

**ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Хохуля Александр Владимирович**

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

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Калиниченко Олег Иванович  
доктор технических наук, профессор

Донецк – 2016

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>		стр.
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....		4
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....		5
ВВЕДЕНИЕ.....		8
1. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И СРЕДСТВ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ.....		16
1.1. Состояние проблемы и предпосылки расширения области бурения скважин глубиной до 50 м с неспециализированных морских судов.....		16
1.2. Состояние и анализ технической базы и технологических схем бурения скважин на морских акваториях.....		22
1.3. Обоснование схемы пусковых узлов гидроударных буровых снарядов для многорейсового бурения скважин .....		41
1.4. Принципиальная схема усовершенствованного варианта пусковых узлов гидроударных буровых снарядов.....		61
1.5. Выводы.....		64
2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ ГИДРОУДАРНОГО БУРОВОГО СНАРЯДА.....		66
2.1. Задачи аналитической оценки настроечных характеристик и управляющих параметров пусковых узлов гидроударного бурового снаряда .....		66
2.2. Определение настроечной характеристики пусковых узлов ....		69
2.3. Аналитическая оценка управляющих параметров пусковых узлов.....		73
2.4. Анализ расчетных характеристик пусковых узлов .....		83
2.5. Выводы.....		87
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ ГИДРОУДАРНОГО БУРОВОГО СНАРЯДА.....		89

3.1. Задачи, практическая направленность и методика экспериментальных исследований.....	89
3.2. Объект исследований, экспериментальная установка, измерительная и регистрирующая аппаратура и приборы.....	91
3.3. Результаты экспериментальных исследований пусковых узлов бурового снаряда ПБС-127 .....	102
3.4. Экспериментальные исследования пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127 .....	111
3.5. Экспериментальная оценка условия возвращения ЗРС пусковых узлов с различным характером перекрытия пропускных окон .....	122
3.6. Выводы.....	129
4. РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ В СОСТАВЕ ГИДРОУДАРНЫХ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ.....	131
4.1. Этапы совершенствования, условия проведения и результаты производственно-экспериментальных испытаний пусковых узлов в составе гидроударных буровых снарядов.....	132
4.2. Разработка и производственно-экспериментальные испытания усовершенствованных пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127 .....	151
4.3. Перспективы совершенствования технических элементов управления режимами работы ГБС при реализации технологической схемы многорейсового бурения скважин.....	156
4.4. Выводы.....	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	161
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	164
Приложение А. АКТ и ПРОТОКОЛ внедрения погружной гидроударной	

установки УМБ-130 при выполнении инженерно-геологических изысканий по трассе подводного трубопровода Джубга – Лазаревская – Сочи на континентальном шельфе Черного моря .....	175
Приложение Б. АКТ и ПРОТОКОЛ проведения пусконаладочных работ и испытаний буровой установки УМБ - 130М в порту Вьетсовпетро, г. Вунг Тау (Вьетнам) .....	180
Приложение В. АКТ и ПРОТОКОЛ использования погружной гидроударной установки УМБ-130 и приемки полевых работ по бурению разведочных скважин для поиска месторождения песка на шельфе Черного моря.....	186
Приложение Г. АКТ И ПРОТОКОЛ использования погружной гидроударной установки УМБ-130 для инженерно-геологических изысканий на континентальном шельфе Черного моря в точках постановки СПБУ «Петр Годованец» для ГАО «Черноморнефтегаз .....	190
Приложение Д. АКТ и ПРОТОКОЛ 1 и 2 использования погружной гидроударной установки УМБ - 130 М для инженерно-геологических изысканий на континентальном шельфе Азовского моря в точках постановки СПБУ «Амазон»...	194

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЦП – аналогового цифровой преобразователь;

ВПУ – верхний пусковой узел;

ВСН – ведомственные строительные нормы;

ГБС – гидроударный буровой снаряд;

ГАО – государственное акционерное общество;

ГГП – государственное геологическое предприятие;

ГМТ – геолого-методические требования;

ГУ – гидроударник;

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет;

ЗРС – запорно-регулирующая система;

КН – колонковый набор;

ЛТС – легкие технические требования;

МГА – Московская геологическая академия;

МГРИ – Московский геологоразведочный институт;

МБ – морской буксир;

МПИ – месторождение полезных ископаемых;

НИС – научно-исследовательское судно;

НПУ – нижний пусковой узел;

ОЗУ – оперативно-запоминающее устройство;

ПБС – погружной буровой снаряд;

ПУ – пусковой узел;

СПБУ – самоподъемная плавучая буровая установка;

УМБ – установка для многорейсового бурения.

СО/ССН – судно обеспечения/судно специального назначения;

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

$c$  – скорость распространения гидроударной волны;

$c_{cm}$  – скорость распространения ударной волны в стали;

$d$  – диаметр сечения конуса клапана по точкам пересечения с его сторонами перпендикуляров, опущенных на острые кромки седла;

$d_a$  – диаметр пропускных окон штока;

$d_{cp}$  – среднее значение диаметра щели клапана;

$d_2$  – диаметр тарелки клапана (по острой наружной кромке седла);

$d_5$  – диаметр штока;

$F$  – результирующая площадь ЗРС;

$f$  – площадь пропускного сечения клапана;

$f_2$  – эффективная площадь тарелки клапана;

$f_5$  – площадь сечения штока;

$f_6$  – площадь сечения камеры пускового узла;

$f_{кл}$  – эффективная площадь клапана;

$f_{пз}$  – эффективная площадь плунжерного золотника;

$f_{щ}$  – средняя площадь щели клапана;

$f_{эф}$  – суммарная (эффективная) площадь пропускных окон штока;

$f_{\Delta h_1}$  – площадь дроссельной щели отрицательного перекрытия окон штока;

$f_{кл}^y$  – ударное (поперечное) сечение клапана;

$G, m$  – вес и приведенная масса плунжерного золотника;

$h_1$  – рабочий ход плунжерного золотника;

$\Delta h_1$  – величина отрицательного перекрытия пропускных окон штока;

$k$  – проектный коэффициент превышения расхода жидкости;

$m_z$  – масса пружины;

$P_{Q2}^*$  – давление в камере пускового узла при контакте золотника с клапаном;

$Q$  – расход жидкости соответствующий условию эффективной работы ГУ;

$Q_1$  – расход жидкости для срабатывания ЗРС на фазе блокирования ГУ;

$Q_2$  – расход жидкости для возврата ЗРС на фазе разблокирования ГУ;

$\Delta Q$  – технологическое превышение расхода жидкости на привод ГУ;

$R_Q$  – гидравлическая сила, соответствующая неподвижному состоянию ЗРС на фазе разблокирования ГУ;

$R_{Q1}$  – гидравлическая сила, соответствующая условию срабатывания при блокировании;

$R_{Q2}^*$  – гидравлическая сила, действующая на клапан при его контакте с плунжерным золотником и наличии  $f_{\Delta h_1}$ .

$R_Z$  – сила деформации пружины.

$R_Z^{(2)}$  – сила сжатия пружины к началу перемещения ЗРС на фазе разблокирования ГУ;

$R_{y\partial}$  – сила соударения плунжерного золотника с клапаном;

$S_0$  – предварительная деформация пружины;

$V_{h1}$  – скорость плунжерного золотника в момент его контакта с клапаном;

$V_{щ}$  – скорость жидкости в щели клапана;

$x_1; \dot{x}_1; \ddot{x}_1$  – текущие значения хода, скорости и ускорения плунжерного золотника;

$Z$  – жесткость пружины;

$\mu$  – коэффициент расхода жидкости;

$\zeta$  – коэффициент сопротивления клапана;

$\rho_{ст}, \rho$  – плотность стали и жидкости;

$P_{(t)}$  – показатель безотказности работы;

$K_{mi}$  – коэффициент технического использования;

$N_0$  – количество включений пусковых узлов при изменении состояний гидроударной машины (по количеству интервалов бурения с отбором керна);

$n$  – число отказов;

$T_p$  – время нахождения пускового узла в работоспособном состоянии за наблюдаемый интервал;

$T_{рем}$  – время нахождения пускового узла в ремонте;

$T_{то}$  – время нахождения объекта в техническом обслуживании.

## ВВЕДЕНИЕ

**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 экономических 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 боль-

шой 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, пе-

рекрывающего (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., Неудачиным 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.

**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 аналого-цифрового преобра-

зователя, 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 ГБС для многорейсового бурения скважин на шельфе; применения современных и апробированных методик аналитических исследований клапанных пусковых узлов; разработки и выполнения экспериментальных исследований натуральных 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 использования пусковых узлов с отрицательным линейным перекрытием плунжерным золотником пропускных окон штока  $\Delta h_1$  преимущественно ударной составляющей силы отрыва клапана от седла  $R_{yo}$  при существенным снижением гидравлической силы, тормозящей движение плунжерного золотник на пути его разгона, при этом значимость  $R_{yo}$  достигается при соотношении  $f_{\Delta h_1} = (0,9 - 1,1)f_{эф}$ , где  $f_{\Delta h_1}$  - площадь щели отрицательного перекрытия окон штока;  $f_{эф}$  - эффективная площадь пропускных окон штока.

**Практическое значение 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 общетехнического 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 мето-

дика 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, 11 статьях; зарегистрирован 1 патент на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из вступления, 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.

# 1. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И СРЕДСТВ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

## 1.1. Состояние проблемы и предпосылки расширения области бурения скважин глубиной до 50 м с неспециализированных морских судов

На начальной стадии освоения углеводородных месторождений, а также при разведке твердых полезных ископаемых или выполнении геолого-съемочных работ на шельфе существенное значение имеют буровые работы, связанные с необходимостью проведения изысканий в верхнем слое морских осадков на больших площадях морских акваторий. Глубина таких изысканий устанавливается нормативными требованиями и колеблется в диапазоне от 6 до 150 м [22]. Не зависимо от целевого назначения обоснование целесообразности применения видов технических средств для решения задач морского бурового производства в общем случае определяется комплексом показателей, вытекающих из основных пунктов геолого-



Рис. 1.1. Основные пункты геолого-методических и эксплуатационно-технических требований к бурению скважин на шельфе

методических и эксплуатационно-технических требований к бурению скважин на шельфе (рис.1.1). При этом, существенная роль отводится показателям рентабельности и многократного повышения производительности бурения инженерно-геологических скважин глубиной 15-50 м. В соответствии с нормативными требованиями доля таких скважин доминирует при

инженерной подготовке участков для строительства большей части морских нефтегазопромысловых сооружений (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Глубина инженерно-геологического бурения в зависимости от целевой направленности проходки скважин [22]

Группа	Тип сооружения	Глубина моря, м	Глубина инженерно-геологического бурения	
			Текущие, тугопластичные глинистые грунты, рыхлые пески	Твердые глинистые грунты, пески плотные
1	Платформы	$\geq 150$	По согласованию с проектной организацией	
2	со свайным основанием	60-150	90 -120 м	50-80 м
3		$\leq 60$	60-80 м	40-50 м
4	Стационарные гравитационные платформы	$\leq 50$	не менее 0,7 -1,0 ширины (диаметра) платформы	не менее 0,5 -0,7 ширины (диаметра) платформы
5	платформы		Две высоты отсыпки	1,5 высоты отсыпки
6	СПБУ	$\leq 50$	25-30 м	15-20 м
7	Эстакады	$\leq 60$	40-50 м	25-30 м

Проблема повышения технико-экономических показателей проходки скважин до 50 м выделена как весьма актуальная еще в середине 70-х годов XX века. В работах [3, 8, 20, 71-75, 91, 95, 96] дана оценка различных способов бурения на морских акваториях. На основании проведенных комплексных исследований выделено требование, которое, в общем случае, сводится к необходимости увеличения глубины скважин до 50 м с обеспечением возможности их бурения при глубинах моря до 75 м. При этом использование неспециализированных судов рассматривается как основной фактор экономичности проведения работ. Несмотря на значимость отмеченной задачи, практических предложений по ее осуществлению до настоящего времени нет.

Сегодня важность поставленной проблемы возросла, и в значительной мере определяется задачами, стоящими, прежде всего, перед специализирован-

ными предприятиями ГАО «Черноморнефтегаз» и ГГП «Причерноморгеология», для которых наметившаяся тенденция роста объемов бурения обусловлена перспективой выполнения государственных программ, направленных на изучение шельфа Черного и Азовского морей [36].

В соответствии с Государственной программой «Освоение углеводородных ресурсов Черного и Азовского морей» (1996 г.), ГАО «Черноморнефтегаз» предусмотрено продолжение геологоразведочных работ в южной части Азовского моря на газовых месторождениях, на северо-западном шельфе Черного моря в районах открытых и действующих газовых месторождениях и на перспективных участках шельфа Черного моря. Реализация намеченной программой проектов предполагает проведение широкомасштабных работ по бурению сотен скважин глубиной 15-50 м, относящихся к группе скважин средней глубины. Основная цель бурения скважин - инженерное изучение морского дна для получения прочностных характеристик грунтов, слагающих основание для построек специальных морских сооружений [16, 33, 35, 36].

Большие объемы бурения скважин (как правило, глубиной до 20-25 м) продолжают выполняться в процессе реализации программ разведки твердых нерудных месторождений полезных ископаемых (россыпи и строительные материалы), государственного геологического картирования и общих инженерно-геологических исследований. В зоне шельфа Черного моря эти работы обеспечиваются, в основном, силами ГГП «Причерноморгеология» и рядом добычных морских организаций Крыма.

Независимо от направленности изысканий сложность реализации намеченных программами работ обусловлена, в основном, недостаточным уровнем материальной базы, позволяющей рентабельно и продуктивно обеспечивать бурение скважин средней глубины, объемы которых доминируют при изысканиях в отечественных секторах шельфа Черного и Азовского морей. Бурение таких скважин, ограничена специализированным судном НИС «Диорит», которое укомплектовано стационарным буровым агрегатом ЗИФ-1200М. Техническая основа судна обеспечивает вращательное бурение скважин глубиной до 100-

150 м [60], что значительно превосходит эксплуатационную необходимость для выделенного участка морского бурового производства. Дополнительным ограничивающим фактором широкого использования НИС «Диорит» для бурения скважин средней глубины являются затраты времени на перебазирование судна на новую точку, которые в 8-10 раз превышает продолжительность чистого бурения скважины. При значении коэффициента оборачиваемости бурового судна во времени (не более 20%) и высокой арендной стоимости (более 9000 \$ в сутки), которая существенно выше затрат на выполнение процесса непосредственного бурения применение специализированных буровых судов для проходки средней глубины скважин становится экономически невыгодным [36, 67].

Эта проблема весьма остро стоит и в мировой практике морского бурового производства. Так, крупные компании России и Азербайджана, выполняющие основной объем инженерно-геологических и геотехнических изысканий в акваториях Каспийского моря, морей Дальнего Востока и стран Юго-Восточной Азии, вынуждены использовать для бурения скважин глубиной 20-30 м многоцелевые инженерно-геологические суда [8, 57, 79]. Без учета времени на постановку таких судов на якоря и на выполнение заключительных работ, бурение скважин с полным комплексом операций, связанных со спуском и наращиванием обсадной колонны, спуском и подъемом бурильных труб и др., выполняется в течение 32-38 часов, при продолжительности непосредственно бурения 4-5 часов. При предельных для эксплуатации специализированных судов метеорологических условиях (волнение моря до 1,5 бала и отливно-приливных течениях, при которых водоотделяющая колонна обсадных труб не «отжимается» от точки бурения) удельный вес чистого бурения в общем балансе времени проходки скважины снижается более чем в два раза [76, 88, 90, 91].

В отдельных организациях предпринимаются попытки получить паллиативные решения для выполнения небольших объемов изысканий, связанных с производственными планами бурения неглубоких разведочных скважин в конкретных условиях моря. Такие решения заключаются, главным образом, в создании собственными силами организаций оригинальных конструкций буровых

оснований (катамараны, тримараны и др.) с уменьшенными размерами. При этом для таких оснований предполагается набор оборудования, перечень которого аналогичен для специализированных буровых судов: силовое оборудование, буровая вышка, вращательный буровой станок (или ротор+лебедка), насос, бурильные, колонковые и обсадные трубы, емкости для приготовления и очистки промывочной жидкости. Однако, согласно данным [7, 8, 24, 69], несоответствие традиционных схем, технических средств и технологий бурения условиям морских работ с таких оснований снижает не только производительность, но и качество изысканий.

В целом, учитывая геологическую специфику морских осадочных накоплений, в том числе и в секторе акваторий морей Украины, задача получения нормативной геологической информации за счет применения вращательного способа, который является доминирующим при работе с буровых судов и буровых оснований существенно ограничивается или становится невозможной [57, 61].

Такая ситуация обосновано предполагает необходимость принципиального изменения в подходах к выбору технической базы и технологических схем рассматриваемой области морского бурового производства. По существу повышение показателей бурения обуславливает решение задачи с комплексным учетом, как экономических требований, так и реализации технической возможности бурения скважин глубиной до 50 м с обеспечением требований к качеству керна.

Значительно удешевить бурение скважин глубиной до 50 м можно за счет использования неспециализированных судов малого и среднего водоизмещения. Объективной предпосылкой расширения области использования неспециализированных плавсредств для бурения рассматриваемой группы скважин является факт наличия в составе флота морских геологических предприятий спасательных судов, морских буксиров и других плавсредств. Эксплуатационно-технические возможности таких судов в большей части могут оказаться приемлемыми для выполнения производственного цикла бурения мелких и

средней глубины скважин различного целевого назначения при сокращенном перечне бурового оборудования и инструмента (лебедка, буровой насос, штатная грузовая стрела). Несмотря на то, что применение плавсредств общетехнического назначения ограничивает характер эксплуатации бурового комплекса (только с борта суда), для отечественного морского бурового производства альтернативы использованию таких судов, в условиях низкой избирательности технической базы для бурения скважин глубиной до 50 м к настоящему, времени нет.

В общем случае, к основным мотивам, сдерживающим широкое применение неспециализированных судов для повышения технико-экономических показателей бурения морских скважин глубиной до 50 м, можно отнести следующие:

- отсутствие эффективной технической и технологической основы использования мобильных и более экономичных (по отношению к буровым судам) неспециализированных судов для бурения рассматриваемой группы скважин, особенно при выполнении больших объемов изысканий;

- недостаточная степень исследований и незавершенность технических решений, связанных с разработкой принципиально новых установок, реализующих способ, который бы соответствовал требованию ГМТ в плане получения необходимой геологической информации, и, по сути, являлся бы альтернативой вращательному способу бурения скважин.

Поэтому, при сегодняшней активизация работ по реализации, прежде всего, программ инженерно-геологических изысканий на углеводородных месторождениях в зоне отечественных морских акваторий Украины, отсутствие эффективных решений, направленных на повышение производительности и геолого-экономических показателей бурения скважин глубиной до 50 м обуславливает актуальность проведения целенаправленных работ по развитию технических средств и технологических схем бурения таких скважин с борта неспециализированных судов.

## 1.2. Состояние и анализ технической базы и технологических схем бурения скважин на морских акваториях

Геологическая специфика прибрежной зоны морей, характеризуется накоплениями осадков, которые преимущественно относятся к породам I-IV категорий по буримости. Причем значительная доля разрезов представлена мощными слоями ила, песков и глинистых пород. По данным [9, 13, 19, 58] получение представительного керна в таких породах, как в виде монолитов, так и образцов с нарушенной структурой ограничено использованием буровых снарядов, в которых погружение их керноприемной части в грунт, обеспечивается с помощью устройств и механизмов, реализующих ударные или ударно-вибрационные нагрузки на колонковый набор. Этим можно объяснить доминирующую направленность разработок, связанных с созданием ударно-вибрационных установок и погружных буровых снарядов. При этом основной объем исследований и опытно-конструкторских работ направлен на разработку установок, относящихся к легким техническим средствам, эксплуатирующихся с борта буровых судов или неспециализированных плавсредств [14, 58, 61, 89, 94, 103].

В общем случае забортная технологическая схема не является новой и применяется при однорейсовом бурении скважин с любого типа судов. Погружение керноприемной части однорейсовых установок в грунт, обеспечивается с помощью устройств и механизмов, реализующих, в основном, ударно-вибрационные нагрузки на колонковый набор. Созданием и выпуском такого типа ЛТС занимается большинство известных зарубежных фирм, компаний и организаций. Среди них выделяются разработки компаний “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). К началу 2000 г. на мировом рынке ЛТС наиболее конкурентоспособной и широко используемой является установка «Geosog» (Голландия), выполненная на базе электровибратора [5, 6, 9, 15, 52, 57, 59-61, 89, 93, 103].

Характерной особенностью таких ЛТС является преимущественное использование в них в качестве генератора динамических нагрузок электровибраторов и пневмоударников. При этом область применения даже наиболее мощных из известных виброударных пробоотборников, разработанных фирмами “Elpine Geophysical Associates” (США), “Woodward-Clyde Consultants” (Канада) и “Marine Mining Ltd” (Италия) ограничена глубиной (до 10 м) без возможности эффективной проходки «тяжелых» грунтов (плотных песков и глин, детритовых известняков, прослоев твердых пород и включений галечно-го материала) [36].

В последние годы в этой области морского бурового производства, произошли существенные изменения. Проведенные в ДонНТУ научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, показали возможность технической реализации заборной технологической схемы проходки скважин с помощью установок, в которых для генерации возмущающих нагрузок, обеспечивающих внедрение кернаприемного снаряда в осадки на глубину до 10 м, используются многофункциональные гидроударные машины двойного действия [40-42, 64-66, 67, 92].

В течение 2000-2010 г.г. в качестве основной технической базы бурения мелких скважин, морские геологоразведочные организации Украины и некоторых зарубежных стран используют установки УГВП-130/8, УГВП-150, ПУВБ-130, ПУВБ-150, укомплектованные гидроударными погружными буровыми снарядами (ПБС) с двойным колонковым набором. Главным преимуществом перечисленных установок является широкий диапазон и оперативная управляемость технологическими режимами процесса бурения, с получением 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 детрито-

вых известняков и плотных глинистых пород с включениями гальки и прослоев твердых песчаников и известняка. Полученная производительность и качество опробования скважин с использованием многофункциональных гидродарных буровых снарядов, значительно выше аналогичных показателей, достигнутых известными установками с электро- и пневмоприводом [23, 27, 36, 46].

В целом состояние технологии и техники однорейсового пробоотбора с борта неспециализированных судов характеризуются наибольшей степенью подготовленности к выполнению основных пунктов геолого-методических и эксплуатационно-технических требований к бурению при решении задач изысканий, для которых отмеченная глубинность получения геологической информации является достаточной.

Для комплексного выполнения изысканий на каждом выделенном месторождении или участке изысканий, независимо от их цели (инженерно-геологические, разведочные и т.п.), предполагается проходка нескольких скважин глубиной 20 м и более. В этом отношении геолого-методические и эксплуатационно-технические требования к бурению скважин на шельфе существующими ЛТС не решаются.

К настоящему времени ни одна из известных систем для бурения подводных скважин с забортной схемой эксплуатации установок, как в отечественной, так и зарубежной практике, без принципиального изменения технологической схемы и способов бурения не может быть приспособлена для проходки скважин глубиной до 50 м. Этим можно объяснить также отсутствие в нормативных документах и пособий к ВСН позиций по использованию установок с забортной технологией бурения скважин глубиной более 10 м [22, 43].

Расширение области применения забортной технологии с техническим обеспечением условий проходки скважин глубиной до 50 м с борта неспециализированных судов, обуславливает необходимость решения целого ряда новых задач. При этом такие задачи, как выбор средств и технологии спуска на

дно, стабилизация в вертикальном положении и подъем бурового снаряда на палубу могут быть отнесены к задачам инженерного характера.

К нерешенным, имеющим принципиальный характер относятся задачи, связанные с техническим и технологическим обеспечением процесса непосредственного бурения, с качественным отбором керна по всей глубине скважины. Сложность разработки такой задачи определяется не только ее новизной, но и характером эксплуатационных, параметрических и габаритных ограничений к применяемому оборудованию и выполнению производственных операций в морских условиях. Как правило, неспециализированные суда отличаются ограниченными конструктивными и силовыми параметрами штатной грузовой стрелы, максимальная высота подъема которой над уровнем планширя фальшборта не превышает 8-9 м. Это является фактором выбора соизмеримой длины керноприемной части и всей длины бурового снаряда. Поэтому, объективно цикл проходки скважины средней глубины может быть только многорейсовым.

К специфическим условиям производства можно отнести и тот факт, что с увеличением глубины изысканий количество слоев и диапазон изменения физико-механических свойств пород значительно расширяется. Поскольку забортная технология не предусматривает использование обсадных колонн, а по глубине скважина пересекает слабосвязанные, обводненные и глинистые породы, ее ствол в процессе углубки забоя в абсолютном виде не формируется. Это дополнительно усложняет задачу и требует обоснованности в выборе типа бурового снаряда и способа разрушения пород с отбором керна по всему стволу скважины.

По оценкам ряда ученых, осуществимым направлением реализации задачи является создание технологической системы с комбинированным разрушением осадков при бесколонном поинтервальном бурении скважин с борта судна любого целевого назначения. Перспективы такой технологической схемы бурения отмечены в работах [52, 76, 77], где в качестве наиболее приемлемой выделена технологическая схема в виде комбинации гидромониторного разру-

шение интервала скважины с последующим механическим разрушением пород в период отбора керна.

Одной из первых установок, в которой реализован способ, является установка, спроектированная французским инженером Лиото (патент Франции № 1408763 кл. E21b). Крутящий момент на ведущей трубе формируется вращателем, приводимым в действие гидромоторами. В нижней части керноприемной трубы размещена гидромониторная насадка для бурения рыхлых пород. После стабилизации пробоотборника на дне приводится в действие насос, от которого вода поступает к гидромониторной насадке. За счет собственного веса пробоотборник погружается в размытый рыхлый грунт. После достижения твердых пород движение прекращается и в работу включается гидромотор, обеспечивающий вращение трубы с буровой коронкой.

К началу 80-х годов, рассматриваемый способ получил развитие в разработках МГРИ (в н.в. МГА), где предложены установки с приводной системой, выполненной в виде системы вращающихся в противоположные стороны дебалансов, и приводного двигателя, корпус которого прикреплен к колонковому снаряду. Для условий, когда необходимо получить пробы коренных пород, перекрытых чехлом четвертичных отложений, рыхлые осадки разбуриваются шнеком или струей жидкости, а отбор керна выполняется в процессе погружения колонкового набора за счет создаваемых крутильно-продольных нагрузок [59, 62].

С точки зрения геологической информативности, применение такого типа установок, позволило увеличить диапазон изысканий, расширив его породами малой и средней твердости по буримости с глубиной опробования до 5-7 м. Первые результаты применения комбинированного способа показали, как принципиальную возможность поинтервального бурения скважин по всему комплексу рыхлых и плотных глинистых пород, так и подтвердили перспективу рассматривать способ, как инструмент реализации схемы поинтервальной проходки скважин с последовательным разрушением песчано-глинистых осадков за счет размыва и механического бурения с отбором керна на заданной глубине

скважины.

В определенной степени при бурении скважин глубиной до 50 м и более, технологическая схема поинтервального отбора керна получила развитие в разработках, предложенных Г.И. Неудачиным [21]. Ученым создан скважинный гидроударный телескопический пробоотборник ТПП-132 для бурения скважин с буровых судов, использующих забойные компоновки фирм «*Fugro*» и «*Cristensen*», с поинтервальным отбором керна и углубления скважин диаметром 132 и 112 мм, ствол которых закреплен колонной труб диаметром 168 мм.

При пробоотборе в обсадных трубах снаряд ПГС-132 спускается на забой скважины с помощью бурильной колонны, которая также является напорной линией для подачи промывочной жидкости в пробоотборник от бурового насоса. В режиме работающего гидроударника производится погружение ПГС с формированием керна в колонковой трубе. По окончании рейса в штатном режиме буровой инструмент вместе с ПГС поднимается на палубу для извлечения керна. Перед последующим рейсом бурения обсадная колонна опускается на глубину ранее пройденного интервала (рис. 1.3).

В составе ПГС-132 использованы гидроударные буровые снаряды установок ПУВБ-150 при работе с одинарными колонковыми наборами, или УГВП-150М при работе с двойными колонковыми наборами.

Снаряд (рис. 1.2) состоит из гидроударника 9, в верхней части которого размещен шток 5 с нагнетательным каналом «б». Шток при помощи упорных подшипников 3 опирается на поршень 4, установленный в корпусе 12, и уплотнен относительно поршня 4 сальником 19. Над поршневая полость «а» связана с полостью бурильной колонны 1. В распределительной коробке 8 гидроударника 9 выполнены нагнетательный «в» и выхлопной «г» каналы, причем выхлопной канал оборудован пусковым клапаном 7, опирающимся на пружину 6.

К нижней наковальне 10 гидроударника присоединена керноприемная труба 11 с башмаком 13 и кернорвателем 14. Башмак соединен с ниппелем 16 срезными шплинтами 15. Ниппель 16 обеспечивает соединение корпуса 12 с наружной колонковой трубой 20. На внутренней поверхности ниппеля жестко

установлен породоразрушающий наконечник 17, нижняя часть которого имеет корончатую форму. Колонковый набор вооружен резцовой твердосплавной коронкой 18.

Пробоотборник спускается в скважину на бурильных трубах 1, соединенных с верхним переходником 2 (рис. 1.2, а). Перед постановкой на забой скважины бурильным трубам сообщается вращение, и включается буровой насос. При этом рабочая жидкость попадает в полость «а», и далее, через нагнетательный канал «б» поступает в выхлопной канал «г», обтекая пусковой клапан 7, который открыт вследствие того, что пружина 6 компенсирует усилие скоростного напора жидкости на поверхность пускового клапана 7. Проходя по кольцевому зазору между стенками корпуса 12 и наружной поверхностью керноприемной трубы 11, жидкость проходит на забой, размывает его и выносит на поверхность шлам, образующийся при разрушении коронкой 18 грунтовой пробки в обсадных трубах или слоя осадков, расположенного выше кровли интервала опробования. В случае если в разрезе встречаются пропластки плотных грунтов, например, глин, их разрушение дополнительно осуществляется породоразрушающим наконечником 17.

Таким образом, достигается возможность проходки слоев грунта, расположенных выше кровли интервала опробования, или очистка от шлама обсадных труб без заполнения трубы 11 керном.

После того, как коронка 18 достигнет кровли интервала опробования, спуск пробоотборника прекращается. Продолжая вращать бурильную колонну, повышают расход жидкости в гидросистеме. В результате скоростной напор жидкости на пусковой клапан 7 возрастает. Это приводит к перемещению клапана 7 вниз, который, преодолевая усилие пружины 6, закрывает канал «г». Жидкость по нагнетательному каналу «в» (рис. 1.2, б) поступает в гидроударный механизм, вызывая его запуск и генерирование ударных нагрузок, передающихся керноприемнику. При этом шплинты 15 срезаются, буровой снаряд перемещается вниз до упора башмака 13 в грунт, одновременно разжимая лепестки наконечника 17.

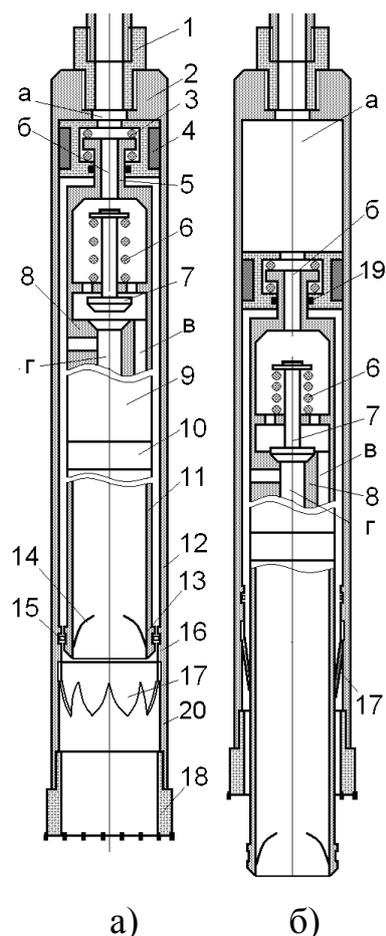


Рис. 1.2. Схема про-  
боотборника ПГС-132

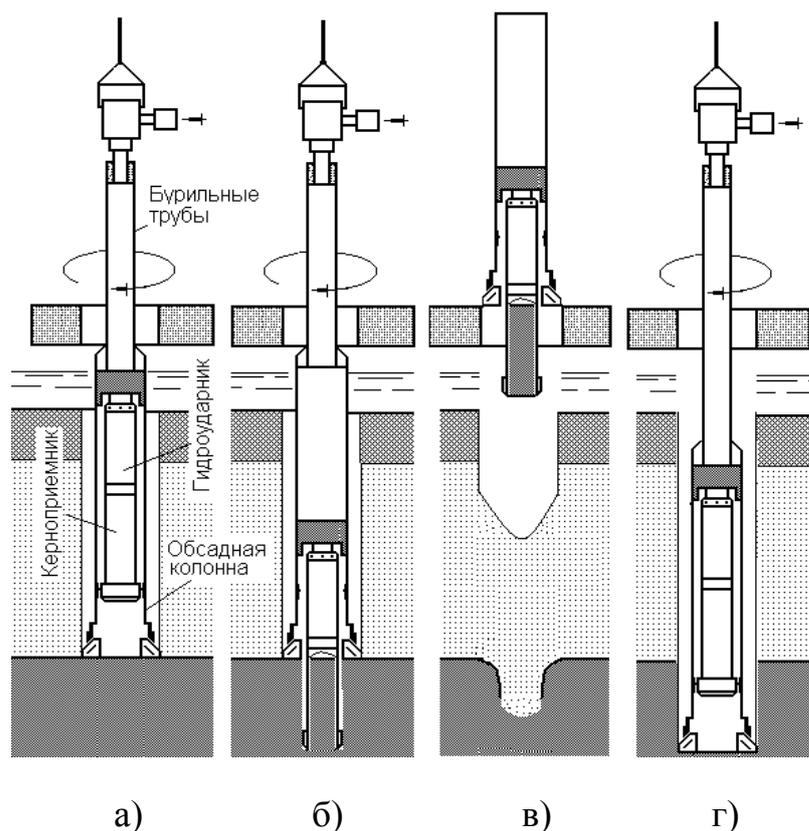


Рис. 1.3. Схема работы ПГС-132: а, г –  
спуск ПГС на забой скважины с вращением бу-  
рильной колонны; б – погружение керноприемной  
трубы в грунт без вращения; в – подъем ПГС

Корпус 12 продолжает вращаться без осевого перемещения, а керноприемная труба под действием ударных нагрузок внедряется в грунт без вращения вследствие трения о стенки скважины. Отработанная в гидроударнике жидкость через выхлопной канал «г» поступает в кольцевой зазор между корпусом 12 и гидроударным снарядом, обеспечивая постоянную промывку скважины, как особенно важно при работе в зоне ниже обсадной колонны.

Итоговым результатом испытания ПГС-132, является подтвержденная работоспособность и достаточная продуктивность комбинированной технологической схемы бурения, основанная на возможности чередования гидроудар-

ного способа погружения колонкового набора с отбором керна и размыва пород на пройденном интервале скважины.

Использование гидроударного бурового снаряда в качестве пробоотборника позволило обеспечить высокое качество геологического материала по всему вертикальному разрезу, сложенному породами с широким спектром свойств - от илов до плотных глинистых пород и песков [36, 42]. Вместе с тем, при полученном уровне эксплуатационно-технических возможностей, применение ПГС не решают в комплексе задачу достижения экономичности морского бурового производства. Общим для рассмотренного устройства является его скважинное исполнение. ПГС приспособлен для эксплуатации с дорогостоящих специализированных судов со спуском внутрь колонны бурильных труб или на колонне бурильных труб с поинтервальной проходкой скважины при наличии водоотделяющей (обсадной) или бурильной колонны. В то же время, анализ данных эксплуатации ПГС позволил накопить обширный материал, для дальнейшего развития способа поинтервального бурения скважин. Используемый в составе ПГС гидроударный механизм явился по существу первой разработкой, в которой реализованы технические условия применения таких машин с обеспечением комбинированного способа разрушения пород на интервале скважины. Примененная в ПГС идея изменения режима работы гидроударного снаряда с помощью управляемого пускового узла явилась технической основой и предпосылкой дальнейшего развития ЛТС с повышенными показателями глубины изысканий.

Результаты исследований, проведенных в Донецком национальном техническом университете, впервые позволили реализовать технологическую схему, предполагающую многорейсовое бесколонное бурение скважин глубиной до 25 м с помощью установок с гидроударным приводом, с возможностью их эксплуатации с борта неспециализированных судов, в том числе малого и среднего водоизмещения.

К 2000 г., в период активизации работ по реализации программ инженерно-геологических изысканий в зоне морских акваторий Украины была соз-

дана универсальная легкая автономная установка УМБ-130 (впоследствии модернизированная при участии автора с получением индекса УМБ-2М) (рис. 1.4) [30, 39, 66]. Установки эксплуатируются с борта как буровых, так и не специализированных судов и работают по технологической схеме, предусматривающей возможность поинтервальной проходки скважин с использованием в течение рейса двух способов разрушения пород на забое:

- с отбором керна за счет частотно-ударного погружения бурового снаряда в осадки на заданную глубину;

- без отбора керна за счет размыва пород на ранее пройденном без крепления интервале ствола скважины.

Состав УМБ 2М (рис. 1.4) по комплектности не отличается от принятой для установок типа ПУВБ и УГВП [41, 42, 47, 48, 67, 77]: погружной гидроударный буровой снаряд 4; стабилизирующая опора, включающая подвижную каретку 5, направляющие стойки 8, донную коробку 6 с опорными лапами 7. Для спуска и подъема установки предусмотрен грузовой переходник 3 с элементами крепления шланга 2 и троса 1. Каретка дополнена поворотной проходной воронкой, которая в процессе углубки не препятствует свободному проходу через нее бурового снаряда. Одновременно каретка является несущим узлом стабилизирующей опоры, взаимодействуя с ограничителями 9 на теле бурового снаряда при подъеме или спуске установки на дно. Привод гидроударного механизма обеспечивается буровым насосом, размещаемым на палубе. В качестве грузоподъемного оборудования используется буровая лебедка, работающая в комплексе со штатной грузовой стрелой.

Принципиальными решениями явились изменения в конструкции многофункционального гидроударного механизма, который дооснащен пусковыми узлами для дистанционного выбора способа разрушения породы на интервале скважины.

Верхний пусковой узел (ВПУ) размещается в цилиндре переходника над гидроударником, нижний (НПУ) – установлен в камере нижней наковальни гидроударника над колонковым набором.

При работе с установкой УМБ-2М предполагает выполнение нескольких технологических фаз в рабочем цикле бурения скважины, которые обеспечиваются при определенном положении ВПУ и НПУ.

После выноса за борт, спуска и стабилизации бурового снаряда на дне, включается буровой насос. В режиме «бурение с отбором керна» к гидроударнику подводится расход жидкости  $Q$ , соответствующий условию запуска и эффективной работы механизма (рис. 1.4, б).

При этом по каналу «а», выполненному в ВПУ жидкость поступает в рабочие камеры гидроударной машины. Одновременно, канал «д» НПУ направляет отработанную в гидроударнике жидкость в межтрубный зазор колонкового набора. Сливные окна «с» как ВПУ, так и НПУ перекрыты. При этом нижний пусковой узел блокирует проход жидкости во внутреннюю трубу (керноприемник) колонкового набора. После погружения колонкового набора в грунт на заданную длину рейса ( $L_1$ ) производится подъем ПБС на палубу для извлечения керна.

Отбор керна на следующем интервале ( $L_2$ ), выполняется с отметки забоя  $L_1$ . Ранее пробуренный участок проходится при работе снаряда в режиме гидроразмыва породы. На этой фазе подача насоса увеличивается. Работа гидроударного механизма блокируется ВПУ, распределительный элемент которого занимает положение, при котором канал «б» совмещается с отверстием «с» и весь поток жидкости направляется к НПУ. Увеличенный расход жидкости обеспечивает изменение положения каналов НПУ, открывая каналы «б» для прохода жидкости через окно «с» в керноприемную трубу. Затем жидкость через кернорватель-насадку в башмаке колонкового набора поступает на забой скважины. При выходе жидкости из башмака, обеспечивается гидроразрыв породы до глубины  $L_1$ , соответствующей началу пробоотбора на интервале  $L_2$ .

Для перехода из режима «гидроразрыв» на режим «бурение с отбором керна» снижается подача насоса. Распределительные каналы ВПУ и НПУ возвращаются в исходное положение (рис. 1.4, б). Жидкость получает доступ в ра-

бочие камеры гидроударника, обеспечивая его запуск и работу. Одновременно перекрываются окна «с» НПУ. При этом полость керноприемной трубы изолируется от потока отработанной в гидроударнике жидкости, исключая размыв керна при его формировании в колонковом наборе.

Заданный режим разрушения пород на интервале скважины обеспечивается дистанционным переключением специальных узлов гидроударного механизма. В качестве рабочего агента для привода гидроударного механизма используется морская вода. Подача воды производится буровым насосом, установленным на палубе судна. Установка одинаково успешно работает как при однорейсовой проходке скважин глубиной до 6 м, так при многорейсовом бесколонном бурении скважин глубиной до 25 м.

Исключение из перечня традиционного бурового агрегата такого энергоемкого и габаритного оборудования как буровая вышка, буровой станок, емкости для хранения и очистки бурового раствора, бурильные и обсадные трубы и др., позволяет эксплуатировать установки УМБ-130 и УМБ-2М с борта неспециализированных судов. Преимущество предложенной схемы состоит также и в том, что она может быть включена в технологическую схему бурения мелких скважин с неспециализированного судна даже при наличии штатных грузовых стрел, высота подъема которых не обеспечивает вынос длинных ПБС за борт.

Выделенные обстоятельства при полном отсутствии в арсенале ГАО «Черноморнефтегаз» необходимой технической базы для эффективной и рентабельной проходки мелких и средней глубины инженерно-геологических скважин, при наличии в составе собственного флота большого количества неспециализированных судов, явилось объективным фактором ускоренного внедрения УМБ-130 и УМБ-2М в производство.

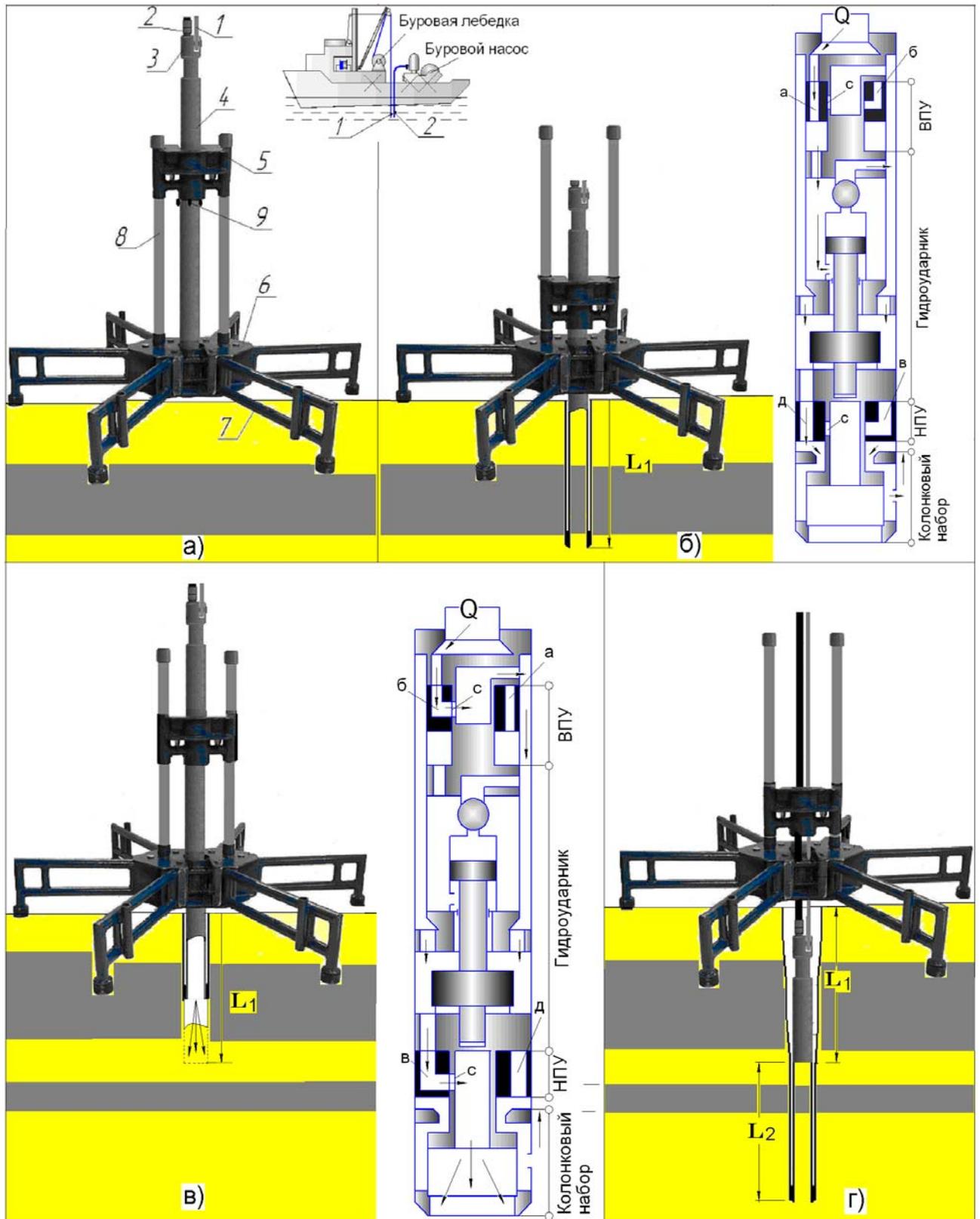


Рис. 1.4. Принципиальная технологическая схема многорейсового бурения скважин с поинтервальным отбором керна установкой УМБ-2М: а – состав установки; б, г – фаза бурения интервала скважины с отбором керна; в – фаза гидромониторного разрушения осадков

Разработанная технологическая схема впервые апробирована в 2001 г. при проведении инженерно-геологических изысканий на площадке постановки МСП и трассе трубопровода на Восточно-Казантипском месторождении природного газа в Азовском море. Несмотря на то, что в каждом рейсе необходимо было достигать заданную глубину отбора керна (путем размыва пород с нулевой отметки), полученная при испытаниях установки коммерческая скорость проходки скважин глубиной 12 до 21 м, при средних затратах времени от 1,6 до 4,5 часа, значительно превысила аналогичные показатели бурения скважин с помощью специализированных буровых судов [34, 36].

Предложенная технологическая схема явилась качественным скачком в развитии рассматриваемой области морского бурового производства с наиболее предпочтительным обеспечением требований по экономичности бурения скважин средней глубины с борта неспециализированных судов.

Резервы УМБ-130 в значительной мере реализованы в установке УМБ-130М, обеспечивающей глубину бурения до 50 м по принятой технологической схеме с одноствольным характером проходки скважин [25, 26, 29, 34-38]. Основными узлами установки являются гидроударный буровой снаряд (типовой для УМБ-130), придонное основание для стабилизации бурового снаряда, система канатов, связывающих плавсредство и опору через Г-образные стойки, жестко прикрепленные к фальшборту. Детальный перечень и размещение элементов УМБ-130М приведены на рис. 1.5.

Технологическая схема проходки ствола скважин с помощью УМБ-130М не отличается от рассмотренного процесса при работе с установкой УМБ-2М. В то же время имеет место принципиальное отличие в системе стабилизации бурового снаряда и характере технологических приемов бурения скважины. Циклу проходки скважин предшествуют подготовительные работы, связанные с монтажом палубного оборудования и подготовкой установки к работе и имеющие одноразовый характер на весь период выполнения изысканий на обрабатываемом участке.

Непосредственно процесс бурения скважины начинается со спуска на дно, основания 17, дополненного направляющей воронкой 19. Спуск производится с помощью грузовой лебедки 2, канат которой в комплекте с роликами палубных опор 9, 10, 11 и роликами 18 на донном основании образуют талевую

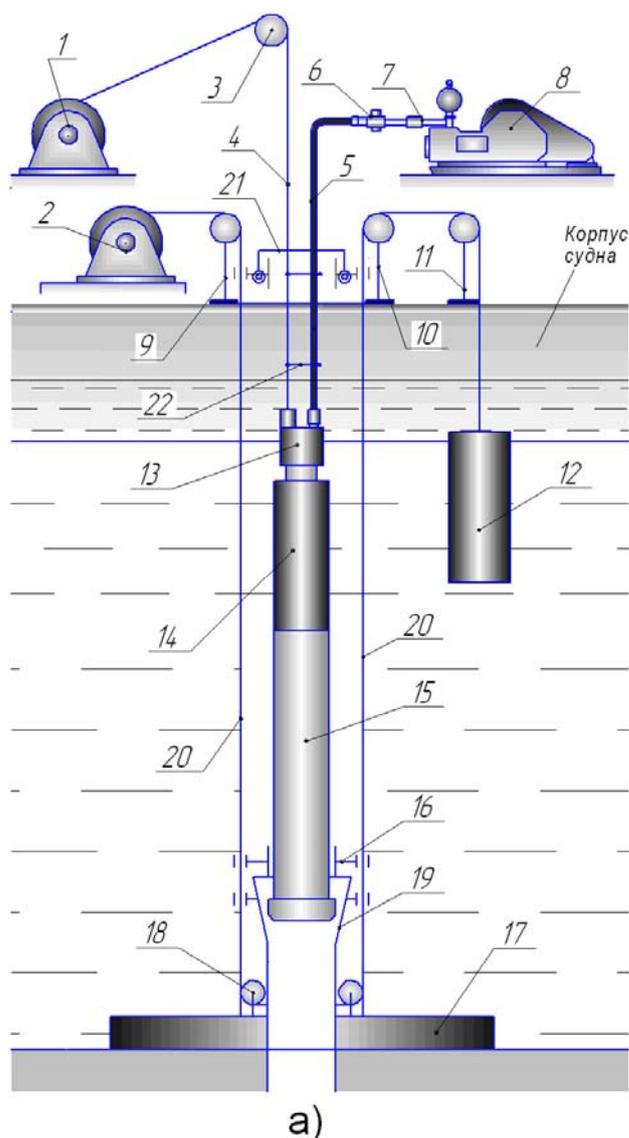


Рис. 1.5. Схема УМБ-130М

систему с подвижными ветвями 20, постоянное натяжение которых обеспечивается контргрузом 12. При помощи буровой лебедки 1, ПБС, включающий гидроударный механизм 14 и колонковый набор 15 на грузовом переходнике 13, с закрепленными на нем нагнетательным шлангом 5 и тросом 4, поднимается в вертикальное положение, и штатной грузовой стрелой выносится за борт судна. В дальнейшем буровой снаряд фиксируется в хомуте 16, который в начале спуска закрепляется на выдвигаемых рычагах кронштейна 21. При перемещении выдвигаемых рычагов (втягивании в сторону палубы) происходит освобождение хомута 16, который, перемещаясь по корпусу ПБС, опускается до упора в башмак или ограничитель колонкового набора. С помощью буровой лебедки 1 ПБС вместе с хомутом 16 свободно опускается по натянутым ветвям каната 20 с центрацией относительно оси скважины. Дополнительное направление буровому снаряду для попадания в ствол скважины обеспечивает входная воронка 19.

В процессе спуска и перемещения ПБС выполняется закрепление троса и шланга капроновыми скобами 22.

При контакте с воронкой хомут 16 останавливается, а снаряд продолжает перемещение вниз до встречи с дном. Включается буровой насос 8, и в зависимости от выбранного способа бурения, регулировочным вентилем 7 устанавливается необходимая подача жидкости в нагнетательный трубопровод. Непосредственно за регулировочным вентилем размещается питатель 6 для сбрасывания пробки-шарика в нагнетательную линию для принудительного изменения положения ВПУ при переходе ПБС в режим отбора керна.

В нештатной ситуации, при значительном смещении плавсредства от точки бурения и невозможности попадания снаряда через воронку в ствол скважины, стабилизирующая опора с помощью грузовой лебедки смещается на новую, рядом расположенную точку. В этом случае производится размыв осадков с нулевой отметки до интервала опробования.

Впервые, разработанная установка УМБ-130М применена ГАО «Черноморнефтегаз» при работе с морского буксира «Центавр» в период проведения инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства трассы трубопровода на Северо-Булганакском газовом месторождении в Азовском море (2003 г.), где было пройдено 66 скважин, в том числе одна скважин глубиной 35 м, 24 - глубиной 24-28 м, 21 - глубиной 19-20 м, 3 - глубиной 12 м, 17 - глубиной 6м [28-38, 47, 48]. Глубина моря изменялась от 7 м до 12,1 м. В геологическом отношении результативность бурения подтверждена количеством и качеством отобранных образцов породы - 220 монолитов (по глинистым породам) и 135 образцов нарушенной структуры (по пескам), с четким литологическим расчленением пород по разрезу скважин.

Средние затраты времени проходки первого интервала скважины на глубину 6 м при глубине моря 10-12 м не превышали 30 минут. Средняя механическая скорость бурения по плотным илам составила 2,6-2,8 м/мин, по пескам 0,9-1,6 м/мин, по твердым и плотным глинам 0,4 -0,9 м/мин.

Полученные эксплуатационные данные предложенной и реализованной

технологии с забортной схемой бурения скважин средней глубины имеют принципиальный характер.

Тем не менее, несмотря на достигнутую результативность установки УМБ-130М ее потенциальные возможности не реализованы. Выявленные в процессе эксплуатации установки недостатки обусловлены нерешенными взаимосвязанными задачами технологического плана, а также инженерного и научного характера.

К технологическим можно отнести ряд задач, связанных с выполнением приемов работы непосредственно на фазе разрушения пород, прежде всего при размыве прослоев и интервалов плотных песков и глинистых пород. Так, при статическом положении ПБС на забое время размыва 1 м плотных пород составляло более 1 часа. Увеличить скорость размыва удавалось только после перехода на «ключущий» способ бурения, сущность которого заключалась в периодических поднятиях и сбрасываниях ПБС на забой с высоты 0,5-1 м с последующим вымыванием сформированного столбика керна из колонковой трубы. Причем, при проходке плотных глинистых пород продуктивность «ключущего» способа резко снижалась из-за формирования на забое опорного потока жидкости, приводящего к снижению скорости падающего ПБС на забой скважины. Кроме того, «ключущий» способ проходки интервалов скважины наряду с не технологичностью выполнения работ при запредельных нагрузках на грузоподъемную систему, нередко являлся причиной осложнений и аварийных ситуаций в скважине. Подъем и сбрасывание ПБС неизбежно приводило к обрыву скоб, закрепляющих к тросу нагнетательный шланг. Это в конечном итоге не только повышало трудоемкость извлечения шланга на палубу, но и в ряде случаев, приводило к аварийному подъему донного основания на шланговом жгуте, образующемуся ниже устья скважины.

К технологическим недостаткам можно также отнести ухудшающиеся условия очистки ствола скважины над буровым снарядом на фазе пробоотбора. В процессе бурения с отбором керна в скважину направлялся поток жидкости, соответствующий номинальному расходу для работы гидроударного механиз-

ма, количественно значительно меньше необходимой для эффективного размыва и очистки ствола скважины. В этой ситуации над ПБС ствол скважины практически не формируется и насыщается разжиженным песком, который при кратковременном отключении насоса в период срыва керна быстро оседает. Поэтому процесс подъема ПБС, особенно при прохождении мощных участков песка, после окончания рейса с отбором керна осложняется повышенными усилиями извлечения, и сложными прихватами бурового снаряда [34, 44, 69].

Существенные потери времени обуславливались и несовершенством конструкции гидродвигателя гидроударного механизма. Незащищенность гидродвигателя ПБС от попадания в него абразивных частиц шлама в период спуска в скважину и на фазе гидроразмыва пород в ряде случаев приводила к отказам запуска гидроударника, и, как следствие, к не санкционированному подъему ПБС из скважины. Кроме того, соотношение параметров гидродвигателя обеспечивало достаточные частотно-силовые характеристики при расходах жидкости от 300 до 340 л/мин и давлении в системе 3,5-4 МПа, что нередко, при энергетической зависимости от ограниченного судового энергоисточника, являлось не только предельно допустимым, но и невозможным.

Перечисленные выше технологические недостатки в общем случае устраняются принятием инженерных решений. Принципиальный характер имеют задачи, обусловленные необходимостью совершенствования кинематики и принятия выгодных конструкций системы «ВПУ-гидроударный механизм-НПУ». При этом гидроударный механизм, как наиболее изученный и отработанный в плане выбора схемы, кинематики и конструкции узел системы можно рассматривать как базу, для разработки структуры погружного бурового снаряда. Наименее изученными и неподготовленными к эксплуатации являются пусковые узлы бурового снаряда, которые функционально являются образующими элементами для обеспечения самой схемы многорейсового бурения скважин.

В работе [31], отмечена низкая надежность управления пусковыми узлами, обусловленная, прежде всего, несовершенством их конструкции и отсутст-

вием обоснованных рекомендаций по выбору диапазона границ расхода жидкости, необходимого для оперативного управления процессом срабатывания узлов на фазах блокирования или разблокирования гидроударника. Как следствие, не исключались случаи неконтролируемого срабатывания, прежде всего, нижнего пускового узла на фазе отбора керна, особенно на участках проходки твердых грунтов, при повышении частотно-энергетических параметров гидроударника увеличением подачи насоса. Это приводило к открытию доступа жидкости в керноприемную трубу, что в свою очередь нарушало структуру керна, или полностью вымывало его из керноприемной трубы. Как следствие, инженерно-геологическая задача скважиной не решалась.

Поэтому задача расширения показателей назначения установок предполагает разработку новых технических предложений, направленных на более полную реализацию возможностей гидроударных буровых снарядов и обуславливают принципиальность научных и инженерных задач, связанных, прежде всего, с обеспечением повышенной надежности пусковых узлов, как элемента, определяющего саму возможность многорейсового бурения скважин.

Наиболее актуальной становится задача, связанная с созданием ВПУ и НПУ, исключающих необходимость применения «ключющего» способа проходки интервалов скважины, и структурно являющимися элементами бурового снаряда. В этом отношении перспективным можно считать направление, связанное с разработкой пусковых узлов с автоматическим режимом взвода при многократном дистанционном способе включения их в нужный режим работы. Срабатывание пусковых узлов на фазе отбора керна должно происходить на увеличенных расходах жидкости, при одновременном снижении нагрузки на гидродвигатель гидроударной машины без снижения подачи жидкости в скважину.

### 1.3. Обоснование схемы пусковых узлов гидроударных буровых снарядов для многорейсового бурения скважин.

При выборе схем пусковых узлов использован опыт создания и исследований, прежде всего, аппаратуры защиты и предохранения гидросистем: предохранительные и переливные клапаны, которые отличаются универсальностью применения и входят в состав каждой гидросистемы [10-12, 51, 105]. Вместе с насосом такие клапаны составляют контур питания и регулирования давления в системе, что является принципиальной особенностью и пусковых узлов гидроударных буровых снарядов. В соответствии с заложенным назначением, пусковые узлы в составе ГБС также являются контуром питания гидроударной машины и одновременно выполняют функции переключателя с перекрытием рабочих камер гидроударника и открытием каналов для свободного прохода жидкости на забой скважины в режиме гидромониторного разрушения осадков.

В буровом производстве используется большое количество различных глубинных клапанов, предназначенных для установления или прекращения взаимосвязи канала перемещения флюида в подъемных трубах с различными межтрубными пространствами. По принципу действия практически все клапаны (пусковые, рабочие, концевые) являются дифференциальными [101, 102, 104].

В результате анализа характера эксплуатации перечисленных клапанов, универсальности их применения и доступности получения настроечных параметров срабатывания, в качестве базовой для ГБС принята пружинная схема пусковых клапанов. При выборе схемы пусковых узлов с подпружиненным запорным устройством (клапаном) учитывались положительные качества, как однокаскадных клапанов прямого действия с пружинной настройкой регулятора давления, так и двухкаскадных клапанов непрямого действия, работающих в режиме, прежде всего, переливных клапанов [4, 23, 51, 56, 81, 100]. Принципи-

альные схемы отмеченных клапанов функционально могут решать задачи пусковых узлов ГБС в цикле комбинированного разрушения осадков на отдельном интервале скважины. За счет изменения направления контролируемого потока жидкости в гидросистеме двухкаскадного пружинного клапана его функции становятся идентичными пусковым узлам ГБС.

Надежность любого вида переключателей обеспечивается правильным выбором их конструктивных параметров и характеристик. При этом создание таких устройств сопровождается выбором и уточнением методов их расчета, на основе более полного учета их статических, динамических и эксплуатационных характеристик в условиях возможных изменений физических параметров системы, формы и настройки конструктивных элементов запорных устройств, влияющих на режим их срабатывания.

Согласно [80-82, 84], во многих случаях, учитывая нелинейные изменения гидравлических сопротивлений внутри запорно-распределительных систем и сложные влияния изменения проходных сечений, получить достоверные результаты режима срабатывания ЗРС сложно.

Учитывая аналогию и особенности работы элементов ЗРС пусковых узлов гидроударных буровых снарядов и исследованных моделей запорных и регулирующих устройств различного целевого назначения, обоснованным является применение инженерного метода определения конструктивных и управляющих характеристик пусковых узлов ГБС, основные положения которого с различной степенью детальности рассмотрены в большом количестве опубликованных работ. На этапе проектирования учеными рассматривается целесообразность применения методов упрощенной оценки конструкции, характера состояний и необходимых управляющих параметров запорно-распределительных систем с отдельным описанием предусмотренных состояний ЗРС с различными связями ее элементов [10-12, 17, 49, 53-56, 63, 80-85].

В работах [55, 80, 87] изучены вопросы аналитического метода расчета клапанных и золотниковых распределителей, основанные на решении

дифференциального уравнения их срабатывания, описывающего закон изменения величины открытия щели в зависимости от физических и конструктивных параметров системы и самого клапана. При этом повышенная достоверность расчетов подтверждена экспериментальными данными [105].

В ряде работ В.Г. Ясова рассмотрены вопросы, касающиеся изучения закрытия-открытия перепускного клапана поршневых двигателей гидроударных машин. Автором детально исследован процесс движения клапана опирающегося на пружину, при переменном сечении пропускного канала. Основные положения и выводы ученым обобщены в работе [99]. Несмотря на прикладной характер исследований, учитывая аналогию работы перепускного клапана ГУ с характером движения системы «клапан – плунжерный золотник», разрабатываемых ПУ, появляется обоснованная возможность их использования для описания изменяющейся силы перемещения ЗРС и составления математической модели движения ЗРС, прежде всего, для периода, соответствующего возврату ЗРС в исходное положение.

В общем случае особенностью проектирования пусковых узлов является учет взаимосвязи схемы и их конструктивного исполнения с управляющими характеристиками, обеспечивающими предусмотренные состояния ЗРС.

До настоящего времени исследования и основные работы в области конструирования, а также повышения надежности срабатывания запорных устройств пусковых узлов гидроударных буровых снарядов направлены на создание новых более работоспособных схем и конструкций пусковых узлов. При этом обобщающим критерием разработки, является характер фиксированного положения ЗРС верхнего и нижнего пусковых узлов в зависимости расхода жидкости, направляющейся в гидросистему ( $Q$ ). С одной стороны, ВПУ обеспечивает поступление номинального количества воды  $Q$  только в гидроударник. В этом случае НПУ прерывает поступление воды в керноприемную трубу и одновременно пропускает отработанную в гидроударнике жидкость в затрубное пространство (работа ГУ на фазе отбора керна). С другой стороны (работа ГУ на фазе размыва), ВПУ исключает доступ увеличенного количества воды  $Q_1$

в рабочие камеры гидроударника и одновременно НПУ направляет весь поток жидкости  $Q_1 > Q$  в керноприемную трубу, и далее через кернорватель-насадку на забой скважины.

В целом, по отмеченному признаку можно реализовать ряд комбинаций с различным обеспечением положений элементов запорного устройства пусковых узлов (табл. 1.2).

Таблица 1.2.

Комбинации обеспечения положений применяемых распределительных (запорных) элементов пусковых узлов ПБС

Фаза бурения	Характер одновременного положения запорных элементов		
	Тип	ВПУ	НПУ
Размыв породы	I	Независимое от расхода жидкости, с жесткой фиксацией ЗРС	Зависимое от расхода жидкости, с изменением положения при увеличенном расходе жидкости
	II	Зависимое от расхода жидкости, с изменением положения ЗРС при увеличенном расходе жидкости	
Отбор керна	I	Независимое от расхода жидкости, с принудительным смещением ЗРС	Зависимое от расхода жидкости, с сохранением положения ЗРС при номинальном расходе жидкости на привод ГУ
	II	Зависимое от расхода жидкости, с сохранением положения ЗРС при номинальном расходе жидкости на привод ГУ	

В соответствии с приведенным обобщением (табл. 1.2), фиксированное положение распределительного элемента нижнего пускового узла на рабочих фазах бурения, независимо от типа, определяется расходом жидкости. Для ВПУ

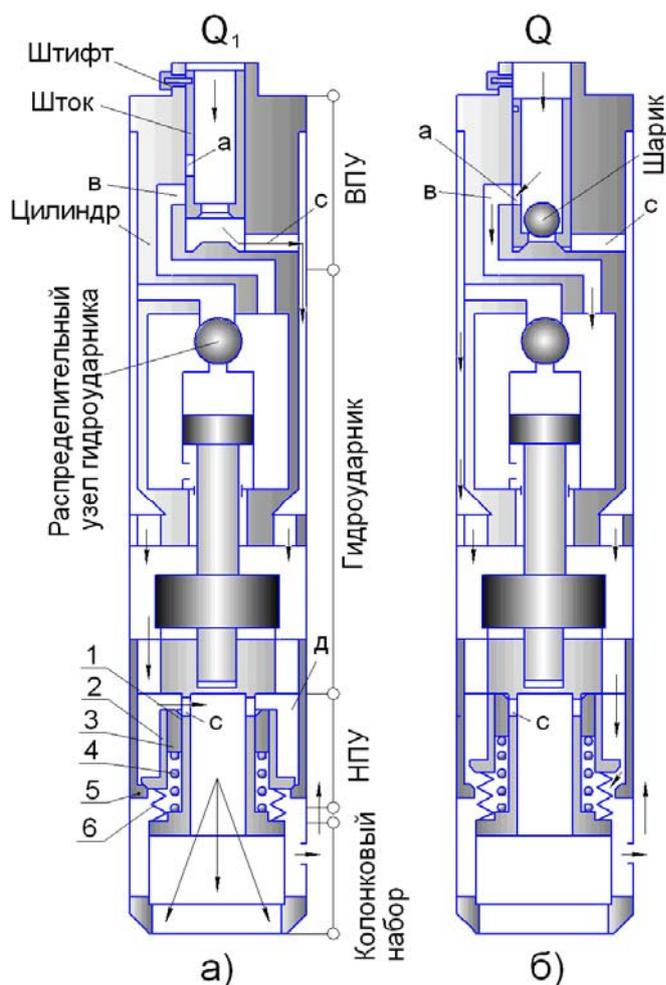


Рис. 1.6. Схема погружного бурового снаряда с пусковыми узлами типа ВПУ-I и НПУ-I

Шток размещается в цилиндре и на фазе размыва фиксируется штифтом (рис. 1.6, а).

НПУ-I соединяется с нижней наковальной посредством штока 1. Нижняя ступень штока является уплотнительной втулкой для внутренней (керноприемной) трубы колонкового набора. На штоке 1 концентрично установлен плунжерный золотник 3 с пружиной 4, и клапан 2, опирающийся на пружины 6. В корпусе НПУ-I выполнено седло 5.

На фазе безкерновой проходки ствола скважины в нагнетательный трубопровод подается заданный расход жидкости  $Q_1$ , соответствующий условию размыва осадков. При этом элементы ВПУ-I сохраняют исходное положение (рис. 1.6, а). Жидкость через полый шток, канал «с» и межтрубному простран-

предусмотрены варианты как зависимого, так и независимого положения запорных элементов от расхода жидкости в гидросистеме.

Исполнение пусковых узлов по первому варианту (ВПУ-I и НПУ-I) использовано в первых конструкциях установок УМБ-130 и УМБ-130М (рис. 1.6) [29, 30, 36, 48].

ВПУ-I предполагает внешнее управление, с реализацией в узле изменения прохода жидкости только в одном направлении: смена режима «гидроразрыв интервала» на режим «бурение с отбором керна». В качестве запорно-регулирующего устройства применяется полый шток с радиальным

ству гидроударника направляется в камеру «д» НПУ-I, что приводит к усилению гидравлической нагрузки на клапан 2, который, преодолевая сопротивление пружин 6, смещается вниз.

После посадки клапана 2 на седло 5, силой давления потока в камере «д» перемещается поршень-золотник 3 с открытием пропускных окон «с» в штоке 1. В таком положении элементов НПУ-I жидкость поступает внутрь керноприемной трубы колонкового набора, и далее на забой скважины, обеспечивая размыв породы.

Для перехода ПБС в режим отбора керна (рис. 1.6, б), в нагнетательную линию с помощью питателя, установленного в нагнетательной линии обвязки насоса, сбрасывается пробка-шарик. После посадки шарика в седло штока ВПУ в нагнетательном трубопроводе повышается давление, сила которого обеспечивает срез штифта. Шток опускается вниз, перекрывая канал «с». Одновременно совмещаются окно «в» и канал «а», через которые жидкость направляется в цилиндр гидроударника (рис. 1.6, б). Происходит запуск гидроударника с последующим выводом его на режим эффективной работы путем увеличения подачи жидкости в гидросистему.

Для хорошо размываемых интервалов скважины, где достаточным является разовое срабатывание ВПУ при переходе от фазы размыва пород на фазу пробоотбора, исполнение ВПУ- I вполне оправдано с точки зрения обеспечения надежности блокирования гидроударника на фазе размыва. Одновременно ВПУ-I обеспечивает гарантированное перемещение и удержание штока в нижнем положении с разделением рабочих камер гидроударника с затрубным пространством на фазе бурения с отбором керна независимо от расхода жидкости.

Основные трудности связаны с особенностями выполнения технологических операций перезарядки ВПУ-I. Возвращение элементов запорно-регулирующего устройства ВПУ-I в исходное положение (рис. 1.6, а), соответствующее режиму размыва осадков, возможно только после подъема установки с последующим демонтажем нагнетательного шланга и троса, отсоединением от ПБС грузового переходника, извлечением сброшенного шарика и размеще-

нием его в камере питателя, перемещением и шплинтовкой штока в исходном положении. По хронометражным данным, время на подготовку бурового снаряда к очередному спуску за счет увеличенной трудоемкости перезарядки ВПУ и питателя составляет более 20% в общем объеме подготовительно-заключительных операций [31, 36].

Исключение или эпизодическое использование в технологическом цикле бурения «ключющего» способа разрушения пород с возможностью многократного изменения способа разрушения пород на проходимом интервале скважины, а также исключение потерь времени на перезарядку ВПУ принципиально решается при использовании комбинации пусковых узлов второго типа.

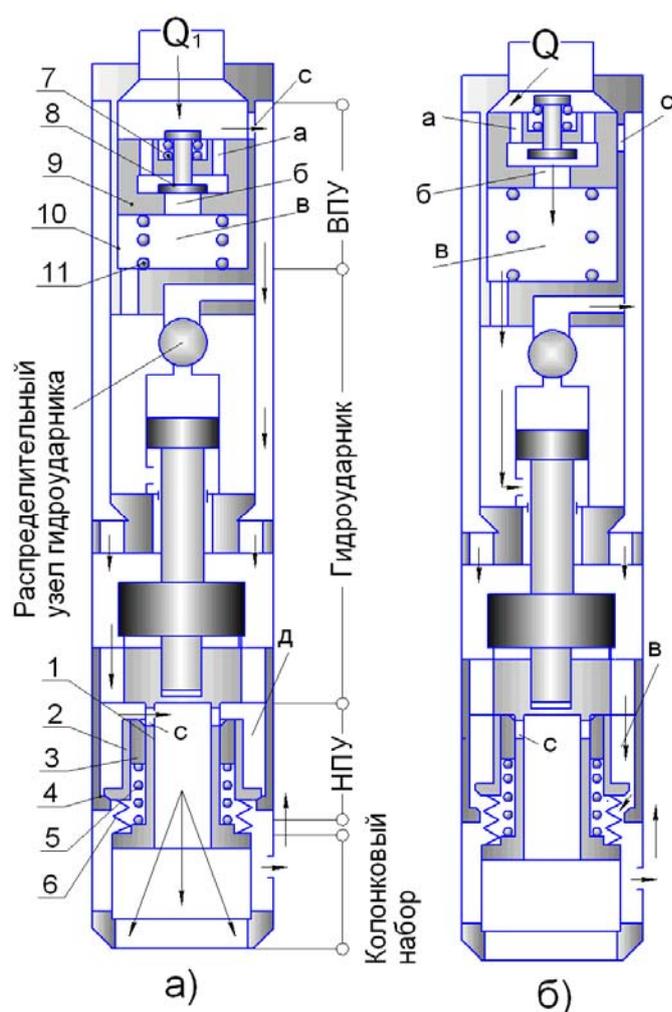


Рис. 1.7 – Схема ПБС с пусковыми узлами типа ВПУ-II и НПУ-II

Узлы ВПУ-II и НПУ-II структурно являются элементами гидравлической системы бурового снаряда и работают в автоматическом режиме взвода с дистанционным включением в нужный режим работы, за счет изменения подачи жидкости в нагнетательную линию.

Схема варианта ПБС с комбинацией ВПУ и НПУ по типу II приведена на рис. 1.7. Впервые такая схема пусковых узлов применена в опытном исполнении установки УМБ-130 [36].

Элементы запорно-регулирующего устройства ВПУ-II размещаются в цилиндре 10, соединенным с верхним переходником гидроударника. ВПУ-II состоит из

пускового клапана 8 с пружиной 7, и поршня-седла 9 с пружиной 11. Состав и конструктивное исполнение НПУ-II идентичны НПУ-I.

Режим размыва породы (рис. 1.7, а) обеспечивается последовательным включением ВПУ-II и НПУ-II. Для этого в нагнетательный трубопровод подается заданный расход жидкости  $Q_1 > Q$ , соответствующий условию размыва осадков. За счет действия скоростного напора и силы давления на клапан 8, последний переместится вниз, сжимая пружину 7, и перекрывает осевое отверстие «б» в подпружиненном поршне 9. В камере над клапаном 8 повышается давление, формируя силу смещения поршня 9 вниз. При этом открываются боковые окна «с», обеспечивая проход жидкости в кольцевой зазор корпуса гидроударника, минуя рабочие камеры гидродвигателя ГУ и блокируя его работу. Поток жидкости попадает в камеру «д» НПУ-II, что приводит к усилению нагрузки на его запорные элементы. Создаются условия для срабатывания НПУ-II с последовательностью аналогичной для НПУ-I с обеспечением работы ПБС в режиме размыва пород при неработающем (заблокированном) гидроударнике.

При переходе на головную операцию (бурение с отбором керна), распределительные элементы пусковых узлов должны занять исходное положение, соответствующее рис. 1.7, б. Эта операция обеспечивается путем снижения расхода жидкости, следствием чего является уменьшение силы давления на элементы запорных устройств ВПУ-II и НПУ-II.

Особенностью технологии проходки скважины с отбором керна, в зависимости от геологического разреза, является то, что рабочие параметры гидроударника на интервале бурения либо форсируются, либо уменьшаются изменением подачи жидкости в нагнетательный трубопровод. Поэтому, учитывая наличие единой приводной линии для пусковых узлов и гидроударника, процесс подготовки ПБС к бурению обуславливает необходимость перенастройки, как ВПУ, так и НПУ на заданный расход жидкости. Как показал производственный эксперимент, для предотвращения произвольного изменения положений пусковых узлов в процессе пробоотбора, необходимо обеспечивать диапазон рас-

ходов  $Q < Q_3 < Q_1$  ( $Q_3$  – эксплуатационный расход жидкости). Это соотношение справедливо как для комбинации с пусковыми узлами типа I, так и спусковыми узлами типа II.

Для комбинации пусковых узлов типа I (рис. 1.6), учитывая, что положение элементов ВПУ-I не зависит от расхода жидкости, выполнение эксплуатационных функций бурового снаряда в цикле комбинированной проходки интервала скважины определяется, прежде всего, положением запорных элементов НПУ-I для выделенного диапазона расходов жидкости, соответствующих характеру разрушения породы на забое скважины. Это обуславливает необходимость комплексного соблюдения соответствующих соотношений гидравлической силы и силы упругой деформации пружины:

$$\bullet P_{\partial} f_2 < nZ_6 \delta_6; \bullet P_{\partial} f_3 < Z_4 \delta_4; \quad (1.1)$$

$$\bullet P'_{\partial} f_2 > nZ_6 (\delta_6 + h_2); \bullet P'_{\partial} f_3 > Z_4 (\delta_4 + h_3); \quad (1.2)$$

$$\bullet P''_{\partial} f_2 < nZ_6 (\delta_6 + h_2); \bullet P''_{\partial} f_3 < Z_4 (\delta_4 + h_3), \quad (1.3)$$

где  $P_{\partial}$  – давление в камере «д» при расходе  $Q$  в режиме удержания системы «клапан 2 – плунжерный золотник 3» в верхнем положении при работающем гидроударнике;  $P'_{\partial}$  – давление в камере «д» при  $Q_1 > Q$  ( режим перемещения и удержание системы «клапан 2 – плунжерный золотник 3» в нижнем положении при блокировании работы гидроударника);  $P''_{\partial}$  – давление в камере «д» при уменьшенном расходе  $Q_2$  ( $Q_2 \leq Q$ ) (режим возврата запорных элементов НПУ-I);  $f_2$  – площадь клапана 2;  $f_3$  – площадь плунжерного золотника 3;  $Z_4, Z_6, \delta_4, \delta_6$  – жесткости и предварительная деформация пружин 4 и 6;  $n$  – количество пружин 6;  $h_2, h_3$  – перемещения клапана 2 и плунжерного золотника 3.

Для комбинации пусковых узлов ПБС «ВПУ-II + НПУ-II» (рис. 1.7) в

цикле комбинированной проходки интервала скважины, необходимо обеспечение эксплуатационных функций, как ВПУ-II, так и НПУ-II, которые определяются комплексным учетом следующих условий:

$$\bullet P_a f_8 < Z_7 \delta_7, \bullet P_a f_9 < Z_{11} \delta_{11}, \bullet P_\partial f_2 < nZ_6 \delta_6, \bullet P_\partial f_3 < Z_5 \delta_5; \quad (1.4)$$

$$\bullet P'_a f_8 > Z_7 (\delta_7 + h_8), \bullet P'_a f_9 > Z_{11} (\delta_{11} + h_9), \quad (1.5)$$

$$\bullet P'_\partial f_2 > nZ_6 (\delta_6 + h_2), \bullet P'_\partial f_3 > Z_5 (\delta_5 + h_3); \quad (1.6)$$

$$\bullet Z_7 (\delta_7 + h_8) > P''_a f_8; Z_{11} (\delta_{11} + h_9) > P''_a f_9, \quad (1.7)$$

$$\bullet nZ_6 (\delta_6 + h_2) > P''_\partial f_2, Z_5 (\delta_5 + h_3) > P''_\partial f_3, \quad (1.8)$$

где  $P_a, P_\partial$  – давления в камере «а» ВПУ-II и камере «д» НПУ-II при расходах жидкости  $Q$  (режим удержания систем «клапан 8 – плунжерный золотник 9» ВПУ-II и «клапан 2 - плунжерный золотник 3» НПУ-II в верхнем положении при работающем гидроударнике, рис. 1.7, б);  $P'_a, P'_\partial$  – давления в камере «а» ВПУ-II и камере «д» НПУ-II при расходах жидкости  $Q_1 > Q$  (режим перемещения и удержание отмеченных систем ВПУ-II и НПУ-II в нижнем положении при блокировании работы гидроударника на фазе гидроразмыва пород, рис. 1.7, а);  $P''_a, P''_\partial$  – давления в камере «а» ВПУ-II и камере «д» НПУ-II при расходах жидкости  $Q_2 \leq Q$  (режим возврата запорных элементов ВПУ-II и НПУ-II);  $f_8$  - площадь клапана 8;  $f_9$  – площадь плунжерного золотника 9;  $Z_7, Z_{11}, \delta_7, \delta_{11}$  – жесткости и предварительная деформация пружин 7 и 11;  $h_8$  и  $h_9$  – перемещение клапана 8 и плунжерного золотника 6.

В целом, для схем и конструкций ВПУ-II и НПУ-I и НПУ-II комплексный учет отмеченных соотношений принципиально возможен. Однако, с одной стороны многоэлементность пусковых узлов, а с другой - отсутствие обосно-

ванных рекомендаций по выбору соотношений характеристик гидросистемы и распределительных элементов запорных устройств, не позволяет иметь четких представлений о величинах и закономерностях изменения настроечных параметров пусковых узлов.

Для рассмотренных схем открытым остается вопрос, связанный с целесообразной необходимостью замены общего принципа обеспечения срабатывания и взаимодействия элементов пусковых узлов за счет разработки конструкций с уменьшенным количеством элементов и их настроечных параметров. Принципиальное значение приобретает задача обоснованности выбора соотношений настроечных параметров при использовании комбинации «ВПУ-II + НПУ-II» для периодического многократного ударного погружения ПБС в грунт на интервале бескерновой проходки, с возможным исключением из производственного цикла бурения «ключевого» способа разрушения пород. Это предполагает необходимость новых решений, касающихся конструкции и физического объединения элементов системы «ВПУ+ГУ+НПУ» с обеспечением синхронности выполнения перечисленных функций пусковыми узлами на фазах интервального разрушения пород по стволу скважины.

Основываясь на данных анализа результативности и полученной работоспособности системы «НПУ-ГУ-ВПУ» с учетом отмеченных требований и условий проходки скважин для рассматриваемого участка морского бурового производства обоснованным явился выбор принципиальной схемы пусковых узлов с одноэлементным запорным устройством (рис. 1.8).

В предложенной разработке (рис. 1.8, а), при сохранении общей структуры системы и характера срабатывания, запорный элемент пусковых узлов унифицирован и выполнен в виде плунжерного клапана 1, который опирается на пружину 2 и концентрично установлен на штоке 3. Единственным элементом регулирования диапазона срабатывания пусковых узлов является пружина 2. Для закрытия (открытия) доступа жидкости в соответствующие камеры ПБС изменяется подача жидкости в гидросистему. Это приводит к изменению силовой составляющей давления на результирующую площадь клапана, который,

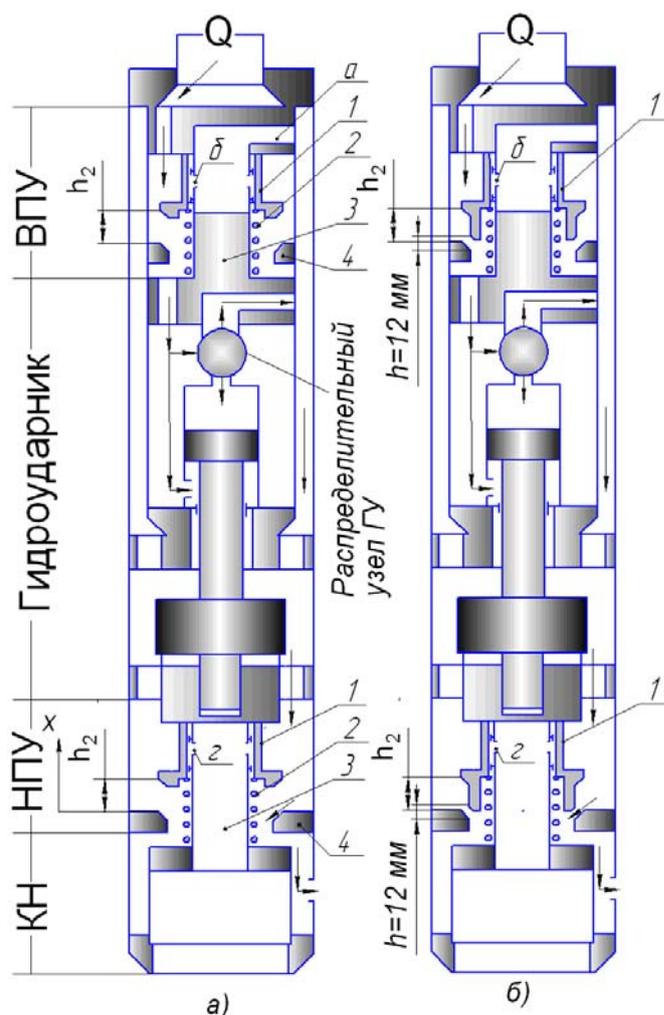


Рис. 1.8. Схема ПБС с одноэлементным исполнением запорного устройства пусковых узлов

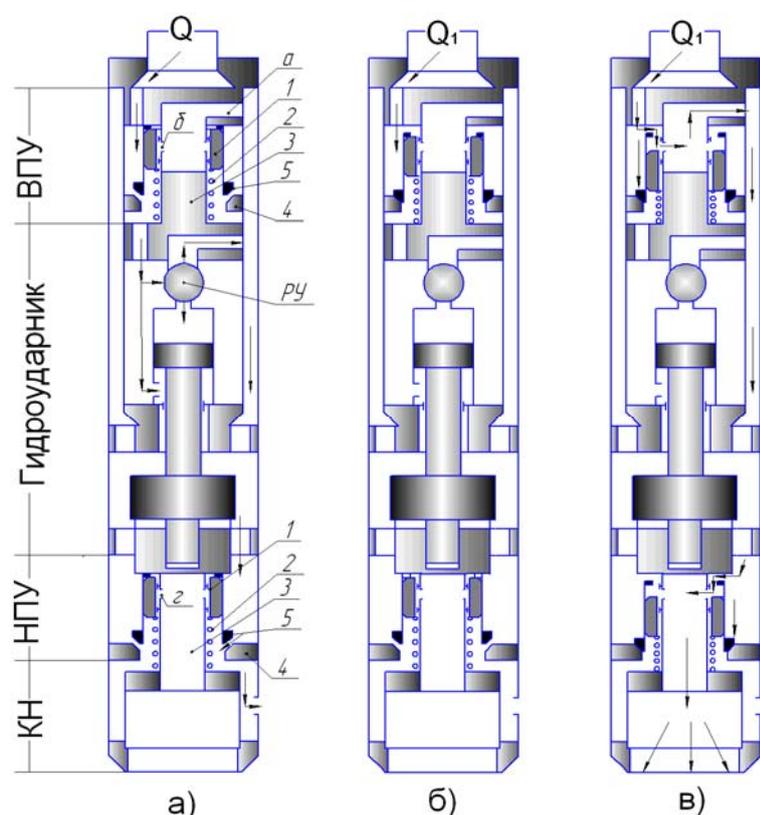
канала, пропускающих через себя поток жидкости, обусловили повышенное значение управляющего параметра  $Q_1$  для обеспечения срабатывания клапана 1.

Для пусковых узлов снаряда ПБС-127 с возможным минимальным значением  $h_2=20-21$  мм (рис. 1.8, а), получение проектной величины  $Q_1$  в диапазоне рабочей характеристики приводного насоса (450–480 л/мин), обусловило необходимость уменьшения силовой характеристики возвратной пружины ( $R_Z < 200$  Н), что предположительно затрудняло возврат клапана в исходное положение.

перемещаясь вдоль штока 3, садится в седло 4, одновременно открывая каналы «б» и «а», выполненные в штоке 3 ВПУ, и каналы «г» в штоке 3 НПУ.

Впоследствии, как показали проведенные лабораторные и опытно-промышленные исследования, применение одноэлементной конструкции ЗРС существенно упростило настроечные операции пусковых узлов. С другой стороны, увеличенная высота раскрытия щели ( $h_2$ ), связанная с условием необходимого открытия окон штока, а также увеличенная результирующая площадь клапана, возможность уменьшения которой ограничена необходимостью размещения в штоке окон и

На рис. 1.8, б показан новый вариант пусковых узлов ПБС-127, где раскрытие щели клапана уменьшено до величины  $h=12$  мм (равное полному открытию пропускных окон штока), при общем ходе клапана  $h_2$ . Это позволило значительно повысить параметр  $R_Z$ , однако, добиться условия возврата клапана



на как при исполнении клапана в первом варианте (рис. 1.8, а), так и при исполнении клапана по второму варианту (рис. 1.8, б), без прекращения подачи жидкости в гидросистему не удалось.

В процессе поиска решений, направленных на увеличение силы возврата запорно-регулирующей системы (ЗРС) пусковых узлов на фазе разблокирования работы гидроударника была предложена новая схема пусковых узлов (рис. 1.9).

Рис. 1.9. Схема ПБС с пусковыми узлами в виде составного запорного устройства:

1 – плунжерный золотник; 2 – пружина; 3 – шток; 4 – седло клапана; 5 – клапан.

Сохранив условие одноэлементной настройки, ЗРС выполнена в виде концентрично размещенных относительно друг друга клапана 5 и плунжерного золотника 1. В таком исполнении пусковых узлов появилась возможность изменять высоту щели клапана независимо от процесса открытия окон штока. В цикле открытия окон участвует только подпружиненный плунжерный золотник, площадь которого на этапе проектирования может варьироваться изменением внутреннего сечения клапана. За счет уменьшения рабочей площади золотника появляется возможность снижения гидравлической силы, действующей на элементы ЗРС. Кроме того, при перемещении золотника

вверх имеет место суммарное действие силы пружины и ударной силы при взаимодействии золотника и клапана.

Вместе с тем, как показали лабораторные и производственные испытания таким исполнением ЗРС лишь частично устранены отмеченные выше недостатки пусковых узлов бурового снаряда, выполненных по схеме, представленной на рис. 1.8. Возврат ЗРС обеспечивался при значительном снижении подачи жидкости в гидросистему. В производственных условиях этот режим выполнялся при полном открытии сливной линии регулировочного вентиля.

Дальнейшими более глубокими исследованиями установлена основная причина затрудненного возврата ЗРС в исходное положение, которая обуславливалась принятой в буровых снарядах схемой пускового узла с положительным перекрытием пропускных окон штока (рис. 1.10).

Процесс возврата ЗРС можно условно разделить на две фазы:

фаза 1 • перемещение плунжерного золотника 1 на пути  $h_1$  до соударения с клапаном 2 и перекрытием окон «а» (рис. 1.10, а, б) при соблюдении условия

$$R_Z^{(1)} > R_{Q_2}^{(1)}. \quad (1.9)$$

фаза 2 • отрыв клапана от седла и перемещение ЗРС на пути  $h_2$  с открытием конусной щели клапана 2 (рис. 1.10, в) при соблюдении условия

$$R_Z^{(2)} + R_{уд} > R_{Q_2}^{(2)}. \quad (1.10)$$

где  $R_{Q_2}^{(1)}$ ,  $R_Z^{(1)}$  – сила гидравлических сопротивлений и сила сжатия пружины к началу перемещения плунжерного золотника;  $R_Z^{(2)}$ ,  $R_{Q_2}^{(2)}$  – сила сжатия пружины и гидравлическая сила, действующая на клапан 2 в конце хода  $h_1$  (к началу

перемещения ЗРС);  $R_{уд} = \rho_{ст} c_{ст} \frac{f_{кл}^y f_{нз}}{f_{кл}^y + f_{нз}} V_{h1}$  [1, 70, 78] – сила, действующая в

ударяемом теле (клапане 2) при соударении его с плунжерным золотником 1.

$\rho_{cm}$  – плотность стали, из которой выполнены элементы ЗРС;  $c_{cm}$  – скорость распространения ударной волны в стали;  $f_{кл}^y$  – ударное (поперечное) сечение клапана 2;  $V_{h1}$  – скорость плунжерного золотника в конце фазы 1 при соударении его с клапаном 2.

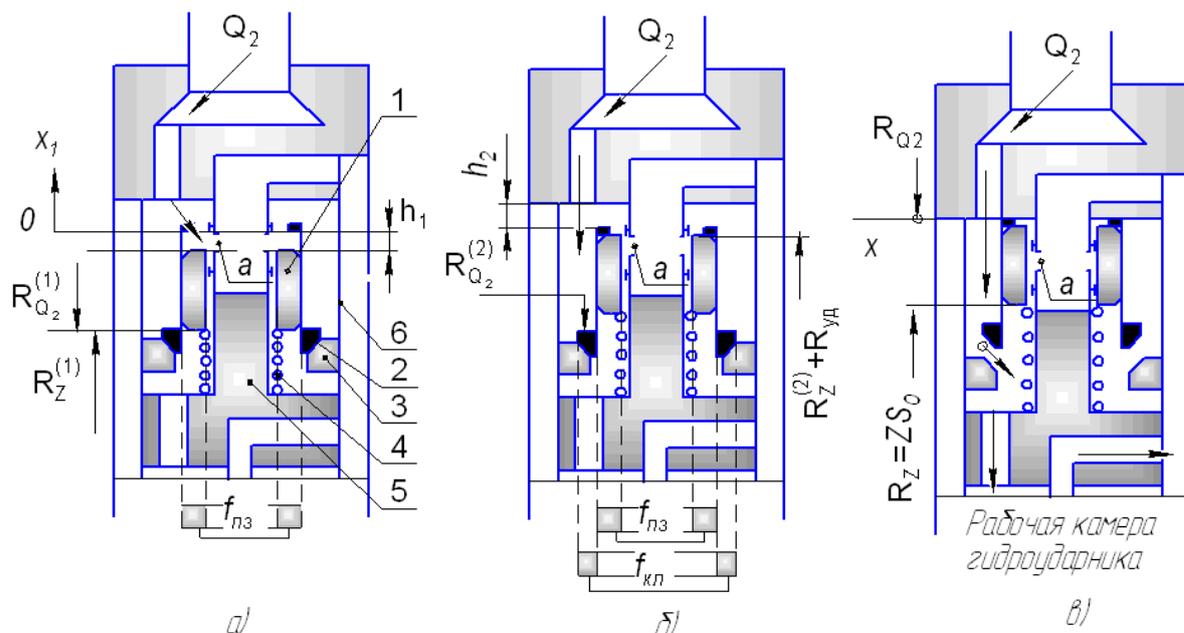


Рис. 1.10. Расчетная схема к оценке условия возврата ЗРС в верхнее положение:

1 – плунжерный золотник; 2 – клапан; 3 – седло клапана; 4 – пружина; 5 – шток; 6 – корпус; а – положение элементов ЗРС к началу фазы 1; б – положение ЗРС в конце фазы 1; в – положение элементов ЗРС в конце фазы 2.

• Фаза 1 является промежуточным процессом возврата запорно-регулирующей системы пускового узла при переходе от режима блокирования на режим запуска и работы гидроударного механизма. На этой фазе силовая характеристика пружины  $R_Z^{(1)}$  и силы гидравлических сопротивлений движению плунжерного клапана  $R_{Q_2}^{(1)}$  в конце пути  $h_1$ , являются исходными для выбора соотношений сил, устанавливающих условие отрыва клапана 2 от седла 3 (начало открытия конусной щели для прохода жидкости в камеры гидроударного механизма). Перемещение плунжерного золотника 1 обеспечится при соблюде-

нии условия (1.9), когда усилие пружины  $R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_2 + h_1)$ , (где  $Z, S_0$  – жесткость и предварительная деформация пружины), превышает силу сопротивления движению плунжерного клапана  $R_{Q2}^{(1)}$ .

В течение фазы 1 имеет место линейное снижение силы пружины  $R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_1 + h_2 - x_1)$ , которая на пути  $x_1$  преодолевает силу инерции  $m_{нк} \ddot{x}_1$ , и силу гидравлических сопротивлений на фазе 1 ( $R_{Q2}^{(1)}$ ), величина которой пропорциональна квадрату скорости жидкости по ходу движению плунжерного золотника.

На рассматриваемой фазе скорость потока в пропускных окнах «а», будет определяться как сумма скоростей потока и движущемуся навстречу ему плунжерного золотника. С учетом условия неразрывности потока жидкости в сечении подвода ее к гидравлической системе ( $f_T$  – площадь пропускного сечения трубопровода) и плунжерного золотника ( $f_{нз}$ ), допуская линейность подъема давления в камере пускового узла на пути  $x_1$  (от 0 до  $h_1$ ) [82], с последовательным перекрытием окон «а», имеющих суммарную (эффективную) площадь  $f_{эф}$ , изменяющаяся сила гидравлического сопротивления, может быть определена по формуле

$$R_{Q2}^{(1)} = \frac{\rho}{2\mu^2} \left( \frac{Q_2 + \frac{f_{нз}^2}{f_T} \cdot \dot{x}_1}{f_{эф}} \right)^2 \left( 1 + \frac{x_1}{h_1} \right) f_{нз}. \quad (1.11)$$

В соответствии со вторым законом Ньютона, после раскрытия значений действующих сил ( $R_Z^{(1)}$  и  $R_{Q2}^{(1)}$ ), дифференциальное уравнение движения плунжерного клапана на фазе 1 имеет вид

$$m\ddot{x}_1 = Z(S_0 + h_2 + h_1 - x_1) - R_{Q_2}^{(1)} - G, \quad (1.12)$$

где  $x_1$ ;  $\dot{x}_1$ ;  $\ddot{x}_1$  – текущие значения хода, скорости и ускорения плунжерного золотника;  $m = m_{nz} + 0,5m_z$  – приведенная масса плунжерного золотника 2;  $m_z$  – масса пружины 4;  $m_{nz}$ ,  $G$  – масса и вес плунжерного золотника 1;  $\rho$  – плотность жидкости;  $\mu$  – коэффициент расхода жидкости;  $Q_2$  – проектный расход жидкости, при котором обеспечивается возврат ЗРС.

- Фаза 2. При  $x_1 = h_1$  (рис. 1.10, б), плунжерный золотник 1 будет иметь определенную скорость  $V_{h1}$ , которая в момент контакта с клапаном 2 формирует силу удара  $R_{y\partial}$ , являющуюся дополнительной составляющей для отрыва клапана 2 от седла 3 и последующего перемещения системы ЗРС в исходное положение, соответствующее рис. 1.10, в.

Задача определения  $V_{h1}$  выполняется путем решения дифференциального уравнения перемещения плунжерного золотника на пути  $x_1$  до встречи его с клапаном 2 (1.12) [50].

В выделенном условии (1.10) сила сжатия пружины к началу перемещения ЗРС имеет значение

$$R_Z^{(2)} = Z(S_0 + h_2), \quad (1.13)$$

а величина  $R_{Q_2}^{(2)}$  определяется суммой гидравлической силы, обусловленной давлением в камере пускового узла (при  $x_1 = h_1$ ) и гидравлической силы, вследствие изменения давления в момент закрытия плунжерным золотником 1 пропускных окон «а», с начальной скоростью жидкости, соответствующей  $V_{h1}$

$$R_{Q2}^{(2)} = \frac{\rho}{\mu^2} \cdot \left( \frac{Q_2 + \frac{f_{nz}^2}{f_T} \cdot V_{h1}}{f_{\text{эф}}} \right)^2 \cdot f_{кл} + \rho \cdot c \cdot (Q_2 + f_{nz} \cdot V_{h1}). \quad (1.14)$$

Характер изменения скорости плунжерного золотника на пути  $h_1$  показан на рис. 1.11. Числовые значения режима возврата ЗРС приведены в табл. 2.1–2.2. При расчетах использованы характеристики натуральных образцов пусковых узлов бурового снаряда ПБС-127. с исходными параметрами: жесткость  $Z = 6000$  Н/м;  $S_0 = 56$  мм;  $f_{\text{эф}} = 450$  мм<sup>2</sup>;  $h_2 = 8$  мм;  $h_1 = 12$  мм;  $d_2 = 106$  мм; диаметр штока  $d_5 = 50$  мм; наружный диаметр плунжерного золотника  $d_1 = 80$  мм; внутренний диаметр корпуса  $d_6 = 111$  мм.

Таблица 1.1.

## Расчетные параметры возврата ЗРС при перекрытии окон «а»

Исходные параметры пускового узла: $Z = 6000$ Н/м; $S_0 = 56$ мм; $f_{\text{эф}} = 450$ мм <sup>2</sup> ; $h_2 = 8$ мм; $h_1 = 12$ мм; $d_2 = 106$ мм; диаметр штока $d_5 = 50$ мм; наружный диаметр плунжерного золотника $d_1 = 80$ мм; внутренний диаметр корпуса $d_6 = 111$ мм.				
$R_{y\partial}$ ,	$R_{Q2}^{(2)}$ ,	$Q_2$ ,	$R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_1 + h_2)$	$R_Z^{(2)} = Z(S_0 + h_2)$
Н	Н	л/мин	Н	Н
992	5240	15,7	456	384

Таблица 1.2.

Значение скорости плунжерного золотника  $V_{h1}$  при перекрытии окон «а»

$V_{h1},$ м/с	0,10	0,20	0,25	0,27	0,25	0,22	0,14	0,10	0,007	0,05
$t,$ с	0,0003	0,001	0,0018	0,003	0,005	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09

В соответствии с расчетными данными, в конце хода  $h_1$  при перекрытии окон «а» скорость плунжерного золотника близка к нулю. Это обусловлено эффектом интенсивного торможения плунжерного золотника на пути перекрытия окон «а», из-за резкого увеличения давления в камере пускового узла.

В такой ситуации ударная составляющая  $R_{y0}$  незначительна, а гидравлическая сила  $R_{Q_2}^{(2)}$ , действующая на ЗРС в конце хода  $h_1$ , существенно превосходит силу деформации пружины  $R_Z^{(2)}$ .

Из опыта проектирования и эксплуатации гидроударных буровых снарядов наиболее выгодным технологическим режимом возврата ЗРС является выполнение условия (1.2) при приближении уровня  $Q_2$  до настроечной величины расхода жидкости, соответствующей режиму устойчивого запуска и стабильной работы гидроударной машины

$$Q_2 \geq (0,4 - 0,5)Q. \quad (1.15)$$

В буровых снарядах ПБС-127, эффективная работа гидроударника обеспечивается при  $Q=320-340$  л/мин.

Анализ числовых данных (табл. 1.1 и 1.2) и графической зависимости (рис. 1.11), показывает, что для отмеченной схемы взаимодействия ЗРС процесс разблокирования гидроударника с соблюдением условия (1.15) не выполняется. Для возврата ЗРС необходимо снизить подачу жидкости до величины

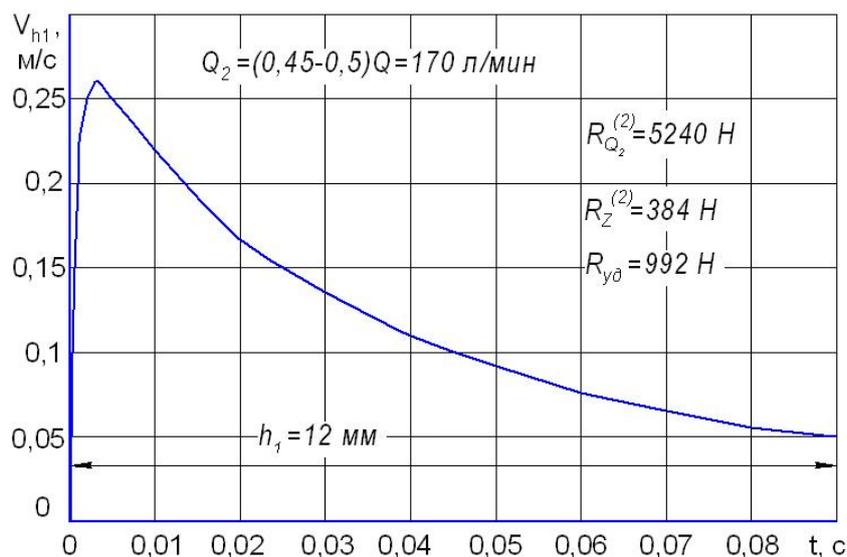


Рис. 1.11. Зависимость  $V_{h1}$  на пути плун-

жерного золотника  $h_1$  и параметры возврата ЗРС бурового снаряда ПБС-127.

ны на режим бурения с отбором керна, гарантировано обеспечивалось только при выключении бурового насоса.

Использование при проектировании ПБС-127 запорно-регулирующих систем с положительным перекрытием в общем случае объяснялось необходимостью исключения поступления жидкости в керноприемную трубу на фазе отбора керна за счет наличия протяженного участка уплотняющей щели. Вместе с тем, на фазе возврата ЗРС, согласно [82] наличие такого участка при переходе через нейтральное положение, когда перекрываются окна штока при отсутствии пропускной щели клапана, в камере пускового узла создается ощутимая зона повышенного давления, с формированием  $R_{Q_2}^{(2)}$ , в которой затрудняется смещение плунжерного золотника.

Наиболее благоприятным для систем регулирования является нулевое или отрицательное перекрытие, которое допускает отсутствие такой зоны [82, 83]. Несмотря на то, что применение распределителей с выделенными схемами перекрытия связано со значительными утечками, а характеристики управления при этом нелинейные, преимуществом их является большая плавность регулирования, исключая возможность появления автоколебаний в гидросистеме,

$Q_2 = 15,7$  л/мин, что существенно меньше, предусмотренного условием (1.15).

Одновременно получает объяснение фактическое условие эксплуатации ПБС-127, когда изменение состояния системы ЗРС, при переходе с режима размыва породы на забое скважи-

а также свободный перепуск жидкости через щели при нейтральном положении золотника и неработающем ГУ.

Особенность эксплуатации ПБС, заключается в несущественности поступления жидкости в керноприемную трубу при переходе от фазы размыва породы на фазу бурения с отбором керна. Важным остается конечный результат - перекрытие пропускных окон штока и обеспечение связи нагнетательной линии с рабочими камерами гидроударника при снижении напряженности выполнения процесса возврата ЗРС. Поэтому, для обеспечения условия (1.15) необходимо получить новую связь между  $h_1$ ,  $V_{h1}$  и  $R_{Q2}^{(2)}$ , что предполагает дальнейшее совершенствование ЗРС пусковых узлов гидроударного бурового снаряда.

#### 1.4. Принципиальная схема усовершенствованного варианта пусковых узлов гидроударных буровых снарядов

Отмеченные в разделе 1.3 недостатки пусковых узлов с положительным перекрытием явились причиной поиска решений, направленных на увеличение силы возврата запорно-регулирующей системы (ЗРС) пусковых узлов, за счет разработки распределителя с отрицательным перекрытием.

Сохранив принципиальную схему и условие одноэлементной настройки ЗРС, выполненных в виде концентрично размещенных относительно друг друга клапана и плунжерного золотника (рис. 1.9), предложено новое исполнение пусковых узлов с радикальной разгрузкой плунжерного золотника от силы давления жидкости за счет применение запорно-регулирующих систем с отрицательным перекрытием пропускных окон «а»  $\Delta h_1$ .

Схема и конструктивное исполнение усовершенствованных пусковых узлов в структуре гидроударного бурового снаряда показаны на рис. 1.12.

В предложенном исполнении доминирующее значение, для возвращения ЗРС, при разблокировании гидроударника, обеспечивается силой соударения плунжерного золотника и клапана и дополняется действием силы пружины.

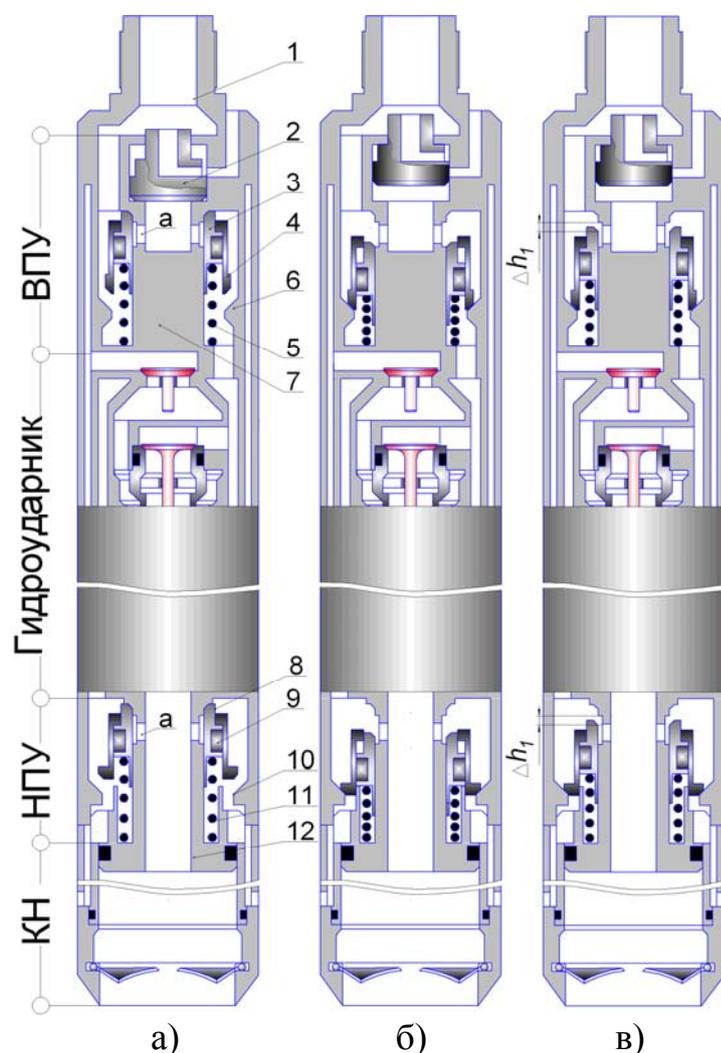


Рис. 1.12. Схема усовершенствованного варианта пусковых узлов в структуре ПБС: 1 – переходник распределительный; 2 – делитель потока; 3, 9 – плунжерные золотники ВПУ и НПУ; 4, 8 – клапаны ВПУ и НПУ; 5, 11 – пружины; 6, 10 – седла клапанов ВПУ и НПУ; 7, 12 – штоки ВПУ и НПУ.

Пусковые узлы унифицированы. При разблокированном состоянии гидроударника (рис. 1.12, а) плунжерные золотники 3 (ВПУ) и 8 (НПУ), а также клапаны 4 (ВПУ) и 9 (НПУ) усилием соответствующих пружин 5 и 11 удерживаются в верхнем положении. Через щель между клапаном 4 и седлом 6 (ВПУ) в рабочую камеру гидроударника обеспечивается подача жидкости, соответствующая номинальному значению  $Q$  для его эффективной работы. На этой фазе сила давления жидкости на площадь ЗРС пусковых узлов компенсируется силой предварительной деформации пружин 5 (ВПУ) и 11 (НПУ).

Для блокирования гидроударника, на фазе бескернового бурения, расход жидкости в гидросистеме увеличивается до заданной величины  $Q_1$ . Это приводит к

смещению ЗРС пусковых узлов до посадки клапана 4 на седло 6 и клапана 8 на седло 10. Затем имеет место самостоятельное движение плунжерных золотников 3 и 9 с дополнительным сжатием пружин 5 и 11, до полного открытия окон «а», выполненных в штоках 7 и 12 (рис. 1.12, б).

Для разблокирования гидроударника уменьшается расход жидкости, что приводит к снижению усилия, действующего на плунжерные золотники ПУ, которые пружинами переместятся вверх. Контакт золотников с клапанами пусковых узлов происходит без полного перекрытия пропускных окон штока с зазором  $\Delta h_1$  (рис. 1.12, в). В дальнейшем, клапаны, воспринимая суммарное действие силы пружины и силы удара, вместе с плунжерными золотниками вернуться в верхнее исходное положение.

Принципиальность и новизна разработки предполагает решение как инженерных, так и научных задач, связанных с обеспечением надежной увязки кинематических, динамических и геометрических характеристик процесса рабочих перемещений ЗРС пусковых устройств. Важным условием является обоснованный выбор нужных соотношений таких взаимосвязанных параметров, как усилие деформации пружин и результирующая сила давления на элементы ЗРС в заданном диапазоне расхода жидкости, определяющаяся, в основном, соотношением рабочих площадей клапана, поршня и сечений пропускных каналов и окон пусковых узлов.

Поэтому комплексное изучение процессов в системе «ВПУ+ПБС+НПУ», является необходимой тенденцией. Такая задача может быть решена на основе разработки методики расчета циркуляционной системы пусковых узлов, с выделением эффективных соотношений геометрических размеров конструктивных элементов пусковых узлов во взаимосвязи с параметрами привода гидроударного механизма.

## 1.5. Выводы

1. Развитие технического обеспечения бесколонной проходки скважин с борта судов общетехнического назначения, является фактором повышения производительности и рентабельности выполнения инженерно-геологических изысканий на морских акваториях. Достигнутая продуктивность установок типа УМБ, укомплектованных гидроударными снарядами, реализующими комбинированное разрушение пород по стволу скважины, является предпосылкой их дальнейшего совершенствования для увеличения эксплуатационных показателей бурения скважин глубиной до 50 м.

2. Опыт проектирования и использования УМБ на производственных объектах свидетельствует о наличии резервов дополнительного повышения результативности установок, прежде всего, за счет более полной реализации потенциальных возможностей ПБС, основой которого является гидроударный механизм, структурно дооснащенный пусковыми узлами, обеспечивающими, по сути, возможность многорейсовой бесколонной проходки скважин.

3. Резервом реализации потенциала ПБС являются решения, направленные на уменьшение количества и обоснованность параметров оперативного изменения состояний ЗРС для управления работой ГБС на фазах комбинированного разрушения пород по стволу скважины.

4. На основе анализа аналогов целевой разработки предложена унифицированная схема как верхнего, так нижнего пусковых узлов ПБС, в виде концентрично размещенных относительно друг друга клапана и подпружиненного плунжерного золотника с выполнением условия одноэлементности настройки пусковых узлов. При этом высота щели клапана  $h_2$  не определяется размерами открытия пропускных окон штока, что расширяет диапазон и обеспечивает выбор подачи насоса для срабатывания ЗРС, независимо от величины  $h_2$ , а возврат ЗРС, при разблокировании гидроударника, обеспечивается силой соударения плунжерного золотника и клапана ( $R_{y\partial}$ ) и дополняется действием силы

деформации пружины ( $R_{Z_1}$ ).

5. Установлено, что при использовании буровых снарядов с запорно-распределительными системами пусковых узлов, имеющими положительное перекрытие, процесс возврата ЗРС на протяженном участке уплотняющей щели при переходе плунжерного золотника через нейтральное положение затрудняется вследствие формирования гидравлической силы  $R_{Q_2}$ , которая существенно превышает суммарную реакцию сил  $R_{Z_1}$  и  $R_{y\partial}$ .

К моменту соударения элементов ЗРС с положительным перекрытием пропускных окон штока сила  $R_{Q_2}$  приводит к практически полной остановке плунжерного золотника ( $V_{h1} \rightarrow 0$ ), что предполагает  $R_{y\partial} \rightarrow 0$ .

Это объясняет фактическое условие эксплуатации применяющихся ПБС, заключающееся в обеспечении возврата ЗРС пусковых узлов в исходное положение только при выключенном буровом насосе, при  $Q_2 \rightarrow 0$ .

7. Обоснована необходимость получения новой связи между ходом плунжерного золотника  $h_1$ ,  $V_{h1}$  и  $R_{Q_2}^{(2)}$ , с возможностью повышения  $Q_2$  до уровня, соответствующему условию запуска гидроударника, за счет применения плунжерного золотника с отрицательным перекрытием.

5. Предложено техническое решение, предполагающее снижение реакции  $R_{Q_2}$  при одновременном увеличении предупредительной скорости плунжерного золотника  $V_{h1}$  и повышению значимости  $R_{y\partial}$  для отрыва клапана от седла. Новая схема взаимодействия элементов ЗРС обуславливает проведение исследований, направленных на изучение взаимосвязи конструктивных характеристик и физических состояний пускового узла для определения параметров его управления на стадиях комбинированного разрушения пород в заданном интервале скважины.

## 2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ ГИДРОУДАРНОГО БУРОВОГО СНАРЯДА

Практическая направленность исследований предполагает разработку метода расчета ЗРС для научного обоснования конструктивных элементов пусковых узлов, обеспечивающих: • устойчивое блокирование элементов ЗРС ВПУ и НПУ при расходе жидкости, являющимся номинальным для работы гидроударника (на фазе отбора керна); • перемещение ЗРС пусковых узлов в рабочее состояние, соответствующее перекрытию доступа жидкости в цилиндр гидроударника и открытию каналов в керноприемную трубу на фазе бескерновой проходки интервала скважины; • возвращения ЗРС в исходное положение для разблокирования гидроударника при переходе от фазы размыва к фазе отбора керна.

### 2.1. Задачи аналитической оценки настроечных характеристик и управляющих параметров пусковых узлов гидроударного бурового снаряда

В соответствии с заложенным назначением, пусковые узлы в составе ГБС являются контуром питания гидроударной машины и одновременно выполняют функции переключателя с перекрытием рабочих камер гидроударника и открытием каналов для свободного прохода жидкости на забой скважины в режиме гидромониторного разрушения осадков.

Опыт разработок и эксплуатации буровых снарядов показал существенные положительные качества пусковых узлов с двухэлементным запорным устройством в виде концентрично размещенных относительно друг друга клапана и подпружиненного плунжерного золотника (рис. 1.12). В соответствии с общей классификацией, эти устройства условно можно от-

нести к двухкаскадным клапанам [83]. Однако, по отношению к таким запорным устройствам цикл перемещения элементов ЗРС гидроударного бурового снаряда имеет свои отличительные особенности. При срабатывании ЗРС клапаны 4 и 8, и поршень-золотники 3 и 9 начинают совместное движение не от седла, а из исходного положения установившегося прохода жидкости через щелевые зазоры клапанов. При опускании система «клапан – плунжерный золотник», и далее, после перекрытия клапанами щелевых зазоров (рис. 1.12, б), соответствующие пружины 5 и 11 остаются элементами торможения для продолжающего свое перемещение плунжерных золотников до открытия пропускных окон «а» в штоках 7 (ВПУ) и 12 (НПУ) (рис. 1.12, в).

Длительное нижнее состояние системы «клапан - плунжерный золотник» как ВПУ, так и НПУ обеспечивается перепадом давления в камере пускового узла, формирующимся на пропускных окнах «а».

Анализ режима возврата (перемещения вверх) элементов запорного устройства ВПУ и НПУ в исходное положение усложняется наличием двух взаимосвязанных фаз движения их элементов: самостоятельное движение плунжерных золотников 3 и 9 вверх до контакта с соответствующими клапанами 4 и 8 и совместное их перемещение.

При снижении подачи жидкости в гидросистему, при достижении определенного соотношения усилия сжатой пружины и силы давления в камере пускового узла, плунжерные золотники выполняет самостоятельное движение вверх, формируя запас кинетической энергии, достаточный для отрыва клапанов 4 и 8 от соответствующих седел 6 и 10. По мере перемещения плунжерных золотников перекрываются пропускные окна «а», что приводит к росту давления в камере пусковых узлов. Нарастающая сила торможения приводит к замедлению движения плунжерных золотников и одновременно увеличивает силу прижатия клапанов. Поэтому существенным становится анализ режима динамики плунжерного золотника с выяв-

лением условия достижения достаточной силы отрыва клапана от седла, зависящей от величины скорости соударения золотников с клапанами.

Таким образом, принципиальность схемы (рис. 1.12) и новые факторы, определяющие характер режима срабатывания запорного устройства, обуславливают необходимость проведения дополнительных исследований рабочего цикла системы «клапан – плунжерный золотник», а также разработку метода расчета и выбора параметров элементов пусковых узлов, с учетом их взаимосвязи с параметрами гидросистемы.

К задачам исследований относятся:

1 – определение настроечной характеристики  $R_Z$ , при котором ЗРС сохраняет неподвижное состояние в границах проектного значения  $Q$ ;

2 – определение управляющего параметра  $Q_1$ , формирующего силу  $R_{Q1}$ , нарушающую устойчивость элементов запорного устройства и обеспечивающую перемещение ЗРС с закрытием доступа жидкости в рабочие камеры гидроударника и открытием прохода жидкости на забой скважины;

3 – исследование процесса возврата ЗРС при переходе от фазы размыва породы к фазе бурения с отбором керна для достижения уровня управляющего параметра  $Q_2 \geq (0,4 - 0,5)Q$ , соответствующего условию запуска гидроударника.

При наличии неопределенных факторов (форма фактического прилегания клапана по фаске, эпюра давления на клапан и плунжерный золотник при их перемещении, волновой механизм реакции системы на срабатывание составляющих запорного устройства и др.), для получения рабочих зависимостей, соответствующих рабочим состояниям пусковых узлов целесообразно использовать допущения, не противоречащие естественным законам и соответствующие реальным условиям работы пусковых узлов. Такие допущения в основе своей определены в работах Неудачина Г.И., Эпштейна Е.Ф., Ясова В.Г. и др. [66, 97, 99]:

- жидкость безинерционна и несжимаема; плотность рабочей жидкости остается постоянной в течение рабочего цикла срабатывания независимо от величины давления;
- ввиду небольших размеров камеры пускового узла, по сравнению с длиной трубопровода, время пробега упругой волны по длине камеры мало по сравнению со временем распространения волны по трубопроводу и этим временем можно пренебречь;
- гидравлические сопротивления, зависящие от квадрата скорости движения составляющих запорного устройства, выражаются некоторой постоянной величиной;
- площадь прилегания клапана (золотника) соответствует контактными поверхностям седла;
- характеристика возвратной пружины линейная.

## 2.2. Определение настроечной характеристики пусковых узлов

В соответствии с общепринятыми признаками классификации, запорные элементы пусковых узлов гидроударных буровых снарядов относятся: по назначению – к пусковым; по конструкции – к пружинным; по характеру работы: клапан – к нормально открытым; плунжерный золотник – к нормально закрытым; по источнику срабатывания – от давления набегающего потока жидкости.

Расчет настроечной характеристики пускового узла осуществляется исходя из условия перепуска проектных расходов жидкости через его запорно-распределительный элемент. При этом элементы ЗРС находятся в неподвижном состоянии, соответствующему режиму запуска и эффективной работы гидроударника в процессе отбора керна (рис. 2.1).

Щель между седлом 3 и клапаном 2 открыта, а боковые (пропускные) окна «а», выполненные в штоке 5 закрыты плунжерным золотником 1. Запорно-регулирующая система «клапан-плунжерный золотник» (ЗРС) по отношению к

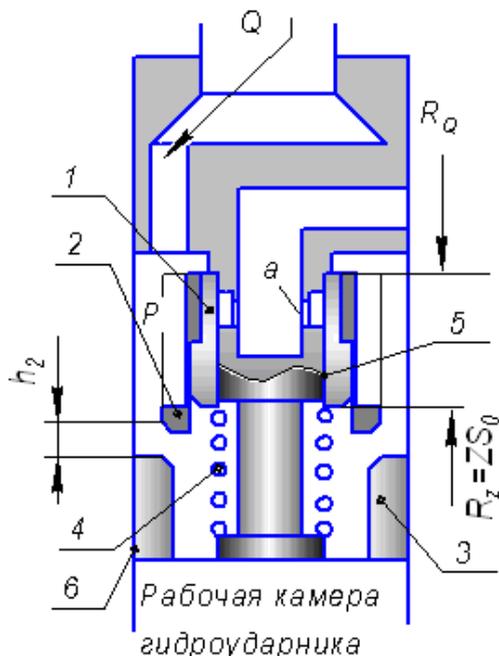


Рис. 2.1. Расчетная схема пускового узла в режиме работы гидроударника (состояние 1):

1 –плунжерный золотник ; 2 – клапан;  
3 – седло клапана; 4 - пружина; 5 – шток; 6 – корпус.

поток неподвижна и находится на некотором расстоянии  $h_2$  от седла 3. Поток жидкости в количестве  $Q$ , необходимым для эффективной работы гидроударника, поступает в рабочие камеры машины через пропускное сечение клапана 2 (кольцевой зазор между наружным диаметром клапана 2 и корпусом 6).

Устойчивое состояние ЗРС выполняется при обеспечении условия, когда сила давления в камере пускового узла  $R_Q = PF$  со стороны натекающего потока, уравновешивается силой деформации пружины  $R_z = ZS_0$ .

$$PF \leq ZS_0, \quad (2.1)$$

где  $P$  – давление в камере пускового узла;  $F = f_2 - f_5$  – результирующая площадь ЗРС;  $f_2, f_5$  – площадь тарелки клапана 2 и площадь сечения штока 5;  $Z$  и  $S_0$  – жесткость и предварительная деформация пружины 4.

Обычно в пусковых узлах имеет место соизмеримость результирующих площадей ЗРС в надклапанной и подклапанной полостях пускового узла, что дает основание при инженерном описании состояния не учитывать гиростатическую силу, обусловленную превышением координаты входного участка на-

гнетательного трубопровода над уровнем моря, величина которой, как правило, не превышает 4 м.

Допуская, что потери на трение при перемещении элементов ЗРС пренебрежительно малы, а также, принимая во внимание возможность снижения влияния пограничного слоя в окрестностях конусной щели клапана 2 (путем выбора  $h_2$ ), потери давления в пропускном канале клапана, определяются преимущественно потерями на входе и выходе из него [99]. При этом давление жидкости в камере пускового узла  $P$  обуславливается потерями напора в пропускном сечении клапана, как местном сопротивлении, зависящем от пропускаемого расхода  $Q$  и свойств проточной части ЗРС. Аналитическое выражение для определения  $P$  при расходе жидкости  $Q$  через площадь пропускного сечения клапана  $f$  имеет вид [2, 18, 99]:

$$P = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q}{\mu f} \right)^2; \quad Q = f \mu \sqrt{\frac{\rho P}{2}}; \quad (2.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода жидкости;  $f = f_6 - f_2$  – площадь пропускного сечения клапана;  $f_6$  – площадь сечения камеры пускового узла.

При требуемом расходе жидкости, определяющемся величиной  $Q$ , необходимой для эффективной работы гидроударного механизма, учитывая габаритные ограничения сечений элементов пусковых узлов, и, как следствие, малый диапазон увеличения  $f$ , скорость потока через пропускное сечение клапана находится в интервале 4...8 м/с и более. Поэтому, для рассматриваемого состояния 1 имеет место зона автотельности. Коэффициент расхода имеет практически постоянное значение вне зависимости от направления течения жидкости -  $\mu = 0,65$  [17, 18].

При рассмотрении зависимости (2.1) с учетом (2.2) видно, что условием равновесия ЗРС, поджатого пружиной, является выполнение необходимых со-

отношений  $R_z$  и функционально взаимосвязанных параметров  $P$  и  $Q$ . При этом величина  $P$  соответствует давлению начала перемещения системы ЗРС при номинальном расходе  $Q$ , необходимым для привода гидроударника.

Учитывая возможность, а часто и эксплуатационную необходимость изменять частотно-силовые характеристики гидроударника рабочий диапазон подачи жидкости в процессе бурения может оперативно уменьшаться или увеличиваться. Смена режима течения жидкости ведет к изменению силового воздействия потока на систему ЗРС. Поэтому, прежде всего, при форсировании режима работы гидроударника, обеспечение устойчивого положения элементов системы ЗРС для рассматриваемого состояния, предполагает некоторый запас  $R_z$ , для компенсации возросшей силы давления  $R_Q$ .

Вопрос заключается в выборе технологически необходимого превышения расхода жидкости  $\Delta Q$ , которое, как следствие, приводит к формированию некоторого дополнительного давления  $\Delta P$ , величина которого определяется новой скоростью потока в камере пускового узла. В соответствии с особенностями эксплуатации ПБС величина  $\Delta Q = kQ$  (где  $k$  - коэффициент превышения расхода жидкости, величина которого задается техническими условиями проектирования).

С учетом отмеченного, уравнение (2.1) приводится к виду

$$\frac{\rho}{2} \left[ \frac{(1+k)Q}{\mu f} \right]^2 \leq \frac{ZS_0}{F}. \quad (2.3)$$

Соотношение (2.3) является определяющим для обоснования параметров пускового узла. В каждом конкретном случае область изменения эффективных размеров ЗРС устанавливается с учетом ограничивающих факторов, которые связаны с необходимостью соблюдения соответствия диаметра корпуса пускового узла и ГБС. Это сужает поле варьирования геометрическими размерами

пускового узла и уменьшает количество и значимость элементов ЗРС, к которым можно отнести  $f_6$ ,  $f_2$ ,  $Z$ ,  $S_0$ .

В такой ситуации, процесс поиска решения, удовлетворяющего условию (2.1), целесообразно вести на основе анализа диапазона размеров одного из выделенных параметров в области проектных значений  $Q$ .

В технологическом плане, для выбранных параметров ЗРС, с сохранением условия  $R_Z \geq R_Q$  за пределами  $R_Q$ , при технологической необходимости увеличения или снижения значения  $Q$ , определяется величиной  $R_Z$ , что предполагает обоснованный выбор значения  $S_0$ , который для рассматриваемого режима, является настроечной характеристикой пускового узла в границах проектного изменения  $Q$ .

В соответствии с уравнением (2.3) при конструктивно заложенных размерах элементов системы ЗРС

$$S_0 \geq \frac{\rho \cdot F \cdot (1+k)^2 \cdot Q^2}{2\mu^2 \cdot Z \cdot f^2}. \quad (2.4)$$

Полученный параметр  $S_0$  при конструктивно заложенных величинах  $F$  и  $f$  рассматривается как единственная характеристика при котором ЗРС сохраняет неподвижное состояние в границах проектного значения  $Q$ .

### 2.3. Аналитическая оценка управляющих параметров пусковых узлов

Режимы работы гидроударного бурового снаряда при комбинированном разрушении пород по стволу скважины определяется соответствующими состояниями запорно-распределительных систем пусковых узлов.

Состояние 1. На фазе бескернового бурения гидроударник ГБС блокируется за счет увеличенной подачи жидкости в гидросистему. При этом управляющим параметром является расход жидкости  $Q_1$ , формирующий гидравлическую силу  $R_{Q1}$ , нарушающую устойчивость элементов запорного устройства и обеспечивающую перемещение ЗРС с закрытием доступа жидкости в рабочие камеры гидроударника и открытием прохода жидкости на забой скважины.

Состояние 2. Оперативный переход от фазы бескерновой проходки к фазе бурения с отбором керна выполняется за счет снижения подачи жидкости до уровня  $Q_2$ , для возврата запорно-распределительной системы пусковых узлов в исходное положение, соответствующее устойчивому состоянию ЗРС (рис.2.1)

Из опыта проектирования и эксплуатации гидроударных буровых отмеченный режим работы машины обеспечивается при расходе жидкости  $(0,4 - 0,5)Q$ , поэтому необходимым уровнем управляющего параметра  $Q_2$  является выполнение условия

$$Q_2 \geq (0,4 - 0,5)Q. \quad (2.5)$$

Функционально режим блокирования гидроударного механизма (состояние 1) обеспечивается подачей в гидросистему увеличенного расхода жидкости  $Q_1 > kQ$ . В камере узла повышается давление, величина которого  $P_{Q1}$  становится выше давления настройки  $P$  (2.2), определяющего положение ЗРС при работающем гидроударнике. Устойчивость элементов запорного устройства по условию (2.1) нарушается. Система ЗРС, преодолевая сопротивление пружины 4, начинает движение вдоль штока 5. При этом процесс срабатывания пускового узла можно условно разделить на два этапа:

этап I • перемещение ЗРС на ходе  $h_2$  до посадки клапана 2 на седло 3 (рис. 2.2, а);

этап II • торможение плунжерного золотника 1 на ходе  $h_1$  с открытием сливных окон «а» (рис. 2.2, б).

• На этапе I обеспечить полное закрытие щели клапана можно в том случае, если, при расходе  $Q_1$ , сила давления на ЗРС ( $R_{Q1} = P_{Q1}F$ ) превысит усилие пружины при сжатии ее на величину  $(S_0 + h_2)$

$$P_{Q1}F > Z(S_0 + h_2). \quad (2.6)$$

Для рассматриваемого состояния 1 на этапе I важным является определение необходимого расхода  $Q_1$ , при котором будет обеспечено перемещение ЗРС с посадкой клапана 2 на седло 3 (рис. 2.2, б). Перемещение системы ЗРС с преодолением сил торможения на пути  $h_2$ , определяется новым распределением давления со стороны натекающего потока. При сближении с седлом 3, на клапан 2 действует сила давления жидкости  $R_{Q1} = P_{Q1}F$ , которая является следствием потери напора в щели, как местном сопротивлении, и щелевого эффекта, связанного с преобразованием скоростных напоров по уравнению Бернулли.

По данным [99]  $P_{Q1}$  определяется преимущественно потерями на входе в пропускное сечение клапана  $P_1$  и выходе (у внутренней кромки конусной щели) из щели  $P_{щ}$ .

$$P_{Q1} = P_1 - P_{щ} = \zeta \frac{\rho V_{щ}^2}{2} = \zeta \frac{\rho Q_1^2}{2 f_{щ}^2}. \quad (2.7)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления клапана;  $f_{щ}$  – средняя площадь щели клапана;  $V_{щ}$  – скорость жидкости в щели клапана

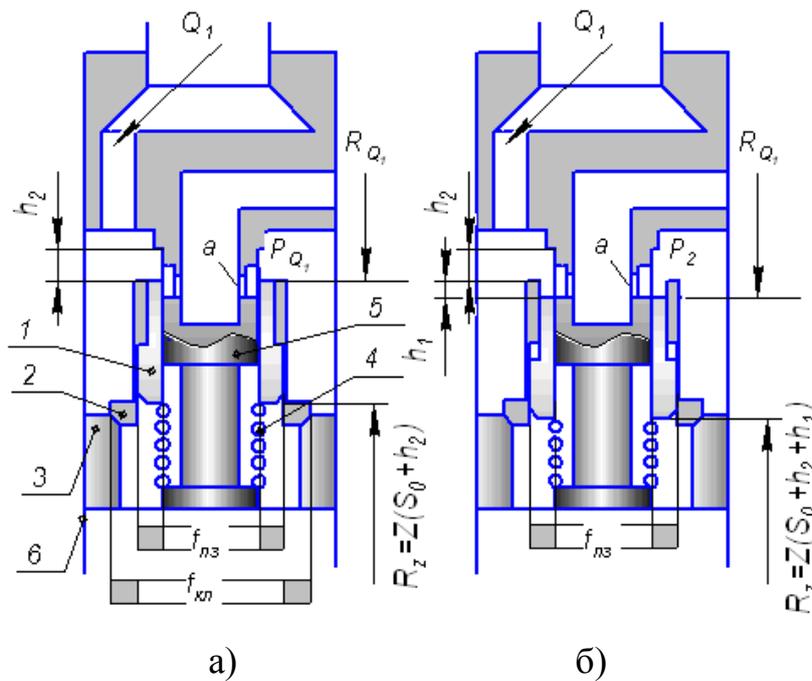


Рис. 2.2. Расчетная схема к оценке условия перемещения системы «клапан+плунжерный золотник» (позиции сохранены по отношению к рис. 2.1):

$f_{nz}$  – эффективная площадь плунжерного золотника 1;  $f_{кл}$  – эффективная площадь клапана 2.

$d$  – диаметр сечения конуса клапана по точкам пересечения с его сторонами перпендикуляров, опущенных на острые кромки седла 3.

В пусковых узлах ПБС конусный клапан 2 выполняется с плоской нижней поверхностью. Проектная степень подъема клапана  $h_2/d$  находится в диапазоне  $0,1 \leq h_2/d \leq 0,25$ . По данным [23] коэффициент сопротивления такого клапана в рассматриваемом диапазоне  $h_2/d$  при числе Рейнольдса  $>10^4$ , что соответствует режиму течения жидкости для стадии I, может быть определен по формуле

$$\zeta = 2,6 - \frac{0,8d}{h_2} + \frac{0,14d^2}{h_2^2}. \quad (2.8)$$

Расход жидкости, соответствующий выполнению условия (2.5), с учетом

Допуская среднее значение диаметра щели клапана  $d_{cp} = \frac{d_2 + d}{2}$ , и принимая во внимание, что угол при вершине конуса клапана 2 равен  $\alpha$  и соответствует углу отклонения потока в щели клапана [12, 84, 85], средняя площадь проходного сечения щели клапана определяется по выражению

$$f_{щ} = \pi d_{cp} h_2 \sin \alpha,$$

где  $d_2$  – диаметр тарелки клапана 2 (по острой на-

(2.6) и (2.8) записывается соотношением

$$Q_1 \geq f_{uz} \sqrt{\frac{2Z(S_0 + h_2)}{\rho F \left( 2,6 - \frac{0,8d}{h_2} + \frac{0,14d^2}{h_2^2} \right)}}. \quad (2.9)$$

С практической точки зрения полученное значение  $Q_1$ , при выбранных конструктивных элементах пускового узла является, технологическим параметром управления, обеспечивающим как контроль состояния ЗРС в диапазоне  $Q - Q_1$ , так и изменение состояния ЗРС при блокировании гидроударника. Кроме того, этот параметр обосновывает выбор бурового насоса, подача которого не должна быть меньше расчетного значения  $Q_1$ .

При определении  $Q_1$  дополнительным требованием является условие, при котором обеспечивается эффективное транспортирование по скважине жидкости, насыщенной частицами песка. Скорость потока в кольцевом пространстве скважины, из условия разрушения с «мертвых» зон скопления частиц песка по стволу скважины, должна быть не менее 0,29-0,31 м/с, что, например, при бурении скважин установками УМБ130 с использованием буровых снарядов ПБС-127 соответствует расходу жидкости  $Q_1 \geq 420$  л/мин [45].

- Этап II соответствует самостоятельному перемещению плунжерного золотника 1 на пути  $h_1$  с открытием пропускных окон «а» (рис. 2.2, б).

В начале этапа II плунжерный клапан имеет начальную скорость, соответствующую скорости клапана 2 в конце хода  $h_2$ , что является условием незначительности пикового роста давления в камере пускового узла. Проектный расчет системы ЗРС сводится к определению эффективной площади окон «а»  $f_{эф} = n f_a$ , обеспечивающей перепад давления в камере пускового узла  $P_2$  в конце хода  $h_1$ , для соблюдения условия длительного статического положение системы ЗРС при полностью открытых окнах «а»

$$P_2 f_{nz} \geq Z(S_0 + h_1 + h_2). \quad (2.10)$$

Аналитическая зависимость  $P_2$  от  $f_{эф}$ , при расходе жидкости  $Q_1$  имеет вид

$$P_2 = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q_1}{\mu f_{эф}} \right)^2. \quad (2.11)$$

Из условия (2.10) при выделенном значении  $Q_1$  и установленных конструктивных элементах пускового узла для соблюдения состояния 1, учитывая (2.11), эффективная площадь пропускных окон «а» оценивается зависимостью

$$f_{эф} \leq \sqrt{\frac{\rho Q_1^2 f_{nz}}{2Z(S_0 + h_1 + h_2)\mu^2}}. \quad (2.12)$$

Кроме рассмотренных условий (2.1), (2.5) и (2.10), существенным является обеспечение возврата ЗРС в исходное положение (рис.2.1), соответствующее режиму разблокирования гидроударника. Технологически эта операция предусматривается путем снижения силы, действующей на ЗРС как НПУ, так и ВПУ уменьшением подачи жидкости в гидросистему до величины  $Q_2$ . Необходимость такой операции обуславливается, прежде всего, требованием перекрытия пропускных окон нижнего пускового узла, направляющих поток в керноприемную трубу в процессе отбора керна.

Расчетная модель возвращения системы ЗРС показана на рис. 2.3.

Подъем ЗРС можно условно разделить на две фазы:

фаза 1 • перемещение плунжерного золотника 1 на пути  $h_1$  до соударения с клапаном 2 (рис. 2.3, а, б);

фаза 2 • перемещение системы ЗРС на пути  $h_2$  с открытием конусной щели клапана 2 (рис. 2.3, б).

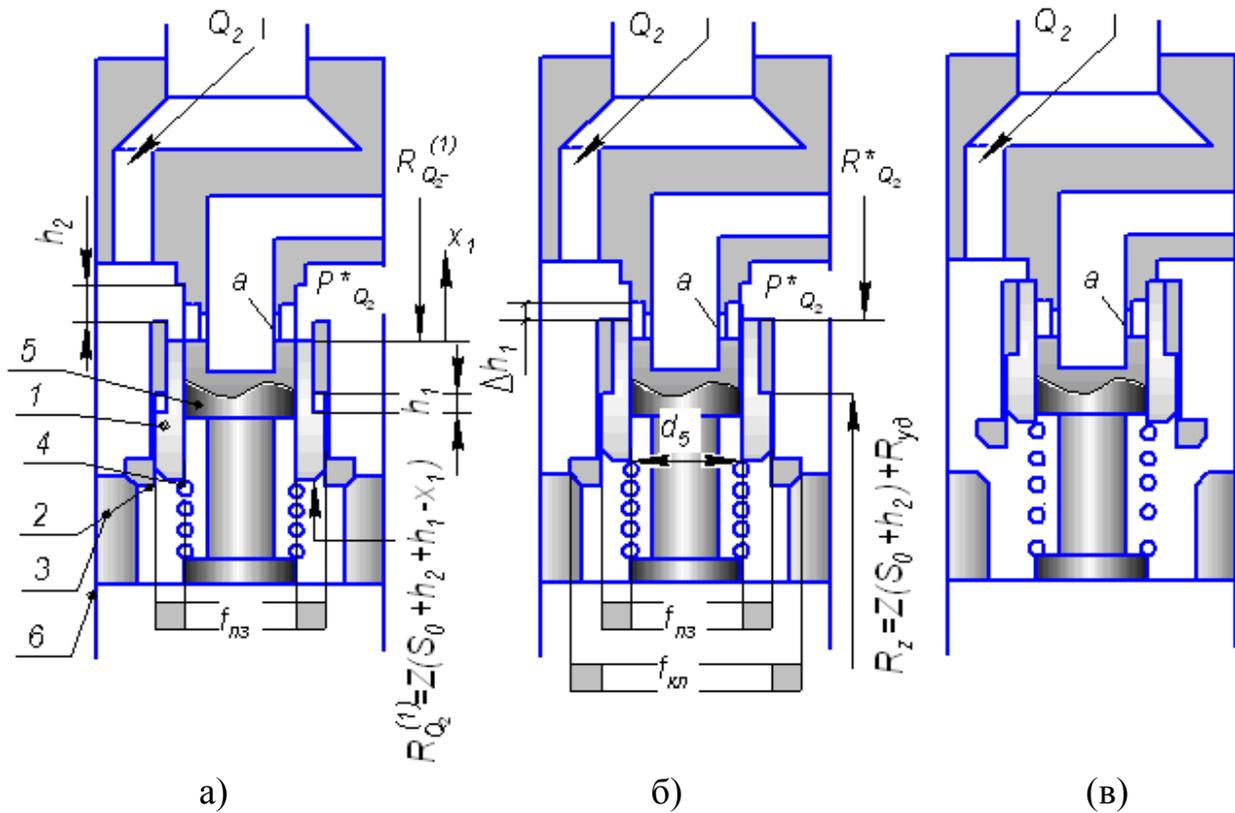


Рис. 2.3. Расчетная схема к оценке условия возврата ЗРС (позиции сохранены по отношению к рис. 2.1): а) – перемещение плунжерного золотника на пути  $x_1$ ; б) – соударение элементов ЗРС; в) – положение ЗРС в конце фазы 2.

• Фаза 1 является промежуточным процессом возврата запорно-регулирующей системы пускового узла при переходе от режима блокирования на режим запуска и работы гидроударного механизма. Силовая характеристика пружины на этой фазе  $R_Z^{(1)}$  и силы гидравлических сопротивлений движению плунжерного клапана  $R_{Q_2}^{(1)}$  в конце пути  $h_1$ , являются исходными для выбора соотношений отмеченных сил, устанавливающих условие отрыва клапана 2 от седла 3 (начало открытия конусной щели для прохода жидкости в камеры гидроударного механизма). Перемещение плунжерного золотника 1 обеспечится при соблюдении условия, когда усилие пружины  $R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_2 + h_1)$  превышает силу сопротивления  $R_{Q_2}^{(1)}$ .

В течение рассматриваемой фазы имеет место линейное снижение силы

сжатой пружины  $R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_1 + h_2 - x_1)$ , которая на пути  $x_1$  преодолевает силу инерции  $m_{нк} \ddot{x}_1$ , и силу гидравлических сопротивлений  $R_{Q2}^{(1)}$ , которая определяется ранее отмеченной зависимостью (1.11).

При наличии дроссельной щели  $\Delta h_1$ , соответствующей площади  $f_{\Delta h_1}$ , на протяжении некоторого пути  $x_1$  соблюдается условия  $f_{\text{эф}} \geq f_{\Delta h_1}$ . В этом случае, давление в камере пускового узла до момента  $f_{\text{эф}} = f_{\Delta h_1}$ , что соответствует условию  $\Delta h_1 = \frac{f_{\text{эф}}}{\pi d_5}$ , определяется формулой

$$P_{Q2}^* = \frac{\rho}{2\mu^2} \left( \frac{Q_2 + \frac{f_{нз}^2}{f_T} \cdot \dot{x}_1}{f_{\text{эф}}} \right)^2. \quad (2.13)$$

За границей  $x_1$ , при котором  $f_3 < f_{\Delta h_1}$ , гидравлические сопротивления движению поршня увеличиваются. К моменту контакта плунжерного золотника 1 с клапаном 2, давление в камере пускового узла ( $P_{Q2}^*$ ) будет зависеть от пропорционально уменьшающегося пропускного сечения дроссельной щели штока 5, имеющего диаметр  $d_5$

$$P_{Q2}^* = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q_2 + \frac{f_{нз}^2}{f_T} \dot{x}_1}{\mu \pi d_5 (h_1 - x_1 + \Delta h_1)} \right)^2, \quad (2.14)$$

Уравнение движения золотника с учетом изменяющейся гидравличе-

ской силы  $R_{Q_2}^* = P_{Q_2}^* \cdot f_{nz}$  на пути  $h_1 - x_1 + \Delta h_1$  имеет вид

$$m\ddot{x}_1 = Z(S_0 + h_2 + \Delta h_1 + h_1 - x_1) - P_{Q_2}^* f_{nz} - G. \quad (2.15)$$

Из уравнения (2.15) устанавливается скорость  $V_{h1}$  с последующим определением  $P_{Q_2}^*$  по (2.14) и силы  $R_{Q_2}^* = P_{Q_2}^* \cdot f_{nz}$ .

Результаты расчетов, при сохранении выше принятых исходных параметров (табл. 1.1), полученные для условия отрицательного перекрытия пропускных окон «а»  $\Delta h_1 = 4$  мм иллюстрируются рис. 2.4 и данными, приведенными в табл. 2.1 – 2.2.

Таблица 2.1.

Значение скорости плунжерного золотника  $V_{h1}$  при отрицательном перекрытии пропускных окон «а».

$t, \text{с}$	0,0004	0,0014	0,0017	0,004	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
$V_{h1}$ м/с	0,1	0,17	0,171	0,173	0,17	0,165	0,16	0,158	0,154	0,15	0,14

Таблица 2.2.

Расчетные данные параметров возврата ЗРС при отрицательном перекрытии пропускных окон «а».

$R_{y\partial}, \text{Н}$	$R_{Q_2}^{(2)}, \text{Н}$	$Q_2,$ л/мин	$R_Z^{(1)} = Z(S_0 + h_1 + h_2)$	$R_Z^{(2)} = Z(S_0 + h_2 + \Delta h_1)$
2675	892,8	170	456	408

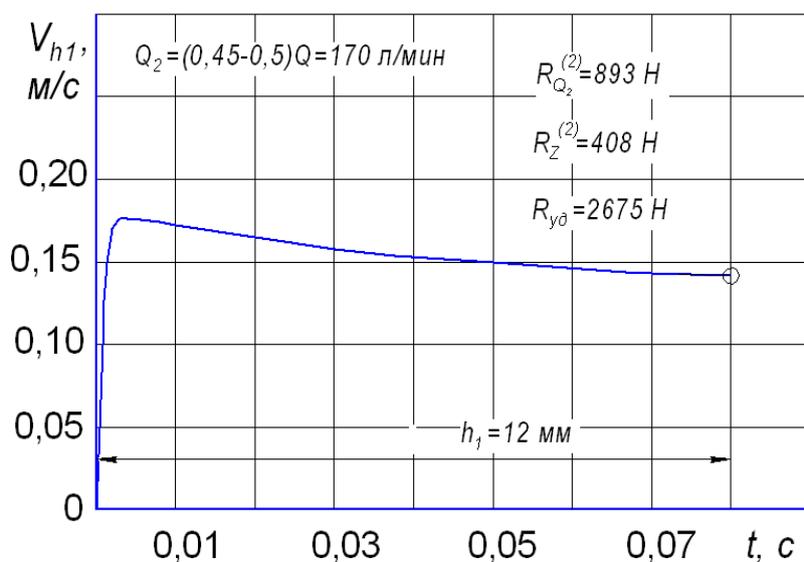


Рис. 2.4. График зависимости  $V_{h1}$  от времени перекрытия окон «а» на пути  $h_1$  и параметров возврата ЗРС при отрицательном перекрытии пропускных окон «а»

$Q_2=170$  л/мин близкой к настроечной характеристике, соответствующей условию (2.5).

В целом, изложенный метод характеризуется определенной последовательностью выбора технологических параметров управления пусковыми узлами ( $R_Z$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$ ):

1. При проектном значении расхода жидкости  $Q$  условие (2.1) является определяющим соотношением для выбора  $R_Z$ . Параметр  $S_0$ , для компенсации гидравлической составляющей силы, стремящейся нарушить устойчивое состояние ЗРС в режиме работы гидроударного механизма, вычисляется по формуле (2.4).

2. Для выбранных конструктивных элементов пускового узла, по (2.9), определяется минимальный расход жидкости  $Q_1$ , при котором будет обеспечено перемещение системы ЗРС с посадкой клапана 2 на седло 3. В соответствии с (2.12), определяется эффективная площадь пропускных окон «а», перепад

В соответствии с полученными расчетными данными, использованием ЗРС с отрицательным перекрытием пропускных окон, достигается снижение реакции  $R_{Q_2}^*$  при одновременном увеличении  $V_{h1}$ , что обуславливает существенное увеличение и значимость  $R_{y\delta}$  для отрыва клапана 2 от седла 3, при величине

давления на которых формирует гидравлическую силу  $R_{Q_1}$  для длительного удержания ЗРС в нижнем положении.

5. Величина  $Q_2$ , соответствующая условию разблокирования гидроударного механизма, устанавливается из соотношения (2.5) с выбором отрицательного перекрытия окон  $\Delta h_1$ , при котором выполняется условие (1.10).

#### 2.4. Анализ расчетных характеристик пусковых узлов

В разделе приведены результаты анализа основных зависимостей, полученных с применением разработанного метода расчета пускового узла для обоснования параметров и характеристик срабатывания ЗРС на фазах, предусмотренных состоянием гидроударного бурового снаряда в процессе комбинированного разрушения пород на интервале скважины.

В основу получения рекомендаций при выборе элементов ЗРС положены как особенности их конструкции с точки зрения практической доступности выполнения этих элементов, так и закономерности изменения силовых характеристик в рабочей камере пускового узла с оценкой параметров оперативного управления ЗРС в периоды блокирования и разблокирования гидроударного механизма.

При изучении основных закономерностей изменения параметров управления и степени влияния конструктивных элементов ЗРС на соблюдение соотношений (2.3), (2.4), (2.5), (2.9), (2.10), (2.12), (1.10), использованы особенности конструкции ГБС-127 для установок типа УМБ-130М:

- диаметр корпуса пускового узла (по диаметру ГБС) - 127 мм, с конструктивно заложенным внутренним диаметром – 111 мм;
- габаритные и силовые характеристики пружины (из условия унификации ЗРС нижнего и верхне-

го пусковых узлов, с учетом сортаментности и ограничений): наружный диаметр – 68 мм; диаметр проволоки – 8 мм; шаг навивки – 18 мм; жесткость ( $Z$ ) – 6000 Н/м; • диаметр штока – 50 мм; • диапазон изменения расхода жидкости на привод гидроударного механизма – 300...350 л/мин; • диапазон изменения расхода жидкости в режиме размыва породы – 450...500 л/мин.

Определяющим условием для обоснования параметров пускового узла является соотношение (2.3). Технологическим требованием выделенного соотношения является способность ЗРС удерживать гидравлическую нагрузку  $R_Q$ , обеспечивая неподвижность клапана и плунжерного золотника силой  $R_Z$  при подводе к пусковому узлу проектных значений  $Q$ .

Процесс поиска решения, удовлетворяющего отмеченному условию, целесообразно вести на основе анализа графического материала в виде группы кривых, построенных при изменении одного из значимых параметров ЗРС, а получение пределов рабочей области, соответствующей эффективному диапазону размеров выделенного параметра в области проектных значений  $Q$ , ограничивается величиной  $R_Z$ , при преимущественном влиянии на его размер силы  $R_Q$ .

Расчетные кривые  $R_Q$  для различных значений  $d_2$  (рис. 2.5) позволяют выделить поле «п», граница которого для проектного значения  $Q$  соответствует выполнению условия  $R_Z > R_Q$ . В целом, полученный характер смещения границы поля «п» для любого заданного (проектного) значения  $Q$ , при конструктивно заложенном диаметре клапана  $d_2$ , обеспечивает возможность получения вполне определенной величины  $R_Z$  (за счет изменения предварительной деформации пружины  $S_0$ ), при проектировании рабочего режима пускового узла для соблюдения условия (2.1).

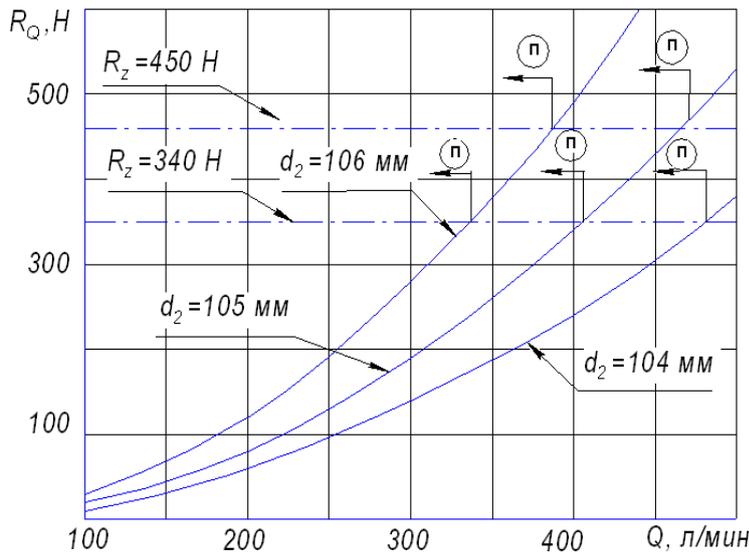


Рис. 2.5. Зависимости к определению  $d_2$  в области устойчивого положения ЗРС бурового снаряда ГБС-127 с соблюдением условия  $R_Z > R_Q$

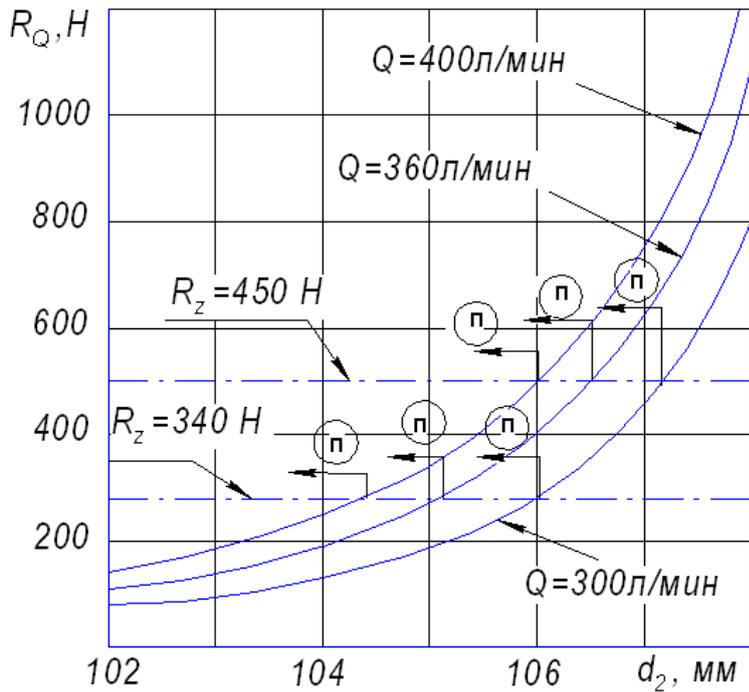


Рис. 2.6. Зависимости к определению  $d_2$  в области устойчивого положения ЗРС бурового снаряда ГБС-127 при заданных значениях  $Q$  с соблюдением условия  $R_Z > R_Q$

Так, для проектных расходов  $Q=260$  и  $300$  л/мин при диаметре клапана  $d_2=106$  мм и величине  $d_6=111$  мм, условие удержания нагрузки  $R_Q$  выполняется, соответственно при  $R_Z=340$  и  $425$  Н. При известном параметре  $Z$  необходимая сила деформации пружины обеспечивается, соответственно, при  $S_0=59$  мм и  $72$  мм.

Для условий, когда параметр  $Q$  имеет вполне определенное значение, определяющийся номинальным расходом жидкости для эффективной работы гидроударного механизма, поле значений  $d_2$  оценивается кривыми функциональной связи  $d_2 = f(R_Q)$  (рис. 2.6).

Значение  $d_2$  фиксируется точкой пересечения кривой  $R_Q$  и величиной  $R_Z$ . При этом для более высокого уровня  $Q$ , что соответствует более интенсивному росту  $R_Q$

( на примере это кривые  $R_Q$  при изменении  $Q$  от 300 до 400 л/мин), граница поля «п» смещается в сторону меньшего значения  $d_2$ , вследствие увеличения площади пропускного сечения клапана ( $f_2$ ). Одновременно, учитывая жесткие габаритные ограничения, обуславливающие границы изменения  $d_2$ , приведенные зависимости свидетельствуют о рабочей доступности соблюдения условия  $R_Z > R_Q$  за счет изменения уровня  $R_Z$  выбором параметра  $S_0$ , определяемого формулой (2.4).

По условию (2.5), параметры  $d_2$  и  $h_2$  взаимосвязаны и являются образующими величинами для определения площади конусной щели клапана. В табл. 2.1 приведены значения  $h_2$  для установленных величин диаметра тарелки клапана  $d_2$  при различных расходах жидкости. Величина  $R_Q$ , зависящая от  $Q$ , рассматривается как предельная нагрузка перед смещением ЗРС.

В целом, расчетная связь  $h_2 = f(Q)$  близка к линейной зависимости и для известных исходных данных и выбранных  $d_2$  (в соответствии с рис. 2.5 и 2.6) параметр  $h_2$ , для номинальных  $Q=300\dots340$  л/мин, находится в диапазоне 7 - 8 мм (табл. 2.3).

Таблица 2.3.

Расчетные данные зависимости  $h_2 = f(Q)$ , для фиксированных значений  $d_2$

$d_2$ , мм	$h_2$ , мм	$Q$ , л/мин	$R_Q$ , Н	$d_2$ , мм	$h_2$ , мм	$Q$ , л/мин	$R_Q$ , Н
106	0,005	126	366	104	0,005	128	366
	0,006	189	372		0,006	191	372
	0,007	266	378		0,007	269	378
	0,008	358	384		0,008	363	384
	0,009	465	390		0,009	471	390
	0,010	586	396		0,010	594	396
	0,011	721	402		0,011	731	402

## 2.5. Выводы

1. На основе анализа предусмотренных состояний ЗРС выделены образующие параметры ЗРС (площадь пропускного сечения  $f$  и высота подъема  $h_2$  клапана, ход плунжерного золотника  $h_1$ , эффективная площадь клапана  $f_{кл}$  и плунжерного золотника  $f_{пз}$ ) и установлены зависимости для определения настроечной характеристики и управляющих параметров пусковых узлов.

2. Настроечная характеристика определена в виде фиксированного значения предварительной деформации пружины  $S_0$ , обеспечивающей сохранение условия  $R_Z \geq R_Q$ , в том числе, за пределами гидравлической нагрузки  $R_Q$  при эксплуатационной необходимости изменения величины  $Q$ . Определение образующих параметров выполнено из условия обеспечения неподвижности клапана и плунжерного золотника силой пружины  $R_Z$ , удерживающей гидравлическую нагрузку  $R_Q$ , формирующуюся на результирующей площади ЗРС при подводе к пусковому узлу проектных значений расхода жидкости  $Q$ , соответствующих состоянию эффективной работы гидроударного механизма.

3. Процесс поиска решения, удовлетворяющего условию  $R_Z \geq R_Q$ , предложено вести на основе анализа графического материала в виде группы кривых  $R_Q$ , построенных при изменении одного из значимых параметров ЗРС, при этом получение пределов рабочей области, соответствующей эффективно-му диапазону параметра в области проектных значений  $Q$ , ограничивается величиной  $R_Z$ .

4. Получена аналитическая зависимость для расчета управляющего параметра  $Q_1$ , при котором выполняется процесс перемещения ЗРС на фазе блокирования гидроударного механизма. Для количественного соблюдения усло-

вия  $R_{Q1} \geq R_{Z1}$  установлено соотношение для выбора эффективной площади пропускных окон  $f_{эф}$ , соответствующей установленным значениям  $f_{нз}$ ,  $Q_1$ , и  $R_{Z1} = Z(S_0 + h_2 + h_1)$ .

5. Обоснована возможность возврата ЗРС при  $Q_2 \geq (0,4 - 0,5)Q$  за счет использования ЗРС отрицательным перекрытием окон штока  $\Delta h_1$ . Наличие дроссельного канала площадью  $f_{\Delta h_1}$ , перед контактом плунжерного золотника и клапана, обуславливает снижение реакции  $R_{Q2}$  при одновременном увеличении  $V_{h1}$ , что приводит к существенному увеличению и значимости  $R_{y\partial}$  для отрыва клапана от седла, повышения уровня  $Q_2$  с соблюдением условия  $R_{Q2} < R_{y\partial} + R_{Z1}$ .

6. Разработан метод расчета пусковых узлов гидроударного бурового снаряда (ГБС), позволяющий количественно оценить параметры и технологические режимы оперативного управления запорно-регулирующей системой (ЗРС) узлов с учетом ограничивающих факторов, соответствующих условиям проектирования и эксплуатации ГБС.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ ГИДРОУДАРНОГО БУРОВОГО СНАРЯДА

#### 3.1. Задачи, практическая направленность и методика экспериментальных исследований

В соответствии с направленностью разработок по теме диссертации, развитие способа многорейсового бесколонного бурения скважин предполагает, прежде всего, расширение функций гидроударного бурового снаряда с точки зрения обеспечения снарядом возможности комбинированного способа разрушения осадков с последовательной реализацией проходки сплошным забоем и бурения с отбором керна на заданном отрезке ствола скважины.

Технической основой решения задачи является использование в структуре ГБС управляющих устройств, для периодического закрытия и открытия контура питания гидроударного механизма:

- на фазе бескернового бурения - блокирование доступа воды, в рабочие камеры гидроударника, с открытием каналов для прохода потока жидкости на забой скважины;
- на фазе отбора керна - разблокирование гидроударника, обеспечивая поступления воды только в гидроударный механизм при одновременном закрытии доступа воды в керноприемную трубу.

Выделенные функции ЗРС, как управляющих устройств ГБС, учитывая непрерывный характер фактического цикла комбинированной проходки интервала скважины, являются строго взаимозависимыми. При этом согласованность срабатывания пусковых узлов определяется надежностью увязки кинематических, динамических и геометрических характеристик ЗРС с параметрами их

управления. Эта особенность учтена при проведении экспериментальных исследований пусковых узлов, которые выполнены в три этапа.

Задачи первого этапа заключались в проверке соответствия реальных технологических режимов оперативного управления ЗРС, аналитическим зависимостям, формализованных формулами (2.4, 2.9, 2.17 и 2.23). Решение задачи рассматривалось, как с точки зрения оценки совпадения результатов расчетных и фактических данных, так и для получения практических рекомендаций для выбора настроечных характеристик пусковых узлов снарядов ПБС-127, выполненных по схеме, показанной на рис. 1.8 и подготовленных в период проведения эксперимента к эксплуатации.

На втором этапе исследования расширены сопоставлением аналитических и экспериментальных значений образующих параметров пусковых узлов снаряда ГБС-127, выполненных по схеме, показанной на рис.1.9, обеспечивающих предусмотренные состояния ЗРС при различных значениях силы давления жидкости в камере пускового узла, определяющейся рабочим диапазоном расходов жидкости. Характер взаимосвязи  $R_Q$ ,  $R_{Q_1}$  и элементов пускового узла оценивался при изменении одного из параметров ЗРС при соблюдении равенства других условий опыта.

Третий этап выполнен на стадии проектирования и лабораторных исследований ЗРС с различным характером перекрытия пропускных окон пускового узла. Выполнена проверка аналитического вывода главы 2, касающаяся оценки разработок, обеспечивающих процесс возвращения ЗРС в исходное положение, при расходе жидкости  $Q_2$ , близко соответствующему условию запуска и стабильной работы гидроударного механизма ГБС.

Практическая направленность исследований заключается в использовании полученных результатов для научного обоснования конструктивных элементов пусковых узлов, комплексно обеспечивающих:

- устойчивую работу гидроударника при проектном расходе жидкости  $Q$ , являющимся номинальным для работы ГБС на фазе отбора керна;

- надежное срабатывание ЗРС с перекрытием доступа жидкости в цилиндр гидроударника (с помощью ВПУ) и открытию пропускных окон для прохода жидкости в керноприемную трубу (с помощью НПУ) при расходе  $Q_1$  на фазе бескернового бурения;

- соблюдение условия возвращения ЗРС в исходное положение, при переходе от фазы бескернового бурения к фазе отбора керна, при снижении подачи насоса до величины  $Q_2$ , соответствующей условию запуска гидроударника или близкой к значению  $Q$ .

Исследования проведены экспериментально-аналитическим методом. Оценка и количественное сопоставление фактических и расчетных данных выполнены на основе обработки и анализа прямых измерений расхода жидкости, давлений в камере пускового узла и скорости перемещения его элементов (клапана и плунжерного золотника), при различных физических и конструктивных параметрах ЗРС при проектно доступной области их изменения. Значения  $R_{Q_2}^*$  и  $R_{y\delta}$  устанавливались косвенно с учетом фактически полученных данных по приведенным в диссертации расчетным зависимостям. Исходные для расчета принимались те же, что и для экспериментов.

### 3.2. Объект исследований, экспериментальная установка, измерительная и регистрирующая аппаратура и приборы

Для проведения исследований разработана экспериментальная установка, включающая механический блок для размещения и привода объекта исследований (рис. 3.1) и измерительный стенд для регистрации и оперативного измерения данных (рис. 3.3).

Учитывая, что для получения полной характеристикой режима работы

пусковых узлов необходим широкий диапазон изменения расходов жидкости, установка комплектовалась двумя буровыми насосами НБ-4 и НБ-5, с суммарной подачей 600 л/мин.

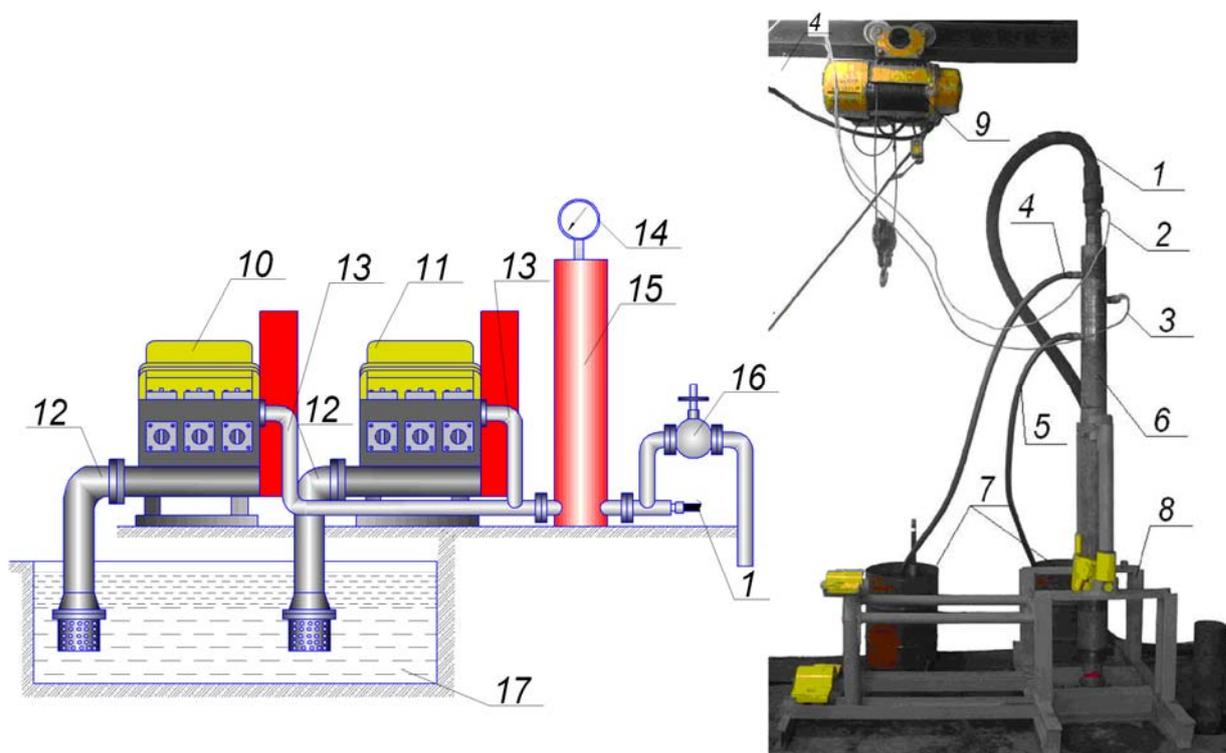


Рис. 3.1. Экспериментальная установка для исследования пусковых узлов гидроударного бурового снаряда:

1 – нагнетательный шланг; 2 – кабель проволочных выводов датчика скорости ВПУ; 3 – кабель датчика давления ВПУ; 4, 5 – шланги для слива жидкости из камер пускового узла; 6 – ГБС; 7 – мерные емкости; 8 – опорная станция; 9 – тельфер; 10 - буровой насос НБ5; 11 – буровой насос НБ4; 12 – всасывающие коллекторы насосов; 13 – патрубки нагнетательных коллекторов насосов; 14 – манометр; 15 - компенсатор; 16 – регулировочный вентиль; 17 – зумпф.

В качестве объекта исследований использованы натурные образцы гидроударных буровых снарядов ПБС-127 и ГБС-127, и адаптированные к ним пусковые узлы, изготовленные в соответствии с принципиальными схемами, приведенными на рис. 1.8 и 1.9. Основная часть лабораторных опытов выполнена при исследовании ГБС-127, с конструкторскими проработками для раз-

мещения датчиков давления и датчиков скорости перемещения клапана и плунжерного золотника.

Базовые параметры исследуемого натурального образца ГБС-127 и элементов ЗРС приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Параметры объекта исследований

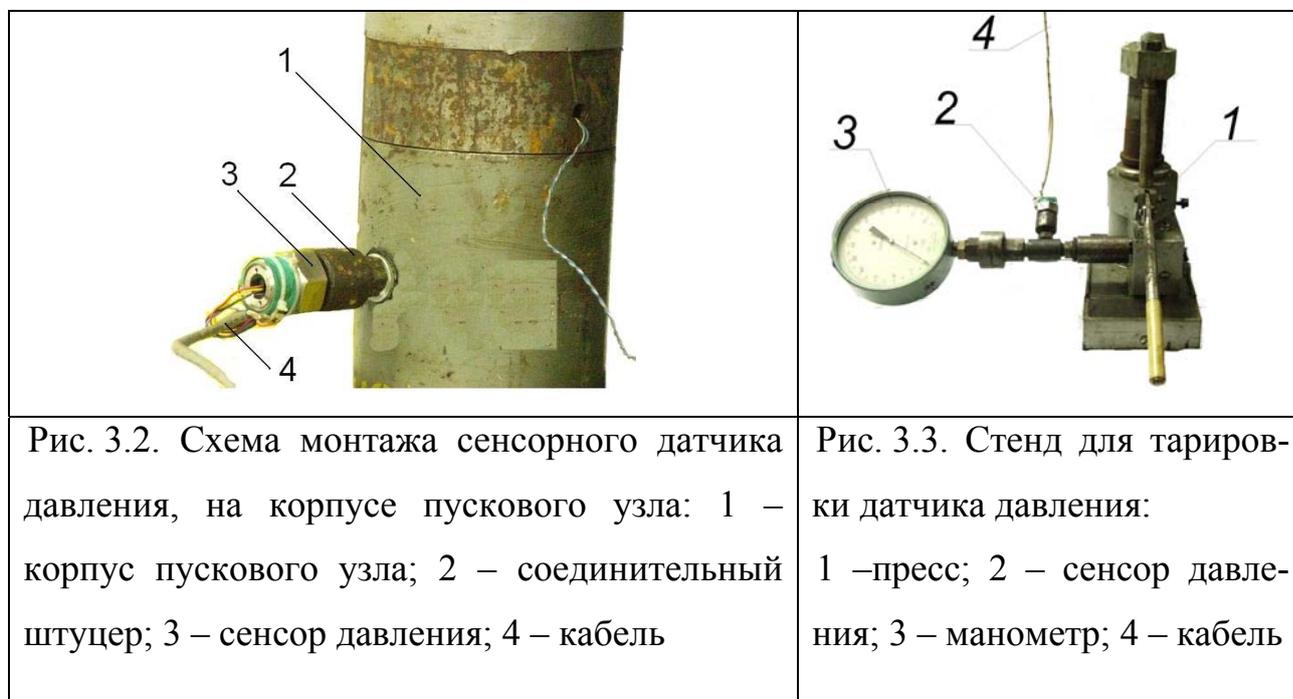
№	Параметр	Значение
1. Гидроударник		
1.1	Наружный диаметр корпуса, мм.	127
1.2	Номинальный диапазон подачи насоса на привод гидроударника, л/мин	300-350
2. Пусковые узлы		
2.1	Наружный диаметр корпуса, мм.	127
	Внутренний диаметр корпуса ( $d_6$ ), мм	111
2.2	Диаметр клапана ( $d_2$ ), мм.	106
2.3	Наружный диаметр плунжерного золотника ( $d_1$ ), мм	80
2.4	Диаметр штока ( $d_5$ ), мм	50
2.5	Диаметр ( $d_a$ ) и количество пропускных окон штока, мм/шт	12/4
2.6	Ход клапана ( $h_2$ ), мм	8
2.7	Ход плунжерного золотника ( $h_1$ ), мм	12
2.8	Длина / диаметр проволоки / диаметр пружины, мм	245/6/67
2.11	Жесткость пружины ( $Z$ ), Н/м	6000

Начальные измерения исследуемых параметров, выполнялись при базовых характеристиках элементов ЗРС:  $f_{кл}$ ,  $f_{эф}$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ . В дальнейшем, опытная оценка наблюдений производилась при измененных значениях выделенных элементов ЗРС, в том числе, полученных путем механической обработки. Учитывая проектные ограничения, размерные характеристики пружины принима-

лись постоянными. Диапазон  $R_Z$  обеспечивался увеличением или уменьшением предварительной деформации пружины  $S_0$ , в основном, за счет использования регулировочных колец толщиной 1...5 мм, путем концентричного их размещения на штоке пускового узла.

Величина подачи жидкости в пусковой узел устанавливалась объемным методом в виде разницы полной подачи насоса  $Q_n$  и расхода жидкости через сливной патрубок регулировочного вентиля  $Q_{nc}$ , и дополнительно дублировалась, путем сопоставления его с количеством жидкости, выходящей из камеры пускового узла и выхлопные каналы распределительного переходника гидроударника через сливные шланги 4 и 5.

Для измерения давлений в камере пускового узла использовался стандартный сенсор давления МРМ 280 с диапазоном измерения 0~20 кПа...35 МПа. Датчик 3 закреплялся на корпусе 1 пускового узла через соединительный штуцер 2 (рис. 3.2). Контакты измерительного моста сенсора через кабель 4 соединялись с регистрирующей аппаратурой.



Тарировка датчика давления производилась гидравлическим прессом (рис. 3.3) с помощью грузопоршневого манометра МП-2500, при использовании образцового манометра с ценой деления 5 кПа, что позволило провести тари-

ровку с высокой точностью. При тарировке давление жидкости изменялось ступенями от нуля до величины на 15-20 % выше величины измеряемого давления. Ступенчатое увеличение или уменьшение давления повторялось не менее трех раз.

Для измерения скорости перемещения клапана и плунжерного золотника разработаны индукционные датчики в виде магнитного сердечника и проволочной катушки (рис. 3.4).

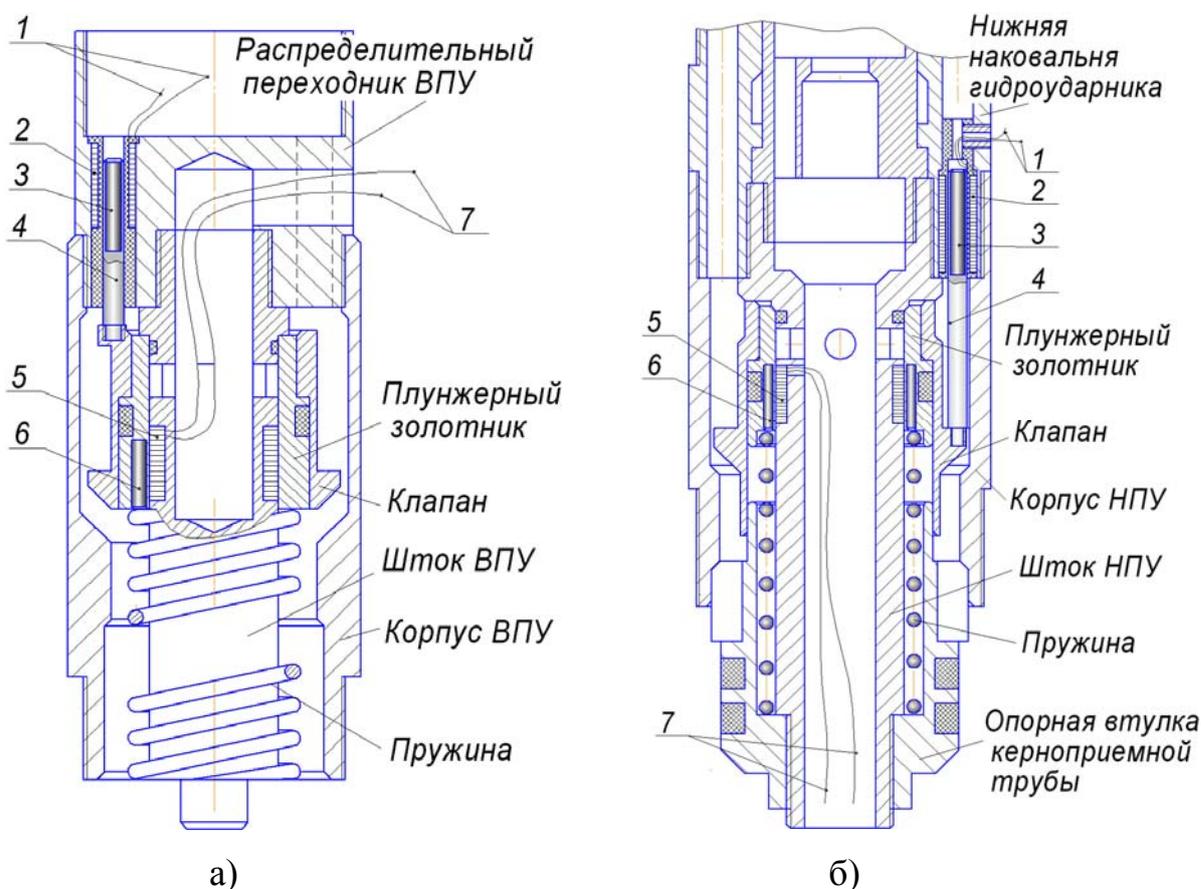


Рис. 3.4. Конструкция и размещение датчиков скорости перемещения элементов ЗРС верхнего пускового узла (а) и нижнего пускового узла (б):

1 – проволочные выводы катушки датчика скорости клапана; 2 – проволочная катушка датчика скорости клапана; 3 - магнитный сердечник датчика скорости клапана; 4 - удлинитель магнитного сердечника; 5 – проволочная катушка датчика скорости плунжерного золотника; 6 - магнитный сердечник датчика скорости плунжерного золотника; 7 – проволочные выводы катушки датчика скорости плунжерного золотника.

При перемещении магнитного сердечника внутри катушки, в обмотках последней возбуждается Э.Д.С. индукции, которая фиксировалась с помощью аналогового цифрового преобразователя (АЦП). Тарировка датчиков скорости проводилась на специальном тарировочном стенде (рис. 3.5). Изменение скорости вращения кривошипа и, следовательно, скорости перемещения магнитного сердечника, связанного с шатуном посредством тяги, осуществлялось вариатором скорости. Число оборотов вала кривошипа через прерыватель фиксировалось счетчиком. Катушка датчиков скорости жестко фиксировалась хомутом.

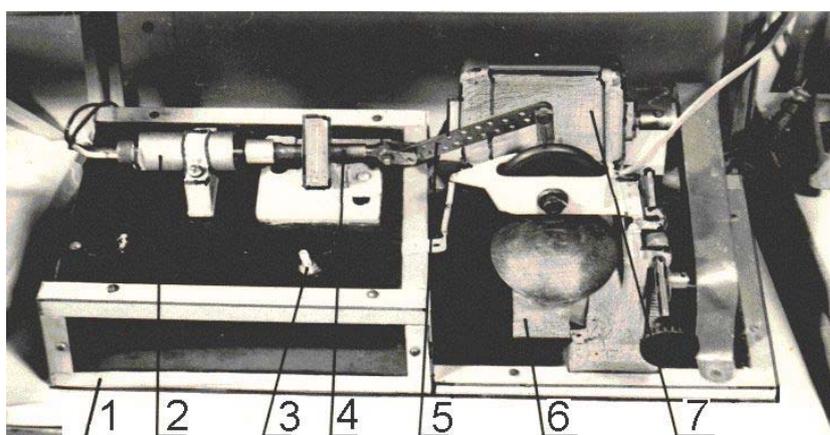


Рис. 3.5. Стенд для тарировки датчиков скорости:

1 – корпус; 2 – проволочная катушка; 3 – тумблер; 4 – магнитный сердечник; 5 – кривошипно-шатунный механизм; 6 – вариатор скорости; 7 – электродвигатель

При обработке осциллограмм скорость перемещения магнитного сердечника ВПУ и НПУ определялась по методике, изложенной в работе [98]

$$V = Mvh, \quad (3.1)$$

где:  $Mv = \frac{S}{F_{oc}M_t}$  – масштаб скорости для осциллограммы,  $\frac{м}{мм \cdot с}$ ;

$S$  – ход магнитного сердечника, м;

$F_{oc}$  – площадь осциллограммы, заключенная между осью абсцисс и ли-

нией, описывающей скорость клапана (плунжерного сердечника) на заданном пути, мм<sup>2</sup>;

$M_t$  – масштаб времени для осциллограммы, с/мм;

$h$  – высота осциллограммы, мм.

Структура АЦП и схема поступления и отражения на экране измеренных данных показана на рис. 3.6.

Электрический сигнал, поступающий от датчиков по соответствующим проволочным выводам на плату аналогового цифрового преобразователя (АЦП), вставленную в персональный компьютер, преобразуется в цифровой сигнал, который с помощью программы обработки данных обеспечивает получение графического изображения процесса и оперативное измерение данных наблюдения.



Рис. 3.6. Измерительно-регистрающая схема стенда

В общем случае, модуль АЦП позволяет измерять значения напряжения (или тока) по 32 каналам в произвольном порядке с электронным переключением коэффициента усиления и с гальванической развязкой от электрических цепей компьютера с программным вводом-выводом по 24 не развязанным линиям и осуществлять автоматический режим работы модуля (с выбором информации о номере включаемого канала и коэффициенте усиления из предварительно запрограммированной области ОЗУ модуля).

По сигналам установленного на плате таймера осуществлялся запуск преобразования АЦП с заданным интервалом. После выполнения заданного числа измерений, чтение результатов производилось после обнаружения сигнала готовности с платы. Информация из ОЗУ по сигналам запуска от таймера выводилась как в регистр АЦП (номер канала, коэффициент усиления, режим одно-двуполярный), так и на ЦАП. В последнем случае АЦП производил измерения по последним установкам номера канала и усиления, а результат измерения заносился в ОЗУ.



Рис. 3.7. Стенд для тарировки пружины:

1 –динамометр; 2 – тяга;  
3 –пружина; 4 – станина

Программное обеспечение АЦП дополнено возможностью автоматического ввода в память прецизионного модуля АЦП данных тарировки, как датчиков скорости, так и датчиков давления с дальнейшим использованием их для определения фактически измеренных величин давления и скорости движения клапана и плунжерного золотника.

При подготовке ЗРС к эксперименту силовая характеристика пружин ВПУ и НПУ измерялась с использованием образцового динамометра ДПУ – 01/2 с ценой деления 5 Н (рис. 3.7).

На этапе предварительной оценки режимов работы ПУ выполнялся анализ характера изменения состояний ЗРС верхнего и нижнего пусковых узлов при вертикальном и горизонтальном положении ГУ.

Опыты проведены, как с гидроударником, так и без гидроударника. При установленной качественной и количественной идентичности процесса изменения состояний ЗРС и, учитывая габаритные ограничения экспериментальной установки, основная часть измерений выполнена при размещении исследуемых ЗРС в горизонтальном положении (рис. 3.8).

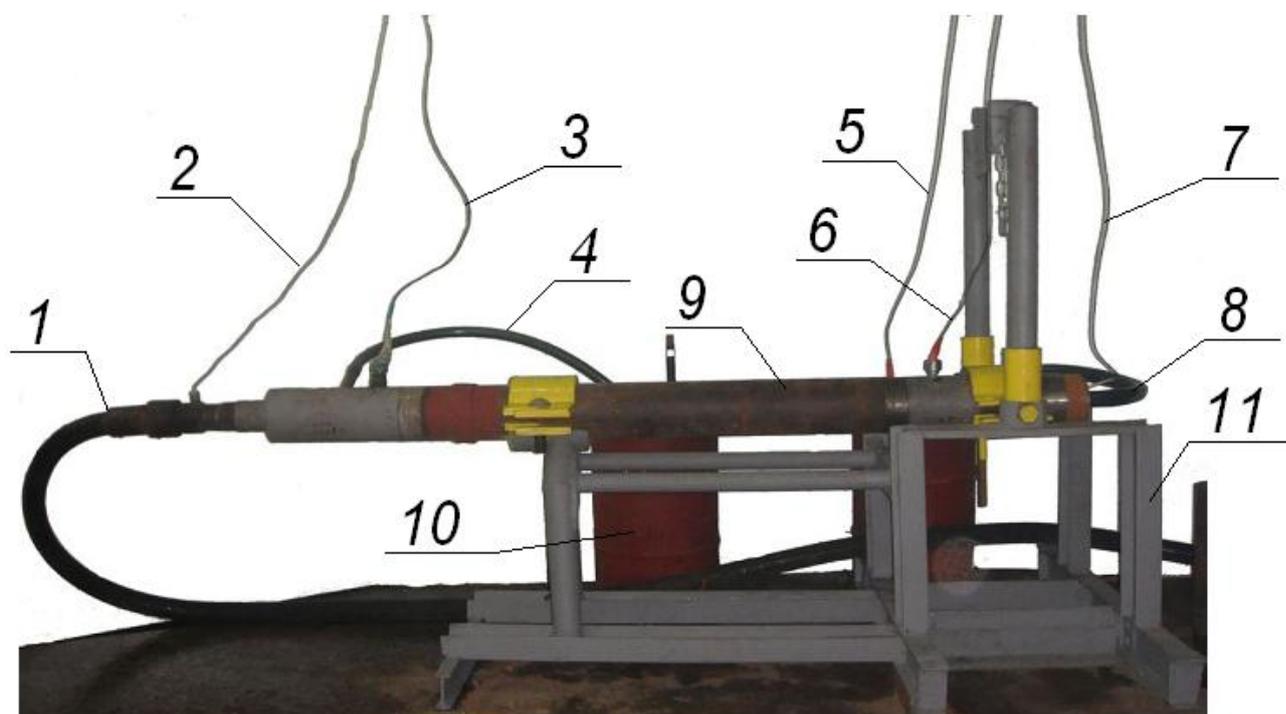


Рис. 3.8. Горизонтальное размещение элементов исследуемого оборудования в опорной станине механического блока экспериментального стенда.

1 – нагнетательный шланг; 2 – кабель проволочных выводов датчика скорости ВПУ; 3 – кабель датчика давления ВПУ; 4 – шланг слива жидкости из камеры ВПУ; 5 – кабель проволочных выводов датчика скорости НПУ; 6 – кабель датчика давления НПУ; 7 – кабель проволочных выводов датчика скорости бойка гидроударника; 8 – шланг слива жидкости из камеры НПУ; 9 – буровой снаряд; 10 – мерные емкости; 11 – опорная станина механического блока экспериментального стенда.

Аппроксимация экспериментальных распределений измеренных данных выполнена по стандартной программе обработке опытных величин «Microsoft Excel» с использованием ПЭВМ АТ 586 . Для оценки однородности результатов эксперимента и исключения грубых ошибок при нормальном законе распределения случайных величин использовался стандарт СТ.545-77 «Правила оценки аномальных результатов наблюдений».

Необходимое количество измерений для достижения требуемой точности и надежности, при известной по данным предварительных опытов среднеквадратичной ошибке измерений определялась по формуле [86]:

$$n = \left[ \frac{t(\alpha)}{\sigma} \right]^2 S_a^2, \quad (3.2)$$

где  $\sigma$  – требуемая точность;

$t(\alpha)$  – коэффициент, зависящий от заданной доверительной вероятности, определяемый по таблицам;

$S_a$  – среднеквадратичная ошибка измерений, определенная по данным предварительных опытов.

Величина погрешности ошибок результатов измерений произведена методом, изложенным в работе [86].

Согласно теории ошибок, погрешность прямых измерений при условии линейной зависимости измерений от чувствительности датчика прибора определяется как среднее квадратичное из значений погрешностей всех элементов.

$$\varepsilon_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2, \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon_i$  – максимальная погрешность каждого звена;

$n$  - число измерений.

Ошибка отсчета времени отметчиком модуля АЦП ( $\varepsilon_{ов}$ ), находилась из выражения

$$\varepsilon_{ов} = \varepsilon_{из}^2 + \varepsilon_{от}^2, \quad (3.4)$$

где  $\varepsilon_{от}$  – ошибка отметчика времени;

$\varepsilon_{из}$  – ошибка измерения отрезков времени;

Ошибка отметчика времени обусловлена колебаниями напряжения источника питания и составляет 1 – 1.5 %. Ошибка при замере отрезков отметок времени равнялась 0.5 %. Таким образом, предельная ошибка измерения составляла не более 1.6 % [98].

Погрешность измерения линейных величин определялась по формуле

$$\varepsilon_L = \frac{0,5m_u}{ML}, \quad (3.5)$$

где  $m_u$  – цена деления инструмента;

$M$  – кратность измерения при обработке циклограмм;

$L$  – длина отрезка.

Аналогично определялась погрешность измерения всех остальных параметров, полученных экспериментальным путем (табл. 3.2).

Таблица 3.2.

Способ измерения определяемых параметров

Параметры	Метод определения
Скорость перемещения клапана	прямой
Скорость перемещения плунжерного золотника	прямой
Давление в камере пускового узла	прямой
Расход промывочной жидкости	прямой

Число повторных измерений, определенных по формуле (3.2), составляет 5 – 6. Поэтому, в ходе проведения эксперимента, обработка данных выполнялась по 6 – 7 регистрациям исследуемых параметров.

### 3.3. Результаты экспериментальных исследований пусковых узлов бурового снаряда ПБС-127

В соответствии с программой эксперимента, на первом этапе исследовались пусковые узлы промышленного образца гидроударного бурового снаряда ПБС-127 (рис. 1.8) с проектными (заданными) значениями конструктивных элементов ЗРС:

- наружный диаметр корпуса пускового узла – 127 мм;
- внутренний диаметр корпуса  $d_6=111$  мм;
- диаметр плунжерного клапана  $d_2=106$  мм;
- диаметр штока  $d_5=50$  мм;
- диаметр пропускных окон штока  $d_a=12$  мм;
- количество пропускных окон штока – 4;
- ход плунжерного клапана  $h_2=12$  мм;
- жесткость пружины  $Z=6000$  Н/м.

Объем исследований ограничивался выбором соотношений таких параметров управления пусковыми узлами, как предварительная деформация пружины  $S_0$  и подача насоса для соблюдения рабочих состояний ЗРС.

Проведение исследований имело целью:

- количественную сравнительную оценку фактических и расчетных значений  $S_0$  (по 2.4) для обеспечения режима сохранения устойчивого положения

ЗРС при проектном значении  $Q$ ;

- уточнение технологически необходимого превышения расхода жидкости  $\Delta Q$  для получения практических рекомендаций по выбору настроечных характеристик пусковых узлов снарядов ПБС-127, для обеспечения длительного состояния ЗРС при работающем гидроударнике;
- сопоставление фактических и расчетных значений параметра  $Q_1$ , обеспечивающего срабатывание и длительное удержание ЗРС на седле клапана при открытых пропускных окнах пускового узла;
- экспериментальную оценку расхода жидкости  $Q_2$  для возврата ЗРС в исходное состояние.

На предварительном этапе исследований выполнена проверка влияния пусковых узлов в структуре ПБС-127 на характер формирования скорости перемещения бойка гидроударника. Опыты проведены для двух измеренных уровней подачи насоса 208 и 234 л/мин.

Для оценки скорости бойка его шток оснащался магнитным сердечником, перемещающимся в катушке, установленной в нижней наковальне гидроударника.

Давление в гидросистеме  $P_{ГС}$  оценивалось по показаниям сенсора МРМ 280, установленного на жестком отрезке нагнетательной линии подводящего трубопровода.

Запись давления  $P_{ГС}$  и скорости перемещения бойка выполнена для двух вариантов компоновки гидроударника. В первом варианте в структуру машины не включались пусковые узлы (рис. 3.9, а). Измерения  $P_{ГС}$  системы «ВПУ-гидроударник» выполнялись с записью скорости перемещения бойка  $V_б$  (рис. 3.9, б). Сила пружины для обоих расходов жидкости соответствовала деформации пружины  $S_0=60$  мм.

Полученные в ходе эксперимента данные показали качественную и количественную идентичность  $V_б$  для обоих вариантов компоновки гидроудар-

ника. При исследовании систем «ВПУ-гидроударник» отмечено качественное повторение изменения  $P_{гс}$ , при этом количественное значение  $P_{гс}$  по отношению к компоновке гидроударника без ВПУ не существенно увеличивалось.

Блокирование гидроударника (срабатывание ВПУ) обеспечивалось устойчиво при расходе жидкости  $Q=248-255$  л/мин.

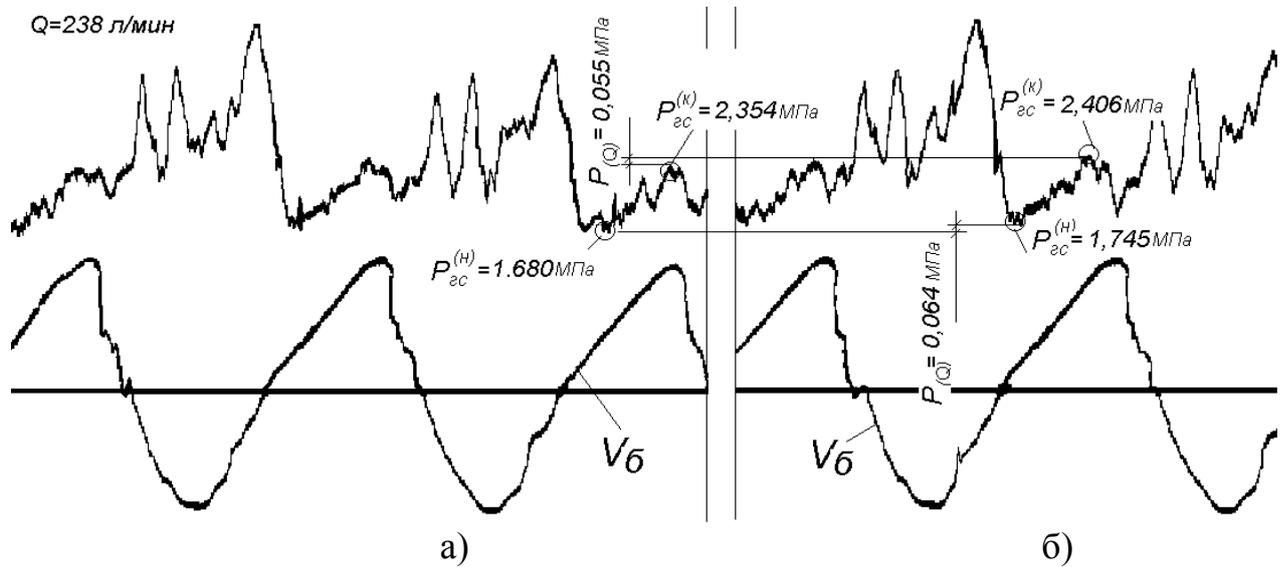


Рис. 3.9. Осциллограммы давления  $P_{гс}$  и скорости бойка  $V_б$ : а – гидроударник без пусковых узлов; б – гидроударник с верхним пусковым узлом;  $P_{гс}^{(н)}$  – давление в начале рабочего хода бойка;  $P_{гс}^{(к)}$  – давление в конце рабочего хода бойка.

В дальнейшем, без изменения структуры исследуемой системы срабатывание ЗРС оценивалось после извлечения впускного клапана из гидродвигателя гидроударника. Это обеспечивало свободный проход жидкости через гидроударник без включения его в работу. При этом срабатывание клапана ВПУ выполнялось в том же диапазоне  $Q$ . Среднее измеренное давление в системе на границе срабатывания ЗРС - 1,34 МПа. Средние гидравлические сопротивления в гидроударнике (при  $Q \approx 240$  л/мин) - 1,28 МПа.

Отмеченной особенностью обосновано проведение ряда экспериментальных исследований пусковых узлов как самостоятельных структурных единиц ПБС с записью параметров, влияющих на условия обеспечения удержания

ЗРС при проектных значениях  $Q$  и  $R_z$ , а также в режиме срабатывания ЗРС с оценкой сопоставимости измеренных и расчетных значений  $P_{Q1}$  и  $Q_1$ .

Исследуемые узлы поочередно устанавливались в гидросистеме без подключения к гидроударнику, при этом в качестве механической связи НПУ и ВПУ использован корпус гидроударника.

Поскольку стендовые исследования не допускали возможности механических нарушений конструкции пусковых узлов, выделенного для исследований ПБС-127, давление в камере пускового узла оценивалось по показаниям сенсора МРМ280, установленного в нагнетательной линии гидросистемы. Параметр  $P_Q$  определялся косвенно после измерения гидравлических сопротивлений  $\Delta P$  на отрезке нагнетательного трубопровода и каналах исследуемого объекта ( $P_Q = P_{zc} - \Delta P$ ). При этом количественное значение  $P_Q$  устанавливалось после записи и обработки осциллограмм на границе начала смещения ЗРС.

Измерения параметров производилось при различных деформациях пружины  $S_0$ . Оценка соответствия фактического и расчетного  $S_0$  определялась соблюдением условия  $R_z = ZS_0 > R_Q$ . Величина силы деформации пружины  $R_z$  устанавливалась прямым измерением с использованием тарировочного стенда (рис. 3.7).

Режим срабатывания ЗРС характеризовался кратковременным падением давления с последующим увеличением и стабилизацией давления при посадке клапана на седло и открытии пропускных окон. Срабатывание ЗРС фиксировалось визуально. В статическом режиме гидросистемы (после срабатывания ЗРС) фиксировалось давление  $P_{Q1}$  и расход  $Q_1$ , с последующей оценкой сопоставимости измеренных и расчетных значений  $P_{Q1}$  и  $Q_1$ .

Режим возврата ЗРС в исходное состояние детальному анализу не подвергался, поскольку во всех опытах начало и реверсирование ЗРС, выполнялось при условии полного прекращения подачи воды в гидросистему.

Результаты опытных измерений устойчивого положения ЗРС представлены графическими зависимостями (рис. 3.10) и приведены в табл. 3.3. Внешним признаком устойчивости ЗРС являлось возрастание кривой давления  $P_Q$  в зависимости от расхода жидкости  $Q$  при заданных значениях  $R_z$ .

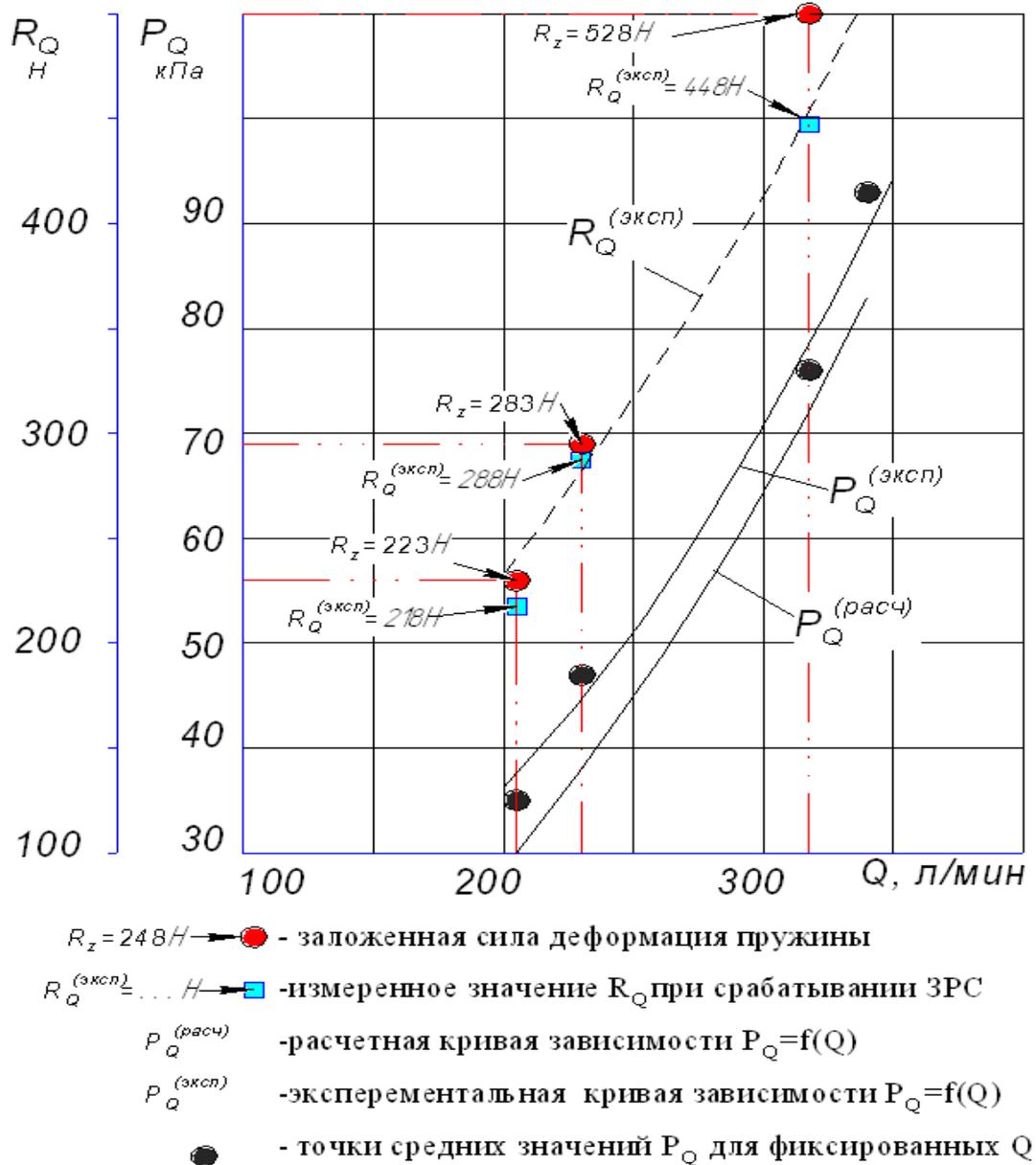


Рис. 3.10. Экспериментальные графики зависимостей  $P_Q = f(Q)$  и  $R_Q = f(Q)$ .

Таблица 3.3.

Данные соответствия  $S_0$  величине  $Q$ , являющейся границей срабатывания ЗРС

Исходные данные: $d_2=106$ мм; $d_5=50$ мм; $d_6=111$ мм; $h_2=8$ мм; $Z=6000$ Н/м;						
$Q$ , л/мин	$\Delta P$ , кПа	$P_{rc}$ , кПа	$P_Q$ по (2.2) кПа	$P_Q = P_{rc} - \Delta P$ , кПа	$S_0$ , мм	$R_Q = (P_{rc} - \Delta P)F$ , Н
$R_Z=223$ Н						
206	3,5	35	30	31,5	37	218
$R_Z=283$ Н						
232	5,5	47	38	41,5	47	288
$R_Z=528$ Н						
317	10,5	76	72	65,5	88	448
$R_Z=607$ Н						
340	13,5	93	83	79,5	101	543

При статистической обработке опытные зависимости управляющих параметров  $P_Q = f(Q)$  и  $R_Q = f(Q)$  аппроксимируются полиномом второй степени  $Y = Ax^2 + A_1x + A_2$  (табл. 3.4).

Проведенные измерения с достаточной точностью подтверждают аналитическое соотношение (2.4) для определения  $S_0$  (при проектных значениях  $Q$  и заложенных конструктивных параметрах элементов ЗРС) при оперативной настройке ЗРС с достижением условия  $R_Q = R_Z$ .

Таблица 3.4.

Коэффициенты полинома и величина достоверности аппроксимации экспериментальных зависимостей

Зависимость	Коэффициенты полинома			$R^2$
	$A$	$A_1$	$A_2$	
$P_Q = f(Q)$	1,00E-06	-0,0001	0,024	0,9881
$R_Q = f(Q)$	0,0054	-0,6622	137,28	0,988

При исследовании системы «ВПУ-гидроударник (ПБС-127)-НПУ» получены дополнительные данные, связанные с обеспечением условия  $R_z > R_0$  при работе гидроударника на заданном режиме.

Особенностью бурения скважины с отбором керна является необходимость увеличения частотно-силовых характеристик ПБС при проходке слоев плотных и твердых пород. В производственных условиях такая задача решается форсированием работы гидроударника путем увеличения подачи жидкости в гидросистему. Поэтому, при подготовке ПБС-127 к эксплуатации выполнены исследования, устанавливающие границу превышения эксплуатационного расхода жидкости  $Q_3$  по отношению к номинальному значению  $Q$  с соблюдением соотношения  $Q_3 < Q_1$ , гарантированно обеспечивающее условие  $R_z > FP_{Q_3}$  при длительно работающем гидроударнике.

Практическая направленность программы эксперимента предполагала получение, как параметра  $Q_3$ , так и обоснованных значений расхода  $Q_1$  и силы  $R_z$ . В общем случае форсированный режим работы гидроударника должен находиться в диапазоне  $Q \dots Q_3$ , а граница срабатывания ЗРС - за пределами  $Q_3 \geq Q_1$ . При этом величина  $Q_1$  количественно не должна превышать технологически заданного расхода на фазе бескернового бурения -  $Q_{бк}$ .

В ходе эксперимента пошагово изменялась сила  $R_z$ . Величины  $Q_3$  и  $Q_1$  измерялись объемным методом, и фиксировалась визуально в момент прекращения работы гидроударника, соответствующего моменту срабатывания ЗРС пускового узла (табл. 3.3).

Дополнительно проверена сопоставимость измеренных и расчетных данных  $Q_1$  и  $R_z$ , полученных с использованием зависимостей (2.4) и (2.9).

Для оценки общей закономерности выбора интервала  $Q \dots Q_3$  расход жидкости, при котором гидроударник работал в стабильном режиме, расширен диапазоном  $Q=150-330$  л/мин. Форсирование работы гидроударника устанавли-

ливалось при расходе  $Q_{\phi}=(1,1-1,15)Q$  (из опыта проектирования и эксплуатации ПБС). Для выделенного значения  $Q_{\phi}$  устанавливалась сила деформации пружины  $R_z$ , путем выбора  $S_0$ , рассчитанного по формуле (2.4). После включения гидроударника производилась оценка границы срабатывания ЗРС. Эксплуатационная граница подачи насоса устанавливалась увеличением силы  $R_z$ , которая при длительной работе гидроударника исключала непроизвольное срабатывание ЗРС пусковых узлов.

В табл. 3.5 величина  $Q_1$  сопоставляется с  $Q_{\phi}$  и рассматривается как предельно минимальный расход жидкости для срабатывания ЗРС при выбранном значении параметра  $S_0$ , формирующего силу  $R_z$ .

Таблица 3.5.

Экспериментальные значения эксплуатационного расхода жидкости

Средние значения серии опытов						
$Q$ , л/мин	$Q_{\phi}$ , л/мин	$Q_{\phi}$ , л/мин	$R_{Q_{\phi}}$ , Н	$S_0$ , мм		$R_z$ , Н
				<i>Расчет</i>	<i>Факт</i>	
154	170	203	212	36	42	250
188	200	226	274	45	43	257
222	230	280	340	69	71	427
270	300	344	556	104	113	677
304	320	380	649	126	132	795
328	340	412	801	149	146	879

На основании полученных данных технологически необходимое превышение  $\Delta Q$  по отношению к номинальному значению расхода жидкости  $Q$  на привод гидроударника установлена в пределах  $\Delta Q = (0,24 - 0,28)Q$ . Ограничивающим условием настройки ЗРС является соблюдение соотношения

$$Q_{\phi} \leq Q_1. \quad (3.5)$$

Учитывая выделенные особенности эксплуатации ПБС, величина  $Q_{\phi}$ ,

при которой гарантировано, исключается срабатывание ЗРС, устанавливается из условия

$$Q_{\text{э}} \geq 1,24Q < Q_{\text{бк}} \quad (3.6)$$

Первый этап экспериментальных исследований позволил обосновать настроечные характеристики пусковых узлов гидроударного механизма ПБС-127, которые впоследствии были подтверждены при эксплуатации снаряда на производственных объектах: номинальная подача насоса на привод ГУ  $Q=280-300$  л/мин; расход жидкости для форсированного режима работы ПБС-127  $Q_{\text{ф}}=320-340$  л/мин; эксплуатационный расход жидкости  $Q_{\text{э}} = Q_1 = 390-400$  л/мин (3.6), соответствующий настроечной характеристике ЗРС, для заданного значения  $R_Z$ . При этом эффективность проходки интервала скважины на фазе бескернового бурения снарядами ПБС-127, обеспечивается при проектном значении  $Q_{\text{бк}} = 440 \dots 470$  л/мин [45], что согласуется с условием (3.6).

В целом эксперименты первого этапа исследований подтвердили работоспособность предложенного исполнения пусковых узлов с одноэлементным подпружиненным распределителем. Полученные данные позволяют сделать выводы об инженерной сопоставимости расчетных и опытных величин  $S_0$ ,  $Q_1$ , и влиянии  $R_Z$  и  $R_Q$  на характер управления ЗРС.

Дополнительно, в процессе опытов подтверждено ранее отмеченное несовершенство принятого исполнения ЗРС пусковых узлов буровых снарядов ПБС-127, которые не в полной мере отвечают жестким требованиям эксплуатации, в плане соблюдения условия возврата ЗРС в исходное состояние. Как правило, состояние разблокирования гидроударника выполнялось при отключении насоса.

Этот вывод обосновывает разработку и детальное изучение новой кон-

струкции пусковых узлов (рис. 1.9), предполагающей реверс ЗРС при расходах жидкости соизмеримыми с подачей насоса для запуска гидроударника, соответствующей условию (2.18).

Для полного выявления работоспособности новых пусковых узлов проведены испытания с решением задач, предусмотренных программами второго и третьего этапов экспериментальных работ.

### 3.4. Экспериментальные исследования пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127

Учитывая результаты предварительных исследований ПБС-127, основная часть экспериментов выполнена с использованием натуральных образцов пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127, в которых предусматривалась техническая возможность изменения образующих параметров ЗРС.

ВПУ резьбой присоединялся к верхней части удлиненного патрубка. Нижняя часть патрубка свинчивалась с нижней наковальной гидроударника, к которой на резьбе крепился НПУ. Камеры ВПУ и НПУ сообщались через внутреннюю полость патрубка. Базовые параметры пусковых узлов соответствовали данным, приведенным в табл. 3.1.

Качественная экспериментальная оценка взаимодействия элементов ЗРС пускового узла обусловлена необходимостью сопоставления, выделенного в главе 2 расчетного и фактического характера срабатывания ЗРС (рис. 3.11). Давление  $P_Q$  измерялось непосредственно в камере ВПУ.

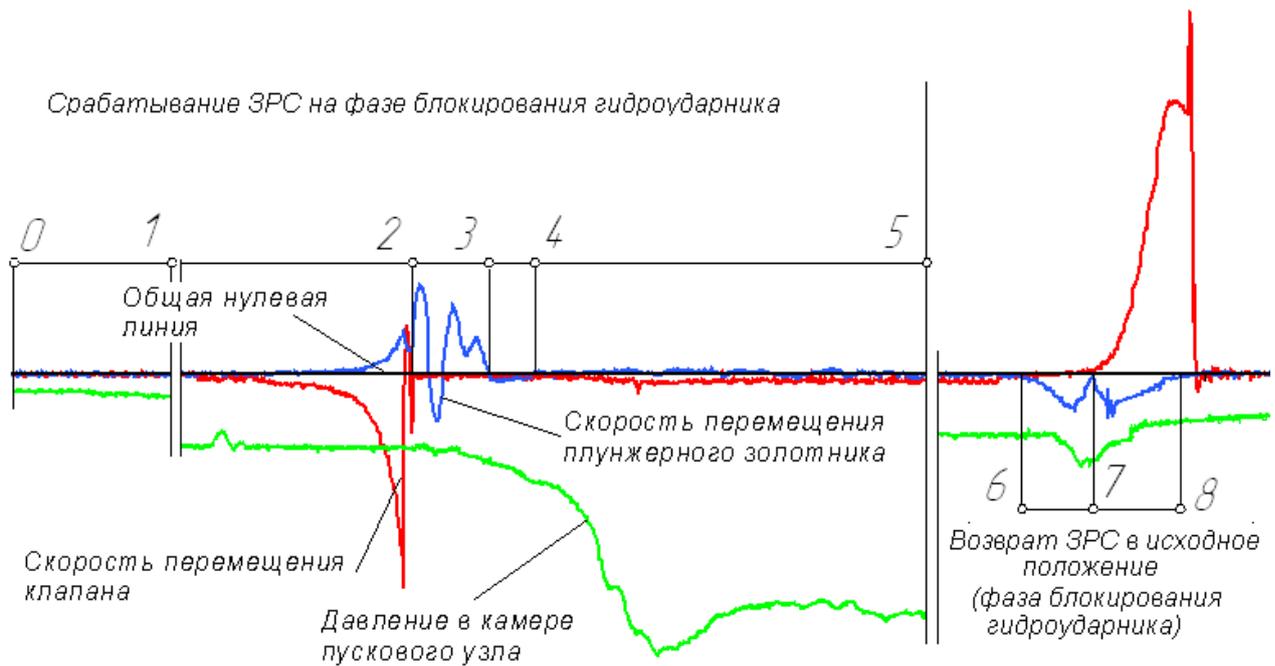


Рис. 3.11. Реальная циклограмма работы пускового узла ГБС-127

Участок (0-1) – элементы ЗРС находятся в неподвижном состоянии при подаче  $Q$ , являющейся настроечной характеристикой пускового узла. Скорость клапана  $V_{кл}$  и скорость плунжерного золотника  $V_{пз}$  равны нулю. На этом отрезке выполняется условие (2.3). Для выделенного состояния давление в камере пускового узла  $P_Q = const$ , что не противоречит принятому допущению, формализованному соотношением (2.2).

Блокирование гидроударника выполняется путем подачи в гидросистему увеличенного расхода  $Q_1 > Q$ , при котором устойчивость элементов ЗРС нарушается. Система «клапан-плунжерный золотник», на ходе  $h_2$  (отрезок 1 – 2) перемещается до посадки клапана на седло. Этот процесс выполняется в соответствии с условием (2.5). Гидравлическая нагрузка на ЗРС, для преодоления силы сопротивления пружины, формируется давлением  $P_{Q1}$ . При этом полученный экспериментально характер изменения  $P_{Q1}$ , согласуется с теоретическим выводом, в соответствии с которым на отмеченном участке  $P_{Q1} = const$  и определяется средними потерями давления на входе в пропускное сечение клапана и выходе из его щели (2.6).

Отрезок (2-3) соответствует самостоятельному перемещению плунжерного золотника на пути торможения  $h_1$  с открытием пропускных окон. Учитывая демпфирующее влияние пружины, в момент полного перекрытия щели клапана в камере пускового узла наблюдается несущественный пиковый рост давления. После полного открытия окон, вследствие наличия упругой опоры, плунжерный золотник дополнительно смещается, проходя расстояние  $h_{см} > h_1$ , продолжая выполнять функции компенсатора давления в камере пускового узла.

На интервале (3-4) упругая сила пружины соизмеряется с гидравлической нагрузкой, формирующейся на золотнике перепадом давления на пропускных окнах. Плунжерный золотник занимает устойчиво-неподвижное состояние ( $V_{nz} = 0$ ). В целом, на пути последовательного открытия пропускных окон (отрезок 2-4), имеет место практически линейный рост давления, что согласуется с принятым теоретическим описанием давления, вытекающим из условий (2.10) и (2.11).

В начале интервала (4-5), давление в системе возрастает по линейному закону с последующей стабилизацией его в камере пускового узла до уровня, определяемого перепадом давления на щели пропускных окон (2.11). При этом в соответствии с реальной циклограммой, промежуток роста давления соизмерим со временем открытия пропускных окон. Это условие согласуется с данными исследований клапанов с золотниковым перекрытием щели, проведенных Б.Т. Ситниковым [82-83].

Режим возврата ЗРС в исходное положение (отрезок 6-8) обеспечивается при расходе  $Q_2 \ll Q_1$ .

Участок (6-7) соответствует перемещению плунжерного золотника на пути  $x_1$ , изменяющегося от 0 до  $h_1$  (до соударения с клапаном) с перекрытием пропускных окон.

Начало процесса обеспечивается при соблюдении условия, при котором в момент  $x_1=0$  гидравлическая нагрузка на плунжерный золотник  $R_{Q_2}^{(1)}$  окажется

меньше силовой характеристики пружины  $R_z^{(1)} = Z(S_0 + h_2 + h_1)$ . На этой фазе  $R_{Q_2}^{(1)}$  является фиксированным параметром, зависящим от давления  $P_{Q_2}$ . Перемещение плунжерного золотника на пути 0 до  $h_1$  сопровождается уменьшением скорости  $V_{nz} \rightarrow 0$  вследствие линейного снижения силы сжатой пружины  $R_z^{(1)} = Z(S_0 + h_1 + h_2 - x_1)$  при одновременном линейном подъеме давления в камере пускового узла, обуславливающим рост  $R_{Q_2}^{(1)}$ , при последовательном перекрывании пропускных окон. В момент контакта клапана и плунжерного золотника, при закрытии пропускных окон, суммарная результирующая площадь ЗРС увеличивается на величину эффективной площади клапана со стороны набегающего потока. При  $x_1 = h_2$  количественное значение  $R_z^{(1)}$  становится недостаточным для преодоления новой величины  $R_{Q_2}^{(1)}$ . Поэтому, в соответствии с приведенной циклограммой, отрыв клапана от седла и процесс перемещения системы «клапан-плунжерный золотник» обеспечивается при существенно сниженном значении  $P_{Q_2}$ , что предполагает условие  $Q_2 \rightarrow 0$ .

Идентичность экспериментально полученного характера состояний элементов ЗРС предложенной теоретической трактовке цикла срабатывания ЗРС, послужила основанием для дальнейшей оценки сопоставимости расчетных и опытных качественных и количественных соотношений параметров и режимов управления исследуемых пусковых узлов.

В ходе второго этапа выполнены экспериментальные исследования с целью проверки адекватности аналитических и экспериментальных значений параметров управления ЗРС и установления влияния элементов пусковых узлов на выполнение предусмотренных состояний ЗРС при различных значениях силы давления жидкости в камере пускового узла. Исходные данные для расчета принимались те же, что и для эксперимента. Испытаниями был охвачен диапазон расходов жидкости от 200 до 430 л/мин.

При выполнении экспериментов силовые и геометрические параметры пружины, а также диаметр штока и плунжерного золотника сохранялись во всех сериях опытов.

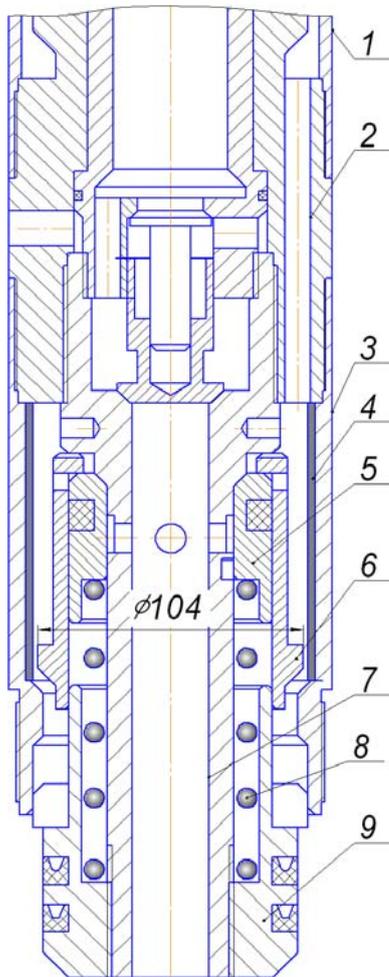


Рис. 3. 12. Компоновка элементов ЗРС:

1 – патрубок; 2 – наковальня; 3 – корпус НПУ; 4 – втулка; 5 – плунжерный золотник; 6 – клапан; 7 – шток; 8 – пружина; 9 – опорная втулка.

косвенно, после измерения, соответственно  $S_0$  и  $P_Q$ . Изменение параметра  $R_Z$  выполнялось за счет регулировочных колец толщиной 1-5 мм путем концентричного их размещения на штоке ВПУ. Для НПУ изменение  $R_Z$  обеспечива-

В ходе опытов проведено сопоставление расчетных и экспериментальных зависимостей  $R_Q = f(h_2)$ ,  $R_Q = f(d_2)$ ,  $R_Q = f(d_6)$  при различных расходах жидкости. Информационно, выполненные измерения параметров пусковых узлов обеспечивали оценку границы  $Q$  для соблюдения условия  $R_Q \leq R_Z$  с проверкой адекватности рекомендуемого соотношения (2.9) и возможности использования его для выбора управляющего параметра  $Q_1$  при заложенных элементах ЗРС пусковых узлов. Одновременно при проектных расходах жидкости  $Q$  и  $Q_1$  выполнялась проверка условия (2.4), обуславливающего вполне определенное количественное значение  $R_Z$ .

Измерения и расчеты выполнялись при изменении одного из выделенных параметров при фиксированных значениях остальных параметров ЗРС.

Параметры  $R_Z$  и  $R_Q$  определялись

лось как с использованием колец, так с помощью опорной втулки 9, установленной на удлиненной резьбе штока 7 (рис. 3.12). Изменение хода клапана  $h_2$  обеспечивалось кольцами высотой от 0,8 до 1,5 мм, которые размещались между опорными поверхностями корпуса ВПУ и патрубком.

Для увеличения хода клапана НПУ ( $h_2$ ) кольца устанавливались между корпусом 3 и нижней наковальней 2. Для получения данных влияния площади пропускного сечения клапана  $f$  на состояния ЗРС предусматривались клапаны диаметром  $d_2 = 106, 105$  и  $104$  мм, которые размещались в корпусе с внутренним диаметром  $d_6 = 111$  мм.

После завершения выделенного цикла измерений дополнительно выполнялась оценка влияния  $f$  на параметры управления ЗРС при постоянном значении диаметра клапана  $d_2 = 104$  мм. Измерения выполнялись с использованием экспериментального корпуса НПУ с внутренним диаметром  $d_6 = 113,5$  мм. Изменение размера  $d_6$  обеспечивалось путем размещения в корпусе втулок 4 с толщиной стенок 2,25; 2,75 и 3,25 мм, изготовленных из отрезков бурильной трубы диаметром 114 мм.

Подготовительным этапом эксперимента являлось измерение подачи насоса в гидросистему. После чего, при увеличении  $S_0$  (навинчиванием опорной втулки 9 на шток 7) фиксировался момент срабатывания ЗРС с последующей оценкой  $R_Z$ . Расход жидкости, при котором выполнялось срабатывание НПУ, рассматривался как предельное значение  $Q$  для удержания ЗРС и, одновременно принимался в виде минимального значения  $Q_1$  для соблюдения условия  $R_Z < R_{Q1}$ . Обобщенные измерения серии опытов при средних измеренных значениях  $Q$  (при  $h_2 = 8$  мм), приведены в табл. 3.6; 3.7 и рис. 3.13; 3.14.

Таблица 3.6.

Расчетные и средние значения серии опытов по оценке влияния диаметра  $d_6$  (при  $d_2=104$  мм) на параметры управления ЗРС

$d_6$ , мм	$Q$ , л/мин	$P_Q$ , кПа		$R_Q$ , Н		$S_0$ , мм		$R_z$ , Н	
		<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>
109	215	22	27	142	175	28	33	167	200
	300	42	52	276	342	50	61	301	367
	350	58	63	376	409	67	72	401	434
108	210	34	39	224	256	41	44	244	266
	305	67	76	436	495	76	84	456	505
	360	91	96	593	626	102	106	613	636
107	215	62	565	402	369	63	62	379	374
	290	120	110	782	723	132	121	792	728
	354	163	158	1065	1032	179	173	1075	1037

Таблица 3.7.

Расчетные (*Расч.*) и средние значения серии опытов (*Изм.*) по оценке влияния диаметра  $d_2$  (при  $d_6=111$  мм) на параметры управления ЗРС

$d_2$ , мм	$Q$ , л/мин	$P_Q$ , кПа		$R_Q$ , Н		$S_0$ , мм		$R_z$ , Н	
		<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>	<i>Расч.</i>	<i>Изм.</i>
106	230	24	29	164	199	46	53	278	315
	295	39	48	270	332	76	74	457	442
	355	57	61	392	419	110	113	662	681
105	224	17	22	112	146	32	34	190	205
	293	28	38	185	252	52	50	313	298
	358	40	45	268	301	75	79	453	473
	429	51	67	340	447	96	104	575	625
104	221	12	17	81	114	23	24	137	145
	288	20	29	134	193	38	35	226	208
	367	30	35	194	226	55	60	327	360
	402	38	47	246	305	69	66	416	395

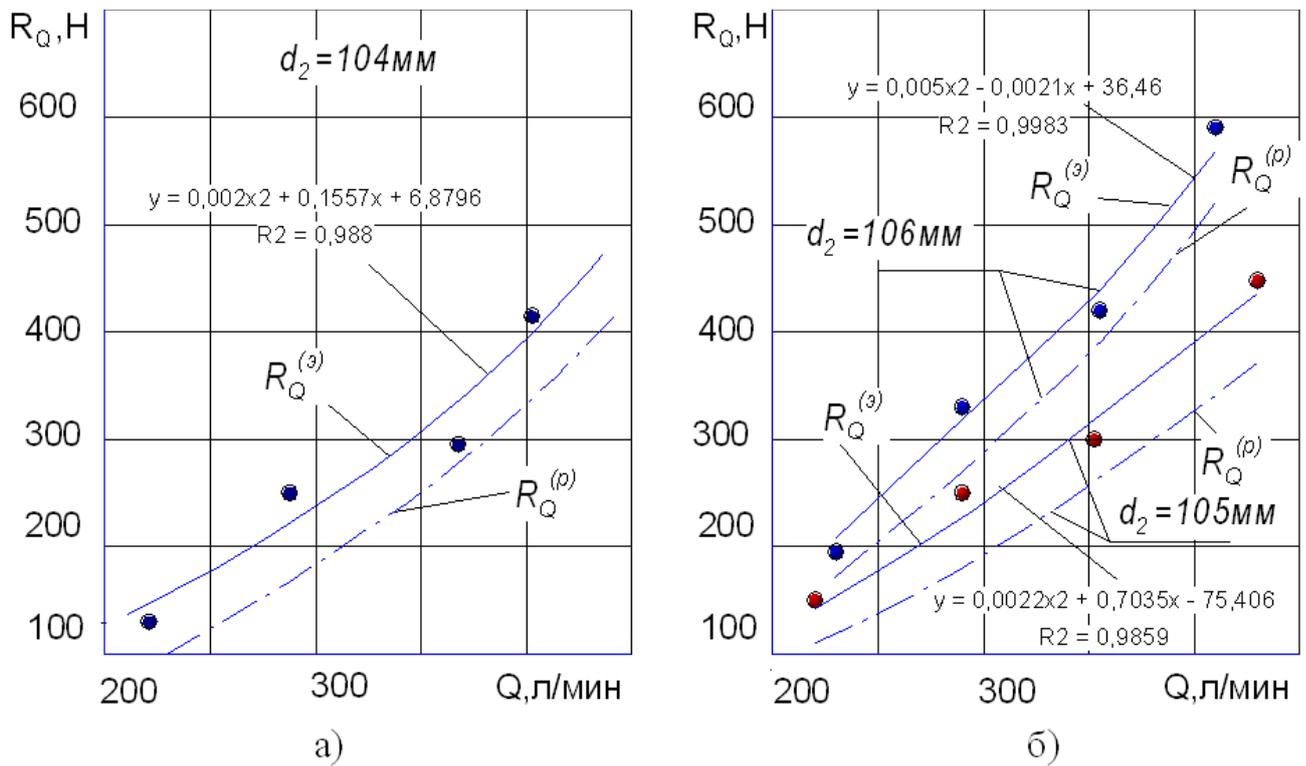


Рис. 3.13. Расчетные ( $R_Q^{(p)}$ ) и опытные ( $R_Q^{(3)}$ ) зависимости  $R_Q = f(Q)$  при  $d_6 = \text{const} = 111 \text{ мм}$  для различных значений  $d_2$

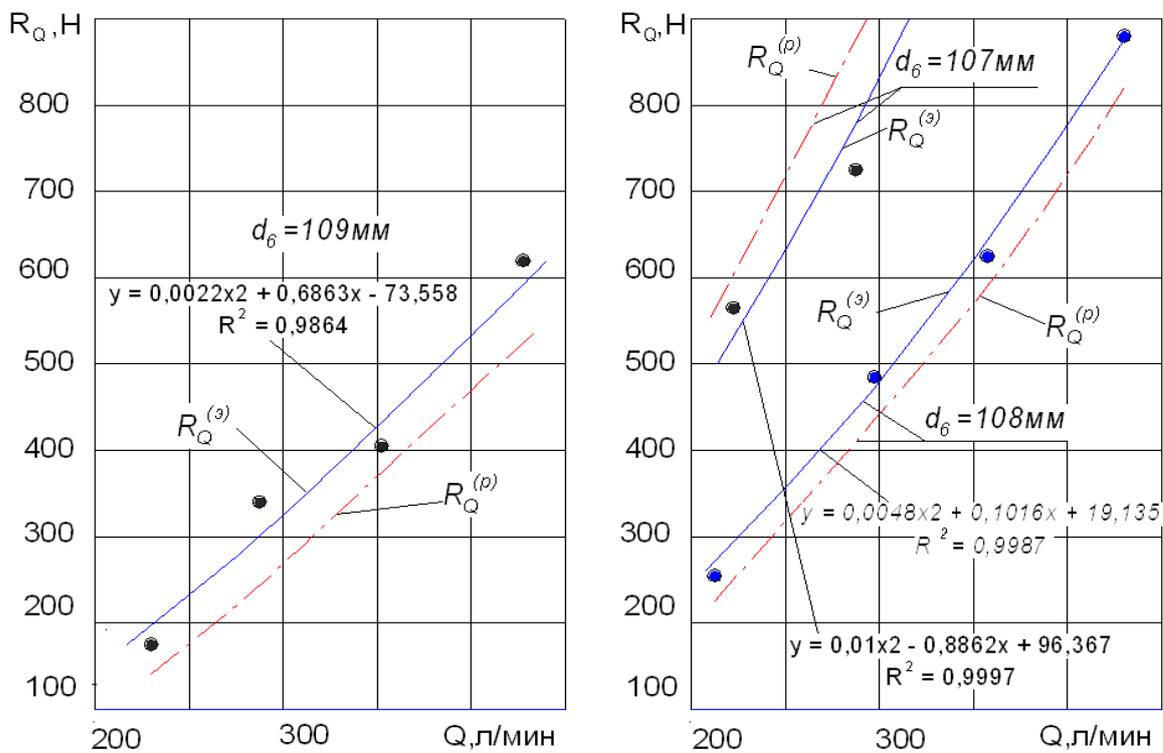


Рис. 3.14. Расчетные ( $R_Q^{(p)}$ ) и опытные ( $R_Q^{(3)}$ ) зависимости  $R_Q = f(Q)$  при  $d_2 = \text{const} = 104 \text{ мм}$  для различных значений  $d_6$ .

Совпадение теоретических и опытных данных во всех случаях являются удовлетворительными. Опытные точки, полученные для разных диаметров клапана, разместились в пределах доверительного интервала. При статистической обработке результаты эксперимента аппроксимируются полиномом второй степени с коэффициентами и величиной достоверности аппроксимации экспериментальных зависимостей ( $R^2$ ), приведенными на рис. 3.13 и 3.14.

В соответствии с полученными данными зависимость  $R_Q = f(Q)$  при изменении площади пропускного сечения клапана, как при постоянном  $d_6$ , так и при неизменном  $d_2$  качественно идентична и имеет не выраженный криволинейный рост с увеличением  $Q$ . При этом количественно величина  $R_Q$  и соответствующий ей параметр  $R_z$  имеют более интенсивных характер роста при уменьшении  $f$  за счет изменения  $d_6$  (табл. 3.8).

Таблица 3.8.

Средние значения  $R_z$  при изменении площади пропускного сечения клапана  $f$  при  $Q = 318-324$  л/мин

Изменение $f$ при $d_6=111$ мм			Изменение $f$ при $d_2=104$ мм		
$d_2$ , мм	$f$ , мм <sup>2</sup>	$R_z$ , Н	$d_6$ , мм	$f$ , мм <sup>2</sup>	$R_z$ , Н
106	852	548	109	836	368
105	1017	356	108	666	532
104	1181	251	107	4969	825

Экспериментальные данные для оценки влияния  $h_2$  на выбор управляющего значения  $Q_1$  устанавливались из условия  $R_{Q_1} = R_{z+h_2}$  с визуальной регистрацией посадки клапана на седло. Измерения выполнены при исследовании НПУ с базовыми размерами элементов ЗРС:  $d_6 = 111$  мм;  $d_5 = 50$  мм;  $d_1 = 80$  мм;  $Z = 6000$  Н/м;  $S_0 = 70$  мм.

Измерения  $Q_1$  производились для двух размеров тарелки клапана  $d_2 = 106$  и  $104$  мм, с последующим сопоставлением с расчетным значением  $Q_1$ ,

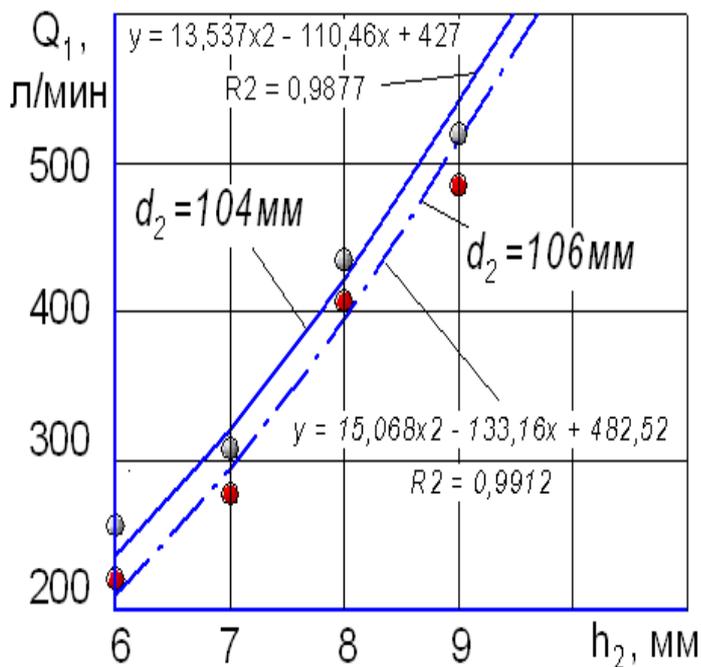
вычисленным по формуле (2.9).

Средние результаты опытных данных представлены в табл. 3.9. На рис. 3.15 показаны графики и результаты аппроксимации экспериментальных зависимостей  $R_{Q_1} = f(Q_1)$ , полученных для различных  $h_2$ .

Таблица 3.9.

Сгруппированные расчетные и средние значения серии опытов по оценке влияния хода клапана  $h_2$  на выбор параметра  $Q_1$

$d_2$ , м	$h_2$ , мм	$Q_1$ , л/мин		$d_2$ , мм	$h_2$ , мм	$Q_1$ , л/мин	
		Расч.	Изм.			Расч.	Изм.
106	6	209	229	104	6	212	252
	7	294	275		7	298	308
	8	395	405		8	400	435
	9	512	487		9	519	504



Основная направленность исследований заключалась в подтверждении соотношения (2.9) для обоснованного выбора расхода жидкости  $Q_1$ . В соответствии с полученными данными зависимость  $Q_1 = f(h_2)$  имеет криволинейный характер с интенсивным увеличением управляющего параметра  $Q_1$  при

Рис. 3.15. Графики зависимости  $Q_1 = f(h_2)$  увеличении  $h_2$ . Одновременно, получен вывод, что при постоянном значении  $d_6$ , увеличение  $d_2$  не приводит к существенному количественному изменению управляющего параметра  $Q_1$ .

В ходе эксперимента дополнительно уточнялось условие (2.12), преобразованное к виду

$$Q_1 \geq \sqrt{\frac{2Zf_{\text{эф}}^2(S_0 + h_1 + h_2)\mu^2}{\rho f_{\text{нз}}}}, \quad (3.7)$$

соответствующее состоянию ЗРС при открытии пропускных окон штока при завершении хода плунжерного золотника  $h_1 + h_2$ . Условие оценивалась по величине  $Q_1$ , обуславливающейся эффективной площадью пропускных окон штока  $f_{\text{эф}}$  (табл. 3.10).

При опытах использован ЗРС НПУ с базовыми параметрами:  $d_2 = 106$  мм;  $d_6 = 111$  мм;  $h_2 = 8$  мм;  $h_1 = 12$  мм. Измерения выполнялись при постоянном значении  $S_0 = 75$  мм ( $R_z = 452$  Н). На начальном этапе получены значения  $Q_1$  при открытии 4-х окон с базовым диаметром 12 мм ( $f_{\text{эф}} = 450$  мм<sup>2</sup>). В дальнейшем окна последовательно перекрывались пробками, с получением размеров  $f_{\text{эф}} = 340$  и 225 мм<sup>2</sup>. На завершающем этапе опытов два пропускные отверстия последовательно рассверливались до диаметра 14 мм с получением  $f_{\text{эф}} = 490$  и 530 мм<sup>2</sup>.

Таблица 3.10.

Расчетные и средние значения серии опытов и результаты аппроксимации экспериментальных данных по оценке влияния  $f_{\text{эф}}$  на выбор параметра  $Q_1$

$f_{\text{эф}}$ , мм <sup>2</sup>	$Q_1$ , л/мин		Аппроксимация экспериментальных данных	$R^2$
	Расч.	Изм.		
225	169	189	$Y = -0,003 \cdot x^2 + 3,074 \cdot x - 240,69$	0,9865
340	256	237		
450	339	346		
490	369	364		
530	399	414		

Полученными данными подтверждена теоретическая зависимость, пред-

полагающая выбор управляющего параметра  $Q_1$ , обеспечивающего изменение положения ЗРС и сохранение устойчивого состояние плунжерного золотника на фазе блокирования работы гидроударника (при полностью открытых пропускных окнах штока) с проектными значениями  $f_{эф}$  при заданных конструктивных элементах ЗРС.

### 3.5. Экспериментальная оценка условия возвращения ЗРС пусковых узлов с различным характером перекрытия пропускных окон

Предложенное исполнение пусковых узлов в структуре ГБС-127 (рис. 1.9), позволило получить ряд эффективных технических показателей при сниженной напряженности обеспечения настроечных характеристик для предусмотренных режимов работы ГБС. Тем не менее, задача оперативного и надежного возвращения ЗРС на фазе разблокирования гидроударного механизма без выключения бурового насоса не решалась.

Поэтому, выделенный этап исследований рассматривается как с точки зрения применения доступных технических решений, так и с точки зрения проверки аналитического вывода главы 2, касающегося оценки разработок, обеспечивающих процесс возвращения ЗРС в исходное положение, при расходе жидкости, близко соответствующему условию запуска гидроударного механизма.

На этапе исследований пусковых узлов для состояний удержания и срабатывания ЗРС, приведенных в подразделе 3.4, одновременно производилась регистрация характера возвратного движения плунжерного золотника и системы «клапан-плунжерный золотник». Практически во всех случаях при работающем насосе скорость встречи плунжерного золотника и клапана даже при полном открытии сливной магистрали была близка нулю. Перемещение систе-

мы «клапан-плунжерный золотник» выполнялся либо при выключении насоса, либо при наличии интервала ожидания (30 – 50 с) при полностью открытой сливной линии регулировочного вентиля.

Учитывая аналитически обоснованную возможность перераспределения и получения эффективных сил возврата ЗРС, дальнейшие опыты выполнялись при исследовании пусковых узлов с отрицательным перекрытием окон штока.

При идентичности конструкций и управления НПУ и ВПУ основная часть опытов выполнена при исследованиях НПУ с базовыми параметрами, приведенными в табл. 3.1.

Для получения условия отрицательного перекрытия окон в ранее исследуемом пусковом узле (рис. 3.16, а) последовательно увеличивалась (механической обработкой) длина проточки «П» на штоке 4 до величины «П1» с получением зазора  $\Delta h_1$  в момент контакта плунжерного золотника 2 и клапана 3 (рис. 3.16, б).

Совместное движение системы «клапан-плунжерный золотник» до закрытия плунжерным золотником окон «а» выполнялось на пути « $\Delta h_1$ » с одновременным открытием щели клапана 3.

Пусковой узел оснащался датчиками скорости перемещения элементов ЗРС и стандартным сенсором давления МРМ 280.

На начальном этапе выполнена оценка процесса срабатывания и возврата ЗРС с нулевым перекрытием окон ( $\Delta h_1=0$ ). В итоге, по отношению к традиционному исполнению ЗРС (рис. 3.16, а), и результатам ранее проведенных исследований, отмечена идентичность ранее выделенного процесса перемещения системы «клапан-плунжерный золотник».

В дальнейшем зазор  $\Delta h_1$  пошагово с интервалом 1 мм увеличивался до 4 мм. При исследованиях использовался шток, в котором были выполнены четыре пропускных окна диаметром 12 мм ( $f_3=450 \text{ мм}^2$ ). Остальные параметры ЗРС соответствовали базовыми размерами, приведенными в табл. 3.1.

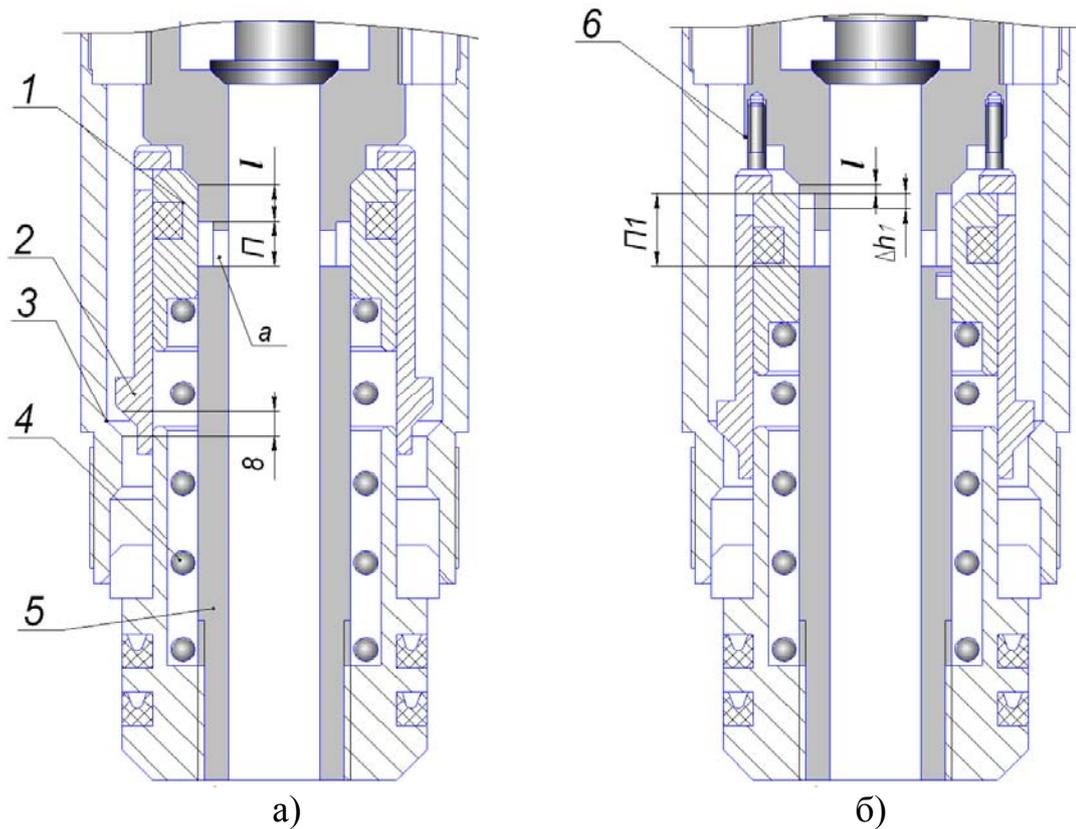


Рис. 3.16. Конструктивные особенности исследуемого НПУ:

1 – плунжерный золотник; 2 – клапан; 3 – седло клапана; 4 – пружина; 5 – шток; 6 – опорные винты;  $a$  – пропускные окна; П, П1 – проточки;  $l$  – интервал полного перекрытия окон;  $\Delta h_1$  – зазор отрицательного перекрытия окон

В процессе исследований измерялся управляющий параметр срабатывания ЗРС  $Q_1$  с регистрацией и определением параметров  $P_{Q_1}$  и  $R_{Q_1}$  для каждого  $\Delta h_1$ .

Полный цикл исследований завершался определением расхода жидкости параметра  $Q_2$ , регистрацией и измерением  $P_{Q_2}^*$  и  $V_{h_1}$  (в момент контакта клапана и плунжерного золотника) с последующей оценкой значимости составляющих  $R_{y_0}$  и  $R_{Q_2}^*$  для отрыва клапана от седла на фазе возврата ЗРС в исходное положение. Площади сечений соударяющихся элементов ЗРС:  $f_{кл}^y = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $f_{нз} = 30 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Качественная и количественная оценка рабочих состояний ЗРС выпол-

нялась путем обработки осциллограмм, пример которой для  $\Delta h_1=1$  мм приведен на рис. 3.17.

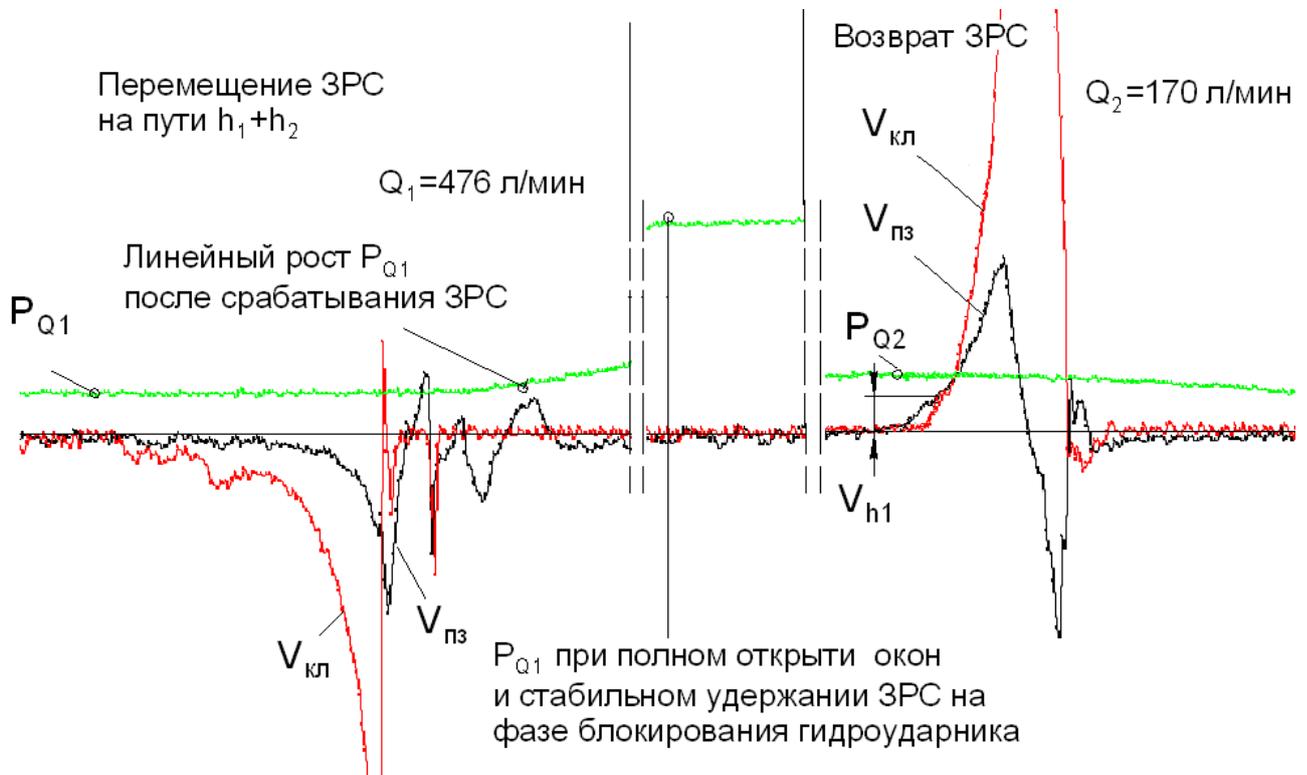


Рис. 3.17. Осциллограммы скорости перемещения элементов ЗРС и давлений  $P_{Q1}$  и  $P_{Q2}$  на фазах срабатывания и возврата ЗРС при  $\Delta h_1=1$  мм и  $h_2=8$  мм.

Качественно, экспериментально выделенное взаимодействие элементов ЗРС пускового узла сопоставимо с ранее приведенным описанием характера перемещения ЗРС по рис. 3.11.

Количественная оценка рабочих состояний ЗРС выполнялась путем обработки осциллограмм с прямым измерением скорости соударения плунжерного золотника и клапана ( $V_{h1}$ ).

Величины  $R_{y\delta}$  и  $R_{Q2}^*$  определялись косвенно с использованием зависимостей (2.16 и 2.18) с последующей оценкой их значимости для выполнения условия возврата ЗРС (табл. 3.12). Данные количественной расшифровки ос-

циллограмм при  $\Delta h_1=1, 2, 3$  и  $4$  мм приведены в табл. 3.11–3.12.

Таблица 3.11.

Обобщенные данные количественной расшифровки осциллограмм

$\Delta h_1$ , мм	$h_2$ , мм	$Q_1^{(\Delta h_1)}$ , л/мин		$P_{Q_1}^{(\Delta h_1)}$ , кПа		$R_{Q_1}^{(\Delta h_1)}$ , Н	
		Расч.	Изм.	Расч.	Изм.	Расч.	Изм.
$f_{\text{эф}}=450 \text{ мм}^2$ ; $R_z=420 \text{ Н}$ ;							
1,0	8	397	390	69	67	474	457
2,0	8	400	407	70	72	480	497
3,0	8	402	412	71	74	486	510
4,0	8	405	423	72	78	492	537

Таблица 3.12.

Обобщенные данные количественной расшифровки осциллограмм

$V_{h_1}$ , м/с		$Q_2 = (0,45 - 0,5)Q$ , л/мин		$R_{y\partial}$ , Н		$R_{Q_2}^*$ , Н	
Расч.	Изм.	Расч.	Изм.	Расч.	Изм.	Расч.	Изм.
$\Delta h_1=1 \text{ мм}$ ; $f_{\Delta h_1} = 157 \text{ мм}^2$							
0,034	0,02	80	100	635	372	468	549
$\Delta h_1=2 \text{ мм}$ ; $f_{\Delta h_1} = 314 \text{ мм}^2$							
0,069	0,075	170	160	1283	1394	517	493
$\Delta h_1=3 \text{ мм}$ ; $f_{\Delta h_1} = 471 \text{ мм}^2$							
0,141	0,09	170	200	2624	1672	395	400
$\Delta h_1=4 \text{ мм}$ ; $f_{\Delta h_1} = 628 \text{ мм}^2$							
0,144	0,12	170	220	2676	2230	403	527

На основе анализа решений уравнения (1.14) теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность увеличения скорости  $V_{h_1}$  за счет использования в структуре ЗРС плунжерного золотника с отрицательным пе-

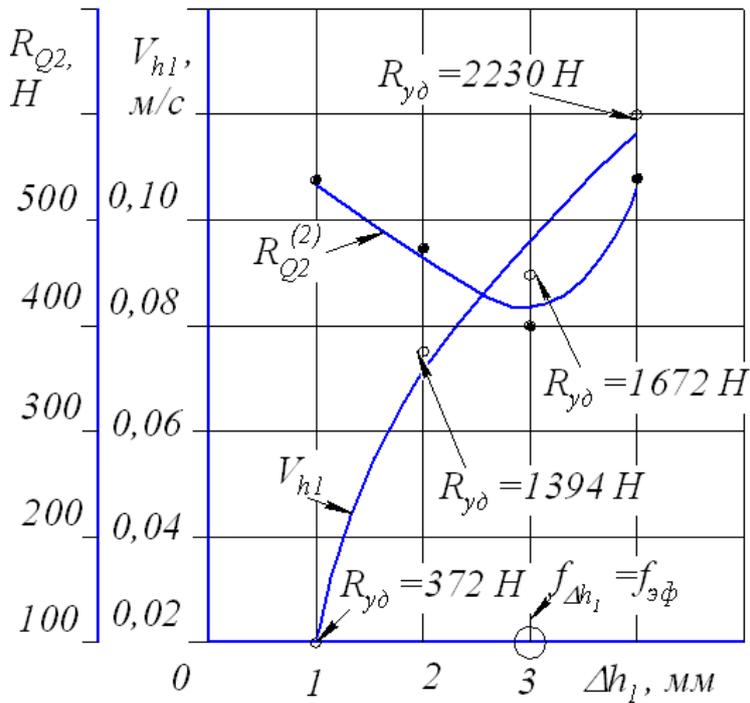


Рис. 3.18. Графики зависимости  $R_{Q_2}^{(2)}$  и  $V_{h1}$  от величины  $\Delta h_1$

рекрытием окон штока. Установлено, что при соотношении площади щели отрицательного линейного перекрытия и эффективной площади пропускных окон штока:  $f_{\Delta h_1} = (0,9 - 1,1) \cdot f_{\Delta \phi}$ , имеет место максимальное снижение  $R_{Q_2}^{(2)}$  (рис. 3.18.), при этом на фазе разблокирования ГУ, в соответствии с условием (2.15), ударная составляющая  $R_{y\delta}$  имеет доминирующее значение для отрыва клапана от седла и его открытия на величину, требующуюся для прохода жидкости. Одновременно достигается технологическое требование (2.5) к управляющему параметру  $Q_2$ .

Таблица 3.13

Коэффициенты полинома и величина достоверности аппроксимации экспериментальных зависимостей

Зависимости	Коэффициенты полинома			$R^2$
	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	
$V_{h1} = f(\Delta h_1)$	-0,0087	0,0782	-0,0563	0,967
$R_{y\delta} = f(\Delta h_1)$	-162,6	1454,1	-1045,3	0,9673
$Q_2 = f(\Delta h_1)$	-10	94	15	0,998
$Q_1^{\Delta h_1} = f(\Delta h_1)$	-1,507	17,831	374,9	0,9768

В ходе опытов выделена особенность срабатывания ЗРС с отрицательным перекрытием окон, заключающаяся в значимости соотношений площади

сечения щели  $f_{\Delta h_1}$ , образованной зазором  $\Delta h_1$ , и площади пропускных окон штока  $f_{\text{эф}}$  для получения предельного значения управляющего параметра  $Q_1^{(\Delta h_1)}$  с соблюдением условий (3.5) и (3.6) при одновременном получении эффекта возврата ЗРС при  $Q_2 \rightarrow (0,45 - 0,5)Q$  достигается при соизмеримости  $f_{\Delta h_1}$  и  $f_{\text{эф}}$ . Для исследуемых пусковых узлов при имеющихся место ограничениях на параметры привода ГБС по расходу и давлению жидкости в гидросистеме, граничное значение  $Q_1^{(\Delta h_1)}$ , из условия обеспечения эффективного транспортирования песка по стволу скважины достигается при  $\Delta h_1 = 2-3$  мм, что соответствует соотношению  $f_{\Delta h_1} = f_{\text{эф}}$ .

### 3.6. Выводы.

1. Разработана и реализована методика экспериментальных исследований пусковых узлов с заданными конструктивными характеристиками, обеспечивающая возможность получения фактических параметров управления запорно-регулирующими системами узлов, для условий блокирования и разблокирования гидроударного бурового снаряда.

2. Полученные в ходе эксперимента данные свидетельствуют о несущественности изменения качественных и количественных частотно-энергетических характеристик гидроударника при использовании в его компоновке пусковых узлов.

3. Экспериментально подтверждены теоретические зависимости, предполагающие выбор управляющих параметров:  $Q$  – для соблюдения устойчивого положения ЗРС при разблокированном состоянии гидроударника; и  $Q_1$  – обеспечивающего изменение положения ЗРС и сохранение устойчивого состояние плунжерного золотника на фазе блокирования работы гидроударника (при полностью открытых пропускных окнах штока) с проектными значениями  $f_{эф}$  при заданных конструктивных элементах ЗРС.

4. Для установленных конструктивных параметров ЗРС получено соответствие расчетных и фактических значений  $S_0$ , как настроечной характеристики пускового узла, определяющей условие  $R_Z \geq R_Q$  в границах проектного изменения  $Q$ .

5. Проверенные экспериментально аналитические зависимости  $R_Q = f(Q)$ , при изменении площади пропускного сечения клапана, как при постоянном  $d_6$ , так и при неизменном  $d_2$  качественно идентичны и имеют не выраженный криволинейный рост с увеличением  $Q$ . При этом количественно величина  $R_Q$  и соответствующий ей параметр  $R_Z$  имеют более интенсивный

характер роста при уменьшении  $f$  за счет изменения  $d_6$ .

6. Полученными данными подтверждена зависимость, предполагающая функциональную связь управляющего параметра  $Q_1$  и значений  $f_{эф}$ , при заданных конструктивных элементах ЗРС для обеспечения устойчивого состояния плунжерного золотника на фазе блокирования работы гидроударника, и проектных

7. Установлено, что для исследуемых ЗРС, выполненных как в виде клапана, так в виде системы «клапан-плунжерный золотник», увеличение хода клапана  $h_2$  при неизменных значениях остальных конструктивных параметрах ПУ приводит к смещению границы срабатывания ЗРС в сторону большего значения расхода жидкости  $Q_1$ .

8. Экспериментально подтверждена особенность срабатывания и возврата ЗРС с отрицательным перекрытием окон, заключающаяся в значимости соотношений площади сечения щели  $f_{\Delta h_1}$ , образованной зазором  $\Delta h_1$  и площади пропускных окон штока  $f_{эф}$ .

При  $f_{\Delta h_1} > f_{эф}$  граница срабатывания ЗРС смещается в сторону большего значения расхода жидкости  $Q_1$ . Для исследуемых пусковых узлов при имеющихся место ограничениях на параметры привода ГБС по расходу и давлению жидкости в гидросистеме, граничное значение  $Q_1$ , из условия обеспечения эффективного транспортирования песка по стволу скважины достигается при  $\Delta h_1 = 2-3$  мм, что соответствует соотношению  $f_{\Delta h_1} = f_{эф}$ .

Возврат ЗРС в исходное положение для разблокирования ГУ выполняется при наличии  $f_{\Delta h_1}$ . При этом доминирующим параметром для выполнения процесса является ударная составляющая  $R_{y\delta}$ , определяющаяся, в основном, скоростью плунжерного золотника ( $V_{h_1}$ ) при его соударении с клапаном.

#### 4. РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ПУСКОВЫХ УЗЛОВ В СОСТАВЕ ГИДРОУДАРНЫХ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ

Для дополнительной проверки достоверности, выделенных в диссертации выводов проведены промышленные эксперименты. Основной объем испытаний выполнен на объектах ГАО «Черноморнефтегаз» при инженерно-геологических изысканиях на углеводородных месторождениях, приуроченных к акваториям Черного и Азовского морей. Объектами испытаний являлись погружные гидроударные буровые снаряды ПБС-127 и ГБС-127, используемые в комплекте установок УМБ-130 и УМБ-130М. В качестве технической основы использовались суда общетехнического назначения: морские буксиры «Центавр», «Нефтегаз 68», и якорезавозчик «Emre Omour».

Ряд испытаний новых разработок осуществлено при выполнении геологоразведочных и геологосъемочных работ на объектах ООО «Суэста» (Украина) и ВНИИ Океангеология (Россия), а также при инженерно-геологических изысканиях на участках работ российских предприятий ООО «ПитерГаз», «Тихоокеанская инжиниринговая компания РЕКО», и компании Far East Marine Geology Engineering (DMIGE) Ltd., базирующейся в г. Вунг Тау (Вьетнам).

Непосредственными задачами испытаний и производственно-экспериментальных исследований являлись:

1. Проверка работоспособности пусковых узлов различных типов и сравнительная оценка их надежности при оперативном блокировании и разблокировании гидроударного механизма в процессе комбинированного разрушения пород на интервале скважины. На этом этапе исследований дополнительно уточнялись параметры настройки и технологические режимы управления пусковыми узлами с сопоставлением расчетных и фактических значений  $S_0$ ,  $Q_1$  и  $Q_2$ .

2. Обобщение данных для составления рекомендаций по устранению конструктивных недостатков и уточнению технологических режимов срабатывания пусковых узлов. Учитывая, что практически все испытания совмещались с решением задач рабочих планов производственных организаций, задача получения новых, более продуктивных показателей бурения, обеспечивалась, в основном, выбором доступных технических решений без принципиального изменения структуры бурового снаряда «ВПУ-ГУ-НПУ-КН».

4.1. Этапы совершенствования, условия проведения и результаты производственно-экспериментальных испытаний пусковых узлов в составе гидроударных буровых снарядов

Для оценки работоспособности и эффективности пусковых узлов различных типов использованы данные, накопленные в начальный период освоения технологической схемы многорейсового бурения (2001-2006 г.г.) [30, 34, 38], и данные, полученные при непосредственном участии автора диссертации за период 2006-2013 г.г.

Технической базой бурения являлись установки УМБ-130 и УМБ-130М, укомплектованными ПБС-127 и ГБС-127 с различной степенью модернизации ГУ и ПУ. При этом в качестве пусковых узлов применялись ВПУ и НПУ, по характеру изменения состояний ЗРС относящиеся, как к типу I, так и типу II (табл. 1.2).

Результатом производственно-экспериментальных исследований явилось получение обширного материала для дальнейшего развития техники и технологии бурения скважин с судов общетехнического назначения. В первую

очередь накопленные данные определили направленность и содержание работ по совершенствованию ПУ, как образующих элементов буровых снарядов для осуществления многорейсового бурения скважин.

В структуре начального варианта ПБС-127 предусматривались пусковые узлы ВПУ-1 и НПУ-1 (рис. 1.6). Их эксплуатация сопровождалась как трудностью получения эффективных показателей управления НПУ, так и технологически несовершенным процессом разблокирования гидроударника при переходе на режим отбора керна.

Многоэлементность НПУ-1 и, как следствие, сложность подбора соотношений гидравлической нагрузки и усилий возвратных пружин ЗРС обуславливали спуск ПБС с включенным буровым насосом и визуальной оценкой условия срабатывания НПУ-1. В такой ситуации операция спуска ПБС, предполагающая крепление к тросу нагнетательного шланга, находящегося под давлением (до 2,0 МПа), становилась весьма сложной и трудоемкой. Технологически несовершенным являлся также процесс разблокирования гидроударника при переходе на режим отбора керна. Срабатывание ВПУ-1 и возврат клапана и поршня НПУ-1 выполнялся при выключении бурового насоса на период до 3-4 мин. В этот отрезок времени восходящее движение жидкости по стволу скважины прекращалось, что способствовало весьма быстрому оседанию песка и заполнению им всего объема кольцевого зазора между ПБС и стенками скважины. Зачастую, учитывая то, что камера ВПУ-1, являясь каналом подвода жидкости в цилиндр гидроударника, не была защищена от проникновения в него песка, процесс запуска механизма затруднялся или становился невозможным [45]. Отмеченное потребовало изменения схемы, конструкции и условий настройки, прежде всего, НПУ-1 при одновременном решении задачи защиты гидродвигателя ПБС от запесочивания.

В конструкцию ПБС-127 были внесены изменения, предусматривающие упрощение конструкции, схемы взаимодействия, режима настройки и управления запорно-регулирующей системы НПУ. Дополнительно были приняты решения, направленные на снижение вероятности возникновения аварийных си-

туаций в процессе бурения скважин, предусматривающие:

1 - увеличение интенсивности восходящего движения жидкости над ПБС при бурении интервала скважины с отбором керна;

2 - обеспечение герметичности рабочих камер двигателя гидроударного механизма;

В основу решения первой задачи были положены данные исследования

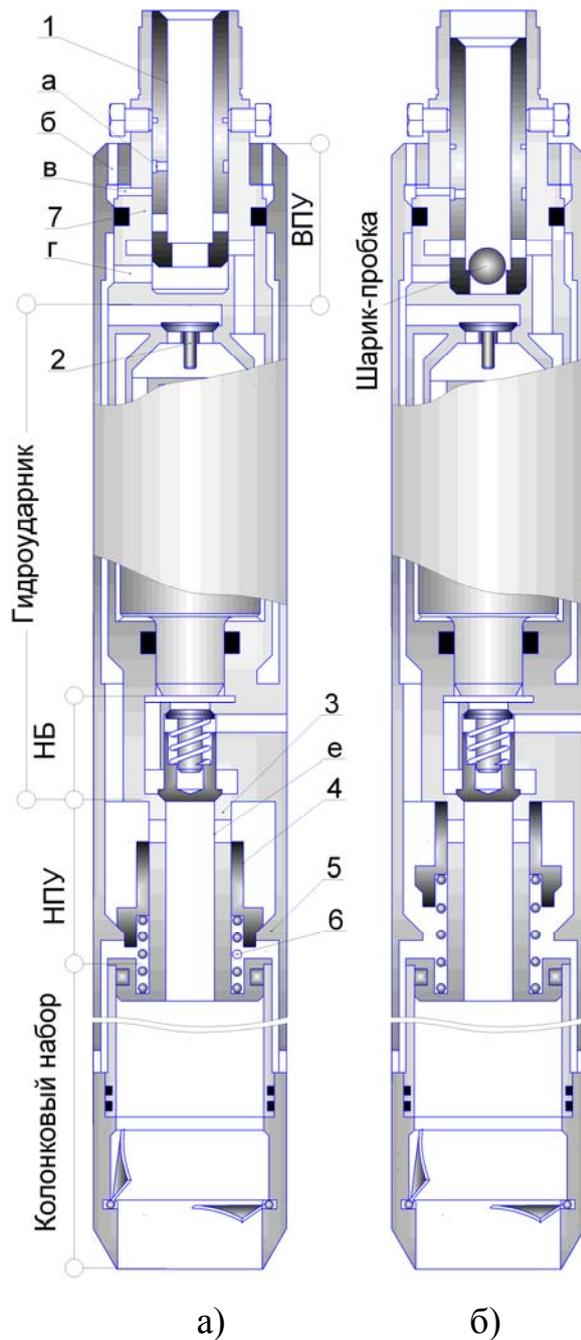


Рис. 4.1. Усовершенствованный вариант ПБС-127

модели эрозии стенок скважины по длине ПБС-127 и характера движения песка на участке скважины с увеличенным сечением потока. В результате уточнено значение минимальной скорости потока ( $V_n=0,2...0,28$  м/с), для разрушения «мертвых» зон скопления песка по стволу скважины, которая предполагает уровень  $Q_1 > 400$  л/мин [65]. Для технического обеспечения выделенного условия (задача 1), верхний пусковой узел гидроударника ПБС-127 был дополнен функциями делителя потока. В конструктивном плане решение задачи стало возможным за счет выполнения в патрубке 1 ВПУ проточки с каналом «а» и радиальных калиброванных отверстий «в» в переходнике 7 (рис. 4.1).

На фазе размыва породы (рис. 4.1, а) делительные каналы «а» патрубка 1 закрыты цилиндром распределительного переходника 7.

В процессе отбора керна, после срабатывания ВПУ в гидросистему подается количество жидкости, соизмеримое с  $Q_1$ . Патрубок 1 отверстиями «а» через каналы «в» и «б» совмещает напорную магистраль со стволом скважины, при этом часть жидкости, соответствующая расходу  $Q$  для эффективной работы гидроударника, направляется в рабочие камеры механизма. Остальная часть жидкости ( $Q_1 - Q$ ) перепускается через делительные каналы в скважину над ПБС.

Как показал дальнейший опыт применения ПБС-127, выбранное техническое решение способствовало повышению степени очистки ствола скважины на фазе пробоотбора. Также, за счет увеличения интенсивности потока над ПБС существенно снижено усилие извлечения ПБС после окончания рейса, что практически исключило вероятность прихвата бурового снаряда, особенно при прохождении мощных участков песка.

Принятием такого инженерного решения, как размещение обратного клапана 2 в линии выхода отработанной в гидродвигателе жидкости, обеспечена защита двигателя гидроударника от попадания в него абразивных частиц песка и шлама в период спуска в скважину и на фазе размыва пород.

Принципиальные изменения внесены в конструкцию НПУ, разработанного по схеме НПУ-II (табл. 1.2). В предложенном НПУ, запорно-регулирующая система пускового узла выполнена в виде плунжерного клапана 4 и пружины 6, концентрично установленных на штоке 3. Единственным элементом регулирования диапазона срабатывания НПУ является пружина 6. Для заданного расхода жидкости, соответствующего условию удержания плунжерного клапана на фазе работы гидроударника, сила пружины 6 подбирается изменением ее предварительной деформации за счет навинчивания опорной втулки 7 на шток 3.

Использование НПУ с одноэлементным распределителем в виде подпружиненного плунжерного клапана значительно упростило процесс настройки пускового узла для установленного расхода жидкости и увеличило надежность

его срабатывания при блокировании ПБС на фазе размыва породы, по сравнению с ранее применяющимся многоэлементным НПУ.

В новом исполнении ПБС-127 в составе УМБ-130 прошел длительную апробацию в процессе инженерных изысканий на углеводородных месторождениях Черноморского шельфа и акватории Азовского моря. За период 2002-2007 г.г. на участках изысканий пробурено более 500 скважин глубиной 6 м и, более 100 скважин глубиной 10-25 м с борта судов общетехнического назначения: МБ «Нефтегаз -68» и МБ «Центавр».

В 2008 г. буровой снаряд ПБС-127 в составе установки УМБ-130 использован при бурении инженерно-геологических скважин с целью получения исходных данных для проектирования трассы подводного трубопровода Джубга – Лазаревская – Сочи (шельф Черного моря).

Работы выполнялись предприятием ГПП «Причерноморгеология» (Украина) с бурового судна «Диорит».

В соответствии с техническим заданием ООО «ПитерГаз» (Россия) пробурено 162 скважины глубиной от 4 до 20 м (Приложение А).

Несмотря на успешное решение производственных планов и получение хорошего качества изысканий, в итоговых выводах испытаний были отмечены недостатки, связанные с необходимостью выполнения трудоемких операций по перезарядке ВПУ в ходе подготовки ПБС к работе: демонтаж нагнетательного шланга и троса; отсоединение от ПБС грузового переходника; извлечение ранее сброшенного шарика и размещение его в камере питателя, располагающегося на жесткой нагнетательной линии обвязки насоса; перемещение и шплинтовка распределительного патрубка в исходном положении. По хронометражным данным время на подготовку бурового снаряда к очередному спуску, за счет увеличенной трудоемкости перезарядки ВПУ и питателя, в среднем составляло 30-35 % в общем объеме подготовительно-заключительных операций.

Кроме того, наличие питателя для сброса шарика-пробки увеличивало не только элементность нагнетательной линии, но и дополнительно усложняло технологию подготовки и эксплуатацию ПБС.



Рис. 4.2. Размещение оборудования установки УМБ-130М на НИС «Триас» и подготовительные работы по спуску донной опоры на дно.

возникшие в процессе подготовки ПБС к бурению, обуславливались техническим состоянием и ограниченной фактической подачей бурового насоса НБ-32 ( $Q=340\dots350$  л/мин). Такой количественный уровень  $Q$  исключал предусмотренное технологическое превышение расхода жидкости  $\Delta Q$  и для условий испытаний, и являлся настроечной величиной срабатывания НПУ, существенно уменьшая возможности форсировать работу гидроударника при бурении скважины с отбором керна, разрез которой был представлен исключительно твердыми красными глинами. Поэтому на фазе отбора проб, для предотвращения

В 2009 г. в порту г. Вунг Тау (Вьетнам) пробурена экспериментальная скважина глубиной 15 м. Работы выполнялись в рамках приемки установки УМБ-130М техническими и геологическими службами компании Far east marine geology engineering (DMIGE) Ltd. Проходка скважины обеспечивалась с борта НИС «Триас» (рис. 4.2).

Весь объем подготовительных и пуско-наладочных работ, выполнен при непосредственном участии специалистов ДонНТУ.

Установка комплектовалась бурым снарядом ПБС-127. Основные трудности,

несанкционированного срабатывания НПУ, работа гидроударника обеспечивалась при  $Q=260\dots270$  л/мин и давлении воды в системе не более 2,0 МПа.

Учитывая, что задача проходки скважины была сужена вопросами приобретения буровым персоналом навыков выполнения технологических операций, глубина пробоотбора изменялась. С нулевой отметки длина рейса составила 4,5 м. В дальнейшем, при общем количестве выполненных рейсов 14, дохождение до отметки отбора керна обеспечивалось с включенным нижним пусковым узлом. Пробоотбор производился интервалами по 0,3-1,4 м.

Оценка погружающей способности ПБС-127 и качество получаемого геологического материала производились по данным бурения верхнего интервалов двух скважин глубиной по 4,5 м. Процесс выполнялся при механически зафиксированном клапане НПУ, с увеличенным значением подачи насоса  $Q=310\dots340$  л/мин. Принятый диапазон  $Q$  обеспечивал необходимые частотно-силовые характеристики гидроударника, соответствующие условию разрушения твердых глинистых пород.

Бескерновая проходка интервалов скважины выполнялась при максимальной подаче насоса с включением НПУ. Момент срабатывания НПУ определялся визуально по манометру путем контроля падения давления жидкости в гидросистеме. Настраиваемая величина давления 1,3-1,4 МПа, соответствовала условию, когда клапан НПУ, за счет силы сжатой пружины, удерживался в верхнем положении, перекрывая доступ жидкости в кернаприемную трубу. При срабатывании клапана давление в системе «падало» до 0,5-0,6 МПа.

Режим возврата ЗРС пускового клапана в исходное положение подбирался на поверхности с последовательным выполнением операций: • открытие сливной линии регулировочным вентилем; • сброс шарика-пробки питателем; • включение верхнего пускового узла; • выключение насоса на 15-20 с (до фиксации срабатывания НПУ); • вывод гидроударника на доступный рабочий режим с помощью регулировочного вентиля.

Полученные результаты опытного бурения практически подтвердили показатели механической скорости ( $V_{мех} = 0,12...0,14$  м/мин), ранее достигнутые при эксплуатации установок УМБ-130М в идентичных условиях производства [33]. Значимым результатом проведенных испытаний, с точки зрения качества работ, явилась высокая степень сохранности геологического материала при выходе керна 100 % (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Образец керна твердых красных глин с интервала 2,4 - 4,5 м (опытная скважина №1 в порту г. Вунг Тау).

На этапе предварительной оценки геологических условий бурения, учитывая ограниченную подачу бурового насоса, было ясно, что получить эффективные показатели гидромониторной очистки ствола скважины не удастся.

Из-за низкой размываемости глин сечение ствола в процессе бурения практически не увеличивалось. Неблагоприятные условия бескернового бурения дополнялись наличием внешнего поршневого эффекта при использовании «клюющего» способа проходки скважины. При заложенном диаметре башмака (129 мм), мало отличавшимся от наружного диаметра бурового снаряда (127 мм), под сбрасываемым колонковым набором формировались значительные гидравлические сопротивления снижающие (вплоть до остановки) скорость соударения башмака с забоем. Этот фактор выделен в виде основной причины низкой скорости бескерновой проходки скважины (0,4 м/ч). После наварки на корпусе башмака наклонно расположенных полос шириной 5 мм и толщиной 1,5 мм эффективность «клюющего» способа несколько возросла. Интервал 0-13 м был пройден за 4,7 часа.

При переходе на интервал отбора керна, без форсирования работы гидроударника, механическая скорость бурения не превышала 0,06 м/мин. Попытки повысить силовые характеристики гидроударника увеличением расхода

жидкости до 320-340 л/мин сопровождалась несанкционированным срабатыванием НПУ. Как следствие керн существенно деформировался (рис. 4.4).

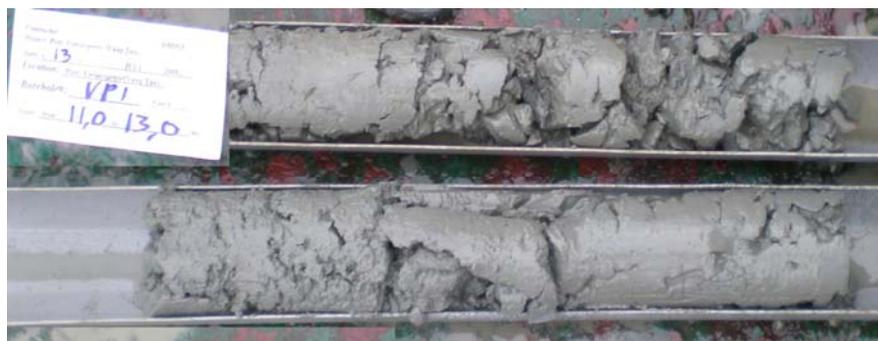


Рис. 4.4. Керн, полученный при несанкционированном срабатывании НПУ (интервал 11-13 м).

эксплуатационным качествам УМБ-130М, а также отмечены резервы повышения продуктивности разработки.

По мнению представителей приемки оборудования, область эффективного применения разработанной буровой техники может быть существенно расширена путем уменьшения номинальных значений гидравлической мощности на привод гидроударного механизма при сохранении его разрушающей способности. В качестве проблемной отмечена задача снижения взаимовлияния гидравлической системы привода гидроударника и управления нижним пусковым узлом в процессе комбинированного разрушения пород на интервалах скважины. Кроме того, были отмечены недостатки ПБС-127, ранее выделенные по итогам испытаний при производстве работ на трассе трубопровода Джубга – Лазаревская – Сочи (Протокол Б).

Поэтому дальнейшие проектно-конструкторские работы в области совершенствования ПБС-127 были направлены на решение вопросов, связанных с изменением схемы и режима управления верхним пусковым узлом. В соответствии с принципиальной схемой (рис. 1.8) в конструкции гидроударника ПБС-127 предусматривался ВПУ, который по характеру изменения состояний соответствовал типу II (табл. 1.2).

Несмотря на неполную проверку показателей назначения установки, специалистами DMIGE, приняв во внимание техническую неподготовленность привода ПБС, дана положительная оценка

Технической предпосылкой использования ВПУ-II явились накопленные данные успешной эксплуатации НПУ-II в структуре усовершенствованного ПБС-127. При этом в качестве объективно приемлемого решения для переработки ВПУ принято условие унификации (по отношению к НПУ) конструкции и характера изменения положения его ЗРС путем оперативного увеличения или снижения подачи жидкости в гидросистему.

Первые результаты с положительной оценкой применения пусковых узлов, работающих в автоматическом режиме взвода с дистанционным включением, за счет увеличения подачи жидкости в нагнетательную линию гидросистемы получены при выполнении геологоразведочных работ на объектах ООО «Суэста» (2010 г). Бурение скважин выполнялось с борта теплохода «Трофа», с целью поиска месторождений строительных песков в районе мыса Фиолент (Черное море) (Приложение В).



Рис. 4.5. Размещение установки УМБ-130 в хоппере теплохода «Трофа»

Обслуживание установки, в качестве которой использована установка УМБ-130 с облегченным вариантом стабилизирующей опоры, выполнялось в грузовом трюме (хоппере) теплохода (рис. 4.5).

Установка комплектовалась гидроударным буровым снарядом ПБС-127, с унифицированными пусковыми узлами ВПУ-II и НПУ-II. Подача жидкости в гидроударник обеспечивалась насосом 9МГр с приводом от дизель-генератора, которые размещались над хоппером на площадке вдоль левого борта судна.

Поскольку разрез скважин был представлен исключительно песками, эффективный режим работы ПБС-127 при

отборе керна обеспечивался при подаче насоса  $Q=250-270$  л/мин. Блокирование гидроударника при переходе на режим размыва песка, обеспечивалось изменением положения ЗРС пусковых узлов при расходе жидкости  $Q_1=350-360$  л/мин, с последующим увеличением  $Q_1$  до 400-410 л/мин.

С учетом выделенных значений  $Q$  и  $Q_1$ , выбирался параметр  $R_Z$  путем изменения  $S_0$  в соответствии с рекомендацией (2.4).

В табл. 4.1 приведены данные, показывающие сопоставимость расчетных и эксплуатационных значений  $S_0$ , обеспечивших стабильное удержание ЗРС на фазе пробоотбора, и срабатывание пусковых узлов при переходе на режим бескернового бурения интервала скважин.

Таблица 4.1.

Параметры настройки ЗРС пусковых узлов снаряда ПБС-127

Режим: блокирование работы гидроударника при переходе на бескерновый способ бурения	Параметры настройки пусковых узлов с предельным значением расхода жидкости, количественно соответствующего режиму срабатывания пусковых узлов			
	ВПУ ( $Q_1=350-360$ л/мин)		НПУ ( $Q_1=400-410$ л/мин)	
	Значение $S_0$ , мм		Значение $S_0$ , мм	
	Расчетное	Принятое	Расчетное	Принятое
	69	66	79	81

Одним из наиболее важных выводов проведенных работ, состоит в получении прогнозируемых режимов управления и положительных показателей надежности ВПУ-II и НПУ-II с упрощенной схемой их настройки на режим срабатывания ЗРС.

В дальнейшем, при эксплуатации ПБС-127 в составе установок УМБ-130 и УМБ-130М с борта СО/ССН «Нефтегаз 68» на газовых месторождениях шельфа Черного моря при бурении скважин со сложным геологическим разрезом возникали трудности, обусловленные нарушением условия синхронного

срабатывания ЗРС нижнего и верхнего пусковых узлов в диапазоне расходов жидкости  $Q \dots Q_1$ .

При заложенных соотношениях параметров двигателя гидроударного механизма ПБС-127, значения энергии удара ( $E$ ) и частоты ударов ( $n$ ) для разрушения, прежде всего, встречающихся по разрезу ствола скважины твердых пород, обеспечиваются при увеличенных расходах жидкости.

Из накопленного опыта и экспериментально полученных значений эксплуатационного расхода жидкости, технологически благоприятным с надежным контролем состояния запорно-регулирующих систем ВПУ-II и НПУ-II является соблюдение соотношения  $\Delta Q \geq 0,3 Q$ . Для форсированных режимов работы с принятым исполнением гидродвигателя ПБС-127, рекомендуемая величина  $\Delta Q$  предполагает необходимость выполнения условия  $Q_\phi > 400$  л/мин.

Учитывая ограниченность судового энергообеспечения, применение такого уровня  $Q_\phi$ , являющегося фактором увеличения мощности привода насоса, становилась затруднительной.

Поэтому сумма задач, связанных с разработкой ВПУ, была дополнена вопросами параметрической оптимизации гидроударного механизма, для адаптации его привода к характеристикам наиболее часто применяющихся буровых насосов, с соблюдением условий:  $\Delta Q \geq 0,3 Q$  и  $Q_\phi \leq 300$  л/мин.

Характер развития ГБС был расширен серией исследований, предусматривающих решение задачи переработки двигателя гидроударного механизма, с эффективными показателями его работы при расходе жидкости  $Q = 200-220$  л/мин и давлении  $P \leq 3,5$  МПа.

Трудность реализации задачи обуславливалась, прежде всего, необходимостью получения выходных частотно-силовых параметров механизма для погружения колонкового набора в породы IV-V категорий по буримости (твердые глины, детритовый известняк, прослойки песчаника, гравийные отложения и т.п.).

Учитывая форму башмака колонкового набора, создающего сплошную кольцевую поверхность контакта с забоем, процесс разрушения пород при чередовании по разрезу скважины пород с различными физико-механическими свойствами, имеет неоднозначный характер. При бурении илов, гравийно-галечных и песчано-глинистых пород различной плотности и твердости, процесс их разрушения можно назвать режуще-уплотняющим, а при бурении прослоек твердых пород (песчаника, известняка и т.п.) - режуще-дробящим. В целом же, оба процесса характеризуются высокой энергоемкостью разрушения и, на встречающихся отдельностях ствола скважины предполагают обеспечение возможности оперативного приведения в соответствие прочностных свойств пород с необходимым уровнем частотно-силового воздействия ГБС на разрушаемую среду.

Исследованиями погружающей способности ПБС-127, в том числе проведенных в процессе производственных экспериментов доказана достаточность количественных значений  $E=120-180$  Дж и  $n=20-30$  с<sup>-1</sup> для проходки «тяжелых» осадков.

Получение выделенного уровня  $E$  и  $n$ , при более чем в 1,5 раза пониженных расходах жидкости  $Q$ , объективно предполагало необходимость кинематической и параметрической оптимизации гидроударного механизма. Получение достаточного уровня  $E$  и  $n$ , при расходе жидкости  $Q=200-220$  л/мин, обусловил возникновение новых проблем, связанных с необходимостью уменьшения размеров образующих элементов гидродвигателя.

Характерной особенностью клапанно-распределительных узлов гидродвигателя ГУ является наличие большого числа уплотнений, перепускных каналов и камер. Поэтому механическое уменьшение размеров его цилиндра и, как следствие, сечений каналов распределительных элементов двигателя, исключалось из-за резкого увеличения гидравлических сопротивлений в камерах гидроударника.

Для устранения отмеченного препятствия в конструкции гидродвигателя ГБС-127, использован составной распределительный узел с увеличенными ка-

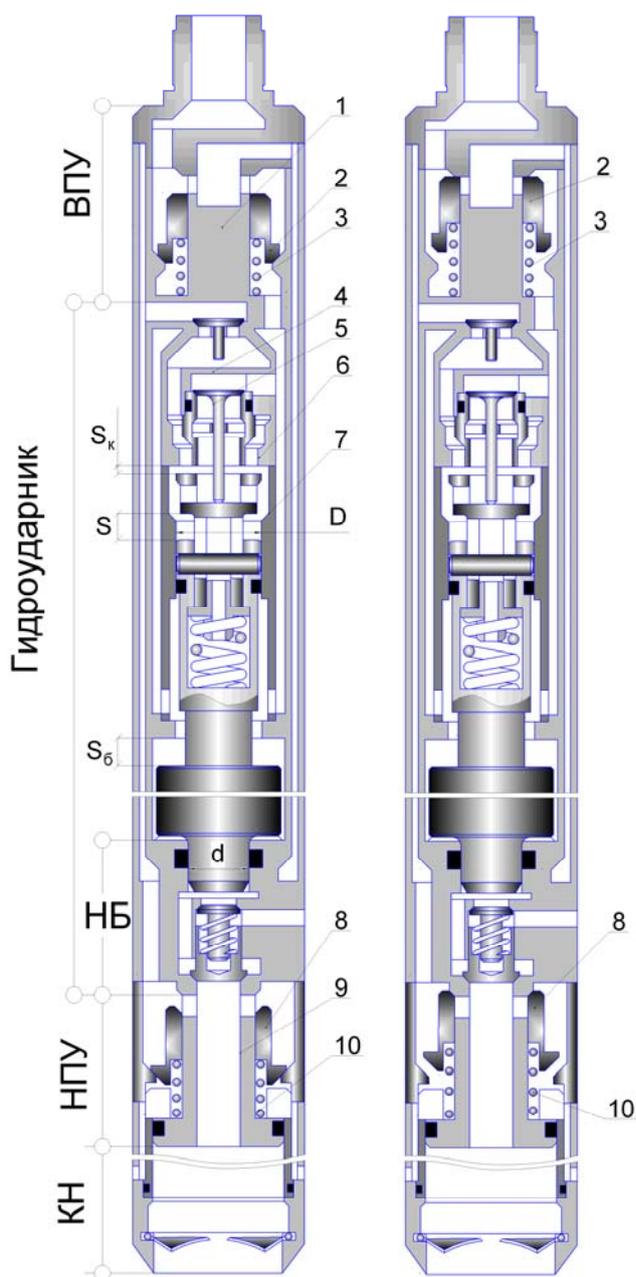


Рис. 4.6. Схема гидроударного бурового снаряда ГБС-127:

1, 2, 3 – шток, клапан, пружина ВПУ; 4, 5, 6, 7 – составной распределительный узел, впускной клапан, клапанная коробка, цилиндр гидродвигателя ГУ; 8, 9, 10 – клапан, шток, пружина НПУ; НБ – насосный блок; КН – колонковый набор.

налами и камерами (рис. 4.6). Это позволило более чем на 20%, по отношению к ранее используемым распределительным элементам гидродвигателя снаряда ПБС-127, увеличить размеры сечений каналов клапанной коробки 6 для прохода жидкости в рабочие камеры механизма.

В результате комплексного учета принятых инженерных решений, используя рекомендации получения оптимальных параметров гидроударных машин [39], выбраны новые показатели и соотношения конструктивных параметров гидродвигателя ГУ бурового снаряда ГБС-127: диаметр поршня  $D_n = 70$  мм; диаметр штока  $d = 50$  мм; рабочая площадь поршня  $f = 19$  см<sup>2</sup>; рабочий ход бойка  $S = 23$  мм; общий ход бойка  $S_б = 26$  мм; ход клапанов  $S_{кл} = 6$  мм; масса бойка – 65 кг.

Принятые инженерные решения при разработке ГБС-127, позволили не только снизить гидравлическую нагрузку в системе привода с практически сохраненными показателями его частотно-силовых параметров по отношению к ПБС-127, но

и получить новые возможности выбора параметров и режимов управления ВПУ и НПУ.

Запорно-регулирующие системы пусковых узлов ГБС-127 унифицированы и выполнены в виде подпружиненных клапанов 2 и 8, концентрично установленных, соответственно на штоке 1 (ВПУ), и штоке 9 (НПУ).

Настройка узлов на заданный рабочий диапазон расходов жидкости обеспечивается изменением предварительного сжатия пружин 3 и 10.

Наличие технологической разницы  $Q_1 - Q = 140-200$  л/мин, существенно повысило, прежде всего, надежность удержания элементов ЗРС при разблокированном состоянии гидроударника ГБС-127, что исключило срабатывание НПУ в период пробоотбора с сохранением качества керна при форсированном режиме работы механизма.

В конечном итоге, значимость принятых решений, при разработке снаряда ГБС-127, была подтверждена новыми возможностями и высокой продуктивностью установок, как при инженерно-геологических изысканиях на углеводородных месторождениях, так и при выполнении геологоразведочных работ в акваториях Черного и Азовского морей.

Результативность проведенных опытно-конструкторских работ установлена при использовании установок в сложных горно-геологических условиях.

Приобретение (2012 г.) Украиной СПБУ «Петр Годованец», уже на этапе обеспечения нормативных инженерно-геологических условий постановки ее на рейде, в порту и в местах отстоя, обусловили необходимость поиска и подготовки соответствующих площадок в порту и прилегающей к нему акватории Черного моря.

В геологическом отношении донные отложения выделенных рабочих площадках характеризовались весьма сложным строением с различным чередованием илов, песков, суглинков, твердых и пластичных глин, гравия, гальки, известняка, песчаника и других «тяжелых» осадков.

Особенностью проектных разрезов по скважинам, прежде всего, на участке порта являлось и то, что концентрация в них разных слоев твердой породы могла наблюдаться на коротком интервале (2-8 м).

Традиционно инженерно-геологические работы в отмеченной геологической специфике донного осадконакопления выполнялись вращательным способом с использованием бурового судна НИС «Диорит». Вместе с тем, для решения проектных заданий, особенно в причальной части акватории порта, применение НИС «Диорит», вследствие малой глубины моря (4-7 м) и сложности стабилизации судна над точкой бурения, могло оказаться не только малопродуктивным, но и невозможным. Поэтому, несмотря на отсутствие данных о граничном уровне возможностей и потенциале установок УМБ-130, исходя из экономических соображений и учитывая весьма сжатые сроки выполнения изысканий, производственными службами ГАО «Черноморнефтегаз», для выполнения намеченного объема работ было принято решение использовать собственный флот, в виде СО/ССН «Нафтогаз-68».

В качестве технической базы бурения использована установка УМБ-130, укомплектованная буровым снарядом ГБС-127. Для привода ГБС использовался буровой насос 9МГР.

Учитывая, что геологический разрез в причальной части порта был представлен, в основном, твердыми породами и песками небольшой мощности, бурение восьми скважин в этой зоне изысканий выполнялось по однорейсовой технологической схеме на глубину 2-6 м.

На несколько удаленных от причала участках порта, глубина скважин составляла 8-13 м. Проходка их осуществлялась по бесколлонной технологической схеме с интервальным отбором керна по 2-4 м.

Характерной особенностью накопления осадков на объекте изысканий являлось то, что более 30 % пересекаемых в процессе бурения пород, были представлены твердыми глинами и известняком. По интервалам ряда скважин встречались прослойки песчаника, слои песка с гравием и галькой с переходом на известняк, глину или тяжелый суглинок.

Дополнительно, в соответствии с программой инженерных изысканий, на площадке постановки СПБУ, прилегающей к порту, пробурено 23 скважины глубиной от 6 до 27 м. Изобата моря в районе работ колебалась от 7 до 22 м. Геологический разрез по скважинам формировался, преимущественно, глинистыми осадками, мощностью 4 – 12 м и различными песками, мощностью до 20 м (Приложение Г).

Параметры привода гидроударного механизма и режимы управления пусковыми узлами ГБС-127 приведены в табл. 4.2. Эффективная подача насоса на привод гидроударника не превышала 220 л/мин. Заложенный эксплуатационный расход, при котором исключалось срабатывание ЗРС на фазе отбора керна, составлял 280 л/мин. Проектный форсированный режим работы предусматривался при расходе жидкости 250 л/мин. При бурении на площадке, прилегающей к порту, устьевой интервал скважины, сложенный глинистыми илами и слабо-уплотненными песками проходил при пониженном значении  $Q$ .

Таблица 4.2.

Параметры привода гидроударного механизма и режимы управления пусковыми узлами ГБС-127

Пересекаемые слои донных осадков	$Q$ , л/мин	$Q_{\phi}$ , л/мин	$Q_{\varepsilon}$ , л/мин	Режимы управления ЗРС			
				$Q_1$ , л/мин		$S_0$ , мм	
				Экспл.	Расч.	Экспл.	Расч.
Пески, супеси	210 - 220	190-	270-280	330-340	370	70	70
Ил глинистый		200					
Плотные глинистые породы; известняк $R_d$ ; песчаник; гравийно-галечные отложения		240-250					

Полученные в ходе теоретических и экспериментальных работ рекомендации по выбору настроечных характеристик пусковых узлов ( $Q_3$ ,  $Q_1$  и  $S_0$ ) с достаточной точностью соответствовали фактически принятым условиям эксплуатации ГБС-127.

При оценке данных, полученных в процессе выполненного объема изысканий, особое внимание акцентировалось на получении качественного геологического материала по всему разрезу скважин. В этом отношении реализуемый способ проходки скважин в условиях сложного геологического разреза полностью обеспечил нормативные требования к показателям пробоотбора. Предложенные параметры управления пусковыми узлами, полностью исключившие произвольное срабатывание ЗРС как при форсировании работы гидроударника, так и при переходе от режима бескерновой проходки на режим отбора керна, обеспечили выход керна по глинистым породам – 95-100 %; по остальным породам, в т.ч. по пескам различного гранулометрического состава – более 80 %. Важным качественным показателем изысканий явилось получение образцов керновых колонок с четким визуальным контактом между слоями пород с различными физико-механическими свойствами (рис. 4.6).

Впервые в отечественной и мировой практике, использование многофункционального ГБС -127 в составе легкой установки, с заборной технологической схемой ее эксплуатации с судов общетехнического назначения, позволило достичь показателей проходки инженерно-геологических скважин, которые ранее могли реализовываться только вращательными агрегатами специализированных буровых судов.

Основное эксплуатационное несовершенство ГБС-127 заключалось в сложности обеспечения многократного изменения характера разрушения пород на интервале скважины. В подавляющей части, разблокирование гидроударного механизма (возврат ЗРС пусковых узлов в исходное положение) выполнялось при отключении бурового насоса на период 40-50 с.

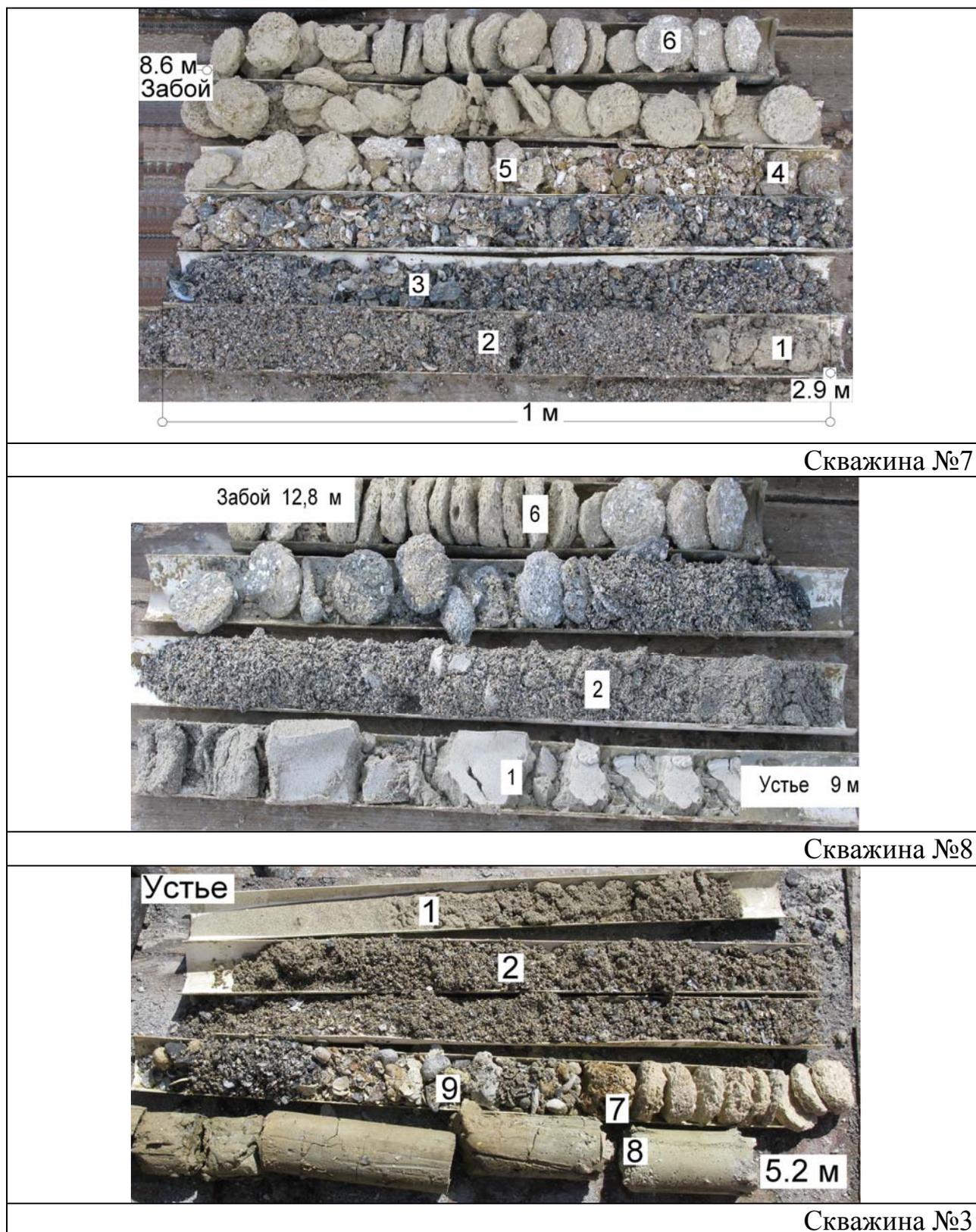


Рис. 4.7. Фрагменты керна при бесколонном многорейсовом бурении скважин в причальной части порта ГАО «Черноморнефтегаз»:

1 – песок мелко-зернистый; 2 – песок ракушечный; 3 – песок раковидно-детритовый; 4 – суглинок с галькой и щебнем; 5, 6 - известняк; 7 – песчаник; 8 – суглинок; 9 – галька с обломками известняка.

В дальнейшем, при выборе концепции модернизации ГБС-127 была выделена принципиальная задача, идея которой заключалась в создании пусковых узлов, которые в структуре ГБС, обеспечивали бы техническую возможность снижения напряженности выполнения операций блокирования и разблокирования гидроударного механизма в процессе комбинированного разрушения пород на интервалах скважины.

#### 4.2. Разработка и производственно-экспериментальные испытания усовершенствованных пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127

Обоснованные в разделах 2 и 3 выводы послужили базой для разработки новых конструкций пусковых узлов, в которых, в соответствии с предложенной схемой (рис. 1.12), сохранив условие одноэлементной настройки, плунжерный клапан разделен на два элемента: собственно клапан и концентрично установленный в нем плунжерный золотник с отрицательным перекрытием пропускных окон штока. В предложенном исполнении доминирующее значение, для возвращения ЗРС, при разблокировании гидроударника, обеспечивается силой соударения плунжерного золотника и клапана и дополняется действием силы пружины.

Для выполнения работ были подготовлены буровые снаряды ГБС-127 и ГБС-127М. Проектные параметры привода ГБС, параметры управления пусковыми узлами, установлены в соответствии с рекомендациями, полученными в процессе теоретических и экспериментальных исследований (табл. 4.3 - 4.5).

Таблица 4.3.

#### Параметры привода гидроударных буровых снарядов

Проектные значения расходов жидкости на привод ГБС-127 и ГБС-127М		
Режимы работы гидроударника		
Номинальный	Эксплуатационный	Форсированный
$Q=210-220$ л/мин	$Q_э=260-280$ л/мин	$Q_ф=230-250$ л/мин

Таблица 4.4.

Размеры элементов ЗРС и проектные параметры управления пусковыми узлами бурового снаряда ГБС-127М

Размеры элементов ЗРС, мм							
$d_1=80$	$d_2=106$	$d_5=50$	$d_6=110$	$f_{\text{эф}}=4,5 \text{ см}^2$	$h_1=16$	$h_2=8$	$\Delta=3$
Проектные параметры управления							
$S_0=69 \text{ мм (при } Z=6\text{кН/м)}$			$Q_1=300 - 310 \text{ л/мин}$		$Q_2=150 - 170 \text{ л/мин}$		

Таблица 4.5.

Размеры элементов ЗРС и проектные параметры управления пусковыми узлами бурового снаряда ГБС-127

Размеры элементов ЗРС, мм						
$d_1=80$	$d_2=106$	$d_5=60$	$d_6=110$	$f_{\text{эф}}=4,5 \text{ см}^2$	$h_1=32$	$h_2=26$
Проектные параметры управления						
$S_0=70 \text{ мм (при } Z=6\text{кН/м)}$			$Q_1=320-330 \text{ л/мин}$		$Q_2=90-100 \text{ л/мин}$	

Первые результаты промышленного применения усовершенствованных пусковых узлов получены в период проведения инженерно-геологических изысканий для подготовки площадки под постройку СПБУ «Амазон» на газовом месторождении в Азовском море (06.05 - 26.05.2013 г. и 28.05.2013 г.). Буровые снаряды использовались в составе установки УМБ-130М. Работы выполнялись с судна общетехнического назначения «Emre Otour».

В соответствии с проектом изысканий на объекте работ с размерами площадки 50x50 м пробурено три скважины (ИГ-1, ИГ-2, ИГ-3) глубиной по 30 м и скважина глубиной 40 м для уточнения и получения, дополнительных инженерно-геологических данных по разрезу ранее пробуренной скважины ИГ-1. Геологический разрез скважин был представлен глинистыми, песками и глинами разной плотности.

При бурении скважины ИГ-1 использовался гидроударный буровой снаряд ГБС-127, укомплектованный пусковыми узлами с одноэлементным плунжерным клапаном. В технологическом цикле проходки интервалов плотных

пород предусматривалось применение «ключевого» способа бурения. Переход с режима бескернового бурения на режим включения в работу гидроударника обеспечивался после отключения насоса, что отличалось от проектных параметров управления (табл. 4.5).

Скважины ИГ-2 и ИГ-3 были пробурены буровым снарядом ГБС-127М. с пусковыми узлами, в виде подпружиненного плунжерного золотника с отрицательным перекрытием пропускных окон штока. В обвязку насоса был включен регулировочный вентиль (РВ) с шагом резьбы винта 8 мм, что обеспечило ускоренное перемещение поршня РВ с возможностью полного открытия (закрытия) сливной линии гидросистемы за 2 оборота винта. Весь цикл пуска-наладочных работ, в т.ч. настройка пусковых узлов с учетом проектных расходов жидкости для эксплуатации ГБС-127М выполнялся на палубе судна. Параметры управления ЗРС ( $Q_1$  и  $Q_2$ ) контролировались объемным методом с использованием бака емкостью 0,2 м<sup>3</sup>; величина  $S_0$  принималась в соответствии с расчетными рекомендациями и уточнялась в ходе пуска-наладочных работ. Перемещение ЗРС в исходное положение оценивалось визуально и соответствовало моменту начала работы гидроударника. При этом запуск гидроударника выполнялся при давлении в системе 1,5-1,7 МПа, что, согласно рабочей характеристики ГБС-127М, соответствовало расходу 140-150 л/мин, а срабатывание пусковых узлов при разблокировании ГБС обещивался без отключения насоса.

Эксплуатационные показатели использования ПУ, приведены в (Приложении Д).

Технология бурения: интервалы плотных глинистых пород разбуривались с последовательным выполнением операций: при расходе жидкости  $Q$  частотно-ударное разрушение пород (0,15-0,20 м) с разгрузкой ГБС на забое → удержание ГБС после углубления забоя → увеличение расхода до значения  $Q_1$ , обеспечивающего срабатывание пусковых с прекращением работы ГУ (размыв породы и удаление ее из керноприемной трубы) →; снижение подачи жидкости в систему, с обеспечением возврата ЗРС нижнего пускового узла и

запуск ГУ для проходки следующего отрезка ствола скважины (Приложение Д).

На основании обработки хронометражных данных выполнена оценка надежности разработанных пусковых узлов.

В качестве оценки надежности выбран коэффициент технического использования, который достаточно полно обеспечивает оценку работоспособного состояния учетом технического обслуживания и ремонта пусковых узлов за период бурения скважины [68].

$$K_{mi} = \frac{T_p}{(T_p + T_{рем} + T_{то})}, \quad (4.1)$$

где  $T_p$  - время нахождения пускового узла в работоспособном состоянии за наблюдаемый интервал;  $T_{рем}$  - время нахождения пускового узла в ремонте;  $T_{то}$  - время нахождения объекта в техническом обслуживании.

Время нахождения пускового узла в работоспособном состоянии принято равным длительности проходки скважины на проектную глубину. Время нахождения пускового узла в ремонте оценивалось без учета времени на выполнение спуско-подъемных операций бурового снаряда.

Техническое обслуживание устанавливалось в плановом порядке. Из опыта работ обслуживание пусковых узлов выполнялось после пяти-шести рейсов (интервалов) бурения с отбором керна. Объем работ при этом включал разборку, осмотр, очистку от песка и сборку пускового узла.

Количественные значения  $K_{mi}$  определяются по данным, накопленным при бурении скважины буровым снарядом ГБС-127 (скважина ИГ-1) и буровым снарядом ГБС-12М, при однотипности условий эксплуатации.

В табл. 4.6 приведены сравнительные значения  $K_{mi}$  по анализируемым скважинам. В графе 1 показаны значения  $T_p$ ,  $T_{рем}$  и  $T_{то}$ , полученные при работе буровым снарядом ГБС-127. В графе 2 – суммарные значения аналогичных

показателей при работе данные буровым снарядом ГБС-127М в процессе проходки скважин ИГ-2, ИГ-3 и ИГ-1 (дополнительная).

При бурении скважины ИГ-1, из-за не выполнения условия разблокирования гидродоударной машины интервалы 14-18 м и 26-30 м пройдены без отбора керна. Для получения монолитов на выделенных интервалах установка дважды смещалась на новые точки с последующим размывом интервалов: 0-14 м и 0-26 м. Суммарные дополнительные затраты времени на подготовку ГБС-127 (перенастройка ПУ) к работе на выделенных интервалах составили 120 мин. Затраты времени на размыв первого интервала (0-14 м) – 20 мин; длительность размыва интервала 0-26 м составила 160 мин.

Бурение скважин ИГ-2, ИГ-3 и ИГ-1 (дополнительная) выполнялось с безотказным срабатыванием пусковых узлов. Общее время на бурение скважин ИГ-2 и ИГ-3 составило 776 мин, скважины ИГ-1 (дополнительная) 925 мин. Суммарное время бурения этих скважин 1701 мин.

Таблица 4.6.

Данные использования пусковых узлов по скважинам ИГ-1, ИГ-2, ИГ-3 и ИГ-1 (дополнительная)

Графа	Буровой снаряд/ тип ПУ	$T_p$ , мин.	$T_{рем}$ , мин.	$T_{то}$ , мин.	$K_{ти}$
1	ГБС-127/ПУ с одноэлементным плунжерным клапаном.	465	120	80	0,7
2	ГБС-127М/ПУ с клапаном и золотником с отрицательным перекрытием пропускных окон штока	1701	0	90	0,95

В соответствии с полученными данными коэффициент технического использования бурового снаряда ГБС-127М, укомплектованного пусковыми узлами с клапаном и золотником с отрицательным перекрытием пропускных окон штока, по сравнению с ГБС-127 с одноэлементным плунжерным клапаном,

увеличен более чем на 26%. При полученном увеличении  $K_{ми}$  экономия времени составляет более 1,5 часа на скважину. При арендной стоимости судна «Emre Otour». \$3000/сутки расчетное снижение стоимости бурения одной 30-метровой скважины составляет более 12000 руб.

Вместе с тем, как показал опыт бурения скважин ИГ-2, ИГ-3, а также скважины, пробуренной для получения дополнительных инженерно-геологических данных с уточнением разреза, ранее полученного при бурении скважины ИГ-1, применение нового типа пускового узла для реализации способа проходки скважины, особенно при пересечении плотных и твердых пород, за счет использования комбинированного разрушения породы на интервалах бескернового бурения, предусматривающего многократное блокирование, разблокирование ГБС, требует постоянного изменения состояний ЗРС. Это обстоятельство, с точки зрения снижения трудоемкости управления пусковыми узлами при реализации комбинированного разрушения пород на интервалах скважины, предполагает дальнейшее совершенствование пусковых узлов. В качестве перспективного направления следует рассматривать создание пусковых узлов, обеспечивающих разблокированное состояние гидроударной машины и на фазе размыва породы, прежде всего, при пересечении плотных и твердых глинистых отложений, с комплексным использованием ударных нагрузок и гидромониторного эффекта для разрушения пород на фазе бескернового бурения.

4.3. Перспективы развития технических элементов и режимов управления работой ГБС при реализации технологической схемы многорейсового бурения скважин.

При достаточно высокой степени надежности разработанных пусковых узлов бурового снаряда ГБС-127М и относительной простоте получения обобщенных настроечных характеристик для их срабатывания при блокировании

и разблокировании гидроударника, техническая реализация и технология бескернового бурения плотных пород не является совершенной. В перспективе,

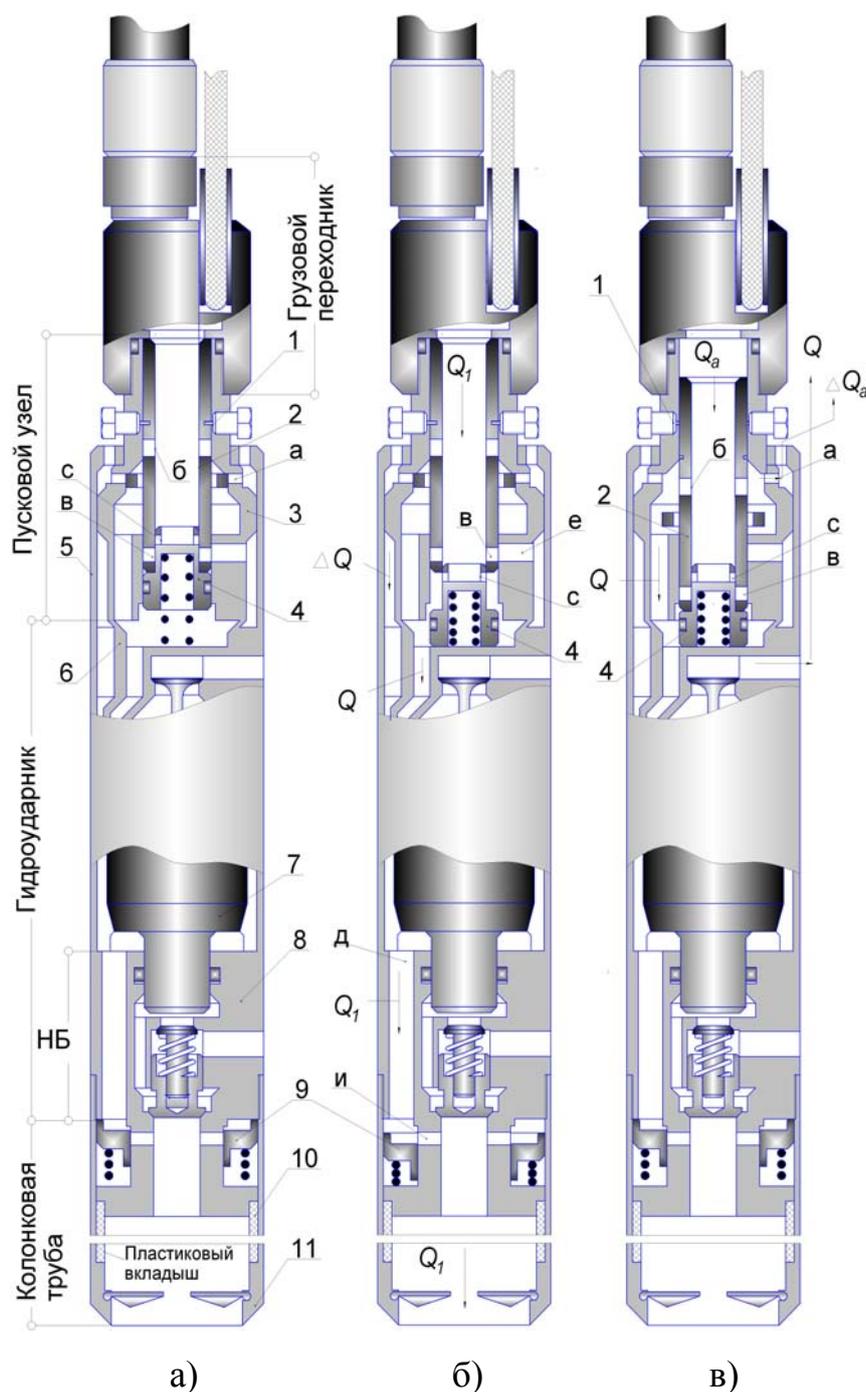


Рис. 4.9. Схема ГБС-108 с универсальным пусковым узлом: а – исходное положение; б – положение элементов ПУ при бескерновой проходке интервала скважины; в – положение элементов ПУ при бурении с отбором керна.

следует рассматривать разработки, требующие не только нового подхода к выбору конструкции и схемы управления ЗРС пусковых узлов в структуре ГБС, но и в корне изменить характер разрушения пород.

Анализ проведенных исследований и практические результаты выполненных разработок показали, что эффективной альтернативой бескерновой проходки интервалов скважины может служить способ, основанный на использовании гидромониторного эффекта в сочетании с непрерывными частотно-ударными нагрузками на забое, формирующимися гидроударным механизмом.

Эти моменты

ставят задачу создания конструкции универсального пускового узла, обеспечивающего постоянную работу гидроударника в течение всего цикла проходки скважины с возможностью быстрого и эффективного разблокирования механизма на этапе отбора керна. Первый опыт реализации задачи получен при проектировании бурового снаряда ГБС-108, разработанного на основании технического задания ГПП «Причерноморгеология» (рис. 4.9).

Характерной особенностью ГБС-108 является использование в его структуре универсального пускового узла, обеспечивающего постоянное разблокированное состояние гидроударника с технической возможностью бескернавой проходки ранее пройденного или заданного участка скважины за счет одновременно действующих гидромониторных и частотно-силовых нагрузок, формирующихся на забое скважины при работающей гидроударной машине.

При достижении глубины отбора керна универсальный узел дистанционно блокирует канал прохода жидкости в керноприемную трубу (на забой) и интервал скважины проходится с отбором керна только за счет частотно-силовых нагрузок, количественные значения которых в течение рейса могут форсироваться увеличением подачи жидкости в рабочие камеры ГУ.

Пусковой узел размещается в цилиндре распределительного переходника 3 и структурно включает два взаимосвязанных элемента: патрубок 2, с разнесенными по его длине радиальными каналами «б» и «в», и подпружиненный плунжерный золотник 4 с калиброванными отверстиями «с».

В режиме бескернавого разрушения осадков (рис. 4.9, б) патрубок зафиксирован штифтами 1. Расход жидкости  $Q_1$  устанавливается на уровне 300–320 л/мин. Набегающим потоком плунжерный золотник 4 смещается вниз, открывая доступ части жидкости  $Q$  в рабочие камеры гидроударника через отверстия «с». Одновременно, через освобожденные отверстия «в» и радиальные каналы «е» доля жидкости  $\Delta Q = Q_1 - Q$ , попадает в кольцевой зазор между корпусами 5 и 6, и далее, через каналы «д» нижней наковальни 8, направляется в полость подпружиненного обратного клапана 9. Гидравлическая сила набе-

гающего потока, перемещает клапан 9 вниз, открывая окна «и» для поступления жидкости в керноприемную трубу 10 и далее, через лепестки-насадки башмака 11 на забой скважины.

Включение в состав ГБС подпружиненного обратного клапана 9, выполняющего роль компенсатора изменения объема воды в камере бойка 7, при его перемещениях, исключило возможность всасывания жидкости из полости бойка при работе насосного блока, повысив надежность призабойной промывки скважины. Одновременно обратный клапан 9 предотвращает попадание в полость гидроударного механизма песка и частиц шлама при спуске снаряда в скважину.

Для перехода на режим отбора керна подача жидкости в гидросистему увеличивается до  $Q_a = 340-360$  л/мин для среза фиксирующих штифтов 1 (при наличии запаса гидравлической мощности насоса уровень расхода жидкости для среза штифтов может быть увеличен). Процесс сопровождается смещением патрубка 2 вниз с последующим блокированием канала «в» и отверстий «с», открытием делительных окон «а», через которые выполняется сброс части жидкости  $\Delta Q_a = Q_a - Q$  в скважину.

Учитывая экспериментальный характер ГБС-108, конструкция универсального пускового узла выбиралась с точки зрения инженерного размещения его элементов в структуре гидроударника диаметром 108 мм. Параметры управления устанавливались подбором соотношений силы пружины, площади сечений пропускных окон и расходов жидкости. В конечном итоге исполнение и подобранные параметры узла в условиях лабораторных исследований обеспечили прогнозируемый эффект и работоспособность устройства. Предложенная схема взаимосвязи двигателя гидроударного механизма и пускового узла может рассматриваться как прогрессивное решение, направленное на дальнейшее совершенствование техники и развитие технологической схемы многорейсового бурения скважин.

Дальнейшие вопросы проектирования универсальных пусковых узлов предполагают проведение детальных исследований для обоснования конструк-

тивных параметров и режимов управления универсальным пусковым узлом для повышения эффективности комбинированного способа разрушения пород на интервалах скважины.

#### 4.4. Выводы.

1. Производственные испытания пусковых узлов в структуре гидроударных буровых снарядов ПБС и ГБС в комплекте установок УМБ-130 и УМБ-130М подтвердили обоснованность выводов теоретических и экспериментальных исследований.

2. Объем проведенных испытаний позволил обеспечить всестороннюю проверку работоспособности пусковых узлов различных типов и получить сравнительную оценку их надежности при оперативном блокировании и разблокировании гидроударного механизма в процессе комбинированного разрушения пород на интервале скважины.

3. Наиболее эффективными, обеспечивающими комплексный учет требований к обеспечению надежности изменения состояний ГУ при комбинированном разрушении пород по стволу скважины, являются пусковые узлы, в которых ЗРС выполнен в виде клапана, с концентрично установленным в нем подпружиненным плунжерным золотником с отрицательным перекрытием пропускных окон штока. Применение разработанного пускового узла позволило увеличить коэффициент технического использования более чем на 26%, при расчетной экономии времени более 1,5 часа на скважину.

4. 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.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 проектном 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 кото-

ром 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  $\Delta h_1$ , 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 исполь-

зовании СБС. С учетом разницы арендных стоимостей СБС и неспециализированных судов существенно (более чем в 3,5 раза) повышена рентабельность проходки выделенной группы скважин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Александров Е.В.* Прикладная теория и расчет ударных систем. / *Е.В. Александров, В.Б. Соколинский* // - М.: Наука. 1969. – С. 199.
2. *Альтишуль А.Д.* Гидравлика и аэродинамика. / *А.Д. Альтишуль, П.Г. Киселев* // Основы механики жидкости.- М.: Стройиздат, 1975. – С. 328.
3. *Амелин Б.А.* Зарубежное оборудование для разведочного бурения на море / *Б.А. Амелин, Э.Е. Рошаль* // Сер. Техн. и технол. геол. - развед. работ; орг. произ-ва; Обзор. / ВИЭМС. – М.,1972. – С. 53.
4. *Артемьева Т.В.* Гидравлика, гидромашины и гидропнемопривод / *Т.М. Лысенко, А.Н. Румянцева, С.П. Стесин* //Издательский центр «Академия», 2007. – С. 336
5. *Архангельский И.В.* Морское бурение инженерно-геологических скважин. - Л.: Недра, 1980. – С. 263.
6. *Архангельский И.В.* Бурение скважин в прибрежной зоне морей.— Л.:Недра,1975. — С. 176.
7. *Асеев А.Г.* Опыт вибробурения морских отложений / *А.Г. Асеев, И.С. Калинин, В.Д. Пронюшкин* //Изв. вузов. Геология и разведка. - 1978. - №9. - С. 153 -156.
8. *Асеев А.Г.* Бурение разведочных скважин на шельфе. / *А.Г. Асеев, В.М. Распопов, С.С. Хворостовский* // - М.: Недра, 1988. – С. 197.
9. *Афанасенко С.Д.* Перспективы однорейсового бурения под водой /*С.Д. Афанасенко, П.А. Минин, Г.А. Ракуленко* //Техника и технология морских геологоразведочных и горнодобывающих работ. - Л.:ПГО “Севморгеология”, 1984. – С. 5-11.
- 10.*Башта Т.М.* Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем .М «Машиностроение», 1974. – С. 606.
11. *Башта Т.М.* Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1971. – С. 672.
12. *Башта Т.М.* Объемные гидравлические приводы. / *Т.М. Башта, В.В.*

*Ермаков, И.З. Зайченко, Е.М. Хаймович // М «Машиностроение», 1969.– С. 628.*

13. *Виноградов О.А.* Колонковые пробоотборники для морских работ / *О.А. Виноградов, В.В. Москвитин, Л.Н. Нейтман // Техн. и технол. геол. - развед. работ; орг. произ-ва. Обзор./ ВИЭМС. - М., 1973. – С. 34.*

14. *Владиславлев В.С.* Пути развития техники и технологии бурения на шельфе / *В.С. Владиславлев, С.С. Хворостовский, С.Ю. Истошин //Технология и техника геологоразведочных работ. - М., - 1980. - Вып.4. - С. 24 - 35.*

15. *Воздвиженский Б.И., Сидоренко А.К., Скорняков А.Л.* Современные способы бурения скважин. — М.: Недра, 1970. — С. 352.

16. *Возний В.Р.* Освоєння шельфу – нафтогазове майбутнє України. / *В.Р. Возний, С.В. Голубков //Науковий вісник Івано-Франківського технічного університету нафти і газу 2(11). 2005.- С. 56-58.*

17. *Гавриленко Б.А.* Гидравлический привод. / *Б.А. Гавриленко, В.А. Минин, С.Н. Рождественский // – М: «Машиностроение», 1968. – С. 502.*

18. *Гейер В.Г.* Гидравлика и гидропривод. / *В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря // — М.: Недра,1991.- 331 с.*

19. *Гриценко И.И.* Опыт бурения скважин для инженерно-геологических целей на шельфе Дальневосточных морей / *И.И. Гриценко, А.С. Меликов, В.А. Турчин //Морская инж. геология и гидрогеология. - Рига: Зинатне, 1980. - С. 58 - 70.*

20. *Дзилна И.Л.* Использование морских пробоотборников в инженерных изысканиях на континентальном шельфе / *И.Л. Дзилна, С.П. Федоров, К.А. Ранкс // Методы и технические средства для морских инженерно - геологических исследований. - Рига: ВНИИморгео, 1984. - С. 3 - 8.*

21. *Гузев А.А.* Результаты внедрения технологии гидроударного бурения снарядами ПГС-132 на Арктическом шельфе / *А.А. Гузев, В.И. Блинов, В.С. Фоменко //Бурение скважин в осложненных условиях. - Донецк: ДонГТУ, 1996. - С. 15-19.*

22. *Инженерные изыскания на континентальном шельфе. Пособие к ВСН 51.2-84/ Мингазпром. Часть 1. Рига, 1989.*

23. *Идельчик Е.А.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям –М: «Машиностроение», 1992. – С. 672.

24. *Калинин И.С.* Вибробуровые снаряды для опробования морских россыпей / *И.С. Калинин, Л.И. Попов, В.Д. Пронюшкин, С.Л. Романов* // «Изв. Вуз.Геолог. и разведка», 1977, №3, С. 160 – 162.

25. *Калиниченко О.И.* Основные зависимости для проектирования гидроударных буровых снарядов для однорейсового бурения подводных скважин / *О.И. Калиниченко*//Сб. трудов VI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Донецк, 2000, т.2. - С. 11-13.

26. *Калиниченко О.И.* Перспективы разработки забойных гидроударников для эксплуатации в экстремальных условиях / *О.И. Калиниченко* // В сб. “Бурение скважин в осложненных условиях”. — Донецк: ДонГТУ, 1996. —С. 28—32.

27. *Калиниченко О.И., Каракозов А.А.* Забойные буровые машины и механизмы. — Донецк: ДонГТУ, 1997. — С. 125.

28. *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

29. *Калиниченко О.И.* Повышение технико-экономических показателей многорейсового бурения подводных скважин установками УМБ-130М / *О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, И.А. Сокол* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2011. Вып.14. С. 51-55.

30. *Калиниченко О.И.* Погружная гидроударная установка УМБ-130 для многорейсового бурения подводных скважин / *О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2003. С.-63-68.

31. *Калиниченко О.И.*. Основные проблемы и пути совершенствования техники и технологи многорейсового бурения скважин на морских акваториях/ *О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля* //Науковий вісник. №7, Національного гірничого університету. Науково технічний журнал. Дніпропетровськ, 2009. С. 45 – 50.

32. *Калиниченко О.И., Хохуля А.В., Каракозов А.А.* Гидроударный буровой снаряд./Патент на полезную модель №77466. Бюл. №3, 11.02.2013

33. *Калиниченко О.И.* Установки для бесколонного бурения скважин на морских акваториях (Монография)/ *О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский* //Изд. «Донбасс». Донецк, 2013. – С. 162.

34. *Калиниченко О.И.* Новые технические средства и технология поинтервального бурения инженерно-геологических скважин на шельфе / *О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский* // Труды ДонГТУ. Серия Горно-геологическая. – Донецк. – 2001. – Вып. 36. – С. 144 – 148.

35. *Калиниченко О.И.* Разработка новой технологии и технических средств бурения разведочных и инженерно-геологических скважин на шельфе/ *О.И. Калиниченко, В.А. Русанов, А.Н. Рязанов, И.А. Юшков* // В сб. ”Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции”. — Томск, 1994. — С. 23.

36. *Калиниченко О.И., Зыбинский П.В., Каракозов А.А.* Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе - Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – С. 276.

37. *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* // Труды ДонГТУ. Серия Горно-геологическая. – Донецк. – 2010. – Вып. 11. – С. 58 – 68.

38. *Калиниченко О.И.* Разработка погружных гидроударных снарядов для бурения подводных разведочных скважин со специализированных плавсредств / *О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, П.В. Зыбинский* // Сб. научн. трудов. – Вып.8. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2005. – С. 92-95.

39. *Калиниченко О.И.* Новая установка УМБ-2М для многорейсового буре-

ния скважин на морских акваториях. /*О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, П.Л. Комарь, Д.В. Копытков-Баскаков* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-геологічна. - Донецьк 2011. – Выпуск 14(181). С.14 – 19.

40. *Калиниченко О.И.* Основные направления и результаты совершенствования гидроударных установок для бурения скважин на шельфе./ *О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, П.Л. Комарь, Д.В. Копытков-Баскаков* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2011. Вып.14. С. 120-125.

41. *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 національного технічного університету. Серія гірничо-геологічна. - Донецьк 2010. – Выпуск 11(161). С.58 – 68.

42. *Калиниченко О.И.* Опыт бурения морских геологоразведочных скважин на шельфе Черного моря / *О.И. Калиниченко, Е.В. Квашин, И.И. Цабут, С.И. Вилюха* // Техн. и технол. Геол. развед. работ; орг. пр-ва. ЭИ./ ВИЭМС. - М., 1984-N19. - С. 1-7.

43. *Калиниченко О.И.* О целесообразности включения гидроударных установок типа УМБ в нормативный перечень технических средств для бурения инженерно-геологических скважин на морских акваториях / *О.И. Калиниченко, А.В. Козлов, В.Г. Глушич, А.В. Хохуля, Д.В. Копытков-Баскаков* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев, 2012 Вып.15. С. 97-103.

44. *Калиниченко О.И.* Перспективы развития технологической схемы многогорейсового бурения скважин с борта судов общетехнического назначения/ *О.И. Калиниченко, А.В. Хохуля, Ю.О. Калиниченко, М.Ю. Тельбиш, Т.Ю. Тель-*

*биш* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2013. Вып.16. С. 171-173.

45. *О.И. Калиниченко* 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 и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов.- Киев: ИСМ им. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАНЦ. Киев,2010. Вып.13. С. 96-99.

46. *Калиниченко О.И.* Совершенствование технологии однорейсового бурения подводных скважин с НИС “Топаз” / *О.И. Калиниченко, А.А. Каракозов, В.А. Русанов и др.* // “Бурение скважин в осложненных условиях. - Донецк: ДонГТУ, 1996. - С. 44 - 47.

47. *Каракозов А.А.* Совершенствование технических средств и технологии отбора проб грунта при бурении геотехнических скважин с плавучих самоподъемных установок (СПБУ) на шельфе Черного моря / *А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский, С.Н. Парфенюк, А.В. Хохуля, П.Л. Комарь* // Сборник научн. трудов. – Вып.11 - Киев: ИСМ им. Н.В. Бакуля, НАН Украины, 2008. С. 66-74

48.*Каракозов А.А.* Результаты опытной эксплуатации установки УМБ-130 при проведении геологосъемочных работ в Чукотском море / *А.А. Каракозов, О.И. Калиниченко, П.В. Зыбинский, А.В. Хохуля, П.Л. Комарь, Е.А. Гусев, Ю.П. Егоров* // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна. - Донецьк (ДонНТУ), 2007. – Выпуск 6(125). С. 53 – 57.

49. *Каминер А.А., Яхно О.М.* Гидромеханика в инженерной практике. - К.: Техника, 1987. - С. 175.

50. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1976. — С. 576

51. *Караев М.А.* Гидравлика буровых насосов .— 2-е изд. перераб. и доп. —М.: Недра, 1983. — С. 208.

52. *Комаров Л.В.* О технических средствах морского бурения / *Л.В. Кома-*

ров, А.К. Курбатов, В.М. Распопов, А.Е. Смолдырев// «Изв. ВУЗов. Геол. и разведка», 1975, №11, С. 191 – 194.

53. Комисаренко Ю.Я. Улучшение характеристик предохранительно-переливного клапана гидропередач. Сб «Гидропривод и гидропневмоавтоматика» Вып.3. Киев, «Техника», 1968. – с. 149-153.

54. Константинов Ю.М. Гидравлика: Учебник.— 2-е изд., перераб. и доп., Головное изд-во, 1988.— С. 398.

55. Коробочкин Б.Л. Динамические характеристики напорных золотников гидравлических систем / Б.Л. Коробочкин, М.Д. Комитовски // Сб. «Теория машин автоматов и пневмогидропривода». М «Машиностроение», 1970.

56. Красин В.А., Праздников А.В. К вопросу исследования клапанных гидромеханизмов гидросистем металлургических машин. Сб. «Динамика металлургических машин» т. XXXI. М. «Металлургия», 1969 г.

57. Лукошков А.В. Техника исследования морского дна. - Л.: Судостроение, 1984. - С. 264.

58. Лукошков А.В. Бурение неглубоких разведочных скважин с борта плавсредств. — Обзор / Техн. и технол. геол.-разв. работ; орг. пр-ва / ВНИИ экон. минер. сырья и геол. разв. работ (ВИЭМС) — М., 1980. — С. 66.

59. Лобанов В.А. Справочник по технике освоения шельфа. - Л.: Судостроение, 1983.-288 с.

60. Лобанов Д.П., Смолдырев А.Е. Технология морских геологоразведочных работ и научно-технический прогресс. «Изв. ВУЗ.Геол. и разведка», 1978, №1, С. 3-5.

61. Милн П. Подводные инженерные изыскания: Пер. с англ. - Л.: Судостроение, 1984. - С. 344.

62. Москвитин В.В. Легкие технические средства опробования морских отложений. // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1978. - №1. - С.134 — 137.

63. Некрасов Б.Б. Гидравлика, насосы и гидроприводы. М «Машиностроение», 1974. – С. 420.

64. Неудачин Г.И. Пути повышения эффективности гидроударных буровых

механизмов / *Г.И. Неудачин, О.И. Калиниченко, В.С. Фоменко, А.А. Чаленко* // Сб. “Соверш. техн. и технол. бурения скважин на тверд. полезн. ископаемые”, 1981, №4, С. 30 — 35.

65. *Неудачин Г.И.* Опыт применения погружных гидровибрационных буровых установок для взятия проб донных отложений на шельфе морей Дальнего Востока / *Г.И. Неудачин, А.В. Коломоец, О.И. Калиниченко* // Техн. и технол. геол.-развед. работ; орг. произ-ва; Экспресс-информация. /ВИЭМС. – М., 1977. №5. - С. 1 – 11.

66. *Неудачин Г.И.* Забойные гидроударные буровые механизмы / *Г.И. Неудачин, А.В. Коломоец* // Совершенствование техники и технологии разведочно-го колонкового бурения. М.: Недра 1968. С. 123 – 151.

67. *Неудачин Г.И.* Опыт отбора проб донных отложений установками с гидроударным приводом / *Г.И. Неудачин, О.И. Калиниченко, В.И. Блинов, Е.В. Квашин* // Межвузовский сборник научных трудов. Геологические исследования Океана.- М.,1991. - С.206-213.

68. *Острейковский В.А.* Теория надежности: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2008. – С. 464.

69. *Пронкин А.П., Хворостовский С.С.* Прогнозирование направлений развития разведочного бурения на шельфе. - М.: Недра, 1999. - С. 300.

70. *Ребрик Б.М.* О новом методологическом подходе к выбору оптимального соотношения между массой ударника и скоростью удара при ударном разрушении горных пород. //Изв. вузов. Геология и разведка. – 1980. - №7. – С. 97-101.

71. *Ребрик Б.М.* Бурение инженерно-геологических скважин. — М. : Недра, 1990. — С. 336.

72. *Ребрик Б.М.* Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. — М.: Недра, 1979. — С. 253.

73. *Ребрик Б.М.* Влияние способов внедрения грунтоноса на естественные физические свойства образцов. // БНТИ Гидропроекта . — №10. — 1960.

74. *Ребрик Б.М.* Ударное бурение грунтов. — М.: Недра, 1976. — С. 232.

75. *Ребрик Б.М., Куник Л.И.* Эффективность и качество бурения инженерно-геологических скважин. - М.: Недра, 1978. — С. 128.

76. *Савельев В.И.* Техника морских геологических исследований.- М.: Недра, 1978. - С. 165.

77. *Смолдырев А.Е.* Методика и техника морских геологоразведочных работ. - М.: Недра, 1978. - С. 303.

78. *Соколинский В.Б.* Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении. – М.: Изд. ИГД им. Скочинского, 1967. – С. 61.

79. *Соколовский А.К.* Современное состояние и перспективы развития морских геологических исследований / *А.К. Соколовский* // Геологические исследования Океана. Межвуз. сборник научн. трудов. МГРИ-КГ РСФСР по делам науки и ВШ. – М., 1991. – С. 5-14.

80. *Соколовский С.М.* Элементы расчета и конструкции предохранительных клапанов / *С.М. Соколовский* / Научные труды Московского технологического института легкой промышленности, сб. 13, М., 1958. С. 127-140.

81. *Синицкий В.М.* О динамике клапанов насосов привода гидравлических прессов. Вестник машиностроения, 1961, №1.

82. *Ситников Б.Т.* К вопросу выбора рациональной схемы предохранительного клапана в гидроприводе станков. Труды Пензенского политехнического института, вып.1, «Вопросы обработки резанием». Приволжское книжное издательство, 1965, С. 138-148.

83. *Ситников Б.Т., Матвеев И.Б.* Расчет и исследование предохранительных и переливных клапанов. М.: «Машиностроение», 1971. – С. 128.

84. *Тарко Л.М.* Волновые процессы в трубопроводах гидромеханизмов. - М.: Машгиз. – 1963.- С. 183.

85. *Тарко Л.М.* Переходные процессы в гидравлических механизмах. - М.: Машиностроение. – 1973.- С. 168.

86. *Тимошенко Г.М., Зима П.Ф.* Теория инженерного эксперимента. — Донецк: ДПИ, 1987. — С. 64.

87. Ухин Б.В. Гидравлика: учебное пособие. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2009.- С. 464.

88. Фальков И.М. Современное состояние техники и технологии морского инженерно-геологического бурения / И.М. Фальков, В.А. Бабич, Р.Г. Хамидуллин, О.И. Лисагор //Труды ВНИИморгео. Обзор. – Рига, 1986. - С. 152.

89. Фоменко В.С. Техника и технология бурения подводных скважин снарядами с гидроударным приводом. / В.С. Фоменко, О.Я. Тодер, И.М. Куракин, А.А. Чаленко //Межвуз. сб. научн. трудов. Геологические исследования Океана.- М.,1991. - С.214-220.

90. Фоменко В.С. Разработка технологии и техники отбора проб донных отложений на шельфовой зоне морей колонковыми пробоотборниками с гидроударным приводом: Дисс. канд. техн. наук. — Донецк, 1985.

91. Хворостовский С.С. Способы и технические средства для бурения скважин при разведке россыпных месторождений на шельфе. — М.: Недра, 1988. — С. 89.

92. Чаленко А.А. Бурение инженерно-геологических скважин с малотоннажных плавсредств на мелководной части шельфа / А.А. Чаленко, И.М. Куракин, В.А. Русанов и др. //Инженерно-геологические условия шельфа и методы их изучения. - Рига: Зинатне,1991. - С. 22 - 25.

93. Шелковников И.Г. “Свайный эффект” при отборе проб грунта пробоотборниками ударно-забивного типа / И.Г. Шелковников //Изв. вузов. Геология и разведка - 1975. -№ 9. - С. 129-132.

94. Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. - Л.: Недра, 1977. - С. 159.

95. Шелковников И.Г., Лукошков А.В. Технические средства подводного разведочного бурения и опробования. - Л.: Изд - во ЛГУ, 1979. - С. 224.

96. Шехтер Е.Ю. Теория и практика гидропробоотбора грунтов морского дна. - Рига: Зинатне.-1971.- С. 71.

97. Эпштейн Е.Ф., Ясов В.Г. Бурение скважин гидроударниками. М., Недра. 1967. С. 160.

98. Яковлев Л.Г. Погрешности контрольно-измерительных приборов и датчиков. — М.: Недра, 1961. — С. 154
99. Ясов В.Г. Теория и расчет рабочих процессов гидроударных буровых машин. М.: Недра. 1977. С. 148.
100. Biekel E., Acel St. Statisches und dinamishes Verhlten von Ueber druckventilen in olhydraulischen Kreislanfen Techn. Rundshau, 1963, 55, N 22, 5 ,7, 9, 11, 13.
101. Von. Ing. A. Stammer ktd. Die Entwicklung von Druventilen unter Beruecsichtigungder Typencinshrankung Hudraulik, 1/2003, Leipzig.
102. Takenaka, Tocio, Perfonasis of oil Hydraulic control valve. Bulleten of J.S.M.E., 1964, vol. 7. N 27.
103. 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.
104. Эрнст В. Гидропривод и его промышленное применение. Пер. с англ. В.В. Иванова. М.: Машгиз, 1963. – С. 491.
105. Ван-Цзен-Да. Исследование динамической устойчивости движения системы с гидроприводом. «Исследование в области металлорежущих станков». Труды Московского станкоинструментального института. Вып. 4, М., Машгиз, 1961. – С. 271-290.

## Приложение А



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П.В. Зыбинский

## АКТ

внедрения погружной гидроударной установки УМБ-130 при выполнении инженерно-геологических изысканий по трассе подводного трубопровода Джубга – Лазаревская - Сочи на континентальном шельфе Черного моря

Погружная гидроударная установка УМБ-130 использована при бурении скважин с целью инженерно-геологические изыскания для получения исходных данных для проектирования трассы подводного трубопровода Джубга – Лазаревская - Сочи.

Работы выполнены на основании технического задания на инженерные изыскания на континентальном шельфе Черного моря, утвержденного дирекцией ООО «ПитерГаз» (2008 г). Район работ расположен в Черном море на расстоянии до 15 км от берега.

Методическое и техническое обеспечение буровых работ с борта бурового судна «Диорит» – ООО «Компания «Юговостокгаз». Техническая основа, результаты и общая характеристика условий выполнения буровых работ представлены в протоколе, являющимся неотъемлемой частью настоящего акта.

Руководитель рейса \_\_\_\_\_ А.С. Меликов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

## Продолжение А



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П.В. Зыбинский

## ПРОТОКОЛ

выполнения буровых работ при инженерно-геологических изысканий по трассе подводного трубопровода Джубга – Лазаревская - Сочи.

В соответствии с Техническим заданием на инженерные изыскания по трассе строительства подводного трубопровода Джубга - Лазаревская - Сочи выполнены работы, включающие бурение инженерно-геологических скважин глубиной 4, 10, 15 и 20 м с отбором проб и образцов грунта ненарушенной структуры (табл.1).

Таблица – 1. Объемы работ по трассе подводного трубопровода и технологическая схема бурения скважин

№	Глубина скважин, м	Проектное число скважин	Способ бурения и фактическое число пробуренных скважин
1	4	118	Гидроударный буровой снаряд ПБС-127 в комплекте УМБ-130 148
2	10	22	Вращательный (буровой станок ЗИФ-1200М). 4
			Гидроударный буровой снаряд ПБС-108 в комплекте УМБ-130 6
3	15	2	Комбинированный способ бурения: частотно-ударный способ снарядами ПБС-127 (УМБ-130) до 4 м – спуск водоотделяющей колонны на дно - частотно-ударный способ снарядами ПБС-108 рейсами по 2 м до крепких пород - вращательный способ по крепким породам (буровой станок ЗИФ-1200М) 2
4	20	2	

Условия и характер выполнения работ.

Верхняя часть разреза на площадке изысканий сложена илами. В соответствии с ВСН 51.2-84, глубина пробоотбора составила 4 м. Интервал от 6 -12м до 20 м сложен твердыми породами, галькой и валунами.

Проботбор (148 скважин) выполнен однорейсовым способом установкой УМБ-130, укомплектованной буровым снарядами ПБС-127 с постановкой судна на точке бурения на 1 якорь.

Параметры привода ПБС 127 – подача насоса 300-320 л/мин; давление в гидросистеме – 3-3,5 МПа.

Порядок однорейсового пробоотбора установкой УМБ-130. Буровой снаряд, размещался в поворотной каретке стабилизирующей опоры. Нижняя часть бурового снаряда фиксировалась в основании опоры. Лебедкой установка поднималась в вертикальное положение на высоту, достаточную для выноса её с помощью грузовой стрелы за борт судна. После постановки установки на дно моря, включался насос, производился запуск гидроударника и вывод на эффективный режим работы. Глубина пробоотбора фиксировалась по длине каната. По окончании рейса производился подъем установки и размещение ее на рабочей площадке палубы для извлечения керна с последующей укладкой его в керноприемные ящики..

Порядок бурения скважин глубиной 10-20 м. На точке бурения судно стабилизировалось с помощью 4-х якорей. Затем через шахту НИС «Диорит» устанавливалась водоотделяющая колонна диаметром 168 мм. После касания башмака колонны дна, она приподымалась над поверхностью дна на 1 м и крепилась на хомуте. Бурение верхней части разреза на глубину 4 м выполнялось с отбором керна установкой буровым снарядами ПБС-127, спускаемым на системе «трос-нагнетательный шланг». При этом нагнетательный шланг по мере спуска в скважину через 1,5-2,0 м прочно соединялся с тросом. Такое соединение обеспечивается с помощью подвязок из тонких капроновых фалов и специальных пластиковых скоб. При достижении забоя включается один из насосов и

производится запуск гидроударника. После окончания рейса ПБС-127 поднимался на палубу для извлечения керна. В дальнейшем, производилась посадка обсадной колонны в поверхность дна на глубину 2-3 м.

После извлечения керна ПБС-127 заменялся на ПБС-108, укомплектованный пусковыми узлами для поинтервального бурения до контакта с твердыми породами. Длина каждого рейса составляла 2 м. Как правило, ствол пройденного интервала скважины не сохранялся, т.к. стенки скважины обрушаясь, образовывали новый забой. При подходе к новому забою включались два буровых насоса, что обеспечивало срабатывание НПУ, направляющего увеличенный поток жидкости (350-400 л/мин) во внутреннюю полость колонковой трубы и, далее – на забой скважины. Производился размыв осадков до отметки начала пробоотбора на втором интервале.

Для перехода на режим пробоотбора буровой насос выключался.

С помощью питателя, размещенного на жестком участке обвязки насоса, в нагнетательный шланг направлялся шарик. Срабатывал ВПУ, что обеспечивало запуск гидроударного механизма. С этого момента начинался отбор керна на следующем интервале скважины. В дальнейшем, фазы технологического процесса проходки интервалов повторялись.

*Параметры привода ПБС-108.* Подача насоса для запуска и эффективной работы гидроударника 220-240 л/мин; давление в гидросистеме – 3-3,5 МПа. Расход жидкости для срабатывания НПУ на фазе размыва пород.– 350 л/мин. Возврат НПУ в исходное положения для реализации фазы пробоотбора – при выключенном насосе.

После контакта с крепкими породами бурение скважины продолжалось вращательным колонковым способом диаметром 93 мм. Длина колонковой трубы 3 м. В состав бурового снаряда включались две колоны УБТ. Скважина бурилась таким способом до проектной глубины. Бурение выполнялось на первой скорости бурового станка ЗИФ – 1200 МР (67 об/мин).

### Основные выводы.

В соответствии с техническим заданием ООО «ПитерГаз» (Россия) пробурено 162 скважины глубиной от 4 до 20 м.

Применение предложенной технологической схемы и оборудования позволило успешно решить производственный план с хорошим качеством изысканий.

Новое оборудование в виде буровых снарядов ПБС-127 и ПБС-108 является эффективным средством бурения инженерно-геологических скважин в сложных условиях морского бурового производства. В качестве недостатков следует отметить следующее:

1. Эксплуатационные и технологические приемы работы с ПБС требуют выполнения трудоемких операций по перезарядке ВПУ в ходе подготовки ПБС к работе: демонтаж нагнетательного шланга и троса; отсоединение от ПБС грузового переходника; извлечение ранее сброшенного шарика и размещение его в камере питателя, располагающегося на жесткой нагнетательной линии обвязки насоса; перемещение и шплинтовка распределительного патрубка в исходном положении. По хронометражным данным время на подготовку бурового снаряда к очередному спуску, за счет увеличенной трудоемкости перезарядки ВПУ и питателя, в среднем составляло 30-35% в общем объеме подготовительно-заключительных операций.

2. Наличие питателя для сброса шарика-пробки увеличивает не только элементность нагнетательной линии, но и дополнительно усложняло технологию подготовки и эксплуатацию ПБС.

Руководитель рейса \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ А.С. Меликов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

Исполнитель, асс. каф. ТТГР ДонНТУ \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Хогуля А.В.

## Приложение Б



УТВЕРЖДАЮ

Директор ДМИГЭЛТД

А.А. Гузев

14 июля 2009г.

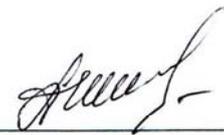
## АКТ

проведения пусконаладочных работ и испытаний установки УМБ - 130М

Представленная на испытания буровая установка УМБ-130М, изготовленная по чертежам ДонНТУ прошла предусмотренный объем пусконаладочных работ. Испытания УМБ-130М проведены с борта бурового судна НИС «Триас» (1.07–13.07.2009 г.) в порту Вьетсовпетро (г. Вунг Тау, шельф Восточно-Китайского моря, Вьетнам).

По итогам испытаний комиссия отмечает соответствие показателей назначения УМБ-130М и рекомендует принять установку для дальнейшей эксплуатации .

Техническая основа, результаты и общая характеристика условий выполнения буровых работ представлены в протоколе, являющимся неотъемлемой частью настоящего акта.

Начальник бурового отряда ДМИГЭ  Шитников А.П.

Буровой мастер  Нестеренко В.В.

Геолог ДМИГЭ  Анохин В.М.

## Приложение Б



УТВЕРЖДАЮ

Директор DMIGELTD

А.А. Гузев

14 июля 2009г.

## ПРОТОКОЛ – ОТЧЕТ

пусконаладочные работы и испытания установки УМБ-130М

Объем подготовительных и пуско-наладочных работ, выполнен силами бурового отряда DMIGE при непосредственном участии специалистов ДонНТУ.

Комплект установки УМБ-130М:

1. Буровой снаряд ПБС-127, включающий гидроударный механизм (ГМ) и колонковый набор.

В структуре ГМ предусмотрены: верхний пусковой узел (ВПУ) в виде патрубка, удерживающегося в цилиндре корпуса верхнего распределительного переходника ГМ на срезных шпильках, и нижний пусковой узел (НПУ), соединяющийся резьбой с нижней наковальной ГМ и состоящий из подпружиненного клапана концентрично установленного на штоке с возможностью перекрытия пропускных окон.

В качестве колонкового набора использованы: керноприемная труба диаметром 108мм; наружная труба диаметром 127 мм с режущим башмаком диаметром 129 мм с лепестковым кернорвателем.

2. Донное основание с направляющей воронкой и шкивами.

3. Палубный опорный модуль, стойки которого оснащены шкивами являющимися элементами полиспаста для спуска донного основания.

4. Шланговые соединения.
5. Нагнетательный шланг (58x38) с капроновым кортом.
6. Питатель для сброса шарика-пробки в нагнетательную линию.
7. Регулировочный вентиль.
8. Грузовой переходник.

Комплект оборудования смонтирован на НИС «Триас». Спуск и подъем бурового оборудования осуществлялся с помощью буровой и грузовой лебедки с использованием штатной грузовой стрелы судна.

Результаты испытаний оценивались по данным бурения экспериментальной скважины глубиной 15 м в порту Вьетсовпетро (г. Вунг Тау, шельф Восточно-Китайского моря, Вьетнам). Работы выполнялись в рамках приемки установки УМБ-130М техническими и геологическими службами компании Far East Marine Geology Engineering (DMIGE) Ltd.

Разрез скважины представлен твердыми красными глинами.

Для привода ПБС-127 использовался буровой насос НБ-32 с максимальной подачей 350 л/мин.

Учитывая техническое состояние и ограниченную подачу бурового насоса НБ-32 для предотвращения несанкционированного срабатывания НПУ, работа гидроударника обеспечивалась при расходах 260...270 л/мин и давлении воды в системе - 2,0...2,2 МПа.

Технология бурения скважины. С нулевой отметки бурение выполнялось на глубину 4,5 м в режиме отбора керна. Для оценки погружающей способности ПБС-127 и качества получаемого геологического материала пробурено два ствола скважины на выделенную глубину.

При проходке первого ствола, для получения увеличенной механической скорости бурения глин гидроударник был выведен на форсированный режим. Это привело к срабатыванию НПУ и нарушению качества керна.

Второй ствол пройден при механически зафиксированном клапане НПУ, с подачей жидкости в гидроударник 340...350 л/мин. Достигнутая механиче-

ская скорость составила 0,12...0,14 м/мин, при высокой степени сохранности и выходе керна 100%.

В дальнейшем с глубины 4,5 м бурение скважины выполнялось по многорейсовой схеме с поинтервальным отбором керна. Бескерновая проходка интервалов скважины выполнялась при максимальной подаче насоса с включением НПУ. Момент срабатывания НПУ определялся визуально по манометру путем контроля падения давления жидкости в гидросистеме. Настраиваемая величина давления 1,3-1,4 МПа, соответствовала условию, когда клапан НПУ, за счет силы сжатой пружины, удерживался в верхнем положении, перекрывая доступ жидкости в керноприемную трубу. При срабатывании клапана давление в системе «падало» до 0,5-0,6 МПа.

Общее количество выполненных рейсов 14. Дохождение до отметки отбора керна обеспечивалось с включенным нижним пусковым узлом. Пробоотбор производился интервалами по 0,3-1,4 м.

Режим возврата ЗРС пускового клапана в исходное положение подбирался на поверхности с последовательным выполнением операций: • открытие сливной линии регулировочным вентилем; • сброс шарика-пробки питателем; • включение верхнего пускового узла; • выключение насоса на 15-20 с (до фиксации срабатывания НПУ); • вывод гидроударника на доступный рабочий режим с помощью регулировочного вентиля.

При оценке показателей бурения, учитывая ограниченную подачу бурового насоса, получить эффективную гидромониторную очистку ствола скважины не удавалось. Из-за низкой размываемости глин, сечение ствола в процессе бурения не увеличивалось. Неблагоприятные условия бескернового бурения дополнялись наличием внешнего поршневого эффекта при использовании «ключевого» способа проходки скважины. На основании анализа характера погружения ПБС на фазе бескернового бурения глин сделан вывод о вероятной причине такой ситуации: при заложенном диаметре башмака (129 мм), мало отличавшимся от наружного диаметра бурового снаряда (127 мм), под сбрасываемым колонковым набором формировались значительные гидравлические

сопротивления снижающие (вплоть до остановки) скорость соударения башмака с забоем. Этот фактор выделен в виде основной причины низкой скорости бескерновой проходки скважины (0,4 м/ч). После наварки на корпусе башмака наклонно расположенных полос шириной 5 мм и толщиной 1,5 мм эффективность «клюющего» способа несколько возросла. Интервал 0-13 м был пройден за 4,7 часа.

При переходе на интервал отбора керна, без форсирования работы гидроударника, механическая скорость бурения не превышала 0,06 м/мин. Попытки повысить силовые характеристики гидроударника увеличением расхода жидкости до 320-340 л/мин сопровождались несанкционированным срабатыванием НПУ. Как следствие керн существенно деформировался.

Несмотря на неполную проверку показателей назначения установки, специалистами DMIGE, приняв во внимание техническую неподготовленность привода ПБС, дана положительная оценка эксплуатационным качествам УМБ-130М, а также отмечены резервы повышения продуктивности разработки.

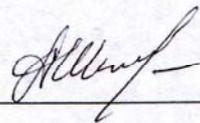
По мнению представителей приемки оборудования, область эффективного применения разработанной буровой техники может быть существенно расширена путем уменьшения номинальных значений гидравлической мощности на привод гидроударного механизма при сохранении его разрушающей способности. В качестве проблемной отмечена задача снижения взаимовлияния гидравлической системы привода гидроударника и управления нижним пусковым узлом в процессе комбинированного разрушения пород на интервалах скважины.

В качестве недостатков следует отметить следующее:

1. Эксплуатационные и технологические приемы работы с ПБС требуют выполнения трудоемких операций по перезарядке ВПУ в ходе подготовки ПБС к работе: демонтаж нагнетательного шланга и троса; отсоединение от ПБС грузового переходника; извлечение ранее сброшенного шарика и размещение его в камере питателя, располагающегося на жесткой нагнетательной линии обвязки насоса; перемещение и шплинтовка распределительного патрубка в исходном

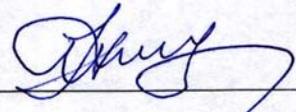
положении. По хронометражным данным время на подготовку бурового снаря- да к очередному спуску, за счет увеличенной трудоемкости перезарядки ВПУ и питателя, в среднем составляло 30-35% в общем объеме подготовительно- заключительных операций.

2. Наличие питателя для сброса шарика-пробки увеличивает не только элементность нагнетательной линии, но и дополнительно усложняло техноло- гию подготовки и эксплуатацию ПБС.

Начальник бурового отряда ДМИГЭ  Шитников А.П.

Буровой мастер  Нестеренко В.В.

Геолог ДМИГЭ  Анохин В.М.

Научный рук. проекта, д.т.н., проф.  Калиниченко О.И.

Исполнитель, асс. каф. ТТГР ДонНТУ  Хохуля А.В.

## Приложение В



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П.В. Зыбинский

## АКТ

использования погружной гидроударной установки УМБ-130 и приемки полевых работ по бурению разведочных скважин для поиска месторождения песка на шельфе Черного моря в соответствии с техническим заданием.

Погружная гидроударная установка УМБ-130 использована при бурении разведочных скважин, для поиска месторождения песка на шельфе Черного моря, договор № 11/09/ЮВГ от 06.10.2009 г.

Предусмотренный техническим заданием ООО «Суеста» объема буровых работ выполнен с борта т\х «Трофа» в период 08-19.04. 2010 г. Участок работ - шельф Черного моря, в районе мыса Фиолент.

Техническая основа, результаты и общая характеристика условий выполнения буровых работ представлены в протоколе, являющимся неотъемлемой частью настоящего акта.

Начальник участка \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

Главный механик \_\_\_\_\_ В.С. Осипов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_ В.А.Шевченко

## Приложения В



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П.В.Зыбинский

## ПРОТОКОЛ

бурение разведочных скважин для поиска месторождения песка на шельфе  
Черного моря установкой УМБ-130

Участок работ – прибрежная зона шельфе Черного моря в районе мыса  
Фиолент.

Количество скважин 10; глубинами 6 м. Бурение выполнено с борта  
т/х «Трофа».

Для бурения скважин использовалась установка УМБ-130, укомплекто-  
ванная гидроударным буровым снарядом ПБС-127, оснащенный двумя унифи-  
цированными пусковыми узлами (верхним и нижним), состоящие из подпру-  
жиненного клапана концентрично установленного на штоке с возможностью  
перекрытия пропускных окон.

Учитывая весогабаритные ограничения штатной грузовой стрелы  
т/х «Трофа» в составе ГБС применены колонковые наборы длиной 2 м, что обу-  
словливало необходимость многорейсовой проходки скважин. Привод ГБС  
обеспечивался буровым насосом 9МГр.

Разрез скважин был представлен исключительно песками.

Бурение осуществлялось тремя рейсами с чередованием способов буре-  
ния: отбор керна на глубину 2 м при работающем гидроударнике, размыв прой-  
денного участка при заблокированном гидроударнике, бурение с отбором керна

на интервале 2-4 м при работающем гидроударнике, размыв интервала 0-4 м при заблокированном гидроударнике, отбор керна на интервале 4-6 м при работающем гидроударнике.

Эффективный режим работы ПБС-127 при отборе керна обеспечивался при подаче насоса 250-270 л/мин. Блокирование гидроударника при переходе на режим размыва песка, обеспечивалось изменением положения ЗРС пусковых узлов при расходе жидкости 350-360 л/мин, с последующим увеличением расхода жидкости до 400-410 л/мин.

С учетом выделенных значений расхода жидкости соответствующего условию эффективной работы ГУ и расхода жидкости для срабатывания ЗРС на фазе блокирования ГУ, выбиралась силы деформации пружины ЗРС путем изменения предварительной деформации пружины (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры настройки ЗРС пусковых узлов снаряда ПБС-127

Режим: блокирование работы гидроударника при переходе на бескерновый способ бурения	Параметры настройки пусковых узлов с предельным значением расхода жидкости, количественно соответствующего режиму срабатывания пусковых узлов	
	ВПУ (350-360 л/мин)	НПУ (400-410 л/мин)
	Значение предварительной деформации пружины, мм	Значение предварительной деформации пружины, мм
	66	81

### Основные выводы:

В соответствии с техническим заданием ООО «Суеста» пробурено 10 скважин глубиной 6 м.

Применение предложенной технологической схемы и оборудования позволило успешно решить производственный план с хорошим качеством изысканий.

Одним из наиболее важных выводов проведенных работ, состоит в получении прогнозируемых режимов управления и положительных показателей надежности верхнего и нижнего пускового узла.

Буровой снаряд ПБС-127 является эффективным средством бурения бурению разведочных скважин в сложных условиях морского бурового производства.

Представители ЗАО «Компания «Юговостокгаз»:

Начальник участка \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

Главный механик \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ В.С. Осипов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ В.А.Шевченко

Исполнитель аспирант каф. ТТГР \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ А.В. Хохуля

## Приложение Г



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П.В. Зыбинский

## АКТ

применения погружной гидроударной установки УМБ-130 для инженерно-геологических изысканий на площадках постановки СПБУ «Петр Годованец»

Погружная гидроударная установка УМБ-130 использована при проведение инженерно-геологических исследований на шельфе Черного моря в точках постановки СПБУ «Петр Годованец» для ГАО «Черноморнефтегаз»,.

Предусмотренный техническим заданием объем буровых работ (две площадки 26 скважин глубиной 6 м и 2 скважины глубиной 30 м) выполнен с борта СО/ССН "Нафтогаз - 68" в период 06-26.04. 2012 г. Участок работ - шельфе Черного моря, на рейде, в порту и в местах отстоя.

Техническая основа, результаты и общая характеристика условий выполнения буровых работ представлены в протоколе, являющимся неотъемлемой частью настоящего акта.

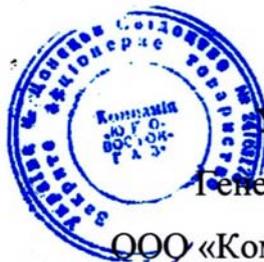
Представители ООО «Компания «Юговостокгаз»:

Начальник участка \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

Главный механик \_\_\_\_\_ В.С. Осипов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_ А.А. Украинцев

## Приложения Г



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

 П.В. Зыбинский

## ПРОТОКОЛ

выполнения буровых работ при инженерно-геологических изысканий на шельфе Черного моря

Работы выполнялись на двух площадках в порту ГАО «Черноморнефтега» и на рейде. В порту было пробурено 8 скважин глубиной 2-6 м. и 1 скважина 11,3 м., а на рейде 13 скважин по 6 м. и 1 скважина глубиной до 27м.

В качестве технической базы бурения использована установка УМБ-130, укомплектованная буровым снарядом ГБС-127. Для привода ГБС использовался буровой насос 9МГР.

Учитывая, что геологический разрез в причальной части порта был представлен, в основном, твердыми породами и песками небольшой мощности, бурение 8 скважин в этой зоне изысканий выполнялось по однорейсовой технологической схеме на глубину 2-6 м.

Более 30% пересекаемых в процессе бурения пород, были представлены твердыми глинами и известняком. По интервалам ряда скважин встречались прослой песчаника, слои песка с гравием и галькой с переходом на известняк,

глину или тяжелый суглинок.

Параметры привода ГБС-127 200-220 л/мин. Заложенный эксплуатационный расход жидкости, при котором исключалось срабатывание ЗРС на фазе отбора керна, составлял 280 л/мин. Проектный форсированный режим работы при расходе жидкости 250 л/мин.

При бурении на площадке, прилегающей к порту, устьевой интервал скважины, сложенный глинистыми илами и слабо-уплотненными песками проходил при пониженном значении расходе жидкости соответствующего эффективной работе ГУ.

При оценке данных, полученных в процессе выполненного объема изысканий, особое внимание акцентировалось на получении качественного геологического материала по всему разрезу скважин. В этом отношении реализуемый способ проходки скважин в условиях сложного геологического разреза полностью обеспечил нормативные требования к показателям пробоотбора. Параметры управления пусковыми узлами, полностью исключившие произвольное срабатывание ЗРС как при форсировании работы гидроударника, так и при переходе от режима бескерновой проходки на режим отбора керна, и обеспечили выход керна по глинистым породам - 95-100%; по остальным породам, по пескам различного гранулометрического состава – более 80%. Важным качественным показателем изысканий явилось получение образцов керновых колонок с четким визуальным контактом между слоями пород с различными физико-механическими свойствами.

Использование многофункционального ГБС -127 в составе легкой установки, с забортной технологической схемой ее эксплуатации с судов общетехнического назначения, позволило достичь показателей проходки инженерно-геологических скважин, которые ранее могли реализовываться только вращательными агрегатами специализированных буровых судов.

Эксплуатационное несовершенство ГБС-127 заключалось в сложности обеспечения многократного изменения характера разрушения пород на интервале скважины. Разблокирование гидроударного механизма (возврат ЗРС пус-

ковых узлов в исходное положение) выполнялось при отключении бурового насоса на период 40-50 с..

Представители ООО «Компания «Юговостокгаз»:

Начальник участка \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ П.Л. Комарь

Главный механик \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ В.С. Осипов

Инженер по бурению \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ А.А. Украинцев

Ассистент каф. ТТГР \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ А.В. Хогуля

## Приложение Д



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Компания «Юговостокгаз»

П. В. Зыбинский

## АКТ

применения погружной гидроударной установки УМБ - 130 М для инженерно-геологических изысканий на площадке постановки СПБУ «Амазон»

Погружная гидроударная установка УМБ-130М использована при инженерно-геологических изысканиях на площадке постановки СПБУ «Амазон» в Азовском море.

Техническое задание - ООО «Азов Петра ЛЛС».

Район работ расположен в 25-ти км на юго-восток от оголовка Бердянской косы.

Предусмотренный техническим заданием объем буровых работы выполнен с борта судна общетехнического назначения «Emre Otour» в период 06-26.05. 2013 г.

Техническая основа, результаты и общая характеристика условий выполнения буровых работ представленных в протоколе 1 и 2, являющихся неотъемлемой частью настоящего акта.

Начальник участка

П.Л. Комарь

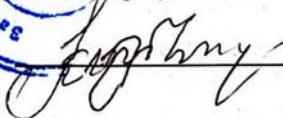
Главный механик

В.С. Осипов

Инженер по бурению

А.А. Украинцев

## Приложения Д

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
ООО «Компания «Юговостокгаз»  
 П.В. Зыбинский

## ПРОТОКОЛ 1

выполнение буровых работ при инженерно-геологических изысканиях для подготовки площадки под постановку СПБУ «Амазон» на газовом месторождении Азовского моря

В соответствии с техническим заданием ООО «Азов Петра ЛЛС» для подготовки предпроектной документации на постановку СПБУ «Амазон» выполнено бурение 3-х инженерно-геологических скважины (ИГ-1, ИГ-2, ИГ-3) глубиной по 30 м.

Работы выполнялись в акватории Азовского моря в 25-ти км, на юго-востоке от оголовка Бердянской косы.

Геологический разрез скважин был представлен глинистыми илами, плотными, песчанистыми глинами, средней плотности, плотными и твердыми глинами.

Бурение выполнялось по схеме бесколонного бурения с поинтервальным отбором керна и комбинированным разрушение пород по стволу скважины.

При бурении скважины ИГ-1 использовался гидроударный буровой снаряд ГБС127, укомплектованный унифицированными пусковыми узлами с одноэлементным пусковым узлом.

Режимы бурения: подача насоса (9МГр) для обеспечения эффективной работы гидроударного механизма снаряда ГБС127 на фазе отбора керна – 320-340 л/мин; подача насоса для срабатывания пусковых узлов на фазе бескернавого бурения – 370-400 л/мин. Изменение режима работы ГБС, при разблокиро-

вании гидроударника (переход с режима бескернового бурения на режим пробоотбора) выполнялось при отключении бурового насоса на период 30-40 с.

Скважины ИГ-2 и ИГ-3 были пробурены буровым снарядом ГБС-127М после 4-х дневного перерыва, обусловленного метеоусловиями в районе работ.

Особенностью конструкции ГБС127М является использование в его структуре унифицированных пусковых узлов, выполненных в виде подпружиненного плунжерного золотника с отрицательным перекрытием пропускных окон штока, и концентрично установленного в цилиндре клапана.

В обвязке насоса был использован новый регулировочный вентиль (РВ) с шагом резьбы винта 8 мм, что обеспечило перемещение поршня РВ с возможностью полного открытия (закрытия) сливной линии гидросистемы за 2 оборота винта. Весь цикл пусконаладочных работ, в т.ч. настройка пусковых узлов выполнялась на палубе судна. Расходы жидкости контролировались объемным методом с использованием бака емкостью 0,2 м<sup>3</sup>.

Режимы бурения: подача насоса для обеспечения эффективной работы гидроударного механизма снаряда ГБС127 на фазе отбора керна – 200-220 л/мин; подача насоса для срабатывания пусковых узлов на фазе бескернового бурения – 310-320 л/мин. Изменение режима работы ГБС, при разблокировании гидроударника (переход с режима бескернового бурения на режим пробоотбора) выполнялось при подаче насоса 140 л/мин при величине предварительной деформации пружины пусковых узлов 79 мм (принималась в соответствии с расчетными рекомендациями и уточнялась в ходе пуско-наладочных работ).

Переход с режима бескернового бурения на режим включения в работу гидроударника (на интервалах отбора керна) обеспечивался без отключения насоса. Перемещение ЗРС в исходное положение оценивалось визуально и соответствовало моменту начала работы гидроударника. При этом запуск гидроударника выполнялся при давлении в системе 1,5-1,7 МПа, что, согласно рабочей характеристики ГБС-127М, соответствовало расходу 140-150 л/мин.

Основным итогом проведенных испытаний являлась подтвержденная надежность разблокирования ГУ при режиме возврата ЗРС без отключения на-

соса, за счет применения ЗРС с отрицательным перекрытием пропускных окон штока.

Учитывая возможность изменения состояний ГБС без отключения насоса, рекомендуется продолжить работы по созданию ГБС, в технологическом плане исключающих необходимость использования «ключающего способа» в цикле проходки скважины.

Представители ООО «Компания «Юговостокгаз»:

Начальник участка



П.Л. Комарь

Главный механик



В.С. Осипов

Инженер по бурению

А.А. Украинцев

## Приложение Д

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
ООО «Компания «Юговостокгаз»  
П.В. Зыбинский



## ПРОТОКОЛ 2

Результаты бурения инженерно-геологической скважины на площадке постановки СПБУ «Амазон»

Техническое задание – ООО «Азов Петра ЛЛС»: бурение скважины глубиной не менее 40 м для уточнения и получения, дополнительных инженерно-геологических данных по разрезу ранее пробуренной скважине ИГ-1.

Буровые работы выполнялись установкой УМБ-130М с борта «Emre Otour» 28.05.2013г.

Для выполнения работ использован буровой снаряд ГБС-127 с унифицированными пусковыми узлами, конструкции ДонНТУ. Привод ГБС от бурового насоса 9МГр.

*Режимы бурения:* подача насоса для обеспечения эффективной работы гидроударного механизма снаряда ГБС-127 на фазе отбора керна – 200-220 л/мин; подача насоса для срабатывания пусковых узлов на фазе бескернового бурения – 310-320 л/мин. Режим размыва – при подаче насоса 400-450 л/мин. Изменение режима работы ГБС, при разблокировании гидроударника (переход с режима бескернового бурения на режим пробоотбора) - при подаче насоса 120-140 л/мин.

Установка комплектовалась двойными колонковыми наборами диаметром 127/108 мм, длиной 6, 4 и 2 м.

Технологическая схема и режимы управления ГБС при проходке скважины, выбраны с учетом предварительных данных, полученных при бурении скважины ИГ-1 (таблица).

Порода	Интервал бурения, без отбора керна/с отбором керна, м.	Время на размыв ранее пройденного интервала/ отбор керна, мин.	Подача насоса на технологических этапах бурения, л/мин.			Выход керна, %
			бескерновая проходка	Разблокирование гидродарной машины	Отбор керна	
Ил	(0)/(0-6)	-/3	-	-	200-220	95
	(0-6)/(6-10)	2/2	380-400	140-150		
Глина илистая	(0-10)/(10-14)	6/4				
	(0-14)/(14-18)	10/4				
Пески	(0-18)/(18-20)	20/8				
Песчанистая глина	(0-20)/(20-22)	30/12				
Пески	(0-26)/(0)	80/-	-	-	-	
Глина средней плотности с прослойками песка	(0)/(26-28)	-/20	140-150	200-220	100	
	(0-28)/(28-30)	70/20				
	(0-34)/(0)	120/-				
	(0-34)/(34-36)	-/24				
Плотная глина	(0-36)/(36-38)	180/30	140-150	200-220	100	
Твердая глина	(0-38)/(38-40)	240/40				

Общее время бурения скважины с учетом выполнения спуско-подъемных операции (1140 мин/11рейс) и времени технического обслуживания составило 20 ч. Бурение интервала 34-40 м, выполнено на новой точке из-за сноса судна и необходимости смещения установки на 2,5 м. Размыв ствола скважины с нулевой отметки до глубины 34 м производился по ненарушенным осадкам

Результатом бурения скважины решена задача, оговоренная техническим заданием. Использование пусковых узлов выполненных в виде подпружиненного плунжерного золотника с отрицательным перекрытием пропускных окон штока, и концентрично установленного в цилиндре клапана обеспечило безотказность оперативного разблокирования гидроударного бурового снаряда при переходе на режим отбора керна без выключения насоса. Достижение условия, при котором не прекращается циркуляция воды в скважине, существенно снизило опасность прихвата ГБС в скважине.

Начальник участка



П.Л. Комарь

Главный механик



В.С. Осипов

Инженер по бурению

А.А. Украинцев