

Студенческая научная работа на тему

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРУЖНЫХ
ГИДРОУДАРНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН
ГЛУБИНОЙ ДО 20м**

Девиз Шельф

Донецк 2011

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе показана актуальность и целесообразность совершенствования легких гидроударных буровых установок для бурения скважин на шельфе с борта судов. Приведен краткий анализ эксплуатационных возможностей аналогичных установок отечественных и зарубежных производителей.

Исходя из условий ограниченного энергообеспечения судов, разработан новый многофункциональный погружной гидроударный буровой снаряд (ПБС) с повышенными показателями надежности, работающий на пониженных расходах жидкости (не более 200 л/мин) при давлении в гидросистеме не более 3 МПа, с сохранением частотно-силовых характеристик, по отношению к известным установкам.

Приведена методика выбора основных узлов бурового снаряда для обеспечения многорейсового бурения с использованием комбинированной схемы разрушения пород на заданном интервале скважины.

В условиях ограниченных размеров рабочих площадок палубы разработан компактный и мобильный вариант стабилизирующей опоры, с повышенными эргономическими и эксплуатационными показателями, с возможностью реализации забортной технологической схемы производства однорейсового пробоотбора (4-6м) и при многорейсовом бурении скважин глубиной до 20м.

ИЗЫСКАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ, ЛЕГКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА,
ОДНОРЕЙСОВОЕ БУРЕНИЕ, ПОИНТЕРВАЛЬНОЕ МНОГОРЕЙСОВОЕ
БУРЕНИЕ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГИДРОУДАРНЫЙ БУРОВОЙ
СНАРЯД, ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОУДАРНИКА, МОБИЛЬНАЯ
ДОННАЯ ОПОРА.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1	4
2.	7
3.	12
4.	22
ВЫВОДЫ	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31

1. Состояние вопроса и исходные положения

Одна из важнейших задач на начальной стадии освоения углеводородных месторождений, а также на этапе разведки месторождений твердых полезных ископаемых и при проведении геологосъемочных работ на шельфе - обеспечение бурения инженерно-геологических и неглубоких разведочных скважин с высокими геолого-экономическими показателями. Сегодня бурение таких скважин осуществляется как по схеме однорейсового бурения, так и по схеме многорейсового бурения скважин.

Технической основой однорейсовой проходки скважин (ОПС) являются легкие установки (ЛТС), эксплуатирующиеся с борта буровых судов или неспециализированных плавсредств.

Для отбора проб при ОПС в коренных породах V-VII категорий используются автономные ЛТС на основе морских пробоотборников, обеспечивающих вращательный способ разрушения твердых пород. В течение последних 30 лет созданием моделей подводных колонковых вращательных пробоотборников (ПКВП) занято ряд таких известных зарубежных фирм и организаций как «Seacore Ltd.» (Великобритания), "Nippon Tesu K.K." и «Kokewn Boring» (Япония), «Fugro» (Голландия), «Альфред ВИРТ» (Германия), «Атлас Копко» (Швеция), Атлантическая океанографическая лаборатория Бедфордского института (США), МГРИ (Россия), сибирское отделение Института горного дела АН России и др. Несмотря на то, что эксплуатация известных зарубежных ПКВП затруднена с неспециализированных мобильных и экономичных судов малого и среднего водоизмещения, важным итогом полученных разработчиками и исследователями результатов, является подтвержденная возможность в процессе ОПС отбирать высокого качества керн в плотных осадочных и коренных породах морского дна с глубины от 0,5 до 5-6м.

Учитывая геологическую специфику прибрежной зоны морей, в том числе украинского шельфа, сложенного породами I-IV категорий по буримости, однорейсовая проходка скважин в подавляющем большинстве выполняется ЛТС, в которых погружение керноприемной части в грунт, обеспечивается с помощью устройств и

механизмов, реализующих вибрационные или виброударные нагрузки на колонковый набор. Характерной особенностью таких ЛТС является преимущественное использование в них в качестве генератора динамических нагрузок электровибраторов и пневмоударников.

Комплексные исследования и опытно-конструкторские работы, выполненные в течение последних 30 лет рядом НИИ и ВУЗов, прежде всего ВНИИморгео, МГРИ, ЛГИ (Россия) обеспечили широкое и эффективное использование целого ряда автономных вибрационных и ударно-забивных пробоотборников, в том числе, в виде различных комплексов механизации для опробования донных осадков акваторий [5].

Большинство известных зарубежных фирм, компаний и организаций, специализирующиеся на разработках и выпуске ЛТС, и в том числе “Elpine geophysical associates” (США), “Терисеч”, «Encore Driling» (Англия), “Woodward-Clyde Consultants” (Канада) “Marine Mining Ltd” (Италия), “Companie Francaise Geomechanique” (Франция), снаряды голландской фирмы «Fugro», “Konrad Stork d'Arlem”, «Kokewn Boring» (Япония), «Pacific engineering company, Ltd (Россия) продолжают совершенствовать такие технические средства для ОПС. В результате предложено ряд установок с увеличенной степенью механизации трудоемких процессов.

Причем, с точки зрения соответствия таких ЛТС требованиям глубины ОПС, то здесь можно отметить, что подавляющая часть пробоотборников обеспечивает получение непрерывного качественного керна длиной 6-10м. В работе [6] приводится описание и результаты применения устройства для вибробурения наземных и подводных скважин глубиной до 13м. К началу 2000г. на мировом рынке ЛТС наиболее конкурентноспособной и широко используемой является установка «Geosor» (Голландия), выполненная на базе электровибратора. В целом, показатели эксплуатации этих установок соответствуют основным пунктам геолого-методических и эксплуатационно-технических требований к бурению инженерно-геологических скважин на шельфе в породах I-III категорий по буримости (илы, однородные пески и песчано-глинистые отложения). В то же время, область при-

менения даже наиболее мощных из известных пневмоударных пробоотборников фирм “Elpine geophysical associates” (США), “Woodward-Clyde Consultants” (Канада) и “Marine Mining Ltd” (Италия) ограничены не только глубиной моря (не более 40 м), но и возможностью эффективной проходки «тяжелых» грунтов (плотных песков и глин, детритовых известняков, прослоев твердых пород и включений галечного материала).

В последние годы в этой области морского бурового производства, прежде всего, России и Украины, произошли существенные изменения. Проведенные в ДонНТУ научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, показали возможность технической реализации ОПС с помощью легких технических средств, в которых для генерации возмущающих нагрузок, обеспечивающих внедрение керноприемного снаряда в осадки, используются многофункциональные гидроударные машины двойного действия.

В течение 2000-2010г.г. в качестве технической базы ОПС, в большинстве случаев, морские геологоразведочные организации Украины и России используют установки УГВП-130/8, УГВП-150, ПУВБ-130, ПУВБ-150, укомплектованные гидроударными погружными буровыми снарядами ПБС-127 с двойным колонковым набором. Главным преимуществом перечисленных установок является широкий диапазон и оперативная управляемость технологическими режимами процесса бурения; с возможностью получения значительных усилий на контакте "разрушающий элемент - горная порода"; при независимости работы гидроударника от глубины погружения в воду. При этом спектр проходимых пород расширен от илов и песков, до детритовых известняков и плотных глинистых пород с включениями гальки и прослоев твердых песчаников и известняка. Подтвержденной эффективностью, прежде всего, установок УГВП-130/8 при бурении скважин глубиной 8-10м с НИС «Топаз» водоизмещением 280 т, практически определена перспектива выполнения позиций основных геолого-методических и эксплуатационно-технических требований к ОПС на шельфе за счет применения установок типа ПУВБ и УГВП.

Из отмеченного следует, что наиболее перспективными, с точки зрения комплексной реализации требований к проходке инженерно-геологических скважин в условиях морских акваторий, являются легкие погружные установки, комплектуемые многофункциональными гидроударными буровыми снарядами. Расширение их возможностей с возможностью реализации многорейсового бурения скважин с борта неспециализированных судов является актуальной задачей.

Учитывая широкое применение и эффективность легких погружных гидроударных буровых установок типа УМБ при выполнении различного рода геологических изысканий на площадках украинской зоны акваторий Азовского и Черного морей, в качестве объекта исследований выбраны легкие ударно-вибрационные установки, область применения которых расширена возможностью их применения как для однорейсового, так для многорейсового бурения скважин с борта неспециализированных плавсредств и буровых судов.

При разработке таких установок наиболее сложным и наименее изученными являются вопросы обоснования параметров гидроударных буровых снарядов с пусковыми узлами для надежного обеспечения комбинированного разрушения осадков на заданных интервалах скважины. Не решенными являются задачи создания гидроударного механизма, работающих на малых расходах жидкости с обеспечением высоких частотно-энергетических характеристик.

2. Принципиальная схема гидроударного бурового снаряда.

Структурно многофункциональный гидроударный буровой снаряд (ГБС) объединяет три основных элемента: гидроударный механизм, для передачи динамических нагрузок, на забой скважины; колонковый набор (КН), для формирования и отбора керна на заданном интервале скважины; и пусковые узлы (верхний - ВПУ и нижний – НПУ), принципиально предназначенные для прекращения или установления связи потока рабочей жидкости с камерами гидроударного механизма и колонкового набора.

Схема разработанного гидроударного бурового снаряда приведена на рис. 1. В предложенном ГБС сохранен состав и структура связи исполнительных элементов, характерных для снарядов, применяющихся в широко известных установках типа УМБ и УГВП. Вместе с тем, в конструкциях гидроударника и пусковых узлов внесены изменения, существенно повысившие эксплуатационные показатели ГБС.

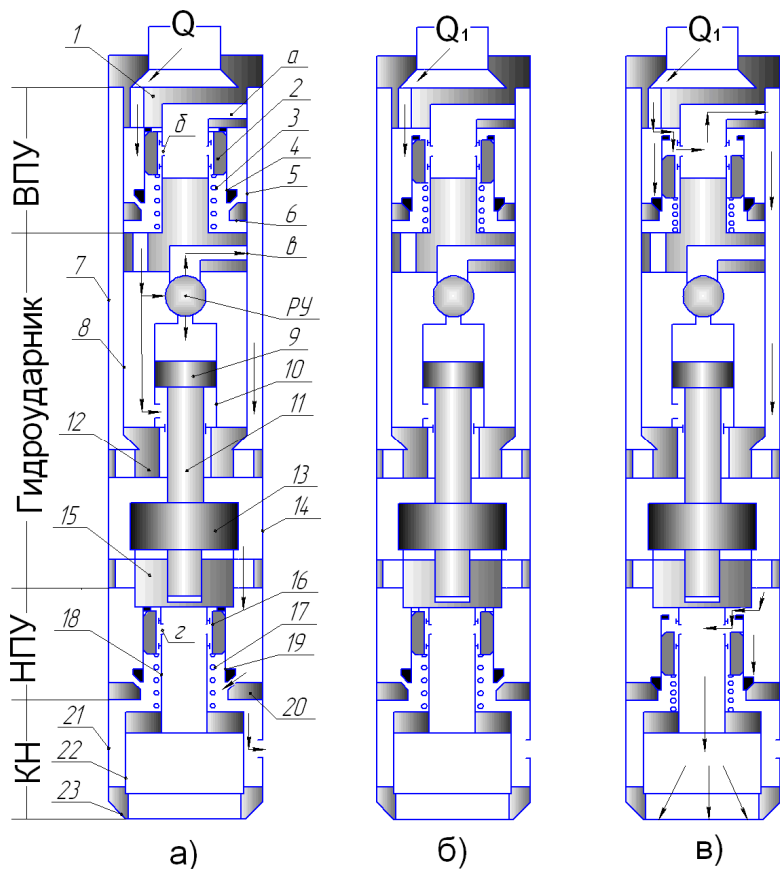


Рис. 1. Принципиальная схема гидроударного бурового снаряда

Исключение из состава системы дополнительного резьбового соединения на промежутке «боек-наковальня» можно рассматривать как решение, обеспечивающее повышение коэффициента передачи ударной мощности на забой скважины. По данным, в резьбовом соединении на пути перемещения ударного импульса, формирующегося при соударении бойка и наковальни потери энергии удара достигают 15 - 30%.

Изоляция гидродвигателя от камеры бойка позволило также обеспечить гарантированный запуск гидроударника при спуске его в зашламованную скважину. При этом камера бойка, даже при проникновении в нее песка, окалины или шлама очищается постоянным набегающим нерабочим потоком жидкости. Появилась

однокорпусное исполнение ударного узла позволило уменьшить количество промежуточных звеньев в системе «боек-наковальня – КН». Принципиальным отличием разработанных гидроударников является раздельное исполнение ударного узла и гидродвигателя механизма.

Однокорпусное исполнение ударного узла позволило уменьшить количество промежуточных звеньев в системе «боек-наковальня – КН».

также возможность применять в конструкции гидроударника более массивные бойки с сохранением его длины, что, в процессе эксплуатации установок, не нарушает требований к габаритам выноса снаряда за борт судна.

Принципиальные изменения внесены в конструкцию и характер работы пусковых узлов, с соблюдением идентичности исполнения как ВПУ, так и НПУ. Использование в пусковых узлах двухэлементного запорного устройства, опирающегося на пружину, обеспечило гарантированное блокирование гидроударника на фазе размыва пород с надежным возвратом запорного устройства в исходное положение с восстановлением связи камер гидродвигателя с рабочим потоком жидкости, и изоляцией камеры керноприемной трубы от потока отработанной жидкости при запуске и работе гидроударника. Предложенная схема пусковых узлов обеспечивает возможность оперативного и многократного изменения режима разрушения осадков на интервале бурения, что является эффективной альтернативой проходки интервалов глинистых пород или плотных песков, за счет появившейся возможности использовать ударно-гидромониторное бурение таких пород, взамен традиционно используемого трудоемкого «ключающего» способа.

В процессе реализации поинтервального бурения скважин в цикле чередования способов разрушения осадков выделяются два состояния ГБС:

- рабочее - на фазе погружения колонкового набора в грунт с формированием керна в колонковом наборе (рис. 1, а);
- сблокированное - на фазе размыва осадков на ранее пройденном или заданном участке ствола скважины (рис. 1, б, в).

В рабочем состоянии устанавливается подача насоса, соответствующая номинальному расходу Q для работы гидроударника. Жидкость по смещенному каналу распределительного переходника 1 попадает в камеру ВПУ. При этом пружина 3 компенсирует силу давления потока на поверхности элементов запорного устройства ВПУ, включающего концентрично размещенные друг относительно друга клапан 4 и поршень-золотник 2. Последний свободно с уплотнением установлен на распределительной штоке 24. В рассматриваемом ре-

жиме поршень-золотник перекрывает отверстия «б», выполненные в боковой поверхности штока. Одновременно клапан 4 свободно пропускает жидкость через канал седла б в рабочие камеры гидроударника.

В соответствии с общей классификацией разработанный гидроударник относится к группе машин двойного действия с дифференциальным поршнем с неконтролируемой подпоршневой полостью.

В исходном состоянии распределительный узел гидродвигателя («РУ») перекрывает доступ жидкости в верхнюю полость цилиндра 10. В нижней полости цилиндра 10 формируется сила $R = P \cdot (F_9 - F_{11})$, которая обеспечивает движение системы «поршень 9 - боек 13» вверх; (F_9 - площадь поршня 9; F_{11} - площадь штока 11).

В процессе перемещения бойка жидкость, находящаяся в цилиндре 10 над поршнем 9 вытесняется через «РУ» и канал «в» в кольцевой зазор между наружным 7 и внутренним 8 корпусами механизма, и далее в камеру НПУ. При вытесненном расходе Q пружина 17 компенсирует силу давления потока на поверхности элементов запорного устройства НПУ, который конструктивно, и по характеру взаимодействия клапана 19 и поршня-золотника 16 аналогичен ВПУ. Поршень-золотник находится в верхнем положении, закрывая радиальные окна «г» на боковой поверхности штока 18. При этом клапан 19 является открытым, обеспечивая движение потока в затрубное пространство.

В дальнейшем, до соударения с бойка с верхней наковальней 12, «РУ» закрывает канал выхлопа жидкости и обеспечивает поступление ее и в верхнюю полость цилиндра. При этом, в камерах цилиндра формируется результирующая сила давление жидкости $R = P \cdot F_{11}$, перемещающая систему «поршень-бок» вниз. Перед соударением бойка с нижней наковальней 15, распределительный узел «РУ» вернется в исходное положение и цикл работы гидроударника повторится.

Переход на режим гидромониторного разрушения осадков с блокировкой гидроударника выполняется при расходе $Q_1 > Q$. При этом технологическим диа-

пазоном изменения расхода жидкости может служить соотношение $Q_1 > (1,4...1,5) \cdot Q$, но не менее необходимого для эффективного размыва осадков на забое скважины. При выполнении отмеченных условий давление набегающего потока формирует на площадь запорного устройства ВПУ силу, превышающую силу сжатия пружины 3 на длине перемещения клапана 4 до посадки на седло 6, прерывая связь потока с рабочими камерами гидроударника. Поршень-золотник продолжит смещение вниз, дополнительно сжимая пружину 3, и открывая отверстия «б».

Поток жидкости Q_1 устремится в камеру НПУ, смещая элементы клапанного устройства в последовательности, аналогичной для ВПУ. При открытии окон «г» жидкость поступает во внутреннюю полость керноприемной трубы 22 и далее, через лепестки-насадки колонкового набора на забой скважины.

Возможность многократного блокирования гидроударника и включения режима размыва осадков на интервале скважины обеспечивается изменением подачи насоса с помощью регулировочного вентиля, являющегося обязательным элементом обвязки насоса.

Предложенная схема ГБС на сегодня является базовой при разработке на кафедре технологии и техники геологоразведочных работ ДонНТУ гидроударных буровых снарядов для бесколонного бурения скважин глубиной до 50м в осадочном комплексе пород морского шельфа.

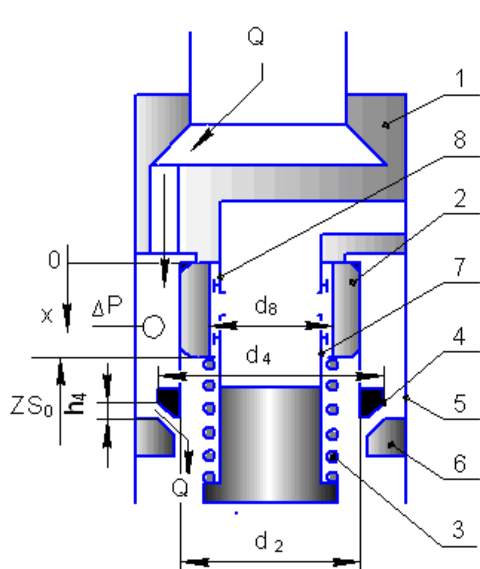
Принципиальность разработанной схемы и новые показатели назначения ГБС обуславливают необходимость обоснованных решений задач, связанных, прежде всего, с разработкой методики инженерного проектирования пусковых узлов, как элементов обеспечивающих саму возможность осуществления комбинированного разрушения осадков на заданном интервале скважины. Учитывая повышенные требования к параметрам срабатывания ВПУ и НПУ и их взаимосвязь с процессами, протекающими в гидросистеме при работающем гидроударнике важным является определение характеристик последнего, для использования их в виде исходных значений, обуславливающих выбора необходимого сочетания конструктивно-технологических параметров пусковых узлов и параметров режима бурения.

3. Методика инженерного проектирования пусковых узлов.

В соответствии с общепринятыми признаками классификации запорные элементы ВПУ и НПУ относятся: по назначению - к пусковым; по конструкции - к пружинным; по характеру работы: клапан - к нормально открытым; поршень-золотник (ПЗ) - к нормально закрытым; по источнику срабатывания - от давления набегающего потока жидкости.

Расчет пускового клапана осуществляется исходя из условия перепуска номинального расхода жидкости в момент срабатывания запорного устройства. При этом положение элементов запорного устройства можно разделить на два состояния, соответствующие режиму работы ГБС:

Состояние 1 – В режиме работы гидроударника элементы пускового узла



(система «клапан 4 – поршень-золотник 2») за счет силы сжатой пружины 3, удерживаются в верхнем положении. Седло 6 клапана 4 открыто, а боковые окна штока 8 закрыты поршнем-золотником 2 (рис. 2).

Поток жидкости Q , являющийся номинальным для эффективной работы гидроударника, через щель между клапаном 4 и седлом 6 поступает в рабочие камеры гидроударника. Устойчивость отмеченного положения элементов запорного устройства

Рис. 2. Расчетная схема пускового узла для состояния 1.

обеспечивается при балансе сил:

$$R_Q = \Delta P \cdot F < Z \cdot S_0, \quad (1)$$

где R_Q - результирующая сила на запорном устройстве пускового узла (ПУ);

ΔP - перепад давления в камере ПУ;

F - результирующая площадь запорного устройства

Z и S_0 - жесткость и предварительное натяжение пружины 3.

Учитывая дифференциальную форму запорного устройства, величина F устанавливается из соотношения:

$$F = (f_4 - f_2 + f_2 - f_8) = f_4 - f_8 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_8^2) , \quad (2)$$

где f_4, d_4 - площадь и диаметр клапана 4;

f_2 - площадь поршня-золотника 2;

f_8, d_8 - площадь и диаметр штока 8.

С учетом (1) и (2) устойчивость системы «клапан-ПЗ» определяется взаимосвязью ΔP и соотношений геометрических размеров элементов системы и параметров пружины:

$$\Delta P > \frac{Z \cdot S_0}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_4^2 - d_8^2)} . \quad (3)$$

Допуская среднее значение диаметра щели клапана $d_{cp} = \frac{d_4 + d_2}{2}$, перепад

давления на щели клапана определяется преимущественно в виде потерь на входе \bar{P} и выходе \bar{P} потока из щели:

$$\Delta P = \bar{P} - \bar{P} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{щ}^2}{2} = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{2 \cdot Q^2}{\pi \cdot h_4 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot (d_4 + d_2 - h_4 \sin \alpha)^2} . \quad (2.4)$$

где $V_{щ}$ – средняя скорость жидкости в щели при расходе жидкости Q ;

α - угол конусной поверхности клапана;

ρ – плотность жидкости;

d_2 - диаметр поршня-золотника 2;

h_4 - раскрытие кольцевой щели;

ζ - опытный коэффициент гидравлических сопротивлений.

По данным И.А. Чарного коэффициент гидравлических сопротивлений ζ при расстоянии клапана от торца седла $h_4 > 0,002m$, как при установившемся, так и при неустановившемся режимах течения жидкости (при работающем гидроударнике), допускается определять по выражению:

$$\zeta = \frac{0,012}{h_4}. \quad (5)$$

С учетом (2.3), (2.4) и (2.5), при $\alpha = 90^\circ$ устойчивость положения элементов запорного устройства для состояния 1, обеспечивается при соблюдении соотношения:

$$\frac{\sqrt{2} \cdot \zeta \cdot \rho \cdot Q^2}{h_4 \cdot (d_4 + d_2 - h_4)} > \frac{4 \cdot Z \cdot S_0}{(d_4^2 - d_8^2)}. \quad (6)$$

Для конкретного запорного устройства все величины, входящие в выражение (2.6), за исключением S_0 , могут считаться постоянными. Поэтому в процессе эксплуатации ГБС устойчивое состояние пускового узла оперативно может быть обеспечено выбором S_0 , в соответствии с (6).

Одновременно с учетом габаритных ограничений, прежде всего, по диаметру корпуса, появляется возможность выбора соотношений параметров элементов запорного устройства, для заданного значения Q , в процессе проектирования пускового узла.

Состояние 2 - В режиме гидроразмыва породы в пусковой узел направляется увеличенный расход жидкости $Q_1 > Q$. В камере узла повышается давление, величина которого ΔP_1 становится выше давления настройки (ΔP), характерного для состояния 1. Устойчивость элементов запорного устройства нарушается. Клапан 4 и поршень-золотник, преодолевая сопротивление пружины 3, начинают движение

вдоль штока 8. При этом процесс срабатывания пускового узла можно условно разделить на две стадии:

1 • торможение системы «клапан-ПЗ» на ходе h_4 (до посадки клапана 4 на седло 6);

2 • торможение поршня-золотника 2 на ходе h_2 с открытием сливных окон «а».

• На стадии 1 при сближении с седлом 6 на клапан 4 начинает действовать давление жидкости вследствие потери напора в щели, как местном сопротивлении, и щелевого эффекта, связанного с преобразованием скоростных напоров на входе \bar{P} и выходе \bar{P} потока из щели по уравнению Бернулли:

$$\Delta P_1 = \bar{P}_1 - \bar{P}_1 = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{1щ}^2}{2}. \quad (7)$$

где $V_{1щ}$ – средняя скорость жидкости в щели при расходе жидкости Q_1 ;

ΔP_1 - перепад давления в камере ПУ при расходе жидкости Q_1 .

Понижение давления в щелевом зазоре по сравнению с \bar{P}_1 в результате изменения скоростного напора согласно уравнению Бернулли равно:

$$P_{щ} = \frac{\rho \cdot V_{1щ}^2}{2} - \left(\frac{\pi \cdot d_{cp} \cdot h_4 \cdot V_{1щ} \cdot \rho}{2f_{ny}} \right)^2, \quad (8)$$

где f_{ny} - площадь сечения камеры пускового узла.

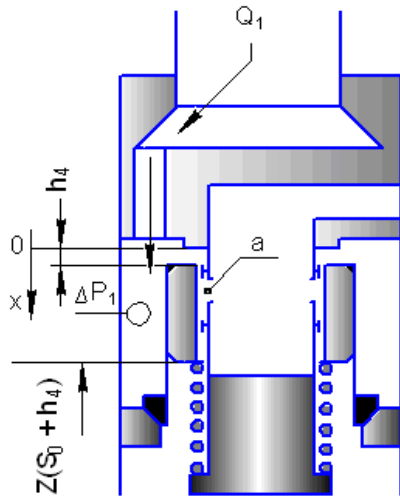


Рис. 3. Расчетная схема пускового узла для состояния 2 (стадия 1).

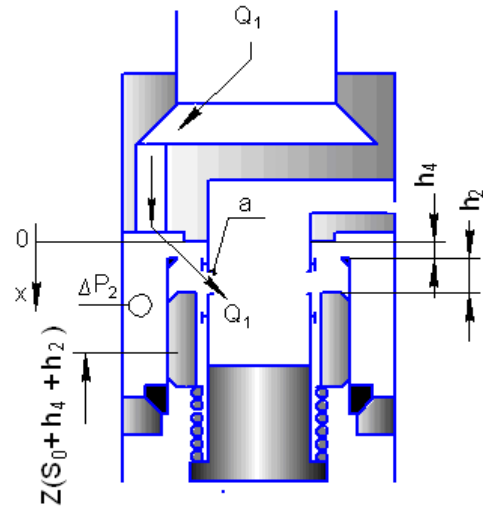


Рис. 4. Расчетная схема пускового узла для состояния 2 (стадия 2).

С учетом (2.7) формула (2.8) можно записать в виде:

$$P_{uz} = \Delta P \cdot \frac{1}{\zeta} \cdot \left[1 - \left(\frac{\pi \cdot d_{cp} \cdot h_4}{f_{ny}} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Допуская равенство площади сечения камеры пускового узла и площади сечения камеры под клапаном, гидравлическая сила R_{Q_1} , действующая на клапан при сближении его с седлом равна:

$$R_{Q_1} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{1uz}^2}{2} \cdot F + f_{on} \cdot P_{uz}, \quad (10)$$

где R_{Q_1} - результирующая гидравлическая сила на запорном устройстве пускового узла (ПУ) при расходе жидкости $Q_1 > Q$;

f_{on} - опорная поверхность клапана.

Перемещение системы «клапан-ПЗ» с преодолением сил торможения на пути h_4 обеспечивается при балансе сил:

$$R_{Q1} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot V_{1uy}^2}{2} \cdot F + f_{on} \cdot P_{uy} > Z \cdot (S_0 + h_4), \quad (11)$$

• Стадия 2 соответствует самостоятельному перемещению поршня-золотника 2 на пути торможения h_2 с начальной скоростью, равной скорости системы «клапан-ПЗ» (V_4) в конце хода h_4 .

При закрытии клапана 4 в камере ПУ имеет место ударное изменение давления. В момент $h_2 = 0$, давление над запорным устройством повышается до значения $\rho \cdot c \cdot \frac{F}{f_T} \cdot V_4$. Происходит ускоренное перемещение поршня-золотника 2 на пути x_2 , с конечным интервалом $x_2 = h_2$, под действием силы $R_{\Delta P_1}$, обусловленной давлением в камере ПУ.

С учетом неразрывности потока жидкости:

$$R_{\Delta P_1} = [\rho \cdot c \cdot (\frac{F}{f_T} \cdot V_4 - \frac{f_2 - f_8}{f_T} \cdot \dot{x}_2) - \Delta P_{h_2}] \cdot (f_2 - f_8) + \sum R_T - Z \cdot (S_0 + h_4 + x_2), \quad (12)$$

где c - скорость гидроударной волны;

\dot{x}_2 и x_2 - текущие значения скорости и перемещения ПЗ;

ΔP_{h_2} - снижение давления в камере ПУ при открытии окон «а»;

V_4 - скорость системы «клапан-ПЗ» в конце пути h_4 ;

f_T - площадь сечения трубопровода;

$\sum R_T$ - силы трения в опорах ПЗ.

Учитывая, что при смещении ПЗ открывается кольцевое сечение, равное суммарному сечению окон «а», величина ΔP_{h_2} может быть определена по известной зависимости:

$$\Delta P_{h_2} = \frac{\rho \cdot Q_1^2}{n \cdot f_a^2} \cdot \zeta_1, \quad (13)$$

где n - число отверстий «а»;

f_a - площадь сечения отверстия «а»;

ζ_1 - опытный коэффициент гидравлических сопротивлений на отверстиях «а».

Условие перемещения на величину h_2 и устойчивое удержание ПЗ при полном открытии окон «а» будет обеспечено при соблюдении соотношения:

$$R_{\Delta P_1} = \left[\rho \cdot c \cdot \left(\frac{F}{f_T} \cdot V_4 - \frac{f_2 - f_8}{f_T} \cdot V_2 \right) - \Delta P_{h_2} \right] \cdot (f_2 - f_8) + \sum R_T + G_{nz} > Z \cdot (S_0 + h_4 + h_2),$$

где V_2 - скорость поршня-золотника в конце хода h_2 .

В соответствии с экспериментальными данными перемещение системы «клапан-ПЗ» на пути h_4 не вызывало пика давления, а время перемещения системы, как правило не превышало времени роста давления в камере пускового узла (рис.). При этом характер движения клапана на всем пути h_4 оставался практически равноускоренным. Таким образом, конечную скорость системы «клапан-ПЗ» можно определить по формуле:

$$V_4 = \frac{2 \cdot h_4}{t_4}, \quad (14)$$

где t_4 – время закрытия клапана 4.

Время посадки клапана 4 на седло 6 (t_4) определяется из условия его равноускоренного движения без начальной скорости под действием среднего значения ΔP_1 . Так как усилие R_{Q_1} уравновешивается усилием пружины, то зависимость для

t_4 может быть установлена из выражения:

$$t_4 = \sqrt{\frac{2 \cdot m_c \cdot h_4}{R_{Q1} - Z \cdot (S_0 + h_4)}}, \quad (15)$$

где m_c - масса системы «клапан-ПЗ».

Скорость V_2 устанавливается из уравнения движения поршня-золотника на пути h_2 с начальной скоростью V_4 :

$$m_{nz} \cdot \ddot{x}_2 = -Z \cdot (S_0 + h_4 + x_2) + \left[\rho \cdot c \cdot \left(\frac{F}{f_T} \cdot V_4 - \frac{f_2 - f_8}{f_T} \cdot \dot{x}_2 \right) - \Delta P_{h_2} \right] \cdot f_{nz} - \sum R_T + G_{nz}, \quad (16)$$

где m_{nz} , G_{nz} - масса и вес поршня золотника 2;

$f_{nz} = (f_2 - f_8)$ - активная площадь поршня-золотника.

Учитывая, что на пути x_2 величина $Z \cdot (S_0 + h_4 + x_2) \gg \sum R_T - G_{nz}$, пренебрегая последними двумя составляющими уравнения (16), последнее, после преобразования приводится к обычному виду неоднородного дифференциального уравнения второго порядка с неизменными коэффициентами:

$$\ddot{x}_2 + a \cdot \dot{x}_2 + b \cdot x_2 - d = 0, \quad (17)$$

где

$$a = \frac{\rho \cdot c \cdot f_{nz}^2}{m_{nz} \cdot f_T}; \quad b = \frac{Z}{m_{nz}}; \quad d = \frac{1}{m_{nz}} \cdot \left[\rho \cdot c \cdot V_4 \cdot \frac{f_{nz} \cdot F}{f_T} - Z \cdot (S_0 + h_4) - \Delta P_{h_2} \cdot f_{nz} \right].$$

Решение уравнения (17) позволяет определить скорость перемещения ПЗ на пути x_2 :

- для случая $\left(\frac{a^2}{4} > b\right)$:

$$x_2 = \frac{d}{b} \cdot \left[\frac{r_2 \cdot (e^{r_1 t_2} - 1) - r_1 \cdot (e^{r_2 t_2} - 1)}{r_1 - r_2} \right], \quad (18)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{d}{r_1 - r_2} \cdot (e^{r_1 t_2} - e^{r_2 t_2}), \quad (19)$$

где $r_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$ - корни характеристического уравнения;

e - основание натурального логарифма;

t_2 - время перемещения ПЗ на пути $x_2 = h_2$.

- для случая $\left(\frac{a^2}{4} < b\right)$:

$$x_2 = \frac{d}{b} \cdot \left[1 - e^{-0,5 \cdot a \cdot t_2} \cdot \left(\frac{a}{2 \cdot \phi} \cdot \sin \phi \cdot t + \cos \phi \cdot t \right) \right], \quad (20)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{d}{\phi} \cdot e^{-0,5 \cdot a \cdot t_2} \cdot \sin \phi \cdot t_2, \quad (21)$$

где $\phi = \sqrt{b - \frac{a^2}{4}}$.

Из приведенных уравнений (18) или (20) определяется время перемещения ПЗ (t_2) на пути $x_2 = h_2$, а затем по формулам (19) или (21) – скорость движения ПЗ (V_2).

С учетом изложенного устойчивость положения элементов запорного устройства для состояния 2, обеспечивается при соблюдении соотношения:

$$\frac{\rho \cdot c}{f_T} \cdot (F \cdot V_4 - f_{n3} \cdot V_2) - \frac{\rho \cdot Q_1^2}{n \cdot f_a^2} \cdot \zeta_1 > \frac{Z \cdot (S_0 + h_4 + h_2)}{f_{n3}}, \quad (23)$$

ИЛИ

$$\frac{\pi \cdot \rho \cdot c}{4 \cdot f_T} \cdot [V_4 \cdot (d_4^2 - d_8^2) - V_2 \cdot (d_2^2 - d_8^2)] - \frac{\rho \cdot Q_1^2}{n \cdot f_a^2} \cdot \zeta_1 > \frac{4 \cdot Z \cdot (S_0 + h_4 + h_2)}{\pi \cdot (d_2^2 - d_8^2)}, \quad (24)$$

Кроме рассмотренных условий (2.24) и (2.6) элементы запорного устройства при снижении расхода жидкости должны вернуться в исходное верхнее положение. Необходимость такого режима обуславливается с одной стороны требованием сохранности керна от действия потока жидкости при завершении рейса и при заданном параметре.

Эти требования при заданных параметрах пускового узла обеспечиваются силовой характеристикой пружины (жесткостью и начальным натяжением), соответствующей условию состояния 1 (6).

Использование предложенной методики расчета пусковых узлов позволили обосновано выбрать параметры возвратной пружины и диаметральные размеры подвижных элементов запорного устройства при нерегулируемом диаметре цилиндра пусковых узлов с внутренним диаметром 100мм (табл. 2).

Таблица 2. Параметры элементов пускового узла (при диаметре штока 50мм и 4-х боковых окнах диаметром 12мм).

Пружина		Клапан		Поршень-золотник	
Жесткость, $Z, Н/м$	10	Диаметр корпуса	80	Наружный диаметр, $d_2, мм$	75
Предварительный натяг, $S_0, мм$	20	Диаметр тарелки, $d_4, мм$	96	Внутренний диаметр, $d_8, мм$	50
Наружный диаметр, $D_z, мм$	70	Ход, $h_4, мм$	8	Полный ход, $h_2 + h_4, мм$	23
Диаметр проволоки, $d_n, мм$	6	Угол конуса	45°		

4. Решение основных задач поставленных в результате инженерно-конструкторских работ.

При выборе концепции модернизации разработок нами выделены первоочередные, наиболее существенные задачи:

- исходя из условий ограниченного энергообеспечения судов, разработать новый многофункциональный погружной гидроударный буровой снаряд (ПБС) с повышенными показателями надежности, работающий на пониженных расходах жидкости (не более 200 л/мин) при давлении в гидросистеме не более 3МПа, с сохранением частотно-силовых характеристик, по отношению к известным ПБС установок УМБ-130 (130М);
- в условиях ограниченных размеров рабочих площадок палубы разработать компактный и мобильный вариант стабилизирующей опоры, с повышенными эргономическими и эксплуатационными показателями, с возможностью реализации забортной технологической схемы производства однорейсового пробоотбора (4-6м) и при многорейсовом бурении скважин глубиной до 20м.

Рассмотренные задачи в комплексном виде использованы при создании установок, которым присвоен индекс УМБ-2М.

По отношению к УМБ-130 в разработанном варианте УМБ-2М структура элементов установки сохранена (рис. 5): стабилизирующая опора; ПБС; грузовой переходник. Учитывая диапазон нормативных требований к качеству керна (монолитов), в отличие от УМБ-130, в комплекте новой установки предусмотрены два типоразмера гидроударных буровых снарядов ПБС-108М и ПБС-127М, имеющих диаметры корпуса, соответственно, 108 и 127мм (рис. 6).

Целесообразность расширения состава установки двумя ПБС во многом определено требованиями нормативных пособий к интервалу отбора керна при изысканиях на шельфе. Для условий однорейсового пробоотбора глубина скважин в большинстве случаев закладывается в пределах 4 – 6м. Поэтому целесообразно для таких условий использование ПБС-127 с гарантированно высокими частотно-силовыми характеристиками. При многорейсовом бурении, прежде всего, в процес-

се инженерно-геологических изысканиях на глубину до 20м, нормативная глубина внедрения колонкового набора в грунт в соответствии со стандартами получения качественного геологического материала не должна превышать 2м при диаметре керна не менее 80мм. Поэтому, для рассматриваемых условий бурения, выбор ПБС-108 с колонковой трубой диаметром 108мм и пластиковым вкладышем длиной до 2.5м с внутренним диаметром 84 – 85мм является вполне обоснованным. Учитывая также, что номинальная грузоподъемность стрел большинства судов находится в пределах 9-15кН, приемлемо использование одинарных колонковых наборов, без размыва стенок скважины, поскольку усилие извлечения труб диаметром 108мм, при их погружении на глубину до 3м не превышает допустимой нагрузки на грузовое оборудование судов.

Общим принципиальным отличием разработанных ПБС по отношению к известным снарядам установок УМБ-130 и УМБ-130М является отдельное исполнение ударного узла (бойка 5) и гидродвигателя ПБС с гарантированной защитой его от запесочивания при спуске машины в скважину. При этом однокорпусное исполнение ударного узла с одной стороны позволило использовать в конструкции укороченный боек 5 без уменьшения его массы, что существенно сократило габариты выноса установки за борт судна. С другой стороны, наличие постоянного набегающего потока в камере бойка исключается опасность его заклинивания при проникновении в полость бойка песка и шлама. Существенным фактом является унифицированное исполнение гидродвигателя при полной взаимозаменяемости элементов клапанно-поршневой группы ПБС-108 и ПБС-127. Дополнительно упрощена конструкция насосного блока ПБС, клапанная группа которого размещенная непосредственно в нижней наковальне 7.

Комплектность ПБС для работы в режиме однорейсового пробоотбора показана на (рис. 6, а).

При включении насоса жидкость по нагнетательному шлангу и смещенному каналу грузового переходника попадает в рабочие камеры гидродвигателя гидроударного механизма, обеспечивая возвратно-поступательное перемещение поршня-бойка 5, который в конечных точках наносит удары по наковальням 4 и 7, формируя

на них ударные нагрузки, передающиеся колонковому набору. Выхлоп отработанной в гидроударнике жидкости обеспечивается через обратный клапан 1, кольцевое сечение между корпусом гидродвигателя 3 и кожухом 2, каналы «в» и «а» в верхней и нижней наковальнях, кольцевой зазор между керноприемной 8 и наружной 9 трубами и далее, через окно «б» в скважину, размывая при этом грунт по длине ПБС. В процессе возвратно-поступательного движения бойка, его штоковая (нижняя) часть выполняет роль вытеснителя насосного блока, обеспечивающего непрерывное восходящее движение воды в керноприемной трубе.

Для реализации схемы многорейсового бурения, сущность которой заключается в интервальной проходке ствола с чередованием размыва пород на заданном интервале скважины при неработающем гидроударнике (без отбора керна) и углубления забоя за счет высокочастотного ударного погружения бурового снаряда в осадки (с отбором керна), используется снаряд ПБС-108, дополнительно оснащенный пусковым узлом (рис. 6, б).

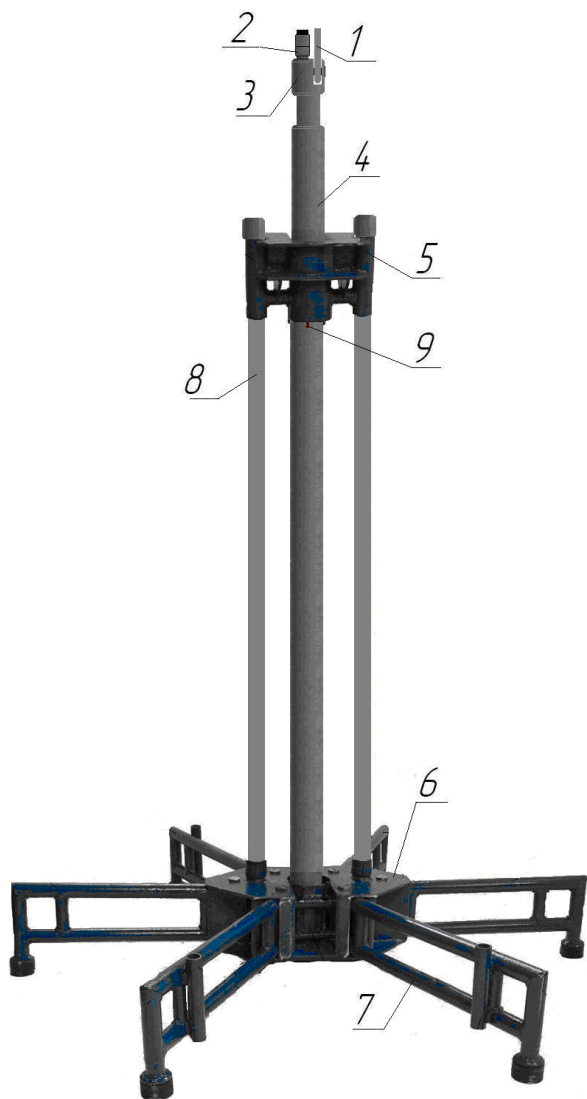


Рис. 5. Общий вид установки УМБ-2М:

1 – грузовой трос; 2 – нагнетательный шланг; 3 – грузовой переходник; 4 – ПБС; 5 – каретка; 6 – донная коробка; 7 – опорные лапы; 8 – направляющие стойки; 9 – ограничители.

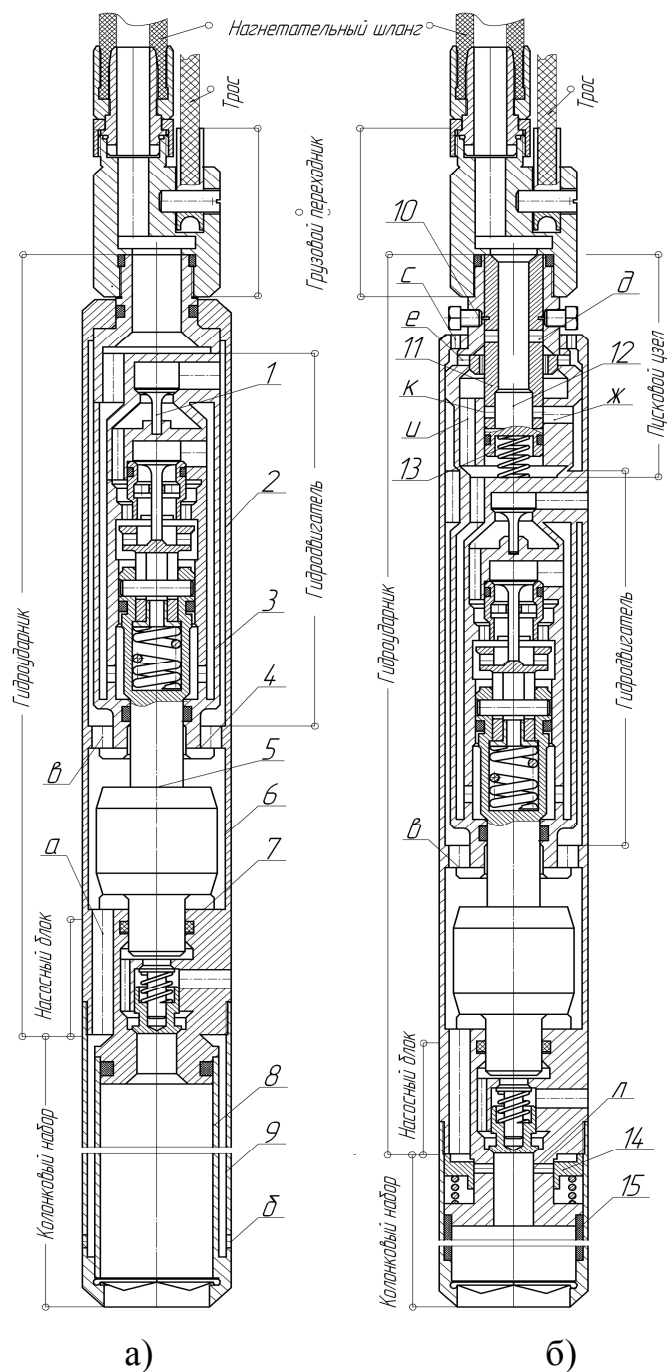


Рис. 6. Принципиальные схемы ПБС:
а) схема ПБС-127; б) схема ПБС-108.

В режиме гидромониторного разрушения осадков расход жидкости Q устанавливается на уровне 340-350л/мин. Набегающим потоком смещается клапан 12, открывая доступ жидкости через окна «к» в канал «ж». Далее, через смещенные каналы верхней 4 и нижней 7 наковален жидкость направляется в полость подпружи-

ненного поршня-золотника 14, смещает его вниз, открывая окна «л» для поступления жидкости через лепестки-насадки колонкового набора на забой скважины.

При переходе на режим пробоотбора расход жидкости увеличивается до величины $Q_1 = (1,2...1,25) \cdot Q$, при этом срезаются калиброванные шпильки ввертышей 10. Золотник 11 опускается вниз до упора в клапан 12. Каналы «д» совмещают напорную линию с камерами гидродвигателя. Одновременно открываются окна «е» для сброса избыточного объема жидкости (по отношению к номинальному расходу $Q_n = 160...180$ л/мин для запуска и работы гидроударника). При необходимости, нужный режим работы гидроударника может устанавливаться изменением подачи насоса с помощью регулировочного вентиля, являющегося обязательным элементом обвязки насоса.

Включение в состав ПБС-108 поршня-золотника 14, выполняющего роль своего рода лубрикатора, компенсирующего изменение объема воды в камере бойка при его перемещениях. Это исключило возможность всаса жидкости из полости размещения бойка при работе насосного блока, повысив надежность призабойной промывки скважины. Одновременно поршень-золотник выполняет функции обратного клапана, предотвращающего попадание в полости гидроударного механизма песка и частиц шлама при спуске снаряда в скважину.

За счет используемых в конструкции ПБС новых инженерных решений и проведенной оптимизации гидроударника количественные показатели выходных характеристик ПБС-108 и ПБС-127 при расходе жидкости 180-200 л/мин (табл.2) аналогичны параметрам ПБС установок УМБ-130 при подаче насоса 320-350 л/мин.

При реализации второй отмеченной выше задачи отдано предпочтение разборному варианту стабилизирующей опоры. Комплект опоры включает два модуля: направляющий узел и донное основание. Оба модуля разбираются на несколько компактных узлов.

Конструктивными элементами направляющего узла (рис. 8) являются две стойки 2 и подвижная направляющая каретка 3. Стойка представляет собой отрезок бурильной трубы диаметром 50мм, на нижнем конце которой приварен опорный патрубок 6. К съемной части стойки относятся ограничитель 1 и опорная втулка 5.

Подвижная каретка (рис. 7), выполненная в виде сварного корпуса 1 с направляющими патрубками 2 и подпружиненными фиксаторами 3, на которых, с возможностью вращения закрепляется поворотная воронка 5.

Таблица 2. Параметры погружных гидроударных буровых снарядов

Номинальный расход жидкости на привод гидроударника $Q = 180 \text{ л/мин}$				График изменения рабочих параметров ПБС-127 от расхода жидкости (Q)	
Параметры погружных гидроударных буровых снарядов*					
ПБС	$P, \text{МПа}$	$n, \text{гц}$	$E, \text{Дж}$		
ПБС-108	Масса бойка 40кг				
	2.0	24.5	80		
ПБС-127	Масса бойка 54кг				
	2.5	24.5	120		

* P - давление в цилиндре гидроударника; n - частота ударов бойка; E - энергия единичного удара.

При сборке направляющего узла, на стойках 2 (рис. 4) размещаются монтажные втулки 5 и каретка 3. Затем на верхней части стоек закрепляются съемные ограничители 1.

Донное основание включает жесткую компактную донную коробку и шесть опорных лап, длиной 0,8м. Корпус коробки 1 (рис. 9) имеет установочные патрубки с резьбой под монтажные втулки 2, и направляющий цилиндр 4 с откидным полухомутом 5, который вращается на оси 7 и, в закрытом положении, фиксируется замком 6. Торцевые стороны коробки имеют штатные проемы для размещения в них опорных лап. При этом четыре фронтальные лапы 3, 5, 7 и 8 (рис. 10) имеют патрубки 10 для установки съемных опорных подставок 2 и 6.

Сборка основания заключается в размещении в штатных проемах коробки опорных лап с последующей их фиксацией пальцами. В дальнейшем направляющий узел опорными патрубками стоек помещается в установочные патрубки коробки и резьбовой частью опорных втулок притягивается к донной коробке.

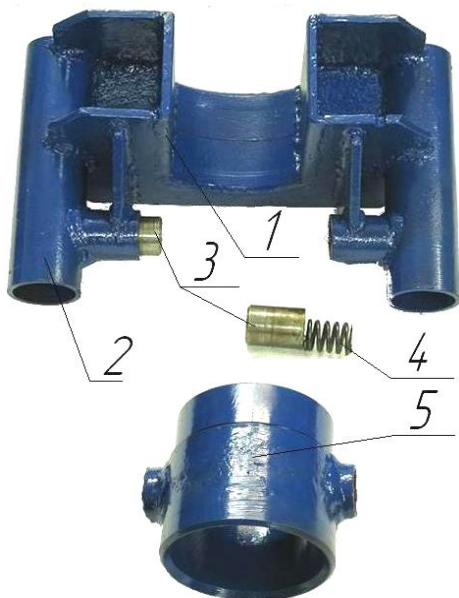


Рис. 7. Элементы подвижной направляющей каретки:
1 - корпус; 2 - направляющие патрубки; 3 - фиксаторы; 4 - пружина; 5 - поворотная воронка.

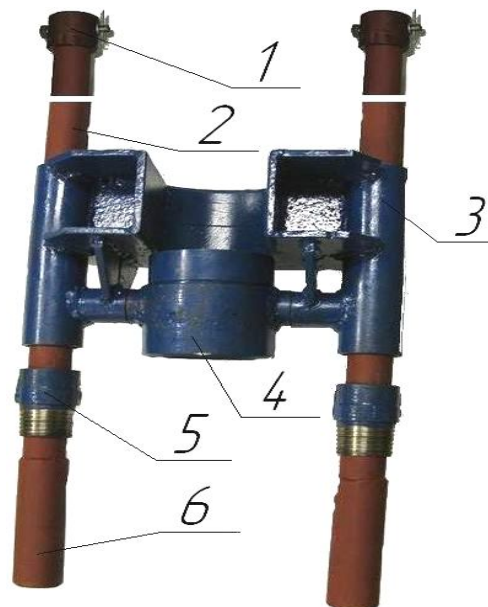


Рис. 8. Направляющий узел в сборе: 1 - съемный ограничитель; 2 - направляющая стойка 3 - направляющая каретка; 4 - поворотная воронка; 5 - монтажная втулка; 6 - опорный патрубок.

Сборка установки завершается размещением бурового снаряда 4 в поворотной воронке каретки 1 (рис. 10). В патрубки 10 фронтальных лап устанавливаются съемные опорные подставки 2 и 6, уровень поверхности которых одинаков и совпадает с высотой опорной части поворотной воронки, что позволяет иметь не только постоянный горизонт положения снаряда относительно поверхности палубы, но и обеспечивает облегченные условия размещения бурового снаряда в каретке.

В вертикальное положение буровой снаряд устанавливается с помощью буровой лебедки, трос которой закреплен в проеме грузового переходника 3 (рис. 1), навинченного на гидроударный буровой снаряд 4. В зависимости от используемой длины ПБС, на корпусе бурового снаряда навариваются две - три опорные пластины 9 толщиной 3-3,5мм.

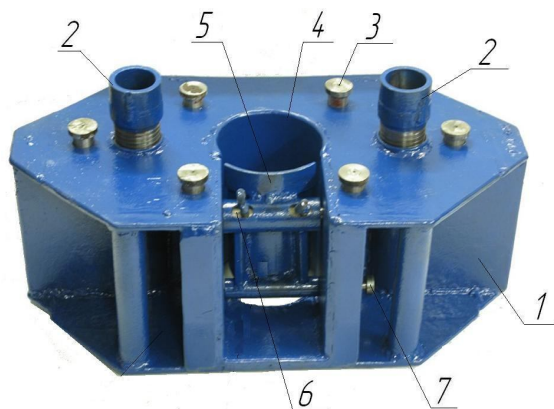


Рис. 9. Коробка донного основания:
 1 – корпус; 2 – монтажные втулки; 3 – палец; 4 – направляющий цилиндр; 5 – откидной полухомут; 6 – замок; 7 – ось.

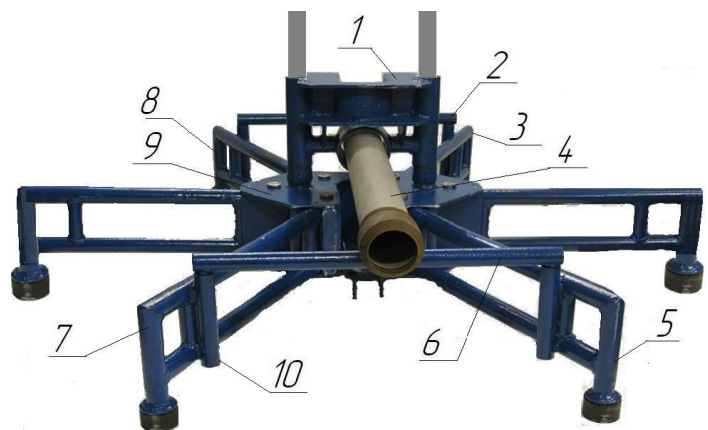


Рис. 10. Размещение бурового снаряда в воронке подвижной каретке:
 1 – каретка; 2, 6 – опорные подставки; 3, 5, 7, 8 – фронтальные опорные лапы; 4 – буровой снаряд; 9 – коробка донного основания; 10 – патрубki для размещения опорных подставок.

В целом, предложенными инженерными решениями, использованными при совершенствовании стабилизирующих опор, в значительной степени выполнена поставленная задача снижения трудоемкости при одновременном повышении комфортности работы с установками типа УМБ в условиях ограниченных размеров рабочих площадок палубы.

Повышенная надежность и эффективность новых погружных буровых снарядов ПБС-108 и ПБС-127 подтверждена данными их промышленного использования на объектах работ российской компании ДМИГЭ (2010г.) при инженерно-геологических работах на шельфе острова Сахалин. В настоящее время установкой УМБ-2М пополнен парк технических средств бурения подводных скважин Причерноморского государственного регионального геологического предприятия (Одесса).

ВЫВОДЫ

- Разработанный гидроударный снаряд может быть использован как при однорейсовой проходке, так и при многорейсовом бурении скважин.

- Использование пускового узла, обеспечивает оперативное и многократное изменение режима разрушения осадков на интервале бурения и является эффективной альтернативой проходки интервалов глинистых пород или плотных песков, за счет появившейся возможности использовать ударно-гидромониторное способ бурение таких пород.

- Обоснованный выбор параметров параметров пусковых узлов повышает надежность проектирования многофункциональных буровых снарядов.

- При соблюдении параметров назначения, стабилизирующая опора имеет более высокие по сравнению с известными опорами установок ПУВБ эксплуатационные и эргономические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асеев А.Г., Распопов В.М., Хворостовский С.С.* Бурение разведочных скважин на шельфе. - М.: Недра, 1988. - 197 с.
2. *Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В.* Погружная гидроударная установка УМБ-130 для многорейсового бурения подводных скважин //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2003. С.-63-68.
3. *Калиниченко О.И., Хохуля А.В.* Основные проблемы и пути совершенствования техники и технологи многорейсового бурения скважин на морских акваториях //Науковий вісник. №7, Національного гірничого університету. Науково технічний журнал. Дніпропетровськ, 2009. С. 45 – 50.
4. *Калиниченко О.И., Зыбинский П.В, Каракозов А.А.* Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе. – Донецк: «Вебер» (Донецкое отд.), 2007. – 270 с.
5. *Лобанов Д.П., Смолдырев А.Е.* Технология морских геологоразведочных работ и научно-технический прогресс. «Изв. ВУЗ.Геол. и разведка»,1978, №1,с.3-5; Калинин И.С., Попов Л.И., Пронюшкин В.Д., Романов С.Л. Вибробуровые снаряды для опробования морских россыпей. «Изв. ВУЗ.Геол. и разведка»,1977, №3,с. 160-162.
6. *Lanesky D.E, Logan B.W., Hine A.C.* A new approach to portable wibracoring underwater and on land. «J/ Sediment. Petrol», 1979 №2, с. 654-657.
7. *Комаров Л.В., Курбатов А.К., Распопов В.М., Смолдырев А.Е.* О технических средствах морского бурения «Изв. ВУЗов .Геол. и разведка»,1975, №11,с. 191-194.