

УДК 622.24.085

**О. И. Калиниченко**, д-р техн. наук, проф., **А. А. Каракозов**, канд. техн. наук, доцент,  
**А. В. Хохуля**, канд. техн. наук

Донецкий национальный технический университет, ДНР

Тел.: +38(062) 301-03-24. E-mail: [ttbs@donntu.org](mailto:ttbs@donntu.org)

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ТЕХНИКИ МНОГОРЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ

*В статье приведены результаты разработки и применения нового бурового снаряда для бурения инженерно-геологических скважин; обоснована возможность применения универсального гидродарного бурового снаряда, функционально заменяющего многочисленный перечень нормативно предусмотренных технических средств для выполнения инженерно-геологического бурения скважин на шельфе.*

**Ключевые слова:** континентальный шельф, инженерно-геологические изыскания, технология и техническая основа бурения, универсальный гидродарный буровой снаряд.

**O. I. Kalinichenko, A. A. Karakozov, A. V. Khokhulia**

### SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGY SYSTEM AND MULTI-TRIP DRILLING TECHNIQUE USED IN ENGINEERING AND GEOLOGICAL SURVEY IN SEA AREAS

*The article refers to the results of elaboration a new drill string and its appliance for boring of engineering-geological holes; the article argues possibilities of appliance of cross-functional hydraulic-percussive drill string that substitutes multiple functions of technological tools stipulated by standards regulating engineering and geological survey in continental shelf area.*

**Keywords:** continental shelf, engineering and technological survey, operating procedure and technological basis of boring, cross-functional hydraulic-percussive drill string.

Направленность современных тенденций освоения морских месторождений характеризуется поиском и развитием технико-технологической базы бурения инженерных скважин. Такие скважины обеспечивают подготовку инженерно-геологических данных для проектирования трасс трубопроводов, якорных систем, площадок для постановки СПБУ в порту или прилегающей к нему акватории и др.

Основным критерием обоснования технических средств, для производства изысканий, является возможность достижения ими глубины бурения, на которой породы не оказывают влияние на устойчивость проектируемых сооружений. В соответствии с нормативными требованиями [1], около 25% в объеме изысканий занимают скважин глубиной от 6 до 25 м, а более 60% приходится на скважины глубиной до 50 м. В качестве технической основы проходки таких скважин применяются, как правило, специализированные буровые суда (БС), оснащенные буровыми агрегатами, реализующими вращательный способ. С точки зрения полноты получения инженерно-геологической информации, выделенные технические группы зачастую находятся в противоречии к нормативным требованиям.

Учитывая специфику осадочных накоплений, характеризующихся высокой частотой чередования по вертикальному разрезу скважины пород различной плотности, консистенции и гранулометрического состава, задача получения качественного керна, за счет применения вращательного способа проходки скважин, существенно ограничивается или становится невозможной [2, 4].

Дополнительным сдерживающим мотивом использования БС является их низкая рентабельность при выполнении больших объемов бурения глубиной 25-50 м, на от-

дельно выделенной площадке изысканий. Применение традиционной технологической схемы вращательного способа проходки скважин до отмеченных глубин предусматривает использование обсадных колонн. Это предполагает весьма жесткие требования к раскладке якорей. Для обеспечения надежной стабилизации БС над устьем скважины, особенно при течениях свыше 1 м/с, количество якорей должно быть не менее 4-х. Как следствие, существенно увеличивается трудоемкость подготовительно-заключительных и вспомогательных операций. Принимая также во внимание волнение моря (до 2-х баллов), при котором допускаются работы с БС [1], коэффициент полезного использования бурового судна не превышает 20%, а затраты времени на перебазирование судна на новую точку в несколько раз превышают продолжительность чистого бурения скважины [3]. Отмеченные противоречия, а также высокая арендная стоимость специализированных судов (15000 \$ в сутки и более), применение БС для рассматриваемой области морского бурового производства становится экономически невыгодным.

Весьма часто организации, выполняющие инженерно-геологическое бурение, сталкиваются с проблемами, возникающими вследствие низкой избирательности БС или их отсутствие в арсенале морских геологоразведочных экспедиций. В тоже время, парк флота таких предприятий располагает достаточным числом мобильных и экономичных судов общетехнического назначения (спасательные и обслуживающие суда, морские буксиры и др.). Использование отмеченной группы плавсредств является очевидным фактором снижения напряженности в рассматриваемой области морского бурового производства.

Проблема и значимость развития технологической схемы бурения скважин с неспециализированных плавсредств, определена еще в 70-х годах XXI в. Однако завершённых практических предложений по ее воплощению в жизнь до настоящего времени нет [4].

Основная трудность осуществления схемы обусловлена необходимостью максимальной адаптации забортного способа бесколонного бурения к штатному оборудованию судов общетехнического назначения, предусматривающей исключение из традиционной комплектности бурового агрегата такого энергоемкого и габаритного оборудования как буровая вышка, буровой станок, бурильные и обсадные трубы, емкости для хранения и очистки бурового раствора и пр. Постановки возникших при этом задач, усложнялась необходимостью решения ряда принципиальных вопросов. Во-первых, учитывая глубину бурения (преимущественно до 50 м), реализация способа предполагала поиск технического обеспечения многорейсового цикла проходки скважин с поинтервальным отбором керна. Во-вторых, предусмотренная бесколонная проходка скважин требовала поиска принципиальных технических решений, предусматривающих возможность очистки ствола на глубину ранее пройденного интервала, частично или полностью замещенного породами, вследствие обрушения стенок скважины, для беспрепятственного погружения бурового снаряда с дальнейшим оперативным изменением способа бурения, на интервале отбора керна.

Обширные исследования и опыт буровых работ на морских акваториях, накопленный специалистами и учеными Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), позволил выделить и реализовать основные направления разработок. В основу решаемых задач положена принципиально новая технологическая схема бурения, предусматривающая бесколонную поинтервальную проходку ствола скважины, предусматривающую использование в течение рейса двух способов разрушения пород на забое: • *с отбором керна*, за счет частотно-ударного погружения бурового снаряда в осадки, и • *без отбора керна* на заданном или пройденном без крепления интервале.

В технологическом плане предусмотренные способы разрушения пород на заданных участках ствола скважины обеспечиваются гидроударным буровым снарядом (ГБС), структурно объединяющим колонковый набор, гидроударник (ГУ), укомплектованный пусковыми узлами: верхним (ВПУ) и нижним (НПУ), являющимися управляющими элементами ГБС, и устанавливающими заданные режимы разрушения пород на интервалах скважины.

В начальном варианте ГБС предусматривался дискретный характер изменения способов разрушения пород на интервалах скважины: • размыв участка ствола при увеличенной подаче жидкости в гидросистему; • временное отключение насоса для срабатывания НПУ и ВПУ; • включение насоса для запуска и работы ГБС в режиме отбора керна [3].

При таком способе изменения режимов работы ГБС возникали существенные трудности, как в эксплуатационном, так и технологическом плане, прежде всего, при проходке заданного или ранее пройденного интервала *без отбора керна*. Так, при встрече трудноразмываемых пород, их разрушение дополнялся «ключущим» способом бурения, в виде периодического поднятия и сбрасывания ГБС на забой с последующим вымыванием керна из колонкового набора. Операция постоянного поднятия и сбрасывания ГБС нередко сопровождалась нарушением согласованности в креплении системы «нагнетательный шланг-грузовой трос». В ряде случаев это приводило к аварийным ситуациям [3].

Отмеченная технико-технологическая недоработка явилась основой постановки задачи, направленной на более полную реализацию потенциальных возможностей ГБС путем исключения «ключущего способа» из перечня операций в полном цикле бурения скважин.

Содержательной частью проведенных исследований, явились инженерные решения, направленные на расширение эксплуатационных возможностей ГБС и касались, прежде всего, получения нового способа разрушения пород *без отбора керна* на заданном или ранее пройденном интервале скважины. Итогом поиска реализации поставленной задачи, явилась разработка гидроударного бурового снаряда, которому присвоен индекс ГБС 127М (рис. 3). Принципиальным отличием ГБС-127М, по отношению к известным снарядам, входящих в комплект ранее созданных установок УМБ [3], является включение в его состав гидроударника (ГУ), в котором верхний пусковой узел выполнен в виде распределительного переходника 2, в расточенной части которого расположен подпружиненный полый ступенчатый поршень 3 с системой боковых окон и каналов. На фазе бескернового бурения ВПУ распределяет поток жидкости, направляя его как в рабочие камеры ГУ, так и на забой скважины, обеспечивая одновременное формирование частотно-ударных и гидромониторных нагрузок на забое [5, 6].

Для привода ГБС используется ограниченный перечень палубного оборудования (рис. 1): буровой насос для подачи жидкости в ГБС по нагнетательному шлангу, выполненному в виде отрезков, сращенных между собой специальными шланговыми соединениями (ШС) и длина которого согласована с длиной троса с помощью опорных цилиндров, приваренных к ШС; на жестком отрезке обвязки насоса последовательно установлены: регулировочный вентиль, служащий для изменения подачи жидкости в нагнетательный трубопровод при смене режима работы гидроударника на фазах отбора керна и бескерновой проходки интервалов скважины и питатель, оснащенный шаровым клапаном и являющийся элементом управления ВПУ.

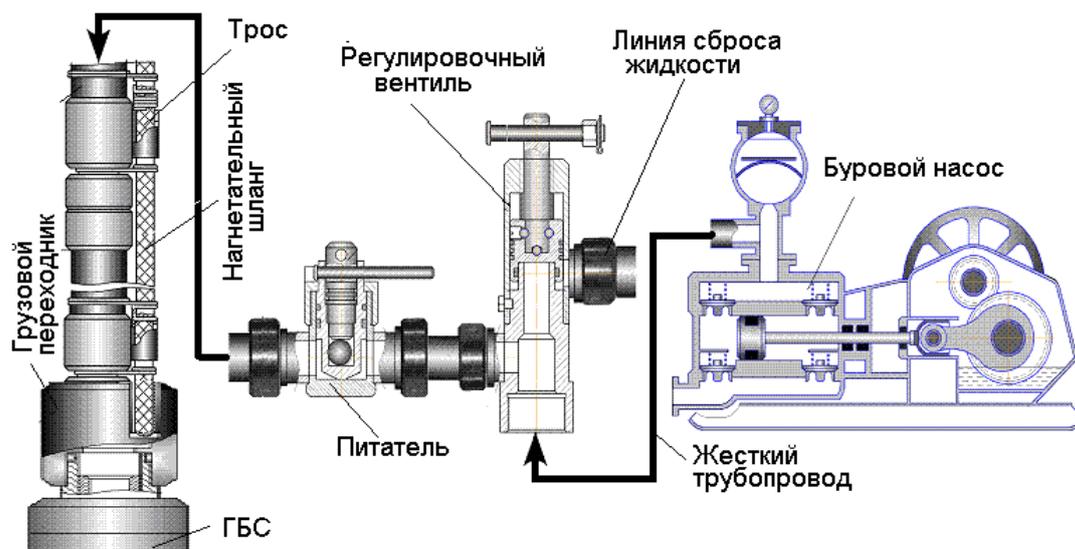


Рисунок 1. Обвязка бурового насоса на палубе.

Технологическая схема поинтервального отбора керна, с использованием предложенного ГБС, приведена на рис. 2.

Снаряд через грузовой переходник 4 соединяется с судовой грузовой системой. С помощью троса 2 ГБС спускается на точку бурения и стабилизируется на дне моря донной опорой 3.

Ранее пробуренный или заданный интервал скважины ( $L$ ) проходится без отбора керна. При этом в гидросистему (по нагнетательному шлангу 1) подается увеличенный расход жидкости -  $Q_1 = Q + \Delta Q$  (рис.2, а).

На этой фазе работа выполняется без размещения в ВПУ шарового клапана 1, а поршень 3 (см. рис.3) зафиксирован в корпусе распределительного переходника 2 срезными штифтами 18. Подача жидкости  $Q_1$  в системе каналов и окон ВПУ разделяется на две составляющие:

- Поток  $Q$ , по клапанной щели «г» и смещенному каналу «д» поступает в рабочие камеры цилиндра 8, обеспечивая запуск гидроударника (ГУ). В процессе работы ГУ боек 8 наносит удары по наковальням 9 и 11, формируя на них ударные нагрузки, передающиеся колонковому набору, включающему наружную трубу 17 с режущим башмаком и внутреннюю (керноприемную) трубу 18. Отработанная в гидроударнике жидкость в объеме  $Q$ , через обратный клапан 5 и окно «е» выходит в кольцевой зазор между кожухом 6 и корпусом 7 гидродвигателя ГУ (зазор «а», см. рис.2, а).

- Одновременно объем жидкости  $\Delta Q$ , через боковые отверстия в ступенчатом поршне 3 и радиальному каналу «м» распределительного переходника 2 в кольцевом зазоре объединяется с потоком  $Q$  (см. также рис. 2, а) и по каналам «к» нижней наковальни 11, направляется в камеру «н» НПУ. Суммарное действие потока  $Q + \Delta Q$  в камере НПУ обеспечивает смещение системы «поршень 15 + клапан 16»: клапан перекрывает доступ жидкости в кольцевой зазор колонкового набора; открываются радиальные окна «л» и весь поток  $Q_1$  направляется в керноприемную трубу 18 (см. также рис. 2, а).

Совмещение выделенных способов разрушения пород на проходимом участке  $L$ , соответствующего началу бурения скважины с отбором керна, с одной стороны, обеспечивает эффективное частотно-ударное разрушение пород по разрезу скважины, с другой – гидромониторная нагрузка препятствует формированию керна в керноприем-

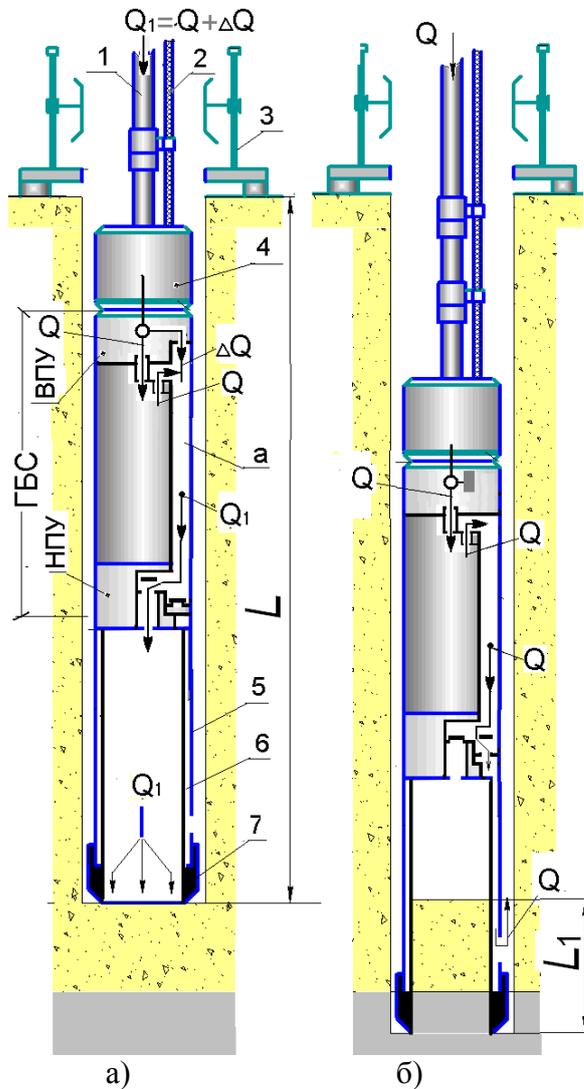


Рисунок 2. Принципиальная технологическая схема многорейсового бурения скважин: *a* – бескерновая проходка ствола скважины; *б* – бурение интервала с отбором керна; 1 – нагнетательный шланг; 2 – грузовой трос; 3 – донная опора; 4 – грузовой переходник; 5, 6 – соответственно наружная и керноприемная труба колонкового набора; 7 – породоразрушающий башмак.

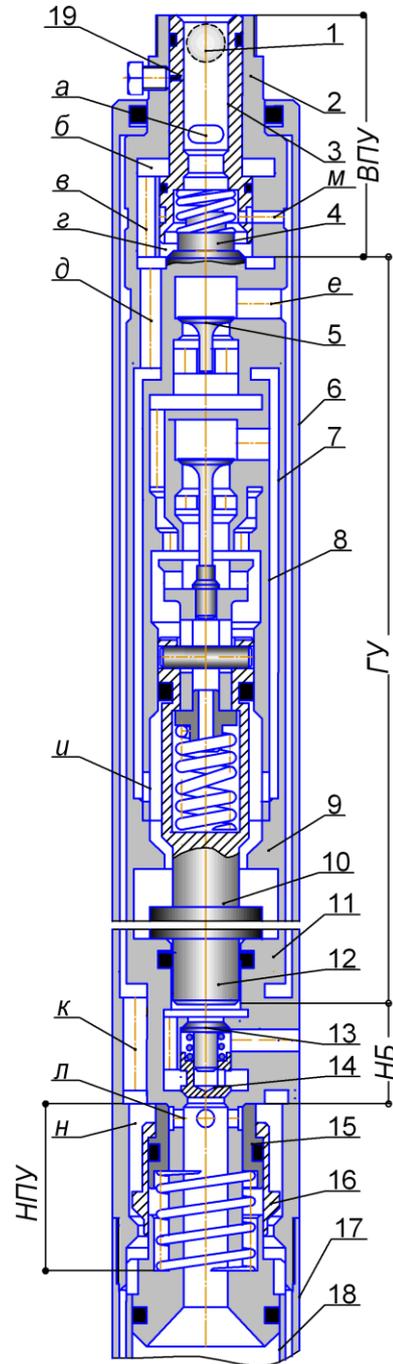


Рисунок 3. Схема ГБС 127М.

ной трубе.

Переход на способ разрушения пород с отбором керна обеспечивается при пониженной подаче жидкости, оперативно изменяемой регулировочным вентилем. В нагнетательную линию с помощью питателя сбрасывается шарик 1. При его посадке на

седло поршня ВПУ в гидросистеме повышается давление. Срезаются штифты 19. Ступенчатый поршень 3, смещаясь, садится на пробку 4, закрывая клапанную щель «г» и радиальные каналы «и». Совмещаются: окно «а» и камера «б», обеспечивая возможность прохода жидкости по каналу «д» в рабочие камеры ГУ. Одновременно, уменьшенная подача жидкости ( $Q$ ) является условием перемещения системы «поршень 15-клапан 16» НПУ вверх. Перекрываются окна «л» прерывая поступление жидкости в керноприемную трубу 18 (см. также рис. 2, б).

Изменением подачи жидкости (с помощью регулировочного вентиля), гидроударник выводится на эффективный режим работы с частотно-ударными параметрами, достаточными для погружения колонкового снаряда в пересекаемые по разрезу скважины породы.

На фазе отбора керна функции ГУ расширены приводом в действие насосного блока (НБ), обеспечивающего постоянную обратную циркуляцию жидкости в керноприемной трубе. НБ включает вытеснитель, роль которого выполняет шток 12, представляющий собой меньшую ступень дифференциального поршня бойка 8, и клапанную группу, состоящую из нагнетательного 13 и всасывающего 14 клапанов.

Для реализации предложенной технологии разработаны установки, которым присвоены индексы УМБ-2М и УМБ-130М, укомплектованные гидроударным буровым снарядом ГБС-127М, и дополненные грузовой системой и системой стабилизации ГБС на дне.

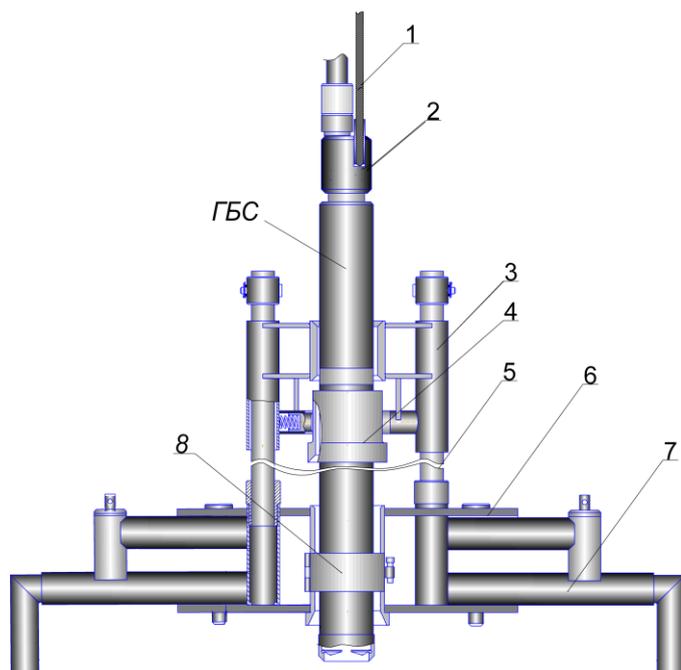
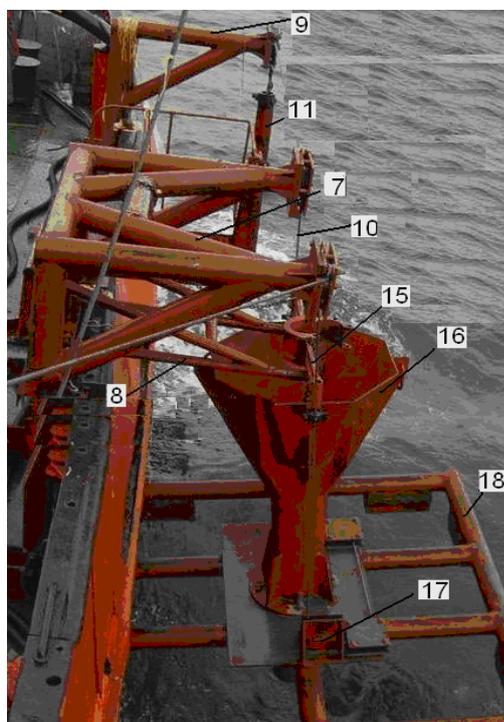
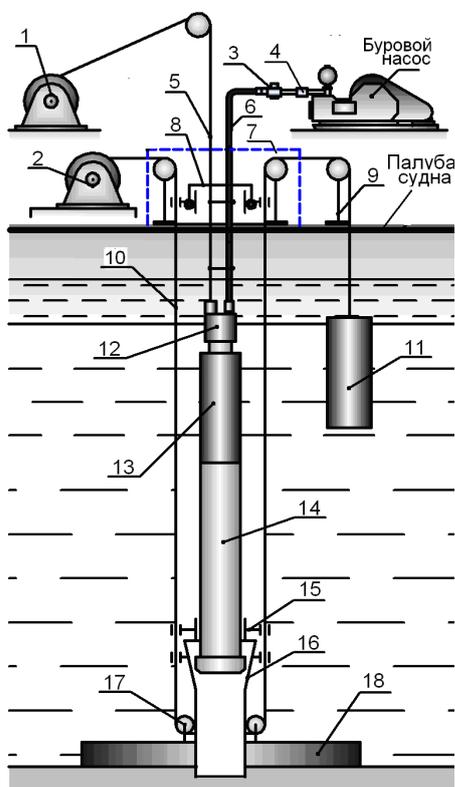


Рисунок 4. Система стабилизации ГБС установки УМБ-2М.

Установка УМБ-2М относится к классу легких технических средств и предназначена для бурения скважин глубиной до 25 м. Состав ее грузовой системы адаптирован к судовому грузовой системе, включающему буровую или судовую лебедку, с тросом 1, пропущенным через блок судовой стрелы и жестко закрепленным на грузовой переходнике 2. Система стабилизации ГБС на дне обеспечивается опорой, состоящей из утяжеленного основания в виде шести трубчатых лап 7, жестко связанных с неподвижной кареткой 6, оснащенной направляющим раструбом с хомутом 8, и двумя патрубками для установки стоек 5, по которым перемещается подвижная каретка 3 с поворотной воронкой 4.

Установка УМБ-130М предназначена для бурения скважин глубиной до 50 м. Учитывая более широкие показатели применения, принимая во внимание требование бесколлонной проходки ствола при, как правило, весьма неустойчивом характере пород в разрезе скважины, грузовой и стабилизирующей системы УМБ-130М по сравнению с УМБ-2М имеют существенные отличия (рис. 5). Система стабилизации ГБС над устьем скважины, предусматривает повторное попадание ГБС в открытый, частично обрушенный ствол скважины.

Для выполнения спуско-подъемных операций (СПО) необходимый перечень грузоподъемного оборудования установки включает: буровую планетарную лебедку 1, которая через трос 5, соединенный с грузовым переходником 12 обеспечивает спуск и подъем ГБС (гидроударник 13+колонковый набор 14), и грузовую лебедку 2 для спуска и подъема донного (стабилизирующего) основания 18.



Оборудование грузового комплекса за бортом судна.

Рисунок 5. Схема и комплектность установки УМБ 130М:

1 – планетарная буровая лебедка; 2 – грузовая лебедка; 3 – питатель; 4 – регулируемый вентиль; 5 – грузовой трос; 6 – нагнетательный шланг; 7 – грузовой опорный модуль; 8 – кронштейн; 9 – грузовая стойка; 10 – талевый канат; 11 – компенсационный груз; 12 – грузовой переходник; 13 – гидроударник; 14 – колонковый набор; 15 – элеватор; 16 – направляющая воронка; 17 – система роликов; 18 – донное основание.

Донное основание имеет направляющую воронку 16 и через систему роликов 17, талевым канатом 10 через ролики Г-образных направляющих опорных стоек модуля 7, жестко прикрепленного к фальшборту, связано с судном. На свободном конце талевого каната, пропущенного через ролик грузовой стойки 9, закрепляется груз 11, который обеспечивает постоянное натяжение направляющих ветвей талевого каната с компенсацией его длины при перемещениях судна.

В процессе СПО, ГБС центрируется относительно оси скважины элеватором 15, который свободно перемещается по направляющим ветвям талевого каната 10. В начале операции спуска элеватор располагается на выдвижном кронштейне 8. При перемещении кронштейна (втягивании в сторону палубы) происходит освобождение элеватора, который, перемещаясь по корпусу ГБС, опускается до упора в башмак или предусмотренный на колонковом наборе ГБС ограничительный уступ. При контакте с

направляющей воронкой 16 элеватор останавливается, а снаряд продолжает перемещение вниз до заданной глубины внедрения. После углубки на длину рейса ГЭС вместе с элеватором поднимается вверх. Элеватор фиксируется на кронштейне 8. Открытием элеватора ГЭС освобождается и с помощью грузовой стрелы и буровой лебедки перемещается на палубу.

Обе модификации УМБ прошли большой объем производственных испытаний. За период 2003 – 2012 г.г. установками пробурено сотни скважин глубиной от 6 до 45 м, на более чем 20 площадках газовых месторождений Черного и Азовского морей [4]. В 2006 г. установка УМБ-130М, использована в Чукотском море при геологическом съемочных работах по Программе Государственного геологического картирования шельфа России [7]. В 2009 г. по итогам бурения экспериментальных инженерно-геологических скважин в порту г. Вунг Тау, техническими и геологическими службами компании Far east marine geology engineering (DMIGE) Ltd. (Вьетнам), установка УМБ-130М прошла приемку и включена в перечень технических средств морского бурового производства.

Основные технические данные ГЭС-127М и обобщенные показатели применения установок УМБ-2М и УМБ-130М на объектах изысканий, приведены в таблице.

Таблица. – Техническая характеристика и показатели применения установок.

<i>Техническая характеристика гидроударного бурового снаряда ГЭС-127М</i>		
<i>Габаритные размеры</i>	Наружный диаметр корпуса, мм	127
	Длина гидроударника (без колонкового набора), мм	2250
	Масса гидроударника, кг	155
	Длина колонкового набора, м	2 - 6
	Диаметр керноприемной трубы/диаметр бурения, мм	98/130
<i>Параметры привода</i>	Номинальная подача жидкости на привод ГУ, л/мин	180-210
	Рабочее давление жидкости в цилиндре ГУ, МПа	2,6-3,8
	Подача жидкости на фазе бескернового бурения, л/мин	300-400
<i>Рабочие параметры</i>	Энергия единичного удара, Дж	131-195
	Частота ударов в минуту	1350-1600
	Мощность на привод гидроударника, кВт	8,0-14
	Моторесурс/ межревизионный период, маш/ч	350/8
<i>Показатели применения установок</i>		
Показатель	УМБ-2М	УМБ-130М
Диаметр бурения, мм	130	130
Диаметр керна, мм	95	95
Выход керна, %	90 ± 5	90 ± 5
Коммерческая скорость бурения; • однорейсовое (6 м) • многорейсовое (25 м) • многорейсовое (50 м)	Средняя по итогам применения	
	7,1 м/ч	6,2 м/ч
	4,1 м/ч	4,8 м/ч
	-	3,7 м/ч

Предложенные технические решения позволили:

Расширить показатели назначения выделенных типов установок за счет использования комбинированного способа разрушения пород в виде одновременно формиру-

ющихся частотно-ударных нагрузок и гидромониторного эффекта при бурении интервала ствола скважины без отбора керна. Впервые получена возможность бескерновой проходки скважин, забой которых может быть представлен как песками и глинами различной плотности и твердости, так и более тяжелыми породами (алевролиты, аргиллиты, твердые глины, гальки, прослойки песчаника, известняка, и др.).

Выделенные факторы позволяют рассматривать разработанные модификации УМБ как альтернативу вращательного бурения с буровых судов (БС) специального назначения.

По сравнению с традиционной схемой проходки таких скважин агрегатами БС использование предложенных модификаций УМБ, эксплуатирующихся с борта экономических судов общетехнического назначения обеспечило более чем 3-х кратное увеличение производительности и рентабельности рассматриваемой области морского бурового производства. Кроме того, применение установок на объектах изысканий позволило значительно повысить качество отбора проб, достигнув выхода керна, более 90%, а отбор инженерно-геологических проб в рыхлых породах этот показатель вырос более чем на 30% при сохранении высокой механической скорости бурения

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Инженерные изыскания на континентальном шельфе. Пособие к ВСН 51.2-84 – Мингазпром. – Ч. 1. – Рига, 1989.
2. Владиславлев, В. С. Пути развития техники и технологии бурения на шельфе. / Владиславлев, В. С., Хворостовский С. С., Истошин С. Ю. // Технология и техника геологоразведочных работ. – М., 1980. – Вып.4. – С. 24-35.
3. Калиниченко, О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе. / Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., Каракозов А. А. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 276 с.
4. Калиниченко, О. И. Установки для бесколонного бурения скважин на морских акваториях. / Калиниченко, О. И., Хохуля А. В., Зыбинский П. В., Каракозов А. А. – Донецк: «Донбасс», 2013. – 161 с.
5. Патент на изобретение №81016 «Колонковый снаряд» /Каракозов А. А., Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., ДОННТУ: Государственный реестр Украины на изобретения. Опубл. 26.11.2007, Бюл.№19.
6. Пат. №77466 Украина, Гидроударный буровой снаряд / Калиниченко О. И., Хохуля А. В., Каракозов А. А.; ДОННТУ: Государственный реестр патентов Украины на полезные модели. опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
7. Каракозов, А. А. Результаты опытной эксплуатации установки УМБ-130 при проведении геолого-съёмочных работ в Чукотском море. / Каракозов А. А., Калиниченко О. И., Зыбинский П. В., Хохуля А. В., Комарь П. Л., Гусев Е. А., Егоров Ю. П. // Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія гірничо-геологічна. – Донецьк (ДонДТУ), 2007. – Вып. 6(125). – С. 53-57.

Поступила в редколлегию 12.04.2021г.