

## **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ МНОГОРЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ**

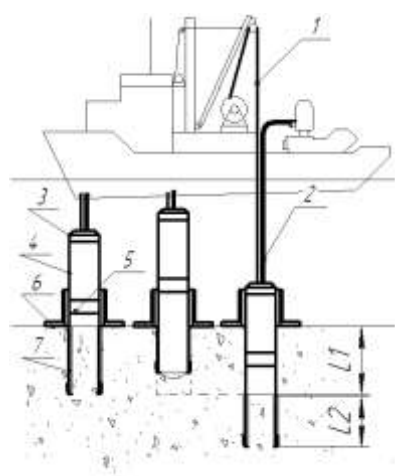
Рассмотрены основные направления совершенствования элементов гидроударного бурового снаряда, обеспечивающих реализацию комбинированного способа разрушения пород при проходке интервалов скважины без крепления обсадными трубами.

Розглянуті основні напрямки вдосконалювання елементів гідроударного бурового снаряда, що забезпечують реалізацію комбінованого способу руйнування порід при проходці інтервалів свердловини без кріплення обсадними трубами.

В последние годы Донецким национальным техническим университетом достаточно интенсивно велись разработки технических средств и технологий бурения неглубоких скважин на морских акваториях украинского сектора Черного и Азовского морей. После первых опытов применения погружных гидро-вибрационных установок УГВП-130/8, удалось технически решить проблему однорейсового бурения скважин глубиной 6-8 м с борта неспециализированных мало- и среднетоннажных судов. Применение УГВП 130/8 можно считать успешным, так как впервые путем улучшения организации работ и эксплуатационных показателей установки удалось значительно повысить технико-экономические показатели однорейсовой проходки скважин с борта малотоннажного судна НИС «Топаз» с производительностью до 2 скважин в час [5].

Что касается гидроударной машины, как основного элемента установки, то ее конструкция полностью оправдала себя. Надежность работы и развиваемые частотно-силовые характеристики машины обеспечили бурение скважин на глубину до 8 м с пересечением по разрезу осадочных слоев от I до IV категорий по буримости с прослоями твердых глин, ракушечного известняка и выветрелых песчаников [4, 5].

Полученные результаты работы гидроударного механизма и оценка его эффективности в сравнении с отечественными и зарубежными аналогами



Фаза 1 Фаза 2 Фаза 3

*Рис.1. Технологическая схема многорейсового бурения скважин:*

*1 – грузовой канат; 2 – шланг; 3, 5 – распределительные узлы; 4 – гидроударный механизм; 6 – донное основание; 7 - колонковый набор*

явились исходной предпосылкой для принятия специалистами ЗАО «Компания Юговостокгаз» (по заказу ГАО «Черноморнефтегаз») решения об организации опытно-конструкторских и исследовательских работ, направленных на совершенствование гидроударных машин с расширением области их эксплуатации. Функции гидроударного бурового снаряда определялись требованием проходки инженерно-геологических скважин глубиной до 40-50 м с возможностью пересечения по разрезу скважины мощных слоев илов, глин и песка без крепления ствола обсадными трубами. Такая область применения гидроударной машины явилась принципиально новой. Это обусловило актуальность вопросов связанных, как со структурным синтезом бурового снаряда, так и с выбором технологической схемы бурения скважин.

На рис.1 приведена принципиальная технологическая схема бурения скважин

глубиной до 50 м, впервые предложенная учеными Донецкого национального технического университета в 2001 году. Основная идея разработки заключается в поинтервальной проходке скважины с использованием комбинированного способа разрушения осадков на заданном интервале бурения.

После спуска и стабилизации бурового снаряда в донном основании 6, включается буровой насос, и производится пробоотбор на установленную глубину ( $L_1$ ) в режиме эффективной работы гидроударника 4 (*фаза 1*). После углубки на длину рейса, буровой насос отключается, снаряд поднимается вверх, и размещается на палубе для извлечения керна.

Для отбора керна на следующем интервале, работа гидроударного механизма блокируется распределительным узлом 3 и ранее пробуренный участок скважины проходится при работе снаряда в режиме гидроразмыва породы (*фаза 2*). С помощью распределительного узла 5 жидкость (морская вода) направляется во внутреннюю трубу колонкового набора (керноприемник) 7, обеспечивая гидроразмыв породы до глубины ( $L_1$ ), соответствующей началу пробоотбора на следующем интервале скважины.

На глубине отбора керна узлы 3 и 5 переключаются в исходное положение, соответствующее работе гидроударного бурового снаряда в режиме отбора керна (*фаза 3*). На интервале  $L_2$  производится пробоотбор при работающем гидроударном механизме.

Эта схема явилась качественным скачком в развитии рассматриваемой области морского бурового производства с наиболее предпочтительным обеспечением требований по экономичности и глубинности бурения с борта неспециализированных судов. Как показал опыт, с апробацией его в материалах, опубликованных в научно-технических журналах и монографиях [1, 2, 3], бурение скважин по рассматриваемой технологии в несколько раз эффективнее и рентабельнее традиционно применяемого вращательного способа бурения таких скважин со специализированного судна. Преимущество предложенной схемы состоит также и в том, что она может быть включена в любую технологическую схему бурения как с борта неспециализированного судна (при наличии штатных грузовых стрел, обеспечивающих вынос установки за борт и извлечение бурового снаряда из скважины с усилием 15-20 кН), так и через шахту бурового судна [2].

Наиболее серьезной научной и инженерной проблемой при осуществлении предложенной схемы, явилась техническая реализация условий оперативного изменения способа разрушения осадков на забое проходимого интервала скважины. С одной стороны распределительное устройство должно исключить работу гидроударного механизма на фазе гидромониторного разрушения осадков, направив весь поток жидкости через колонковый набор на забой скважины. С другой стороны при переходе на бурение с отбором керна жидкость должна быть направлена в рабочие

камеры цилиндра гидроударника, гарантировано исключив при этом возможность попадания ее в колонковый набор.

В значительной степени задача комплексного учета отмеченных функций распределительного устройства решена в конструкциях погружных буровых снарядов ПБС-127, входящих в состав установок типа УМБ [3] за счет дооснащения гидроударной машины специальными пусковыми узлами.

В начальном варианте ПБС комплектовался распределительными устройствами в виде пусковых узлов, показанных на рис. 2, при этом срабатывание верхнего и нижнего пусковых узлов выполнялось за счет изменения подачи жидкости в нагнетательный трубопровод.

Верхний пусковой узел (ВПУ) размещается в цилиндре переходника 2 и включает пусковой клапан 3 с пружиной 1, и поршень 4 с пружиной 5.

Нижний пусковой узел (НПУ) соединяется с нижней наковальной «НН» гидроударника посредством ступенчатого штока 9. При этом ступень 11 обеспечивает уплотнение внутренней поверхности наружной трубы 12, а нижняя ступень является уплотнительной втулкой для внутренней (керноприемной) трубы 13. На штоке 9 концентрично установлены поршень 7 с пружиной 8 и пусковой клапан 10, опирающийся на пружины 14, размещенные в каналах верхней уплотнительной ступени 11.

В режиме «бурение с отбором керна» к гидроударнику подводится номинальный расход жидкости соответствующий условию запуска и эффективной работы механизма. Пусковые клапана 3 и 10 усилием пружин, соответственно, 1 и 14, а также поршни 4 и 7 за счет пружин 5 и 8 удерживаются в верхнем положении. При этом поршень 4 верхнего пускового узла перекрывает боковой канал «а» в переходнике 2, а поршень 7 нижнего пускового узла закрывает канал «б», изолируя полость керноприемной трубы 13 от попадания в нее жидкости. Рабочая жидкость через смещенные отверстия и канал в поршне 4 направляется в рабочие камеры гидроударника, обеспечивая его запуск и работу. Отработанная в гидроударнике жидкость свободно проходит по кольцевым сечениям гидроударного механизма, камеры и каналы НПУ и боковые отверстия 6 наружной трубы 12 в скважину.

В режиме гидроразмыва, пройденного ранее интервала скважины, выполняется запуск ВПУ и НПУ путем увеличения расхода жидкости в нагнетательном трубопроводе. Повышенная подача жидкости обуславливает возрастающее действие скоростного напора и перепада давления на пусковой клапан 3, который перемещается вниз, сжимает пружину 1 и перекрывает центральный канал в поршне 4, что прерывает поступление жидкости в цилиндр гидроударной машины. Система

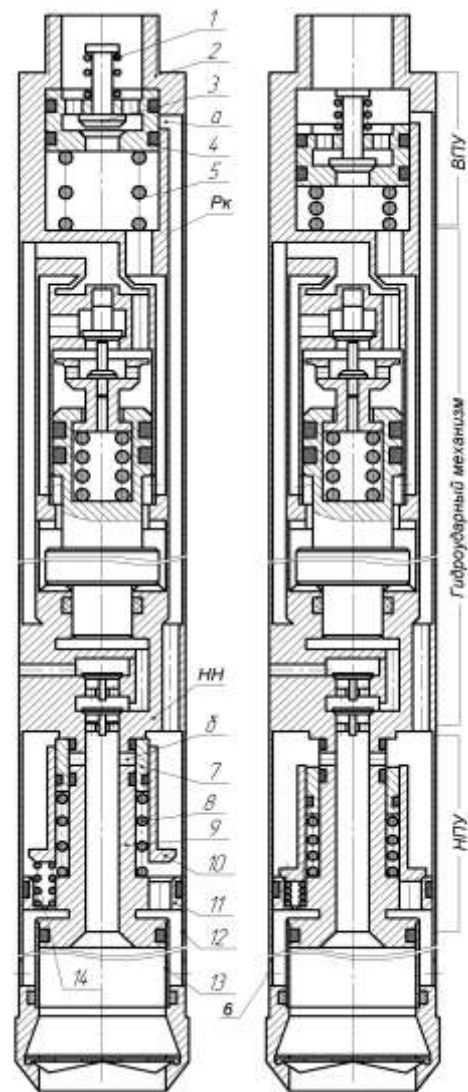


Рис.2. Схема бурового снаряда ПБС-127:

1,5 – пружина верхнего пускового узла (ВПУ); 2 – переходник; 3 – клапан ВПУ; 4 – поршень ВПУ; 6 – отверстия; 8, 14 – пружины нижнего пускового узла (НПУ); 9 – шток; 10 – клапан НПУ; 11 ступень штока; 12, 13 – наружная и внутренняя трубы колонкового набора; Pк – распределительная коробка гидроударника; НН – нижняя наковальня гидроударника

«клапан 3-поршень 4» опускается вниз, сжимая пружину 5 до открытия канала «а». При этом жидкость, минуя рабочие камеры гидродвигателя машины, попадает в камеру НПУ. Увеличенный расход жидкости приводит к резкому повышению перепада давления на клапане 10, который, преодолевая сопротивление пружин 14, опускается вниз, закрывая отверстия в ступени 11. За счет возросшего в камере НПУ давления, поршень 7 смещается вдоль штока, открывая каналы «б» для прохода жидкости в керноприемную трубу 13. Затем жидкость через специальный кернорватель в башмаке поступает на забой скважины.

Для перехода из режима «гидроразмыв» на режим «бурение с отбором керна» снижается подача насоса. Клапана и поршни пусковых узлов возвращаются в исходное положение (рис. 2) и жидкость получает доступ в рабочие камеры гидроударника, обеспечивая его запуск и работу.

Несмотря на универсальность рассмотренного ВПУ, обусловленную возможностью многократно изменять режим канализации жидкости через гидроударный механизм в течение цикла проходки заданного интервала скважины, определенные сложности возникали при его настройке.

Для обеспечения надежности срабатывания ВРУ, необходим тщательный подбор суммарной площади сечения каналов «а» с соблюдением условия, чтобы перепад давления в камере над клапаном 3 обеспечивал достаточное усилие для удержания системы «клапан 3 – поршень-седло 4» в верхнем положении при работающем гидроударном механизме:

$$P_3 f_3 < Z_1 \delta_1, \quad (1)$$

где  $P_3$  – перепад давления на клапане 3 при максимальном расходе жидкости  $Q_1$  на привод гидроударного механизма;  $f_3$  - площадь клапана 3;  $Z_1$  - жесткость пружины 1;  $\delta_1$  - предварительная деформация пружины 1.

Одновременно должно быть выполнено условие сохранения исходного положения поршня 4

$$P_3 f_4 < Z_5 \delta_5, \quad (2)$$

где  $f_5$  - площадь поршня 5;  $Z_5$  - жесткость пружины 5;  $\delta_5$  - предварительная деформация пружины 5.

Особенностью технологии проходки скважины, в зависимости от геологического разреза, является то, что рабочие параметры гидроударника на интервале бурения либо форсируются, либо уменьшаются. При этом заданный режим работы машины обеспечивается изменением подачи жидкости в нагнетательный трубопровод.

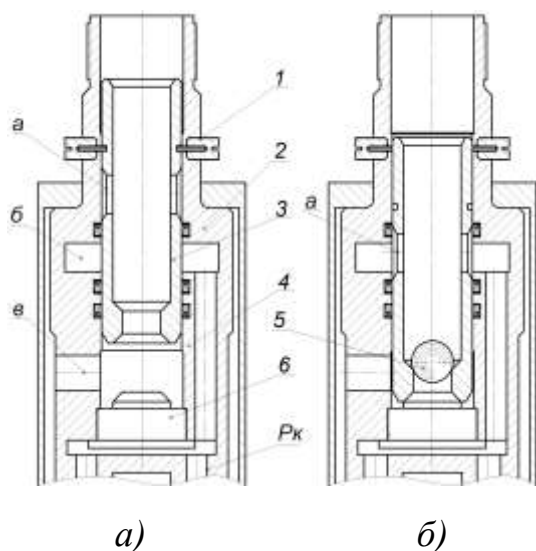
Для предотвращения непроизвольного включения ВПУ в процессе

пробоотбора необходима достаточная разница расходов жидкости для режима гарантированного гидроразмыва пород ( $Q_2$ ) и рабочего режима работы гидроударника ( $Q_1$ ). Как показал производственный эксперимент, для принятого исполнения ВПУ эта разность должна находиться в пределах 220-250 л/мин. Учитывая ограниченные размеры камер ВРУ подбор силовых характеристик возвратных пружин при настройке ВРУ одновременно требовал изменения соотношений размеров сечений перепускных окон площадей клапана и поршня.

Поэтому было принято решение использовать ВПУ с внешним управлением, с реализацией в нем изменения канализации жидкости только в одном направлении, заключающемся в смене режима «гидроразмыв интервала» на режим «бурение с отбором керна».

Все элементы нового ВПУ (рис.3) размещаются в цилиндре переходника 2, в котором помещен поршень 3, зафиксированный в корпусе переходника шплинтами 1.

Для запуска гидроударной машины при работе в режиме отбора керна (рис. 3, б), в нагнетательную линию сбрасывается шарик 5. После посадки шарика в седло поршня 3 в нагнетательном трубопроводе повышается давление, сила которого обеспечивает срез шплинтов 1. Поршень опускается вниз до упора в пробку 6, перекрывая канал «в». Одновременно боковые окна «а» поршня 3 совмещаются с камерой «б», через которые жидкость направляется по каналам распределительной коробки «Рк» в цилиндр гидроударника.



*Рис. 3. Схема ВПУ с разовым запуском гидроударного механизма: 1 – шплинт; 2 – переходник; 3 – поршень; 4 – цилиндр-распределитель; 5 – шарик; 6 – пробка; Рк – распределительная коробка гидродарника;*

постановки МСП и трассе трубопровода на Восточно-Казантипском месторождении природного газа в Азовском море (2001 г.), время на подготовку бурового снаряда к очередному спуску за счет увеличенной трудоемкости перезарядки ВПУ и питателя возросло более чем на 20% [3].

Такое исполнение ВПУ оправдано с точки зрения их разового использования на одном рейсе гидроразмыва. Однако при многорейсовом бурении скважины, а также с целью исключения многоэлементности напорной линии и снижения потерь времени на перезарядку узла целесообразно разрабатывать ВПУ, который структурно являлся бы элементом бурового снаряда и работал в автоматическом режиме взвода с дистанционным включением в нужный режим работы, за счет увеличения подачи жидкости в нагнетательную линию. С этой точки зрения ранее рассмотренная принципиальная схема ВПУ (рис. 2) имеет преимущества по сравнению с ВПУ, который работает по схеме однократного изменения режима канализации жидкости на интервале бурения (рис.3).

Несмотря на то, что такая конструкция гарантировано исключает непроизвольное срабатывание ВПУ, эксплуатационно-технические показатели бурения значительно ухудшились. Монтаж ВПУ оказался сложным с точки зрения количества вспомогательных операций при перезарядке узла. Возвращение ВПУ в исходное положение (рис. 3, а), соответствующее режиму гидроразмыва осадков, возможно только после подъема установки для перезарядки узла (извлечение шарика, подъем и шплинтовка поршня). Кроме того, для сброса шарика в нагнетательный шланг, напорная линия обвязки бурового насоса дополнительно оснащается питателем.

По хронометражным данным, полученным при проведении инженерно-геологических изысканий на площадке



Поэтому более предпочтительной является конструкция ВРУ, схема которого представлен на рис. 4. Здесь использован распределительный узел клапанно-золотникового типа. Основным элементом ВРУ является подпружиненный клапан 2, который, при работающем гидроударнике, перекрывает радиальные каналы «а» в штоке 5, разделяя зону высокого давления (рабочую камеру цилиндра гидроударника) с зоной низкого давления (полости и каналы выхода отработанной в гидроударнике жидкости в скважину).

Срабатывание узла для оперативной смены способа бурения, обеспечивается увеличением расхода жидкости и достигается с помощью регулировочного вентиля, которым традиционно оборудуется нагнетательная линия обвязки насоса.

Повышенный расход жидкости обуславливает рост перепада в камерах ВРУ, что приводит к смещению клапана вниз (рис.4, б). При посадке клапана 2 в седло, выполненного в корпусе 3 одновременно открываются радиальные окна «а» штока 5. Поток жидкости через радиальный канал переходника 1 свободно проходит по кольцевому сечению гидроударника и каналы нижней наковальни, в камеру НПУ. После закрытия пускового клапана НПУ (рис.2, б) жидкость направляется внутрь колонковой трубы.

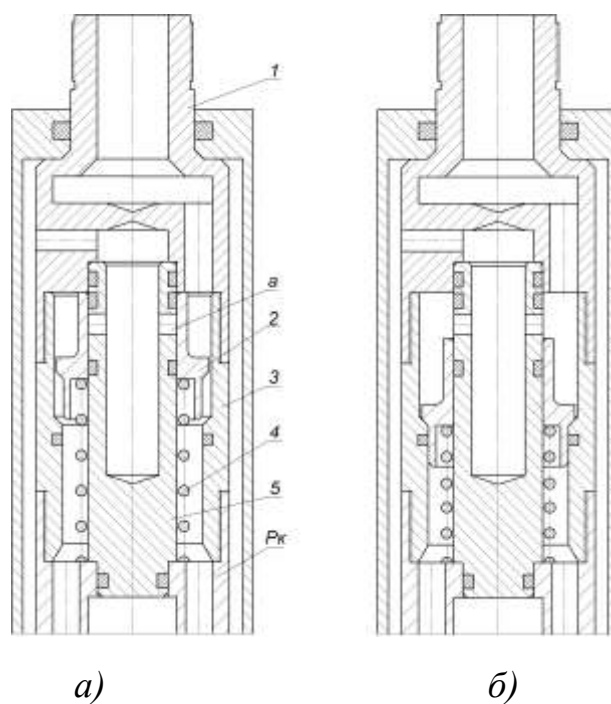


Рис. 4. Схема ВРУ с клапанно-золотниковым распределительным узлом: 1 – переходник; 2 – клапан; 3 – корпус; 4 – пружина; 5 – шток; Рк – распределительная коробка гидроударника

В исходное состояние (рис.4,а) клапан 2 возвращается пружиной 4 при снижении подачи жидкости в напорную линию.

За почти десятилетний опыт применения многофункциональных гидроударных буровых снарядов реально оценены также и эксплуатационные показатели второго важного элемента ПБС - нижнего пускового узла. Выявлены дополнительные возможности НПУ, впоследствии реализованные за счет совершенствования его конструкции, что в значительной мере повысило надежность и упростило технологию его применения.

В первое время при эксплуатации НПУ, выполненного по схеме, представленной на рис. 2 возникали затруднения при его настройке. Из-за необходимости подбора параметров пружин для заданного расхода жидкости процесс регулирования НПУ усложнялся, прежде всего, необходимостью комплексного учета, по крайней мере, двух условий.

С одной стороны, функции НПУ в выбранном диапазоне расхода жидкости выполняются при условии, когда суммарное усилие пружин 14 превышает силу  $P_{10}f_{10}$ , обусловленную перепадом давления на клапане 10 при максимальном расходе жидкости на привод гидроударника ( $Q_1$ ). При увеличении расхода до величины, обеспечивающей размыв осадков ( $Q_2$ ), сила  $P'_{10}f_{10}$ , эквивалентная гидравлическим сопротивлениям и скоростному напору на клапан 10 при  $Q_2$ , должна преодолеть усилие комплекта пружин 14, равное  $nZ(S_{10} + \delta_{10})$ , т.е.

$$P'_{10}f_{10} \geq nZ_{14}(S_{10} + \delta_{10}) > P_{10}f_{10}, \quad (3)$$

где  $P_{10}$  - давление в камере НПУ на клапан 10 при  $Q_1$ ;  $f_{10}$  - площадь клапана 10;  $n$  и  $Z_{14}$  - количество и жесткость пружин 14;  $P'_{10}$  - давление в камере НПУ на клапан 10 при  $Q_2$ ;  $S_{10}$  - ход клапана 10;  $\delta_{14}$  - предварительный натяг пружин 14.

С другой стороны выбор силовых параметров пружины 8 обуславливается условием возврата поршня 7 при снижении расхода жидкости до величины  $Q_1$ :

$$Z_8(S_7 + \delta_8) > P_{10}f_{10}, \quad (4)$$

где  $Z_8$  - жесткость пружины 8;  $S_7$  - ход поршня 7;  $\delta_8$  - предварительный натяг пружин 8.

Отмеченные условия подтвердили целесообразность замены общего принципа взаимодействия элементов НРУ путем устранения многоэлементности пускового узла.

В первой серии (по 2 комплекта) ПБС диаметром 127 и 108 мм распределительный узел НПУ выполнен в виде подпружиненного поршня-золотника (рис. 5). В этой конструкции функции НПУ в выбранном диапазоне расхода жидкости выполняются при условии:

$$Z_4\delta_4 > P_1f_1, \quad (\text{рис.5, а}) \quad (5)$$

$$P'_1 f_1 \geq Z_4 (S_1 + \delta_4), \quad (\text{рис.5, б}) \quad (6)$$

где  $P'_1, P_1$  - перепад давления на поршне 1 при соответствующем расходе жидкости -  $Q_2$  или  $Q_1$ ;  $f_1$  - площадь поршня 1;  $Z_4$  - жесткость пружины 4;  $\delta_4$  - предварительный натяг пружины 4;  $S_1$  - рабочий ход поршня 1 до полного открытия окон «а».

Получение рабочего диапазона расхода жидкости для срабатывания НПУ практически ограничивается подбором необходимого значения  $\delta_4$ , с помощью регулировочных колец 5.

Анализ промысловых материалов применения такого НПУ при бурении скважины глубиной 80 м с СПБУ «Сиваш» (2008 г) показал, что принятая конструкция устройства в значительной степени упрощает настройку и обеспечивает высокую надежность срабатывания узла. Вместе с тем, переключение узла в режим гидроразмыва пород, требует формирования в его камере повышенного перепада давления жидкости вследствие увеличенного хода закрытия окон «а» и присутствия дополнительных сопротивлений перемещению поршня одновременно скользящего по трем уплотненным поверхностям.

Кроме того, наличие значительного столба жидкости (более 30 м) в бурильной колонне усложняло возврат поршня в исходное положение (при переходе на режим отбора керна). Фаза перемещения поршня вверх выполнялась только при выключенном буровом насосе с выжиданием 2-4 мин.

Перечисленные недостатки в значительной мере устранены в НПУ с клапанно-золотниковым распределительным узлом (рис. 6). При этом выполнено условие унификации конструкции, условий настройки, принципа работы и технологии применения НПУ и ВРУ, изготовленного по схеме рис. 4.

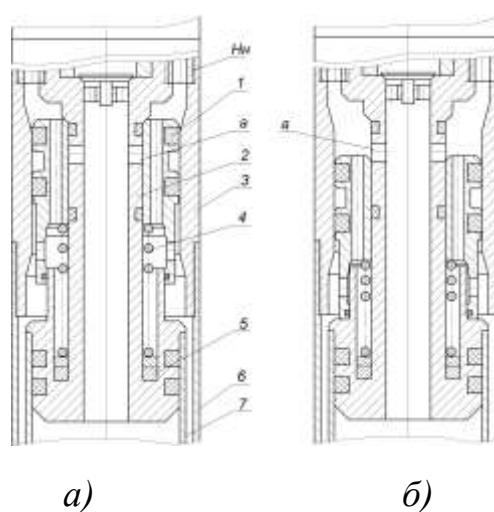
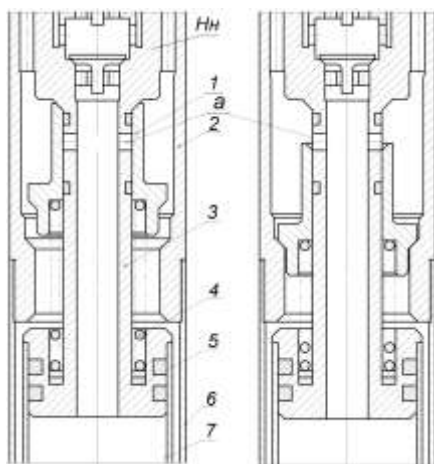


Рис. 5. Схема НПУ с распределительным узлом в виде поршня-золотника: 1 – поршень; 2 – шток; 3 – цилиндр; 4 – пружина; 5 – регулировочные кольца; 6, 7 – наружная и внутренняя трубы колонкового набора; «Нн» - нижняя наковальня гидроударника



а)

б)

*Рис. 6. Схема НПУ с клапанно-золотниковым распределительным узлом:*

*1 – клапан; 2 – – цилиндр; 3 - шток; 4 – пружина; 5 – регулировочные кольца; 6, 7 – наружная и внутренняя трубы колонкового набора; «Нн» - нижняя наковальня гидроударника;*

*а) –исходное положение элементов НПУ (при работающем гидроударнике);*

*б) – положение элементов НПУ при работе в режиме гидроразмыва пород*

Приведенные примеры клапанно-золотниковых пусковых узлов применены в установках УМБ-М, которые в 2008-2009 г.г. переданы морским организациям ЗАО «Рамона» (Россия) и DMIGE. Ltd (Vietnam) для эксплуатации на морях Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии.

Одновременно этап модернизации прошли погружные буровые снаряды установок УМБ-130М, использующиеся в системе ГАО «Черноморнефтегаз (Украина).

## Список литературы

1. *Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В.* Новые технические средства и технология поинтервального бурения инженерно-геологических скважин на шельфе.//Труды ДонГТУ. Серия Горно-геологическая. – Донецк. – 2001. - Вып. 36. - С. 144-148.
2. *Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В.* Разработка погружных гидроударных снарядов для бурения подводных разведочных скважин со специализированных плавсредств. //Сб. научн. трудов. – Вып.8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2005. – с. 92-95.
3. *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.
4. *Неудачин Г.И., Коломоец А.В., Калиниченко О.И.* Опыт применения погружных гидровибрационных буровых установок для взятия проб донных отложений на шельфе морей Дальнего Востока.// Техн. и технол. геол.-развед. работ; орг. произ-ва; Экспресс-информация. /ВИЭМС. –М., 1977. №5. - с.1 - 11.
5. *Применение* погружных автономных установок для однорейсового бурения подводных скважин /Калиниченко О.И., Коломоец А.В., Квашин Е.В. и др. // Техн. и технол. геол.развед. работ; орг.пр-ва. Обзор /ВИЭМС. – М.,1988.-Вып.2. - 46 с.