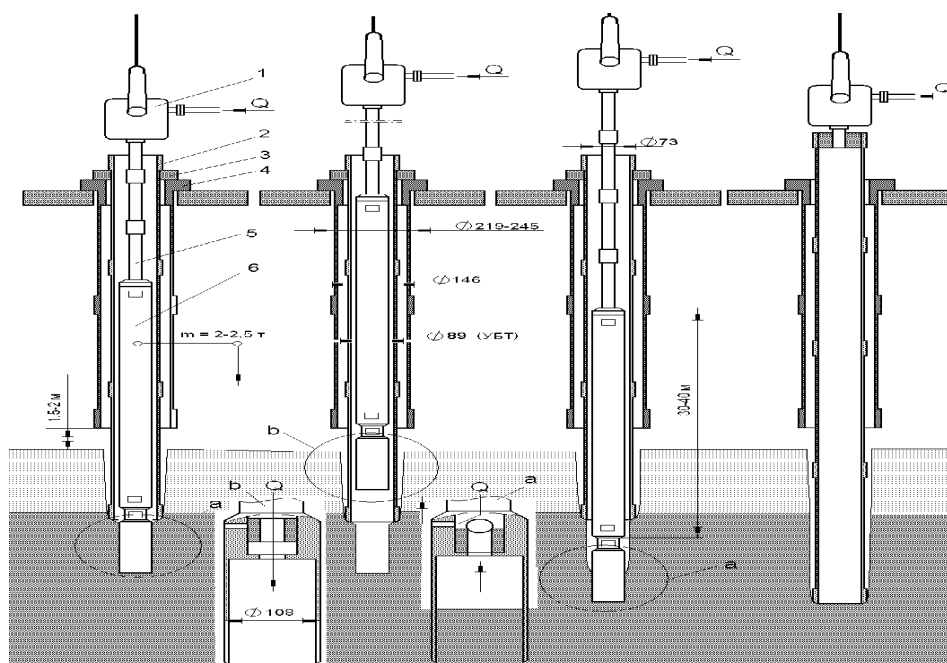


Рис. 2. Технологическая схема поинтервальной проходки скважин с СПБУ с помощью вдавливаемого пробоотборника: 1 – вертлюг-сальник; 2 – муфта обсадной колонны диаметром 146 мм; 3 – хомут; 4 – головка обсадной колонны диаметром 219-245 мм; 5 – буровые трубы диаметром 73 мм; 6 – секция УБТ диаметром 89 мм; Q – подача жидкости

При использовании для отбора пробы вдавливаемого пробоотборника применяют следующий порядок работы (рис. 2). Пробоотборник вместе с УБТ-89 спускают в скважину на буровых трубах диаметром 73 мм. В буровой снаряд подают морскую воду, которая проходит через керноприемник пробоотборника и обеспечивает размывание обрушившихся пород. Перед отбором пробы в буровой снаряд сбрасывают шарик, перекрывающий в поршне пробоотборника канал для прохождения жидкости в керноприемник. В результате поршень сдвигается и открывает канал для прохождения жидкости в скважину. Таким образом, при вдавливании пробоотборника в скважине циркулирует жидкость, обеспечивающая вынос шлама и препятствующая его оседанию над грунтоносом. Шариковый клапан защищает полость керноприемника от попадания жидкости из буровой колонны, обеспечивая при этом сохранность керна. Затем пробоотборник вдавливают в грунт под действием веса бурового инструмента. При этом скорость вдавливания регулируют автоматом подачи буровой лебедки. Пробоотборник вдавливают в грунт со скоростью до 0,5 м/мин для рыхлых песчаных, мягкопластичных грунтов и до 2 м/мин – для тугопластичных глинистых грунтов.

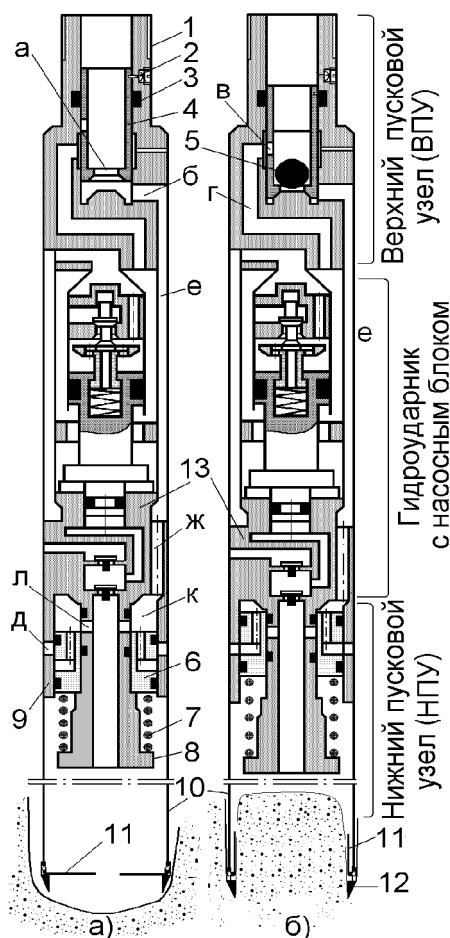


Рис. 3. Принципиальная схема снаряда ПБС-110: 1 – переходник; 2 – шплинт с фиксатором; 3 – манжета; 4 – поршень ВПУ; 5 – шарик; 6 – поршень НПУ; 7 – пружина; 8 – шток; 9 – цилиндр; 10 – колонковая труба; 11 – кернорватель; 12 – башмак; 13 – нижняя наковальня

пружиной 7.

Техническая характеристика снаряда ПБС-110 приведена в табл. 1.

Для отбора монолитов в мягкопластичных грунтах разработан вдавливаемый прободоборник ПР-102, схема которого показана на рис. 4.

Таблица 1. Техническая характеристика снаряда ПБС-110

Параметр	Значение
Категории пород по буримости	I – IV
Максимальная длина рейса	3 м
Диаметр бурения (в зависимости от конструкции башмака)	0,110 м; 0,118 м 0,093 м
Диаметр керна	90±10%
Выход керна	
Расход рабочей жидкости (морская вода)	300 – 400 л/мин / 130 – 140 л/мин

Как и при работе с ПБС-110, предусматривают периодическое крепление стенок скважины обсадными трубами диаметром 146 мм по мере ее углубления до длины одной обсадной трубы.

Конструктивная схема погружного гидроударного бурового снаряда ПБС-110 [4; 5] показана на рис. 3.

Структура и принцип работы ПБС-110 не отличаются от ранее описанных снарядов установки УМБ-130 [4; 6; 7]. Конструктивные изменения происходят только в устройстве НПУ и колонковом наборе.

Нижний пусковой узел включает толстостенный цилиндр 9, соединяющийся с нижней наковальней 13. На штоке 8 помещается снабжённый системой каналов поршень 6 с пружиной 7.

Работа снаряда ПБС-110 заключается в следующем.

В режиме размывания пород на забое (рис. 3а) через канал ж направляется увеличенный расход жидкости, приводящий к усилению нагрузки на поршень 6, который, преодолевая сопротивление пружины 7, смещается вниз. При этом последовательно закрываются окна д и открываются боковые окна л в штоке 8. В таком положении элементов НПУ жидкость поступает внутрь колонковой трубы 10 и далее через башмак 12 и специальный проходной кернорватель 11 на забой скважины, разрушая его.

Для работы ПБС в режиме отбора керна (рис. 3б) в нагнетательную линию сбрасывают шарик 5. После его посадки в седло поршня 4 в нагнетательном трубопроводе повышается давление, которое обеспечивает срез шплинтов 2. Поршень опускается вниз, перекрывая канал б. Одновременно открываются окна в, через которые жидкость направляется в гидроударник. При работе гидроударника (режим отбора керна) отработанная жидкость проходит по кольцевому зазору между кожухом и корпусом гидроударника и далее через канал ж в наковальне 13 и радиальные окна д в цилиндре 9 выходит в скважину. При этом действующая на поршень 6 сила, определяемая величиной перепада давления жидкости в камере к, компенсируется

при бескерновом бурении/при бурении с отбором керна	2,0 – 2,2 МПа
Перепад давления	20 – 25 Гц
Частота ударов	70 – 90 Дж
Энергия единичного удара	
Размеры снаряда	5,35 м / 0,108 м
длина / диаметр	141 кг
Масса снаряда	22 кВт
Приводная мощность	

Техническая характеристика ПР-102 приведена в табл. 2.

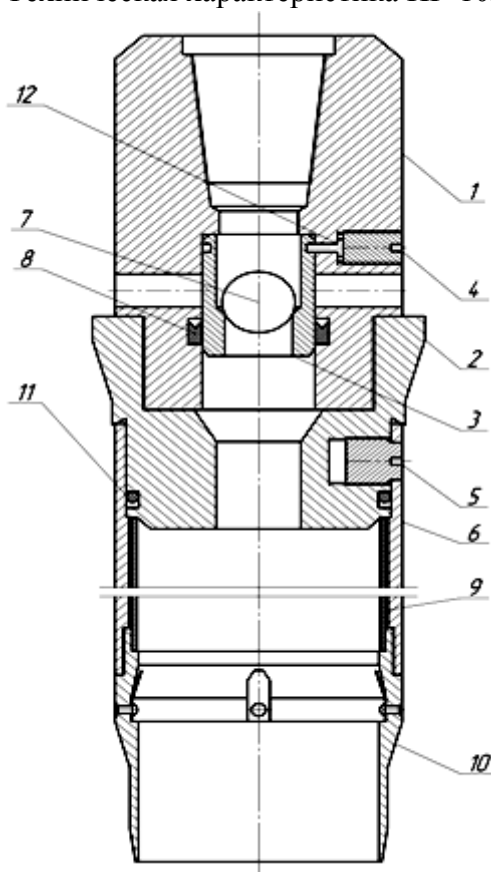


Рис. 4. Вдавливаемый пробоотборник: 1 – переходник; 2 – муфта посадочная; 3 – поршень; 4 – стопор; 5 – фиксатор; 6 – труба наружная; 7 – шарик; 8, 11 – уплотнения; 9 – керноприёмник; 10 – башмак; 12 – штифт.

Особенности конструкции пробоотборника следующие:

- наличие поршневого узла, позволяющего обеспечивать размывание обрушившихся пород при постановке на забой и промывание скважины при отборе пробы;

- ступенчатый башмак с тонкой режущей кромкой, обеспечивающей получение ненарушенной пробы; 3. Дополнительный пластиковый керноприемник, обеспечивающий сохранность керна, возможность его описания и транспортировки;

- расширитель, обеспечивающий последующее использование в скважине снаряда ПБС-110 с башмаком диаметром до 118 мм.

Устройство работает следующим образом. При спуске пробоотборника в скважину шарик 7 в грунтоносе отсутствует, поэтому через устройство можно промывать скважину. Перед отбором монолита в буровой снаряд сбрасывают шарик, который садится в седло поршня 3. Под давлением промывочной жидкости штифт 12 срезается и поршень 3 перемещается вниз до упора в посадочную муфту 2, открывая радиальные каналы в поршне переходнике 1, через которые промывается скважина в процессе отбора монолита.

По окончании отбора пробы пробоотборник поднимают над забоем. Монолит удерживается в керноприемнике за счет лепесткового кернорвателя, размещенного в башмаке 10, и шарика 7, препятствующего поступлению жидкости в полость керноприемника сверху.

В качестве керноприемника используют пластиковые трубы диаметром 90 мм и толщиной стенки 2,2 мм. В керноприемнике выполнены продольные

окна для описания пород, из которых состоит разрез скважины.

Предложенные технологии и разработанные технические средства прошли апробацию в октябре-ноябре 2007 года при выполнении инженерных геотехнических исследований площадки под строительство платформы блок-кондукторов Субботинского нефтегазового месторождения на шельфе Черного моря, которое осваивается ГАО «Черноморнефтегаз».

С СПБУ «Сиваш» была пробурена инженерно-геологическая скважина глубиной 78 м. При бурении было отобрано 60 проб (из них 30 проб – монолиты).

Опыт бурения скважины свидетельствует, что использование снарядов ПБС-110 и

вдавливаемых пробоотборников ПР-102 позволяет получить качественные пробы грунта.

Для совершенствования технологии бурения снарядом ПБС-110 по результатам его эксплуатации были проведены дополнительные исследования по оценке влияния компоновки низа бурильной колонны на механическую скорость бурения.

Таблица 2. Техническая характеристика вдавливаемого пробоотборника ПР-102

Параметр	Значение
Категории пород по буримости	I – IV
Максимальная длина пробы	1 м
Диаметр керна	0,0845 м
Наружный диаметр башмака в режущей части	0,0905 м
Угол приострения башмака	8°
Наружный диаметр керноприёмника	0,09 м
Диаметр корпуса	0,112 мм
Диаметр расширителя	0,118 мм
Длина	1,296 м
Давление среза штифтов (не более)	2,0 МПа
Масса	32 кг

Компьютерное моделирование осуществляли на основании ранее проведенных исследований для гидроударных буровых снарядов погружных установок типа УМБ-130 [8; 9]. В качестве исходных данных для моделирования были взяты сопротивление, рассчитанное по методике И.Г. Шелковникова [10] 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. При моделировании были рассмотрены пять компоновок низа бурильной колонны, схемы которых показаны на рис. 5.

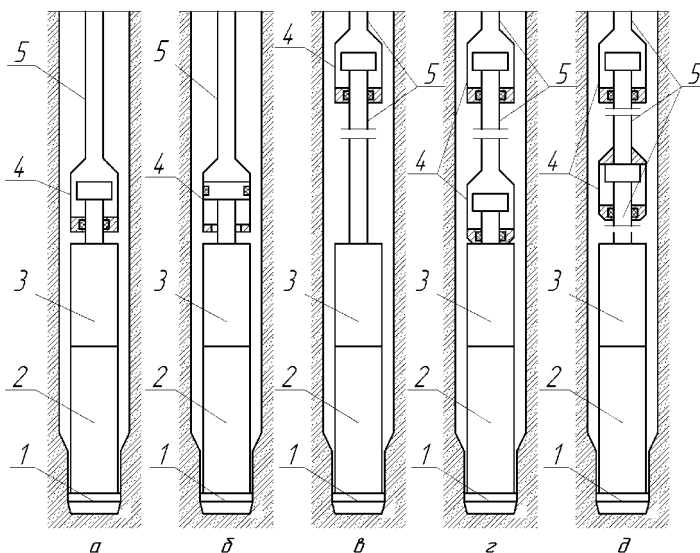


Рис. 5. Схемы возможных компоновок низа бурильной колонны при эксплуатации ПБС-110: 1 – башмак, 2 – колонковый набор, 3 – гидроударник с распределительными узлами, 4 – разъединитель, 5 – бурильные трубы.

В-первых двух компоновках (рис. 5а, б) ПБС-110 отделён от бурильной колонны разъединителем 4, который обеспечивает его свободное заглубление в грунт без взаимодействия с бурильными трубами 5. Различие заключается лишь в конструкции разъединителя, которая определяет дополнительную статическую нагрузку, действующую на снаряд за счет

давления промывочной жидкости в бурильных трубах при отборе пробы. В третьей компоновке (рис. 5в) между снарядом и разъединителем устанавливается секция бурильных труб, выполняющая функции статического утяжелителя. Четвертая компоновка (рис. 5г) предусматривает наличие двух разъединителей: один устанавливается непосредственно над снарядом, второй – в колонне бурильных труб на различной глубине. Это позволяет использовать участок бурильной колонны между разъединителями как динамический утяжелитель, имеющий возможность ударного взаимодействия со снарядом. Пятая компоновка (рис. 5д) по сути является комбинацией двух предыдущих, что позволяет создавать дополнительное статическое и динамическое нагружение снаряда при отборе пробы. Разъединители, используемые в трех последних компоновках, могут иметь различные конструкции, соответствующие как первой, так и второй компоновке. Кроме особенностей конструктивного исполнения компоновок при моделировании дополнительно учитывали исследованное ранее влияние глубины моря и работы насосного блока бурового снаряда на процесс его погружения в грунт [8]. Основные результаты компьютерного моделирования для отбора пробы на глубине 100 м приведены в табл. 3.

Таблица 3. Изменение механической скорости бурения для различных компоновок низа бурильной колонны при эксплуатации снаряда ПБС-110

Сопротивление внедрению ПБС, кН	Механическая скорость бурения, м/мин, по компоновкам рис. 5				
	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>
30	1,2	1,92 (+60 %)	1,615 (-16 %)	2,03 (+6 %)	1,307 (-32 %)
50	0,57	0,69 (+21 %)	0,563 (-18 %)	0,72 (+4 %)	0,243 (-65 %)
70	0,375	0,426 (+14 %)	0,345 (-19 %)	0,504 (+18 %)	0,402 (-6 %)
90	0,28	0,308 (+10 %)	0,248 (-19 %)	0,39 (+27 %)	0,188 (-39 %)
110	0,223	0,241 (+8 %)	0,194 (-19 %)	0,33 (+37 %)	0,172 (-29 %)

Примечание. Прирост механической скорости бурения для компоновки, выполненной по рис. 5б, рассчитан по сравнению с компоновкой рис. 5а для компоновок, выполненных по рис. 5в – д, – по сравнению с компоновкой (рис. 5б). Масса утяжелителей для компоновок по рис. 5в – д – 100 кг.

По результатам компьютерного моделирования можно сделать следующие выводы.

Механическая скорость бурения (табл. 3), полученная для базовой компоновки (рис. 5а), в целом соответствуют данным эксплуатации буровых снарядов ПБС-110 при отборе проб песков в скважине на Субботинском нефтегазовом месторождении, что позволяет рассматривать их как подтверждение разработанной компьютерной модели.

Из данных табл. 3 видно, что использование разъединителя с большей рабочей площадью поршня (рис. 5б), воспринимающей давление жидкости, более эффективно по сравнению с применением базовой компоновки (рис. 5а) во всем спектре пород.

Таким образом, результаты анализа применения различных видов утяжелителей при использовании разъединителя показали, что применение статического утяжелителя не дает положительного эффекта – механическая скорость бурения неизменно снижается. Это также свидетельствует о том, что попытка увеличить длину рейса за счет увеличения длины колонковой трубы приведет к снижению механической скорости бурения.

Использование динамического утяжелителя даже небольшой массой может существенно повысить механическую скорость бурения, особенно в твердых породах. При этом при увеличении массы утяжелителя более чем на 3 – 4 массы снаряда однозначно повышается скорость бурения, особенно в мягких породах. А при увеличении массы утяжелителя до указанного предела механическая скорость бурения изменяется почти периодически, причем наблюдаются такие значения массы утяжелителя, при которых механическая скорость бурения будет ниже, чем при использовании компоновки с одним разъединителем (рис. 6).

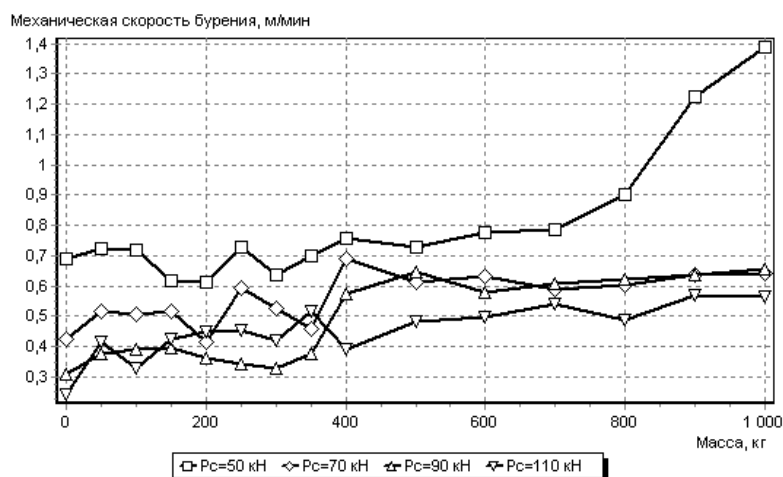


Рис. 6. Графики зависимости механической скорости бурения по результатам компьютерного моделирования отбора проб в скважинах снарядами ПБС-110 от массы динамического утяжелителя (P_c – сила сопротивления внедрению)

боем, но не будет влиять на энергию, передаваемую снаряду от бойка гидроударника.

Одновременное использование статического и динамического утяжелителей также не дает положительного эффекта. При этом резко снижается механическая скорость бурения как при увеличении массы статического утяжелителя, так и при повышении силы сопротивления внедрению снаряда в грунт. Таким образом, результаты по использованию статического утяжелителя в буровом снаряде показывают, что в скважинной компоновке обязательно должен присутствовать разъединитель, который следует устанавливать непосредственно над снарядом.

Литература

1. Разработка погружных гидроударных снарядов для бурения подводных разведочных скважин со специализированных плавсредств / О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр.– К.: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 92-95.
2. Колонковый снаряд. Пат. на корисну модель № 13609 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00, E21B 25/18 / А.А. Каракозов, О.І. Калініченко, П.В. Зибінський. Опубл. 17.04.06. Бюл. № 4.
3. Колонковый снаряд. Пат. на винахід № 81016 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / А.А. Каракозов, О.І. Калініченко, П.В. Зибінський. Опубл. 26.11.07.
4. Калиниченко О.И., Зыбинский П.В., Каракозов А.А. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе. – Донецк: Вебер (Донецк. отд.), 2007. – 270 с.
5. Колонковый снаряд. Пат. на корисну модель № 31821 UA МПК(2006) E21B 21/00, E21B 25/00 / О.І. Калініченко, А.А. Каракозов, П.В. Зибінський. Опубл. 25.04.08. Бюл. № 8.
6. Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В. Погружная установка УМБ-130 для многорейсового бурения подводных скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Из-во ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2003. – Вып. 6. – С. 63 – 68.

Результаты анализа исследуемых зависимостей показывают, что при описанной технологии бурения (см. рис. 1) на глубинах отбора пробы более 40 м от уровня воды можно использовать компоновки с разъединителем (см. рис. 5а, б), но бурильные трубы должны подаваться в скважину свободно и находиться 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 счет того, что колонна будет ограничивать подскок снаряда над за-

7. Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В. Технические средства бурения подводных геологоразведочных скважин глубиной до 50 м // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Из-во ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2004. – Вып. 6. – С. 14 – 15.
8. Каракозов А.А. Оценка влияния конструктивных особенностей буровых снарядов на процесс их погружения в донные отложения при бурении разведочных скважин на шельфе // Наук. пр. ДонНТУ, Сер. «Гірничо-геологічна». – Донецьк: Вид-во ДонНТУ, 2005. – Вип.96. – С. 157 – 161.
9. Каракозов А.А. Сравнительная теоретическая оценка влияния применения утяжелителей и колонковых наборов с подвижными трубами на эффективность процесса бурения донных отложений гидроударными буровыми снарядами // Наук. пр. ДонНТУ, Сер. «Гірничо-геологічна». – Донецьк: Вид-во ДонНТУ, 2006. – Вип. 111. – Т. 2. – С. 113 – 118.
10. Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. – Л.: Недра, 1977. – 160 с.

Поступила 18.06.08