Б.С. Ахымбаева

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

Алматы 2022

УДК 622.143 (075.8)
ББК 33.131 я73
А95

Рекомендовано к печати Ученым советом НАО «Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева»

Рецензенты:
Доктор технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Нефтяная инженерия» *Молдабаева Г.Ж.*
Доктор технический наук, профессор, директор ДГП «Институт горного дела имени Д.А. Кунаева» *Буктуков Н.С.*

Б.С. Ахымбаева
А95 «Технология бурения разведочных скважин гидроимпульсными генераторами». Монография. – Алматы: КазНИТУ им К.И. Сатпаева, 2022. 98 с.
ISBN 978-601-323-305-5

Для решения поставленных задач в монографии и обоснования выбранного научного подхода принят комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ состояния вопроса, технико-экономический анализ, математическую статистику, теорию выбора и принятия решений, выполнения скважинных экспериментов при исследований процессов улавливания продуктов разрушения и передачи энергии забою скважины при бурении техногенных отложений, проведение опытно-производственных исследований ударного комплекса в различных по сложности горно-геологических условиях. Указанные методы обеспечивают высокие стандарты научных исследований.

ISBN 978-601-323-305-5 © Б.С. Ахымбаева, 2022
© КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, 2022

АННОТАЦИЯ

Данная монография посвящена обоснованию, разработке и применению генераторов гидроимпульсного воздействия для повышения нефтеотдачи пластов и увеличения скорости бурения горизонтальных скважин.

Известно, что разбуривание нефтяных и газовых пластов горизонтальными скважинами является эффективным методом формирования оптимальной системы разработки, а также методом увеличения продуктивности месторождений, находящихся на поздней стадии эксплуатации.

Вскрытие продуктивной толщи горизонтальными стволами скважин увеличивает площадь фильтрации, исключает возможность поступления воды в процессе эксплуатации, и оно особенно эффективно для низкопроницаемых коллекторов, а также коллекторов с вертикальной трещиноватостью.

Но, несмотря на данные положительные качества горизонтального бурения, существует весомый недостаток. В отличие от вертикального бурения, при горизонтальном бурении из-за отсутствия статических нагрузок значительно падает скорость бурения (утяжеленные бурильные трубы – УБТ не обеспечивают нагрузку на долото). Для решения этой задачи необходимо статическую нагрузку (применение УБТ) заменить динамической за счет использования генераторов гидроимпульсного воздействия.

Решение этих задач потребовало выполнения ряда работ, различных по методическому характеру и составу. Сюда относятся теоретические исследования, экспериментальные исследования в лабораториях и на производстве.

Научные положения и результаты, представленные в данной монографии:

1. Генератор гидроимпульсного воздействия на забой горизонтальной скважины может использоваться не только для бурения, но и как средство повышения проницаемости продуктивности пластов и увеличения их нефтеотдачи;

2. Обоснована модель призабойного участка горизонтальной скважины в процессе вращательно-ударного бурения, представляющая толстостенный цилиндр с плоским

дном, на который действует давление вышележащих пород и бурового раствора, причем дно цилиндра на контакте с его стенами подвергается действию импульсных нагрузок от генератора ударных импульсов;

3. Для разработанной модели решена задача о распределении напряжений в околоскважинном массиве с учетом действия на его стенки и забой давления вышележащих слоев пород и бурового раствора, а также давления на забое от импульсных нагрузок, передаваемых генератором ударных импульсов;

4. Определяющими факторами, вызывающими трещинообразование в продуктивном пласте при вращательно-ударном бурении, являются радиальные растягивающие напряжения, действующие в месте стыка забоя со стенками горизонтальной скважины;

5. Установлено, что трещинообразования в околоскважинном массиве горизонтальной скважине, сооружаемой вращательно-ударном бурением в продуктивном пласте, происходит в угловых зонах забоя одновременно с его углублением, что повышает эффективность процесса.

Применение генератора гидроимпульсного воздействия увеличивает скорость бурения за счет ударных импульсов, передаваемых забою скважины, что особенно важно при горизонтальном бурении так, как из-за отсутствия статических нагрузок при обычном вращательном способе значительно падает скорость проходки (утяжеленные бурильные трубы не обеспечивают нагрузку на долото).

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ……..... 5
ПРЕДИСЛОВИЕ……..…….. 7
ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ…….....…… 9
1. Краткая история развития и состояние колонкового ударно-вращательного бурения…….....… 9
1.1. Газоимпульсный генератор….....…… 13
1.2. Породоразрушающий инструмент…….....…… 20
1.3. Колонковые и шламовые трубы…….....… 26
1.3.1. Правила эксплуатации колонковых труб и резьбовых соединений…….....…… 28
1.4. Общие правила эксплуатации пневмоимпульсных генераторов…….....… 32
1.5. Правила эксплуатации породоразрушающего инструмента…….....…… 33
1.6. Правила эксплуатации колонковых труб и резьбовых соединений…….....…… 34
1.7. Общие требования к технологии бурения…….....… 35
1.7.1. Конструкция скважин…….....… 35
1.7.2. Подготовительные операции и забурка скважин..... 36
1.7.3. Бурение скважин…….....…… 37
1.8. Режимы бурения…….....…… 39
1.9. Характерные аварии, методы их предупреждения и ликвидации…….....… 43
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ УДАРНО-ЭЖЕКТОРНЫХ СНАРЯДОВ…….....…… 46
2.1. Основные направления исследовательских работ..... 46
2.2. Исследование особенностей кернообразования…..... 51
2.3. Принципиальная схема эжекторных снарядов при ударно-вращательном бурении…….....… 56

2.4. Теоретические основы моделирования и создания эжекторного снаряда применительно к гидрогеологическим условиям месторождений…..... 60
2.5. Стендовые исследования ударных колонковых наборов в эжекторном исполнении……..... 66
3. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ……..... 76
3.1. Совершенствование технических средств бурения горизонтальных скважин……..... 76
3.2. Технология бурения горизонтальных скважин газожидкостными ударно-эжекторными снарядами в сложных горно-геологических условиях……..... 82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..... 95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…..... 97

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экономический потенциал государств становится все более зависимым от наличия национальных энергетических ресурсов или возможности их импортирования. За последние 20 лет средние запасы новых месторождений уменьшились в 4 раза, доля крупных месторождений среди вновь открываемых снизилась с 15% до 10%, ухудшаются коллекторские свойства продуктивных отложений и качественный состав насыщающих их флюидов.

Существенно осложнились геологические условия на объектах проведения поисковых и разведочных работ. В большинстве регионов ресурсы нефти и газа до глубины 2,5...3,0 км уже разведаны и многие из них давно эксплуатируются.

В течение многих лет наиболее высокопроизводительный ударно-вращательный способ широко используется в горнодобывающей промышленности, особенно при бурении горизонтальных и восстающих скважин из горных выработок и при проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые.

Характерной особенностью ударно-вращательного способа бурения с применением, является использование меньшей сопротивляемости крепких и весьма крепких абразивных пород воздействию динамических нагрузок, нежели статических. В результате энергоемкость разрушения пород при указанном способе значительно меньше, чем при других известных способах. Практика последних лет подтвердила высокую эффективность ударно-вращательного бурения скважин и целесообразность его применения в сочетании с другими известными современными способами [3].

При ударно-вращательном способе бурения процесс разрушения коренных пород магматического образования происходит за счет скола и дробления горной массы. В режиме вращательно-ударного бурения, отличающего от ударно-вращательного тем, что буровой инструмент внедряется в породу не только в момент удара, но и в промежутках между ударами под действием значительного статического осевого усилия, достигающего 1,5-2,0 кН на 1см длины лезвия бурового

инструмента, тем самым образует двойной эффект разрушения пород – создание трещин и резания разрыхленной массы.

Поэтому применение вращательно-ударного бурения в мягких и средней крепости породах, в основном, осадочного образования (нефтегазовый сектор), требует проведение всесторонних научных исследований.

В связи с вышесказанным, бурение скважин гидроимпульсным генератором, который, за счет ударных импульсов, передаваемых забою скважины, создает трещины и увеличивает динамическую силу воздействия имеет высокую эффективность.

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

Высокопроизводительный ударно-вращательный способ бурения с применением гидроимпульсных генераторов используется в горнодобывающей промышленности и в практике геолого-разведочных работ. Практика последних лет подтвердила высокую эффективность колонкового бурения гидроимпульсными генераторами в комплексе с газожидкостными ударно-эжекторными снарядами и целесообразность его применения в сочетании с другими современными способами [6].

1. Краткая история развития и состояние колонкового ударно-вращательного бурения

Впервые способ бурения скважин погружными пневматическими молотками был разработан в СССР. Инженером А. К. Сидоренко еще в 1936 году было предложено решение проблемы бурения глубоких скважин в крепких породах за счет перенесения пневматического молотка в скважину, а первая попытка размещения ударного механизма непосредственно у забоя скважин относится к 1938г., когда этим автором был сконструирован погружной перфоратор. Перфоратор опускался в скважину на двойной бурильной колонне. По внутренней трубе к перфоратору подводилась промывочная жидкость, а по межтрубному зазору – сжатый воздух. В процессе эксплуатации было отмечено частое заклинивание долота на забое вследствие недостаточного крутящего момента. Конструкция двойных труб оказалась ненадежной и трудоемкой при наращивании бурильной колонны.

Поэтому перфораторы этой конструкции не нашли практического применения.

Перед Великой Отечественной войной были изготовлены и испытаны первые образцы забойных пневматических молотков, показавшие вполне удовлетворительные результаты. В послевоенный период по пути создания буровых машин с забойными пневматическими молотками пошли как у нас, так и за рубежом.

Созданием погружных пневмоударников для бурения скважин стали заниматься с 1950 г. и уже в 1953-1955 гг. погружные пневмоударники получили широкое применение в горнодобывающей промышленности.

Попытки применить высокопроизводительное перфораторное бурение для проходки разведочных скважин колонковым буровым снарядом производились неоднократно. Так, в 1937 году в Криворожском бассейне (Украина) было произведено опытное бурение скважин колонковым буровым снарядом с помощью мощного пневматического перфоратора ДС. Кольцевая коронка имела диаметр 56мм и армировалась девятью резцами из твердого сплава РЭ-15. Бурение проводилось по железной руде VII категории крепости.

За шесть часов была пробурена скважина глубиной 19м, выход керна составил 88%.

В 1939 году на руднике Джетыгара (Казахстан) колонковым перфоратором были пройдены в породах X-XI категории по буримости скважины, глубиной до 25 м каждая. Среднесменная производительность была 1,67м при выходе керна 99,3%.

В 1955 году на руднике «Большевик» (Кривбасс) колонковым перфоратором КС-50 было пройдено свыше десяти разведочных скважин в породах VIII-IX категории по буримости, глубиной до 50м при среднесменной производительности около 3,4м.

В последнее время наметилась устойчивая тенденция сотрудничества фирм по совместному усовершенствованию буровых установок и бурового инструмента [8,9]. Так, после покупки в начале 1991 года концерном «Сандвик» 25% акций фирмы «Тамрок», финские установки стали полностью комплектоваться буровым инструментом фирмы «Сандвик рок тулс».

Концерн «Сандвик» (Швеция) является крупнейшим в мире изготовителем твердосплавного бурового инструмента для горных работ. Помимо сотрудничества с фирмой «Тамрок», концерн поставляет инструмент для пневмоударников серии ДТХ компании «Мишн» (США) и серии КОП компании «Атлас Копко» (Швеция).

Фирма «Тамрок» (Финляндия) является ведущей в области

изготовления бурового оборудования и погрузочно-доставочных машин для горной и строительной промышленности. Она выпустила буровые установки класса «Супер», отличающиеся от проходческих станков типа «Миниматик» повышенной мощностью, улучшенным обзором и маневренностью. Кроме того, фирма поставляет установки типа «Пауэртрак», «Соло», «Минибур» для бурения скважин и шпуров с помощью гидравлических перфораторов серии «ГЛ 300-1000».

Опыты по созданию и применению пневмоударников и гидроударников для геолого-разведочных целей впервые начали проводиться с 1957г., в тресте «Мосбассуглегеология», и затем в 1963г. в Якутском геологическом управлении и в других организациях. При этом было установлено, что механическая скорость проходки в 2,5-3 раза выше, чем при дробовом бурении.

Исследовательские работы свидетельствуют о больших неиспользованных резервах ударно-вращательного способа, а колонковое бурение, как надежное подспорье, для расширения объектов и увеличения объемов внедрения в практике буровых работ.

На основании разработанных положений и методик, в результате опытно-конструкторских работ ЦНИГРИ (Тульское отделение) и СКБ «Союзгеотехника» в конце 70-х – в 80-х созданы комплексы техники ударно-вращательного бурения разведочных скважин [3].

Однако, начиная с 2017 года техника ударно-вращательного бурения претерпевает существенные изменения – автором внесены предложения по комплексной модернизации гидроимпульсных генераторов в комплексе с газожидкостными ударно-эжекторными снарядами. По результатам работ по проекту «Разработка и внедрение гидроимпульсного и газожидкостного генераторов для повышения эффективности бурения скважин в сложных горно-геологических условиях» создана техника гидроимпульсного и газожидкостного генераторов, включающие ряд породоразрушающих инструментов для формирования кольцевого забоя, собственно генераторы – забойные машины, эжекторные керноприемные наборы и разъемные шламовые трубы, вспомогательное оборудование и контрольно-измерительные приборы [1,2].

В период с 01 июня по 31 августа 2018 года, с 03 января по 28 февраля и с 16 июня по 22 августа 2019 года проведены опытно-производственные буровые работы по отработке комплекса технических средств для бурения в сложных условиях с применением разработанных забойных машин различных конструкции.

В ходе испытаний клапанных и без клапанных забойных машин (объем бурения составил – 28759м) было установлены перебои в работе клапанных узлов. Поэтому для корректировки чертежей и выбора эффективного типа забойной машины необходимо было провести окончательные испытания.

В соответствии с календарным планом были проведены дополнительные испытания клапанных и клапанных забойных машин (с объёмом бурения 720м) для окончательной корректировки чертежей.

Для проведения испытаний были использованы ударные комплексы, включающие клапанные и безклапанные забойные машины, шламовые трубы, колонковые наборы, породоразрушающий инструмент – коронки одинарные и двойные.

Общий объем пробуренных скважин за период испытаний составил соответственно 12404+15635+720=28759м. (см. протоколы испытаний от 03.09.2018 и 26.03.2019 г.г.). Бурение производилось на двух установках УРБ-2А2 с использованием компрессоров НВ-10 с дизельным приводом. Геологический разрез представлен трещиноватыми, раздробленными гранитами IX категории по шкале буримости, далее плотными породами VIII-XI категории.

1.1. Газоимпульсный генератор

Таблица-1. **Техническая характеристика гидроимпульсного генератора**

	Наименование основных параметров и размеров	Тип газоимпульсного генератора	
		ПКС-114	**ПКС-102**
1.	Номинальный перепад давления. МПа		
	а) при давлении воздуха 0,7 МПа	0,6	0,6
	б) при давлении воздуха 2,5 МПа	0,9	0,9
2.	Работа единичного удара, Дж		
	не менее:		
	а) при перепаде давления 0,6 МПа	246	118
	б) при перепаде давления 0,9 МПа	363	160
3.	Частота ударов, $С^{1}$		
	а) при перепаде давления 0,6 МПа	17	18,3
	б) при перепаде давления 0,9 МПа	22	25
4.	Расход воздуха, $м^3$/мин,		
	не более:		
	а) при перепаде давления 0,6 МПа	7	5
	б) при перепаде давления 0,9 МПа	11	8
5.	Габаритные размеры, мм, не более:		
	а) диаметр корпуса	114	102
	б) длина	1130	1050
6.	Масса, кг, не более	71	47

Разведочный газоимпульсный генератор ПКС (рис.1) представляет собой машину ударного действия. Он является рабочим органом и во время работы находится у забоя скважины. Сжатый воздух к газогенератору подводится по бурильным трубам, которые соединяются с забойной машиной переходником.

Колонковые трубы с породоразрушающим инструментом присоединяются к газоимпульсному генератору с помощью специальной конической резьбы.

В породах IX-XП категории по буримости газоимпульсный генератор ПКС работает с поршнем 9, а при работе в породах

У-УШ категории по буримости этот поршень заменяется поршнем 18 с уменьшенной массой и вкладышем 17.

Разведочный газоимпульсный генератор имеет клапанное воздухораспределительное устройство, включающее перекидной клапан 3, воздухоподводящую трубку 5. Ударный узел пневмоударника включает поршень 9, цилиндр 6, втулку 11, хвостовик 12. втулку шлицевую 14, переходник нижний 16.

Поршень разделяет полость цилиндра на верхнюю и нижнюю камеры. К нижней камере относятся также внутренние полости воздухоподводящей трубки, крышки клапана и поршня.

Все детали воздухораспределительного и ударного узла размещены в корпусе 7, в который с одной стороны ввинчивается муфта шлицевая 13, а с другой – верхний переходник 1. Между верхним переходником и крышкой клапана установлены резиновые амортизаторы 2, гасящие отдачу, возникающую при обратном ходе поршня, и выбирающие возможные при сборке забойных машин торцевые зазоры между цилиндром, втулкой, корпусом и крышкой клапана.

Нижний переходник 16 имеет резьбу для присоединения колонковых труб.

Для перекрытия доступа воды и шлама в полость пневмоударника предусмотрены уплотнительные кольца 15, находящиеся в кольцевых проточках муфты 13, и обратный клапан 17, установленный в нижнем переходнике.

Вращение породоразрушающему инструменту передается от бурильных труб через верхний переходник, корпус, муфту, втулку и нижний переходник.

Принцип действия модернизированного пневмоударника основан на том, что сжатый воздух через верхний переходник 1, клапан 3 и трубку 5 периодически поступает в верхнюю или нижнюю камеры пневмоударника в зависимости от положения поршня 9 и перекидного клапана 3, осуществляя возвратно-поступательное движение поршня.

Перед запуском газоимпульсного генератора в работу поршень находится в нижнем положении (рис.1). Верхняя камера сообщается с атмосферой через верхние выхлопные окна цилиндра 6, кольцевой зазор между цилиндром и корпусом, а также через отверстия во втулке и нижнем переходнике,

колонковую трубу и кольцевой зазор в скважине нижняя камера в это время закрыта. Сжатый воздух из бурильных труб попадает по отверстию в верхнем переходнике 1 в верхнюю камеру и перекидывает левое крыло перекидного клапана вниз, перекрывая тем самым доступ воздуха в верхнюю камеру и открывая канал, подводящий воздух через трубку 5 и паз, фрезерованный на торце поршня 9, в нижнюю камеру. По мере наполнения воздухом нижней камеры давление на поршень повышается, и он начинает двигаться вверх, перекрывая своей поверхностью верхние выхлопные отверстия цилиндра. Движение поршня вверх под давлением воздуха, поступающего в нижнюю камеру, происходит до тех пор, пока не откроются нижние выхлопные отверстия цилиндра. Давление в нижней камере резко падает, но поршень продолжает двигаться вверх по инерции, сжимая воздух в верхней камере, где давление воздуха повышается, достигая в определенный момент, величины, превышающей давление воздуха в сети. Клапан перекидывается и открывает доступ воздуха в верхнюю камеру, перекрывая его доступ в нижнюю.

Израсходовав энергию поступательного движения, поршень останавливается и под давлением воздуха в верхней камере и собственного веса начинает двигаться вниз, то есть начинается рабочий ход поршня. В конце движения поршня вниз закрываются нижние выхлопные отверстия и открываются верхние выхлопные отверстия цилиндра. Давление в верхней камере падает, а в нижней повышается, действуя снизу вверх на левое крыло перекидного клапана. Клапан перекидывается в свое первоначальное положение и закрывает канал в верхнюю камеру, открывая – в нижнюю. Затем после удара поршня по хвостовику начинается повторение цикла «холостой ход – рабочий ход».

Израсходовав энергию поступательного движения, поршень останавливается и под давлением воздуха в верхней камере и собственного веса начинает двигаться вниз, то есть начинается рабочий ход поршня. В конце движения поршня вниз закрываются нижние выхлопные отверстия и открываются верхние выхлопные отверстия цилиндра. Давление в верхней камере падает, а в нижней повышается, действуя снизу вверх на левое крыло перекидного клапана.

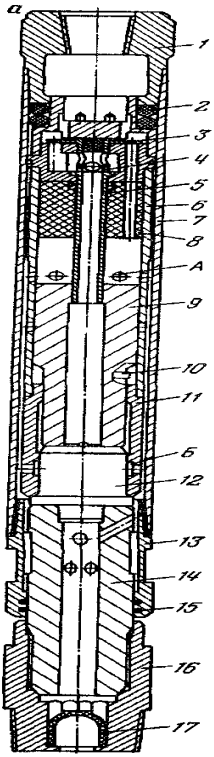


Рис. 1. Газоимпульсный генератор типа ПКС
а, б-варианты Т и Л соответственно с утяжеленным и облегченным поршнями; 1, 16-верхний и нижний переходники; 2-амортизатор; 3, 17-перекидной воздухораспределительный и обратный клапаны; 4, 11, 14-нажимная, нижняя (удлинитель цилиндра) и шлицевал втулки; 5-центральная воздухораспределительная трубка; 6-цилиндр; 7-корпус пневмоударника; 8-сменный вкладыш; 9, 18-поршень; 10-буферный пояс; 12-разъемный хвостовик; 13-шлицевая муфта; 15-уплотнительное кольцо; А-выхлопные окна; Б-блокировочные каналы.

Клапан перекидывается в свое первоначальное положение и закрывает канал в верхнюю камеру, открывая – в нижнюю. Затем после удара поршня по хвостовику начинается повторение цикла «холостой ход – рабочий ход».

Израсходовав энергию поступательного движения, поршень останавливается и под давлением воздуха в верхней камере и собственного веса начинает двигаться вниз, то есть начинается рабочий ход поршня. В конце движения поршня вниз закрываются нижние выхлопные отверстия и открываются верхние выхлопные отверстия цилиндра. Давление в верхней камере падает, а в нижней повышается, действуя снизу вверх на левое крыло перекидного клапана. Клапан перекидывается в свое первоначальное положение и закрывает канал в верхнюю камеру, открывая – в нижнюю. Затем после удара поршня по хвостовику начинается повторение цикла «холостой ход – рабочий ход».

В результате обе камеры оказываются открытыми, и работа ударного узла пневмоударника прекращается. Это позволяет периодически более интенсивно продувать скважину и производить при необходимости спуско-подъемные операции с одновременной подачей воздуха на забой скважины.

Однако, опыт полевых исследований свидетельствует, что при работе с газоимпульсным генератором, имеющем клапанное воздухораспределение, наблюдаются поломки воздухораспределительной трубки и собственно клапана, в целом, составляющих клапанный узел бурильной машины. В то же время, анализ состояния показывает, что ведущие буровые фирмы, работают на более экономичных и простых по конструкции бесклапанных забойных машинах, в которых распределение воздуха осуществляется поршнем, являющимся одновременно золотником.

Известно, что наличие шлицевого соединения в нижней части пневмоударника, являющимся дополнительным звеном, снижает величину ударной мощности, передаваемую поршнем горной породе, особенно при колонковом бурении.

При бурении валуно-галечных отложений одним из главных факторов является сохранение гладкоствольного участка буровой компоновки, поэтому нами была разработана техническая документация и выпущена партия гидро и газоимпульсных генераторов отечественной конструкции типа ПКС (патент РК-№29033 «Гидроударник», А.С. Латыпов, Б.С. Кабдулова (ныне Б.С. Ахымбаева) и др., зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан 23.09.2014г., а также

Евразийский патент №026911 «Погружная ударная машина», дата выдачи патента 31 мая 2017г., А.С. Латыпов, Б.С. Кабдулова (ныне Б.С. Ахымбаева).

За прототип были взяты бесклапанные ударники конструкции СО Академии наук России, хорошо зарекомендовавшие на горнорудных предприятиях Казахстана [5,7].

На рисунке 2 представлен бесклапанный газоимпульсный генератор, продольный разрез и соответственно разрезы А-А и Б-Б. Бесклапанная забойная машина имеет цилиндр-корпус 1, внутри которого размещен поршень-ударник 2, разделяющий его внутреннюю полость на камеры прямого 3 и обратного 4 ходов. В центральном канале поршня-ударника имеются верхняя 5 и средняя 6 полости, в стенках которых выполнены радиальные каналы 7 и 8, сообщающие эти полости с камерами 3 и 4. Снизу корпус 1 оканчивается наковальней 9, в центральном канале размещен обратный клапан 10 и выполнены обводные каналы. Наковальня 9 одновременно служит переходником на колонковую трубу или долото (не показаны).

Сверху на корпус 1 навинчена шлицевая втулка 11 узла блокировки, который выполнен в виде переводника 12 со шлицами, взаимодействующего с верхним торцом патрубка 13, который опирается своим заглушенным торцом о патрубок 14, нижним торцом о поверхность наковальни 9. На открытых торцах патрубков 13 и 14 вмонтированы эластичные элементы в виде вкладышей 15. Патрубки 13 и 14 образуют воздухораспределительную трубку, которая имеет верхние 16, средние 17 и нижние 18 радиальные каналы.

Бесклапанную забойную машину включают в состав погружного бурового инструмента и опускают в скважину. При этом за счет перекрытия центрального канала наковальни 9 и клапаном 10, занимающим верхнее положение под действием давления жидкости со шламом внутрь пневмоударника. По мере достижения забоя скважины, детали пневмоударника занимают положения, показанные на рис. 31а, т. е. переводник 12 занимает нижнее положение и упирается своим нижним торцом в эластичный вкладыш 15 верхнего патрубка 13, а верхние каналы 16 оказываются в зоне верхней полости 5 поршня-ударника 2.

Поэтому сжатый воздух имеет возможность доступа через

радиальные каналы 7 только в нижнюю камеру 4 обратного хода, вследствие чего поршень-ударник начинает перемещаться вверх. Блокировка поршня-ударника 2 осуществляется при незначительном перемещении переводника 12 вверх относительно шлицевой втулки 11, так как вследствие этого появляется зазор между торцами патрубка 13 и переводника 12. В результате обе рабочие камеры 3 и 4 оказываются связанными с напорной магистралью одновременно, вследствие этого поршень-ударник 2 заблокирован, так как давление сжатого воздуха в обоих камерах одинаково. При смыкании рабочих торцов восстановится рабочее положение и пневмоударник начнет наносить удары по наковальне, а уплотнительные эластичные элементы 15 будут обеспечивать более надежную герметизацию.

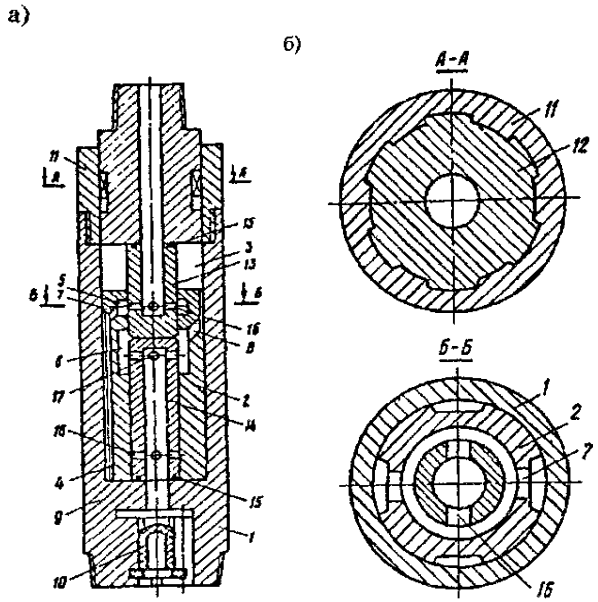


Рис. 2. Безклапанная машина

1-цилиндр-корпус; 2-поршень-ударник; 3-камера прямого хода; 4-камера обратного хода; 5-полость верхняя; 6-полость нижняя; 7,8-каналы радиальные; 9-наковальня; 10-клапан обратный; 11-втулка шлицевая; 12-переводник со шлицами; 13,14-патрубки, 15-вкладыш уплотнитель; 16,17,18-каналы радиальные.

Опыт полевых исследований свидетельствует, что при работе с забойной машиной, имеющей клапанное воздухораспределение, наблюдаются поломки воздухораспределительной трубки и собственно клапана, в целом, составляющих клапанный узел бурильной машины. В то же время, анализ состояния показывает, что ведущие фирмы, выпускающие технику бурения, работают на более экономичных и простых по конструкции бесклапанных забойных машинах, в которых распределение воздуха осуществляется поршнем, являющимся одновременно золотником.

1.2. Породоразрушающий инструмент

Исследования показали, что для бурения ударными забойными машинами с необходимой эффективностью в крепких абразивных породах необходим инструмент, обеспечивающий, наряду с высокой скоростью бурения, достаточный ресурс, особенно абразивную стойкость (удельный износ по наружному и внутреннему диаметрам не должен превышать 0,06-0,05 мм/м).

Для проведения испытаний были использованы породоразрушающий инструмент – коронки одинарные и двойные четырех видов (диаметром 115 и 132мм).

Одно из главных условий при проектировании кольцевых коронок для ударно-эжекторного бурения – обеспечение минимальных гидравлических сопротивлений при наименьшей толщине стенок. Эта толщина определяется минимально необходимым сечением тела коронок в их резьбовой части, а также минимальной суммарной площадью продувочных каналов между колонковой трубой и стенкой скважины. В противном случае если продувочные каналы позволят подняться с забоя шламу, который не пройдет в кольцевой зазор выше породоразрушающего инструмента, то это приведет к дополнительному дроблению, осложнениям и может к прихвату инструмента в процессе бурения. Эти факторы обусловили принятие ширины кольца коронки не менее 16-17 и 19-20мм при использовании колонковых керноприемных труб соответственно 102 и 114мм. Минимальные площади продувочных каналов

9-10см^2 и 11-12см^2 при использовании колонковых керноприемных труб соответственно 102 и 114мм.

Породоразрушающий инструмент представляет собой кольца, имеющие ребра наружной и внутренней поверхностях:

с одной стороны кольца армированы вставками твердого сплава;

с другой – выполнены со специальной конусной резьбой для соединения с колонковой керноприемной трубой.

По характеру армирования коронок вставками твердого сплава нами разработаны, изготовлены и проведены (согласно календарному плану – январь-февраль 2018 года) лабораторные испытания породоразрушащего инструмента. По результатам лабораторных испытаний отобраны четыре типа коронок для проведения опытного бурения на полигоне:

Первый тип – породоразрушающий инструмент с радиальными твердосплавными резцами, формы Г-12;

Второй тип – породоразрушающий инструмент с копытообразными лезвиями твердого сплава, располагаемые поперек радиуса в наружной и внутренней зонах забоя, форма Г-14;

Третий тип – породоразрушающий инструмент с многорядной спиральной схемой расположения вставок твердого сплава, форма Г-57;

Четвертый тип – породоразрушающий инструмент с пятью секторами, в которых штыревые вставки твердого сплава, форма Г-2607, направлены по спиралевидным линиям от центра к периферии против хода вращения коронки (см.рис 3,4).

Общий объем пробуренных скважин за период испытаний составил 12404м. Бурение производилось на двух установках УРБ-2А2 с использованием компрессоров НВ-10 с дизельным приводом. Геологический разрез представлен трещиноватыми, раздробленными гранитами IX категории по шкале буримости, далее плотными породами X-XI категории. В ходе испытаний наблюдались сколы и поломки вставок твердого сплава при внезапной встрече крепких пород. При бурении пород высоких до XI категории происходил интенсивный износ породоразрушающего инструмента, особенно первого, второго и в отдельных случаях третьего типов. При проведении испытаний охвачены хронометражом все случаи отказов и замены узлов и

деталей ударно-эжекторных комплексов. Стойкость породоразрушающего инструмента в зависимости от категории проходимых пород составляла от 3,5 до 38м, что многократно проверялось и отбраковывалось в ходе испытаний. Таким образом, резкая потеря диаметра бурения, сколы и вывалы вставок твердосплавных резцов, быстрый износ и поломки резьб в породах высоких категории, свидетельствуют о нецелесообразности дальнейших испытаний коронок первого, второго и третьего типов (см. таблицы хронометража испытаний).

Таблица-2. **Спечённые твёрдые сплавы, применяемые в бурении**

Марка сплава	WC %	Co %	Прочность наизгиб (σ), МПа ($Н/мм^2$)	Твёр-дость, HRA	Плот-ность (ρ), $г/см^3$	Тепло-провод-ность (λ), Вт/(м·°С)	Модуль Юнга (Е), ГПа
ВК6	94	6	1550	88,5	15	62,8	633
ВК6-М	94	6	1450	90	15,1	67	632
ВК6-м	92	6	1300	90,5	15	69	632
ВК8	92	8	1700	87,5	14,8	50,2	598
ВК8-В	92	8	1750	89	14,8	50,4	598,5
ВК10	90	10	1800	87	14,6	67	574
ВК10-м	90	10	1500	88,5	14,6	70	574
ВК15	**85**	**15**	**1900**	**86**	**14,1**	**74**	**559**
ВК20	80	20	2000	84,5	13,8	81	546

Предел прочности при изгибе ($\sigma_{в.изг.}$) – максимальное изгибающее напряжение, которое материал способен выдержать.

Предел прочности при изгибе измеряется:

$$1 \text{ кгс/мм}^2 = 10^{-6} \text{ кгс/м}^2 = 9{,}8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 9{,}8 \cdot 10^7 \text{ дин/см}^2 = 9{,}81 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9{,}81 \text{ МПа}. \quad (1)$$

На основании экспериментов была разработана новая схема

армирования породоразрушающего инструмента (коронок) – четвертый тип, что позволяет сосредоточить более 50% ударной мощности в наиболее энергоемкой периферийной зоне забоя, площадь которой не превышает 20-25% от общей площади. Для реализации новой схемы были испытаны по критериям – «удар», «износ» и «формирование керна» различные вставки твердого сплава. Наиболее эффективными, отвечающими требованиям являются штыревые резцы ВК-15 (см. табл.2).

Полигонные испытания подтвердили эффективность бурения штыревыми коронками см.рис.3,4,5. На основании новой схемы армирования был разработан и изготовлен породоразрушающий инструмент – кольцевые коронки типа ПКБ-115 и ПКБ-120.

Средняя механическая скорость колебалась от 1,3 до 2,1м/час., что является достаточно высоким для пород X-XI категории. Выход керна достаточно стабилен от 85% до 90%. Благодаря равномерному распределению штыревых твердосплавных резцов см. рис, износ коронок равномерный по наружному и внутреннему диаметрам был достигнут требуемый результат.

Таблица-3. **Техническая характеристика породоразрушающего инструмента**

Тип	Наименование показателей			
Породоразрушающего инструмента	Диаметр наружный, D, мм	Диаметр внутренний, d, мм	Длина, L, мм	Масса, кг, не более
	(+0,8)	(+0,4)		
	(-0,3)	(-0,3)		
Коронки для бурения с одинарной колонковой трубой				
ПКБ-132	132,5	94,4	123	3,15
ПКБ-115	115,5	79,4	113	2,20
Коронки для бурения с двойной колонковой трубой				
ПКДБ -132	132,5	89,4	118	3,14
ПКДБ -115	115,5	74,4	ИЗ	2,68

Коронки ПКБ для бурения с отбором керна *с* одинарной колонковой трубой (рис. 4) и ПКДБ с двойной колонковой трубой (рис. 5) представляют собой ребристый корпус 1, армированный по торцу сферическими вставками твердого сплава 2 марки ВК-15, ВК-8В диаметром 6,2мм, высотой 9мм.

Коронки соединяются с колонковыми трубами специальной конической резьбой.

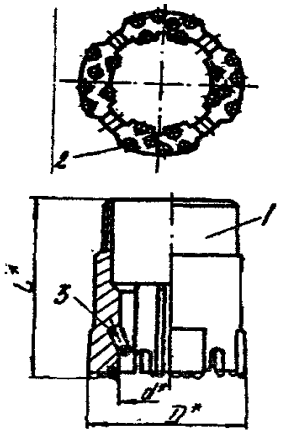


Рис. 3. Коронка кольцевая ПКБ
1-корпус; 2-вставки твердого сплава, 3-кернорватель.

В коронках КП керн удерживается при помощи кернорвателя 3, представляющего собой П-образные скобы, свободно перемещающиеся в наклонных отверстиях корпуса коронки. При бурении керн входит в коронку и поднимает скобы вверх, а при отрыве инструмента от забоя скобы под собственным весом и за счет трения о керн опускаются вниз и надежно захватывают последний в непосредственной близости от забоя.

Для повышения надежности захвата разрушенного керна применяются гибкие кернорватели, изготовленные из троса диаметром 4-5мм (рис. 5).

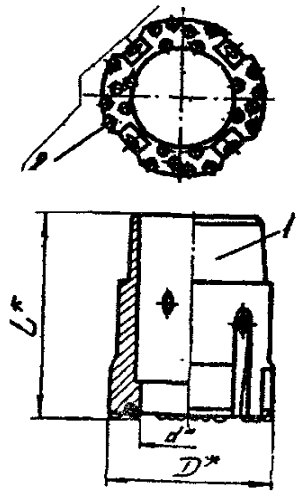


Рис. 4. Коронка кольцевая ПКДБ
1-корпус; 2-вставки твердого сплава.

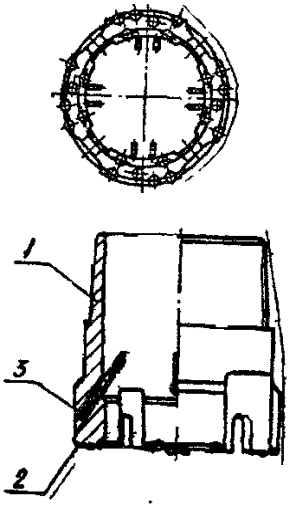


Рис. 5. Коронка кольцевая ПКБ с гибкими кернорвателями
1-корпус, 2-вставки твердого сплава, 3-гибкий кернорватель.

Коронки ПКБ имеют со стороны резьбы внутреннюю кольцевую проточку, на уступ которой опирается через кернодержатель внутренняя керноприемная труба двойной колонковой трубы ТДП (рис. 7). Сжатый воздух поступает на забой через отверстия в корпусе коронки.

1.3. Колонковые и шламовые трубы

Для проведения испытаний были использованы колонковые наборы (диаметром 102 и 114мм), шламовые трубы (диаметром 102 и 114мм), породоразрушающий инструмент – коронки одинарные и двойные четырех видов (диаметром 115 и 120мм).

Таблица-4. **Техническая характеристика колонковых труб**

Тип трубы	Наименование показателей				
	Диаметр наружный, D,mm	Диаметр внутренний, d, мм	Длина, мм		Масса, кг, не более
			общая L	керноприемной части,	
Одинарные колонковые трубы					
ТБУ-114	114	108	3000	3000	62
ТБУ-102	102	90	3000	3000	43
Двойные колонковые трубы					
ТБДУ-114	114	108	2568	2416	80,2
ТБДУ-102	102	78	2568	2406	57,4

Одинарные колонковые трубы применяются при бурении по вмещающим породам, или, если выход керна при бурении с ними удовлетворяет требованиям геологической службы. Они имеют на концах коническую резьбу для соединения с нижним переходником ударника и с коронкой (рис. 6, табл.5).

Таблица-5. **Одинарные колонковые трубы**

Шифр	D	d	d	dcp	I
ТБУ-102	102	94,21+0,14	97,21+0,23	94,03	32
ТБУ-114	114	108,21+0,14	111,21+0,23	111,03	32

При перенарезке колонковых труб в условиях организации калибром может служить кольцевая коронка соответствующего размера, при этом натяг при завинчивании ее от руки должен быть в пределах 1,5-2,0мм.

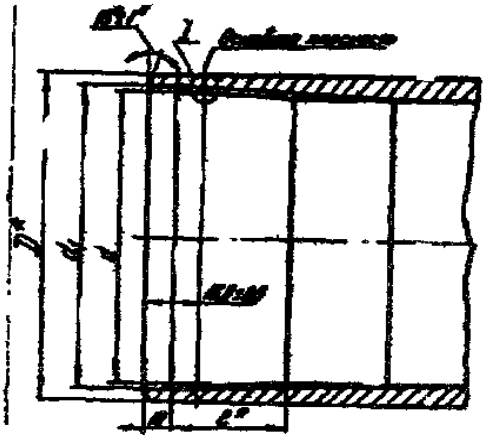


Рис. 6. Элементы резьбы колонковых труб

Двойные колонковые трубы (рис. 7) применяются при бурении по полезному ископаемому и во всех случаях, когда бурение с одинарными трубами не обеспечивает необходимый выход керна.

Наружная труба 4 соединяется с коронкой 1 и переходником пневмоударника 9 с помощью внутренних конических резьб. В наружной трубе размещается внутренняя керноприемная труба 3, которая своим нижним концом упирается в кернодержатель 2, а верхним через нажимное кольцо 5, амортизатор 8 и втулку упорную 7 в переходник пневмоударника.

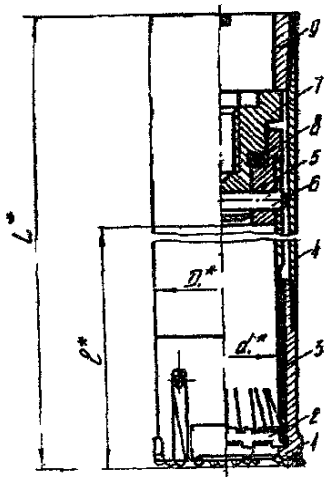


Рис. 7. Двойная колонковая труба
1-коронка; 2-кернодержатель; 3-труба керноприемная; 4-труба наружная; 5-кольцо нажимное; 6-штифт; 7-эжектор или узел упорный; 8-амортизатор; 9-переходник.

Воздух из пневмоударника поступает через торцевые пазы на упорной втулке в межтрубное пространство и далее через отверстия в корпусе коронки на забой. Керн, попадая в керноприемную трубу, полностью изолируется от воздействия пульсирующего сжатого воздуха.

Если при бурении произошел обрыв наружной колонковой трубы в ее верхней части, то для облегчения ликвидации такой аварии в упорном узле предусмотрено углубление для соединения с ловильным инструментом, а все внутренние части объединены в один узел штифтом 6.

1.3.1. Правила эксплуатации колонковых труб и резьбовых соединений

Новые колонковые трубы перед началом бурения тщательно осмотреть, ликвидировать возможные повреждения резьбы и торцов труб. Трубы, имеющие трещины, в эксплуатацию не допускаются.

После окончания рейса при осмотре труб особое внимание следует обращать на место соединения труб с пневмоударником.

Внутренняя труба двойной колонковой должна упираться в кернодержатель без осевого люфта. Осевой люфт устраняется заменой амортизатора.

Все резьбовые соединения перед сборкой необходимо проверить. Повреждения резьбы следует ликвидировать напильником или бруском. Резьбу прочистить металлической щеткой и смазать.

Сборку резьбовых соединений следует производить медленно и аккуратно. Нормальная резьба должна при завинчивании от руки давать натяг в пределах 1,5-2,0мм. Не следует допускать спуск в скважину резьб не довинченных с помощью ключа до упора при моменте 1-1,5кДж (100-150 кГм).

Если места соединения при этом не свинчиваются до упора, следует еще раз проверить подготовку резьбы. Если все сделано правильно, необходимо замерить резьбу и подогнать ее до нужных размеров.

Для облегчения навинчивания и свинчивания резьбовых соединений их необходимо смазывать солидолом с добавлением металлического порошка цинка или меди (20-40%).

При развенчивании резьб категорически запрещается обстукивание резьбовых соединений кувалдой, что приводит к образованию трещин и возникновению аварийной ситуации в скважине.

При перенарезке колонковых труб в условиях организации калибром может служить кольцевая коронка соответствующего размера, при этом натяг при завинчивании ее от руки должен быть в пределах 1,5-2,0мм.

Шламовая труба (рис.8) служит для сбора шлама в призабойной части скважины. Используются шламовые трубы при недостаточно интенсивной очистке забоя скважины от продуктов разрушения при бурении с промывкой или продувкой. Шламовая труба состоит из корпуса и переходника, соединяющегося своим нижним концом с переходником пневмоударника. Бурильная труба проходит внутри шламовой трубы и ввинчивается в переходник шламовой трубы. Изготовляют шламовые трубы из обычных заготовок для колонковых труб. Для присоединения к

буровому снаряду на одном конце шламовой трубы нарезают внутреннюю трапецеидальную резьбу левой нарезки. Второй конец трубы завальцовывают внутрь, чтобы своим торцом труба не цеплялась за башмак обсадных труб при подъеме бурового снаряда из скважины. Длина шламовых труб 1,5-2м. Объем трубы должен быть такой, чтобы в нее поместился весь крупный шлам, полученный за один рейс. Наружный и внутренний диаметры шламовых труб соответствуют размерам колонковых труб.

Одной из самых трудоемких работ является выбивание шлама из шламовой трубы, для чего приходиться наносить от 100 до 200 ударов молотом. В ряде случаев (высокая скорость углубки, значительные скопления шлама) для качественной очистки скважины приходиться устанавливать два и более шламовых труб с соответствующим возрастанием трудозатрат.

Для решения проблемы облегчения трудозатрат предложено изготавливать корпус шламовой трубы из кольцевых секций высотой 250-500мм, соединяющихся между собой коническими посадочными поясами (рис.1б). При этом в зависимости от ожидаемого в ходе предстоящего рейса количества шлама шламовая труба должна собираться из большего или меньшего числа секций. Опыт эксплуатации секционной трубы, с применением которой было выполнено свыше 10000 рейсов (см. протоколы испытаний от 03.09.2018 и 26.03.2019 г.г.), показал, что нет необходимости в установке верхнего ограничителя, предохраняющего трубу от раздвигания в осевом направлении. Случаев смещения секций в процессе бурения не наблюдалось, хотя ряд скважин бурились наклонно. Для опорожнения секционной шламовой трубы ее располагают горизонтально и, поочередно отодвигая секции от общего массива, возвратно-поступательными движениями с нажимом на несущую бурильную трубу удаляют из них шлам.

Конструкция создает возможность для разделения шламовой пробы на последовательные интервалы, соответствующие секциям.

Кроме того, устранение операции по выбиванию шлама молотом не только резко снижает трудоемкость операции, но и позволяет многократно увеличить срок службы секционных шламовых труб.

Наличие воды в скважине резко увеличивает трудоемкость работ по извлечению запрессованного влажного шлама из шламоприемника. Этот фактор является одним из основных причин снижения эффективности бурения в обводненных скважинах. В этих условиях при бурении без применения шламовых труб происходит повторное измельчение разрушенной породы, что резко снижает величину механической скорости проходки и создает условия для зашламования скважины. С целью повышения эффективности работы за счет улучшения условий разгрузки разработан секционный шламоприемник (рис. 8).

Шламоприемник состоит из бурильной трубы 1, на которой концентрично установлены днище 2 с проточкой и шламоприемная труба, выполненная из секций 3, длиной 250-500мм.

Последние размещены одна над другой с возможностью осевого перемещения, причем нижние части секций 3 выполнены с коническим посадочным отверстием, а верхние – с наружным коническим концом Угол конусности составляет 10°. Днище 2 жестко закреплено на бурильной трубе 1 замком 4, и имеет коническую наружную поверхность, которая размещена в соответствующем ему коническом посадочном отверстии нижней секции с возможностью ее осевого перемещения.

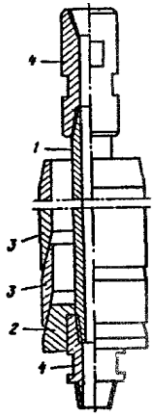


Рис. 8. Труба шламовая секционная (шламоприемник)
1-труба бурильная; 2-днище; 3-секция; 4-замок.

Шламоприемник работает следующим образом:

перед спуском в скважину на замок 4 опускают днище 2, на его наружную коническую поверхность опускают нижнюю секцию 3, далее на верхнюю часть 3 насаживают следующую секцию и т.д. Далее в скважине шламоприемник располагают над пневмоударником. При бурении благодаря тому, что посадка выполнена в виде самотормозящихся конических поверхностей, вибрации бурильной колонны и пневмоударника не вызывают нарушения целостности шламоприемника. Если между отдельными секциями все же возникает некоторый сдвиг, то конические поверхности служат направляющими, по которым секции 3 возвращаются на свое место. После подъема бурильную трубу 1 ставят на опоры так, чтобы она приняла горизонтальное положение. Для удаления шлама секции 3, начиная с верхней, отодвигают от остальной части и опорожняют короткими возвратно-поступательными движениями, осуществляемыми с нажимом на бурильную трубу 1. Процесс разгрузки шламовой трубы облегчается, а также появляется возможность послойного разделения шламовой пробы.

1.4. Общие правила эксплуатации пневмоимпульсных генераторов

Таблица-6. **Характерные неисправности и методы их устранения**

Наименование	Вероятная причина	Метод устранения	Примечание
1. Забойная машина не запускается	- Задиры на рабочих поверхностях поршня или цилиндра; - Поломка деталей ударного узла или воздухораспределительного устройства; - Обмерзание выхлопных каналов из-за высокой влажности воздуха	- Устранить задиры наждачной шкуркой или шлифовальным кругом; - Заменить запасными; - Прогреть пневмоударник, проверить правильность установки погружного влагоотделителя	

Продолжение табл.-6.

2. Попадание шлама в рабочие полости забойной машины	- Износ обратного клапана или уплотнительных колец	Заменить запасными	
3. При сборке не выдерживается зазор между торцем муфты и нижним переходником шлицевой втулкой (1,5-2,0) мм.	- Износ амортизаторов	Заменить запасными или добавить шайбу	
4. Люфт в резьбовых соединениях	- Значительный износ резьб	Заменить изношенные детали годными	

1.5. Правила эксплуатации породоразрушающего инструмента

Перед началом работы коронку необходимо тщательно осмотреть. Нельзя использовать коронки, имеющие повреждения вставок твердого сплава и резьбы.

Диаметры коронок необходимо замерять штангенциркулем и расставить их на полках в порядке уменьшения диаметра с указанием его величины на индивидуальных бирках.

Для успешного бурения скважины до максимальной глубины инструментом одного диаметра необходимо его правильно отрабатывать.

Первым требованием является соблюдение круговой схемы чередования коронок в процессе их отработки. В круг чередования включается необходимое количество коронок, определяемое крепостью и абразивностью пород и заданным интервалом бурения инструментом одного диаметра. Разница в диаметре соседних коронок при такой отработке (допустимый износ по диаметру за рейс) не должна превышать 0,2-0,4мм.

После окончания рейса измеряется диаметр коронки, и она устанавливается в соответствующее место в ряду на полке.

Недопустимо производить вращение коронок на забое при неработающем пневмоударнике, так как это приводит к катастрофическому износу вставок твердого сплава.

Навинчивание и свинчивание коронок производить специальными ключами КО. При этом не допускать касания ключа вставок твердого сплава. При навинчивании коронок рукой без ключа натяг не должен превышать 1,5-2,0мм. Резьба коронки перед навинчиванием должна быть смазана солидолом. Коронку необходимо навинчивать до упора. Недовинчивание коронок недопустимо, это может привести к разрыву трубы.

Вышедшие из строя скобы заменяются новыми, при этом концы их после расклепки не должны выходить за пределы наружного диаметра коронок. Скобы должны свободно перемещаться в отверстиях корпуса коронки.

1.6. Правила эксплуатации колонковых труб и резьбовых соединений

Новые колонковые трубы перед началом бурения тщательно осмотреть, ликвидировать возможные повреждения резьбы и торцов труб. Трубы, имеющие трещины, в эксплуатацию не допускаются.

После окончания рейса при осмотре труб особое внимание следует обращать на место соединения труб с пневмоударником.

Внутренняя труба двойной колонковой должна упираться в кернодержатель без осевого люфта. Осевой люфт устраняется заменой амортизатора.

Все резьбовые соединения перед сборкой необходимо проверить. Повреждения резьбы следует ликвидировать напильником или бруском. Резьбу прочистить металлической щеткой и смазать.

Сборку резьбовых соединений следует производить медленно и аккуратно. Нормальная резьба должна при завинчивании от руки давать натяг в пределах 1,5-2,0мм. Не следует допускать спуск в скважину резьб не довинченных с помощью ключа до упора при моменте 1-1,5кДж (100-150кГм).

Если места соединения при этом не свинчиваются до упора, следует еще раз проверить подготовку резьбы. Если все сделано

правильно, необходимо замерить резьбу и подогнать ее до нужных размеров.

Для облегчения навинчивания и свинчивания резьбовых соединений их необходимо смазывать солидолом с добавлением металлического порошка цинка или меди (20-40%).

При развинчивании резьб категорически запрещается обстукивание резьбовых соединений кувалдой, что приводит к образованию трещин и возникновению аварийной ситуации в скважине.

1.7. Общие требования к технологии бурения

1.7.1. Конструкция скважин

Конструкция скважин определяется их назначением и технологическими особенностями опробования полезного ископаемого, конечной глубиной, горно-геологическими и гидрогеологическими условиями и возможностями компрессора (давлением воздуха и производительностью).

В сухих и многолетнемерзлых породах конструкции скважин отличаются простотой. Необходимость крепления стенок трубами отпадает даже при бурении в породах неустойчивых, в которых при бурении с промывкой обычно применяют обсадные трубы.

В породах до VIII категории буримости (включительно), в которых потери диаметра инструмента незначительные, всю скважину следует проходить инструментом одного диаметра.

При бурении в породах IX и выше категорий буримости желательно иметь инструмент одного диаметра в резерве на случай аварийной потери диаметра скважины

При бурении в обводненных породах конструкции скважин осложняются тем, что породы верхней зоны чаще всего сухие и неустойчивые, поэтому при вскрытии водоносного горизонта их размывает пульсирующая вода, вызывая обрушение скважины Осложнения возникают также в начальный период вскрытия водоносного горизонта когда возможно интенсивное сальникообразование. Перекрывая такой участок трубами, необходимо стремиться установить башмак труб ниже статического уровня.

Если проектная глубина скважин превышает возможную глубину бурения с имеющимися компрессорами, то для добуривания ее твердосплавным инструментом специально крепить скважину трубами не следует.

Если добуривание скважины выполняется алмазным инструментом, то для уменьшения вибрации необходимо установить обсадные трубы соответствующего диаметра.

1.7.2. Подготовительные операции и забурка скважин

Перед началом бурения буровая бригада должна быть ознакомлена с геолого-техническим нарядом и проинструктирована по технологии проходки скважин.

При инструктаже особое внимание должно быть уделено рекомендациям по режиму бурения и отработке породоразрушающего инструмента, методике проходки слабообводненных зон и соблюдение правил заклинки и поднятия керна.

На буровой должен быть полный комплект необходимого бурового инструмента, необходимых для проходки скважин, в том числе-не менее чем по две забойные машины каждого размера, комплект коронок и колонковых труб (одинарных и двойных), шламовые трубы, ключи для коронок и аварийный инструмент.

При забуривании скважин в крепких сильно трещиноватых породах или в рыхлых отложениях с валунами возможны отклонения ствола скважины от заданного направления. Для устранения таких осложнении необходимо забуривать скважину инструментом, диаметр которого больше диаметра трубы-кондуктора на 20-35мм. Указанный кольцевой зазор позволит при установке и цементировании трубы-кондуктора в определенной мере исправить отклонение скважины от заданного направления. С этой же целью необходимо по мере углубления скважины увеличивать длину колонковой трубы-забурника.

Труба-кондуктор должна устанавливаться с таким расчетом, чтобы можно было установить превентор и механизм свинчивания и развинчивания бурильных труб.

Для исключения зависания крупного шлама в кондукторе его диаметр должен быть наименее возможным.

Кондуктор необходимо тщательно центрировать относительно шпинделя и только потом цементировать.

1.7.3. Бурение скважин

Для правильного ведения процесса бурения необходимо знать статический уровень и дебит воды в скважине.

Спуск бурового снаряда в скважину необходимо производить внимательно, особенно в местах возможного заужения ствола скважины. Если снаряд останавливается в таких местах, то дальнейший спуск следует осуществлять с вращением на малых оборотах, с ограниченной подачей шпинделя и без продувки.

Когда буровой снаряд достигнет забоя, необходимо сделать контрольный замер. После этого снаряд приподнять над забоем на 5-10см и закрепить в шпинделе. Если скважина сухая, то включить вентилятор, включить подачу сжатого воздуха и приступить к бурению, постепенно наращивая осевую нагрузку до номинальной.

В обводненных породах бурение начинать после прекращения бурного выброса воды (5-10мин). При этом, во избежании выброса в буровую, устье скважины должно быть закрыто герметизатором, особенно при использовании компрессора высокого давления.

Перекрепление шпинделя во время бурения необходимо производить в следующем порядке:

- выключить вращение;
- раскрепить патроны;
- поднять шпиндель, оставляя запас – 3-5см и закрепить патроны;
- приподнять шпиндель на 3см, включить вращение и снова приступить к бурению.

Во время бурения необходимо следить за показаниями измерительных приборов, особенно за манометром давления в сети. Необходимо также следить за изменением скорости бурения, работой пневмоударника и выбросом из скважины шлама.

После окончания рейса выключить вращение, снаряд приподнять над забоем на 3см, чтобы пневмоударник перестал работать. Продуть скважину в течение 3-5минут. Выключить подачу сжатого воздуха и приступить к проверке заклинки керна. Для этого следует приподнять несколько раз буровой инструмент на 5-10см и резко опускать. Если коронка свободно доходит до забоя, то керн заклинен. После этого можно начать подъем снаряда. Если керн не заклинен, о чем будет говорить недохождение снаряда до забоя, то необходимо включить воздух, углубить скважину на 5-10см и повторить заклинку. Убедившись в том, что керн заклинен, приступить к подъему бурового снаряда. Для исключения выпадения керна подъем инструмента производить плавно, без рывков и ударов.

Если в скважине остался керн, то при определении величины последующей проходки за рейс, его (керн) нужно учитывать.

Категорически запрещается использовать коронки для расширения законушенной скважины, особенно при использовании компрессоров высокого давления. В этих случаях необходимо проводить бурение коронкой меньшего диаметра.

Если произошло катастрофическое законушение скважины (по недосмотру) и применение коронок меньшего диаметра не позволит успешно пройти запланированный интервал заданным диаметром, как исключение допускается производить разбурку на пониженном давлении воздуха только до забоя, продолжать бурение этой же коронкой дальше категорически запрещается.

После поднятия бурового инструмента на поверхность устье скважины необходимо закрыть. Отвинтить буровую коронку, извлечь и уложить керн в керновой ящик и заполнить этикетку.

Коронку осмотреть и замерить износ по наружному диаметру. При необходимости заменить ее соответствующей коронкой для последующего рейса.

Осмотреть колонковую трубу и резьбовые соединения. Навинтить новую коронку и подготовиться к очередному рейсу.

1.8. Режимы бурения

Режим бурения определяется давлением, расходом и влажностью сжатого воздуха, частотой вращения снаряда, осевой нагрузкой и глубиной скважины.

Давление и расход воздухаважные переменные параметры, определяемые состоянием компрессора. Для эффективного бурения скважин необходимо обеспечить максимальное давление сжатого воздуха и минимальные непроизводительные его потери. При использовании компрессора СД-15/25 проходные сечения всех узлов воздухонагнетательной линии должны составлять не менее 12см^2.

Давление воздуха в процессе бурения зависит от состояния скважины, бурового снаряда и является одним из основных показателей процесса бурения в заданном режиме. В течение рейса давление должно изменяться незначительно.

Быстрое повышение давления в процессе бурения с одновременным прекращением выноса пыли свидетельствует о нарушении циркуляции воздуха. Это может возникнуть при превышении длины рейса длины трубы и переполнения шламовой трубы шламом, перемерзания отверстий в бурильных трубах или образования шламового сальника. В последнем случае следует прекратить бурение и произвести «расхаживание» снаряда. Если давление не падает до нормального-произвести подъем снаряда.

Расход воздуха определяет качество очистки скважины от шлама выбуренной породы. Не допускается сбрасывание воздуха на поверхности в процессе бурения.

Для нормальной очистки скважины от шлама в условиях бурения в сухих породах необходимо обеспечить скорость восходящего потока не менее 10-15м/с на всем интервале от забоя до шламовой трубы.

Одной шламовой трубы длиной 2,0м достаточно для отбора шлама (при выходе керна 100%) с рейса длиной 2,0м. При более длинных рейсах и при меньшем выходе керна длину шламовой трубы необходимо увеличивать или применять несколько труб.

Общая длина шламовых труб определяется по формуле:

$$l = \frac{K(D_с^2 - d_к^2 \cdot \frac{в_к}{100})L \cdot K_1}{d_ш^2 - d_{бт}^2}, \quad (1.1)$$

где K – коэффициент разрыхления породы (К=1,6-2,0); D – диаметр скважины, м; $d_к$ – диаметр керна, м; $d_ш$ – внутренний диаметр шламовой трубы, м; $d_{тб}$ – диаметр бурильной трубы, м; L – длина рейса, м; $в$ – объемный выход керна, %; K_1 – коэффициент, учитывающий количество шлама, выносимого на поверхность ($К_1$ = 0,4-0,6).

Частота вращения снаряда в породах XII-VI категории по буримости должна быть в пределах 60-90 об/мин.

Осевая нагрузка должна быть в пределах 200-400кг при бурении в плотных породах, 100-250кг в трещиноватых породах.

Как известно, наличие влажных пород в скважине, бурящейся с продувкой воздухом, приводит к образованию шламовых сальников, которые перекрывают циркуляционный канал, вызывают увеличение давления при циркуляции очистного агента, приводят к прихватам бурового снаряда. Это снижает эффективность пневмоударного бурения. В таких условиях необходимо применять поверхностно-активные вещества (ПАВ), что способствует хорошей очистке ствола скважины и ее призабойной зоны от выбуренной породы.

В зависимости от физико-механических свойств породы для слипания частиц определенного размера достаточно до 10-35% воды (по массе) от количества шлама.

Применять пену в качестве очистного агента следует при наличии сведений о водопритоках. При бурении скважин с продувкой воздухом начальные сведения о водопритоках получают по шламу: в сухих скважинах на поверхность выносится шлам, имеющий естественную влажность; с появлением водопритоков влажность шлама увеличивается. Если в момент вскрытия водоносного горизонта сжатый воздух имеет относительную влажность 100%, т. е. не способен к осушению скважины, то именно с этого момента начинается сальникообразование.

Так же, как и при вращательном бурении с пеной, для определения концентрации ПАВ в пенообразующем растворе и количестве подаваемого раствора ПАВ необходимо знать величину притока пластовых вод в скважину, характер минерализации воды, физико-механические свойства пород, размеры частиц шлама.

Концентрация ПАВ выбирается *в* пределах 0,1-0,5% для пресных вод и 0,5-1,5% для минерализованных. В случае использования композиционных ПАВ (смеси ПАВ ионогенных и неионогенных) концентрацию ПАВ снижают в 1,5-2 раза.

Расход раствора ПАВ зависит от объема шлама и притока грунтовых вод. Выход шлама (по массе) при бурении можно определить по формуле:

$$M = \frac{\pi}{4}(D_c^2 - d_к^2) \cdot V_M \cdot \gamma_п \cdot в_к, \qquad (1.3)$$

где M – выход шлама, кг/мин; V_M – механическая скорость бурения, м/мин; $\gamma_п$ – плотность пород, кг/м^3; D_c – диаметр скважины, м; $в_к$ – выход керна, доли ед.; $d_к$ – диаметр керна, м.

Используя значения допустимого соотношения шлама и раствора ПАВ (табл. 7) и выхода шлама при бурении, определяют количество жидкой фазы пены ($Q_ж$). При бурении сухих скважин это количество жидкости в восходящем потоке пены соответствует расходу раствора ПАВ, который следует подавать в скважину. При наличии естественного притока воды в скважину расход подаваемого раствора ПАВ следует уменьшить на величину этого притока. Если естественный приток воды превышает необходимое количество жидкости в восходящем потоке пены, подачу раствора ПАВ следует ограничить до минимальной величины, определяемой техническими данными средств подачи ПАВ. При этом концентрацию раствора ПАВ необходимо увеличить.

Исходя из указанных условий, концентрацию подаваемого раствора ПАВ следует определять по формуле:

$$C_{пав} = \frac{C_р(Q_в + Q_{пав})}{Q_{пав}}, \qquad (1.2)$$

где $C_{пав}$ – концентрация подаваемого раствора ПАВ с учетом содержания активного вещества, %; $C_р$ – концентрация раствора ПАВ, рекомендуемая условием выноса из скважины воды и шлама с учетом содержания активного вещества, %; $Q_{пав}$ – расход подаваемого раствора ПАВ, л/мин; $Q_в$ – естественный водоприток в скважину, л/мин.

Технологические параметры пневмоударного бурения при использовании пен остаются неизменными за исключением режима подачи энергоносителя. При этом следует иметь ввиду, что повышенный расход раствора ПАВ существенно (на 15-20%) снижает энергетические параметры пневмоударников за счет увеличения аэрогидродинамического сопротивления при движении пены в каналах ударной машины. К снижению ударной мощности приводит также и чрезмерное повышение концентрации ПАВ в пенообразующем растворе. Как правило, увеличить расход ПАВ выше 8-10л/мин, а концентрацию ПАВ более 2% нет необходимости, так как указанные параметры жидкой фазы позволяют получать пену с высокой выносной способностью.

При наличии незначительных водопритоков в скважину следует подавать 5-10л/мин раствора ПАВ с концентрацией примерно 0,5%. При увеличении водопритоков до 50-70л/мин расход раствора ПАВ снижают до минимально возможной величины, которую позволяет обеспечивать оборудование (0,5-1,0л/мин), а концентрацию ПАВ в пенообразующем растворе повышают до 2-4% и более.

Подача раствора ПАВ в скважину может быть непрерывной и порционной. Порционная подача может применяться в породах переходных от сухих к влажным, когда имеется необходимость разрушения ранее появившихся сальников или для ускорения выноса большого количества шлама, образовавшегося в скважине, например, в результате бурения по неустойчивым разрушенным породам

Непрерывную подачу раствора ПАВ, т. е. бурение с пеной, производят при установившемся водопритоке в скважину, при этом обеспечивается постоянный вынос шлама и вспененной воды из скважины.

Глубина пневмоударного бурения с пеной определяется

параметрами используемого компрессорного оборудования и пневмоударников. При этом эффективность бурения зависит от перепада давления, создаваемого на газоимпульсном генераторе. При некотором критическом перепаде пневмоударник останавливается и дальнейшее бурение возможно лишь с увеличением давления и расхода воздуха. При использовании компрессоров, наиболее распространенных в геолого-разведочной отрасли, с рабочим давлением 0,7МПа и подачей воздуха порядка 5-10м^3/мин глубина бурения с пеной не превышает 70-150м, в зависимости от величины водопритока и глубины залегания водоносного горизонта. Дальнейшее увеличение глубины пневмоударного бурения с пеной может быть осуществлено при использовании компрессоров высокого давления, например СД-15/25.

1.9. Характерные аварии, методы их предупреждения и ликвидации

При пневмоударном бурении следует различать аварии, связанные с работой пневмоударника и бурового инструмента, и аварии, происходящие по технологическим причинам

Аварии, связанные с забойной машиной и инструментом, могут быть следующими:

1. Обрыв или раздув корпуса забойной машины в резьбовых соединениях, вызванные некачественным изготовлением резьб, недовинчиванием резьбовых соединений до упора при сборке снаряда и износом их при длительной эксплуатации забойной машины. Ликвидировать эти аварии необходимо соответствующими метчиками или колоколом.

Для предупреждения аварий, связанных с обрывом резьбовых соединений, необходимо перед каждым опусканием снаряда в скважину тщательно их осматривать Не допускается износ резьбы по ширине витков больше, чем 1/3 и раздув по внутреннему входному диаметру больше, чем на 1мм от номинального диаметра.

2. Обрыв колонковой трубы, как правило, не происходит внезапно, т. е. на резьбовой части сначала проявляется трещина, которая развивается до обрыва в течение 2-3 рейсов. Во

избежании обрыва колонковых груб в скважинах их необходимо тщательно осматривать в зоне резьбовых концов и при обнаружении трещины трубу следует заменить

При обрыве колонковой трубы в скважине следует применять метчики ловильные. Если соединение с колонковой трубой по каким-либо причинам невозможно выполнить (оборванный конец трубы имеет продольный разрыв, отсутствие метчика нужного размера и т. п.), то необходимо выбурить оставленный в трубе керн и с помощью метчиков произвести соединение с оставленной в скважине трубой за коронку При обрыве двойной колонковой сначала с помощью метчиков необходимо извлечь внутреннюю трубу, а затем ликвидацию аварии производить как при обрыве одинарной колонковой трубы.

3. Обрыв шлицевой втулки забойной машины. Обнаруживается эта авария по изменению звука работы пневмоударника (появляется металлический звук) и по резкому снижению углубки скважины. Если этого своевременно не заметить, то газоимпульсный генератор может забить оборванную часть бурового снаряда в грунт и ликвидировать такую аварию будет гораздо сложнее. При таких авариях необходимо немедленно прекратить подачу воздуха. Для ликвидации аварии в этом случае необходимо применять метчик трубный Б-50 или Б-57.

Для предупреждения аварии из-за коронок необходимо строго следить за соблюдением режима отработки коронок, замерять их до и после бурения.

4. Прихват снаряда в скважине. При соблюдении буровым мастером требований по контролю за давлением, расходом и температурой воздуха во время бурения прихвата снаряда, как правило, не происходит. Гарантией избежания прихвата является своевременный переход на бурение с ПАВ. Если контроль не осуществлять, то при бурении в глинах, илах и слабообводненных скальных породах могут происходить прихваты, связанные с тем, что во время бурения на стенках скважины выше шламовой трубы налипает мелкий шлам - образуется зауживание скважины. При подъеме это приводит к затяжкам бурового инструмента. В начале снаряд легко

поднимается вверх, шламовая труба срезает часть корки. При дальнейшем подъеме снаряда к зауженному месту подходит венец коронки и сопротивление подъему резко возрастает.

Если в этом случае мастер продолжает подъем при больших усилиях на лебедке, то может произойти затяжка инструмента Трение снаряда о стенки скважины при больших усилиях подъема приводит к разогреванию шлама в зоне контакта и образованию сальника. Наступает момент, когда мощность лебедки и даже гидросистемы станка не хватает для преодоления сопротивления подъему. Снаряд как бы «зависает» в скважине.

Во избежании затяжки инструмента подъем снаряда нужно производить на повышенной скорости, при первых признаках затяжки снаряд необходимо расхаживать. Если поднять снаряд таким образом не удается, то следует подать в скважину воздух и производить подъем с вращением снаряда без остановки на время больше 3-х минут.

В дополнение необходимо отметить, что вышеуказанным правилам при бурении должны соблюдаться дополнительные правила безопасности:

- при выполнении спуско-подъемных операций запрещается браться руками за стык разъема между шлицевой муфтой и нижним переходником забойной машины;

- при сборке забойной машины необходимо следить, чтобы пальцы рук не находились между торцами и опорными уступами соединяемых деталей;

- при подъеме и переносе цилиндра забойной машины с находящимся в нем поршнем, чтобы предупредить его выпадание, необходимо браться не за боковую поверхность цилиндра, а за торцы, закрывая отверстие.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ УДАРНО-ЭЖЕКТОРНЫХ СНАРЯДОВ

2.1. Основные направления исследовательских работ

Анализ применения ударно-вращательного способа бурения на месторождениях Казахстана с помощью пневмоударных забойных машин позволяет сделать следующие выводы о его преимуществах и рациональных областях применения:

1. Пневмоударное бурение наиболее эффективно для проходки гидрогеологических скважин, где оно обеспечивает следующие преимущества по сравнению с применяемым шарошечным бурением с промывкой:

a) непосредственно в процессе бурения четко отбивается статический уровень подземных вод и предварительно определяется их дебит;

b) не происходит кольматации водоносных трещин шламом, что дает истинный дебит подземных вод, значительно превышающий дебит в случае бурения скважин с промывкой;

c) уменьшается фактическая глубина бурения гидрогеологических скважин, если водоносный горизонт встречен раньше, чем предполагалось по проекту;

d) для откачки воды эрлифтом используется компрессор, применяемый для пневмоударного бурения;

e) отпадает необходимость обеспечения скважин промывочной жидкостью, что резко сокращает затраты транспорта и простои бурового агрегата из-за промывочной жидкости;

f) позволяет производить буровые работы в зимний период на открытом воздухе;

g) увеличивается срок службы дизеля, бурового станка и бурового снаряда за счет менее форсированной их работы;

h) повышается производительность буровых работ не менее чем в 2 раза;

i) пневмоударное бурение эффективно для забуривания глубоких разведочных скважин в определенных геологических

условиях (трещиноватые коренные породы, где при бурении с промывкой наблюдаются поглощения промывочной жидкости и обвалы стенок скважины).

Однако пневмоударное бурение обладает и рядом недостатков, препятствующих широкому его внедрению:

a) невозможность проходки пневмоударным способом больших толщ глин и песков;

b) до настоящего времени не решен вопрос бурения скважин в сложных горно-геологических условиях (отвалы и валуно-галечные отложения, сильно-трещиноватые, раздробленные горные породы);

c) невозможность получения столбика керна с ненарушенной структурой по некоторым породам (пегматиты и др.), керн, как правило, представлен в виде кусочков и плашек;

d) относительно малая глубина бурения (до 100-120м), связанная недостаточной производительностью и давлением применяемых компрессоров;

e) запыленность бурового здания при забурке скважин пневмоударником (до установки кондуктора с герметизатором).

Проведенный анализ состояния колонкового пневмоударного бурения на месторождениях страны свидетельствует о высокой производительности способа и в целом, о низком выходе кернового материала. Причины, влияющие на этот фактор, весьма разнообразные.

Анализ предшествующих работ показывает, что на механизм кернообразования при пневмоударном бурении влияет совокупность действия геологических, технологических и технических факторов.

Одни исследователи [2] считают, что на процесс кернообразования первостепенное влияние оказывает геологическое строение месторождения, физико-механические свойства проходимых горных пород и главным образом трещиноватость, хрупкость, сланцеватость. Поэтому, после вхождения столбика керна в коронку происходит его отделение по ослабленному сечению. В колонковой трубе диски породы истираются друг от друга и о трубу, в результате чего куски керна имеют окатанный характер.

Другими исследователями сохранение керна [3]

апробирован ряд технических средств, в которых воздушный поток не оказывает прямого действия на керн или же вообще изолирован от него, то есть двойных колонковых труб. Однако, данные средства обеспечивают лишь сохранение линейного выхода керна.

Нами, в ходе испытаний, установлено, что гидрогеологические условия месторождения также играют определенную роль в сохранности кернового материала. Наличие воды в скважине резко снижает технико-технологические показатели бурения, в первую очередь, скорость бурения. Вследствие уменьшения механической скорости бурения образовавшийся керн претерпевает взаимоистирание и истирание о колонковую трубу, а также большие по времени продольные и поперечные вибрации. В результате этих факторов происходит снижение выхода керна. Столб воды в скважине значительно ухудшает отбор керна двойными колонковыми трубами.

Отмечено, что в начале рейса призабойная водяная масса (вода + шлам) проникает в керноприемник по мере заполнения определенной части трубы керном и препятствует продвижению кернового материала. В этом случае скорость резко снижается, и процесс бурения осуществляется «сплошным» забоем.

На основании проведенного анализа видно, что вопросы отбора керна при бурении с пневмоударными машинами исследованы недостаточно. В то же время дальнейшее расширение масштабов ударно-вращательного бурения сдерживается из-за отсутствия надежных средств получения кернового материала.

Опробование при пневмоударном бурении имеет свои принципиальные положительные и отрицательные стороны в зависимости от гидрогеологических условий проходимых пород, чем и отличается от бурения с промывочным раствором.

В безводных разрезах пневмоударный способ бурения позволяет наряду с получением керна, улавливать разрушенный материал из забойного пространства. Практика показала, что улавливание шлама на поверхности наряду с его улавливанием в скважине обеспечивает выход объединенной пробы (керн + шлам) в пределах 90-98% [8].

Под непосредственным методическим контролем при внедрении пневмоударных забойных машин применялась методика опробования «керн + шлам» в Каратауской (Южный Казахстан) и Кокчетавской (Северный Казахстан) геологоразведочных экспедициях. По результатам проведенных работ в оценке опробования получаются некоторые расхождения, зависящие от гидрогеологических и геологических условий бурения.

В скважинах Каратауской ГРЭ (участок Баялдыр) характеризующихся кавернозностью и трещиноватостью пород на глубине 42 метров шламовый материал практически не выносился на поверхность. Во избежание аварийной ситуации приходилось опускать трехметровую шламовую трубу. В этом случае шлам улавливается неравномерно, т е часть уносилась в трещины и каверны.

В обводненных скважинах процесс выноса шлама имеет иной характер. При разрушении стенок скважины и вывалов пород с вышележащих горизонтов, а также формировании забоя в сильнотрещиноватых интервалах выход шлама получается завышенным. При обнажении трещин и образовании каналов для миграции шлама мелкой фракции, за счет того, что давление в обводненной скважине превышает давление водоносного горизонта (при блокировке пневмоударника), суммарный весовой выход получается заниженным.

Одним из основных требований в Каратауской ГРЭ (участок Кумысты) являлось по пучение представительной керновой пробы, так как в обводненных скважинах выход шлама при бескерновом бурении находился в пределах 40-45% по сравнению с сухими разрезами, где выход составлял 90-95%.

Кроме того, по результатам шламового опробования в обводненных скважинах (например Акбакайская ГРП, Южный Казахстан) получается значительное расхождение по мощности рудной зоны. При сопоставлении результатов опробования по разведочным выработкам мощность рудной зоны равна 1 м, а по шламу пневмоударного бурения – 2,5-3,0м. По этим причинам опробование по шламу не нашло применения при бурении скважин с различной степенью обводненности [2].

Принимая во внимание область применения пневмоударных

забойных машин по глубине (100-150м), где геологический разрез подвержен выветриванию, кавернозности, трещиноватости и различным тектоническим нарушениям, влиянию горного давления на образование трещин, нами сделаны три основных вывода кернообразования и керносохранения при пневмоударном бурении:

- невозможность получения постоянного ненарушенного керна (полноценного);

- более полное сохранение керна в колонковой трубе обеспечивается при самой высокой скорости бурения и ограниченной длине рейса;

- разница между линейным и весовым выходом керна существенна и колеблется от 10 до 45%.

Поэтому вопрос отбора и сохранения кондиционного керна при бурении пневмоударными забойными машинами до настоящего времени остается актуальным.

Теоретические исследования можно условно разделить на два этапа.

На первом этапе исследуются особенности кернообразования при пневмоударном бурении, с целью обоснования необходимости создания технических средств с обратной циркуляцией вторичного потока - эжекторных снарядов в качестве средств обеспечения кондиционного выхода кернового материала.

На втором этапе рассматриваются особенности пневмоударного бурения, которые необходимо учитывать при разработке методики расчета эжекторных снарядов, определения областей эффективного применения и построения расчетных схем для определения величины перепада давления в керноприемной трубе, с целью оценки рациональной длины рейса, при котором обеспечивается кондиционный выход кернового материала.

Методически теоретические исследования были построены на изучении и анализе движения потока воздуха на выходе из пневмоударника для определения значений величин давления и скорости истечения, с целью составления расчетных характеристик воздушного эжектора.

Особое внимание уделялось изучению закономерностей

изменения величины перепада давления в эжекторном снаряде при различной длине рейса, диаметре кускового кернового материала, входящего в колонковую трубу и критической скорости воздушного потока для мелких частиц керна.

Для решения поставленных вопросов использовались отдельные положения газовой динамики, теории струйных аппаратов и гидравлических сопротивлений. При выводе математических зависимостей допускались упрощения, не исказившие физическую сущность процесса, но позволившие получить относительно простые и достаточно точные расчетные формулы.

Оценка достоверности выведенных зависимостей производилась путем сравнения значений расчетных величин с опытными, полученными в ходе проведения экспериментальных исследований и данными других исследователей.

2.2. Исследование особенностей кернообразования

Известно, что на процесс образования и сохранения керна при ударно-вращательном бурении первостепенное влияние оказывают динамические удары, создаваемые ударником.

С учетом динамического характера нагрузки на забой рассматривается процесс отбора керна с позиции волновой механики.

На рисунке 9 изображена принципиальная схема взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем и керном. Представим, что по колонковой трубе вниз к забою направлен ударный импульс с амплитудой N_0. Причиной возбуждения импульса при ударно-вращательном бурении гидро-и пневмоударниками следует считать удар бойком по наковальне, связанной с колонковой трубой. В результате воздействия импульса прямоугольной формы на контакте коронки с породой возникают напряжения сжатия и растяжения.

В процессе распространения волны растяжения по керну напряжения в захваченных ею сечениях нарастают напряжения на растяжение, которые могут превысить предел прочности при этом виде деформаций (G_p). При бесконечной высоте керна и без учета потери энергии волны в каждой точке керна импульсы

будут равны по форме и амплитуде, но начало импульса будет смещено по времени на величину, равную L/a (L – расстояние по керну от сечения 1-1 до рассматриваемого и a – скорость распространения волны в породе). Однако высота керна ограничена. Рассмотрим ее влияние на уровень напряжений.

Волна растяжения G_p при распространении по керну через t=h/a достигнет свободного конца керна и, отразившись в виде волны сжатия через промежуток времени от начала возникновения волны, равный T=2h/a возвратится к сечению 1-1 (рис. 9), где и произойдет разрыв сплошности материала, то есть образуются начальные трещины. При последующих ударах, место приложения которых смещено по кольцевому забою ввиду вращения коронки, контакты резцов с породой забоя будут возникать в других точках и будут возникать вблизи точек приложения ударных нагрузок.

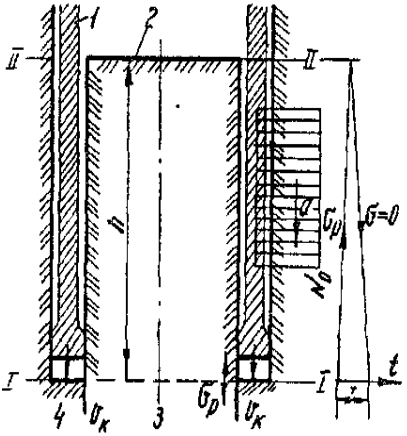


Рис. 9. Принципиальная схема взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем и керном
1-колонковая труба; 2-керн; 3-поверхность забоя; 4-коронка.

Если основная часть образованных трещин сомкнется, то произойдет отрыв верхнего куска и образуется новая свободная поверхность, с которой соединившаяся часть будет взаимодействовать нижним торцом.

Описанные качественные и количественные аспекты возникновения в керне растягивающих напряжений, учитывая сложный характер взаимодействия коронки с породой при ее разрушении и структуру динамического поля напряжения, являются приближенными. Для их уточнения и составления инженерных расчетных формул требуется проведение необходимых экспериментальных исследований. Также следует отметить, что описанный механизм кернообразования относится только к разрушению керна монолитных изотропных горных пород. Естественная микро- и особенно макротрещиноватость внесут существенное изменение на описываемый процесс. Тем более, известно, что при больших энергиях удара разрушение горных пород всегда сопровождается образованием трещин в различных направлениях. Поэтому, для глубокого и всестороннего изучения данной проблемы рассмотрен вопрос влияния трещинообразования горных пород при нанесении различных по мощности динамических ударов применительно к формированию и сохранению кернового материала. Здесь необходимо помнить, что успешное проведение пневмоударного способа зависит от того, каким путем будет достигнут полный процесс разрушения горных пород при различных условиях бурения. Однако при нагрузках, не превышающих 30-40% от необходимой для осуществления полного разрушения породы, формируются упругие деформации с основной зоной влияния вдоль поверхности, причем следов трещин на поверхности не отмечается (рис. 10 а). Данное разрушение идентично процессу прохождения влажных глин, где бурение превращается в утрамбование слагаемой породы или же подобно процессу бурения в породах различной категории, но с дебитом скважины свыше 15л/с, когда запуск пневмоударника практически невозможен. В этом случае порода воспринимает статическую нагрузку и лишь упруго деформируется, а формирование и дальнейшее сохранение керна происходит как при вращательном способе с той разницей, что бурение производится породоразрушающими инструментами с затупленными резцами. Керн в этом случае представлен в виде окатанного куска цилиндрической формы с нечеткими контурами.

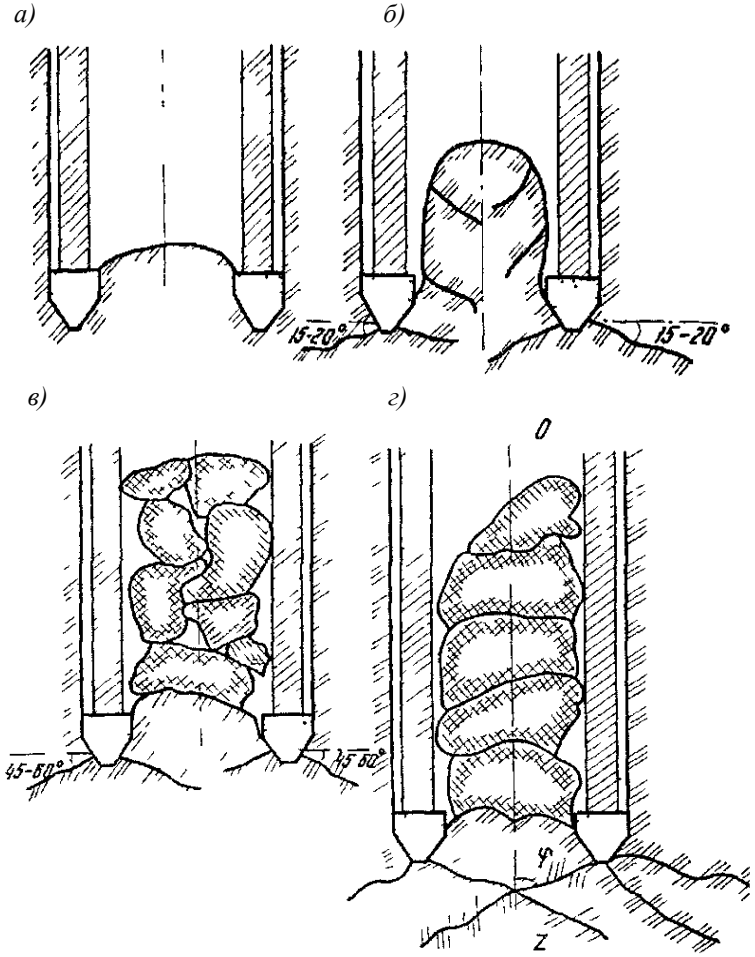


Рис. 10. Формирование керна при различных ударных нагрузках *а-30-40% от необходимой для полного разрушения горной породы; б-40-50% Gp; в-50-75% G_p; г-75-100% G_p.*

При величине нагрузки в пределах 40-50% Gp от необходимого для разрушения горных пород возникают серии трещин под углом 15-25° к плоскости забоя (рис. 10 б). Глубина и наклон трещин определяются энергией удара и шириной опорной площадки породоразрушающего инструмента.

Формирование такого керна при данных нагрузках происходит в процессе бурения весьма крепких и сильно абразивных пород, для которых энергия удара пневмоударника недостаточна для полного разрушения. Из-за наличия воды в скважине также формируется идентичный керн, так как высокий дебит скважины или сальникообразование создают противодавление на выхлопе пневмоударника, в результате чего снижаются энергетические параметры машины вплоть до прекращения ее работы.

Исследования дают возможность утверждать, что образование керна в этих случаях происходит за счет трещин, создаваемых ударными нагрузками и впоследствии разрабатываемых резцами коронки. По визуальным наблюдениям просматривается наличие мелких трещин и следов резания на поднятом керне. В этом случае недостаточная механическая скорость бурения до 0,7м/час способствует дальнейшему разрабатыванию керна в колонковой трубе.

Динамические нагрузки в пределах 50-75% от полной образуют трещины под углом 45-60^0. Глубина видимых трещин превосходит глубину лунки разрушения в 2-3 раза (рис. 10 в).

Трещинообразования при указанных нагрузках возникают при бурении слабообводненных пород при глубине от 30 до 60 метров в зависимости от дебита скважины (0,2л/с и более).

Этот процесс в течение всего рейса является переходным:

а) при наличии большого динамического столба жидкости и шлама, образующегося при бурении, процесс кернообразования идентичен формированию керна при нагрузках в пределах 45-50% G_p (рис. 10 б);

б) при блокировке пневмоударника (очистке скважины), с переходом в бурение, образование керна (временно, до заполнения скважины водой) происходит при нагрузках 50-100% G_p (рис. 10 в и г).

В этом случае керн в большой своей массе представлен окатанными кусками различной формы с включением лепешек, чечевин в хрупких и со столбиками круглого сечения до 10см в вязких породах.

Образование серии трещин под углом к горизонту более 90^0, которые пересекаясь на оси OZ под углом, обособляют обратный

конус (призму), возникают при полных нагрузках (рис 10 г). Глубина пересечения трещин определяются энергией удара и шириной лезвия породоразрушающего инструмента. Полные динамические нагрузки являются наиболее приемлемыми для пневмоударного бурения. В этом случае образуются глубокие (до 5-10мм) трещины в различных направлениях, а высокая механическая скорость (2-9м/ч) доводит до минимума истирание керна в колонковой трубе. Керновый материал представлен в виде лепешек и чечевин с хорошо выраженными контурами в хрупких и столбиками-в вязких породах

Исследования показали, что если при динамических нагрузках в пределах 30-50% G_p от полного нанесения динамических ударов керновый материал представлен в виде столбика вращательного бурения, то при 70-100% G_p получается неравномерно раздробленный керн ударно-вращательного бурения с присущей этому способу высокой механической скоростью.

Но, как выше показано, из-за раздробленности керна разница между линейным и весовым выходом керна существенна и колеблется от 10 до 45% в зависимости от физико-механических свойств проходимых горных пород. Поэтому для получения помимо крупных кусков керна и недостающих мелких частиц, с целью обеспечения кондиционного выхода кернового материала, необходимо создание технических средств с обратной циркуляцией вторичного потока-эжекторных снарядов.

Ниже исследованы поставленные вопросы с целью определения работоспособности и возможности качественного использования эжекторных снарядов при бурении с погружными пневмоударниками.

2.3. Принципиальная схема эжекторных снарядов при ударно-вращательном бурении

Наличие забойной машины – пневмоударника и эжектора – предъявляют ряд требований, характерных для этого вида бурения, которые необходимо в дальнейшем учитывать при разработке методики расчета эжекторного снаряда и процесса, описывающего кинетику пневмоударно-эжекторного бурения.

Особенностью эжектора, работающего в комплексе с пневмоударной забойной машиной, является наличие двух меняющихся между собой режимов, чем отличается от известных схем работы струйных аппаратов, используемых в бурении. Для удобства и простоты понятия возникновения двух переменных режимов работы эжектора необходимо представить сам процесс работы забойной машиной, то есть:

1) собственно процесс бурения (работа забойной машины);

2) очистка скважин от шлама (блокировка забойной машины).

В первом случае при выходе рабочего агента создается давление воздуха $P_р$ до 0,3МПа – это рабочий режим (При $P_р$>0,3МПа пневмоударник не запускается). Во втором случае, т. е. при очистке скважины от шлама и воды, на выхлопе устанавливается давление воздуха $P_р$ до 0,5МПа (по показаниям манометра) – это блокировочный режим (рис. 11).

Второй отличительной чертой эжекторного снаряда при бурении является необходимость поддержания свободного выхода воздуха по всей циркуляционной системе от нижней части машины до устья скважины.

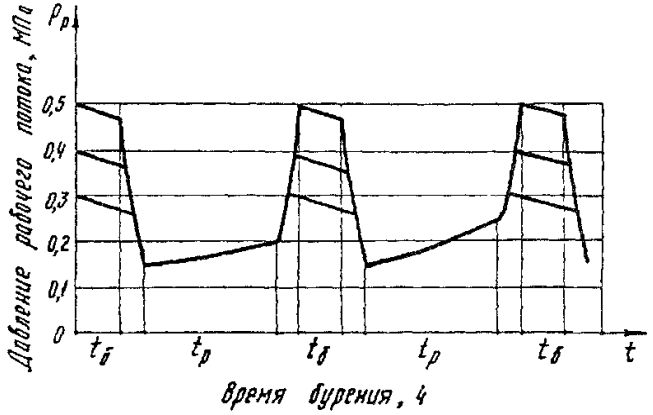


Рис. 11. Изменение давления рабочего потока воздуха на выхлопе забойной машины в течение рейса
$t_б$-время блокировки забойной машины;
$t_р$-время бурения забойной машины.

Эжектор, установленный после забойной машины, создает противодавление уже на выхлопе, так как поток воздуха попадает в сужающуюся часть (сопло) насадки, повышая при этом давление $P_р$ до 0,5МПа и выше. Именно поэтому известные схемы работы эжекторов не могут быть использованы при бурении газоимпульсными генераторами. В результате исследований создана модель эжекторного снаряда, в насадке которого выполнены разгрузочные отверстия, обеспечивающие свободный выхлоп воздуха из пневмоударника, а выход каналов диффузора в затрубное пространство способствует созданию устойчивой обратной циркуляции потока (рис. 14) [2].

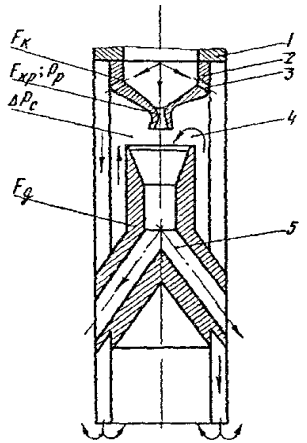


Рис. 12. Принципиальная схема эжекторного снаряда
1-забойная машина; 2-насадка с формой сопла Лаваля; 3-разгрузочные каналы; 4-приемная камера; 5-каналы диффузора; $F_к$-площадь разгрузочных каналов; $F_{кр}$-критическая площадь сопла насадки; $F_д$-площадь диффузора; $P_р$-рабочее давление; $\Delta P_С$-давление в приемной камере.

Третьей особенностью является форма сопла насадки эжектора. Для устойчивой работы эжектора необходимо выбрать оптимальный профиль сопла насадки. Исследования показывают, что при бурении газоимпульсными генераторами также, как и с продувкой воздухом, профиль насадки следует

рассматривать как форму сопла Лаваля с целью эффективной и устойчивой работы эжектора при сверхзвуковом режиме движения воздуха.

Так, в работах Соколова В. Я. и Зингера Н. М. [4] доказано, что большое влияние на параметры эжекторного аппарата оказывает форма сопла насадки, которая в свою очередь, зависит от скорости потока воздуха в критическом сечении, то есть от числа Маха (М):

$$M = \frac{V_{кр}}{a}, \tag{2}$$

где $V_{кр}$ – скорость потока воздуха в критическом сечении сопла насадки, м/с; a – местная скорость звука, м/с (при М<1 течение потока называется дозвуковым, при М>1 – сверхзвуковым).

По законам термодинамики при изменении температуры потока воздуха изменяется плотность и давление в нем, однако массовый расход воздуха остается постоянным. Воздух, проходя через пневмоударник, значительно охлаждается, в зависимости от специфических особенностей забойной машины [4], а, так как эжектор расположен сразу после пневмоударника, то в сопло насадки воздух попадает охлажденным. В связи с отсутствием теплообмена воздуха с внешней средой и необратимыми потерями механической энергии между плотностью и температурой существует следующая зависимость:

$$\rho = \rho_0 (\frac{T}{T_0})^{\frac{1.0}{K-1.0}}, \tag{2.1}$$

где ρ – плотность воздуха на выхлопе пневмоударника, кг/м^3; $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м^3; T – температура воздуха на выхлопе пневмоударника, К$_0$; T_0 – температура воздуха, К$_0$; K – показатель адиабаты (для воздуха к=1,4).

Для нахождения линейной скорости струи воздуха в критическом сечении сопла насадки воспользуемся формулой:

$$V_{кр} = \frac{Q_m}{F_{кр}\rho}, \tag{2.2}$$

где F – площадь критического сечения сопла насадки, м^2; Q_m – массовый расход воздуха, кг/с.

$$Q_m = Q\,\rho_0\,, \tag{2.3}$$

где Q – объемный расход воздуха, м'/с; ρ_0 – скорость звука в данной среде, м/с.

$$a = \sqrt{kRT}\,, \tag{2.4}$$

где R – газовая постоянная.

Расчетами и стендовыми испытаниями установлено, что даже при минимальном расходе воздуха 6м^3/мин и наибольшей площади критического сечения сопла насадки $F_{кр}$=226,8мм^2, число Маха M>1 (рис. 13).

Следовательно, для эффективной и устойчивой работы газоструйного эжектора насадка должна иметь форму сопла Лаваля (рис. 12).

2.4. Теоретические основы моделирования и создания эжекторного снаряда применительно к гидрогеологическим условиям месторождений

Для создания и качественной оценки модели эжекторного снаряда с позиции теории струйных аппаратов, а также определения области применения в зависимости от гидрогеологических условий месторождения необходимо провести расчет эжектора при постоянном геометрическом параметре ($F/F_р$) в зависимости от рабочего давления $P_р$, изменяющегося, как отмечено, в двух режимах от 0,15 до 0,5МПа. После этого следует сравнить с классической схемой эжектора при изменяющемся геометрическом размере ($F/F_р$) с повышением рабочего давления $P_р$.

В общем виде эжектор представляет собой устройство (рис 12), в котором происходит смешение двух разнофазных потоков газа и жидкости (твердого тела) разных давлении с образованием смешанного потока со средним давлением. В эжекторе

потенциальная энергия рабочего потока преобразуется в кинетическую, которая частично передается эжектируемому потоку затрачивается на выравнивание скоростей смешиваемых потоков и переходит снова в потенциальную энергию в диффузоре.

Специфической особенностью расчета эжектора для нашего случая является то, что в приемную камеру вместе с эжектируемым газом поступает некоторое количество жидкости и сыпучего твердого тела (мелкого шлама), поэтому при определении расчетного коэффициента эжекции необходимо руководствоваться зависимостью:

$$U = U_{\text{г}} + U_{\text{т}}, \qquad (2.5)$$

где U – суммарный коэффициент эжекции;

$U_{\text{г}} = \dfrac{G_{\text{Н1}}}{\text{G}_{\text{р}}}$ – коэффициент эжекции по газу;

$U_{\text{г}} = \dfrac{G_{\text{т}}}{G_{\text{р}}}$ – коэффициент эжекции по твердому телу или жидкости, где $G_{\text{р}}$,$G_{\text{Н1}}$,$G_{\text{т}}$ – расход соответственно рабочего воздуха, эжектируемого воздуха и жидкости (с буровым шламом), кг/с.

Для построения расчетных характеристик эжектора, воспользуемся классической теорией струйных аппаратов для пневмотранспорта Е.Я. Соколова и Н.М. Зингера.

Расчеты основаны на возрастании давления перед эжектором, которое действует на степень сжатия сечения струи, вытекающей из насадки, за счет чего увеличивается скорость истечения и повышается перепад давления в приемной камере аппарата.

При определении коэффициента эжекции газоструйного эжектора в качестве основной расчетной величины принимают степень сжатия $P_{\text{с}}/P_{\text{н}}$. Однако в области значений $P_{\text{с}}/P_{\text{н}}$, при которых работают буровые эжекторы ($P_{\text{с}}/P_{\text{н}}<1{,}2$), небольшая неточность при ее использовании приводит к существенной ошибке в определении достижимого коэффициента эжекции.

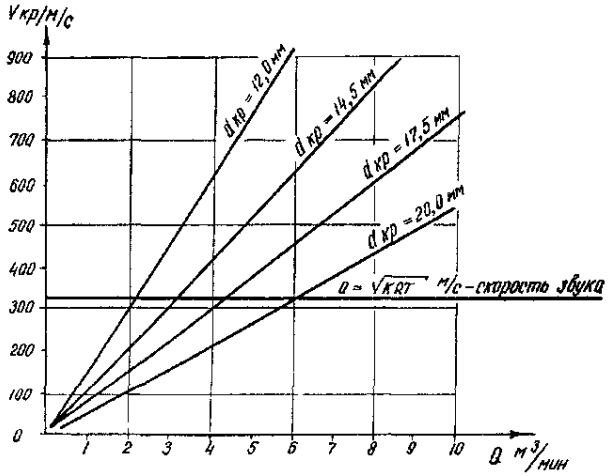


Рис. 13. Выбор формы сопла насадки эжектора
$V_{кр}$-скорость потока воздуха в критическом сечении сопла насадки;
$d_{кр}$- критический диаметр сопла насадки; Q-расход воздуха,
подаваемый компрессором.

Так, например, при $P_c/P_н$=1,05 неточность в степени сжатия в 1%, т. е. замена величины $P_c/P_н$=1,05 величиной $P_c/P_н$=0,4 приводит к ошибке в коэффициенте эжекции и примерно на 20% [4].

Поэтому при расчете эжектора принята в качестве расчетной не степень сжатия $P_c/P_н$, как для пароструйных компрессоров ($P_р$=3,0МПа), а перепад давления эжектируемой среды $\Delta P_c=P_c-P_н$.

При расчете характеристики эжектора заданы и обоснованы параметры давления, учитывающие особенности бурового снаряда, без которых невозможно конкретизировать условия работы:

1. Давление эжектируемого потока в керноприемной трубе принимается равным $P_н$=1,0МПа, т. к. это определяющий параметр при расчете всех буровых эжекторов;

2. На выходе смешанной струи должно быть создано давление не менее P_c=1,1МПа, т. е. $\Delta P_c=P_c-P_н$=0,1МПа, в противном случае (P_c=1,0МПа) процесс обратной циркуляции не произойдет;

3. Для облегчения расчетов использованы принятые в подобных расчетах единицы измерения по ГОСТу 8.417-81 «Единицы физических величин». «Стандарт не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и при публикациях их результатов, если в них не рассматривают и не используют результаты измерений конкретных физических величин».

Когда объемный расход эжектируемых частиц твердого тела или жидкости меньше расхода эжектируемого и смешанного потоков воздуха, расчетную характеристику эжектора приводим к следующему виду:

$$\Delta P_o = \frac{F_{\text{р}}}{F_g} P_{\text{р}} \cdot [\varphi_1 \varphi_2 r \lambda_p - (\varphi_2 \varphi_4 - 0{,}5) \cdot s \cdot \frac{F_{\text{р}}}{F_{\text{н}}} \cdot \frac{V_{\text{нг}}}{V_1} u \cdot u_r - (\frac{1}{\varphi_a} - 0{,}5) \cdot s \cdot \frac{F_{\text{р}}}{F_g} \cdot \frac{V_{\text{сг}}}{V_{\text{р}}} (1+u)(1+u_{\text{г}})], \tag{2.6}$$

где $F_{\text{р}}/F_{\text{g}}$ – основной геометрический параметр эжектора, отношение площади выходного сечения камеры смешения F_g и площади рабочего потока в критическом сечении сопла насадки:

$$\frac{F}{F} = \frac{k\Pi}{2} \frac{\varphi_1 \varphi_2 \lambda_p}{\frac{\Delta P_c}{P_p}}, \tag{2.7}$$

где k – показатель адиабаты (для воздуха к=1,4); $\Pi = \frac{2}{K+1}$ – относительное давление в критическом сечении сопла; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – соответственно равные 0,95; 0,975; 0,83; 0,925 – расчетные значения коэффициентов скорости; $\Pi_p = \frac{P_н}{P_p}$ – относительное давление в выходном сечении сопла; λ_p – приведенная изоэнтропная скорость рабочего потока в выходном сечении сопла; $\varepsilon = 0{,}634$ – относительная плотность рабочего потока в критическом сечении сопла; q_p – приведенная массовая скорость рабочего потока в выходном сечении сопла.

Зная значение Пр. по газодинамическим табл. находим величину $q_{\text{р}}$, P_p – давление рабочего потока в критическом сечении сопла.

При двухрежимной работе пневмоударника значение P_p изменяется от 1,5 до 5,0ат. Значение коэффициентов r и s соответственно, равны:

$$r = k\Pi = 1{,}4 * 0{,}528 = 0.739;\ s = r, \qquad (2.8)$$

где ε = 0,739 * 0,634 = 0,469.

Значения $V_{кг}/V_р$; $V_{сг}/V_р$; $F_р/F_н$ определяются по следующим уравнениям:

$$\frac{V_{нг}}{V_p} = \frac{P_p}{P_н} \cdot \frac{T_н}{T_р}, \qquad (2.9)$$

$$\frac{V_{сг}}{V_p} = \frac{P_p}{P_c} \cdot \frac{T_c}{T_р}, \qquad (2.10)$$

$$\frac{F_p}{F_н} = \frac{1}{\frac{E}{E_p} - \frac{1}{q_р}}, \qquad (2.11)$$

где $V_{нг}$;$V_{сг}$;$V_р$ – удельные объемы эжектируемого, смешанного и рабочего потоков воздуха, м^3/кг; $T_н$=T_c=$T_р$ – температуры эжектируемого, смешанного и рабочего потоков воздуха, °К.

Подставляя в выражение (11) постоянные значения r, s и коэффициентов скорости проточной части, получим:

$$\Delta P_c = \{\frac{F_p}{F_g} P_p \cdot [0{,}6845\lambda_p + 0{,}1885\frac{F_p}{F_н} \cdot \frac{V_p}{V_1} \cdot \frac{V_{нг}}{V_1} u u_г + 0{,}3305\frac{F_p}{F_g} \cdot \frac{V_{сг}}{V_p} \cdot (1+u)(1+u_г)]\} \cdot 0{,}1 \cdot \qquad (2.12)$$

Анализ выражения (18) показывает, что перепад давления ΔP_c и коэффициент эжекции изменяются в зависимости от величины рабочего давления P_p, т. е. от степени сжатия сечения струи в сопле насадки эжектора (рис. 15).

Полученная экспериментальным путем в процессе стендовых исследований величина основного геометрического параметра постоянна и равна:

$$\frac{F_g}{F_p} = \frac{961{,}6}{254{,}3} = 3{,}78. \qquad (2.13)$$

Подставляя эту величину в формулу (18), получим уравнение характеристики эжектора применительно к бурению газоимпульсными генераторами, графически изображенное на рис. 14.

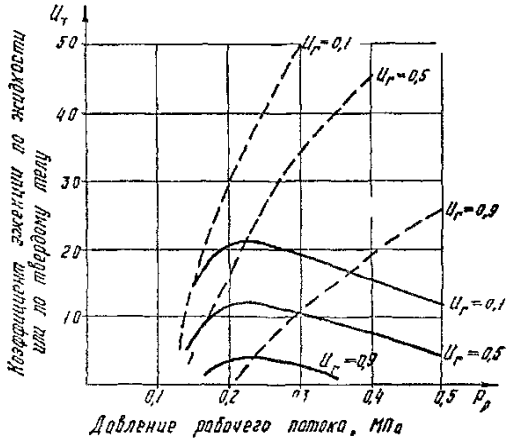


Рис. 14. Влияние степени обводненности скважин на коэффициент эжекции

При расчете коэффициента эжекции по жидкости $U_Т$ заданы переменные величины коэффициента эжекции по воздуху U_1=0,1-0,9; при постоянном значении перепада давления ΔP_c=0,01МПа. При суммарном коэффициенте эжекции, равном U=Uг + Uт, находим расчетную величину $U_Т$ при различных значениях U_1.

Заданный коэффициент эжекции по воздуху U_1 является условным и определяет гидрогеологические условия проходимой скважины:

- U_1 = 0.9-0.7 – скважина «сухая», т. е. без наличия водопритока;
- U_1 = 0,7-0,5 – скважина слабой обводненности;
- U_1 = 0,5-0,1 – скважина с большим дебитом воды.

2.5. Стендовые исследования ударных колонковых наборов в эжекторном исполнении

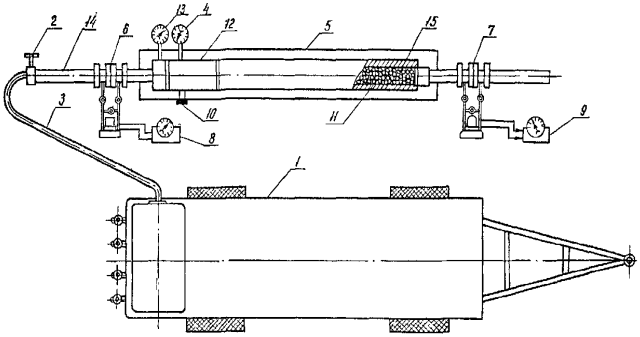


Рис. 15. Стенд для испытания эжекторных снарядов
1-компрессор; 2-регулятор давления; 3-гибкий трубопровод; 4-вакуумметр; 5-отражательный кожух; 6,7-расходометр типа ДМ-3537; 8,9-вторичный прибор типа ДПР; 10-пробка для замера расстояния между диффузором и насадкой;11-керноприемная труба; 12-испытываемый снаряд; 13-манометр; 14-ударник; 15-керновый материал.

Стенд имеет компрессор I марки ПР-10М , регулятор давления 2, гибкий трубопровод 3, приемную камеру с вакуумметром 4 (марки СМ-10), отражательный кожух 5 (подобранный по диаметру скважины) и расходомеры 6, 7 (типа ДМ-3537 со вторичным прибором ДПР-8.9). Для замера расстояний между диффузором и насадкой предусмотрена специальная пробка 10 Испытываемый снаряд 11 соединен со стороны эжектора с трубопроводом 3, образцовым манометром 12, а в нижней части керноприемной трубы расходомером 7.

Основным режимом работы эжектора является время, в результате которого происходит сжатие потока воздуха и повышение давления в насадке.

Кроме того, как показывают расчетные характеристики эжектора, наибольшей величина коэффициента эжекции получается при давлении рабочего потока $P_р$=0,2-0,35МПа. Поэтому для моделирования на стенде рабочего и

блокировочного режимов пневмоударника при помощи регулятора 2 изменяется давление и расход через насадку эжектора, в результате получены следующие величины давления:

- при рабочем режиме Р=0,14-0,20МПа;
- при блокировочном режиме $P_р$=0,20-0,38МПа.

Стендовые исследования проводились с целью проверки теоретических положений расчета геометрических и газодинамических параметров эжекторного аппарата для ударников с использованием колонковых труб.

При проведении экспериментов на стенде решались следующие задачи:

1. Установление оптимальной схемы распределения потока воздуха или аэрированного раствора на выхлопе пневмоударника или гидроударника [2,3];
2. Исследование влияния основных геометрических размеров эжектора на энергетические параметры ударной машины;
3. Определение оптимальных значений перепада давления в двух режимах работы эжектора: а) рабочем; б) блокировочном;
4. Определение оптимального значения коэффициента эжекции в двух режимах работы эжектора: а) рабочем; б) блокировочном;
5. Оптимизация всех основных параметров и создание макета эжекторного снаряда для скважинных исследований.

Для исследования принята компоновка, состоящая из эжектора и колонковой трубы Стендовый макет эжектора изготовлен из алюминиевого сплава Д16Т ГОСТ 2685-75 (рис. 2), в котором насадка и диффузор являются съемными – для экспериментального подбора основного геометрического размера.

Воздух в компоновку подводили от компрессора (рис. 15). Для определения характера изменения давления и расхода воздуха в питательную магистраль встроены расходомер 6 и манометр 10. Давление в питательной магистрали изменяли при помощи регулятора 2, а расход воздуха поддерживали в пределах 4,0-8,0$м^3$/мин, так как брались в учет потери в местах соединения бурильных труб и переходников.

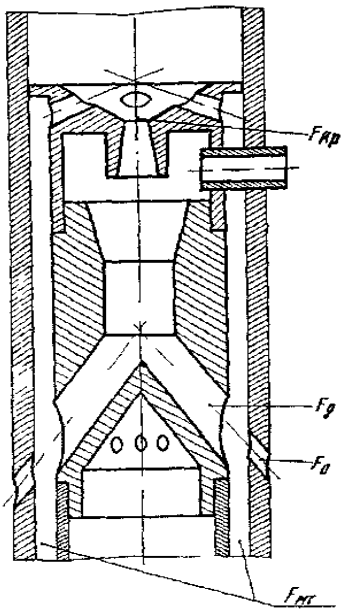


Рис. 16. Стендовый макет эжектора
F_{kp}-площадь сечения сопла насадки; $F_д$-площадь сечения диффузора; F_0-суммарная площадь отверстия в колонковой трубе; $F_{мт}$-площадь межтрубного пространства.

Учитывая ограниченные пределы газодинамических величин потока воздуха перед аппаратом, прежде всего давления (которое не должно превышать 0,2МПа), связанные наличием перед эжектором ударника. В результате создана модель эжекторного снаряда, в насадке которого выполнены разгрузочные каналы, обеспечивающие свободный выхлоп рабочего агента из ударника, а выход каналов диффузора в затрубное пространство способствовал созданию устойчивой обратной циркуляции потока.

На работу эжекторного снаряда влияют три главных фактора (рис. 16):

1. Основной геометрический параметр – отношение

площади диффузора F, к площади критического сечения сопла насадки F ($F_д/F_{кр}$);

2. Суммарная площадь разгрузочных каналов $F_К$;

3. Оптимальная площадь сечения отверстий в наружной трубе F_0.

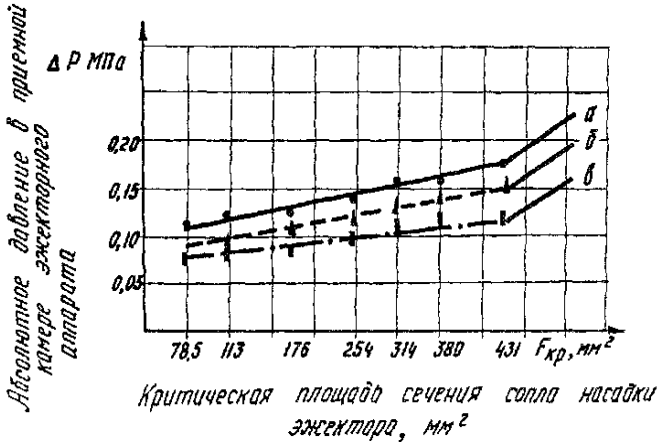


Рис. 17. Влияние размера площади сечения сопла насадки на изменение давления в приемной камере эжектора *А-площадь диффузора $F_д$=706,5 мм²; б-площадь диффузора $F_д$=961,625 мм²; в-площадь диффузора $F_д$=7256,0 мм².*

Изменением основного геометрического параметра регулируется режим рабочего потока, проходящего через разгрузочные каналы, отверстия в наружной трубе и межтрубный зазор. Поэтому для нахождения области эффективной работы эжекторного снаряда, не влияющей на энергетические параметры ударника, выполнен комплекс экспериментально-конструкторских исследований.

Первоначально решались вопросы поддержания существующего рабочего давления на выхлопе пневмоударника при работе забоиной машины в процессе бурения. Для этого путем подбора площадей сечения разгрузочных каналов $F_К$ и насадки эжектора $F_{кр}$ находили необходимые оптимальные параметры аппарата.

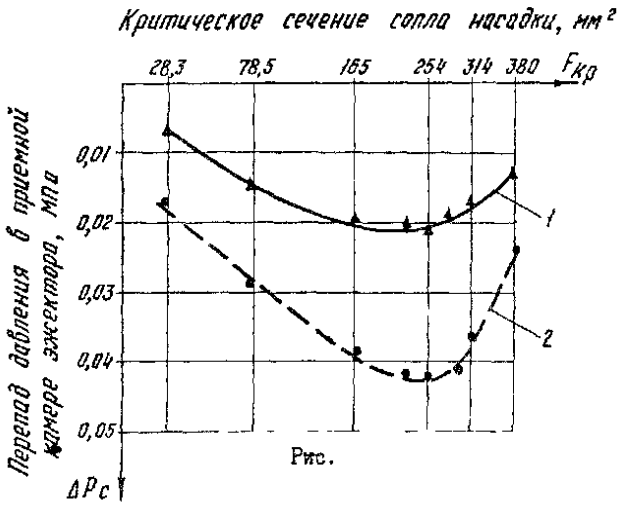


Рис. 18. Зависимость перепада давления (Рс) от площади критического сечения сопла насадки эжектора (Fкр)
1-рабочий режим $P_р$=0,14-0,20 МПа;
2-блокировочный режим $P_р$=0,20-0,38 МПа.

Обобщенные результаты экспериментальных данных абсолютного давления на выхлопе ударника в зависимости от площади сечения отверстий в насадке $F_{кр}$ и разгрузочных каналов $F_К$ приведены в табл. 1. Следует отметить, что для получения более точных и достоверных экспериментальных данных размеры каждой насадки и диффузора проверялись многократно.

В табл. 7 и 8 приведены обобщенные экспериментальные данные оптимальных площадей сечения отверстий $F_{кр}$, $F_д$ $F_К$, в зависимости от типоразмера колонкового набора.

Стендовыми испытаниями подтверждено, что если в насадке эжектора выполнить отверстия площадью $F_{кр}$ – 254,34мм^2 и разгрузочных каналов $F_К$ – 307,72мм^2, то поток стабилизируется и давление на выхлопе ударника будет составлять 0,111-0112МПа. Эта величина обеспечивает требуемый перепад давления в самой забойной машине и эффективную работу самого ударника.

Таблица-7. **Результаты измерений абсолютного давления на выхлопе ударника в зависимости от диаметральных размеров эжектора**

Критический диаметр сопла насадки d_p, мм	Диаметр диффузора d_g, мм	Расстояние насадки от диффузора 1н, мм	Площадь разгрузочных каналов $F_К$, мм^2	Суммарная площадь отверстий в насадке мм^2	Абсолютное давление перед эжектором, МПа, $P_р$
1	2	3	4	5	6
18,5	40	30,0	153,86	422,527	0,232
18,5	35	20,0	307,72	576,387	0,111
18,5	30	35,0	307,72	576,387	0,113
18,0	40	30,0	307,72	562,06	0.111
18,0	35	25,2	307,72	562,06	0,112
17,5	40	35,4	153,86	394,47	0,236
17,5	35	30,0	307,72	548,33	0,112
17.5	30	25,2	307,72	548.33	0.115
14,5	40	28,5	307,72	472,77	0,166
14,5	35	30,0	307,72	472,77	0.165
10,0	40	29,6	307,72	386,22	0,263
10,0	45	35,0	307,72	386,22	0.267
10,0	40	28,4	153,86	232,36	0,394
10,0	30	35,1	153,86	232,36	0,396
6,0	40	30,3	307.72	335,98	0,361
6,0	40	34,1	307,72	335.98	0.380
6,0	35	28,2	307,72	335,98	0,344
6,0	30	25,1	307,72	335,98	0,379

**Примечание: рабочий расход воздуха Q=0,086 кг/с*

Таким образом, расчетными и экспериментальными путями разработана новая схема распределения воздуха в эжекторном снаряде, не влияющая на энергетические параметры пневмоударника и способная создать условия для образования устойчивой обратной циркуляции (см. таблицу 8).

С целью определения оптимальных значений перепада давления и коэффициента эжекции на стенде проверялись и выбраковывались съемные образцы насадок и диффузоров, различных по конструктивным размерам.

Таблица-8. **Характеристика диаметральных размеров эжекторного снаряда в зависимости от диаметра трубы**

Диаметр трубы, мм	$F_{кр}$, мм^2	$F_{д}$, мм^2	$F_{К}$, мм^2	$F_{М.т.}$, мм^2
121	254,34	981,25	307,72	1137,5
102	254,34	981,25	307,72	686,9

Известно, что работа эжектора в колонковых снарядах сопряжена со значительными сопротивлениями во всасывающей линии, увеличивающимися по мере наполнения керноприемной трубы керном. В связи с этим коэффициент эжекции снижается. Поэтому эжекторы, развивающие наибольший перепад давления в приемной камере, будут более стабильны в работе, так как с увеличением длины керна в керноприемной трубе коэффициент эжекции будет снижаться в меньшей степени. На рис. 4 представлена зависимость перепада давления ΔP_c от критического сечения сопла насадки Fкр, полученная нами в ходе экспериментов.

Максимальный перепад давления ΔP_c получается при использовании насадки $P_{кр}$ диаметром 180мм. При увеличении числа разгрузочных каналов величина ΔP_c падает, что связано с уменьшением степени сжатия струи потока воздуха, однако наличие разгрузочных каналов общей площадью $F_К$=307,72мм^2, при $F_{кр}$=18,0мм позволяет поддерживать величину перепада давления ΔP_c в пределах 0,04-0,042МПа при блокировочном и ΔP_c=0,018-0,021МПа при рабочем режимах с абсолютным давлением перед эжектором $P_р$=0,115МПа при работе ударника (табл. 9).

В итоге по результатам экспериментов, величина основного геометрического параметра нами выбрана постоянной и равной для всех типов ударных разведочных машин $F_д/F_{кр}$=961,6/254,3=3,78.

Диаметр диффузора $d_д$=35мм выбран на основании исследований, однако величина его может составить 30 или 40 мм (см. табл. 1).

Дополнительные размеры при конструировании модели эжектора выбирались, исходя из анализа расчетных данных.

Из анализа приведенных работ следует, что оптимальная длина камеры смешения составляет (6-8)$d_д$. Однако, в целях уменьшения общей длины эжектора, длину камеры смешения можно принимать в пределах $l_д$=70-100 мм.

Таблица-9. **Величина перепада давления, развиваемого эжектором при различных диаметрах сопла и количестве разгрузочных каналов**

NN π /π	Критический диаметр сопла насадки, $P_{кр}$, мм	П лошадь разгрузочных каналов, $P_{кр}$, мм^2	Количество разгрузочных каналов, шт.	Максимальный перепад давления в приемной	
				рабочий режим	блокиро-вочный режим
1	2	3	4	5	6
1	6.0	0	0	0,011	0,030
		158,86	1	0,008	0,026
		307,72	2	0,007	0,024
		461,58	3	0,004	0,020
2	10,0	0	0	0,018	0,036
		153,86	1	0.015	0.031
		307,72	2	0,014	0,026
		461,58	3	0.010	0,020
3	14,5	0	0	0.026	0041
		153,86	1	0,022	0,037
		307,72	2	0,020	0,036
		461,58	3	0,012	0.029
4	17,5	0	0	0,028	0,044
		153,86	1	0,024	0040
		307,72	2	0,020	0,036
		461,58	3	0016	0030
5	18,0	0	0	0,029	0,046
		153,86	1	0,024	0,043
		307,72	2	0,021	0,042
		461,58	3	0,016	0,036
6 .	18,5	0	0	0,028	0044

Продолжение табл. 9.

1	2	3	4	5	6
		153,86	1	0,025	0,042
		307,72	2	0,019	0,039
		461.58	3	0,015	0,035
7	200	0	0	0.026	0042
		153,86	1	0,021	0,038
		307,72	2	0.017	0,036
		461.58	3	0,013	0,030
8	22 0	0	0	0,021	0,036
		153,86	1	0,017	0,028
		307,72	2	0,014	0,023
		461,58	3	0,009	0,021

**Примечание диаметр диффузора равен $d_д$=35 мм.*

Расстояние от насадки до начала цилиндрической части камеры смешения оказывает большое значение на работоспособность струи. Е. Я. Соколов и Н. М Зингер [4], основываясь на теории растекания затопленной струи, приводят расчетные формулы для определения оптимального положения насадки. В общем при виде они рекомендуют принимать 1н=(1-1.5) $d_д$, где 1н=35мм – расстояние от насадки до цилиндрической части камеры смешения.

Полная длина насадки должна быть в пределах (6-10)l_c, однако в эжекторных колонковых снарядах начальный диаметр насадки ограничивается размерами колонкового снаряда по диаметру. Поэтому рекомендуют принимать конусность и общую длину насадки по конструктивным соображениям. Входной участок в камеру смешения (конфузор) должен иметь форму в виде конуса длиной 0,8 диаметра камеры смешения, угол конусности конфузора в пределах 60^0. Кромки конфузора должны быть закруглены, иметь плавное сопряжение со стенками камеры смешения и приемной камерой. Цилиндрическая часть камеры смешения должна быть такой длины, чтобы обеспечивалось полное смешение эжектируемою и рабочего потоков и выравнивание их скоростей. По указанным рекомендациям в ходе экспериментальных работ установлены дополнительные конструктивные их параметры, длина насадки

составляет 24-30 мм с углом раскрытия сопла 1^0-$1^0$30'.

В таблице 8 и 9 показаны данные, полученные в ходе экспериментов с моделью испытуемого эжекторного снаряда в двух режимах работы пневмоударника. Из таблицы 9 видно, что наибольшая величина перепада давления ΔP_c и коэффициент эжекции по воздуху $U_г$ обеспечивается при Р= 0,25-0,38МПа, что свидетельствует о высокой степени сжатия рабочей струи.

Однако, при дальнейшем повышении давления в насадке до $P_р$=0,5МПа, величина коэффициента эжекции снижается из-за разности скоростей рабочего, эжектируемого потоков и завихрения струи в диффузорной части эжектора.

В этом случае определенные показания расхода эжектируемого потока получить не удалось из-за работы компрессора на предельных оборотах (прерывистая работа) и постепенным переходом (неодинаковым по времени) работы эжектора в режим «завихрения». Поэтому средние величины полученного коэффициента эжекции колеблются в пределах $U_г$=0,21-0,36.

Таким образом, в ходе стендовых исследований получены следующие основные конструктивные параметры эжекторного снаряда способного эффективно работать с ударными машинами – колонковый ударно-эжекторный комплекс $F_д/F_К$ – основной геометрический параметр – 3,78, $l_д$ -70 – 100мм, $1_н$=35мм, $1_с$=24-30мм $F_{Кр}$=254,34 мм^2; $Р_д$=981,25 мм^2; F=304,72 мм^2.

Стендовые исследования проводились с целью оптимизации основных геометрических параметров эжектора, распределения рабочего потока перед струйным аппаратом, замера величины коэффициента эжекции и перепада давления для уточнения состава и методики экспериментов в скважинных условиях

Как известно, стендовые исследования обладают рядом недостатков, значительно снижающих их ценность. В первую очередь – это невозможность моделирования скважинных условий, так как возникшие при работе ударника динамические удары влияют на характер размещения поступающего в керноприемную трубу керна. Для достоверной оценки работоспособности эжекторного снаряда в комплексе с ударной машиной необходимо проведение исследований в скважиных сложных условиях (валунно-галечник, техногенные месторождения).

3. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Разработанные при участии автора гидроимпульсные генераторы в комплексе с газожидкостными ударно-эжекторными снарядами позволяют проходить скважины с высокими технико-экономическими показателями [1,2].

Вместе с тем без комплексного совершенствования технических средств бурения невозможно успешно проходить скважины в сложных горно-геологических условиях.

3.1. Совершенствование технических средств бурения горизонтальных скважин

Горизонтальные скважины, как правило, бурятся из подземных горных выработок. Целевым назначением таких скважин являются:

- опережающее опробование, поиски и разведка рудных тел путем проходки скважин с отбором керна из забоя выработок;
- решение различных технических задач, например, укрепление свода горизонтальных выработок в неустойчивых горных породах.

Если проблема бурения горизонтальных скважин в мягких породах в достаточной степени решена, то в твердых и средней крепости породах она еще ждет своего решения. В особенности это касается горизонтального бурения в сложных горно-геологических условиях, к которым относятся:

- получение кондиционного керна в крепких трещиноватых породах (разведочные скважины);
- бурение горизонтальных скважин в крепких неустойчивых породах (типа валуно-галечных отложений при необходимости одновременного решения двух противоречивых задач – обеспечение устойчивости ствола и сохранение естественной проницаемости околоствольного массива для последующего тампонирования последнего (технические скважины).

Первая проблема возникает при эксплуатационной разведке ряда крупных полиметаллических месторождений Казахстана

(Миргалимсайского, Лениногорского, Текелийского, Зыряновского и других), когда требуется получить плановый выход керна при достаточно высокой производительности бурения.

Вторая проблема связана с сооружением Алматинского метрополитена.

Помимо магистральных выработок, по которым будет осуществляться движение электропоездов, и проходка которых осуществляется щитовым способом, каждая подземная станция метро должна быть обустроена многочисленными вспомогательными выработками различного поперечного сечения. Последние проходятся в крайне неустойчивых труднобуримых сухих валуно-галечных отложениях. Для создания временной крепи свода горных выработок необходимо бурить горизонтальные скважины по контуру забоя с последующим тампонированием околоскважинного пространства. Тампонажный раствор, распространяясь в радиальном направлении, смыкается с раствором, закачиваемым в смежные скважины. В результате в своде выработке образуется монолитная временная крепь, под защитой которой устанавливается постоянная железобетонная крепь.

При проведении опытных работ применялись двойные колонковые трубы с эжектором. Применение двойных труб обусловлено тем, что при использовании пенного раствора последний подводится к забою по кольцевому зазору между трубами. Тем самым обеспечивается сохранение большого запаса энергии пены, необходимого для очистки забоя скважины от шлама.

Ранее проведенные опытные работы показали, что эффективное бурение по валуно-галечным отложениям возможно лишь при формировании кольцевой формы забоя скважины. Основная масса породы (керн, шлам) входит в керноприемник, что резко снижает количество подклиниваний инструмента, а забойная машина вместе с колонковой трубой сохраняет прямолинейность ствола скважины. В качестве породоразрушающих инструментов применялись буровые коронки типа ПКДБ, предназначенные для использования совместно с двойными трубами ТБДУ.

На первом этапе испытания было пробурено 19 скважин глубиной 6-14м в неустойчивых валуно-галечных отложениях. Цель бурения – тампонирование околоствольного массива вокруг пробуренных скважин и последующее создание сплошной временной крепи подземных выработок, под защитой которой сооружалась постоянная железобетонная крепь.

Испытания показали, что при удалении бурового шлама часто возникало подклинивание инструмента из-за зашламования ствола горизонтальной скважины. Это потребовало постановки специальных работ по совершенствованию технологического инструмента.

При бурении горизонтальных скважин в качестве очистных агентов используются сжатый воздух и пена, причем первый агент применяется при проходке устойчивых пород, а второй – при проходке неустойчивых, раздробленных пород.

Закономерностям транспортирования бурового шлама сжатым воздухом и пеной посвящено большое количество работ. Однако эти исследования касаются, главным образом, очистке вертикальных скважин, когда живая сила потока очистного агента направлена вверх, и сила тяжести разбуренных частиц имеет противоположное направление. Если живая сила потока больше силы тяжести частиц шлама, происходит перемещение последнего к устью скважины и вынос их на поверхность.

При бурении горизонтальных скважин направление потока очистного агента горизонтально (рис. 19), а сила тяжести частиц бурового шлама имеет вертикальное направление. В результате разбуренные частицы, отделившиеся в области стенки скважины, по мере движения потока к устью под действием силы тяжести будут постепенно перемещаться вниз и скапливаться на лежащей стенке. Вследствие возрастающих аэродинамических сопротивлений, вызванных скоплением шлама на лежащей стенке скважины, поток очистного агента перемещается в верхнюю часть ствола, где указанные сопротивления значительно меньше.

Буровой шлам, накапливающийся в нижней части кольцевого пространства между диаметром колонкового набора и диаметром скважины, является причиной частых прихватов (зашламования) снаряда. Так как бурильные трубы по диаметру

меньше диаметров пневмоударника и колонкового набора, то при извлечении снаряда из скважины происходит сгребание большой массы бурового шлама. Это вызывает частые затяжки инструмента в скважине и аварии. Необходимо подчеркнуть, что указанные явления зашламования снаряда наблюдаются при бурении относительно мягких пород и проходке зон дробления, когда образуется большое количество шлама.

Указанное явление подтверждено практикой бурения валуно-галечных отложений при строительстве Алматинского метрополитена.

Из сказанного следует, что для улучшения очистки скважин следует создать буровой снаряд, применение которого обеспечит вихревое движение очистного агента в призабойной части скважины (интервал расположения колонкового набора и пневмоударника). Остальная часть скважины должна очищаться комбинированным пневмомеханическим способом.

Модернизированный снаряд пневмоударного бурения изображен на рис. 19 (общий вид) и рис. 20.

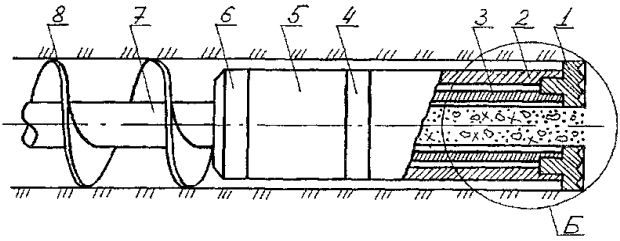


Рис. 19. Общий вид снаряда пневмоударного бурения
1-буровая коронка; 2-труба наружная; 3-труба керноприемная; 4-эжектор, 5-пневмоударник, 6-труба бурильная; 7,8-винтовая реборда.

Снаряд (рис.19) состоит из буровой коронки 1, соединенной резьбой с наружной трубой (рис.20). Внутренняя керноприемная труба 3 размещена свободно и входит торцевой частью во внутреннюю расточку буровой коронки. Последняя имеет кольцевую канавку, сообщающиеся с кольцевым пространством между наружной 2 и внутренней керноприемной 3 трубами

(рис. 20). На боковой поверхности буровой коронки наклонно (под углом) просверлены тангенциальные каналы «а», сообщающиеся с кольцевой канавкой буровой коронки. На боковой поверхности внутренней керноприемной трубы 3, прилегающей к торцевой части, просверлены радиальные отверстия «б», причем их суммарная площадь значительно меньше суммарной площади отверстий «а».

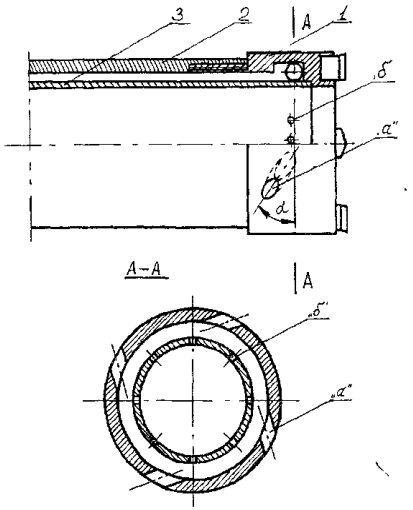


Рис. 20. Узел Б снаряда пневмоударного бурения
Разрез по А-А узла Б снаряда
Отверстия «а» условно совмещены с плоскостью разреза.

Наружная труба 2 (рис. 19) через эжектор 4 соединяется с пневмоударником 5, который, в свою очередь, сопрягается с бурильными трубами 6. К боковой поверхности последних приварена с определенным шагом стальная винтовая лента (реборда) 7,8.

Работа снаряда осуществляется следующим образом. После его размещения в скважине и подаче через бурильные трубы сжатого воздуха или пенного раствора приводится в действие пневмоударник. Поршень-боек последнего через переходник 4 и наружную трубу 2 передает ударные импульсы буровой коронке

1, резбы которой, в свою очередь, осуществляют ударное воздействие на породу забоя скважины. Через бурильные трубы буровой коронке передается крутящий момент и осевая (статическая) нагрузка. В результате порода забоя разрушается и формирующийся керн входит в керноприемную трубу 3.

Очистной агент (сжатый воздух или пенный раствор), служащий рабочим телом для привода в действие пневмоударника, покидая последний, попадает в кольцевое пространство между наружной 2 и керноприемной 3 трубами. Дойдя до внутренней кольцевой канавки коронки, очистной агент разделяется на два потока. Благодаря большим гидроаэродинамическим сопротивлениям при движении раствора через радиальные отверстия «б», во внутреннюю часть коронки попадает меньшая часть очистного агента. Этот поток, пройдя через кольцевой зазор между керном и внутренним диаметром коронки, поступает на забой и охлаждает резцы. Большая часть очистного агента проходит через наклонные тангенциальные отверстия «а» коронки, поступает в кольцевой зазор между наружным диаметром коронки и диаметром скважины. Тангенциальное расположение отверстий «а» и их наклон под углом, позволяет получить в указанном кольцевом зазоре закрученный поток очистного агента, движущийся к устью скважины (рис. 29). Закрученный поток очистного агента не позволяет частицам бурового шлама скапливаться на лежащей стенке скважины, транспортируя их по направлению к устью. Энергии закрученного потока достаточно для очистки узкого кольцевого пространства между скважиной, колонковым набором и пневмоударником (призабойная часть снаряда). Однако, дойдя до кольцевого пространства между скважиной и бурильными трубами, закрученный поток очистного агента в значительной мере теряет энергию, а уменьшенный диаметр бурильных труб по сравнению с диаметром призабойной части снаряда способствует скоплению бурового шлама в этой части ствола. Поэтому дальнейшее транспортирование шлама к устью скважины осуществляется винтовой ребордой 7 (рис. 19) при вращении снаряда.

3.2. Технология бурения горизонтальных скважин газожидкостными ударно-эжекторными снарядами в сложных горно-геологических условиях

При строительстве Алматинского метрополитена большой объем работ приходится на сооружение горизонтальных подходных выработок. Последние проходятся весьма в сложных горногеологических условиях, заключающихся в том, что работы ведутся в крайне неустойчивых валуно-галечных отложениях. С целью временного укрепления свода выработок, под защитой которого устанавливается постоянная железобетонная крепь, проектный институт ВИОГЕМ (г. Белгород) предложил технологию, заключающуюся в последовательном проведении следующих операций:

- бурение по контуру забоя выработки скважин глубиной 1м ударно-вращательным способом с промывкой водой или продувкой;
- закачка под давлением в пробуренную скважину цементно-силикатного раствора, который вследствие проницаемости валуно-галечников проникает в околоствольное пространство и смыкается с раствором, закачиваемым в смежные скважины;
- выдержка в течение определенного промежутка времени с целью схватывания тампонажного раствора и получения цементного камня;
- бурение по цементному камню, заполнившему ствол скважины, и дальнейшее углубление забоя в незакрепленную породу вновь на 1м;
- повторение циклов нагнетания и бурения (интервалы бурения скважины проектной глубины (8-12м);
- разбуривание тампонажного камня в скважинах, достигших проектной глубины, установка в них стальных анкеров с последующим цементированием;
- выемка породы под защитой созданного свода на полную площадь сечения и создание выработки, которая в дальнейшем армируется постоянной железобетонной крепью.

Испытания предложенной технологии на объектах Алматыметростроя (станция Байконур) выявили следующее:

- низкая производительность и высокая аварийность

буровых работ, вызванная обрушением стенок скважин в неустойчивых валуно-галечных отложениях; по этой причине ни одна из пробуренных скважин не была пробурена до проектной глубины (максимальная достигнутая глубина скважины составила 6м);

- большой объем бурения по цементному камню, вследствие малой величины заходок (интервал бурения по незакрепленной породе), составляющих всего 1м. Например, при глубине 6м он составляет 21м, при глубине 8м-36м, а при глубине 12м – уже 78м; бурение по цементному камню является непроизводительной затратой времени и средств, а большой объем указанных работ резко снижает эффективность возведения временной крепи.

Испытания показали, что предложенная технология не решает основную проблему - достижение удовлетворительной производительности в крепких неустойчивых породах при обеспечении устойчивости стенок скважин и сохранения естественной проницаемости окружающего массива для качественного его цементирования.

Автором был проведен анализ современных способов бурения, пригодных для сооружения скважин в валуно-галечных отложениях

В этих условиях применяются следующие способы бурения ударно-вращательный, вращательный и ударно-канатный.

Для конкретных условий применение ударно-канатного бурения исключается, так как этот способ используется только для проходки вертикальных скважин.

Вращательное бурение с промывкой глинистым раствором хотя и обеспечивает устойчивость ствола скважины, однако ведет к кольматации последнего и, следовательно, к резкому снижению проницаемости грунтов. При переходе указанным способом на бурение с промывкой водой стенки скважины обрушаются.

Особого внимания заслуживает разновидность ударно-вращательного способа – газожидкостные ударно-эжекторные снаряды.

Сущность последнего заключается в передаче породоразрушающему инструменту, помимо статической осевой нагрузки, ударных импульсов с частотой 1000-1500уд/мин

генераторами ударных импульсов служат забойные машины – пневмоударники, использующие в качестве рабочего тела сжатый воздух энергия единичного удара пневмоударников составляет 100-300Дж, что в 2,5 раза выше, чем у гидроударников.

На станции «Байконур» Алматыметростроя в течение проводились опытные работы по бурению горизонтальных скважин с целью сооружения временной крепи подходной выработки ОП-2. В результате опытных работ установлено, что проходка горизонтальных скважин обеспечивается путем применения гидроимпульсных генераторов в комплексе с газожидкостными ударно-эжекторными снарядами. Технологические операции по сооружению и тампонированию скважин делились на 2 периодически повторяющихся этапа:

I этап – бурение скважин глубиной до 4м с очисткой забоя пеной, что обеспечивало устойчивость ствола в пределах до 1-5 суток;

II этап – нагнетание цементного раствора под давлением до 2-4МПа через кондуктор, закрепленный на устье скважины.

Через 6-8 часов после схватывания цементного раствора процесс бурения возобновляется, т. е. разбуривался цементный камень и осуществлялось бурение скважин в незакрепленную породу повторно на 4м с последующим тампонированием околоствольного массива.

По указанной технологии было пробурено 71,5м скважин. Максимальная глубина бурения составила 14м при сменной производительности 2-3 м/смена.

Проведенные опытные работы показали, что пневмоударное бурение газожидкостными ударно-эжекторными снарядами с промывкой пеной эффективнее предложенного ВИОГЕМ способа сооружения скважин:

- вследствие увеличения заходок с 1м до 4м, сократились непроизводительные затраты времени и средств на разбуривание тампонажного камня, заполняющего ствол скважин после ее цементации, возросла производительность бурения и глубина пробуренных скважин.

Однако испытания выявили и ряд недостатков, главным из которых является недостаточная отработка технологии бурения в

различных по гранулометрическому составу грунтах, особенно большие трудности возникли при бурении мелких валунов. При бурении интервалов, сложенных песчаным заполнителем с мелкой галькой, неоднократно наблюдалось заклинивание (зашламование) инструмента из-за недостаточной очистки скважины. Тем не менее, альтернативы этому способу бурения в данных условиях нет. Только этот способ способен решить противоречивую задачу – обеспечить устойчивость стенок скважины и сохранить проницаемость околоскважинного массива.

С целью отработки технологии бурения в различных по гранулометрическому составу грунтах опытные работы были продолжены на станции «Жетысу» Алматыметростроя.

Комплект бурового оборудования включал: буровой станок НКР-100, дозирующее устройство (пеногенератор) для приготовления пенного раствора, шланги с вентилями. В качестве пенообразователя использовался сульфанол. Технологический инструмент состоял из буровой коронки, двойных колонковых труб и технических средств бурения описанных в гл. 3.1.

Задача буровых работ заключалась в оконтуривании забоя горизонтальной выработки сечением ОП-1 скважинами с последующим тампонированием с целью создания временной крепи.

Перед бурением в забое сооружалась бетонная перемычка с установкой по контуру с определенным шагом кондукторов, служащих для направления скважин и закачки тампонажного раствора.

Режимы бурения определялись давлением и расходом сжатого воздуха, концентрацией пенообразователя в растворе, частотой вращения снаряда и осевой нагрузкой на забой.

В процессе проведения опытных работ было выявлено три разновидности грунтов, требующих разработки специальных технологических мероприятий для их эффективного бурения:

- бурения крупных валунов размером более 25см;
- бурение мелких валунов размером до 20-25см;
- бурение по песчаному заполнителю с мелкой галькой

Во всех трех разновидностях грунтов применялось бурение

кольцевым забоем с отбором керна, так, как только колонковое бурение обеспечивает в этих условиях прямолинейность ствола скважины и исключает заклинивание снаряда между валунами (рис. 21).

Технология бурения крупных валунов была такая же, как и при бурении скальных пород. Давление сжатого воздуха в сети поддерживалось максимально возможным и составляло 0,5-0,6МПа. Расход пенного раствора составлял 1-1,5л/мин при концентрации сульфанола 0,5%. Частота вращения снаряда изменялась от 10 до 20 об/мин. Осевая нагрузка на забой при бурении валунов должна обеспечивать плотный контакт коронки с забоем и ориентировочно составляло 1-4кН. Однако буровой станок НКР-100 не был оснащен указателем осевой нагрузки, поэтому этот параметр в процессе бурения не измерялся.

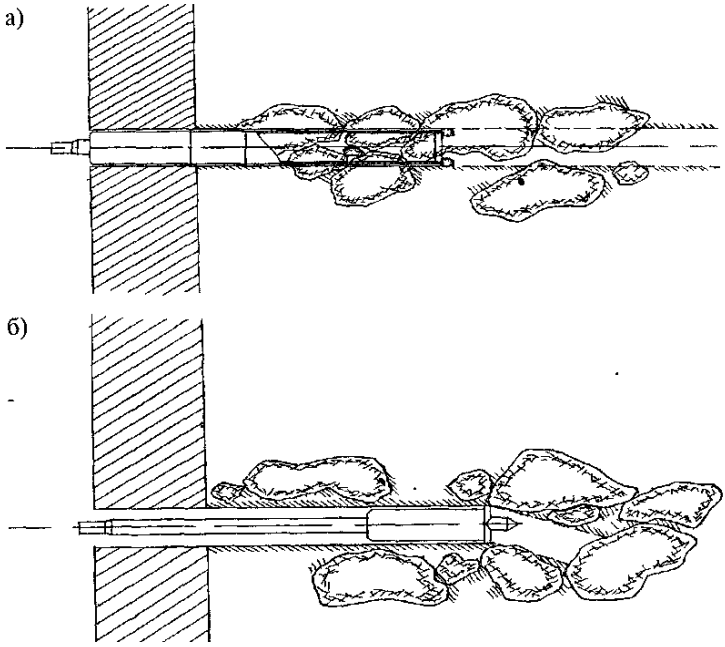


Рис. 21. Направление трассы скважины газожидкостными ударно-эжекторными снарядами бурении
а-кольцевым забоем; б-сплошным забоем

Замеры коронок по наружному диаметру показали, что интенсивность их бокового износа при бурении крупных валунов составляет 0,12-0,15мм на 1м скважины. Боковой износ коронки вызывает ее зажим стенками скважины, что снижает энергию передаваемых ударных импульсов, скорость бурения и вызывает заклинивание снаряда.

В этой связи коронки отрабатывались по круговой схеме. В круг чередования включались коронки одного диаметра в количестве, необходимом для бурения заданного интервала скважин с учетом твердости и абразивности пород. Коронки группировались по диаметрам с разницей 0,2мм. Допустимое уменьшение диаметров последовательно применяемых коронок составляет 0,1-0,15мм.

Бурение мелких валунов вызывает наибольшие затруднения. При проходке таких грунтов углубление забоя фактически приостанавливалось. Регулирование режимных параметров не давало ощутимых результатов.

Для изучения процессов передачи энергии и ударных импульсов от бурового снаряда забою скважины при проходке валунов были проведены соответствующие теоретические исследования. На рис. 35 представлена схема бурения зоны мелких валунов с песчаным заполнителем. Обозначим массу валуна, встреченного забоем скважин, ml, массу части снаряда (коронка, колонковая труба переходник), участвующие в передаче ударных нагрузок забою (валуну) – через m_2, а предударную скорость снаряда при каждом ударном импульсе 0 через V_0. Тогда расчетная схема процесса будет иметь вид, представленный на рис. 34 б. Жесткости контактов «коронка-валун» и «валун-песчаный заполнитель» обозначены соответственно через C_2 и C_1, а перемещение коронки – через α_1 и α_2.

Уравнение движения элементов ударной системы имеет вид:

$$\alpha_1 = a_{1-1}\, sin(f_1 t + \phi_1) + a_{1-2}\, sin(f_2 t + \phi_2),$$

$$\alpha_2 = X_{2-1} a_{1-1}\, sin(f_1 t + \phi_1) + X_{2-2} a_{1-2}\, sin(f_2 t + \phi_2), \qquad (3.1)$$

где, собственная частота колебаний определяется из соотношения:

$$f_1 = \sqrt{\frac{1}{2}\frac{C_1+C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2} - \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2}\right)^2 - \frac{C_1 C_2}{m_1 m_2}}},$$

$$f_2 = \sqrt{\frac{1}{2}\frac{C_1+C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2} - \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{C_1+C_2}{m_1} + \frac{C_2}{m_2}\right)^2 - \frac{C_1 C_2}{m_1 m_2}}}, \qquad (3.2)$$

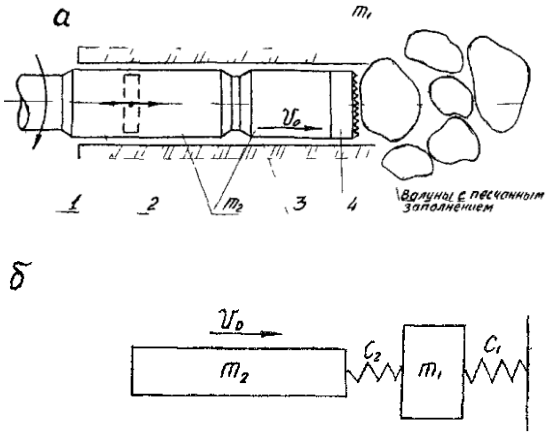


Рис. 22. К расчету передачи энергии удара забою скважины при пневмоударном бурении валуна галечниковых отложений
а-схема бурения мелких валунов
1-буровой став; 2-гидроимпульсный генератор;
3-двойные колонковые трубы; 4-буровая коронка
б-Расчетная схема передачи ударных нагрузок

Отношение амплитуд равно:

$$\chi_{2-1}\frac{a_{2-1}}{a_{1-1}} = \frac{C_1 + C_2 - m_i f_i^2}{C_2},$$

$$\chi_{2-2}\frac{a_{2-2}}{a_{1-2}} = \frac{C_1 + C_2 - m_i f_i^2}{C_2}. \qquad (3.3)$$

Амплитуды колебания равны:

$$a_{1-1} = \frac{V_0}{f_1} \cdot \frac{1}{\chi_{2-1} - \chi_{2-2}},$$

$$a_{1-2} = \frac{V_0}{f_2} \cdot \frac{1}{\chi_{2-2} - \chi_{2-1}}. \quad (3.4)$$

Процесс ударного взаимодействия снаряда с валуном состоит из двух этапов. На первом (активном) этапе коронка внедряется в валун, глубина внедрения α_2 растет. На втором (пассивном) этапе происходит восстановление упругих деформаций породы и инструмента, α_1 убывает вплоть до нарушения контакта между коронкой и валуном.

Рассмотрим этапы внедрения инструмента в породу. Контакт между коронкой и валуном может сохраняться на протяжении всего этапа удара, и в этом случае движение снаряда и валуна описываются уравнением. Однако при определенных соотношениях жесткостей C_1 и C_2 и масс т, и т, контакт между коронкой и валуном нарушается до завершения этапа внедрения инструмента в породу. Тогда уравнение движения снаряда с момента нарушения его контакта с валуном принимает вид:

$$\alpha_1 = a'_{11} \sin(f'_1 t + \phi_1), \quad (3.5)$$

где f – частота колебаний инструмента; a'_{1-1} – амплитуда перемещения; φ_1 – начальная фаза.

Частота колебаний:

$$f'_1 = \sqrt{\frac{C_1}{m_1}}, \quad (3.6)$$

Амплитуду перемещения определим из условия равенства кинетической энергии инструмента работе силы упругости:

$$\frac{m(V_i)^2}{2} = \frac{(\alpha'_2 + \alpha'_2)(P'_1 - P_1 m)}{2}, \quad (3.7)$$

где V, и α_1 – скорость перемещения инструмента в момент нарушения его контакта с породой; P'$_1$ – значение силы на контакте коронка-валун к моменту нарушения этого контакта; P$_{1m}$ – максимальная сила, действующая на контакте коронка-валун.

Отсюда с учетом того, что P $_1$ m = C $_1$ m · a$'_{1-1}$ получим:

$$\alpha'_{1-1} = \sqrt{\frac{m(V'_1)^2 + C_1\alpha_1^2}{C_1}}, \tag{3.8}$$

Начальную фазу определим из уравнения (3.5) по известному значению а, к моменту нарушения контакта между коронкой и валуном. Обозначим это значение через α'$_1$ тогда:

$$\alpha'_1 = \alpha_m \sin\phi, \tag{3.9}$$

откуда:

$$\varphi_1 \arcsin\frac{\alpha'_1}{\alpha_m}. \tag{3.10}$$

Таким образом, уравнение (3.2) и (3.5) позволяют рассчитать зависимость перемещений валуна «$_2$ и снаряда а, от времени t при различных параметрах ударной системы. Соответствующие зависимости контактных сил P$_2$ и P$_1$ получаются из соотношений:

$$P_1 = C_1\alpha_1; P_2 = C_2\alpha_2. \tag{3.11}$$

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что значение контактных сил и доля передаваемой энергии забою (валуну) зависят от отношений масс снаряда и валуна m/m., и жесткостей на контактах коронка-валун C$_2$/C$_1$ песчаный заполнитель. Максимум энергии, передаваемой породе наблюдается при:

$$\frac{m_2}{m_1} 2uC_1 = C_2. \tag{3.12}$$

При указанных величинах соотношений валуну передается

до 90% энергии. С увеличением соотношения C_2/C_1, доля передаваемой энергии снижается. Так, при $C_2/C_1=6$, она уменьшается до 55%, а при $C_2/C_1=10$ – до 30%.

В реальных условиях жесткость песчаного заполнителя значительно меньше жесткости на контакте коронка-валун ($C_1<<C_2$). Поэтому доля энергии, передаваемой мелкому валуну ударными импульсами, крайне мала. Ударная энергия тратится в основном на смятие песчаного заполнителя, а не на разрушение (углубление забоя в валуне). Ударные импульсы демпфируются, передаются как бы «в подушку».

Наиболее рациональный, технологический прием при бурении малых валунов-повышение жесткости песчаного заполнителя путем тампонирования призабойной части скважины. Тампонажный раствор, проникая в песчаный заполнитель и схватываясь с ним, образует за забоем единый монолит, который в дальнейшем разбуривается. Если интервал цементации пробурен, а зона мелких валунов продолжается, следует повторно затампонировать пространство за забоем и продолжить бурение. Эти операции следует продолжать до тех пор, пока интервал мелких валунов не будет полностью пройден.

С целью экономии времени в период схватывания тампонажного материала следует переместить буровой станок и бурить соседние скважины свода.

Указанный технологический прием получил свое полное экспериментальное подтверждение. Остальные параметры технологического режима бурения (осевая нагрузка, частота вращения снаряда, расход пены, частота и высота («расхаживания») такие же, как и при бурении крупных валунов.

При бурении скважин неоднократно встречались грунты, представленные песчаным заполнителем с мелкой галькой. Основной трудностью бурения песчано-гравийных грунтов являлось частичное зашламование скважины. Это явление происходило из-за большого количества шлама, скапливающегося на лежачей стенке скважины. В таких условиях энергии обратного потока пенного раствора оказывалось недостаточно для очистки скважины. Для удаления шлама была использована компоновка снаряда, отличительной особенностью которого являлось наличие на бурильных трубах винтовой

реборды. Таким образом, при бурении песков с галькой рационально применять комбинированный метод очистки скважин: призабойная часть последней в месте расположения колонковой трубы, имеющего поперечные размеры, приближающиеся к диаметру скважины, успешно очищаются пенным раствором, а остальная часть ствола механическим способом с помощью винтового транспортера. Для исключения заклинивания снаряда бурение осуществлялось с «расхаживанием». С целью увеличения производительности шнекового транспортера, частота вращения снаряда повышалась до 30-40 об/мин. Расход пенного раствора составлял 1,5-2л/мин при концентрации до 1% ПАВ.

Для проходки скважин в подобных условиях был использован эжекторный колонковый снаряд с целью создания обратной циркуляции вторичного потока. Опыт бурения серии скважин свидетельствует, что при использовании данной компоновки основная часть шлама улавливается за счет работы эжектора в колонковой трубе. Применение эжекторных снарядов дает возможность нормализовать процесс бурения за счет предупреждения заклинивания бурового инструмента в скважине.

В период опытных работ при сооружении временной крепи подходной выработки ОП-1 сечением 16,3м^2 было пробурено 19 скважин и подходной выработки ОП-2, сечением 14,4 м^2-30 скважин (по 15 скважин на заходку).

Зона проникновения цементно-силикатного раствора в околоствольное пространство скважин составила 250-300мм. Качество химзакрепления грунтов комиссией Алматыметростроя было признано удовлетворительным.

Наибольшие показатели сменной производительности (порядка 3,5-6 м/смена) достигнуты в интервалах 0-6м. С увеличением глубины скважины сменная производительность снижается вследствие увеличения времени на подачу и извлечение бурового снаряда.

Пневмоударное бурение показало свою перспективность для проходки горизонтальных скважин, о чем свидетельствует технологическая карта их проходки (табл. 28)

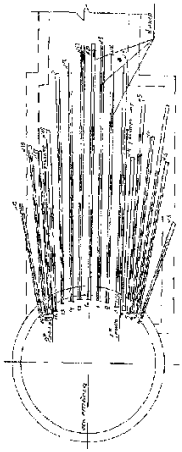


Рис. 23. Исполнительная съемка
тампонажных скважин

Анализ результатов бурения (табл. 28) свидетельствует, что наибольшие показатели сменной производительности порядка 3,5-6,0м/смену достигнуты в интервалах от 0 до 6,0м, при условии правильного применения технологии бурения. С увеличением глубины скважины показатели сменной производительности снижаются за счет повышения доли вспомогательных работ, числа спуско-подъемных операций и уменьшения рейсовой проходки, которая составляет 1,5-2,5м/смену. В то же время данные, полученные при бурении скважин в интервалах свыше 6,0м, следует считать предварительными, так как имеются значительные резервы повышения производительности, т.е.:

а) выбор рациональной технологии бурения в зависимости от горно-геологических условий проходимых пород;

б) бурение скважины укороченными (до 1,0-1,5м) рейсами, что позволит легче осуществить спуско-подъемные операции в незашламованной скважине;

в) применение пенообразующих веществ с небольшой концентрацией до 0,5% и расходом 1,0-1,5л/мин, что облегчит вынос разубоженной шламовой массы из скважины специальными бурильными трубами.

Чистое время на бурение скважины №12 составило 12 час на 14,5м, однако большая доля непроизводительных затрат по времени, связанных с извлечением снаряда из зашламованной скважины и бурение без применения специальных труб дало возможность закончить скважину, затратив шесть рабочих смен (рис 23).

Исследования контрольных скважин №1* и №2*, пройденных после окончания работ, показали, что их стенки сохраняли устойчивость, что свидетельствует о проникновении цементного раствора в околоскважинный массив. Расход тампонажного цемента составил 40м^3, т. е. в 4-5 раз меньше требуемого, что подтверждает значительное распространение цементного раствора в приствольные зоны ранее пройденных скважин.

Анализ проведенных опытных работ позволяет сделать следующие выводы:

1. Колонковый пневмоударно-эжекторный комплекс с очисткой забоя пеной обеспечивает удовлетворительную производительность, устойчивость и проницаемость стенок скважин, поэтому пригодно для промышленного использования при сооружении временной крепи подземных выработок на объектах Алматыметростроя;

2. Разработана рациональная технология бурения грунтов различного состава (крупные и мелкие валуны, песчаный заполнитель с галькой), обеспечивающая безаварийную проходку скважин с удовлетворительной производительностью;

3. Применение эжекторного снаряда и винтовой реборды нормализует процесс бурения за счет предупреждения аварий, связанных с заклиниванием буровой колонны в скважине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.Технология ударно-эжекторного бурения определяется геологическими и гидрогеологическими условиями работ. Сложные геологические условия: карстовые пустоты, каверны, сильно раздробленные породы и наличие водопритока в скважину не позволяют отбирать керновый материал традиционными способами;

2.Эжекторные снаряды показали высокую работоспособность при бурении скважин в осложненных условиях. Эжекторный отбор проб позволяет заменить часть горно-разведочных работ (шурфов);

3.Для эффективного применения ударно-эжекторного бурения и получения представительной пробы за счет эжекторных снарядов при водопритоке в скважину необходимо обеспечить нормальные условия процесса бурения: использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ), увеличивающие подъемную силу потока вспененной аэрированной жидкости; применять бурильные трубы большого диаметра (до 89мм), стибилизирующие работу компрессора; включать в состав бурильной колонны пусковые клапаны, обеспечивающие ступенчатый выброс шлама-водяной пульпы из скважины;

4.На базе забойной машины и эжекторного снаряда создан принципиально новый колонковый пневмоударный комплекс, работающий в двух режимах: основной (бурение скважины) и блокировочный (продувка скважины), благодаря чему значительно расширена область применения ударно-вращательного способа бурения геологоразведочных скважин в весьма сложных горногеологических и гидрогеологических условиях;

5.Разработан колонковый ударно-эжекторный комплекс для бурения скважин с комбинированной пневмомеханической очисткой забоя от продуктов разрушения в сложных горно-геологических условиях;

6.Ударно-эжекторный комплекс способ бурения с промывкой пеной обеспечивает устойчивость стенок скважин и сохраняет проницаемость грунтов и поэтому пригоден для промышленного использования при сооружении временной

крепи подземных выработок на объектах Алматинского метрополитена;

7.Разработана технология проходки скважин в различных по составу грунтах: крупные валуны, песок с галькой, мелкие валуны с песчаным заполнителем. Режим бурения крупных валунов аналогичен режиму бурения скальных пород. При бурении песчаного заполнителя в обязательном порядке в состав снаряда включать специальные бурильные трубы с винтовой ребордой (колонну шнеков).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ахымбаева Б.С., Наурызбаева Д.К., Маулетбекова Б.К., Усен М. Проект AP08053222 по теме: «Разработка гидроимпульсного генератора для повышения эффективности бурения скважин в сложных горно-геологических условиях».

2 Ахымбаева Б.С., Маулетбекова Б.К. и др. «Разработка и внедрение газожидкостного ударно-эжекторного комплекса для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях с целью разведки и разработки полезных ископаемых для дальнейшей переработки минерального сырья», Отчет по проекту № 0403-17-ГК. Алматы, 2021.

3 Воронов В. Н., Николаев И. И., Кабдулов С. 3. и др. «Методическая разработка по пневмоударному бурению разведочных скважин», - М.: Недра, 1988 - 66 с, илл.

4 Соколов В. Я., Зингер Н. М. «Струйные аппараты», - М.:Энергия, 1970-288 с., илл.

5 Ахымбаева Б.С., Кабдулов С.З., Латыпов А.С., Шайхымежденов Ж.Г. «Гидроударник», Инновационный патент №29033 от 29.09.2014г.

6 Ахымбаева Б.С., Нуранбаева Б.М., Тикебаев Т.А. «Технология гидроударного способа бурения для обеспечения прямолинейности ствола скважины»// Вестник КБТУ / Алматы, том15 №1 (39)/ - 2018 - 8-10 стр.

7 Ахымбаева Б. С., Латыпов А.С.Шайхымежденов Ж.Г., «Погружная ударная машина», Евразийский патент №26911 от 2017г.

Научное издание

Ахымбаева Бибинур Сериковна

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ГИДРОИМПУЛЬСНЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

Монография

Нач. ОПП *Л.Т. Касжанова*
Компьютерная верстка *Д. Ш. Тажиева*

Авторская редакция

Подписано в печать 07.07.2022 г.
Тираж 400 экз. Формат 60x84x 1/16. Бумага типогр. № 1.
Уч.-изд.л. 6,1. Усл.п.л. 5,7. Заказ № 303.
Цена договорная.

КазНИТУ им. К.И. Сатпаева
Издательство Polytech
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22.

ISBN 978-601-323-305-5

