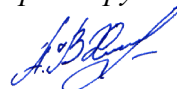


**Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи



УДК 622.242.4.05(043)

Хохуля Александр Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ
ГИДРОУДАРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ
БЕСКОЛОННОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН
НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2016 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Существенным условием роста технико-экономических показателей инженерно-геологических работ на шельфе является повышение производительности и рентабельности проходки скважин глубиной до 50 м, доля которых в объеме инженерного бурения превышает 40%. В настоящее время выделенная глубина скважин обеспечивается специализированными буровыми судами (СБС), укомплектованными агрегатами вращательного бурения. Основным сдерживающим мотивом широкого применения СБС является, прежде всего, недостаточная избирательность таких судов. На акваториях Черного, Азовского и Каспийского морей, на обширных территориях российского шельфа морей Крайнего Севера и Дальнего Востока техническое обеспечение выделенной области морского бурового производства ограничено пятью СБС. Техническая основа СБС обеспечивает бурение скважин глубиной 150 м и более, что значительно выше эксплуатационной необходимости. При низком коэффициенте оборачиваемости СБС ($\leq 0,2$) и производительности бурения скважин глубиной 30-50 м ($\leq 0,5$ скважин в сутки), учитывая их высокую арендную стоимость, превышающую \$ 10000 в сутки, использование СБС для бурения скважин глубиной до 50 м становится экономически не выгодно.

Такая ситуация обосновано предопределила задачу принципиального изменения в подходах к выбору технологической схемы проходки скважин глубиной до 50 м, которая выделена как весьма актуальная еще середине 70-х годов XX века. При этом в качестве основного фактора существенного удешевления производства рассматривается необходимость создания новой буровой техники, максимально адаптированной к штатному оборудованию экономичных судов общетехнического назначения, арендная стоимость которых более чем в 2 раза ниже СБС. Несмотря на значимость задачи, эффективных предложений по ее осуществлению до настоящего времени нет.

Объективной предпосылкой расширения области использования выделенного типа плавсредств для бурения рассматриваемой группы скважин, является факт наличия в составе флота морских геологических предприятий большой группы судов общетехнического назначения (спасатели, морские буксиры и др.). Эксплуатационно-технические возможности таких судов в большей части являются приемлемыми для выполнения производственного цикла бурения выделенной группы скважин при сокращенном, по отношению к СБС, перечне бурового оборудования (лебедка, буровой насос, штатная грузовая стрела). В условиях низкой избирательности СБС альтернативы использованию таких судов для бурения скважин глубиной до 50 м к настоящему времени нет.

В связи с этим, особую актуальность приобретают исследования по развитию технологической схемы многорейсового бурения скважин установками, эксплуатирующимися с борта неспециализированных судов. На

таких судах возможности размещения габаритного бурового оборудования и оснастки для крепления ствола скважины обсадными трубами нет. Это предполагает разработку бесколонной технологической схемы с новым содержанием цикла бурения скважины, состоящим из последовательно повторяющихся на ее интервалах двух способов разрушения пород: • с отбором керна за счет частотно-ударного погружения бурового снаряда в донные осадки на заданную глубину; • без отбора керна, за счет размыва пород на ранее пройденном или заданном участке ствола скважины.

Положительным опытом, предопределившим развитие забортной технологической схемы бурения скважин, явились разработки и показатели применения гидроударных буровых снарядов (ГБС) конструкции ДонНТУ, которые, по отношению к зарубежным аналогам, имеют существенно превосходящие параметры продуктивности, и которыми комплектуются морские установки типа УГВП и УМБ для однорейсового бурения скважин глубиной до 10 м.

Изменением структуры ГБС за счет включения в базовую конструкцию гидроударника (ГУ), входящего в комплект ГБС, пусковых узлов получена принципиальная возможность реализации технологической схемы комбинированного разрушения пород на интервалах скважины без крепления ее ствола. При этом пусковые узлы, служащие в качестве образующих элементов ГБС для обеспечения способа бурения выполняют функции гидрораспределителя, перекрывающего (при блокировании ГУ на фазе размыва) и открывающего (при разблокировании ГУ на фазе отбора керна) нагнетательную линию и рабочие камеры гидроударника и каналы для прохода жидкости на забой скважины. Соответствующие положения пусковых узлов и, как следствие, рабочие состояния ГУ достигаются оперативным изменением подачи жидкости в гидросистему.

Сдерживающим фактором дальнейшего развития многорейсового бесколонного бурения скважин глубиной до 50 м является техническая незавершенность и отсутствие научно обоснованного метода выбора настроечных характеристик и параметров управления пусковыми узлами для получения рабочих состояний ГБС, предполагающих устойчивое оперативное блокирование и разблокирование гидроударной машины в цикле изменении способов разрушения пород по стволу скважины.

Это явилось основанием для постановки теоретических и экспериментальных исследований пусковых узлов, используемых в структуре ГБС.

По своей научной направленности исследования по теме диссертации являются актуальными и имеют для отрасли большое практическое значение.

Научной основой исследований, явились широко апробированные теоретические и практические разработки гидрораспределителей, выполненные Альтшулем Б.А., Баштой Т.М., Калиниченко О.И., Каракозовым А.А., Комисаренко Ю.Я., Комитовским М.Д., Некрасовым Б.Б., Неудачи-

ным Г.И, Ситниковым Б.Т., Синицким В.М., Соколовским С.М., Ясовым В.Г. и др.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертация имеет непосредственное отношение к научному направлению кафедры технологии и техники бурения скважин Донецкого национального технического университета, которые выполняются в рамках Государственной программы «Освоение углеводородных ресурсов Черного и Азовского морей» (1996 г.). В проведенных исследованиях автор являлся непосредственным исполнителем Госбюджетных тем: Д-7-08 «Разработка технологии бурения разведочных скважин при проведении исследований на морском шельфе», 2008-2009 г. (№0107U012804); Д-16-10 «Развитие теоретических основ, разработка и совершенствование технологий и способов бурения разведочных скважин при исследованиях на морском шельфе», 2010 г. (№0110U001529); Д-8-12 «Развитие научных основ совершенствования способов и технологий отбора проб грунта при бурении геотехнических скважин на шельфе», 2012 г. (№ 0111U010503).

Цель работы состоит в обосновании параметров управления и гидротехнических характеристик пусковых узлов с устойчивым выполнением функций оперативного изменения рабочих состояний (блокирования, разблокирования) гидроударной машины для обеспечения бесколлонного бурения скважин глубиной до 50 м с поинтервальным отбором керна.

Основные задачи исследований:

1. Обосновать схемы пусковых узлов, как образующих элементов гидроударного бурового снаряда, с высокой технологической надежностью оперативного блокирования и разблокирования гидроударной машины на фазах технологического цикла многорейсовой бесколлонной проходки скважин в условиях морских акваторий;

2. Выполнить теоретические и экспериментальные исследования на новом уровне детализации процесса управления пусковыми узлами для обоснования их гидротехнических параметров;

3. Оценить эффективность использования предложенных разработок в условиях производства.

Объект исследований – гидроударные буровые снаряды для многорейсовой проходки инженерно-геологических скважин в условиях морских акваторий.

Предмет исследований – рабочие процессы, функции и параметры управления пусковыми узлами гидроударной машины буровых снарядов для многорейсовой бесколлонной проходки скважин.

Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании параметров пусковых узлов и режимов их оперативного управления, что позволило обеспечить новый технический уровень и эффективность гидроударных буровых снарядов при многорейсовом бурении скважин глубиной до 50 м с борта судов различного целевого назначения. В частности:

1. Сформирована математическая модель перемещения элементов запорно-распределительной системы пусковых узлов и доказана значимость их ударного взаимодействия при открытии клапана на фазе разблокирования гидроударной машины.

2. Разработана методика расчета и математической оценки количественных параметров и технологических режимов оперативного управления пусковыми узлами гидроударной машины с учетом ограничивающих факторов, соответствующих условиям проектирования заданных условий работы бурового снаряда.

3. Научно обоснована аналитическая зависимость для определения настроечной характеристики пусковых узлов, в виде начального натяжения пружины, обеспечивающей условие, при котором реакция пружины превышает гидравлическую силу R_Q , действующую на результирующую поверхность элементов запорно-распределительной системы пусковых узлов (ЗРС), в том числе, за пределами нагрузки R_Q при эксплуатационной необходимости форсирования работы гидроударной машины на повышенных подачах жидкости в гидросистему.

4. Научно обоснована и детализирована взаимосвязь перемещения плунжерного золотника ЗРС, линейных размеров щели клапана и пропускных окон штока; впервые получены зависимости, характеризующие закономерности изменения гидравлической нагрузки на плунжерный золотник при его перемещении с различным характером линейного перекрытия пропускных окон штока.

5. Впервые комплексная оценка протекания процесса срабатывания ЗРС получена на основе анализа циклограмм с одновременной записью и оперативным получением численных значений (с учетом данных тарировки соответствующих датчиков) давлений в камере пускового узла и скоростей перемещения клапана и плунжерного золотника с помощью аналогоцифрового преобразователя, встроенного в ПЭВМ.

6. Установлены технические характеристики и параметры управления пусковых узлов, обеспечившие устойчивое и безотказное выполнение функций блокирования (разблокирования) гидроударной машины в процессе поинтервального бурения скважин; эксплуатационная надежность разработанных пусковых узлов подтверждена в условиях производства.

Методы исследований. Поставленная в диссертационной работе цель достигнута путем: анализа, обобщения и оценки известных конструкций пусковых узлов, которыми комплектуются многофункциональные ГЭС для многорейсового бурения скважин на шельфе; применения современных и апробированных методик аналитических исследований клапанных пусковых узлов; разработки и выполнения экспериментальных исследований натурных образцов пусковых узлов с применением специальных стендов, современных приемов, способов регистрации и обработки опытных данных;

использования и оценки эффективности применения в производстве результатов исследований и технических разработок.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается обоснованностью принятого построения математических моделей запорно-распределительных систем пусковых устройств, основанных на фундаментальных законах механики и гидравлики; объемом экспериментальных исследований натуральных образцов пусковых узлов с учетом основных положений теории инженерного эксперимента; применением современных методов и способов регистрации исследуемых параметров; соответствием теоретических и экспериментальных исследований; большим объемом и положительными результатами использования разработок в производстве.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Устойчивое *блокирование* гидроударной машины, из условия снижения подачи жидкости в гидросистему, обеспечивается независимостью высоты щели клапана от величины и характера открытия пропускных окон штока за счет использования нового типа пускового узла, гидрораспределитель которого, выполнен в виде концентрично размещенных на неподвижном полом штоке подпружиненного плунжерного золотника и клапана, установленных с возможностью их относительного перемещения. При этом на этапе *разблокирования* машины, для отрыва клапана от седла (открытия клапанной щели с допуском жидкости в рабочие камеры гидроударной машины), реакция сжатой пружины дополнена силой соударения плунжерного золотника и клапана.

2. Безотказный режим разблокирования гидроударной машины, при подаче жидкости, соответствующей режиму запуска гидроударника, обеспечивается за счет использовании пусковых узлов с отрицательным линейным перекрытием плунжерным золотником пропускных окон штока Δh_1 преимущественно ударной составляющей силы отрыва клапана от седла $R_{y\partial}$ при существенным снижением гидравлической силы, тормозящей движение плунжерного золотник на пути его разгона, при этом значимость $R_{y\partial}$ достигается при соотношении $f_{\Delta h_1} = (0,9 - 1,1) f_{\varepsilon\phi}$, где $f_{\Delta h_1}$ - площадь щели отрицательного перекрытия окон штока; $f_{\varepsilon\phi}$ - эффективная площадь пропускных окон штока.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке и использовании метода инженерного расчета для обоснованного выбора конструктивных элементов и управляющих параметров пусковых узлов, что существенно повысило технологическую надежность оперативного блокирования и разблокирования гидроударной машины на интервалах комбинированного разрушения пород по стволу скважины и впервые обеспечило возможность бурения скважин глубиной до 50 м с борта судов об-

щетехнического назначения. Эффективность разработок подтверждены большим объемом их внедрения в ходе выполнения инженерно-геологических изысканий на шельфе морей Дальнего Востока и Крайнего Севера, акваториях Черного и Азовского морей.

Личный вклад автора: выполнена оценка актуальности выбранного направления исследований; сформулирована цель и задачи работы; проведен теоретический анализ и на его основе обоснованы конструктивные, технические и технологические параметры пусковых узлов; разработаны стенд и методика экспериментальных исследований. При непосредственном участии автора проведены лабораторные и производственные испытания с подтверждением эффективности предложенных разработок.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и отдельные этапы диссертации докладывались и получили положительную оценку на международных конференциях «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления», Крым, пос. Морское Судакского района (2006, 2008 – 2012 г.), региональной научно-технической конференции «Кафедре техники разведки МПИ – 80 лет», г. Днепропетровск (2009 г.), V международной научно-технической конференции «Бурение скважин в осложненных условиях», посвященной 90-летию ДонНТУ и 40-летию кафедры ТТБС, г. Донецк (2011 г).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в монографии и 11 статьях; зарегистрирован 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка литературы, включающего 105 наименования и изложена на 201 страницах, в том числе 162 страниц машинописного текста, 45 рисунков, 7 таблиц и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первом разделе* дана оценка эффективности различных способов бурения инженерно-геологических скважин глубиной до 50 м на морских акваториях. На основе выполненного аналитического обзора сформулирована цель и конкретные задачи исследований и разработок, основная направленность которых заключается в дальнейшем развитии и внедрении технологической схемы многорейсового бурения с борта судов общетехнического назначения, как фактора повышения технико-экономических показателей рассматриваемой области морского бурового производства. К настоящему времени арсенал буровой техники, обеспечивающей выделенную схему бурения, ограничен установками типа УМБ, созданными специалистами ДонНТУ.

Главным исполнительным элементом установок (рис. 1), является гидроударный буровой снаряд (ГБС), гидроударник (ГУ) которого дооснащен верхним (ВПУ) и нижним (НПУ) пусковыми узлами (ПУ), которые

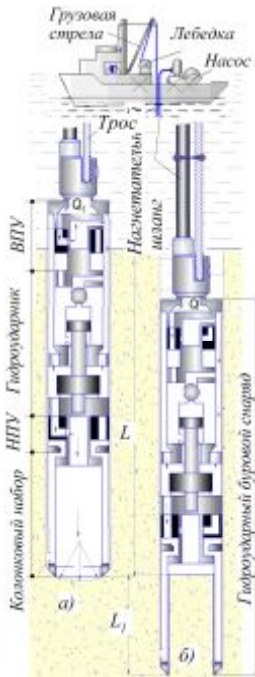


Рисунок 1 – Схема бурения скважины с поинтервальным отбором керна

выполняют функции гидрораспределителя, перекрывающего (при блокировании ГУ) и открывающего (при разблокировании ГУ) нагнетательную линию и рабочие камеры гидроударника и каналы для прохода жидкости на забой скважины. Соответствующие положения пусковых узлов и, как следствие, рабочие состояния ГУ достигаются оперативным изменением подачи жидкости в гидросистему.

Цикл бурения скважины обеспечивается последовательным выполнением двух способов разрушения пород:

- без отбора керна, за счет размыва пород на заданном или ранее пройденном интервале L , при заблокированном состоянии гидроударника (рис. 1, а);
- с отбором керна на глубину L_1 , за счет частотно-ударного погружения бурового снаряда в осадки, при разблокировании гидроударника (рис. 1, б).

Сложности, возникающие при реализации процесса изменения состояний ГУ, обусловлены, прежде всего, наличием взаимосвязанных эксплуатационных и технологических требований, определяющих обоснованность выбора параметров

и режимов управления ВПУ и НПУ:

1. Учитывая, что ПУ в структуре ГБС являются также контуром питания гидроударной машины, границы выбора параметров управления узлами, количественно ограничены подачей жидкости Q , обеспечивающей работу ГУ с частотно-силовыми характеристиками достаточными для разрушения пород, и подачей жидкости $Q_1 > Q$, необходимой для эффективного размыва донных осадков и обеспечения достаточной скорости восходящего потока пульпы по стволу скважины. При этом, учитывая отсутствия визуального контроля режимов управления ПУ, для исключения непроизвольного изменения состояний ПУ, параметры Q и Q_1 связаны эксплуатационным требованием:

$$(Q_1 - Q) \geq (0,35 - 0,5)Q \quad (1)$$

Поскольку величина Q_1 регламентируется диапазоном 380-410 л/мин, выполнение условия (1), обуславливает решения, направленные на снижение величины Q , что в свою очередь предполагает решение инженерных вопросов, связанных с оптимизацией ГУ, для получения

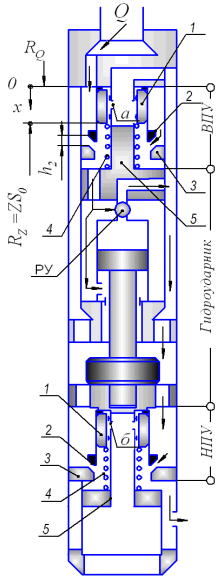


Рисунок 2 - Принципиальная схема ГБС

эффективных частотно-силовых характеристик при расходе жидкости $Q = 200-220$ л/мин.

2. Промежуточным и наиболее важным управляющим параметром пусковых узлов является подача жидкости Q_2 , для оперативного разблокирования ГУ при переходе с режима размыва пород на режим бурения с отбором керна. При этом технологически необходимым является обеспечение выделенного процесса при Q_2 , соответствующей запуску ГУ.

$$Q_2 = (0,4 - 0,5) \cdot Q \quad (2)$$

Необходимость учета выделенной взаимосвязи эксплуатационных и технологических требований и условий, явилось предпосылкой проведения теоретических и экспериментальных исследований процесса управления пусковыми узлами для обоснования их гидротехнических параметров.

В результате обобщения опыта создания и исследований аппаратуры защиты, составляющих контур питания и предохранения гидросистем, предложены новые решения, касающиеся конструкции и физического объединения элементов ГБС «ВПУ - гидроударник - НПУ» (рис.2).

В новой разработке запорно-распределительная система (ЗРС) пусковых узлов ГБС выполнена в виде клапана 2 (Кл) и плунжерного золотника 1 (ПЗ), опирающегося на пружину 4 и концентрично установленного в цилиндре Кл с возможностью перемещения по штоку 5.

Разблокированное состояние ГУ (рис. 2), для любых проектных значений подачи жидкости Q в гидросистему и заложенных конструктивных элементах ЗРС, выполняется при соблюдении соотношения:

$$R_Z > R_Q \quad (3)$$

Устойчивое открытое положение клапанов 2 (без посадки на седло 3) обеспечивается единственной настроечной характеристикой в виде начального натяжения пружины S_0

$$S_0 \geq \frac{\rho \cdot F \cdot (1+k)^2 \cdot Q^2}{2\mu^2 \cdot Z \cdot f^2} \quad (4)$$

где $R_Z = ZS_0$ – сила пружины 4; Z – жесткость пружины; $R_Q = PF$ – сила, действующая на ЗРС со стороны потока при подаче жидкости; P – давление в камере пускового узла; $F = f_{кл} + f_{пз}$ – результирующая площадь ЗРС; $f_{кл}$ – площадь щели клапана 2; $f_{пз}$ – площадь сечения ПЗ; $k=1,1-1,15$ – коэффициент превышения подачи жидкости (обуславливается необходимо-

стью кратковременного форсирования частотно-силовых характеристик гидроударника); ρ - плотность жидкости; μ - коэффициент расхода жидкости.

В режиме блокирования гидроударной машины устойчивость элементов ЗРС нарушается при подаче жидкости Q_1 :

- система «Кл+ПЗ» на ходе h_2 , преодолевая сопротивление пружины 4, перемещается до посадки клапана 2 на седло 3 (рис. 3,а). Условие закрытия щели клапана выполняется при

$$R_{Q1} = P_{Q1}F > Z(S_0 + h_2) \quad (5)$$

где P_{Q1} - давление в камере ПУ, определяющееся преимущественно поте-

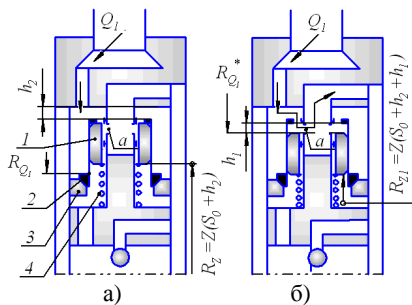


Рисунок 3 – Положение элементов ЗРС при блокировании гидроударника

рями на входе в пропускное сечение клапана и выходе из щели;

- последующее самостоятельное перемещение (торможение) ПЗ 1 на ходе h_1 с открытием пропускных окон штока (рис. 3, б). Длительное заблокированное состояние ГУ обеспечивается новой силой R_{Q1}^* , зависящей от перепада давления, определяющегося преимущественно эффективной площадью $f_{эф}$ пропускных окон «а», величина открытия которых соответствует линейному перемещению ПЗ на пути h_1 .

$$R_{Q1}^* = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q_1}{\mu \cdot f_{эф}} \right)^2 f_{нз} > Z(S_0 + h_1 + h_2) \quad (6)$$

В предложенном исполнении ПУ высота щели клапана h_2 определяется его пропускной способностью и не зависит от характера и величины линейного открытия окон «а» и «б» (h_1). В цикле открытия окон штока участвует только подпружиненный ПЗ, площадь которого $f_{нз}$ на этапе проектирования может варьироваться изменением внутреннего сечения клапана или размером диаметра штока. Это является объективной предпосылкой снижения уровня подачи жидкости и, как следствие, гидравлической силы, действующей на ЗРС при блокировании гидроударной машины.

Переход от режима блокирования на режим запуска и полного разблокирования ГУ выполняется уменьшением подачи жидкости в гидросистему до величины $Q_2 < Q_1$. В технологическом плане требования к разблокированию машины являются наиболее жесткими. При этом при подаче

жидкости, соответствующей условию (2), предусматривается необходимость безусловного выполнения операции отрыва клапана от седла и его открытие на величину, требующуюся для прохода жидкости.

В заложенном исполнении ПУ для преодоления гидравлической силы инерцией клапана и, появляющейся после его отрыва от седла гидродинамической силы (в месте дросселирования жидкости), стремящейся закрыть клапан (противодействующей дальнейшему его открытию), впервые использована схема ударного взаимодействия элементов ЗРС.

Процесс срабатывания элементов ЗРС условно разделен на две фазы:

фаза 1 • перемещение ПЗ 1 на пути h_1 до соударения с клапаном 2;

фаза 2 • отрыв клапана от седла и дальнейшее перемещение системы ЗРС на пути h_2 с открытием конусной щели клапана.

Условиями для обеспечения выделенных фаз являются соотношения:

$$\text{для фазы 1: } R_Z^{(1)} > R_{Q2}^{(1)} \quad (7)$$

где $R_{Q2}^{(1)} = \frac{\rho}{2\mu^2} [(Q_2 + \frac{f_{n3}^2}{f_T} \cdot \dot{x}_1) / f_{\text{эф}}]^2 \left(1 + \frac{x_1}{h_1} \right) f_{n3}$ - изменяющаяся сила гидравлического сопротивления;

$R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_2 + h_1 - x_1)$ - сила пружины линейно уменьшающаяся на пути перемещения ПЗ x_1 ; \dot{x}_1 - текущее значение скорости ПЗ; f_T - площадь сечения подводящего трубопровода;

$$\text{для фазы 2: } R_Z^{(2)} + R_{\text{уд}} > R_{Q2}^{(2)} \quad (8)$$

где $R_Z^{(2)} = Z(S_0 + h_2)$ - сила сжатия пружины к началу перемещения ЗРС;

$R_{Q2}^{(2)} = \frac{\rho}{\mu^2} [(Q_2 + \frac{f_{n3}^2}{f_T} \cdot V_{h1}) / f_{\text{эф}}]^2 \cdot f_{\text{кл}} + \rho \cdot c \cdot (Q_2 + f_{n3} \cdot V_{h1})$ - гидравлическая сила, обусловленная давлением в камере пускового узла (при $x_1 = h_1$) и изменением давления в момент закрытия плунжерным золотником пропускных окон «а»;

V_{h1} - скорость ПЗ при соударении его с клапаном; c - скорость распространения гидроударной волны; $R_{\text{уд}}$ - сила, действующая в клапане, при соударении его с плунжерным золотником:

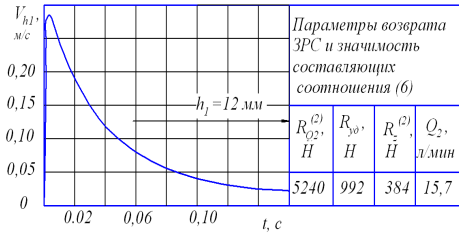
$R_{\text{уд}} = \rho_{\text{ст}} \cdot c_{\text{ст}} \cdot V_{h1} \cdot f_{\text{кл}}^y \cdot f_{n3} / (f_{\text{кл}}^y + f_{n3})$, ($\rho_{\text{ст}}$ - плотность стали; $c_{\text{ст}}$ - скорость распространения ударной волны в металле; $f_{\text{кл}}^y$ - ударное (поперечное) сечение клапана.

Величина V_{h1} определяется путем численного решения дифференциального уравнения движения плунжерного золотника

$$m\ddot{x}_1 = R_{Z1}^{(1)} - R_{Q2}^{(1)} - G \quad (9)$$

где \ddot{x}_1 - текущие значение ускорения ПЗ; m , G – приведенная масса и вес плунжерного золотника.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований отмечено существенное влияние на величину V_{h1} характера линейного перекрытия плунжерным золотником пропускных окон штока.



Установлено, что при использовании схемы ЗРС с положительным перекрытием окон, характеризующейся наличием протяженного уплотняющего участка, в камере ПУ создается ощутимая зона повышенного давления, в которой затрудняется движение плунжерного золотника.

Рисунок 4 – Характер изменения V_{h1} при использовании плунжерного золотника с положительным перекрытием окон штока

движение плунжерного золотника.

В такой ситуации при перекрытии окон штока $V_{h1} \rightarrow 0$, а ударная составляющая $R_{y\phi}$ незначительна (рис. 4). В качестве основных исходных данных использованы характеристики натуральных образцов ПУ бурового снаряда установки УМБ-130М ($Z = 6000$ Н/м; $S_0 = 56$ мм; $f_{3\phi} = 450$ мм²; $h_2 = 8$ мм; диаметр клапана -106 мм; диаметр штока -50 мм; наружный диаметр ПЗ - 80 мм; внутренний диаметр цилиндра ПУ - 111 мм).

В соответствии с приведенными данными (рис. 4), при применении выделенной схемы взаимодействия ЗРС с положительным перекрытием плунжерным золотником окон штока процесс разблокирования гидроударника обеспечивается при $Q_2 = 15,7$ л/мин, что существенно меньше предусмотренного условием (2). Одновременно получает объяснение фактическое условие эксплуатации УМБ-130М, когда изменение состояния системы ЗРС, при переходе с режима размыва породы на забое скважины на режим бурения с отбором керна с номинальным значением $Q = 300 - 320$ л/мин, гарантировано обеспечивалось только при выключении бурового насоса.

Полученный вывод явился основанием для проведения дальнейших исследований, направленных на получение новых связей между h_1 , V_{h1} и $R_{Q2}^{(2)}$, с возможностью повышения Q_2 до уровня, соответствующего условию запуска гидроударника. Предложено техническое решение, предполагающее снижение реакции R_{Q2} при одновременном увеличении предупар-

ной скорости V_{h1} за счет применения ЗРС с отрицательным перекрытием плунжерным золотником пропускных окон «а» - Δh_1 .

Во втором разделе приведены результаты аналитических исследований взаимосвязи конструктивных характеристик, физических состояний и параметров управления пусковыми узлами на стадиях цикла бурения скважины. В ходе выполненных исследований получены математические описания параметров управления пусковым узлом, значения которых функционально взаимосвязаны с давлением потока в камере гидрораспределителя и количественно ограничены подачами жидкости для обеспечения технологически необходимого состояния ЗРС пускового узла на фазах блокирования и разблокирования гидроударной машины.

Исходным для определения управляющего параметра Q_1 является соотношение (3). С учетом условия (6) режим блокирования ГУ, при проектных конструктивных элементах ЗРС, выполняется при вполне определенных значениях Q_1 и $f_{эф}$.

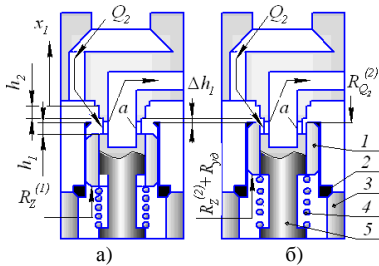


Рисунок 5 – Схема ЗРС с отрицательным перекрытием плунжерным золотником пропускных окон штока

Рисование жидкости, насыщенной частицами песка, по стволу скважины. Скорость потока $V_{скв}$ в сечении скважины ($F_{скв}$), из условия разрушения «мертвых» зон скопления частиц песка по стволу, должна быть не менее (0,29-0,3 м/с).

Параметр Q_2 , в соответствии с (2), достигается при соблюдении соотношений (7) и (8) при повышенной значимости ударной составляющей $R_{yд}$ и одновременном снижении гидравлической силы $R_{Q2}^{(2)} = P_{Q2}^{(2)} \cdot f_{нз}$ (при Q_2), действующей на ЗРС и изменяющейся на пути $h_1 - x_1 + \Delta h_1$ (рис. 5). При наличии щели Δh_1 , площадью $f_{\Delta h_1}$, определение V_{h1} , как фактора формирования $R_{yд}$ выполняется решением дифференциального уравнения движения плунжерного золотника

$$Q_1 \geq f_{щ} \sqrt{\frac{2Z(S_0 + h_2)}{\rho F \zeta}} \quad (10)$$

$$f_{эф} \leq \sqrt{\frac{\rho Q_1^2 f_{нз}}{2Z(S_0 + h_1 + h_2)\mu^2}} \quad (11)$$

где $f_{щ}$ – щели клапана, ζ – коэффициент сопротивления клапана.

При выборе Q_1 дополнительным требованием является соблюдение условия $Q_1 \geq V_{скв} \cdot F_{скв}$, при котором обеспечивается эффективное транспортирование

$$m\ddot{x}_1 = Z(S_0 + h_2 + \Delta h_1 + h_1 - x_1) - R_{Q2}^{(2)} - G \quad (12)$$

При перемещении плунжерного золотника, на пути x_1 соблюдается условия $f_{\text{эф}} \geq f_{\Delta h_1}$, при этом до момента $f_{\text{эф}} = f_{\Delta h_1}$, $\Delta h_1 = f_{\text{эф}} / (\pi \cdot d_5)$, где d_5 - диаметр штока 5). Величина $R_{Q2}^{(2)}$, определяется формулой

$$P_{Q2}^{(2)} = \frac{\rho}{2\mu^2} \left(Q_2 + \frac{f_{n3}^2}{f_T} \cdot \dot{x}_1 \right) / f_{\text{эф}}^2 \quad (13)$$

За границей x_1 , при $f_3 < f_{\Delta h_1}$, к моменту контакта плунжерного золотника 1 с клапаном 2, давление $P_{Q2}^{(2)}$ будет зависеть от пропорционально уменьшающегося пропускного сечения дроссельной щели штока 5

$$P_{Q2}^{(2)} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q_2 + \dot{x}_1 \cdot f_{n3}^2 / f_T}{\mu \cdot \pi \cdot d_5 \cdot (h_1 - x_1 + \Delta h_1)} \right)^2 \quad (14)$$

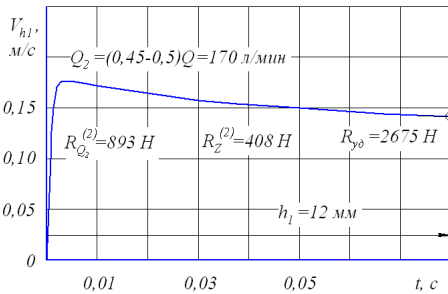


Рисунок 6 - График изменения V_{h1} и значения составляющих соотношения (9) при использовании плунжерного золотника с отрицательным перекрытием окон штока ($\Delta h_1 = 4 \text{ мм}$)

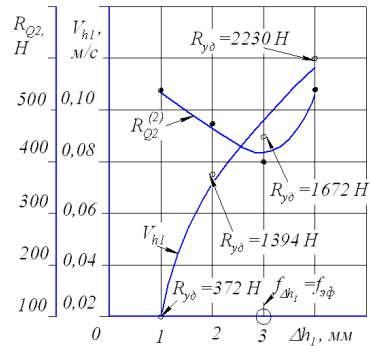


Рисунок 7 - Графики зависимости $R_{Q2}^{(2)}$ и V_{h1} от величины Δh_1

На основе анализа решений уравнения (12) теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность увеличения скорости V_{h1} (рис. 6) за счет использования в структуре ЗРС плунжерного золотника с отрицательным перекрытием окон штока. Установлено, что при соотношении площади щели отрицательного линейного перекрытия и эффективной площади пропускных окон штока: $f_{\Delta h_1} = (0,9 - 1,1) \cdot f_{\text{эф}}$, имеет место максимальное снижение $R_{Q2}^{(2)}$ (рис. 7), при этом на фазе разблокирования ГУ, в соответствии с условием (9), ударная составляющая R_{y0} имеет домини-

ботки реализованы в виде структурных элементов гидроударного бурового снаряда установок УМБ-130М и УМБ-2М. Производственные показатели разработок и их результативность подтверждены актами внедрения. В ходе испытаний, выполнялись работы по проверке ряда теоретических выводов. Полученные при этом фактические результаты подтвердили обоснованность аналитических рекомендаций для выбора параметров S_0 , Q_1 , Q_2 .

Выполненные задачи исследований позволили обеспечить высокую продуктивность ГБС в комплекте с разработанными пусковыми узлами при выполнении инженерно-геологических изысканий на предварительных этапах обустройства углеводородных месторождений и разведке строительных материалов в украинской зоне шельфа Черного и акватории Азовского морей (ГАО «Черноморнефтегаз», ГРГП «Причерноморгеология, «ООО «Компания» Югостокгаз»).

Повышенные показатели эффективности разработок, при отсутствии аналогичных решений в мировой практике, явились основанием для их применения научно-исследовательскими и производственными организациями России (ООО «ПитерГаз»; ВНИИ Океангеология; ЗАО «Тихоокеанская инжиниринговая компания») и Вьетнама (компания Far East Marine Geology Engineering (DMIGE) Ltd).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получила новое решение актуальная научно-техническая задача, имеющая существенное народно-хозяйственное значение, заключающаяся в теоретическом обосновании параметров пусковых узлов, и условий их оперативного управления, что впервые позволило обеспечить новый технический уровень и повысить эффективность применения многофункциональных ГБС при бурении скважин глубиной до 50 м с борта судов различного целевого назначения.

Основные научные и практические результаты диссертации сводятся к следующему.

1. Предложена принципиально новая схема и разработана конструкция пусковых узлов, запорно-распределительная система которых выполнены в виде клапана и подпружиненного ПЗ, концентрично размещенного в цилиндре Кл с возможностью перемещения по штоку, что обеспечивает независимость высоты щели клапана h_2 от величины и характера открытия пропускных окон штока, при этом на этапе возврата ЗРС реакция сжатой пружины дополнена силой соударения ПЗ и клапана.

2. Образующие параметры ПУ устанавливаются из условия обеспечения неподвижности системы «Кл-ПЗ» силой пружины R_Z , компенсирующей гидравлическую нагрузку R_Q , действующую на его ЗРС при проек-

ном расходе жидкости Q , необходимом для обеспечения режима эффективной работы гидроударника на интервале отбора керна.

3. На основе выделенной взаимосвязи конструктивных элементов и силовых составляющих, формирующихся на ЗРС, обоснован выбор предварительной деформации пружины S_0 , в виде настроечной характеристики ПУ, обеспечивающей условие $R_Z > R_Q$, в том числе за пределами нагрузки R_Q при эксплуатационной необходимости увеличения Q .

4. Обоснован управляющий параметр в виде расхода $Q_1 > Q$, при котором на результирующей площади ЗРС формируется гидравлическая нагрузка R_{Q1} , превышающая реакцию пружины R_{Z1} , сжатую на ходе срабатывания ЗРС, при этом соблюдение условия $R_{Q1} > R_{Z1}$ дополнено выбором эффективной площади пропускных окон штока $f_{эф}$.

5. Условием оперативного разблокирования гидроударника является обеспечение возврата ЗРС при расходе жидкости $Q_2 \approx (0,4 - 0,5)Q$, соответствующего режиму запуска гидроударника. На основе анализа дифференциального уравнения движения плунжерного золотника получены новые связи между силовыми характеристиками, обуславливающими его перемещение, и установлена возможность достижения выделенного уровня Q_2 , за счет использования ЗРС с отрицательным линейным перекрытием плунжерным золотником пропускных окон штока Δh_1 , при величине площади щели отрицательного перекрытия $f_{\Delta h_1} = (0,9 - 1,1)f_{эф}$.

6. На основе выполненных исследований предложен инженерный метод расчета ПУ, позволяющий количественно оценить параметры и технологические режимы оперативного управления ЗРС пусковых узлов с учетом ограничивающих факторов, соответствующих условиям проектирования заданных режимов работы гидроударного бурового снаряда.

7. Коэффициент технического использования пусковых узлов, в которых ЗРС выполнен в виде клапана, с концентрично установленным в нем подпружиненным плунжерным золотником с отрицательным перекрытием пропускных окон штока, по сравнению с одноэлементным плунжерным клапаном, увеличен более чем на 26%.

8. Практическая эффективность разработок подтверждена результатами их внедрения в условиях многообразия требований, обусловленных спецификой выполнения работ в акваториях Черного и Азовского морей, а также на шельфе морей Крайнего Севера и Дальнего Востока. При этом практическая результативность обоснована достигнутой производительностью бурения скважин, которая в 1,5 – 2 раза превышает аналогичный показатель при использовании СБС. С учетом разницы арендных стоимостей

СБС и неспециализированных судов существенно (более чем в 3,5 раза) повышена рентабельность проходки выделенной группы скважин.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Зыбинский, П.В. Технологическая схема поинтервального бурения скважин на морских акваториях / П.В. Зыбинский, О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, **А.В. Хохуля** // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 105, серія: «Гірничо–геологічна». Донецьк: ДонНТУ, 2006. - С. 110-113.

2. Калиниченко, О.И. Задачи совершенствования технологических режимов многорейсового бурения скважин на морских акваториях / О.И. Калиниченко, **А.В. Хохуля** // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. - Вып. 9. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2006. - С. 47-50.

3. Каракозов, А.А. Результат опытной эксплуатации установки УМБ - 130М при проведении геологической съемки в Чукотском море / А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, **А.В. Хохуля**, П.Л. Комарь, Е.А. Гусев, Ю.П. Егоров // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 6 (125), серія: «Гірничо–геологічна». - Донецьк: ДонНТУ, 2007. - С. 53-57.

4. Каракозов, А.А. Совершенствование технических средств и технологии отбора проб грунта при бурении геотехнических скважин с плавучих самоподъемных установок на шельфе черного моря / А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский, **А.В. Хохуля**, П.Л. Комарь, С.Н. Парфенюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. - Вып. 11. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2008. - С. 66-74.

5. Калиниченко, О.И. Основные проблемы и пути совершенствования техники и технологии многорейсового бурения скважин на морских акваториях / О.И. Калиниченко, **А.В. Хохуля** // Науковий вісник національного гірничого університету. Науково – технічний журнал. Вип. № 7. - Дніпропетровськ: НГУ, - 2009 - С. 45-50.

6. Калиниченко, О.И. Повышение надежности бесколонного бурения скважин в условиях морских акваторий / О.И. Калиниченко, **А.В. Хохуля**, С.Н. Парфенюк, Е.В. Кошеверова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. - Вып. 13. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2010. - С. 96-99.

7. Калиниченко, О.И. Опыт разработки и применения гидроударных буровых снарядов и установок при бурении инженерно–геологических скважин на шельфе / О.И. Калиниченко, **А.В. Хохуля**, П.В. Зыбинский, А.А. Каракозов, П.Л. Комарь, С.Н. Парфенюк // Наукові праці Донецького нац.

техн. ун-ту. Вип. 11 (161), серія: «Гірничо–геологічна». - Донецьк: ДонНТУ, 2010. - С. 58-68.

8. Калиниченко, О.И. Новая установка УМБ-2М для многорейсового бурения скважин на морских акваториях / О.И. Калиниченко, **А.В. Хогуля**, П.Л. Комарь, Д.В. Копытков-Баскаков // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Вип. 14 (181), серія: «Гірничо–геологічна». - Донецьк: ДонНТУ, 2011. - С. 14-19.

9. Калиниченко, О.И. Новые возможности и продуктивность легких гидроударных установок для бурения инженерно-геологических скважин на морских акваториях / О.И. Калиниченко, **А.В. Хогуля**, П.Л. Комарь, М.Ю. Тельбиш, И.И. Мартыненко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. - Вып. 15. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2012. - С. 120-125.

10. Калиниченко, О.И. Установки для бесколонного бурения скважин на морских акваториях (Монография)/ О.И. Калиниченко, **А.В. Хогуля**, Каракозов А.А., Зыбинский П.В. //Изд. «Донбасс». Донецк, - 2013. - 162 с.

11. Калиниченко О.И. Гидроударный буровой снаряд: Патент на полезную модель №77466./ О.И. Калиниченко, **А.В. Хогуля**, А.А. Каракозов / Бюл. №3, 11.02.2013 г.

12. **Хогуля, А.В.** Исследование влияния силовых характеристик потока жидкости на выбор параметров пусковых узлов гидроударного бурового снаряда ПБС-127 / **А.В. Хогуля** // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. - Вып. 14. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2011. - С. 172-177.

13. **Хогуля, А.В.** Обоснование влияния силовых характеристик потока жидкости на выбор параметров пусковых узлов гидроударного бурового снаряда ПБС-127 / **А.В. Хогуля**, С.Г. Фролов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Выпуск №3 – Екатеринбург, 2014 - С. 66-72.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве:

[1, 3, 7] – проведение и обработка данных производственных испытаний бурового снаряда ПБС-127; [2,5,12,13] – анализ эффективности, обоснование и практическая реализация схем и настроечных характеристик пусковых узлов бурового снаряда ПБС-127; [4] – производственно-экспериментальные исследования пусковых узлов снаряда ГБС-108 при бурении инженерно геологической скважины глубиной 80 м с СПБУ «Сиваш»; [6] – моделирование системы «ПБС – скважина» для обоснования технологических параметров бескернового бурения интервалов скважины; [8] – разработка буровых снарядов ГБС-108 с универсальным пусковым узлом; [9] – новые практические и теоретические решения, обеспечивающие комплексный учет параметров гидродвигателя и пусковых узлов ГБС-127;

[10] – обобщение результатов опытно-конструкторских и теоретических работ, разработка метода расчета пусковых узлов; [11] – идея нового взаимодействия элементов ЗРС пусковых узлов с повышенной надежностью их срабатывания при блокировании и разблокировании гидроударного механизма.

АННОТАЦИЯ

Хохуля А.В. Обоснование параметров пусковых узлов гидроударного бурового снаряда для бесколонного бурения скважин на морских акваториях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 «Горные машины». Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, 2015 г.

В диссертации получены новые теоретические и экспериментальные результаты, позволившие научно обосновать параметры и создать новые пусковые узлы, структурно вписывающиеся в конструкцию гидроударного бурового снаряда и функционально являющиеся образующими элементами ГБС для обеспечения технологической схемы бесколонного бурения скважин глубиной до 50 м с борта судов различного целевого назначения.

Установлены и подтверждены экспериментально зависимости для выбора настроечной характеристики и управляющих параметров, обеспечивающих состояния ЗРС пусковых узлов при оперативном изменении технологически необходимых режимов работы ГБС на интервалах скважины.

Широким внедрением результатов диссертационной работы доказана возможность значительного повышения уровня использования потенциальных возможностей ГБС, с повышением технико-экономических показателей бурения инженерно-геологических скважин глубиной до 50 м в условиях континентального шельфа.

В целях повышения эффективности многорейсового бурения скважин необходимо продолжить исследования направленные, прежде всего, на достижение более высокой производительности бескернового бурения плотных пород. В перспективе, следует рассматривать разработки, требующие не только нового подхода к выбору конструкции и схемы управления ЗРС пусковыми узлами, но и в корне изменить характер разрушения пород.

Это ставит задачу создания универсального пускового узла, обеспечивающего постоянное разблокированное состояние гидроударника на интервалах бескерновой проходки заданного участка скважины за счет одновременно действующих гидромониторных и частотно-силовых нагрузок, формирующихся на забое скважины, с одновременным обеспечением возможности блокирования каналов прохода жидкости в колонковую трубу на этапе отбора керна.

Ключевые слова: гидроударник, пусковые узлы, многорейсовое бурение, скважина, инженерно-геологический, бесколонное бурение.

ANNOTATION

Khokhulia A.V. – Main characteristics of startup junctions of hydro-percussion drilling unit for casing-free well-boring in the offshore zones. - manuscript.

Ph.D. (Candidate's) dissertation in Engineering Science in branch of study 05.05.06 "Mining Machinery". Donetsk National Technical University, Donetsk, 2016.

The dissertation summarizes new results of theoretic and experimental studies that enabled to give scientific proof of characteristics and create new startup junctions which are suitable for the structural design of hydro-percussion drilling unit and operate as constitutive element of HPDU in order to implement technological schemes of casing-free well-boring in the depth upto 50 meters on board of different vessels.

In the course of investigation the functions were determined and proved experimentally in order to choose the adjusting characteristic and control parameters to provide Shut-off and Control System conditions of the startup junction. It is obviously essential for immediate operational changes of HPDU at a given interval of the borehole.

The wide implementation of results of the dissertation proves the possibility to level up usage of capabilities of HPDU substantially and provides a way to level up technical and economic value of engineering-geological (geotechnical) boreholes drilling in the continental shelf area.

In order to improve the efficiency of multi-trip well-boring further investigation is needed first of all to achieve the better productivity in non-coring boring of dense rocks. Ultimately, it is necessary to consider the investigations demanding not only novelties in construction and manipulation schemes of Shut-off and Control Systems of the startup junction but also radical changes in the rock failure.

It assigns the objective to create a cross functional startup junction providing permanent unlocked state of HPDU in the non-coring intervals of the given part of a borehole with water-jet and frequency-power tension influencing simultaneously at a borehole bottom, while insuring the possibility to block the liquid flows passage into the core-barrel at the core samples collection.

Keywords: hydro-percussion drilling unit, startup junctions, multi-trip well-boring, boreholes, engineering-geological, casing-free well-boring.

Подписано к печати 23.05.2016 г.
Формат 60×84^{1/16}. Бумага мелованная.
Гарнитура "Newton". Печать - лазерная.
Ус. печ. л. 1,0.
Заказ №0516. Тираж 120 экз.

Отпечатано в типографии
Издательства "Донецкая политехника"
на цифровом лазерном издательском комплексе
Хероx DocuColor 2060
Тел.: +380 (62) 304-60-82

