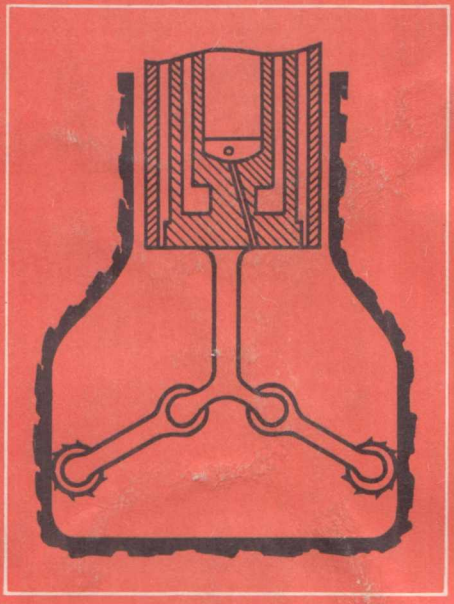
622.54
К36

В. А. КЕРИМОВ

ТЕХНИКА БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА



622.54
К36

ЗАЛ

В.А.КЕРИМОВ

ТЕХНИКА БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

3-8

МОСКВА "НЕДРА"
1983

УДК 622.143.54

Керимов В.А. Техника бурения скважин большого диаметра. М., Недра, 1983, 94 с.

Рассмотрена техника бурения скважин большого диаметра при строительных, мелиоративных, гидрогеологических, инженерно-изыскательских и других работах. Описаны ударный, вращательный и комбинированный способы бурения скважин большого диаметра. Систематизированы технические средства для бурения скважин с последующим расширением. Приведены результаты исследований параметров устойчивости и энергоемкости скважин большого диаметра.

Для инженерно-технических и научных работников, занимающихся проектированием и бурением скважин для дренажа и водоснабжения при геологоразведочных, гидрогеологических, инженерно-изыскательских, строительных и горных работах.

Табл. 16, ил. 50, список лит. — 18 назв.

Рецензент — проф. *Д.Н. Башкатов* (МГРИ).

ОПИСАНО

67476

Фундаментальная библиотека
Ферганск. политехнич. ин-тута
Инв. №
19 г.

К $\frac{1904050000-002}{043(01)-83}$ 177—82

©Издательство "Недра", 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Скважины большого диаметра нашли широкое применение в комплексе строительных, мелиоративных, гидрогеологических, инженерно-изыскательских и других работах.

При строительных работах скважины большого диаметра бурят с целью устройства свайных оснований для сооружения и опор глубокого заложения. Применение скважин большого диаметра при строительных работах позволяет повысить нагрузку на опоры и фундаменты. При мелиоративных работах скважины сооружают с целью водопонижения и водоснабжения. Скважины гидрогеологического и инженерно-изыскательского назначения бурят для детального изучения геологического разреза, отбора образцов пород, определения коэффициента фильтрации и других гидрогеологических характеристик исследуемых пород и водоносных горизонтов.

Проведение операций по сооружению скважин большого диаметра — разрушение и транспортировка выбуренной породы, крепление ствола скважины требует повышенных затрат энергии, породообразующего инструмента, материалов в сравнении со скважинами диаметром до 0,5 м.

Бурение скважин большого диаметра в зависимости от назначения и условий применения производится различными способами.

Технические средства, применяемые при этом, отличаются большим разнообразием типов, конструктивного исполнения, что также связано с разными условиями применения скважин, а также с необходимостью модернизации и совершенствования существующих конструкций в условиях производства.

Известные отечественные и зарубежные специализированные установки для бурения скважин большого диаметра комплектуются различными типоразмерами бурового инструмента.

С целью снижения затрат и повышения производительности процессов бурения наряду с бурением скважин большого диаметра практическое применение также получили скважины ступенчатого профиля — бурение с возможностью расширения части ствола скважины.

Целью данной работы является обобщение, систематизация и классификация известных технических средств бурения скважин большого диаметра.

Автор выражает благодарность и признательность д-ру техн. наук проф. Д.Н. Башкатову за ценные советы и замечания по рукописи книги.

Глава I

УСЛОВИЯ СООРУЖЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Скважины большого диаметра бурятся преимущественно в рыхлых мягких породах, относящихся к I—VI категориям по буримости. Диаметр скважины определяется ее назначением и может быть до 0,5 м и более.

По глубине скважины большого диаметра делятся на мелкие до 5 м, средней глубины до 25 м, глубокие 25—75 м и более.

Горно-геологические условия бурения скважин весьма разнообразны в зависимости от глубины, рельефных и гидрогеологических условий.

Буримые породы различны по своим структурам, физико-механическим свойствам, устойчивости стенок ствола скважины и редко встречаются в виде однородных пластов значительной мощности, а чаще они представляют собой перемеживающиеся прослойки.

По назначению скважины большого диаметра применяются для следующих целей: а) сооружения свайных фундаментов и опор глубокого заложения; б) сооружения подземных хранилищ нефтяных продуктов и газов; в) водоснабжения, орошения и водопонижения; г) инженерных изысканий в строительстве; д) изысканий и разведки полезных ископаемых; е) производства гидрогеологических исследований; ж) устройства кондукторов большого диаметра; з) бестраншейной укладки трубопроводов (горизонтальные скважины).

Бурение скважин для установки свайных фундаментов и опор глубокого заложения применяется с целью индустриализации строительного процесса в различных геолого-гидрогеологических условиях, в том числе в водонасыщенных грунтах, при глубоком заложении плотных и скальных пород, в условиях многолетней мерзлоты и т.д.

Буровым способом при сооружении фундаментов устанавливаются железобетонные оболочки, опоры глубокого заложения и набивные сваи.

Сборные железобетонные оболочки широко применимы как опоры с большой несущей способностью при строительстве устоев железобетонных автомобильных мостов, а также морских и речных причалов.

Железобетонные оболочки могут применяться в качестве фундаментов промышленных зданий и сооружений в сложных гидрогеологических условиях. Они подразделяются на сваи-оболочки диаметром до 2 м и колодцы-оболочки диаметром более 2 м.

Для погружения в грунт колодцев-оболочек применяются низкочастотные вибропогружатели типа ВП, ВРП, ВУ и др. [17].

Сваи-оболочки могут помимо погружения устанавливаться в предварительно пробуренные скважины.

Для снижения сопротивления погружению свай-оболочек и колодцев-оболочек применяются гидравлические способы разработки и удаления грунта из полостей оболочек. Механические способы разработки грунта применимы в полостях оболочек диаметром 1 м и более.

Наряду с колодцами и сваями-оболочками в последнее время широкое применение при сооружении фундаментов и оснований получили железобетонные сваи-опоры глубокого заложения, опускаемые в пробуренные скважины, и буронабивные сваи.

Диаметр буримых скважин для опор глубокого заложения и буронабивных свай зависит от гидрогеологических условий их применения.

Для устройства опор глубокого заложения и буронабивных свай могут быть применены вращательные, ударные, вибрационные способы бурения с креплением и без крепления стенок скважины.

Бурение скважин большого диаметра в строительстве также применяются при установке столбовых фундаментов, опор линии связи и электропередач. Для этих целей преимущественно используются специализированные буровые и бурильно-крановые установки.

Скважины на воду бурятся с целью водоснабжения населенных пунктов, животноводческих ферм, отгонных пастбищ. От величины диаметра зависит водозахватная способность скважины.

Практически установлено, что увеличение диаметра скважины в значительной степени изменяет режимные условия притока воды в скважине и тем самым обеспечивается долговременная и эффективная ее работа.

Скважины для водоснабжения бурятся в различных гидрогеологических условиях. Глубина залегания и мощность водоносных пластов также находится в широких диапазонах, например, в условиях отгонных пастбищ глубина залегания водоносных пластов может быть 50—600 м, мощность 1,5—40 м. Кроме того, часто пресные воды располагаются в непосредственной близости с высокоминерализованными пластами.

Водопонизительные скважины применяются в виде скважин, оборудованных насосами, когда использование иглофильтров затруднительно из-за больших притоков, необходимости осушения значительных площадей и стесненности территорий; самоизливающихся скважин для снятия избыточного давления в напорных водоносных горизонтах; водопоглощающих скважин, с помощью которых грунтовые воды сбрасываются в нижележащие пласты.

Основными условиями бурения скважин большого диаметра для водоснабжения и водопонижения являются: а) применение способов бурения, сводящих кольматацию фильтров к минимуму; б) применение гравийных фильтров с соответствующим для конкретного водопонижающего пласта гранулометрическим составом и достаточной мощностью (толщина обсыпки не менее 120—150 мм); в) выполнение антикоррозийных покрытий труб и фильтров каркасов или же выполнение их из нержавеющих материалов для препятствия зарастанию фильтров и коррозии.

При инженерных изысканиях в строительстве скважины большого

диаметра применяются для определения инженерно-геологических свойств грунтов, решения вопросов водоснабжения, разведки месторождений строительных материалов и др.

При гидрогеологических изысканиях следует выполнять условие, согласно которому бурение в зоне водоносного горизонта не должно изменять структуру пород, а также их фильтрационные свойства.

Гидрогеологические скважины должны иметь большие диаметры, позволяющие устанавливать в них насосное оборудование для опробования скважин опытными и опытно-эксплуатационными откачками.

Глава II

СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Для сооружения скважин большого диаметра практически применимы все способы бурения скважин, предусмотренные государственным стандартом по технологии и технике геологоразведочного бурения.

В зависимости от условий применения и назначения сооружение скважин большого диаметра включает целый комплекс операций по разрушению, транспортировке породы, креплению и оборудованию, а также ликвидации скважины.

Операция по разрушению породы является основной и необходимой для бурения скважин любого назначения.

Операции по транспортировке выбуренной породы, креплению скважины и т.д. зависят от геолого-технических условий применения, а также назначения скважины.

Основные способы бурения преимущественно классифицированы в зависимости от способа разрушения породы и подробно рассмотрены в работах [3, 5] с указанием преимуществ и недостатков, а также области применения каждого из них.

По способу разрушения породы практическое применение нашли следующие способы бурения: вращательный, ударный, ударно-вращательный, вибрационный, гидродинамический, термический, термомеханический.

В зависимости от способов удаления продуктов разрушения различают способы бурения: с прямой и обратной промывкой, продувкой, шнековый и др.

По площади разрушения забоя различают способы бурения: бескерновый, колонковый, бурение с расширением.

Кроме того, имеются также способы, характеризующие тип применяемой установки, бурового инструмента. К таким способам относятся: роторное и шпиндельное бурение, турбинное бурение, бурение электробуром, алмазное и твердосплавное бурение и др.

Существующие способы бурения по их значимости можно разделить

на главные, составляющие отдельные классы, а также на второстепенные, находящиеся в зависимости от главных. К главным способам должны быть отнесены способы, без которых не возможен процесс бурения. Это способы разрушения породы и удаления продуктов разрушения.

Существующая классификация способов бурения по отдельным признакам не может служить достаточным критерием для оценки того или иного способа.

Полнее и определеннее можно характеризовать способы бурения по двум главным признакам, например, вращательное с прямой промывкой.

В табл. 1 даны применяемые в практике бурения скважин большого диаметра сочетания способов разрушения со способами удаления продуктов разрушения.

Дальнейшая конкретизация каждого способа возможна при учете способа крепления ствола скважины в процессе бурения и других признаков.

В зависимости от геолого-технических условий различают устойчивые и малоустойчивые разрезы буримых пород. При бурении скважин большого диаметра в неустойчивых разрезах ствол скважины в зависимости от назначения и способа бурения крепят различными методами.

Технические средства для крепления ствола скважины преимущественно созданы для периодических рейсовых способов бурения.

Применительно к непрерывным способам бурения крепление ствола скважины в процессе бурения осуществляется в основном тем средством, с помощью которого производится удаление выбуренной породы с забоя, например, промывкой промывочной жидкостью, продувкой воздухом или газом и т.д.

Таблица 1

Способы разрушения породы	Способы удаления продуктов разрушения	
	рейсовые	непрерывные
Вращательный	Шнейковый, грейферный, ковшовыми бурами	Прямой промывкой, обратной промывкой, уплотнением
Ударный	Желонированием, грейферный, ковшовыми бурами	Обратной промывкой, уплотнением
Ударно-вращательный	Ковшовыми бурами	Прямой промывкой, обратной промывкой, продувкой, уплотнением
Гидродинамический		Прямой продувкой
Термический		Продувкой
Термомеханический	Ковшовыми бурами	–

Глава III

УДАРНЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ

Ударный способ бурения является наиболее эффективным и новым способом в практике бурения скважин большого диаметра при инженерно-геологических изысканиях.

Под ударным способом бурения понимается такое механическое бурение, при котором разрушение породы осуществляется за счет ударного воздействия породообразующего инструмента на породу.

Различают два вида ударного воздействия на породу: бурение с отрывом породообразующего инструмента от забоя после каждого удара — клюющий способ и бурение без отрыва от забоя в течении серии ударов — забивной способ.

При клюющем способе бурения снаряд сбрасывается с определенной высоты на забой скважины, в результате чего он внедряется в породу. Вместе с заполненной породой снаряд извлекается на поверхность. После очистки снаряд снова сбрасывается на забой.

Наполнение снаряда при клюющем способе в зависимости от плотности породы может осуществиться в течении одного или нескольких сбрасываний снаряда.

При забивном способе бурения породообразующий инструмент погружается в породу до полного наполнения за счет серии ударов, наносимых по нему ударным патроном, размещенным над забивным снарядом.

По способу передачи поступательного движения, породоразрушающему инструменту ударное бурение разделяется на ударно-канатное и ударно-штанговое.

Для бурения скважины большого диаметра преимущественное применени имеет ударно-канатное бурение.

§ 1. БУРОВЫЕ СТАНКИ И УСТАНОВКИ

В отечественной практике для бурения скважин ударным способом применяется более 20 типов буровых установок и станков.

Широкое применение получили станки и установки: УКС-22М, УКС-30М, УКС-54, УГБ-50М и др.

Наибольшие диаметры бурения станками типа УКС составляют: 600, 900, 1400 мм, установкой УГБ-50 — 850 мм.

Станки для ударного бурения комплектуются буровым инструментом, включающим ударные долота различного типа, ковшовые буры, желонки и грейферы.

Конструкции применяемых станков и установок и их технические характеристики подробно рассмотрены в работах [7, 15].

§ 2. ЗАРУБЕЖНЫЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Ударное бурение скважин большого диаметра в зарубежной практике получило широкое применение.

В качестве буровых установок используются преимущественно специализированные и универсальные установки.

Это установки фирмы "Хохштрассе-Вайсе" (ФРГ), буровые установки К 1/Т 100 народного предприятия "Бергбаймашинен-Зесхузен", станок типа 20-ТН, 50-ТН, фирмы "Като Уоркс Компани", установка ВТ-2 фирмы "Мицубиси" (Япония), установка ЕДФ-55 фирмы "Беното" (Франция) и др.

При бурении скважин большого диаметра в мягких породах с включением валунов и небольших по мощности прослоек скальных пород могут быть также использованы для ударного бурения и роторные буровые установки.

К ним можно отнести установки фирмы "Канвелд" (Великобритания), фирмы "Кейд фаундейшн" (США) и другие, в составе технологического инструмента которых имеются также ударные долота и грейферы.

БУРОВАЯ УСТАНОВКА К 1/Т 100 (ГДР)

Буровая установка К 1/Т 100 предназначена для ударноканатного бурения скважин большого диаметра в мягких и крепких породах с креплением ствола скважины обсадными трубами.

Установка снабжена гидравлическим механизмом для задавливания в породу обсадных труб с одновременным возвратно-поступательным вращением.

Техническая характеристика буровой установки К 1/Т 100

Глубина скважины , м	100
Диаметр скважины, мм	620; 1020
Привод установки	Электрический
Мощность, кВт	32
Максимальное усилие вдавливания, Н	40000
Усилие гидравлического механизма, Н	40000
Максимальное усилие для труб, Н	40000
Габаритные размеры, м:	
длина	11
ширина	3,5
высота	3,8
Масса, т	16,8

Механические скорости бурения, достигнутые установкой при бурении скважин в породах различной крепости, составляют 0,96—1,55 м/ч при диаметре скважины 1020 м.

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ 20—ТН, 50-ТН

Буровые установки 20-ТН и 50-ТН, выпускаемые фирмой "Като Уоркс Компани", предназначены для ударного и вращательного бурения скважин большого диаметра 500—1100 мм. Буровые установки самоходного типа на гусеничном ходу.

Для принудительного вращения и посадки обсадных труб установки оборудованы гидравлическим устройством. В качестве породообразующего инструмента применяются ударные долота и буровые грейферы. Техническая характеристика установок 20-НТ и 50-НТ дана в табл. 2.

БУРОВАЯ УСТАНОВКА ВТ-2

Буровые установки типа ВТ-2 фирмы "Мицубиси" предназначены для бурения скважин большого диаметра в песках, суглинках и гравийно-галечниковых отложениях ударным способом и креплением стенок скважин обсадными трубами. Установка состоит из ходовой установки, шасси, лебедки, двух двигателей, мачты и гидросистемы. Буровой инструмент установки ВТ-2 включает грейфер и инвентарные обсадные трубы.

Для посадки обсадных труб установка снабжена гидравлическим механизмом, состоящим из двух вертикально установленных гидроцилиндров.

Техническая характеристика установки ВТ-2

Глубина скважины, м	30
Диаметр скважины , мм	800—1200
Максимальное усилие извлечения обсадной трубы, Н	460000
Максимальный крутящий момент, передаваемый на обсадную трубу, Н	600000
Максимальное усилие вдавливания обсадной трубы, Н	600000
Угол поворота обсадной трубы, градус	11
Максимальное рабочее давление насосов в гидравлической системе, Па	
первого	16
второго	8,5

Таблица 2

Показатели	20-НТ	50-НТ
Глубины скважины, м	27	30
Крутящий момент при вращении обсадной трубы, Н·м	460000	1930000
Максимальное усилие, Н:		
при погружении обсадной трубы	560000	820000
при извлечении обсадной трубы	420000	630000
Угол поворота обсадной трубы, градус	17	17
Мощность дизеля, кВт	48	95

Продолжение табл. 2

Показатели	20-НТ	50-НТ
Число дизелей	2	2
Габаритные размеры в рабочем положении, мм:		
длина	7860	10300
ширина	3700	4500
высота	14500	15800
Масса станка, т	31	50

Мощность ходового дизельного двигателя, кВт	110
Мощность дизельного двигателя для привода лебедки, кВт	77
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:	
длина	10740
ширина	2495
высота	9760
Максимальная транспортная скорость, км/ч	44
Масса машины, т	19,9

БУРОВАЯ УСТАНОВКА ЕДФ-55

Буровая установка ЕДФ-55 фирмы "Беното" является наиболее распространенной и широко применяемой для бурения скважин большого диаметра ударным способом.

Установка КДФ-55 применяется при возведении фундаментов различных сооружений.

Установка комплектована буровыми грейферами различного типа, желонками и инструментом для сооружения свай с уширенной пятой.

Техническая характеристика установки ЕДФ-55

Глубина скважины, м	100
Диаметр скважины, мм	430—1200
Максимальное усилие извлечения, Н	600000
Усилие для задавливания обсадных труб, Н	100000 — 180000
Мощность дизеля установки, кВт	132
Число лебедок	2
Грузоподъемность главной лебедки, Н	25000
Грузоподъемность вспомогательной лебедки, Н	10000
Габаритные размеры установки в рабочем положении, мм :	
длина	8700
ширина	3650
высота	13500
Масса установки, т	32

Установка снабжена гидравлическим шагающим устройством для осуществления перемещения в разные стороны и поворота на площадке. Она имеет комплект двойных инвентарных труб с воздушным зазором.

§ 3. МЕХАНИЗМЫ УДАРНОГО БУРЕНИЯ

Механизмы ударного бурения в зависимости от привода подразделяются на механические, пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромагнитные и вибрационные (рис. 1).

Механизмы механического типа представляют собой кривошипно-шатунные механизмы, передающие ударное воздействие через гибкую канатную связь.

Пневматические, гидравлические и гидропневматические механизмы относятся к ударно-вращательному бурению.

Электромагнитные механизмы выполняются в виде устройств, включающих корпус с помещенными внутри силовыми обмотками и бойком.

Для повышения эффективности пробивания скважин большого диаметра Институтом горного дела Сибирского отделения АН СССР создано электромагнитное устройство, выполненное из концентрично расположенных цилиндров, между которыми расположен полый боек, взаимодействующий с обмотками, расположенными с его внутренней и наружной сторон (рис.1, *д*).

Принцип работы электромагнитных механизмов заключается в следующем.

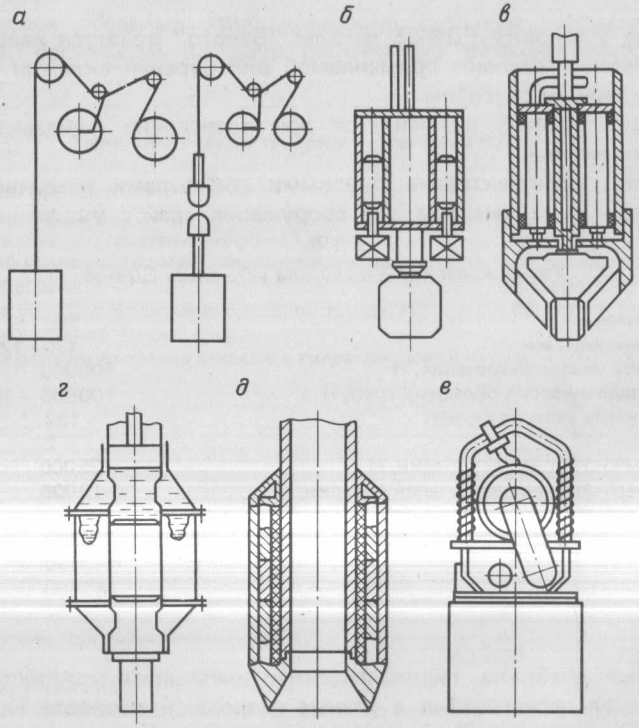


Рис. 1. Разновидности ударных механизмов:
а — механический; *б* — пневмоударный; *в* — пневмопробойный; *г* — пневмогидравлический; *д* — электромагнитный; *е* — вибрационный

При коммутации токов в обмотках прямого и обратного ходов боек совершает возвратно-поступательное движение, нанося удары по наковальне прямого хода при движении устройства вперед, а при реверсе по наковальне обратного хода.

Вибрационные механизмы в качестве механизма ударного бурения скважин большого диаметра имеют перспективное применение преимущественно в нескальных породах. Различают два вида механизмов вибрационного бурения: чисто вибрационный и виброударный.

Механизмы чисто вибрационного типа сообщают инструменту синусоидальные или другой формы колебания, а виброударные — ударные импульсы высокой частоты [15].

§ 4. БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

Буровой инструмент для ударного бурения по своему назначению делится на три группы.

1. Рабочий буровой инструмент для разрушения и извлечения выбуренной породы.
2. Инструмент для крепления и извлечения обсадных труб.
3. Ловильный (аварийный) инструмент.

В данной работе рассмотрен только рабочий инструмент применительно к бурению скважин большого диаметра.

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ РЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ

На рис. 2 схематически даны все виды применяемого рабочего инструмента при рейсовом бурении.

Это долота различных типов, инструмент с буровыми коронками, буровой стакан, желонка и грейферы различного типа.

Долота плоские, двутавровые, округляющие и крестовые предназначены для разрушения твердых и связанных пород. Разрушенная долотами порода извлекается из скважин другими видами рабочего инструмента.

Буровые коронки относятся к инструменту ударно-вращательного бурения и применяются в качестве породоразрушающего инструмента преимущественно в устройствах с пневматическими, гидравлическими ударными механизмами для бурения в крепких породах. Буровые стаканы предназначены для бурения скважин в глинистых и суглинистых породах с включением мелкой гальки.

Буровой стакан представляет собой отрезок обсадной трубы, нижняя часть которой имеет заточки или снабжена башмаком, а к верхней закреплена вилка.

Для облегчения очистки стакана в трубе выполнены продольные окна. Желонки служат для очистки скважин из разбуренной породы и для непосредственного бурения в песках, глинах средней плотности.

Желонка в сравнении с буровым стаканом имеет клапан. Преимущественное применение для бурения скважин большого диаметра получили желонки с двустворчатым клапаном.

Грейферы в качестве бурового инструмента получили широкое при-

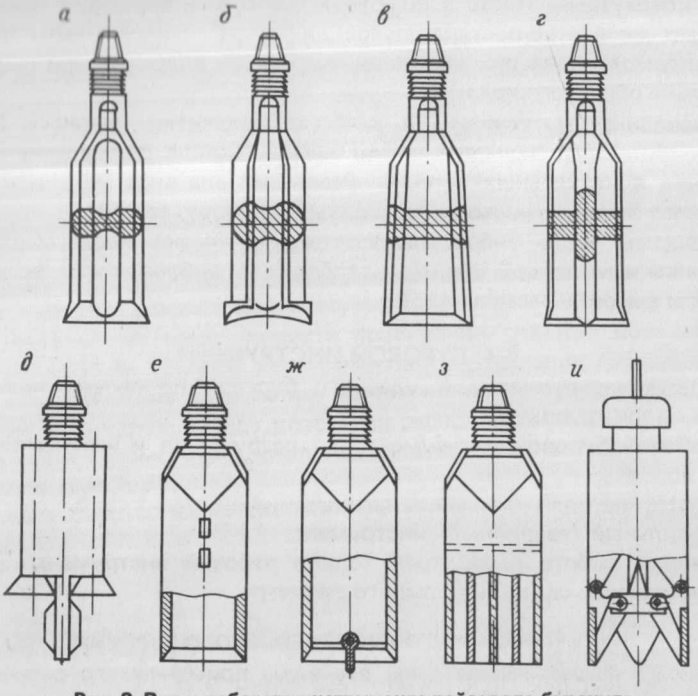


Рис. 2. Виды рабочего инструмента рейсового бурения:
а, б, в, г — долота (плоское, двутавровое, округляющее, крестовое); *д* — буровые коронки; *е* — буровой стакан; *ж* — желонка; *з* — грейфер ячеистый; *и* — грейфер челюстный

менение для бурения скважин большого диаметра в различных отложениях, в частности песчано-глинистых с включением обломочного материала, плотных и трещиноватых сланцах, известняках и др.

Основным назначением грейфера является захват и удержание обрабатываемого предмета.

В буровом деле грейферы, кроме основного своего назначения, также используются для разрушения породы. Существует несколько разновидностей грейферов.

В зависимости от конструкции захватывающего органа различают грейферы с подвижным и жестким захватывающим органом.

Грейферы с жесткими захватывающими органами конструктивно выполняются в виде забивного стакана, снабженного внутренними ребрами, служащими для резания и удержания породы. Такие грейферы также называются грейферами ячеистого типа, и служат они в основном для извлечения грунта из внутренних полостей трубчатых свай и колодцев-оболочек, а также могут применяться в качестве бурового инструмента в плотных и влажных грунтах (в тяжелых суглинках, глинах и т.д.).

В качестве ударного механизма в грейферах ячеистого типа применяются вибраторы. Для обеспечения извлечения водонасыщенных грунтов грейферы выполняются с поперечной перфорированной перегородкой.

В качестве такого грейфера на рис. 2, *з* дан грейфер конструкции Всесоюзного научно-исследовательского института гидромеханизации, санитарно-технических и специальных работ.

Предложенный грейфер работает следующим образом.

При включении вибратора корпус грейферов погружается в водонасыщенный грунт. После заполнения грунтом нижней полости поперечная перфорированная полость начинает уплотнять грунт, отжимая содержащуюся в нем воду через отверстия в верхнюю полость.

Обезвоженный таким образом грунтовый керн извлекают с подъемом грейфера. Для разгрузки грейфера включается вибратор. При этом в начале высыпается грунтовый керн, а затем выливается вода.

Грейферы с подвижными захватными органами состоят из челюстей, корпуса с талевой системой и механизмом закрывания челюстей.

Челюстные грейферы обеспечивают бурение в отложениях с включением гальки и валунов размером до 500 мм без предварительного разрушения.

При бурении в более плотных породах и необходимости разрушения скальных прослоек и валунов, челюстные грейферы могут быть использованы как ударный инструмент. Для этого челюсти грейфера блокируются в открытом положении с помощью замка, предотвращающего натяжение каната в талевой системе. Блокировочный замок может быть использован также при замене челюстей грейфера.

В зависимости от крепости буримых пород грейферы могут оснащаться челюстями различной формы и назначения [4].

При бурении в рыхлых увлажненных отложениях грейферы снабжаются двухчелюстным захватом с полусферическими герметически закрывающимися челюстями. В глинистых породах применимы полусферические челюсти с острыми режущими кромками.

В валунно-галечниковых отложениях используется захват с двумя челюстями, снабженными двумя-тремя зубьями, облегчающими внедрение челюстей в зазоры между обломками породы.

Для бурения сланцев, известняков, мергелей применяется захват с тремя-четырьмя короткими челюстями, способными выдерживать высокие динамические нагрузки.

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО БУРЕНИЯ

Наряду с рейсовыми способами извлечения выбуренной породы с забоя известны также способы непрерывного выноса выбуренной породы, в частности с помощью обратной промывки.

Такой способ ударного бурения нашел применение при разработке и удалении грунта из свай-оболочек, применяемых для устройства оснований мостовых опор и других сооружений.

Буровой инструмент для непрерывного бурения включает долото, буровую и эрлифтную колонны и привод.

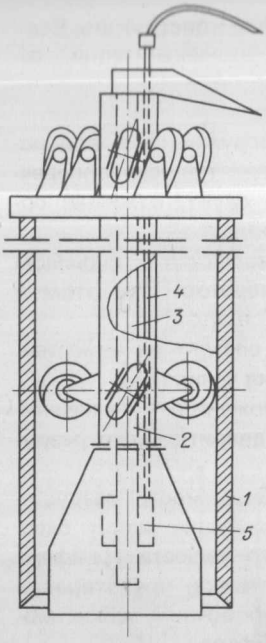


Рис. 3. Инструмент непрерывного бурения

На рис. 3 показан буровой инструмент непрерывного бурения, предложенный И.С. Адашевым и В.Е. Олешкевич.

С целью уменьшения ударных нагрузок и обеспечения равномерной разработки забоя привод устройства выполнен с колесами, имеющими пневматические баллоны, установленные под углом к вертикальной оси колонны.

Ударным долотом и разрабатывается грунт в свае-оболочке *1*, долото прикреплено стыком к стальной колонне *2* трубчатого сечения, состоящего из отдельных секций. Каждая отдельная секция колонны имеет внутри встроенную трубу эрлифта *3* и трубу *4*, подводящую сжатый воздух к распределительной коробке *5* эрлифта. Для герметичности стыкования труб в стыках колонны устанавливаются резиновые прокладки.

При включении привода колонна с долотом поднимается и одновременно поворачивается на некоторый угол. При отключении привода долото с колонной возвращается с ударом на забой, затем операция повторяется. В процессе работы периодически или непрерывно подается в эрлифт воздух от компрессора и производится очистка забоя.

Глава IV

ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Вращательный способ бурения является наиболее распространенным способом.

Согласно общей классификации вращательный способ охватывает большинство технологических способов непрерывного и рейсового бурения скважин большого диаметра.

§ 1. ШНЕКОВОЕ БУРЕНИЕ

Шнековое бурение применяется преимущественно для опробования и разведки, отбора образцов с ненарушенной структурой в мягких и твердых породах, сооружения неглубоких шурфов, колодцев и др.

Шнековым способом возможно бурение при непрерывном и рейсовом удалении выбуренной породы со скважины.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ШНЕКОВОГО БУРЕНИЯ

Шнековое бурение осуществляется целым рядом буровых и специализированных станков и установок. К ним относятся серийно выпускаемые бурильно-крановые машины, применяемые преимущественно для бурения скважин под столбовые фундаменты, а также специализированные установки шнекового бурения типа УШБ и КБУ, применяемые для бурения шурфов и колодцев.

Среди бурильно-крановых машин широкое применение получили машины МРК-1А, БКГМ-66-2, БКГМ-66-3 и Д-578.

Краткие характеристики установок приведены в табл. 3.

В зарубежной практике для шнекового бурения применяются более 30 типов станков и установок [11].

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ С НЕПРЕРЫВНЫМ УДАЛЕНИЕМ ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЫ

Буровой инструмент для бурения скважин большого диаметра с непрерывным удалением выбуренной породы с забоя был предложен Е.Г. Меерсоном.

Буровой инструмент (рис. 4) состоит из забурника *1* в виде ложки, над которым расположены расширители *2*, последовательно расширяющие скважину до необходимого диаметра. Вращение всего бурового снаряда осуществляется трубчатой колонной *3*, внутри которой размещен шнек *4* для транспортировки породы с забоя на поверхность. Шнек вращается со скоростью в несколько раз большей, чем колонна, в результате чего обеспечивается уборка породы с забоя и бурение всухую. Разбуренная расширителями порода сначала попадает на забой, а затем выдается на поверхность при помощи шнека.

В дальнейшем буровой инструмент для непрерывного шнекового бурения был совершенствован В.Я. Беспаловым.

Таблица 3

Наименование установки	Максимальный диаметр бурового инструмента, мм	Глубина, м	Тип вращателя	Транспортная база	Подача инструмента
МРК-1А	650	3,5	Роторный	ЗИЛ-157	Канатно-гидравлическая
БКГМ-66-2	500	2	То же	ГАЗ-63А	Гидравлическая
БКГМ-66-3	500	3	—"—	ГАЗ-66А	То же
Д-578	500	1,7	—"—	"Беларусь" МТЗ-58Л	—"—
УШБМ-16	1200	15,80	Подвижный	ЗИЛ-131	Свободная
КБУ-15	1200	15,50	То же	ЗИЛ-131	Гидравлическая

Инв. №

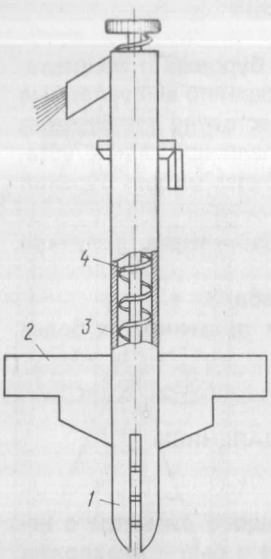


Рис. 4. Инструмент шнекового бурения

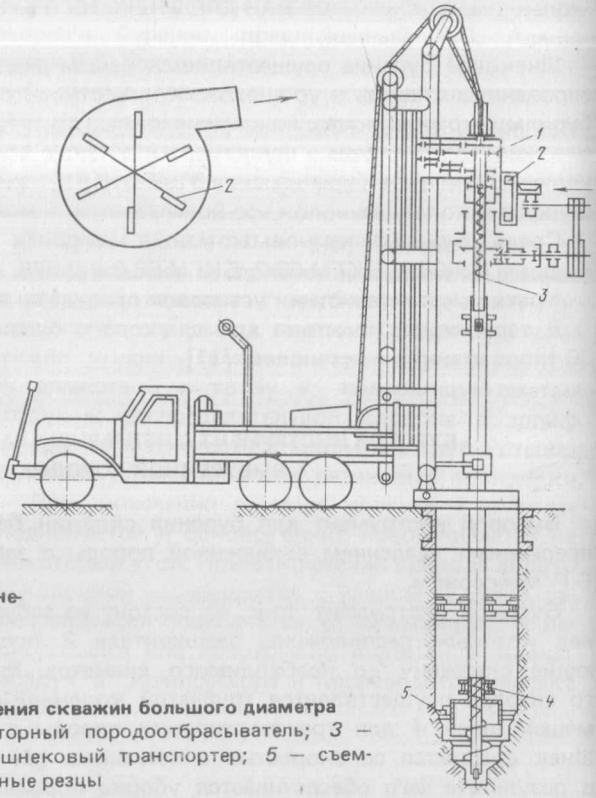


Рис. 5. Станок для бурения скважин большого диаметра
1 — вращатель; *2* — роторный породоотбрасыватель; *3* — наружная колонна; *4* — шнековый транспортер; *5* — съемные резцы

Буровой инструмент также состоит из колонны бурильных труб и шнекового снаряда.

В отличие от предыдущего изобретения в данной конструкции шнековый снаряд и колонна бурильных труб вращаются в противоположном направлении. Кроме того, в качестве породообразующего инструмента снаряд снабжен коническим шнеком, что повышает эффективность бурения. Комплект бурового инструмента применяется для бурения скважин диаметром до 1200 мм глубиной до 50 м. Средняя механическая скорость бурения в мягких породах доходит до 2 м/ч.

С целью дальнейшего повышения механической скорости бурения Е.И. Тановым, С.Г. Лучиным и В.А. Керимовым был предложен станок (рис. 5), позволяющий механизировать процесс транспортировки породы от устья скважины с помощью роторного породоотбрасывателя.

Данный станок нашел практическое применение при сооружении скважин вертикального дренажа на глубину до 80 м при диаметре скважины 1200 мм.

Достигнутая максимальная механическая скорость бурения в породах I—IV категорий по буримости составила 3,5 м/ч.

В связи с большей энергоемкостью и сравнительно невысокими механическими скоростями непрерывный способ бурения шнековым инструментом в настоящее время получил практическое применение преимущественно для бурения неглубоких скважин, в частности под свайные фундаменты.

В качестве примера дана принципиальная схема устройства для бурения скважин под свайные фундаменты, созданного Днепропетровским филиалом Научно-исследовательского института строительного производства (рис. 6).

Устройство смонтировано на базе экскаватора *1*. Закрепление копровой стрелы *2* производится по типу крепления стрелы известных свайных агрегатов на базе экскаватора. Копровая стрела представляет собой стальную ферму (трубу), на которой по оси закрепляются вертикальные направляющие.

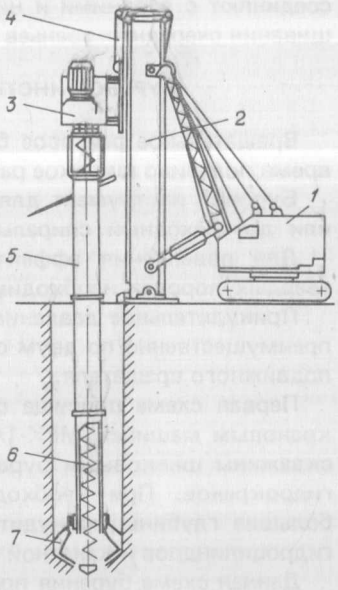


Рис. 6. Устройство для бурения скважин под сваи

На направляющие устанавливается каретка с приводом *3*. Возвратно-поступательное движение каретки по направляющим стрелам осуществляется при помощи подъемной лебедки экскаватора, трос которой в верхней части закреплен в полиспасте *4*.

В нижней части каретки крепится бурильная труба *5*, внутри которой расположен шнек *6*. На нижней части бурильной трубы шарнирно закреплен разрабатывающий грунт рабочий орган *7*.

Бурильная труба выполнена в виде круглой колонны из отрезков металлических труб. Самая верхняя труба в колонне бурильных труб имеет окна и фланец, которым она крепится к одному из валов привода. Шнек состоит из набора штанг, выполненных из металлической трубы и приваренных к ней винтовой спиралью.

Работу с помощью устройства начинают с выверки копровой стрелы на заданное направление. Затем устанавливают рабочий орган *7* на размер требуемого диаметра скважины. Включают электродвигатель привода вращений трубы и шнека. Собранная бурильная колонна труб с расположенным внутри нее шнеком опускается при помощи каретки к центру скважины. Приведенный во вращение бурильной трубой рабочий орган начинает разрабатывать грунт, подает его в процессе резания к центру скважины. Одновременно от привода начинает вращаться шнек, который, находясь в трубе, поднимает разработанный грунт наверх для подачи его через окна в лоток.

После углубления на длину, равную длине хода каретки по копровой стреле, отсоединяют шнек и трубу, а каретку с приводом поднимают. В освобожденную зону заводят очередные звенья шнека и трубы. Их

соединяют с верхними и нижними концами шнека и трубы. После наращивания очередных звеньев бурение продолжают.

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕЙСОВОГО БУРЕНИЯ

Вращательное рейсовое бурение шнековым инструментом в последнее время получило широкое распространение.

Буровой инструмент для рейсового бурения представляет собой одно- или двухзаходный спиральный бур, подвешенный к бурильной трубе.

Для повышения эффективности шнекового бурения в плотных и твердых породах необходимо сообщать принудительное давление на бур.

Принудительное давление на инструмент рейсового типа производится преимущественно по двум схемам: канатно-гидравлической и с помощью подвижного вращателя.

Первая схема присуща специализированным бурильным и бурильно-крановым машинам МРК-1А, БМ-2, БКГМ-66, этими установками бурят скважины шнековыми бурами с принудительным давлением с помощью гидрокранов. При необходимости бурение скважин на сравнительно большие глубины принудительное давление осуществляется с помощью гидроцилиндров и канатной передачи.

Данная схема бурения применяется также в модернизированных серийно выпускаемых установках типа УРБ-3АМ, 1БА-15В.

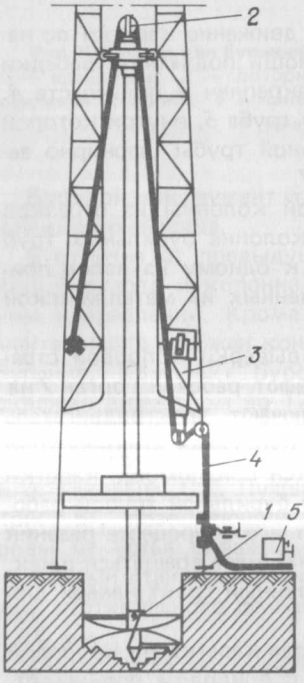


Рис. 7. Шнековый буровой инструмент

На рис. 7 показан шнековый буровой инструмент, предложенный трестом Востокбурвод, с принудительным давлением канатно-гидравлического типа.

Данный инструмент используется начиная с 1972 г. для бурения шурфов без промывки в мерзлых, талых и насыпных грунтах.

Буровой инструмент включает шнековый бур *1*, вертлюг с поддерживающим роликом *2*, гидроцилиндр *3*, канат *4* и гидропанель *5*.

Средняя механическая скорость бурения данным инструментом при диаметре бура 1250 мм и осевой нагрузке 4000–70000 Н, м/ч:

В мерзлых грунтах (суглинок)	0,6 – 2
В талых грунтах (суглинок)	1,5 – 3,5
В талых грунтах (песок)	2,0 – 5

Вторая схема может быть отнесена к станкам шнекового бурения с подвижным вращателем типа УШБ-16, КБУ-15 и др.

На рис. 8 дан шнековый бур конструкции Управления геологии Совета Министров ТССР [12].

Шнековый бур *3*, подвешенный шарнирно-

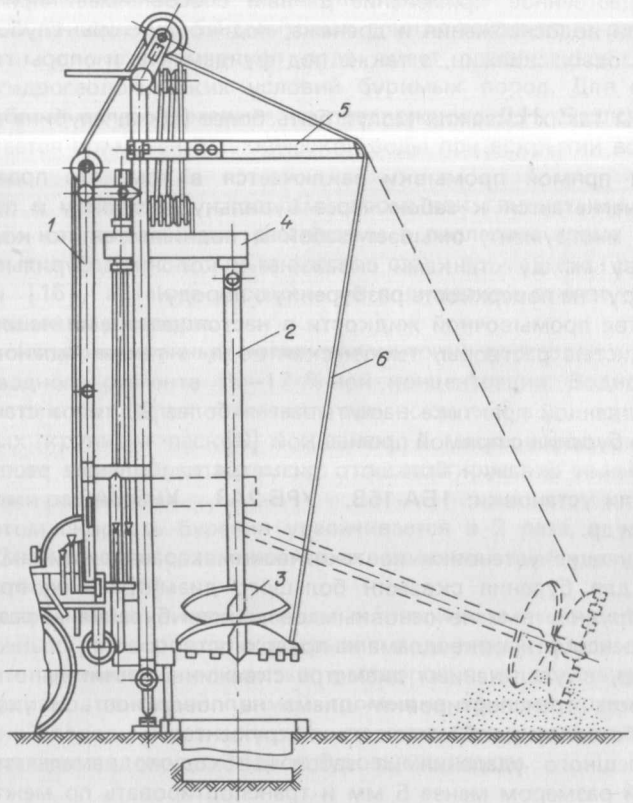


Рис. 8. Шнековый бур:
1 — мачта; *2* — бурильная труба; *3* — шнековый бур; *4* — вращатель; *5* — кронштейн; *6* — канат

к шпинделю вращателя *4* вращением и принудительным давлением за счет веса вращателя внедряется в буримую породу на глубину рейса 0,5—0,7 м, после чего производится подъем наполненного выбуренной породой шнека над устьем, зацепляется к нему канат *6*, перекинутый через кронштейн, и производится спуск вращателя. При этом шнековый бур *3* перемещается от устья и одновременно разгружается.

Данная схема нашла применение при бурении шурфов глубиной до 15 м и бурении под кондуктор скважин большого диаметра для водопонижения и водоснабжения и др.

Средняя механическая скорость бурения шнеками диаметром 1000 мм при весе подвижного вращателя 7500—10000 Н в мягких породах достигает 4,5 м/ч.

§ 2. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ С ПРЯМОЙ ПРОМЫВКОЙ

Вращательное бурение скважин большого диаметра с прямой промывкой в настоящее время является наиболее распространенным способом.

Преимущественное применение данный способ имеет при бурении скважин для водоснабжения и дренажа, под кондукторы глубоких нефтяных и газовых скважин, а также под фундаменты и опоры глубокого заложения.

Диаметры таких скважин могут быть более 0,5 м, глубина до 600 м и более.

Принцип прямой промывки заключается в том, что промывочная жидкость нагнетается к забою через бурильную колонну и породоразрушающий инструмент, омывает забой и поднимается по кольцевому пространству между стенками скважины и колонной бурильных труб, транспортируя на поверхность разбуренную породу.

В качестве промывочной жидкости в настоящее время нашли применение глинистые растворы, техническая вода, а также гипановые растворы.

В отечественной практике насчитывается более 20 типов станков вращательного бурения с прямой промывкой [3].

Для бурения скважин большого диаметра наибольшее распространение получили установки: 1БА-15В, УРБ-2А3, УРБ-3А2, УВБ-600, ЗИФ-650М и др.

Существующие установки по техническим характеристикам не предназначены для бурения скважин большого диаметра и их применение связано с трудностями по основным операциям бурения — разрушению породы и транспортировке шлама на поверхность.

Например, с увеличением диаметра скважины значительно уменьшается скорость транспортировки шлама на поверхность и ухудшаются условия работы породообразующего инструмента.

Для успешного удаления из забоя необходимо измельчать породу до фракций размером менее 5 мм и транспортировать по межтрубному пространству со скоростью не менее 0,25—0,5 м/с.

В качестве буровых насосов нашли применение насосы 9 ГР, 11 ГР, 11 ГРБ, подача которых 17 л/с и 5 л/с соответственно.

Для бурения скважин большого диаметра с прямой промывкой применяются в основном составные долота шарошечного типа.

Средняя сменная производительность бурения скважин установками вращательного типа в 3—5 раз превышает производительность ударного бурения и 1,5—2 раза производительность шнекового бурения.

Применение глинистого раствора, который в качестве промывочной жидкости нашел наибольшее распространение, имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от назначения буримой скважины и условий бурения.

Глинистым раствором можно регулировать давление на стенки скважин и тем самым исключить прихваты инструмента и обрушивания ствола скважины.

С помощью глинистого раствора можно сокращать до минимума поглощение промывочной жидкости в процессе бурения.

В то же время применение глинистого раствора вызывает кольматацию водоносных горизонтов и требует дополнительных затрат на производство промывок при бурении скважин на воду и водопонижении.

Применение технической воды для промывок позволяет исключить затраты по применению бентонитовых глин, а также по разглинизации скважины, однако техническая вода имеет ограниченное применение в силу гидрогеологических условий буримых пород. Для скважин на воду наиболее целесообразным, по предложению Д.Н. Башкатова и других, считается применение технической воды при вскрытии водовмещающих пород.

Наряду с известными способами промывок глинистыми, меловыми и другими коллоидальными растворами в последнее время в практике для вскрытия водонасыщенных пластов стали применяться распадающие растворы [16], а также растворы на полимерной основе, в частности водно-гипановые растворы.

Гипан (гидролизованный полиакрилонитрин) поставляют в цистернах в виде водного реагента 15—17 %-ной концентрации. Водно-гипановые растворы рекомендуется применять при вскрытии водоносных пластов, сложенных крупным песком и гравием, а также породами, дающими при бурении крупный шлам, плохо транспортируемый водой или малоглинистыми растворами.

При этом скорость бурения увеличивается в 2 раза, а удельные дебиты в 2—4 раза по сравнению со скважинами, пробуренными глинистыми растворами [18].

Использование технической воды и различных высокоэффективных промывочных растворов для вскрытия водоносных пластов позволяет ограничить применение глинистых растворов с их вредными последствиями, однако присущий прямой промывке принцип транспортировки выбуренной породы через кольцевое пространство скважины не исключает кольматацию водоносных пород буровым шламом.

§ 3. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

Начиная с 60-х годов в нашей стране наряду с применением ударного и вращательного с прямой промывкой способов бурения так же используются вращательный способ бурения с обратной промывкой забоя водой.

Бурение с обратной промывкой преимущественно применяется при сооружении скважин большого диаметра для водоснабжения, водопонижения, устройства свай, фундаментов и других объектов.

Основные преимущества скважин большого диаметра — это возможность получения высокого дебита и обеспечения долговременной работы сооруженной скважины.

Область применения данного способа бурения ограничена следующими условиями.

1. Для обеспечения устойчивости ствола скважины статический уровень подземных вод должен находиться не выше 3 м от поверхности.

2. Сооружение скважин с обратной промывкой — скоростной способ, требующий большого расхода промывочной жидкости, производится на участках, где возможно получить сравнительно за короткое время значительное количество воды.

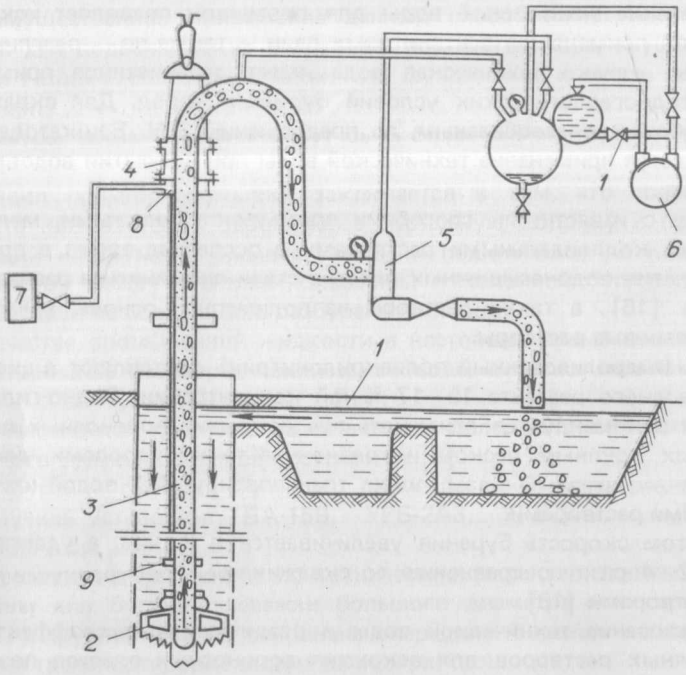


Рис. 9. Схема бурения скважин с обратной промывкой

3. Для успешного бурения необходимо, чтобы скважины сооружались на участках, где в отложениях отсутствуют валуны размером более 0,4 м.

4. Литологический разрез должен быть представлен осадочными породами I—IV категорий по буримости.

В настоящее время известно несколько систем обратной промывки, которые в зависимости от схемы гидравлического контура можно подразделить на две большие группы.

1. Система с выходом на поверхность обратного потока промывочной жидкости.

2. Система с внутрискважинной обратной циркуляцией промывочной жидкости без выхода ее на поверхность.

Для бурения скважин больших диаметров применяется система с выходом обратного потока промывочной жидкости на поверхность. Диаметр буримых скважин может достигать 4500 мм при глубине бурения до 100 м, а при бурении на глубину 500 м возможен диаметр бурения 500 мм. При этом производительность бурения по рыхлым породам достигает 180 м/смену.

Наибольшее распространение получило бурение с обратной циркуляцией, возбуждаемой путем откачки промывочной жидкости из колонны бурильных труб центробежными насосами и эрлифтом.

Обобщенная принципиальная схема бурения с обратной промывкой приведена на рис. 9.

Промывочная жидкость из отстойника *1* поступает в ствол скважины самотеком, омывает долото *2* и с разработанной породой всасывается в бурильную колонну *3* через вертлюг *4* с помощью центробежного *5* и вакуумного *6* насосов при всасывающем бурении.

При бурении эрлифтом выбуренная порода транспортируется за счет разности масс пульпы в бурильной колонне *3* и промывочной жидкости в затрубном пространстве с помощью сжатого воздуха, подаваемого компрессором *7* через вертлюг *8* к смесителю *9*.

УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

За последние годы ряд крупных зарубежных фирм организовал серийный выпуск специальных установок для бурения скважин с обратной промывкой. Например, только десятью различными фирмами США и ФРГ выпускается более 30 типов таких установок [11].

Установки для бурения с обратной промывкой также серийно выпускаются предприятиями ГДР и Румынии. Технические данные некоторых установок приведены в табл. 4. Как следует из табл. 4, показатели специализированных буровых установок находятся в широком диапазоне значений.

Установка для бурения скважин глубиной 100—400 м и диаметром 260—1500 мм расходует мощность 22—110 кВт, при этом обеспечивается частота вращения инструмента в диапазоне 0—75 об/мин.

Большие значения чисел оборотов соответствуют установкам с малым диаметром бурения.

Применяемые установки имеют свободную подачу инструмента с двух или трех барабанных лебедок с индивидуальным включением барабанов. Большинство установок смонтировано на двуосных или седельных прицепах. Масса установок составляет 12—22 т.

Большинство установок комплектуется вращателями роторного типа. Роторы некоторых установок выполняются с диаметром отверстия 800—1100 мм для обеспечения свободного спуска обсадных труб и забойного инструмента.

При меньших значениях диаметра отверстия ротора (300—400 мм) во время спуска обсадных труб и смены породоразрушающего инструмента ротор отводится от устья.

Наряду с роторными установками практическое применение за рубежом нашли также установки с подвижным вращателем.

Привод бурового инструмента в таких установках чаще всего осуществляется с помощью гидравлического двигателя.

Бурение скважин большого диаметра с обратной промывкой в нашей стране производится в основном модернизированными буровыми установками — 1БА-15В, УРБ-3АМ, УРБ-2А, УКС-22М, УКС-30М, УЩБМ-1,6, а также специализированной установкой УВД-100 (СКБ ВПО "Союзгеотехника" МГ СССР) и 1БА-15К.

Краткая техническая характеристика установок дается в табл. 5.

Буровой агрегат 1БА-15К в настоящее время готовится к серийному

Таблица 4

Показатели	"Зальцгиттер машинен" (ФРГ)			"Вирт" (ФРГ)		"Стандрил Кейтом Фпанс" (США)		"Винтер вейс" (США)	ГДР	Румыния
	5-300	Р-150	Р-200	СНц	Т-3	30-50 Хинд-ринг	С-102	Р-102 Пор-тад	К-2/100	FA-12
Глубина бурения, м	350	180	200	400	500	180	180	225	100	250
Диаметр скважины, мм	500-1500	450-1200	457-1210	1500	1000	460-1520	460-1520	1524	260-650	445
Мощность привода, кВт	41	44	41	110	88	29	59	29	22	44
Подача насосов, л/мин:	8000	4000	4000	Компрессор, водо-		2400	4000	3800	1600	4000
всасывающего				струйный насос						
вакуумного	1500	1500	1500	—	—	—	—	—	660	1500
Диаметр проходного отверстия ротора,мм	1100	300	300-1520	—	762	787	787	762	680	300
Частота вращения ротора, об/мин	6-74	0-55	0 — 20, 30, 42 60,35	—	8,16,32	5,11,10, 23,4	8-55	85-16, 28, 47, 73 реверс 115	6,11	18,28,40 реверс 6
Тип подачи	Сводная с тормоза лебедки									
Высота вышки или мачты от стола ротора до оси кронблока, м	13	15,5	11,9	15	18,5	9	12	8,2	11	11
Нагрузка на кронблок, Н	320000	200000	240000	500000	400000	120000	270000	150000	125000	125000
Диаметр бурильных труб, мм	216	150	147	200	112,5	150	150	155	114	154
Масса установки, т	14	13,2	11	22,8	—	6,5	12	—	11	16,6

Таблица 5

Показатели	1БА-15В	УРБ-3ММ	УРБ-2А	2КС-22М	УКС-30М	УВД-100	УЩБМ-16
Глубина бурения, м	100	100	50	150	200	150	100
Диаметр скважины, мм	450-1120	450—1120	450—1120	450—1120	450—1120	920—1320	450—1120
Мощность привода, кВт	77	40	44	34	40	45	77
Подача насосов, л/мин:							
всасывающего	1500	1500	—	—	—	1500	1500
вакуумного	4000	4000	—	—	—	4500	4500
Диаметр проходного отверстия раствора, мм	510	250	250	310	385	1400	—
Частота вращения ротора, об/мин	20,35 65	46	10,20,30, 40,50,65 90, 100, 126	20	40,80	10,20, 85,45	15,30, 40,60 80
Тип подачи	Свободная		С тормоза лебедки				
Высота вышки от ствола ротора до оси кронблока, м	15,5	13,5	9,5	11	14,2	14,7	11
Грузоподъемность, т	12	10	2,5	12	25	18	16
Диаметр бурильных труб, мм	114 168	114 168	114 —	168 —	168 219	168 219	146 168
Масса установки, т	14	13,56	10,05	7,6	12,7	28	11

выпуску. Агрегат смонтирован на шасси автомашины МАЗ-500А и прицепе МАЗ-5207В.

Предназначен для бурения скважин диаметром до 1300 мм роторным способом с обратной промывкой забоя, может применяться также для бурения с прямой промывкой.

Грузоподъемность агрегата 12,5 и 20 т. Обратная промывка осуществляется двумя способами: всасыванием и эрлифтом. Ротор откидного типа с проходным отверстием диаметром 410 мм, снабжен понижающим редуктором. Частота вращения ствола ротора 8—245 об/мин.

Агрегат комплектован вертлюгом комбинированного типа с проходным отверстием диаметром 150 мм. Буровой инструмент фланцевого типа с проходным отверстием 150 мм и длиной 5 м.

В комплект агрегата также входят гидроэлеватор, поддолотный утяжелитель, сварочный трансформатор и автоприцеп с бурильными трубами и механизмом для разгрузки и погрузки.

Для работы эрлифтом агрегат снабжен компрессорно-силовым блоком.

Буровая установка УЩБМ-16 конструкции В.Я. Беспалова до модернизации предназначалась для бурения сейсмических и структурно-поисковых скважин.

Модернизация установки была выполнена по двум схемам с применением центробежного насоса и эрлифта.

Для бурения по схеме с использованием центробежного насоса был применен всасывающий насос 5ГР-8 с напором 33 м. Насос размещен на раме установки с приводом от первичного вала распределительной коробки через карданную передачу. Для создания вакуума по этой схеме используется ходовой двигатель установки.

Вакуумная система включает подключаемые нагнетательные шланги к всасывающему коллектору ходового двигателя, вентили и вакуумметр. В качестве всасывающих рукавов были применены резинотканевые рукава с металлическими спиралями.

По схеме с применением эрлифта используется компрессор ДК-9.

При разработке вращателя для модернизированной установки УШБМ-16 ставились задачи понизить частоту вращения шпинделя, увеличить расстояние между осями ведущего вала и шпинделя, а также выполнить шпиндель полым.

НАВЕСНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Установки для бурения с обратной промывкой необходимо комплектовать буровым инструментом, включающим вертлюг, ведущую и бурильные трубы; породоразрушающий инструмент и вспомогательный инструмент с вращателем.

Вертлюги (рис. 10) в зависимости от схемы обратной циркуляции подразделяются на вертлюги для бурения с применением центробежного насоса, вертлюги-приставки для бурения с эрлифтом и комбинированные вертлюги для бурения с применением центробежного насоса и эрлифта.

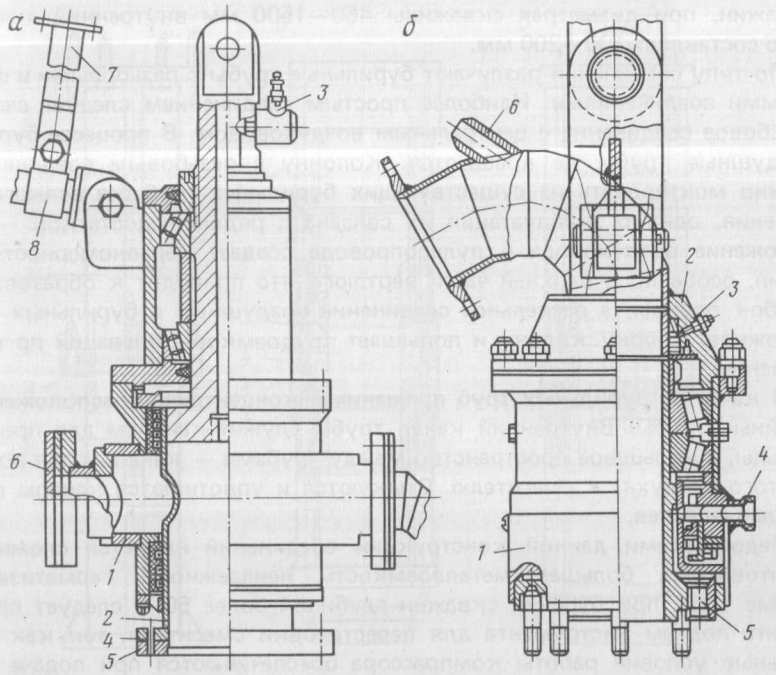


Рис. 10. Вертлюги:

а — применительно к станкам с подвижным вращателем: *1* — корпус; *2* — вал; *3* — штуцер; *4, 5* — фланец; *6* — крышка; *7* — стойка; *8* — кулисный механизм; *б* — комбинированный: *1* — корпус; *2* — крышка; *3* — сальник; *4* — штуцер для ввода сжатого воздуха; *5* — манжета для подачи воздуха; *6* — штуцер для подключения вакуумного насоса

Наиболее упрощенная конструкция у вертлюга с центральным расположением воздушной трубы. Но его применение ограничено и целесообразно лишь в рыхлых отложениях с включением гравия и гальки малых размеров (20—30 мм).

Большое применение получили вертлюги комбинированные (рис. 10, *б*).

Для установок с подвижным вращателем вертлюг-сальник выполнен с учетом большого проходного сечения и шарнирного крепления к шпинделю вращателя (рис. 10, *а*).

Ведущие трубы в станках с роторным вращателем соединяются непосредственно с вертлюгом, передавая вращение всей бурильной колонне и породоразрушающему инструменту. По конструктивному исполнению ведущие трубы могут быть: квадратные, цельнотянутые с проходным отверстием 100×100 или 150×150 с толщиной стенок 8 мм; сварной конструкции, выполненные из бурильных труб с наваренными швеллерами или уголками и воздуховодами.

Трубы для бурения с обратной промывкой различают по диаметру и по типу соединения. Диаметр бурильных труб зависит от диаметра

скважин, при диаметрах скважины 450—1500 мм внутренний диаметр труб составляет 100—200 мм.

По типу соединения различают бурильные трубы с резьбовыми и фланцевыми соединениями. Наиболее простым соединением следует считать резьбовое соединение с центральным воздуховодом. В процессе бурения воздушные трубы не вращаются. Колонну с резьбовым соединением можно монтировать из существующих бурильных труб без всякого изменения, однако эксплуатация их связана с рядом недостатков — расположение воздуховода в пульпопроводе создает неравномерность сечения, особенно в верхней части вертлюга, что приводит к образованию пробок породы, а раздельное соединение воздушных и бурильных труб осложняет сборку колонн и повышает трудоемкость операций по наращиванию.

В качестве бурильных труб применимы концентрично расположенные двойные трубы. Внутренний канал трубы служит каналом для прохода пульпы, а кольцевое пространство между трубами — каналом для подачи сжатого воздуха к смесителю. Стыкуются и уплотняются каналы с помощью фланцев.

Недостатками данной конструкции соединений является сложность изготовления, большая металлоемкость, ненадежность герметизации. Кроме того, при бурении скважин глубиной более 50 м следует производить подъем инструмента для перестановки смесителя, так как нормальные условия работы компрессора обеспечиваются при подаче воздуха в бурильные трубы на глубине 30—40 м.

Бурильные трубы с внутренним расположением воздуховода и двойная колонна труб применялась в начальной стадии использования обратной промывки.

Преимущественное применение получили бурильные трубы с внешним расположением воздушных труб.

Из известных конструкций можно отметить бурильные трубы с фланцевым соединением и быстросъемным соединением (рис. 11).

Бурильные трубы с фланцевым соединением (рис. 11, *а*) состоят из фланцев *1* с закрепленными болтами *2*. Фланцы приварены к бурильным трубам *3*. Герметизация соединения осуществляется прокладкой *4*, а шрифты *5* служат для упрощения и облегчения наращивания. Воздушные трубы *6* приварены к фланцам.

Существенным недостатком фланцевых соединений бурильных труб является сложность, большая трудоемкость процесса наращивания.

На процесс наращивания бурильных труб с фланцевым соединением расходуется большая часть баланса времени на бурение.

Бурильные трубы с коническим резьбовым соединением (рис. 11, *б*) состоят из труб и воздушных патрубков *2*, замков с конической резьбой *3, 4*, кольцевыми *5* и продольными каналами *1* для воздуха.

Недостатком данных бурильных труб является ненадежность герметизации и невозможность включения обратного вращения инструмента.

Бурильные трубы с быстросъемными соединениями конструкции

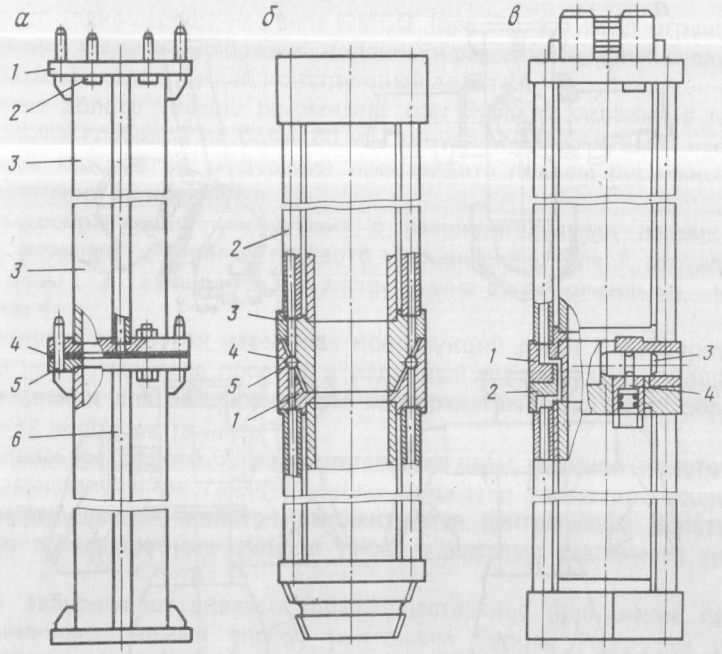


Рис. 11. Бурильные трубы

"Туркменсельхозводопровод" (рис. 11, *в*) включает муфту *1* и ниппель *2* Ниппель имеет каналы для воздуха и два концентрически расположенных пояска, снабженных уплотнительными кольцами. Крутящий момент передается с помощью четырех пальцев, а осевая нагрузка воспринимается пальцами *3*, фиксация которых обеспечивается подпружиненными фиксаторами *4*.

Бурильные трубы с быстросъемными соединениями сложны в изготовлении, но использование их облегчает более чем вдвое ускорить спускоподъемные операции.

ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

В качестве породоразрушающего инструмента при бурении с обратной промывкой используются различные типы долот: эксцентричное ЮМБО, лопастное Цублино, крестообразное ромбическое и комбинированное шарошечное, долота двухлопастные конические с забурником типа РХ диаметром 600—1200 мм, долота двухлопастные плоские с эксцентричным забурником диаметром 600 мм для мягких пород, долота шнекового типа диаметром 800—1000 мм и другие долота.

Существующие долота созданы различными буровыми предприятиями в процессе освоения бурения с обратной промывкой забоя. Зарубежные установки так же комплектуются большим числом долот различного

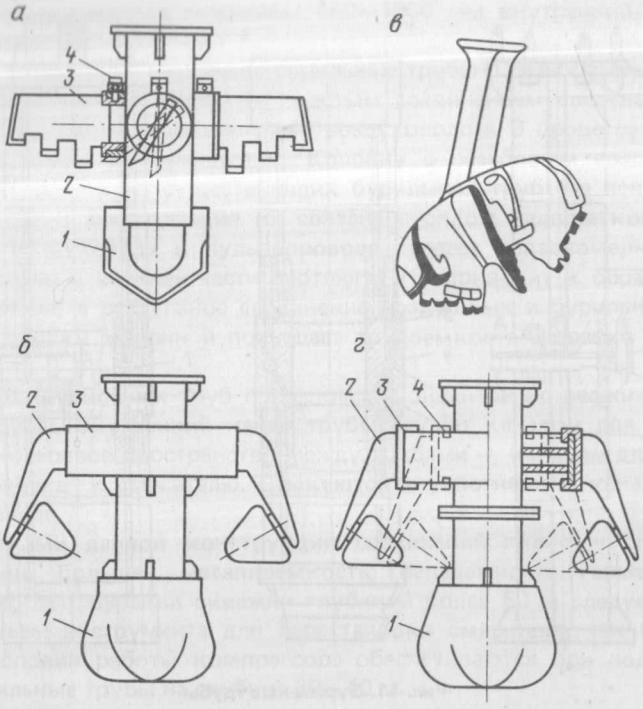


Рис. 12. Виды породоразрушающего инструмента:
а — трехлопастной; *б* — многошарошечный; *в* — одношарошечный; *г* — с расширительными лапами

типоразмера, например, установка ФА-12 имеет в своем комплекте семь долот только режущего типа. Такое многообразие типоразмеров применяемых долот, естественно, нуждается в унификации.

На рис. 12 показаны различные виды породообразующего инструмента с обратной промывкой: трехлопастные, многошарошечные, одношарошечные и с расширительными лапами долота.

Трехлопастное долото состоит из забурника *1*, корпуса *2*, лопастей *3* и пальцев *4*. Лопасти *3* съемной конструкции и могут быть установлены на определенный угол резания.

Данное долото использовалось в процессе исследования энергоемкости бурения скважин с обратной промывкой для выявления оптимальных углов резания и может быть рекомендовано как наиболее универсальное для долот режущего типа, позволяющее бурить скважины различного диаметра за счет смены лопастей и в различных породах — установкой оптимального угла резания вставных лопастей [13].

Долото шарошечного типа состоит из центрального трехшарошечного долота *1*, лап *2* и корпуса *3*.

Долото одношарошечное типа ЮМБО (рис. 12, *в*) имеет ограниченное применение в связи с вибрацией колонны и разгерметизацией соединений, вызываемой эксцентричной конструкцией долота.

Данное долото нашло применение при бурении скважин в твердых отложениях глубиной не более 60 м. При увеличении глубины необходимо через каждые 20 м бурения производить подъем бурильных труб для перетяжки их крепления.

Породообразующий инструмент с расширительными лапами (рис. 12, *г*) включает центральное долото шарошечного типа *1*, расширительные лапы *2* с опорами *3* и эксцентрично расположенными направлениями *4*.

В отличие от других известных конструкций долот с расширителями данное имеет наиболее простой и надежный привод, заключающийся в использовании для расширения лап непосредственно на забое обратного вращения инструмента.

Центральное долото *1*, расширительные лапы съемной конструкции, и, в зависимости от геологического разреза и диаметра расширения, породоразрушающее долото комплектуются центральным долотом режущего и шарошечного типа, а также лопастями различного типоразмера.

Для забуривания скважин преимущественное применение получил медленно-вращательный способ шнековым буром. Разгрузка шнекового бура на установках с вращателем роторного типа производится вручную, а на установках с вращателями подвижного типа разгрузка механизирована.

ВРАЩАТЕЛИ

Вращатели установок для бурения с обратной промывкой преимущественно роторного типа.

Роторы выполняются с проходным отверстием различного диаметра, большинство диаметром 300—400 мм, а некоторые 800—1100 мм для обеспечения спуско-подъемных операций без отвода от устья.

Вращатели подвижного типа по конструктивному исполнению должны выполняться с большим межцентровым расстоянием для обеспечения бурения скважин большого диаметра.

Сравнительным испытанием установок с вращателями различного типа в одинаковых условиях выявлены преимущества установок с подвижными вращателями. Например, цикл бурения (на одну бурильную трубу длиной 3 м) для установки ФА-12 с вращателем роторного типа состоит из 10 операций, в число которых входят такие трудоемкие, как подъем, отвод и подвод ведущей трубы от устья к устью, а для установки УШБМ-16 с подвижным вращателем — из 5 операций.

Необходимость наличия ведущей трубы непосредственно в составе бурового снаряда, т.е. над бурильными трубами, в роторных установках ограничивает длину применяемой бурильной трубы, так, например, при примерно равных высотах мачт установок ФА-12 и УШБМ-16 длина бурильной трубы для установки УШБМ-16 вдвое больше.

Преимущества установки с подвижным вращателем, связанные с облегчением операций, ускорением процесса бурения, очевидны, дальнейшее широкое использование установок данного типа в основном связано с совершенством технических средств, в частности самого вращателя.

Конструкция подвижного вращателя с поворотным шпинделем отвечает поставленной цели.

Вращатель выполнен из двух телескопических корпусов и винтового привода и включает встроенный вертлюг.

Использование данного вращателя предельно упрощает эксплуатацию установки, обеспечивает горизонтальное наращивание бурильных труб непосредственно к шпинделю.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И ОПЫТ СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН

Бурение скважины является основной и наиболее сложной частью всего комплекса работ по сооружению скважины, однако, как следует из опыта, качество сооружаемой скважины чаще всего зависит от ряда вопросов чисто организационного характера. Основные из них: обеспеченность промывочной жидкостью, засыпочной гравийной смесью; своевременность обсадки, засыпки смесью и строительной откачки и др.

Для обеспечения промывочной жидкостью используются отстойники, расположенные на расстоянии 2—3 м от установки, объемом, в 1,5—2 раза превышающим объем буримой скважины.

Для уменьшения потерь воды в отстойниках на фильтрацию применяют предварительный кольматаж стенок отстойника глинистым раствором или экстрагируют их с помощью полиэтиленовой пленки.

В качестве промывочной жидкости при необходимости применяют также глинистый раствор.

Обеспечение водой установки при бурении зависит от местных условий. Известно, что на каждую скважину в среднем расходуется воды, составляющей 2,5—3 объема буримой скважины.

Вода подается в отстойник автоцистернами или путем подкачки насосами из открытых водоемов и каналов.

В условиях, отдаленных от водоисточников, необходимо предварительно бурить скважину малого диаметра и из нее воду качать в отстойник.

Применение ближайших или вновь пробуренных скважин малого диаметра, особенно в условиях отгонных пастбищ, наиболее целесообразно и экономически выгодно в связи с невозможностью обеспечения водой из-за отдаленности и плохой проходимости транспортных средств.

Процесс бурения необходимо производить беспрерывно и принимать меры по сокращению вынужденных простоев, связанных с необходимостью восстановления циркуляции, устранения поломок и других причин. После достижения проектной глубины и тщательной промывки скважины, следует произвести спуск обсадной колонны, оборудованной фильтром, центрирующими фонарями и заглушкой. Обсыпку обсадной

колонны гравийной смесью производят непосредственно после спуска. В качестве обсыпки могут применяться гравий, песчано-гравийные смеси, а также крупнозернистый песок.

Опыт эксплуатации скважин при отборе воды из песчаных отложений показывает, что наиболее успешная длительная их работа обеспечивается мощным контуром гравийной обсыпки. И, наконец, последним условием для сооружения скважин хорошего качества является своевременная откачка воды до ее осветления. Обычно, осветление откачиваемой воды из скважины, пробуренной с обратной промывкой, наступает через 0,5—1,5 ч.

Большой интерес представляет опыт эксплуатации установок, работающих в различных геологических условиях.

Имеющиеся данные по опыту бурения скважин роторным способом с обратной промывкой как в нашей стране, так и за рубежом свидетельствуют о том, что механические скорости бурения в целом по скважине находятся в пределах 7,3—11,8 м/ч, технические скорости бурения составляют при этом 1,26—4,58 м/ч.

Общее время сооружения скважин, включая оборудование ее фильтровой колонной, составляет при глубине 115 — 120 м около 93—100 ч.

При применении медленно-вращательного шнекового способа без промывки при забуривании скважины до 6—8 м механические скорости составляют 2,5—12,5 м/ч.

По данным ВНИИВОДГЕО скорости бурения при диаметрах скважин 600—1200 мм в различных породах даны в табл. 6.

Как следует из табл. 6, значения механической скорости для различных пород имеют широкие пределы.

Баланс рабочего времени при сооружении скважин глубиной до 100 м с обратной промывкой установками фирмы "Вирт" (ФРГ) бригадой из пяти человек приведен в табл. 7.

Наращивание бурильных труб по табл. 7 составляет почти четвертую часть общего времени на сооружение скважин, что вызвано недостатками применяемых фланцевых соединений.

Основным условием для эффективного бурения с обратной циркуляцией промывочной жидкости является обеспечение буровой установки достаточным количеством воды, необходимой для заполнения скважин с целью предотвращения обвалов неустойчивых стенок.

Таблица 6

Породы	Механическая скорость бурения, м/ч
Пески	10—25
Супеси	8—17
Суглинки	4—8
Гравий мелкий	7—11
Глины плотные	1—3
Мергель	0,7 — 2,0
Песчаники средней плотности	0,1 — 0,5

Таблица 7

Наименование операций	Затраты времени, %
Сооружение шурфа вручную	20–25
Бурение медленно-вращательным способом	5–7
Бурение с обратной промывкой	22
Наращивание труб (соединение фланцевое)	18–24
Простои	25–30

По рекомендациям ВНИИВОДГЕО объемы отстойников должны составлять 1,5–2 объема ствола скважины, в зависимости от местных условий и потерь воды на фильтрацию из отстойника и через ствол скважины при заполнении отстойника водой и в процессе бурения.

По данным института ПНИИИС объем отстойника равен 3–4 объемам скважины, а поглощение воды (л/с) в процессе бурения составляет:

В глинах, суглинках и супесях	0,1–0,2
В песках мелкозернистых глинистых	0,5–2
В песках среднезернистых	10–15
В песках крупнозернистых и гравийно-галечниковых отложениях	50

Обратновсасывающий способ бурения может быть успешно применен в районах, где уровень подземных вод находится не менее 3 м от поверхности земли. При уровнях грунтовых вод выше 3 м институт ПНИИИС рекомендует применять комбинированный кондуктор, установленный на 4–4,5 м выше поверхности земли и закачиваемый водой дополнительными насосами.

Применение такого кондуктора возможно лишь только на модернизированных установках с приставками, кроме того, расположение ротора над устьем на расстоянии 4–4,5 м затрудняет производство работ и требует надежной герметизации устья скважины.

На основании анализа данных по зарубежным установкам [11] параметры бурения скважин большого диаметра с обратной промывкой приведены в табл. 8.

Энерговооруженность установок (на 1 $м^3$ скважины) для бурения с обратной промывкой в несколько раз ниже энерговооруженности установок геологоразведочного бурения.

Приведенные данные получены авторами расчетным путем.

Затраты мощности на различные виды работ при бурении скважин диаметром 1200 мм на глубину 100 м по зарубежным данным приводятся в табл. 9.

Как видно из табл. 9, затраты мощности на бурение шарошечным долотом более чем вдвое меньше затрат мощности при бурении долотом режущего типа, но такое сравнение без учета условий и параметров бурения может привести к ошибочному выводу при выборе типа долота.

Критерием при выборе типа долота могут служить удельные затра-

Таблица 8

Параметры	Бурение скважин различной глубины (м) диаметром до 2000 мм		
	100	100–200	300–500
Удельная нагрузка, Н	300–600	600–500	600–500
Средние окружные скорости, м/с	0,25–0,85	0,25–3,15	0,25–0,45
Удельная энерговооруженность, кВт	0,88–3,1	0,18–0,2	0,18–0,28

ты мощности, т.е. мощность, приходящаяся на единицу пробуренного объема скважины.

Скважины, пробуренные с обратной промывкой, могут оборудоваться фильтрами различных конструкций. Однако опыт эксплуатации при отборе воды из песчаных отложений показывает, что наиболее эффективная и длительная их работа обеспечивается при установке фильтровых каркасов большой скважности с мощным контуром гравийной обсыпки (200–300 мм и более) [8].

Расход гравия в основном зависит от диаметра пробуренной скважины с учетом увеличения его в процессе бурения.

Среди применяемых в нашей стране установок для бурения скважин большого диаметра с обратной промывкой только установка УШБМ-16 имеет подвижной вращатель.

Опыт бурения скважин данной установкой в различных условиях представляет практический интерес.

Для установления показателей установки УШБМ-16 были проведены хронометражные наблюдения при бурении ряда опытных скважин.

В табл. 10 даны обобщенные данные хронометражных наблюдений в процессе бурения скважин трехлопастными долотами диаметром 760 мм на глубину 50 м всасывающим способом в супесчано-глинистых отложениях.

Средняя механическая скорость бурения составила 2–2,5 м/ч. При бурении эрлифтом средняя техническая скорость доходит до 3 м/ч, что объясняется сокращением времени на восстановление циркуляции и простои.

При бурении скважин глубиной до 100 м и более для обеспечения вертикальности и устойчивости ствола скважины буровой инструмент снабжен центратором.

В плотных и вязких породах с целью повышения механической скорости бурения применяются утяжеленные бурильные трубы.

Таблица 9

Виды породоразрушающего инструмента	Затраты мощности на различные виды работ, кВт		
	бурение	подъем	привод насосов
Шарошечное долото	15	18	15
Долото режущего типа	32	18	15
Ложковый бур	32	7,4	–

Таблица 10

Наименование работ	Затраченное время	
	ч	%
Монтаж и демонтаж установки	1	4,5
Медленно-вращательное забуривание шнековым буром диаметром 1100 мм	0,7	3,2
Установка кондуктора	0,25	1,1
Соединение вертлюга с вращателем, монтаж всасывающих рукавов	0,25	1,1
Соединение породоразрушающего инструмента	0,25	1,1
Бурение	6,85	30,4
Наращивание бурильных труб с фланцевым соединением	2,65	11,8
Восстановление циркуляции	0,5	12,2
Вакуумное всасывание	1,65	7,3
Подъем бурового инструмента	1,5	6,6
Простои	6,9	30,7

Бурение скважин в гравийно-галечниковых отложениях связано с некоторыми осложнениями в связи с необходимостью замены породоразрушающего инструмента, а также с большим расходом промывочной жидкости.

На рис. 13 дана диаграмма бурения опытной скважины в гравийно-галечниковых отложениях трехпластным шарошечным долотом диаметром 760 мм на глубину 100 м.

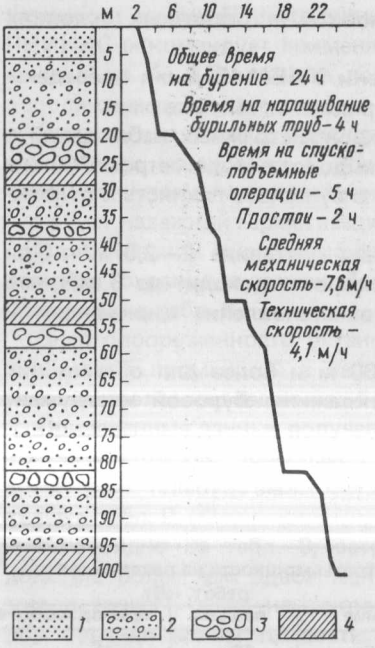


Рис. 13. Диаграмма бурения скважин: *1* — песок; *2* — галечник; *3* — валуны; *4* — суглинок

Как видно из диаграммы, во время бурения было произведено три подъема и спуска бурового инструмента, в первом случае — для смены долота, а в двух других — в связи с вибрацией инструмента при бурении в гравийно-галечниковых отложениях с включением валунов для восстановления герметизации соединений бурильных труб. Общее время, затраченное на бурение, составило 24 ч, из них 5 ч заняли спуско-подъемные операции.

Для сравнения буровой установки УЩБМ-16 с установкой ФА-12 проводились хронометражные наблюдения при бурении ряда скважин и были установлены затраты времени на операции по наращиванию одной бурильной трубы с фланцевым соединением.

Результаты наблюдений сведены в табл. 11.

Таблица 11

Наименование операций	УШБМ-16		ФА-12	
	Затраты времени			
	мин	%	мин	%
Подъем ведущей трубы с колонной труб	—	—	0,5	4,3
Отсоединение вертлюга от буровой колонны	2,5	20,6	2,5	20,6
Отвод вертлюга	0,5	4,2	0,5	4,2
Соединение вертлюга (элеватора)	3	2,5	0,5	4,2
Подъем бурильной трубы	0,5	4,2	0,5	4,2
Соединение бурильной трубы с колонной	3	2,5	3	25,0
Спуск колонны	—	—	0,5	4,2
Отсоединение элеватора	—	—	0,5	4,2
Подвод ведущей трубы	—	—	0,5	4,2
Соединение ведущей трубы с бурильной колонной	—	—	3	25,0

За 100 % в табл. 11 взято время на наращивание одной бурильной трубы на установке ФА-12.

Из табл. 11 следует, что процесс наращивания бурильной трубы на установке ФА-12 состоит из 10 операций, а на установке УШБМ-16 из 5 операций.

Кроме того, время, затраченное на наращивание труб установкой УШБМ-16, на 21 % меньше, чем на установке ФА-12.

Установка УШБМ-16 по сравнению с ФА-12 позволяет бурить трубами длиной 6 м при равных высотах мачт этих установок из-за отсутствия ведущей трубы. В результате этого затраты времени на спуско-подъемные операции снижаются более чем на 60 %.

ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБРАТНОВСАСЫВАЮЩЕГО БУРЕНИЯ

Широкое внедрение способа бурения с обратной циркуляцией промывочной жидкости обусловливается в первую очередь тем большим экономическим эффектом, который он дает.

При внедрении этого способа взамен вращательного бурения с прямой промывкой глинистым раствором экономия складывается за счет: снижения затрат времени на бурение, разглинизацию и освоение скважин; уменьшение расхода материалов; повышения срока службы породоразрушающего инструмента.

При замене ударно-канатного бурения роторным бурением с обратной промывкой экономия складывается за счет резкого повышения коммерческих скоростей бурения и снижения затрат на материалы — обсадные трубы, а в ряде случаев и за счет повышения дебита скважины.

Сравнительные показатели по статьям затрат при сооружении скважин диаметром 750—850 мм глубиной 60 м с использованием вращательного способа с прямой и обратной промывкой в одинаковых гидрогеологичес-

Таблица 12

Статьи затрат	Прямая промывка			Обратная промывка			Экономия, руб.
	Себестоимость единицы, руб.	Объем	Общая себестоимость, руб.	Себестоимость единицы, руб.	Объем	Общая себестоимость	
Глина бентонитовая, $м^3$	25,8	20	516	—	—	—	516
Гравийная смесь, $м^3$	11,9	100	1190	11,9	50	595	595
Износ долота в породах, шт.							
I—II категория по буримости	2030	0,075	152				
III—IV категории по буримости	2030	0,492	999	300	0,075	22	1029
Строительная откачка, сут	130	23	2990	130	2	260	2730

ких условиях приведены в табл. 12. Дебит скважин, пробуренных с применением обратной промывки, выше дебита скважин, пробуренных в аналогичных условиях с прямой промывкой в 1,3—3 раза, а величина радиуса влияния возрастает примерно в 1,5 раза. Поэтому одна скважина, пробуренная с обратной промывкой, оказывает влияние на площадь в 2,4 раза большую, чем скважина, пробуренная прямой промывкой.

Общая экономия по сооружению одной скважины составляет более 5 тыс.руб. Экономический эффект от использования одной установки за год составляет 120—130 тыс.руб.

Применение породоразрушающего инструмента с расширителями позволяет получить дополнительный экономический эффект за счет снижения расходов потребного материала и инструмента на сооружение и ускорение процесса бурения.

Расчет экономии, приходящейся на 1 м скважины при бурении в грунтах II —IV группы, приводится в табл. 13.

Средний экономический эффект за год за счет использования породоразрушающего инструмента с расширителем в комплекте одной установки составляет 40—50 тыс.руб.

Таблица 13

Статьи затрат	Себестоимость (в руб.) при диаметре скважины, мм		Экономия, руб.
	850—900	550—600	
Бурение	11	8,05	3
Износ долота	28,9	10	18,9
Промывочная жидкость	3,15	1,65	1,5
Гравийная смесь	13	4,0	9

§ 4. БУРЕНИЕ КОВШОВЫМИ БУРАМИ

Вращательное бурение ковшовыми бурами применяется преимущественно в связанных и устойчивых породах для сооружения колодцев на воду, устройства опор глубокого заложения и т.д.

Для бурения ковшовыми бурами преимущественно используются агрегаты КШК-25, КШК-30, КШК-40М и буровые установки ЛБУ-50, УШБМ-16 и ЦНИИС.

Из зарубежных установок следует отметить агрегат 20 HP фирмы "Като" (Япония), установку "Гарвуд" (Англия) и др.

Ковшовые буры относятся к инструменту рейсового бурения, и не каждая установка, предназначенная для вращательного бурения, может быть использована для бурения ковшовыми бурами в связи с необходимостью разгрузки бура после каждого рейса.

Применяемые установки можно разделить на три группы.

1. Роторные, с приподнятым ротором (агрегаты КШК).
2. Роторные проходные (агрегат 20 HP).
3. Вращательные с подвижным вращателем (ЛБУ-50).

Конструкции ковшовых буров известны двух типов: цилиндрические и грейферные.

КОВШОВЫЕ БУРЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Буры цилиндрической формы даны в литературе [4]. Составными частями цилиндрических буров являются: корпус, расширительные лапы с механизмом привода и днище корпуса с разрушающими элементами.

Известны два принципа действия ковшовых буров.

По первому принципу работы колонна бурильных труб в процессе бурения находится в скважине, не поднимается на поверхность до окончания бурения и выполняет роль направляющей, по которой подвешенный на канате бур может свободно перемещаться при спуске и подъеме. Крутящий момент и осевая нагрузка на бур передается в этом случае через бурильную колонну. Такими бурами снабжены установки типа КШК, ЛБУ-50 и др.

По второму принципу работы ковшовые буры присоединяются непосредственно к колонне бурильных труб.

Спуск ковшового бура на забой и подъем его на поверхность осуществляется колонной бурильных труб. Осевая нагрузка и крутящий момент при втором принципе действия чаще всего передается за счет веса подвижного вращателя (УШБМ-16) или за счет веса погружного вращателя (СО-1200).

Бурильные трубы для второго принципа действия выполняются преимущественно телескопическими и в зависимости от глубины скважины могут быть двойными или тройными (МБС-1,7, Калвенд).

Разгрузка бура от выбуренной породы может быть выполнена через боковые окна или через днище бура.

Для разгрузки бура через боковые окна корпус бура выполняется составленным из нескольких створок (КШК, ЛБУ-50).

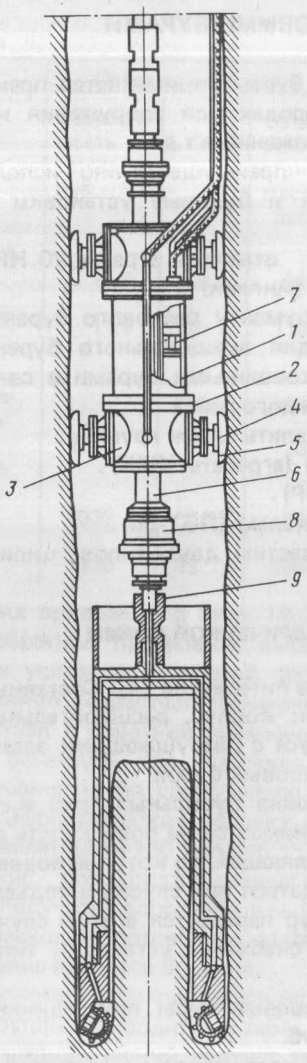
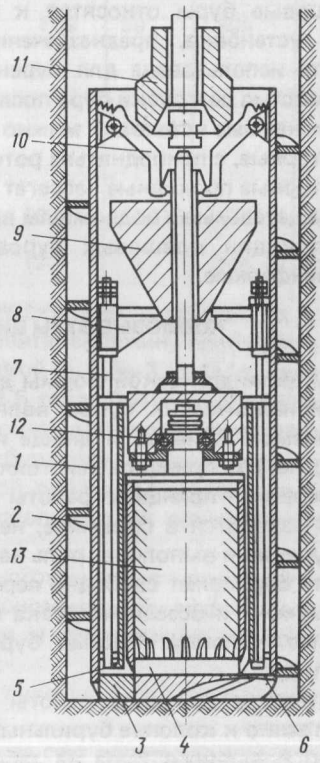


Рис. 14. Колонковый бур

Рис. 15. Буровой снаряд



Разгрузка таких буров состоит в последовательном повороте гидравлическим ключом каждой створки вокруг ее оси. При этом порода вытягивается из бура частью створки, заходящей внутрь. Для разгрузки породы через днище последний выполняется разъемным (МСБ-1,7).

Днище ковшовых буров чаще всего выполняются конической формы с окнами для прохода разрушенной породы.

Скорость бурения цилиндрическими ковшовыми бурами составляет 1—1,5 м/ч.

К ковшовым бурам цилиндрической формы можно также отнести колонковые снаряды для бурения скважин большого диаметра.

Такие буры выполняются в виде полого цилиндрического корпуса с закрепленными на его нижнем торце шарошками.

Основным условием работы ковшовых снарядов применительно к бурению скважин большого диаметра является обеспечение достаточного осевого давления на снаряд.

На рис. 14 приведен колонковый бур, предложенный А.С. Ашкинази, в котором проблема передачи осевой нагрузки решена с помощью гидравлического привода распорным механизмом.

Буровой инструмент состоит из цилиндра *1*, к фланцам которого с обеих сторон крепятся одинаковые трехцилиндровые литые корпуса *2* распорного механизма. Эти корпуса с помощью поршней *3* и штоков *4*, действующих под высоким давлением масла, распираются лапами *5* в стенки скважины, что обеспечивает цилиндру неподвижное состояние.

Полый шток *6* передает давление масла от поршня *7* к корпусу упорного подшипника *8*. Упорный подшипник сидит на мощной шайбе, приваренной к трубе *9*, которая проходит через полый шток *6* и получает вращательное движение от станка, установленного на поверхности, через колонну труб. К нижнему концу трубы *9* подсоединяется рабочий инструмент. Таким образом, труба *9*, передающая крутящий момент от станка на буровой инструмент одновременно с помощью штока *6* движется вдоль цилиндра *1* под действием высокого давления масла, которое подается в цилиндр *1* и распорные корпуса *2* по шалнгам от маслонасоса, установленного на станке.

При вращении трубы *9* шток вращательного движения не совершает, под действием давления масла он совершает движение поступательное по направлению к забою, увлекая при этом вращающуюся штангу. Цилиндр *1*, распертый шестью лапами *5*, находится в неподвижном состоянии. Реактивная сила, образующаяся в результате давления бурового инструмента на забой, передается на корпус цилиндра *1* и через лапы *5* на стенки скважины.

По мере бурения поршень *7*, шток *6* и связанная с ним штанга с буровой колонной опускаются на ход поршня, после чего снимается давление масла с рабочей стороны и подается под небольшим давлением с другой стороны поршней распорных лап *5*.

В связи с этим распорные лапы отжимаются. Это позволяет цилиндру опуститься под действием собственного веса. Далее цикл повторяется. Таким образом, колонна труб не испытывает осевой нагрузки, а передает только крутящий момент от станка к буровому инструменту.

Рассмотренное устройство в дальнейшем было совершенствовано А.С. Ашкинази, И.Г. Бяликом и др.

В предложенном устройстве для обеспечения необходимого усилия на забой, независимо от массы машины при одновременном увеличении ее устойчивости, канатно-полиспастная система подачи связана с корпусом буровой машины и распорным устройством, находящимся в скважине.

Применение такого устройства позволяет осуществить бурение скважин на форсированных режимах более легкими машинами, так как

реакция забоя в конечном счете воспринимается распорным устройством, а устойчивость машины увеличивается по мере увеличения усилия подачи.

При бурении в рыхлых несвязанных породах наряду с обеспечением осевого давления на бур следует также решать вопросы подрезки и удержания керна в керноприемнике.

Недостатком известных буровых снарядов является то, что при бурении в несвязанных породах наблюдается совместное вращение керноприемника с корпусом снаряда и керн подрезается неполностью, кроме того, при подрезке керна используется чаще всего левое вращение снаряда, а это требует применения замковых соединений бурильных труб.

С целью повышения надежности работы колонковых снарядов в несвязанных породах институтом Гидропроект им. С.Я. Жука предложен буровой снаряд (рис. 15).

Буровой снаряд из корпуса *1*, на наружной поверхности которого навит шнек *2*. На нижнем конце корпуса установлена буровая коронка *3* с канавками, расположенными на винтовой линии. Выше коронки размещено подрезное устройство, состоящее из поворотных ножей *5*, соединенных со шторками *6*, которые, в свою очередь, соединены с корпусом. Поворотные ножи посажены на вертикальные оси *7*, в верхней части которых закреплены рычаги *8*. Последние сопряжены с грузом *9*, посаженным на центральную направляющую трубу *10*. В верхней части груза имеется выточка, за которую он подвешен на подпружиненных фиксаторах *11*. Внутри корпуса *1* размещен керноприемник *13* с ребрами *4* в его нижней части. Керноприемник закреплен в корпусе на подшипнике *12*.

Работает буровой снаряд следующим образом.

При вращении бурового снаряда коронка *3* обуривает керн. При этом выбуренная в кольцевом зазоре порода заполняет шнек *2*, а обуренный керн — керноприемник *13*. Ребра *4*, врезаясь в керн, удерживают керноприемник от вращения. После заполнения керноприемника *13* керном по трубам на забой сбрасывается посыльный груз, который освобождает груз *9* от фиксаторов *11*. Груз *9* под действием силы тяжести, перемещаясь вниз по направляющей трубе *10*, своей конической частью отжимает рычаги *8*. Одновременно с поворотом рычагов *8* происходит поворот ножей *5* и выход их из корпуса *1*. Выдвигаясь, поворотные ножи подрезают керн и, увлекая за собой шторки *6*, перекрывают входное отверстие керноприемника *13*.

КОВШОВЫЕ БУРЫ ГРЕЙФЕРНОГО ТИПА

Ковшовые буры грейферного типа применяются в основном двух видов: бункерные и лопастные — фрезерные.

Грейферный бур бункерного типа сконструирован Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства.

Бур включает опору *1*, к которой шарнирами крепится бункер *2*, с режущими ножами *3*, фиксаторами *4* и днище, выполненное в виде сек-

ционных решеток с установленными на них шарнирно по оси бункеров створками, свободные концы которых соединены со стенками бункера гибкими тягами *4*. Стенки бункера рычагами шарнирно соединены с подвижной штангой *6* квадратного сечения, которая связана с опорой *1* предварительно растянутыми пружинами и может перемещаться относительно нее. Ход подвижной штанги *6* и пружины должен обеспечить раскрытие стенок бункера на угол 90°. В рабочем состоянии стенки бункера соединены между собой фиксаторами *4*. Линия разъема стенок бункера выполнена в виде эвольвентной кривой, причем на внутренней поверхности каждой из стенок смонтирован упор *7*.

Ковшовый бур на штанге *8* опускается на дно скважины и забуривается до заполнения грунтом. Извлеченный за штангу бур поднимается до тех пор, пока упоры не упрутся в опорную раму ротора-вращателя *9*. При дальнейшем подъеме усилие подъемного механизма через упоры открывает фиксаторы *4* и за счет хода подвижной штанги *10* вверх поворачивает рычагами стенки бункера на угол 90°. Створки, поворачиваясь, ударяются об упоры, и грунт вываливается. При перемещении вверх штанги *6* пружины, растягиваясь, аккумулируют усилие, необходимое для принудительного закрытия стенок бункера. При опускании на штанге *8* стенки закрываются. Фиксаторы усилием закрывающихся стенок подаются вниз и после их окончательного смыкания усилием сжатия пружины стягивают стенки бурения. Решетки днища под действием противовесов возвращаются в исходное положение. Цикл повторяется.

Грейферный бур фрезерного типа применяется для комплектации роторной буровой установки ЦНИИС, а также некоторых зарубежных установок вращательного бурения.

Фреза-бур установки ЦНИИС применяется для устройства опор глубокого заложения в породах, представленных песками, супесями, глинами на глубину 21—26 м при диаметре фрезы до 3 м.

Скорость бурения скважин, диаметр которых 1350 мм, составляет 0,5—0,7 м/ч в плотных глинах, а 1,5—1,6 м/ч в глинах средней плотности.

§ 5. БУРЕНИЕ БЕЗ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЫ ИЗ СКВАЖИНЫ

Наряду с известными способами бурения скважин с извлечением выбуренной породы из скважины практическое применение также получил вращательный способ бурения с уплотнением выбуренной породы в стенки скважины.

Такие скважины используются для уплотнения насыпных, лесовидных и неводонасыщенных грунтов, а также для устройства набивных, бетонных свай, установки опор и т.д.

Известные устройства для бурения скважин без извлечения породы на поверхность можно отнести к трем разновидностям:

а) устройства для бурения с подачей породы вверх для уплотнения

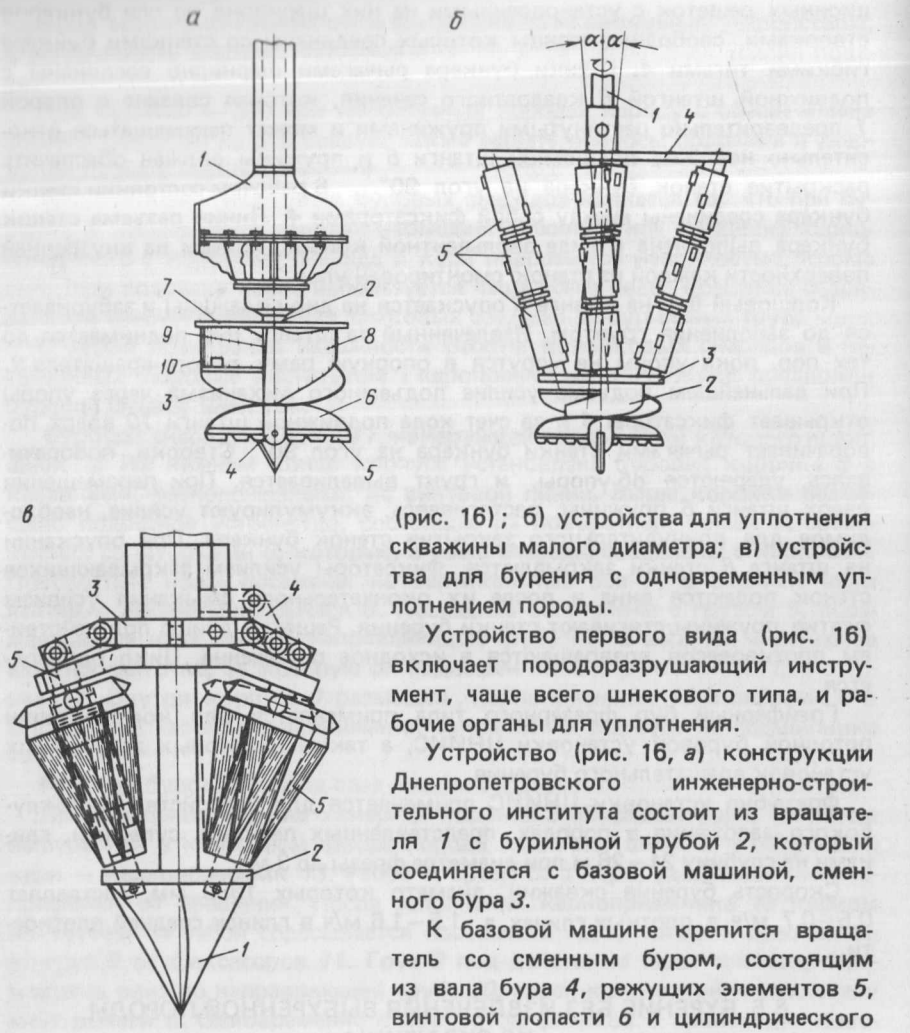


Рис. 16. Устройства для бурения с подачей породы вверх для уплотнения

(рис. 16); б) устройства для уплотнения скважины малого диаметра; в) устройства для бурения с одновременным уплотнением породы.

Устройство первого вида (рис. 16) включает породоразрушающий инструмент, чаще всего шнекового типа, и рабочие органы для уплотнения.

Устройство (рис. 16, *а*) конструкции Днепропетровского инженерно-строительного института состоит из вращателя *1* с бурильной трубой *2*, который соединяется с базовой машиной, сменного бура *3*.

К базовой машине крепится вращатель со сменным буром, состоящим из вала бура *4*, режущих элементов *5*, винтовой лопасти *6* и цилиндрического диска *7*, расположенного над винтовой лопастью перпендикулярно к валу *4* и связанного с лопатками *8*, которые устанавливаются в наконечнике перпендикулярно к винтовой лопасти. Лопатки могут быть выполнены криволинейными, причем выпуклой частью они устанавливаются по направлению вращения наконечника.

Торец *9* лопатки *8* оперт на вал, а торец *10* располагается от оси вала на расстоянии, равном радиусу скважины. Форма лопаток определяется в зависимости от параметров грунта и частоты вращения наконечника и выбирается таким образом, чтобы грунт при бурении не налипал на поверхность лопаток, благодаря чему обеспечивается скольжение грунта по металлической поверхности лопаток.

Вращаемый и перемещаемый по вертикали вниз штангой *2* буровой наконечник врезается в грунт. Лопасть разрыхляет грунт в центре скважины и центрирует вал *4*, затем режущие элементы *5* подрезают грунт, который попадает на винтовые лопасти *6* и в результате активного подпора нижних слоев грунта принудительно заполняет пространство между винтовой лопастью *6*, цилиндрическим диском *7* и вертикальными уплотняющими лопатками *8*. По мере движения по направляющим винтовой лопасти грунт заклинивается между стенкой скважины и криволинейной поверхностью лопаток. Возникающие при вращении бурового наконечника, находящегося между винтовой лопастью, лопатками и диском грунта, силы трения о стенки скважины способствуют уплотнению грунта и затем внедрению образовавшегося грунтового клина в стенки скважины. Этот процесс происходит непрерывно по мере вращения и углубления бурового наконечника, благодаря чему образуется скважина со стенками, уплотненными вытесненным грунтом.

Устройство (рис. 16, *б*) в отличие от предыдущего позволяет увеличить давление на грунт. Устройство включает бурильную трубу *1* с винтовым наконечником *2*, кольца *3, 4* и катки *5*, выполненные составными из секций в виде самостоятельно вращающихся роликов. В кольцах закреплены оси, на которые посажены с возможностью свободного вращения катки *5*. Оси установлены симметрично относительно оси буровой штанги с наклоном в сторону вращения бура под углом к образующей усеченного конуса, основаниями служат кольца *3* и *4*.

Устройство работает следующим образом.

При вращении трубы *1* наконечник *2* постепенно углубляется в грунт и образует лидирующую скважину. По мере углубления наконечника *2* наклонные ролики вступают в контакт со стенками скважины и при вращении трубы *1* начинают вращаться относительно осей. Поскольку катки установлены под углом к образующей конуса, при вращении штанги они движутся по спирали и ввинчиваются в грунт, благодаря чему создается осевое усилие, суммирующееся с тяговым усилием, возникающим при завинчивании в грунт винтового наконечника. В результате возникает удельное давление катков на грунт, и интенсифицируется уплотнение грунта в стенках скважины. Процесс уплотнения грунта оказывается идентичным известному процессу повторного уплотнения грунта дорожными катками. В отличие от повторного уплотнения грунта дорожными катками на горизонтальных поверхностях уплотнение грунта в стенках скважины происходит непрерывно. Фактически из-за непрерывности процесса число слоев бесконечно велико, причем грунт, извлеченный винтовым наконечником, попадает под катки и закатывается в стенки скважины. Так как катки разрезаны на секции из роликов, то каждый из них при углублении устройства вращается с различной угловой скоростью (нижние с минимальной, а верхние с максимальной), что существенно снижает сопротивление бурению скважины.

Устройство (рис. 16, *в*) предусматривает образование в породе скважины малого диаметра путем постепенного вытеснения выбуренной породы вверх с последующим уплотнением ее в стенки скважины до образования ствола большого диаметра.

Устройство включает забуренную часть *1*, опору *2*, каретку *3* с шарошками *4* и кронштейн *5*.

Ролики конической формы во время бурения перемещаются за счет осевого давления на наибольший диаметр, а при подъеме устройства ролики переходят в исходное положение меньшего диаметра.

Устройство второго вида предназначается для расширения и уплотнения ранее пробуренной скважины.

В качестве устройства третьего вида применяется рабочий орган для образования скважин в грунте конструкции Института горного дела Сибирского отделения АН СССР.

Глава V

КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ

Наряду с рассмотренными способами бурения в последнее время практическое применение получили комбинированные способы бурения скважин большого диаметра.

Разработка и создание комбинированных способов было вызвано необходимостью дальнейшего повышения эффективности бурения скважин большого диаметра в различных условиях.

Основным преимуществом комбинированных способов бурения является возможность устранения того или иного недостатка отдельного способа бурения в сочетании с другим.

Например, недостатком ударного бурения является незначительная скорость бурения в сравнении с вращательным бурением, преимуществом — возможность разрушения твердых пород, в результате комбинации этих двух способов повышается производительность бурения.

Комбинированные способы бурения предусматривают как совместное применение двух или нескольких способов разрушения, так и комбинацию способов удаления породы с забоя.

Среди известных комбинированных способов наибольший интерес для бурения скважин большого диаметра представляют: ударно-вращательный, термомеханический, гидродинамический и др.

§ 1. УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ

Ударно-вращательный способ бурения сочетает в себе элементы как ударного, так и вращательного бурения, и разрушающее усилие создается в результате совместного воздействия ударов и вращения породоразрушающего инструмента.

Основными механизмами ударно-вращательного бурения являются пневматические, гидравлические и пневмо-гидравлические.

Пневматические и гидравлические механизмы применяются в виде нескольких периферийно расположенных пневмопробойников или пнев-

мо- и гидроударников, связанных с корпусом породоразрушающего инструмента. Преимущественное применение пневматические и гидравлические механизмы находят в устройствах для расширения скважин.

Принцип работы механизма с несколькими периферийно расположенными пневмопробойниками заключается в следующем.

Головной частью устройство вставляют в предварительно подготовленное устье скважины. При подаче сжатого воздуха создаются ударные импульсы, под воздействием которых головная часть внедряется в породу, увлекая за собой кожух породоразрушающего инструмента. При движении наружная поверхность головной части соприкасается с породой, уплотняя ее, и создает силы сцепления, компенсирующие инерционные нагрузки.

Механизмы с пневмоударниками работают следующим образом.

Сжатый воздух через коллектор поступает в рабочие цилиндры пневмоударников и приводит в возвратно-поступательное движение ударники. Ударники наносят удары по хвостовикам буровых коронок, последние разрушают забой расширенной скважины.

С целью повышения эффективности пневматических механизмов в последние годы предложено множество технических решений.

Среди них практический интерес представляют технические решения Института горного дела Сибирского отделения АН СССР по повышению ударной мощности пневмоударников, а также обеспечению синхронности работы ударных механизмов.

По предложению сотрудников института Н.А. Беляева, Н.И. Есина и других увеличение ударной мощности, приходящей на единицу площади забоя скважины, достигается тем, что рабочие цилиндры пневмоударников и их буровые коронки установлены эксцентрично относительно друг друга, причем относительная величина эксцентриситета определяется из соотношения

$$l \leqslant \frac{D + d + 2П_{min} - 4R}{8}, \qquad (1)$$

где D — диаметр скважины после расширения; d — диаметр скважины до расширения; $П_{min}$ — минимальное, конструктивно допустимое сближение рабочих цилиндров; R — минимальное расстояние от оси буровой коронки по стенке рабочего цилиндра.

Гидропневматические ударные механизмы — это устройства, включающие цилиндр, внутри которого помещены боек и поршень со штоком, получающим возвратно-поступательное движение от силового привода, выполненного в виде кривошипно-шатунного механизма, и газогидравлический компенсатор.

В последнее время в качестве новых технических средств для ударно-вращательного бурения предложено множество устройств и механизмов.

В данной работе рассмотрены некоторые из них применительно к бурению скважин большого диаметра, а также имеющие принципиальные конструктивные отличия.

Общим недостатком вращательного бурения породоразрушающим инструментом режущего типа является разрушение породы за счет сжимающих нагрузок.

При этом известно, что сопротивление большинства пород на растяжение в несколько раз ниже, чем на сжатие. С целью повышения эффективности вращательного бурения в Кузбасском политехническом институте создано комбинированное устройство (рис. 17), в котором разрушение породы осуществляется резцами за счет отрыва, что обеспечивает создание в породе растягивающих и частично скалывающих напряжений.

Устройство имеет корпус *1* с забурником *2*, резцами *3*, которые могут поворачиваться на осях *4* с помощью приводных механизмов для их периодического раздвижения и вдвижения. Приводной механизм для раздвижения резцов выполнен из пневматического ударника с поршнем-бойком *5*, а механизм для сдвижения — из толкателя *6*, который с помощью пружины *7* подпружинен относительно корпуса *1*. Плечи рычагов *8*, *9*, служащие для взаимодействия с приводными механизмами *5* и *6*, изогнуты во внутрь корпуса.

Устройство работает следующим образом.

При его вращении резцы *3*, поворачиваясь под действием удара, наносимого по их изогнутым концам *8* и *9* поршнем-бойком *5*, через промежуточное тело *10* создают в породном уступе, образованном опережающим забурником, растягивающие напряжения и разрушают породу.

При подъеме поршня-бойка *5* резцы с помощью подпружиненного толкателя *6* возвращаются в прорези корпуса *1*. При последующих ударах поршня-бойка цикл разрушения породы повторяется.

По каналу *12* воздух поступает в опережающую скважину, а по каналу *11* — в полость, где расположен подпружиненный толкатель *6*, и далее через прорези, в которых расположены резцы, поступает в призабойное пространство скважины. При этом поток воздуха препятствует попаданию частиц породы в прорези и заклиниванию резцов.

Для повышения эффективности разрушения достаточно твердых пород и проходки в них скважин большого диаметра во Всесоюзном проектном и научно-исследовательском институте промышленного транспорта создана буровая машина ударно-вращательного действия (рис. 18).

В предложенной конструкции большую удельную энергию удара на лезвие буровой коронки получают за счет высоковольтных импульсных разрядов в жидкости.

Буровая машина состоит из полого шнека *1*, емкости *2* с жидкостью, расположенной внутри шнека, электрода *3*, ударника *4*, коронки *5* и узла привода *6*. Емкость для жидкости состоит из двух частей, соединенных эластичной (или подвижной) связью *7*. Верхняя крышка *8* емкости жестко соединена со шнеком и вращается вокруг неподвижной трубы *9*, внутри которой проходит электрод. Нижняя крышка емкости *10* жестко закреплена на ударнике, расположенном в забурнике *11*, имеющем пазы, в которые входят кулачки *12*, укрепленные в хвостовой части ударника, на которую насажена стандартная быстросъемная коронка.

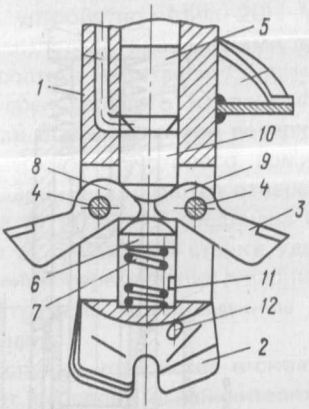


Рис. 17. Комбинированное устройство для бурения скважин

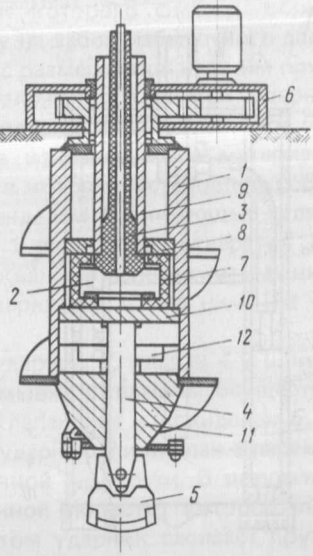


Рис. 18. Буровая машина ударно-вращательного действия

При работе буровой машины на электрод *3* от силового электрического блока (на чертеже не показан) подаются импульсы высокого напряжения, в результате чего в емкости *2* с жидкостью происходит разряд между электродом *3* и нижней крышкой *10*, соединенной через шнек *1* с землей.

В момент разряда давление внутри емкости с жидкостью резко возрастает, и ударник *4*, перемещаясь с нижней крышкой *10*, наносит удар коронкой *5* по материалу, разрушая его.

Возврат ударника *4* с крышкой *10* в исходное положение осуществляется как за счет упругости эластичной связи *7* емкости, так и за счет поступательного движения буровой машины на забой.

Частоту и энергию удара можно плавно менять в широком диапазоне, изменяя параметры силового электрического блока.

Широкое применение комбинированные способы нашли также при бурении с получением керна большого диаметра.

В качестве примера приводится колонковый пневмоударный бур, созданный П.А. Широконосовым и М.М. Розиным (рис. 19).

Колонковый пневмоударный бур содержит корпус *1*, пневмоударники *2*, долота *3*, выдвижные элементы *4*. Каждый выдвижной элемент *5* соединен с верхней частью *6* механизма *7* подрезки стержня. Каждый пневмоударник соединен с воздухораспределителем *8* и воздухопроводом *9*. На нижнем торце корпуса *1* между долотами пневмоударника размещены калибрующие резцы *10*. Корпус выполнен в виде сплошной воздухонепроницаемой оболочки, а со стороны керноприемной камеры *11* имеются окна *12*.

Бур работает следующим образом.

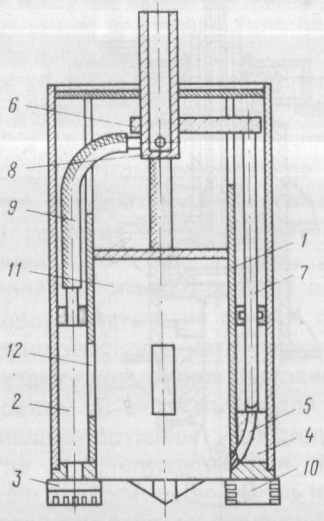


Рис. 19. Колонковый пневмоударный бур

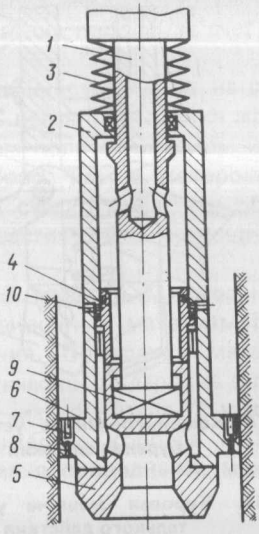


Рис.20. Ударно-вращательное устройство для бурения скважин

Подведенный к вращающемуся буру сжатый воздух от распределителя *8* по воздухопроводам *9* поступает к пневмоударникам *2* и приводит в действие долота *3* пневмоударников, которые разрушают забой. Отработанный воздух, проходя через окна *12* и отверстия в нижнем торце корпуса, производит очистку забоя.

Выдвижные элементы *4* в это время убраны в корпус, а калибрующие резцы *10* производят отработку стенок скважины и керна.

После окончания проходки скважины с кольцевым забоем на заданную длину рейса подачу бура прекращают. Вращая бур и воздействуя на верхнюю часть *6* механизма *7* подрезки, перемещают выдвижные элементы *4* в направлении керна и производят подрезку последнего. Затем поднимают на поверхность бур и извлекают керн, для чего, воздействуя на механизм *7* подрезки в обратном направлении, перемещают выдвижные элементы *4* в исходное положение.

Неотъемлемой частью большинства устройств ударно-вращательного бурения является ударный механизм.

В качестве привода ударных механизмов используются приводы кулачкового типа в сочетании с аккумуляторами энергии, пневмопривод, а также электропривод.

Практический интерес представляет устройство для ударно-вращательного бурения конструкции Тюменского индустриального института, снабженное генератором тока с турбинным приводом.

Одним из недостатков ударно-вращательного бурения является создание высокого давления жидкости на забой, что снижает эффективность бурения.

Для устранения этого недостатка во ВНИИБТ создано ударно-враща-

тельное устройство (рис. 20), ударник которого снабжен обратными клапанами, предотвращающими передачу на забой избыточного давления.

Оно состоит из штанги *1*, ударника *2* с размещенной над ним пружиной *3* дифференциального клапана *4*, расположенного внутри ударника, и шпинделя *5*. На наружной поверхности ударника выполнен бурт *6*, боковая поверхность которого армирована износостойким материалом. В бурте ударника *2* имеются отверстия *7*, в которых установлены обратные клапаны *8*. Штанга *1* соединена со шпинделем *5* с помощью шлицевого разъема *9*. В боковой стенке ударника *2* выполнены отверстия *10*. Для обеспечения перемещения ударника в скважине используют расширители или центраторы, установленные над ударником и под ним (на чертеже не показаны).

При спуске устройства в скважину ударник *2*, клапан *4* и шпиндель *5* зависают на своих ограничителях. Промывка скважины осуществляется через каналы в штанге *1* и зазор между клапаном *4* и шпинделем *5*.

При бурении скважины шпиндель *5*, ударник *2* и клапан *4* перемещаются вверх, перекрывая поток промывочной жидкости. В результате этого повышается давление в надклапанной полости, которое вызывает перемещение ударника *2* вверх. При этом ударник сжимает пружину *3*. Ударник, пройдя расстояние до ограничителя хода клапана *1*, поднимает клапан и вместе с ним продолжает движение по инерции.

Через образовавшийся зазор между торцами клапана *4* и шпинделя *5* промывочная жидкость устремляется к долоту. При этом давление в надклапанной полости снижается, в результате чего ударник *2* под действием силы сжатой пружины *3* перемещается вниз, а клапан *4* — вверх за счет разности давлений в надклапанной полости и затрубном пространстве. В конце хода ударник *2* передает ударную нагрузку шпинделю *5*. Зазор между клапаном *4* и шпинделем *5* уменьшается, и клапан *4* перемещается вниз под действием инерционных и гидравлических сил, возникающих в результате перепада давления в этом зазоре.

Перемещение ударника *2* повторяется периодически. При движении его вверх обратный клапан *8* закрывается и давление жидкости на забое скважины снижается. При обратном движении ударника *2* обратный клапан *8* открывается и промывочная жидкость через каналы проходит в затрубное пространство.

§ 2. ТЕРМО-МЕХАНИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ

Термический способ бурения скважин получил распространение при бурении взрывных скважин в крепких монолитных породах, при любой глубине скважин и диаметре до 500 мм.

Разрушение породы при термическом бурении происходит за счет термического и динамического воздействия струи раскаленного газа, подаваемой со сверхзвуковой скоростью.

Применение термического способа для бурения скважин большого диаметра возможно в сочетании с другими, в частности механическими способами бурения.

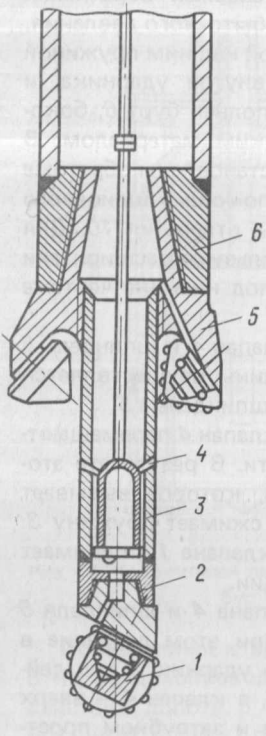


Рис. 21. Колонковый снаряд

При этом термический способ используется для ослабления прочности породы забоя, а механический для разбуривания ее.

Известные устройства для термо-механического бурения в общем случае делятся на две группы: а) устройства механического бурения, снабженные термобурами; б) устройства для термического бурения, снабженные породоразрушающим инструментом механического типа.

В качестве устройств первой группы применяются колонковый снаряд, предложенный С.А. Брыловым, В.Т. Борисовичем и Л.Г. Грибчаком, и устройство для расширения скважины, созданное в Донецком филиале научно-исследовательского горнорудного института.

Колонковый снаряд выполнен в виде полого цилиндрического корпуса, спускаемого в шурф или в скважину на бурильных трубах. На нижней торцовой части корпуса укреплены, чередуясь между собой, шарошки и термобуры.

Рабочие компоненты (бензин, воздух, вода) подаются к термобурам по трубам. Шлам с кольцевого забоя удаляется за счет местной циркуляции промывочной жидкости, происходящей при подаче воздуха по бурильным трубам, и собирается в шламоуловителе, расположенном в верхней части корпуса.

Вращение колонковый снаряд получает с поверхности через колонну бурильных труб. Устройство для расширения скважины (рис. 21) снабжено генератором тепла.

Устройство состоит из опережающего механического породоразрушающего инструмента *1*, который при помощи разъемного соединения крепится к опережающей штанге *2*, внутри которой устанавливается генератор тепла *3* (высокотемпературная двухсопловая горелка) с сопловыми отверстиями *4*. Высокотемпературная горелка устанавливается таким образом, что между ее корпусом и внутренними стенками опережающей штанги *2* имеется зазор, по которому поступает сжатый воздух на забой опережающей скважины. Проходя вдоль корпуса высокотемпературной горелки, воздух одновременно охлаждает ее. Опережающая штанга *2* крепится к корпусу отстающего механического разрушающего инструмента *5*, который, в свою очередь, соединен при помощи конического резьбового соединения с переходником буровой штанги *6*.

В процессе работы опережающий механический инструмент *1* выбуривает отверстие. Пламя высокотемпературной горелки *3*, выходящее

из сопловых отверстий *4*, расположенных на высоте 200—300 мм от опережающего инструмента *1* и вращающихся вместе с буровым станом *6*, нагревает породный забой отстающего инструмента *5*. Ввиду того, что этот забой имеет две обнаженные поверхности, которые способствуют увеличению поверхности нагрева породы и созданию объемных температурных напряжений, эффективность механического разрушения значительно повышается.

На снижение крепости разрушаемых при бурении пород, помимо воздействия пламени высокотемпературной горелки, оказывает влияние увеличение кинетической энергии газовой струи, выходящей из сопловых отверстий, путем частичного эжектирования в нее продуктов бурения опережающим инструментом *1*.

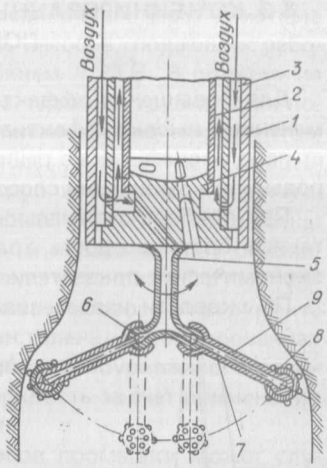


Рис. 22. Устройство для расширения стволов скважин

Положительным качеством устройства является его способность к саморегулированию усилий, действующих на опережающий *1* и отстающий *5* механические разрушающие инструменты.

Когда опережающий инструмент *1* встречает повышенное сопротивление породы разрушению, снижается общая скорость бурения. При этом в большой мере уменьшается крепость пород и снижается их сопротивление разрушению отстающим механическим инструментом *5* ввиду более длительного их нагрева, а следовательно, увеличивается усилие, действующее на инструмент *1*. Это способствует увеличению скорости внедрения устройства, что соответственно уменьшает время прогревания породы под опережающим породоразрушающим инструментом, определяя наиболее рациональное распределение действующих осевых усилий.

Ко второй группе относится устройство для расширения скважин конструкции Всесоюзного научно-исследовательского горнометаллургического института цветных металлов (рис. 22).

В корпусе *1* генератора тепла устройства размещены промежуточная рубашка *2*, камера *3* сгорания с вращающейся сопловой крышкой *4*, скрепленной с полым стержнем *5*, соединенным посредством шарниров *6* с балансирами *7* и механическими породоразрушающими элементами, например шарошками *8*, в которых выполнены каналы *9* для охлаждающего агента.

При вращении сопловой крышки *4* направленный на периферию скважины газовый поток нагревает стенки скважины. В процессе вращения за счет возникающей при этом центробежной силы балансиры *7* приходят в движение в результате шарнирного соединения, и шарошки отбивают от стенок нагревом слой породы. Охлаждающий агент, проходя через каналы *9*, охлаждает шарнирные соединения и шарошки.

§ 3. КОМБИНИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЫ ИЗ СКВАЖИНЫ

Для повышения эффективности всего процесса бурения наряду с применением высокоэффективного породоразрушающего инструмента следует использовать также рациональные способы извлечения выбуренной породы или комбинации способов извлечения.

При подборе оптимальных способов следует в качестве основных критериев брать скорость транспортировки выбуренной породы, а также экономические показатели.

По скорости извлечения выбуренной породы наиболее производительным считается способ бурения с обратной промывкой.

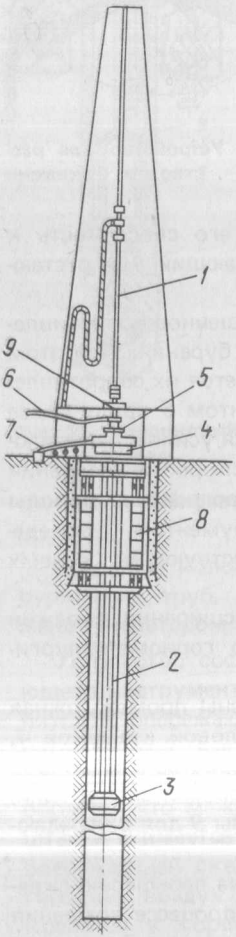


Рис. 23. Эрлифтное устройство для бурения стволов шахт

В то же время в связи с большим расходом промывочной жидкости данный способ не повсеместно экономически выгоден.

Наиболее эффективной комбинацией, например, для скважин водоснабжения и водопонижения может служить сочетание двух способов промывки — обратной и прямой.

Первым приближением к устройствам такого типа можно отнести эрлифтное устройство для бурения стволов шахт (рис. 23), предложенное Г.И. Булахом, Г.А. Шетлером.

Перед началом расширения пилот-скважины в нее независимо от става бурильных труб *1* спускают до заданной глубины две параллельные колонны подъемных эрлифтных труб *2*. Обе колонны эрлифтных труб свободно пропускаются через направляющие в траверсе забойного бурового агрегата РТБ. Нижняя часть эрлифтных труб снабжена шламоуловителем *3*, предназначенным также для центрирования при бурении второй и последующих фаз. Эрлифтные трубы устанавливают над форшахтой на вращающемся постаменте *4*. Трубы соединяют между собой воздухораспределительной головкой, представляющей собой сальниковое устройство, состоящее из неподвижно закрепленного корпуса *5*, к которому присоединен воздуховод *6* от компрессоров; кольцевого вращающегося внутреннего корпуса, через отверстия которого пропущены колонны бурильных труб *1* и эрлифтные трубы с двумя пульпоотводящими патрубками, соединенными с фланцем вращающегося корпуса. Пульпоотводящие патрубки отводят пульпу в

желоб *7*, смонтированный в виде кольца и соединенный через очистные сооружения с приемными емкостями буровых насосов, подающих рабочую жидкость через бурильные трубы к турбинам *8* РТБ. В подъемные эрлифтные трубы опускают на определенную глубину трубки для подачи сжатого воздуха. На роторе *9*, устанавливаемом под постаментом на раздвижной платформе, производят все работы, связанные с процессом бурения, спуска и подъема бурильных труб и забойного агрегата.

В описываемом устройстве эрлифтные и бурильные трубы подвешены независимо и операции по их спуско-подъему и наращиванию производят отдельно, что позволяет применить буровую установку, грузоподъемность которой меньше, чем суммарная масса бурового инструмента и эрлифтных труб. Кроме того, в нем осуществлена комбинированная промывка, прямая — для очистки участка забоя, разбуриваемого долотом, и обратная — для выноса породы на поверхность за счет применения эрлифта.

Другим примером комбинации двух способов промывки может служить инструмент обратной промывки скважин с призабойной обратной промывкой, предложенный специалистом США.

Буровой раствор проходит из бурильной трубы в кольцевое пространство между бурильной трубой и стенкой скважины ниже пакера, расположенного на инструменте, флюид возвращается через бурильную трубу и входит в кольцевое пространство над пакером.

Глава VI

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С РАСШИРЕНИЕМ

Расширение скважины — процесс увеличения диаметра скважины. Породоразрушающие инструменты, применяемые для расширения скважин, называются расширителями. Процесс расширения, выполняемый одновременно с углублением, отличается от калибровки скважины, при которой сохраняется диаметр скважины.

Такой инструмент называется стабилизатором. Практическое применение получили стабилизаторы — калибраторы — и стабилизаторы — расширители, последние отличаются тем, что диаметр их незначительно увеличен в сравнении с диаметром бурового инструмента.

В связи со значительным ростом объемов бурения скважин большого диаметра в последнее время наряду с рассмотренными способами бурения скважин также стал распространяться способ бурения с расширением ствола скважины.

Данный способ бурения отличается от способа бурения породоразрушающим инструментом большого диаметра экономическими и технологическими преимуществами.

§ 1. ВИДЫ РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИН

Расширение скважин производится для различных целей и в связи с этим существует несколько видов расширения: сплошное, устьевое, призабойное, местное и поинтервальное.

Сплошным расширением могут быть пробурены скважины однократным или же многократным расширением, одно- или многоступенчатыми расширителями. Также скважины выполняются при нисходящем и восходящем направлении бурения и находят применение при разработке выработок с полезным ископаемым, сооружении шахт и др.

Устьевое расширение скважин может быть выполнено тремя способами:

а) бурение сплошным расширением устьевой части с последующим переходом на малый диаметр; б) бурение скважины малого диаметра с последующим расширением устьевой части; в) бурение двумя забоями.

Наиболее эффективным способом бурения скважин с устьевым расширением является бурение двумя забоями. Этот способ получил распространение при бурении глубоких скважин с расширением устьевой части ствола под кондуктор. Призабойное расширение применяется при сооружении скважин для водоснабжения и дренажа, а также для устройства свай и опор глубокого заложения.

Скважины с призабойным расширением производятся двумя способами:

а) бурение скважины малого диаметра с последующей заменой породоразрушающего инструмента и расширением; б) бурение скважины малого диаметра с последующим расширением без подъема инструмента из скважины.

Местное и поинтервальное расширение чаще всего применяются при бурении скважин водоснабжения и водопонижения. Такие скважины выполняются также двумя способами:

а) предварительным бурением скважины малого диаметра с последующей заменой инструмента и расширением необходимого интервала; б) бурением скважины малого диаметра с одновременным расширением необходимых интервалов без подъема инструмента из скважины.

§ 2. РАЗНОВИДНОСТИ РАСШИРИТЕЛЕЙ

Применяемые расширители классифицируются по следующим признакам: а) по способу разрушения породы; б) по креплению рабочих органов расширителей; в) по числу, типу и креплению породоразрушающих элементов.

По способу разрушения породы наряду с основными способами механического бурения также применимы менее распространенные способы разрушения как гидродинамический, термический, электродинамический и др. По креплению расширители бывают жестко закрепленные и подвиж-

ные расширители. По числу, типу и креплению породоразрушающих элементов расширители бывают одно-, двух- и многошарошечные, лопастные, жестко закрепленные или съемные.

§ 3. РАСШИРИТЕЛИ С ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Расширители с жестко закрепленными рабочими органами имеют наибольшее применение в связи с простотой конструктивного исполнения и эксплуатации. По форме и типу рабочих органов применяются расширители шарошечные, лопастные, комбинированные и др.

ШАРОШЕЧНЫЕ РАСШИРИТЕЛИ

Шарошечные расширители по назначению относятся к области бурения нефтяных и газовых скважин, а именно к устройствам для расширения скважин до большого диаметра. Применяются также и в других отраслях промышленности, например, при бурении взрывных скважин на открытых горных работах и др.

В отечественной и зарубежной практике применяется целый ряд различных расширителей шарошечного типа. Наибольший интерес представляют расширители со сферическими и коническими шарошками.

Расширитель со сферическими шарошками (рис. 24) состоит из корпуса *1*, в котором закреплены одношарошечные долота *2*, имеющие сферические шарошки *3*. В нижней части корпуса установки расположен переводник *4*, который снабжен насадками *5*. Шарошки вооружены элементами *6*.

Для повышения производительности расширителей указанного типа Полтавским отделением Украинского научно-исследовательского геологоразведочного института предложено закрепление долота таким образом, чтобы проекции цапф на горизонтальную плоскость располагались под различными углами к осям, соединяющим ось скважины с осями долот. Такое расположение долот вызывает различную степень проскальзывания шарошек по забою с сохранением ударного воздействия элементов вооружения *6*, обеспечивая наиболее эффективный режим разрушения пород с различными физико-механическими свойствами.

Расширители с коническими шарошками в отличие от сферических имеют более широкое применение.

По числу долот и способу крепления практическое применение нашли долота двух-, трех- и четырехшарошечные с быстрозаменяемыми шарошками.

Такие долота используются совместно с серийно выпускаемыми долотами, служащими для бурения первой скважины.

Зарубежными фирмами налажен серийный выпуск расширителей с коническими шарошками.

Из известных отечественных расширителей шарошечного типа следует отметить разборный шарошечный расширитель ВНИИБТ.

Применение разборного шарошечного расширителя позволяет про-

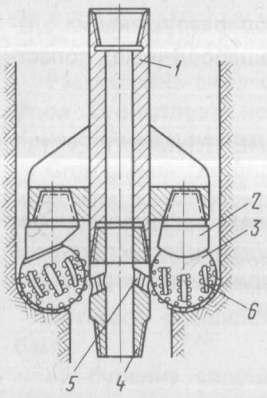


Рис. 24. Расширитель со сферическими шарошками

изводить смену изношенных режущих комплектов непосредственно на буровой, в полевых условиях, без применения сварки.

Все лапы с шарошками взаимозаменяемы и могут устанавливаться на корпус расширителя на разном расстоянии от центра и на разной высоте.

Таким образом, при применении разборного расширителя предлагаемой конструкции можно получить более полную отработку вооружения шарошек и их опор, т.е. достичь более эффективного использования расширителей в бурении.

Как известно, для повышения эффективности работы породоразрушающего инструмента, в частности шарошечных долот, важное значение имеет быстрота чистки и выноса выбуренной породы с забоя скважины.

В противном случае частицы породы будут осаждаться и повторно измельчаться инструментом. Кроме того, шарошки и зубья шарошек должны быть постоянно чистыми и свободными для обеспечения полного контакта с породой забоя и максимального внедрения зубьев шарошек в породу.

Долгое время при разработке новых конструкций долот промывочные отверстия располагались таким образом, чтобы промывочная жидкость направлялась непосредственно на шарошки и основное действие струи жидкости заключалось в поддержании шарошек в чистом состоянии.

При бурении такими шарошечными долотами диаметр промывочного отверстия и объем жидкости находились в зависимости и максимальная допустимая скорость жидкости составляла 30,5 л/с. Дальнейшее увеличение скорости приводило к разъеданию зубьев шарошек.

С внедрением долот большого диаметра и расширителей проблема очистки забоя стала наиболее актуальной. Начиная с 50-х годов зарубежные компании стали применять гидромониторные долота с насадками, расположенными таким образом, что струя промывочной жидкости, выходящая из них, ударяет непосредственно в забой скважины полностью, минуя шарошки, а за счет турбулентного движения жидкости обеспечивается очистка самих шарошек.

Применение гидромониторных долот позволяет повысить скорость промывки в 3—4 раза и более в сравнении с предельными скоростями обычных долот.

Гидромониторные (струйные) шарошечные одно- и двухступенчатые расширители серийно выпускаются фирмой "Смит" (США). Эти долота используются для бурения скважин диаметром 660 мм и более.

В зарубежной практике также используются эжекторные расширители, промывочные сопла которых установлены между шарошками и направлены вверх.

Использование эжекторных расширителей позволяет улучшить циркуляцию промывочной жидкости в расширенном стволе и повысить механическую скорость расширения.

РАСШИРИТЕЛИ РЕЖУЩЕГО ТИПА

В качестве расширителей режущего типа нашли применение лопастные, дисковые и корончатые расширители.

Эксцентричные долота лопастного типа являются простейшими расширителями режущего типа и используются для забуривания нового ствола и в тех случаях, когда необходимо значительно увеличить диаметр ствола скважины; эксцентричные долота могут быть выполнены как по типу долота РХ, так и по типу пикообразного долота.

Лопастные расширители чаще всего состоят из двух, трех и четырех лопастей, режущая поверхность которых армирована твердосплавными пластинами или наплавлена сормайтом, релитом и др.

Расширители дискового типа обычно состоят из нескольких отдельных секций, надетых на центральный вал, и снабжены режущими дисками. Число и размеры секций зависят от диаметров расширения скважины.

Расширители корончатого типа обычно состоят из корпуса, наклонно расположенных валов со съемными коронками.

Расширитель конструкции В.П. Петренко и А.Д. Игнатьева (рис. 25) позволяет производить расширение скважин различного диаметра.

Исполнительный орган состоит из двух коронок. Каждая коронка содержит установленный под углом к оси машины телескопический вал *1*, на верхней выдвижной секции которого закреплена режущая кромка *2* постоянного диаметра, а остальные секции снабжены скалывателями *3, 4*. Режущая кромка производит разрушение забоя тремя резцами *5*, а скалыватель — одним резцом *6*. Для уравновешивания работы испольнительного органа резцы скалывателей развернуты относительно друг друга на 180°.

Исполнительный орган расширителя работает следующим образом. На верхнем горизонте устанавливают тяговую лебедку. В предварительно пробуренную скважину *7* опускают канат *8*, который подсоединяют к прицепному устройству *9*. Затем подают расширитель на забой и передовая скважина расширяется до сечения готовой выработки в направлении снизу вверх. Расширитель центрируется относительно оси скважины направляющим фонарем *10*. При проведении выработок большого диаметра телескопический вал раздвигается и коронки занимают положение, показанное на чертеже. Перед проведением выработок малого диаметра по мере необходимости снимают скалыватели *2, 3* и телескопический вал *1* укорачивается до получения необходимого диаметра проводимой выработки.

К расширителям режущего типа также относятся расширители обратного хода, предназначенные для разбуривания горизонтальных скважин до скважин большого диаметра, при бестраншейной прокладке трубопроводов под дорогами, железнодорожными насыпями и т.п.

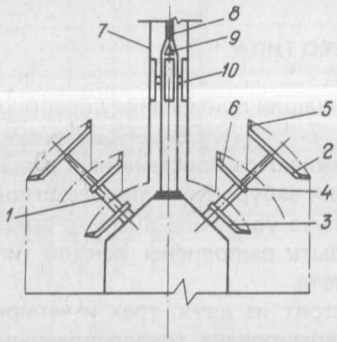


Рис. 25. Расширитель конструкции В.П. Петренко и А.Д. Игнатьева

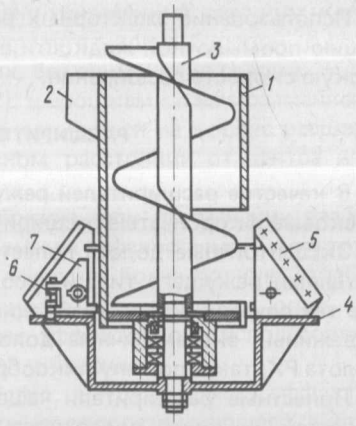


Рис. 26. Расширитель обратного хода

В качестве примера дан расширитель обратного хода конструкции Кузбасского политехнического института (рис. 26).

Расширитель обратного хода состоит из соединенных между собой опорно-направляющей лыжи *1* с ножами *2* и подшипниковой опоры. Внутри опоры установлен вал, к которому со стороны лыжи крепится шнековый буровый став *3*, а с противоположной стороны — задняя стенка *4* расширителя. На последней размещены отбойные лопасти с режущим инструментом. К нерабочим поверхностям лопастей посредством шарниров *6* прикреплены ударные элементы, прижатые к поверхностям лопастей пружинами, причем сила прижатия регулируется гайками. Подпружиненный конец ударного элемента выступает за пределы лопасти в зоне невращающегося кольцевого профилированного (например, зубьями) участка опорно-направляющей лыжи.

Во время бурения вращение и поступательное движение передаются от станка по шнековому ставу *3* валу расширителя и далее задней стенке *4* с отбойными лопастями, оснащенными регулирующим инструментом *5*. Опорно-направляющая лыжа *1* находится в передовой скважине и удерживается от вращения ножами *2*, причем она является не только опорным и направляющим элементом, но и погрузочным лотком, частично размещенным в расширенной части скважины. Разрушенный резцами грунт поднимается отбойными лопастями и падает на опорно-направляющую лыжу. Задняя стенка не позволяет разрушенному грунту оставаться в расширенной скважине.

Налипание влажного грунта на лопасти предотвращается путем создания вибраций при помощи подпружиненных ударных элементов *7*. При вращении расширителя конец ударного элемента, упираясь в зубья на кольцевом участке опорно-направляющей лыжи, отклоняет ударный элемент в шарнире *6* на некоторый угол относительно лопасти. Благодаря этому, сжимается пружина, которая удерживается на шпильке гай-

кой. Когда конец ударного элемента потеряет контакт с зубом, пружина разжимается и элемент *7* наносит удар по лопасти. Сила удара может регулироваться изменением величины предварительного сжатия пружины гайкой, а частота ударов зависит от числа зубьев и частоты вращения бурового става.

РАСШИРИТЕЛИ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

Рассмотренные расширители имеют соответственно области применения, например, в плотных и вязких породах применяются шарошечные расширители, а в мягких и рыхлых породах — расширители режущего типа.

Однако на практике редко встречаются скважины, разрезы которых сложены из однообразных пород, и в связи с этим приходится применять при бурении одной скважины различные типы сменных расширителей или долота шарошечного типа, заведомо теряя в производительности бурения.

Комбинированные долота в этом отношении имеют преимущества, заключающиеся в их универсальности.

Комбинированные расширители могут быть двух видов:

а) снабженные рабочими элементами, выполняющими функцию резания, скалывания и перекатывания;

б) снабженные рабочими элементами различных типов.

К расширителям первого вида относится одношарошечный эксцентричный расширитель типа КМБО и эксцентричный расширитель.

Расширитель снабжен вибратором, рабочим элементом шарошечного типа и центратором.

В процессе работы вибратор создает колебания, раскладывающиеся на составляющие, одна из которых действует в направлении оси скважины, а другая — тангенциально к ней.

К комбинированным расширителям второго вида относятся шарошечное долото и расширитель для буросбоечных машин конструкции Кузбасского политехнического института (рис. 27).

Шарошечное долото содержит корпус, снабженный гнездами, в которых установлены плечи. На концах плеч закреплены шарошки, снабженные режущими венцами и расположенные одна над другой в виде нескольких венцов, выступающих из основного корпуса долота. Длина плеч может быть изменена.

Расширитель для буросбоечных машин позволяет повысить скорость бурения скважины по углю с включением породных прослоек.

Расширитель состоит из двухлучевого резцедержателя *1*, в лучах которого установлены съемные резцы *2*.

Резцедержатель посредством шлицевого соединения связан со стержнем *3*. На стержень насажена пружина *4*, которая опирается на шлицевую гильзу *5*. К гильзе прикреплены лапы *6* с шарошками. Резцедержатель сверху фиксируется гайками *7*, навинчиваемыми на резьбовой конец стержня *3*, который снабжен пакетом прокладок *8*.

Перед началом бурения расширитель собирают таким образом, чтобы

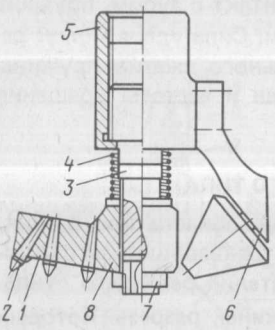


Рис. 27. Расширитель для буросбоечных машин

резцы оказывались выше шарошек, а пружине регулировкой положения гаек подавалось предварительное сжатие, которое определялось, исходя из требуемого осевого усилия, необходимого для обеспечения нормального процесса бурения по углю резцами.

При бурении крутящий момент от машины передавался через шлицевое соединение на гильзу *5*, далее через шлицы на стержень *3* и на резцедержатель.

Процесс бурения происходит следующим образом. При бурении по углю в контакте с породой находятся только резцы, так как пружина установлена на определенное усилие, которого недостаточно, чтобы обеспечить бурение. Поэтому под действием механизма подачи машины гильза *5* вместе с шарошками начинает подниматься, сжимая пружину, пока шарошки не войдут в контакт с породой. При этой почти весь забой будет обрабатываться шарошками, а на долю резцов останется оконтуривание скважины.

После пробуривания породного прослойка сопротивление бурению понижается и в работу снова включаются резцы, которые опережают шарошки под действием пружины, т.е. смена рабочих элементов осуществляется в процессе работы автоматически в зависимости от крепости буримой породы.

§ 4. РАСШИРИТЕЛИ С ПОДВИЖНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Рассмотренные расширители с жестким креплением рабочих органов имеют свою область применения и не могут быть использованы при необходимости расширения отдельных участков ствола скважины, а также при расширении в кавернозных и отваливающихся породах из-за возможности прихвата инструмента.

Поэтому наряду с применением расширителей с жестко закрепленными рабочими органами получили распространение также расширители, рабочие органы которых во время расширения выдвигаются, а при спуске и подъеме инструмента убираются.

Расширители с подвижными рабочими органами в комплексе с буровым инструментом можно отнести к двум большим группам:

а) извлекаемые расширители; б) неизвлекаемые расширители.

Извлекаемые расширители используются в комплекте с обычным буровым инструментом для бурения скважины малого диаметра, а затем извлекаются из скважины для перевода органов расширителя в положение для бурения с расширением. Перевод рабочих органов расширителей неизвлекаемого типа осуществляется без их подъема на поверхность.

Расширители обеих групп в зависимости от привода рабочих орга-

нов подразделяются на механические, гидравлические, пневматические, электромеханические и др.

Каждый из этих видов также подразделяется на подвиды, например, расширители с механическим приводом — на расширители осевого давления, обратного хода, винтовые, центробежные и т.д.

МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСШИРИТЕЛИ

Механические расширители, привод которых осуществляется за счет осевого давления, относятся к извлекаемым расширителям.

Расширитель данного типа конструкции В.М. Волжского предназначен для бурения котлов (рис. 28).

Устройство состоит из корпуса *1*, снабженного двумя неподвижными резцами *2* и двумя раздвижными резцами *3*, укрепленными в корпусе при помощи осей *4*. Резцы армированы твердым сплавом.

Коронка вводится в шпур со сведенными раздвижными резцами. При упоре раздвижных резцов в забой под воздействием на них силы реакции сопротивления породы осуществляется принудительное раздвижение резцов. Силы реакции сопротивления пород направлены на резцы эксцентрично по отношению к их осям.

В корпусе коронки имеются отверстия для поступления сжатого воздуха или промывочной жидкости под лезвия коронки (на чертеже не показаны).

Механические расширители с приводом за счет осевого давления могут применяться для обеспечения заданной формы и размеров призабойной части скважины.

К таким расширителям относится расширитель В.И. Церцвадзе.

Расширитель состоит из основной штанги, пружины, раскрывателя резцов со шпилькой, корпуса резцов, резцов, армированных твердым сплавом, опорной пяты. После окончания бурения скважины, имеющей цилиндрическую форму, в нее вводят расширитель, который своей опорной пятой упирается в забой скважины, вследствие чего при дальнейшей подаче штанги пружина сжимается и раскрыватель резцов начинает раздвигать резцы. При вращении штанги крутящий момент через корпус передается резцам. Вращающиеся, поворотно укрепленные на осях, резцы разбуривают концевую цилиндрическую часть, придавая ей форму опрокинутого усеченного конуса. Крышка пяты, достигнув забоя шурфа, в течение всего периода расширения при вращающихся корпусе и резцах остается неподвижной. Вследствие этого резцы расширителя, работая боковыми поверхностями, во время расширения не перемещаются в осевом направлении. После окончания расширения отводят штангу, пружина выводит раскрыватель резцов из корпуса, резцы входят в корпус, и расширитель выводят из скважины.

Шарошечный расширитель создан Соколовско-Сарбайским горнообогатительным комбинатом.

Расширитель состоит из нижней и верхней частей корпуса, имеющих входящие в зацепление кулачки, трубок для подвода сжатого воздуха

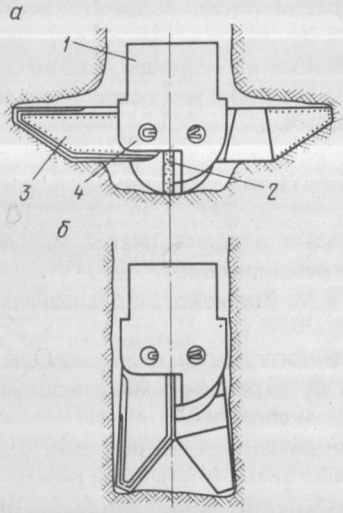


Рис. 28. Расширитель конструкции В.М. Волжского для бурения котлов:
а — рабочее положение; *б* — после спуска на забой

на забой и соединенных подвижно с помощью шарнирно закрепленных пластин *4* пальцев, шарошки и долота.

Расширитель закрепляется в буровом ставе и скважину бурят до определенной глубины только с помощью шарошечного долота.

Шарнирные пластины во избежание раскрытия шарошек стопорятся пальцами. Затем расширитель извлекают из скважины, стопорные пальцы убирают и дальнейшее бурение производят совместно долотом и шарошками.

Раскрытие шарошек до необходимого размера происходит под действием осевого давления на буровой став.

Крутящий момент передается с помощью входящих в зацепление кулачков на нижней и верхней частях корпуса.

При подъеме бурового става шарошки складываются и утопают внутри корпуса.

К расширителям осевого давления относится также механический расширитель конструкции Г.А. Пермякова и А.П. Тыщенко.

Данный расширитель с целью многократного использования и ускорения операции по переводу режущих органов в рабочее и транспортное положение снабжен ограничительным кольцом, состоящим из двух половин, имеющим скосы на торцовой стороне, предотвращающие самопроизвольное выпадание кольца, и размещенным между переводником и корпусом породоразрушающего наконечника.

Механический расширитель состоит из переводника, корпуса и породоразрушающего наконечника, породоразрушающих органов, стопорных винтов, промежуточного составного кольца, осей породоразрушающих органов, штоков, рычагов, основного породоразрушающего органа (шарошки).

Механические расширители с приводом от дополнительной колонны (рис. 29). Устройство погружается в скважину с помощью снабженной башмаком буровой колонны *1* с приводным механизмом, включающим поворотную муфту *2*. В колонне *1* имеются прорези *3* для выхода расширительных лап *4*.

Изменение положения раздвигающихся лопастей расширителя, а также регулирование поводковой муфты осуществляется с помощью колонны управления *5*.

Механические расширители с приводом за счет центробежной силы применены преимущественно при бурении вращательным способом с

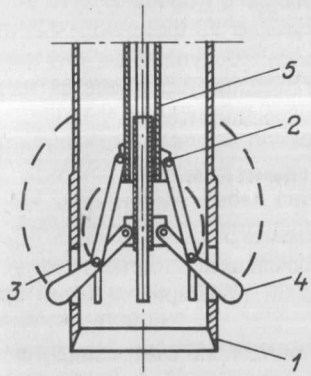


Рис. 29. Механический расширитель с приводом от дополнительной колонны

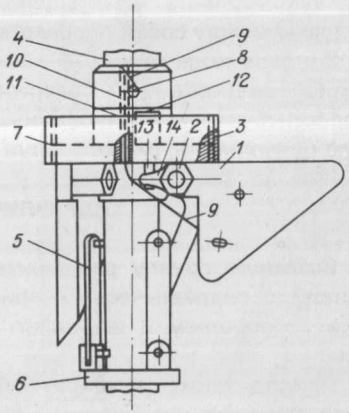


Рис. 30. Механический расширитель с приводом за счет центробежной силы

обратной промывкой забоя. Расширитель с центробежным приводом конструкции Специализированного треста по производству работ по бурению скважин на воду (рис. 30) содержит три тангенциально расположенные треугольные лопасти *1* с центром тяжести и отверстиями для осей *2*, шарниров, расположенных вблизи одной из вершин каждой лопасти.

Оси *2* шарнирно связаны с фланцем *3* бурильной трубы *4*. Тяги *5* шарнирами связаны с лопастями *1*, а шарнирами *9* — с направляющим кольцом *6*, свободно надетым на бурильную трубу. На фланец *3* навинчен кольцевой регулируемый упор *7*.

Лопасти *1* в нерабочем положении скреплены болтами *8*, установленными на замке бурильной трубы *6* с помощью проволок *9*, пропущенных через отверстия *10* и *11* двух частей замкового соединения, между которыми при монтаже бурильных труб оставлен зазор.

Над фланцем *3* установлена форсунка *12* с выступающим плунжером *13*, обращенным к рычагу *14* одной из лопастей *1*.

В скважину, пробуренную до водоносного горизонта (или до проектной глубины), опускается расширитель, смонтированный на колонне бурильных труб.

При вращении снаряда на забое скважины верхняя бурильная труба проворачивается относительно нижней (которая связана с долотом, испытывающим сопротивление со стороны выбуриваемой породы) в пределах, обусловленных зазором, при этом края отверстий *10, 11* перекусывают проволоку *9* и лопасти *1*, увлекаемые центробежной силой, выдвигаются до соприкосновения с кольцевым упором *7*.

Тангенциальное расположение лопастей *1* позволяет максимально удалить центры тяжести от осей *2* шарниров, обеспечивая надежность раскрытия расширителя.

Равномерность перемещений лопастей обеспечивается тем, что они связаны между собой посредством направляющего кольца *6*.

В конце хода рычаг *14* нажимает на плунжер *13* форсунки *12*, наполненной жидкостью, и содержимое форсунки поступает во внутреннюю полость бурильных труб, откуда в смеси с пульпой поднимается на дневную поверхность, сигнализируя о раскрытии расширителя.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСШИРИТЕЛИ

Большую группу расширителей извлекаемого типа занимают расширители с гидравлическим приводом, включающие гидравлическую камеру с поршнем и шарнирно подвешенными расширительными органами.

Привод таких расширителей осуществляется за счет создания перепада давления над поршнем во время прокачки промывочной жидкости.

Расширители с гидравлическим приводом применяются с рабочими органами лопастного и шарошечного типов.

Простейшим расширителем с гидравлическим приводом является расширитель с асимметрично расположенным лопастным органом конструкции Татарского нефтяного научно-исследовательского института.

Для присоединения расширителя к бурильной колонне на корпус расширителя навинчен переводник. Рабочие поверхности лопасти армированы штырями из твердого сплава.

Увеличение диаметра скважины производят вращением расширителя турбинным или роторным способами. При прокачке промывочной жидкости через расширитель под поршнем создается перепад давления, который сжимает пружину и посредством тяги разворачивает лопасть в рабочее положение. Зарезку производят при работе расширителя в течение нескольких минут на одном месте. Затем подачей бурильной колонны вниз создают нагрузку на расширитель и производят дальнейшее увеличение диаметра ствола скважины до необходимого интервала. При этом лопасть своей поверхностью упирается в поверхность корпуса расширителя и за счет большей длины радиуса обеспечивается устойчивая работа расширителя. Лопасть имеет такую форму, что в рабочем положении короткое плечо расположено ниже удлиненного, чем создается ступенчатое разрушение породы. Для подъема расширителя из скважины прекращают подачу промывочной жидкости. Под действием пружины поршень и связанная с ним посредством тяги лопасть возвращается в исходное положение.

В качестве простейшего шарошечного расширителя с гидравлическим приводом применяется вставное долото А.З. Романова, Н.И. Буяновского и др.

Долото состоит из корпуса, в котором смонтированы неподвижно закрепленные стационарные лапы и шарнирно подвешенные лапы, снабженные выступающими приливами. Лапы имеют соответственно внутренние и внешние шарошки. Раздвижение шарнирных лап происходит под действием поршня, перемещаемого вниз при подаче промывочной жид-

кости во время работы долота. Промывочная жидкость подается к внутренним шарошкам через патрубки, закрепленные в теле поршня. Подача промывочной жидкости к внешним шарошкам осуществляется через отверстие в корпусе и отверстие в шарнирных лапах.

Конструкция долота позволяет в одном корпусе поместить две пары лап, причем шарнирные лапы свободно могут раздвигаться и складываться под действием небольшого усилия, затрачиваемого лишь на преодоление трения в шарнирах и поршне.

Основным недостатком шарошечных расширителей с гидравлическим приводом является вибрация лап, что не позволяет получить ровную стенку ствола в расширенной части.

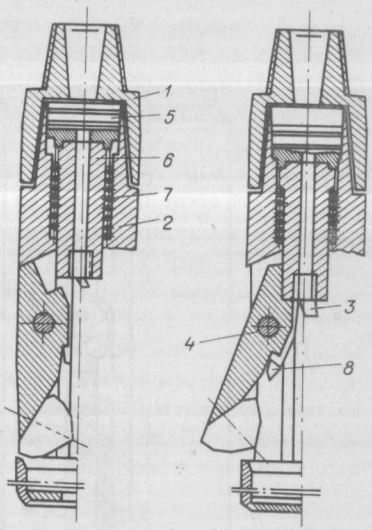


Рис. 31. Гидравлический расширитель

Данный недостаток устранен в конструкции созданного Татарским нефтяным научно-исследовательским институтом гидравлического расширителя (рис. 31).

Расширитель включает в себя переводник *1* и корпус *2* с центральным глухим отверстием. Лапы *3* с шарошками соединены с корпусом при помощи пальцев *4* с зазором, вставленных в корпус и фиксируемых заглушками.

Поршень *5* помещен в центральном отверстии корпуса. Толкатель *6* соединен с поршнем радиальным зазором. Возвратная пружина *7* расположена между заплечиком толкателя *6* и дном глухого отверстия корпуса. Фиксатор *8* соединен с толкателем.

Расширитель спускается в скважину на бурильных трубах. По достижении интервала расширения восстанавливают циркуляцию. За счет перепада давления под поршнем толкатель движется вниз, раскрывая лапы с шарошками до упора. Созданием нагрузки на расширитель при одновременном вращении расширяют диаметр скважины в нужном интервале. После расширения ствола скважины прекращают подачу жидкости. Поршень и толкатель под действием возвратной пружины отходят в верхнее положение, фиксатор при этом возвращает лапы с шарошками в транспортное положение и стопорит их. После этого расширитель поднимают на поверхность.

Вибрация лап с шарошками при работе расширителя, вызванная твердыми включениями породы, поглощается гидравлическим демпфером, образованным между поверхностями поршня и переводника, и стенкой цилиндра в корпусе, благодаря чему поверхность расширенной части ствола получается гладкой.

Рассмотренные расширители гидравлического типа относятся к извле-

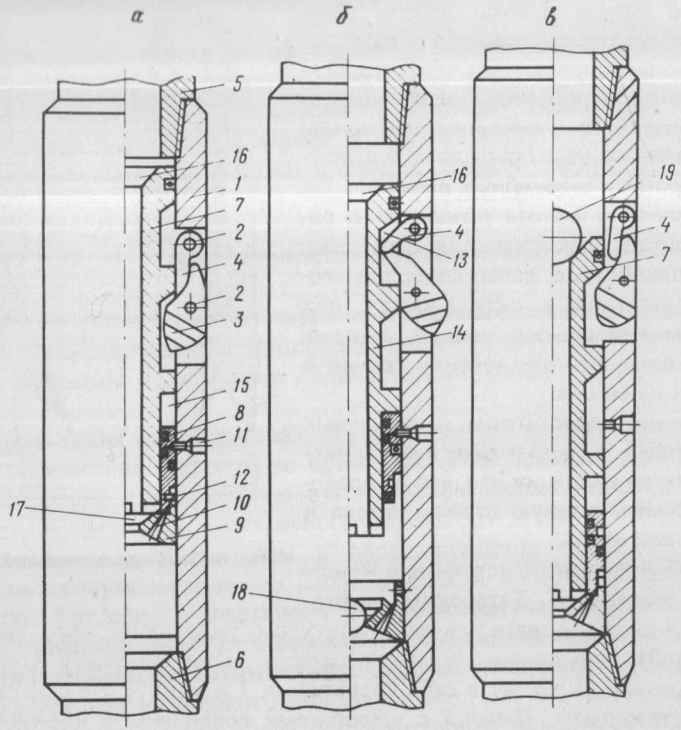


Рис. 32. Расширитель:
а — разрез; *б* — в рабочем положении; *в* — перед подъемом из скважины

каемым расширителям. Привод этих расширителей осуществляется за счет избыточного гидравлического давления промывочной жидкости.

С целью повышения эффективности бурового инструмента ряд конструкций гидравлических расширителей имеют поршни дифференциального типа, что позволяет управлять ими за счет сбрасываемых с дневной поверхности шаров. Такие расширители относятся к неизвлекаемым.

В качестве примера рассмотрен расширитель (рис. 32) Всесоюзного научно-исследовательского института по креплению скважин и буровым растворам.

В продольных пазах толстостенного корпуса *1* на осях *2* закреплены породоразрушающие элементы *3* и возвратные рычаги *4*. Расширитель соединяется с бурильной колонной при помощи верхнего и нижнего переводников *5* и *6*. Внутри корпуса расположены дифференциальный поршень *7*, верхний и нижний упоры *8* и *9* с каналами *10*; упоры фиксируются в исходном положении фиксаторами *11* и *12*.

Поршень имеет два конических кулачка *13* и *14* и упорный бурт *15*. На нижнем упоре и на верхнем торце поршня предусмотрены конические седла *16* и *17* под забрасываемые с дневной поверхности шары *18* и *19*.

После спуска расширителя на необходимую глубину в колонну бурильных труб забрасывают шар *18*, который устанавливается на седло *17* нижнего упора *9*. Под действием избыточного давления нагнетаемой промывочной жидкости срезаются фиксаторы *12* и нижний упор *9* перемещается вниз до посадки на торец нижнего переводника. При отделении нижнего упора от верхнего возобновляется циркуляция промывочной жидкости через периферийные каналы *10* нижнего упора *9*. Поршень *7* под действием перепада давления промывочной жидкости движется вниз и останавливается, упершись буртом *15* в упор *8* (рис. 32, *б*). При этом кулачок *14* сначала освобождает рычаги *4*, а затем выдвигает породоразрушающие элементы *3* в рабочее положение. Перед подъемом расширителя из скважины в колонну бурильных труб бросают шар *19*. После посадки шара на верхнее седло поршня под действием избыточного давления промывочной жидкости фиксаторы *11* срезаются и поршень вместе с верхним упором перемещается вниз до нижнего упора. При этом кулачок *13* поршня, воздействуя на рычаги *4*, возвращает породоразрушающие элементы в исходное положение (рис. 32, *в*).

Одновременно с этим открываются пазы в корпусе и внутренняя полость расширителя сообщается с затрубным пространством, вследствие чего восстанавливается циркуляция промывочной жидкости, которая сигнализирует о том, что породоразрушающие элементы заняли исходное положение. Далее следует беспрепятственный подъем расширителя из буровой скважины.

К расширителям гидравлического типа относятся также расширители с приводом за счет смены систем промывки, например за счет обратной промывки.

Основными узлами устройства являются корпус, центральная штанга и поршень.

Работа устройства заключается в следующем. На бурильной колонне устройство спускается до нулевого интервала, и включают обратную промывку, при этом в одной полости снимается давление, а в другой полости происходит повышение давления промывочной жидкости, которое поддерживается гидростатическим давлением столба жидкости в скважине.

За счет разности давлений в полостях происходит перемещение поршня вниз, а вместе с ним центральной штанги с расширительными лапами до полного выдвижения их.

Перед подъемом инструмента прекращают обратную промывку, давления в полостях уравниваются, и за счет возвратной пружины центральная штанга и расширительные лапы возвращаются в исходное положение.

К извлекаемым расширителям относятся гидромониторные расширители.

Гидромониторный расширитель конструкции Е.Ф. Серобабы и П.С. Литвиненко (рис. 33) состоит из корпуса *1*, снабженного радиальными патрубками *2*, и надетого на него стакана *3*. Для удержания стакана и ограничения его хода на корпусе служат стопорный винт *4* и выполненная на наружной поверхности корпуса канавка *5*. На радиальных

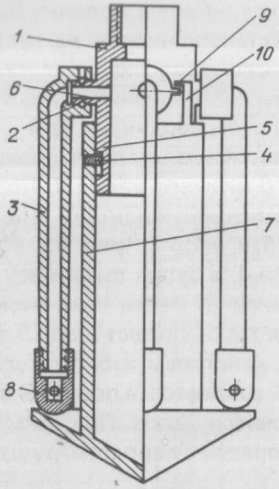


Рис. 33. Гидромониторный расширитель конструкции Е.Ф. Серобабы и П.С. Литвиненко

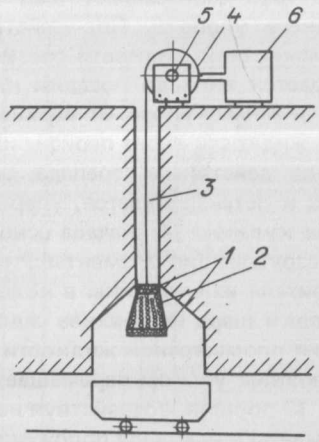


Рис. 34. Устройство для расширения скважин

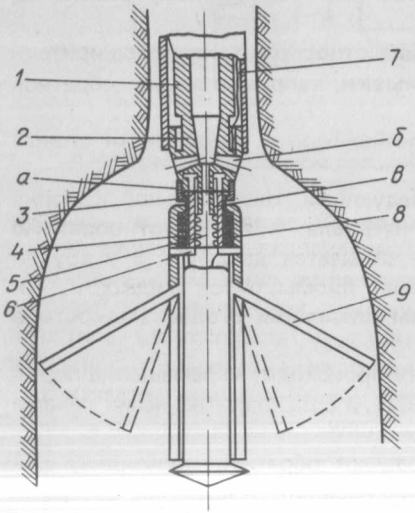


Рис. 35. Устройство для расширения скважин конструкции М.И. Великого, А.В. Ягупова, В.Н. Кобозева и др.

патрубках *2* с помощью шарикового замкового подшипника смонтированы изогнутые параллельно образующей корпуса поворотные трубки *7*. Свободные концы этих трубок снабжены гидромониторными насадками *8*, а концы, соединенные с патрубками, — выступами *9*. Стакан, в свою очередь, снабжен тягами *10* Г-образной формы, кинематически связанными с выступами *9* поворотных трубок. Для защиты подшипниковых узлов трубок *7* предусмотрены уплотнения *6*.

Работа гидромониторного расширителя осуществляется следующим образом.

В транспортном положении трубки *7* расположены параллельно образующей корпуса и удерживаются в таком положении за счет сил трения стопорного винта *4*, который фиксирует стакан *3* в верхнем положении.

По достижению устройством рабочей зоны в него под давлением подают рабочую жидкость. Она давит на стакан *3* и, преодолевая силы трения стопорного винта о поверхность канавки *5*, перемещает стакан в его нижнее положение. Воздействуя при этом через тягу на выступ *9*, стакан поворачивает трубки *7* на определенный угол, который может регулироваться для каждой трубки длиной тяги. Далее рабочая жидкость, проходя через насадки *8*, размывает стенки скважины.

Одновременно с размывом производится заполнение размываемого пространства гравийным материалом, который поступает по межтрубному пространству. При подъеме устройства на поверхность трубы занимают положение, соответствующее проходному сечению обсадной колонны, перемещая стакан вверх.

Для бурения вентиляционных шурфов, запасных выходов шахт в горной промышленности используются устройства для расширения предварительно пробуренных скважин малого диаметра, включающие рабочий орган и генератор электромагнитных колебаний.

В качестве примера приводится устройство для расширения скважин (рис. 34), созданное в Ленинградском горном институте им. Г.В. Плеханова.

Рабочий орган устройства состоит из двух колец *1*, выполненных из высокочастотного диэлектрика (например, ситалла) и системы *2* дуговых электродов, знакопеременно подсоединенных посредством коаксиального кабеля-троса *3* через установленный на лебедке *4* токосъемник *5* к генератору *6* электромагнитных колебаний. Кабель-трос *3* одновременно используется для подъема рабочего органа посредством лебедки *4*.

Устройство работает следующим образом. В предварительно пробуренную скважину с поверхности вводят коаксиальный кабель-трос *3*. К его концу со стороны подземной выработки подвешивается рабочий орган. В исходном положении рабочий орган суженной частью устанавливается вблизи входа скважины в подземную выработку. Затем включается генератор *6* электромагнитных колебаний, в результате чего вокруг рабочего органа возникает радиально расходящееся электромагнитное поле, воздействующее на стенки скважины. Благодаря тому что одновременному воздействию высокочастотного электромагнитного поля подвергается сразу значительный слой породы, процесс ее разрушения протекает весьма быстро.

Разупрочненная порода под действием собственного веса обрушивается в емкость, установленную в подземной выработке над входом в скважину. По мере расширения скважины до заданного диаметра рабочий орган с помощью кабеля-троса *3* лебедкой *4* поднимается по скважине до тех пор, пока не достигнет ее устья.

При существующих технических средствах диаметр скважины преимущественно определяют после окончания технологической операции расширения скважин, что является существенным недостатком известных конструкций расширителей.

Группой авторов — М.И. Великим, А.В. Ягуповым, В.Н. Кобозевым и

другими с целью устранения данного недостатка создано устройство, позволяющее определить диаметр скважины непосредственно в процессе расширения (рис. 35).

Устройство включает огнеструйную горелку *1* с сопловым аппаратом *2*, гайку *3* для крепления измерителя к сопловому аппарату, пружину *4*, сильфон *5*, штифты *6*, провода *7*, чехол *8*, измерительные рычаги *9*.

Вместо сильфона может быть и другой привод, например поршень, движущийся в цилиндре.

Сильфон *5* каналом соединен с камерой сгорания огнеструйной горелки и воспринимает внутрикамерное давление. Чехол выполнен с вырезами для измерительных рычагов и может перемещаться относительно измерителя. Пружина *4* удерживает чехол в верхнем положении. От измерителя информация передается по проводам, проложенным в охладительном тракте огнеструйной горелки и буровой штанги, к показывающему или самопишущему прибору.

Устройство работает следующим образом. При расширении скважины на рабочем режиме в камере сгорания горелки развивается определенное давление, зависящее от расхода, тепловых компонентов и сечения сопел *6*, через которые выходят на забой скважины огненные струи. Под действием внутрикамерного давления сильфон удлиняется, усилие через штифты передается чехлу, который, сжимая пружину *4*, перемещается вниз и складывает измерительные рычаги *9*. Таким образом, при расширении скважины, когда рабочий орган перемещается в ней, измерительные рычаги находятся в сложенном положении в пазах чехла и защищены от воздействия бурового шлама, горячих газов и ударных нагрузок при случайном касании устройства стенок скважины. Вода, охлаждающая горелку, омывает поверхность сильфона, проходит через полость в отверстие измерителя, выбрасывается в призабойное пространство, образуя дополнительную тепловую защиту для измерителя. Измерительные рычаги находятся не в одной плоскости с соплами горелки (как это условно показано на рисунке), что также улучшает условия их работы, так как они меньше подвергаются воздействию движущихся частиц разрушенной породы.

Процесс измерения расширенной части скважины на любом участке проходит в следующей последовательности. Работу горелки переводят на режим с пониженным расходом топливных компонентов (так называемый "дремлющий режим"). При этом внутрикамерное давление горелки уменьшается в несколько раз и соответственно уменьшается сила действия сильфона на штифты *6*. Сжатая пружина *4* возвращает чехол в верхнее положение, а измерительные рычаги под действием пружины измерителя (на рис. 35 эта пружина не показана) выдвигаются до касания стенок пружины, фиксируя ее поперечный размер. Этот размер оператор станка может видеть на показывающем или самопишущем приборе.

Одновременно с переходом на "дремлющий режим" останавливается вращение рабочего органа, что исключает поломку измерительных рычагов. Сам процесс измерения, т.е. время от перехода на "дремлющий

режим", до получения информации о диаметре скважины длится несколько секунд. После замера диаметра скважины горелка выводится на рабочий режим, рычаги складываются и процесс расширения скважины продолжается.

§ 5. РАСШИРИТЕЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

К расширителям непрерывного действия относятся устройства, обеспечивающие чередование процесса основного бурения и бурения с расширением без извлечения инструмента из скважин.

Такие устройства также разделяются по приводу и, кроме того, различают по кратности действия привода на однократные и многократные.

РАСШИРИТЕЛИ ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Расширители однократного действия конструктивно выполнены так, что в исходное положение элементы привода и фиксация расширительных лап устанавливаются на поверхности и после каждого расширения нуждаются в переустановке.

К таким расширителям можно отнести расширитель, оборудованный пилот-долотом, в конструкции которого предусмотрены срезаемые фиксаторы.

Из расширителей механического типа следует отметить буровой инструмент эксцентричного типа (рис. 36) конструкции В.А. Керимова, Я.А. Ходжакулиева и Ю.М. Носовского, а также расширитель скважин шнекового типа конструкции Н.П. Олейникова и Р.Н. Ткаченко.

Буровой инструмент включает долото-забурник *1*, эксцентрично расположенные направляющие в виде колец *2* с прорезями *3* в местах пересечения, расширительные лапы *4*, подвижно соединенные с направляющими *2* при помощи опор *5*, снабженных кольцевыми частями *6*, которые могут перемещаться в прорезях направляющих. Направляющие имеют устройства *7* с подвижными упорами для фиксации расширительных лап, а кольцевые части опор — диаметрально расположенные относительно соответствующих лап упоры *8*.

Буровой инструмент работает следующим образом.

Вращением вправо бурят основную скважину малого диаметра. В месте расширения включают обратное (левое) вращение. За счет эксцентрично расположенных направляющих перемещают расширительные лапы от оси скважины на больший диаметр под действием сопротивления забоя вращению. При этом упоры *8* опор расширительных лап проходят подпружиненные упоры фиксирующих устройств *7*. После вращения инструмента на один — два оборота в левом направлении включают правое вращение. При вращении в правом направлении фиксирующие устройства *7* через упоры *8* передают вращение расширительным лапам, которые производят бурение скважины большого диаметра. После бурения на заданную глубину вновь включают левое вращение, отводят расширительные лавы на меньший диаметр и поднимают инструмент.

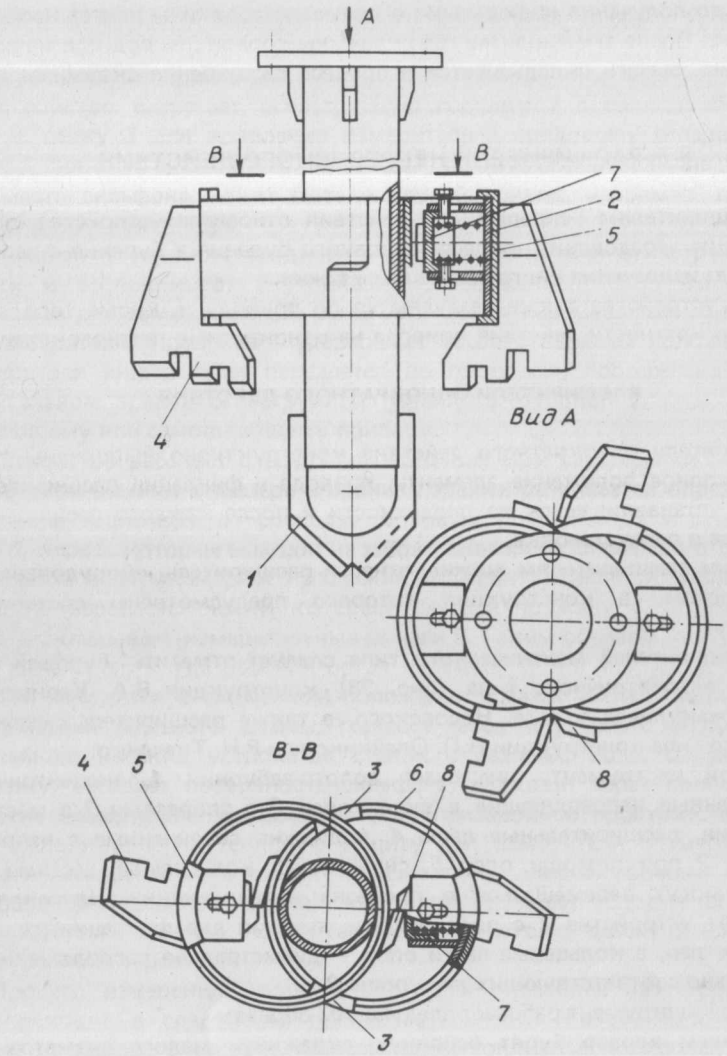


Рис. 36. Буровой инструмент эксцентричного типа конструкции В.А. Керимова, Я.А. Ходжакулиева и Ю.М. Носовского

Перед бурением новой скважины расширительные лапы *4* переводят в исходное положение, предварительно выдвинув подпружиненные упоры устройства *7*.

РАСШИРИТЕЛЬ МНОГОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Конструкции расширителей многократного действия позволяют производить все операции по неоднократному расширению ствола скважины без извлечения инструмента на поверхность.

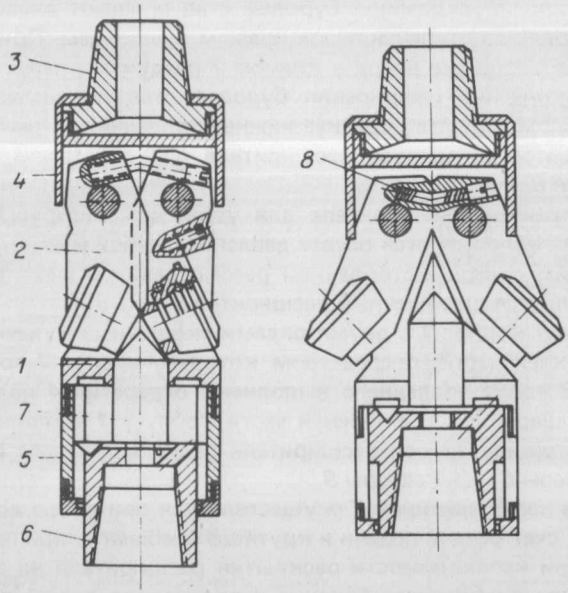


Рис. 37. Механический расширитель многократного действия

Простейшими и надежными расширителями многократного действия являются расширители механического типа, практическое применение нашли также расширители с гидравлическим, электромеханическим и другим видом привода.

Целый ряд расширителей создан в Казахском политехническом институте.

Механический расширитель многократного действия (рис. 37) состоит из корпуса *1*, в пазах которого на осях подвижно закреплены рычаги *2* с шарошками. В верхней части корпуса крепится головка *3* для распределения сжатого воздуха по каналам, просверленным в корпусе. Для ограничения раскрытия рычагов на корпус надето кольцо *4*. В нижней части корпуса крепится стакан *5* со ступенчатыми кольцевыми пазами, которые в нижней части стакана в два раза шире, чем в верхней. Внутри стакана помещен патрон *6*, соединенный с раздвижным клином *7*. Патрон своими кольцевыми наружными выступами перемещается по пазам стакана *5*. Для удержания патрона в нижнюю часть стакана *5* ввинчена упорная гайка. Для запирания рычагов *2* в их верхней части установлена пружина *8*. Для осуществления основного бурения штанга с расширителем поднимается над забоем скважины. При этом патрон занимает крайнее нижнее положение и входит своими выступами в расширенную часть пазов стакана. При последующем вращении бурового става вправо и нажатии долота на забой стакан поворачивается и патрон упирается выступами в ступени пазов стакана.

Для расширения скважины буровой став вращают влево, и выступы патрона выходят со ступеней пазов правым вращением. При этом патрон перемещается в стакане вверх и клином *7* раздвигает рычаги *2* с шарошками. По окончании расширения буровой став поднимают, при этом патрон с клином занимает крайнее нижнее положение, а рычаги с шарошками запираются в корпусе расширителя под действием собственного веса и пружин *8*.

В рассмотренном расширителе для установки инструмента в исходное положение используются осевое давление о забой и клин.

Дальнейшим совершенствованием рассмотренного механического расширителя является шарошечный расширитель (рис. 38).

Он включает корпус *1* с двумя рядами скошенных кулачковых выступов *2* в верхней части, посредством которых корпус *1* соединяется со штоком *3*. В торце последнего выполнены отверстия *4* под хвостовики *5* и лапы *6* шарошек *7*. В нижней части корпуса *1* выполнены смещенные в обе стороны от оси расширителя радиальные пазы *8*, в которых размещены лапы *6* и фиксаторы *9*.

Раскрытие лап *6* шарошек *7* осуществляется при опоре долота о забой скважины за счет осевой подачи и крутящего момента при правом вращении става. При необходимости раскрытия расширителя на заданной глубине скважины прекращают бурение и производят левый поворот става на определенный угол. В результате поворота выступы штока *3* попадают в прорези между выступами *2* корпуса *1* и при осевой подаче шток *3* опускается, а хвостовики лап *6* входят в отверстия *4* штока *3*. Затем производят правый поворот штанги, выступы штока *3* входят в зацепление с выступами *2* корпуса *1*. Одновременно происходит раскрытие лап *6* шарошек *7* в горизонтальном положении, обеспечивая эффективное забуривание.

Установка лап *6* шарошек *7* в исходное положение происходит в обратном порядке.

К механическим расширителям многократного действия, в конструкции которых используются эксцентричные направляющие, относится также буровой инструмент, созданный в производственном объединении Туркменсельхозводопровод.

Буровой инструмент состоит из забурника, направляющих в виде эксцентрично расположенных полуколец с вваренными косынками жесткости и расширительных лап, подвижно соединенных с направляющими посредством опор.

Буровой инструмент работает следующим образом.

Вращением вправо проходят основную скважину (меньшего диаметра), в месте расширения инструменту сообщают обратное (левое) вращение, в результате чего расширительные лапы переводятся по направляющим на наибольший диаметр расширения. После бурения расширенной части скважины включают правое вращение инструмента, при котором расширительные лапы вновь переводятся на меньший диаметр бурения.

Расширение и сужение скважины может быть повторено в случае необходимости без подъема инструмента, непосредственно в скважине.

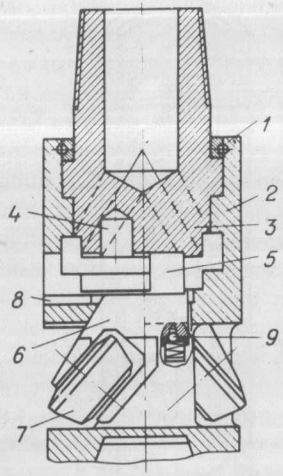


Рис. 38. Шарошечный расширитель

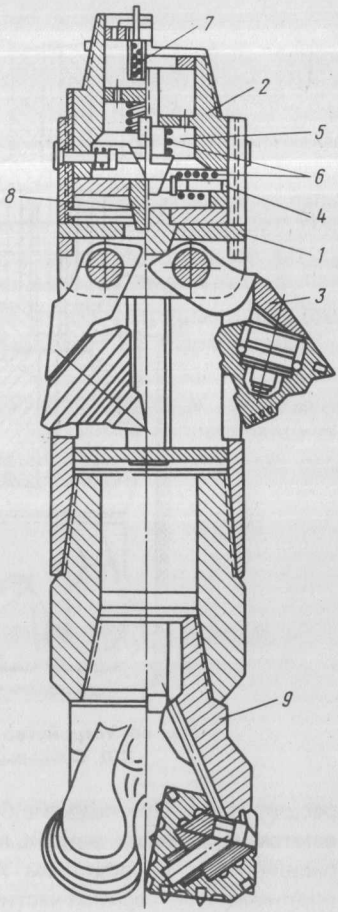


Рис. 39. Расширитель многократного действия с электромеханическим приводом

Расширители многократного действия с пневмоприводом также имеют практическое применение. К таким расширителям относятся шарошечный расширитель конструкции Казахского политехнического института и механический расширитель. Расширитель многократного действия с электромеханическим приводом (рис. 39) содержит подвижно соединенные (на шлицах) нижнюю и верхнюю части *1* и *2*, шарнирно закрепленные шарошки *3* и механизм раскрытия, состоящий из пальцев *4*, клина *5*, пружин *6* и электромагнита *7*.

В верхней части корпуса имеется кулачок *8*, служащий для раскрытия шарошек *3*. В нижней части корпуса крепится долото *9*. Верхняя часть корпуса ввинчивается в буровой став.

Шарошечный расширитель закрепляется в буровом ставе, и скважину бурят до определенной глубины только при помощи шарошечного долота *9*. Пальцы *4* во избежание раскрытия шарошек входят в отверстия нижней части корпуса. Затем включается электромагнит *7*, который притягивает клин *5*, и пальцы *4* пружиной *6* выталкиваются из отверстий. Раскрытие шарошек до необходимого размера происходит под действием осевого давления на верхнюю часть корпуса, раздвигающего кулачком *8* шарошки расширителя.

Дальнейшее бурение производится совместно долотом и шарошками

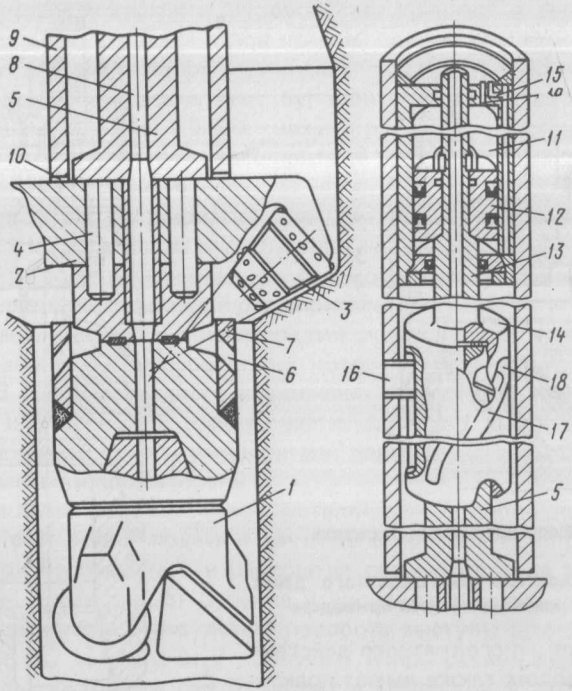


Рис. 40. Устройство для расширения скважин конструкции В.Д. Суздальцева, А.А. Краснопольского и др.

расширителя. При подъеме бурового става шарошки расширителя складываются и утопают внутри корпуса. Электромагнит *7* во время работы расширителя посредством лебедки, установленной на вертлюге станка, поднимается к верхней части бурового става.

Среди расширителей многократного действия известны также расширители гидравлического типа, которые снабжены механизмом преобразования возвратно-поступательного движения поршня гидроцилиндра в возвратно-вращательное движение рабочих органов расширителя. К таким расширителям относится устройство для расширения скважин конструкции В.Д. Суздальцева, А.А. Краснопольского и др. (рис. 40).

Устройство включает шарошечное долото *1* и лапы *2* с шарошками *3*. Лапы шарнирно соединены посредством пальцев *4* со шпинделем *5*. Отверстия *6* в корпусе *7* служат для удаления буровой мелочи при складывании лап. Через центральный канал *8* производится обычная продувка воздухом. Упор *9* обеспечивает скольжение лапы при ее выдвижении через окна *10* при повороте шпинделя *5*.

Верхняя часть устройства позволяет поворачивать шпиндель, выдвигающий лапы с шарошками. Лапа имеет гидроцилиндр *11*, поршень *12* и шток *13* которого совершают возвратно-поступательное движение. Шток соединен со стаканом *14*, вертикальные пазы которого скользят по шпон-

кам *16*. Стакан *14* выполнен с винтообразными диаметрально противоположными пазами *17*. В последние входят кулаки *18* шпинделя *5*, поворачивающегося на необходимый угол для выдвижения лап с шарошками.

При подаче масла в отверстие *19* гидроцилиндра *11* поршень *12* перемещается вниз вместе со штоком *13* и стаканом *14*. Кулаки *18*, находясь в пазах *17* стакана *14*, поворачивают шпиндель *5* против часовой стрелки на определенный угол. Усилие поворота передается через пальцы *4* на лапы *2* и шарошки *3*. Слив масла при этом происходит через отверстие *15*. При нагнетании масла через отверстие усилие передается через эти же детали в обратном порядке, т.е. происходит складывание лап устройства.

С целью повышения надежности перевода породоразрушающих органов с лапами из нерабочего положения в рабочее Г.А. Пермяковым и А.П. Тыщенко предложен расширитель.

Благодаря наличию в расширителе Г-образных пазов в корпусе и патроне, надежно взаимодействующих со съемными направляющими пальцами и выступами патрона, обеспечивается надежный перевод расширителя из нерабочего положения в рабочее и обратно.

Глава VII

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

§ 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ТИПА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Основным критерием для выбора типа породоразрушающего инструмента служит скорость бурения в различных отложениях.

Исследования целесообразности применения того или иного типа долота проводились при бурении ряда скважин диаметром 760 мм в различных геологических условиях. В табл. 14 приведены достигнутые скорости бурения в породах различной плотности трехлопастным и шарошечным долотами.

Таблица 14

Тип долота	Механическая скорость бурения (м/ч) в породах по категориям буримости		
	I – II	III – IV	V – VI
Трехлопастные	20–30	4–20	0,1–4
Шарошечные	15–20	6–15	1–6

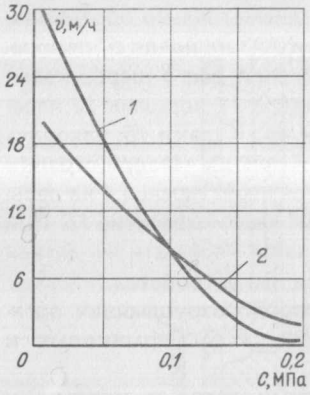


Рис. 41. График зависимости скорости бурения от коэффициента сцепления буримой породы

В рыхлых и в гравийно-галечниковых отложениях следует применять лопастное долото, в плотных супесчаных породах — шарошечное долото.

С использованием классификации пород по степени связанности частиц приведен график зависимости скорости бурения от коэффициента сцепления буримой породы (рис. 41) при бурении долотами режущего типа — кривая *1* и шарошечного типа — кривая *2*.

Применение лопастных долот режущего типа можно рекомендовать при коэффициенте сцепления пород $C = 0-0{,}1$ МПа.

При коэффициенте сцепления выше 0,1 МПа следует применять шарошечные долота.

Для замены долота необходимо производить спуско-подъемные операции. В зависимости от местонахождения плотного слоя, который нужно пройти шарошечным долотом, время на спуско-подъемные операции составляет от 1 до 3 ч для скважин глубиной 60 м и от 1 до 5 ч при глубине 100 м. Для большинства установок с роторным вращателем это время несколько больше, так как при замене долота необходимо отвести с устья ротор.

В связи с большими затратами времени и трудоемкостью при замене типа долота, часто скважины в отложениях с переслаиванием рыхлых и плотных пород бурятся с поверхности шарошечными долотами, что приводит к снижению средней механической скорости бурения.

§ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СКВАЖИН

Устойчивость скважин, буримых обратновсасывающим способом, обеспечивается, как известно, некоторым избыточным давлением воды, которое непрерывно поддерживается в процессе бурения.

Расчеты радиального давления, которое должно быть уравновешено гидростатическим давлением столба промывочной жидкости, проводятся при однородном строении грунта по формуле В.Г. Березанцева, а при неоднородном строении грунта по уточненной формуле Г.М. Мариупольского, Н.Д. Бессонова и Ю.М. Носовского.

По формуле В.Г. Березанцева радиальное давление в устьевой части скважины на стенку кондуктора можно рассматривать как активное давление грунта с нагрузкой:

$$\sigma_r = \gamma \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}\frac{\rho}{2}\right)}{\lambda - 1}\left[1 - \left(\frac{r_0}{r_в}\right)\lambda - 1\right] + q\left(\frac{r_0}{r_в}\right)\lambda + k \operatorname{ctg} \rho\left[\left(\frac{r_0}{r_в}\right)\lambda \times\right.$$

$$\times \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\rho}{2}\right)-1\Bigg]; \qquad (2)$$

$$r_в = r_0 + z \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\rho}{2}\right); \quad \lambda = 2\operatorname{tg}\rho\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\rho}{2}\right),$$

где $r_в$ — абсцисса линий скольжения; γ — средняя плотность грунта, взвешенного в воде; r_0 — радиус скважины; z — глубина поверхности до точки определения давления; q — вертикальное давление от нагрузки; ρ — угол трения; k — удельное сцепление.

Радиальное давление в стволе скважины, особенно в нижележащих слабонапорных пластах, следует определять по формуле:

$$\sigma_r = r_0\left\{\gamma_2\frac{\sqrt{c_2}}{\lambda_2-1}\left[1-\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^{\lambda_2+1}\right]+\right. \qquad (3)$$

$$\left.+\gamma_1\frac{\sqrt{c_1}}{\lambda_1-1}\left[1-\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^{\lambda-1}\right]\left(\frac{r_{0\infty}}{r_2}\right)^{\lambda_2}\frac{c_2}{c_1}\right\};$$

$$r_1 = r_0 + H \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\rho_1}{2}\right); \quad r_2 = r_0 + m \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\rho_2}{2}\right),$$

где γ_1; γ_2 — средние плотности слоев породы; ρ_1; ρ_2 — углы внутреннего трения соответственно для двух слоев пород; c_1; c_2 — коэффициенты бокового распора; H — глубина залегания водоносного слоя; m — мощность водоносного слоя.

Расчеты по формулам (2), (3) показывают, что при самых неблагоприятных условиях, когда и нижний и перекрывающие слои характеризуются минимальными значениями угла внутреннего трения, его значение соответствует давлению столба жидкости высотой 3—4 м над статическим уровнем подземных вод.

Опытно-производственное бурение показало, что этот вывод справедлив лишь только для слоев, лежащих ниже устьевой части, оборудованной кондуктором, высотой 4—5 м. Кондуктор предохраняет устье от размыва, но не оказывает противодавления на стенки в месте ограждения, кроме того, если при расчете избыточного давления для нижележащих слоев можно было пренебречь нагрузкой, создаваемой весом станка, то верхний слой скважины полностью воспринимает нагрузку.

Если пренебречь сцеплением грунта, то в общем виде формулу (2) можно представить:

$$\sigma_q = q\left(\frac{r_0}{r_в}\right)^{\lambda}, \qquad \sigma = \sigma_\gamma + \sigma_q;$$

где σ_γ — радиальное давление, создаваемое грунтом; σ_q — радиальное давление от нагрузки.

Величины радиального давления, создаваемые грунтом и нагрузкой при $z = 4$ м, $q = 0{,}06$ МПа, в зависимости от угла трения, приведены на рис. 42.

Из графика видно, что давление воды уравновешивается в плывунах в скважине на стыке с кондуктором ($z = 4$ м).

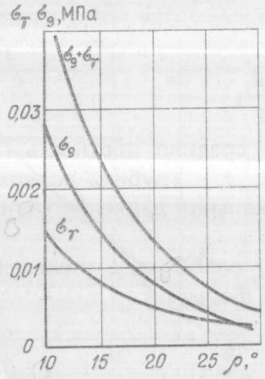


Рис. 42. График зависимости радиального давления от угла трения:
σ_γ — радиальное давление грунта; σ_q — радиальное давление нагрузки

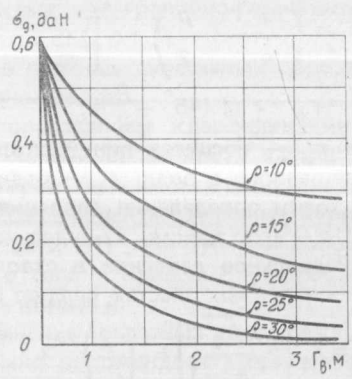


Рис. 43. График зависимости нагрузки от радиуса распространения

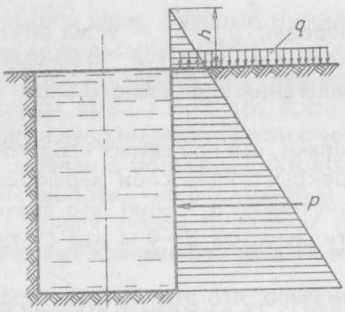


Рис. 44. Эпюра давлений в устьевой части скважины

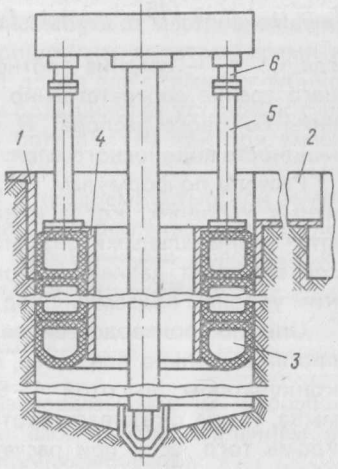


Рис. 45. Устьевой кондуктор

На практике на уровне 4 м от поверхности, где кончается кондуктор, часто наблюдается разрушение стенок скважины, которое распространяется на все устье и при длительном процессе бурения приводит к обвалам скважин и невозможности дальнейшего ведения работ.

Это несоответствие расчетных величин по формуле (2), (3), (4) объясняется тем, что нагрузка q от станка по формуле (2) отнесена ко всей площади при $r_в = r_0 + z\,\mathrm{tg}\,(45° - \frac{\rho}{2})$, т.е. на всю длину абсциссы линии скольжения. На самом же деле нагрузка q распространяется на поверхности неравномерно и в зависимости от радиуса распространения может резко изменяться.

На рис. 43 приводятся значения σ_q в зависимости от радиуса распространения для разных пород.

Для безопасного ведения работ, например, в песках необходимо нагрузку, создаваемую станком, относить от устья скважины на расстояние более 3 м.

Опоры же мачты станков, применяемых для бурения скважин большого диаметра, расположены на расстоянии 0,75—1,5 м от оси скважины.

Для отнесения нагрузки от станка на расстояние 3 м от оси скважины была использована балка длиной $l = 6$ м. Бурение нескольких скважин в различных породах с использованием балки для разгрузки давлений, создаваемых станком, было проведено без обвалов устья, но установка ее, ввиду громоздкости, была наиболее трудоемкой операцией при монтаже. Если нагрузку интенсивности q рассматривать как воображаемый слой грунта с эквивалентным весом G_n и высотой $h = q/\gamma$, то эпюра давления грунта на стенку при наличии на поверхности нагрузки будет выглядеть, как на рис. 44.

Следовательно, радиальное давление возникает непосредственно с поверхности.

Исследования вопроса устойчивости устья скважины привели к выводу, что необходимо создать такой кондуктор, который мог бы частично или полностью разгрузить устье скважины от вредных пульсирующих осевых нагрузок, переведя их в полезные. Эта цель достигается при выполнении кондуктора в виде кольцевого цилиндрического эластичного баллона, кожух которого связан через штанги с опорами установки.

На рис. 45 дан общий вид кондуктора, состоящего из верхней горловины с лотком *2* и эластичного баллона *3*, с кожухом *4* закреплены штанги *5*, соединяемые во время бурения с опорами станка *6*.

Работа устьевого кондуктора заключается в следующем: в пробуренную на длину кондуктора скважину устанавливают горловину *1* с лотком *2* и спускают эластичный баллон *3*. После соединения штанги *5* с опорами *6* закачивают сжатым воздухом секции баллона, в качестве которых могут быть использованы автомобильные камеры по принятому диаметру, и начинают процесс бурения.

При этом нагрузка, передаваемая от штанг *5*, будет переводиться в радиальную активную нагрузку на стенки скважины по всей высоте установки кондуктора.

§ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

ВЫБОР МЕТОДИКИ И АППАРАТУРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Бурение скважин большого диаметра с обратной промывкой забоя в нашей стране, как указывалось выше, проводится преимущественно с использованием модернизированных и специализированных установок с различными видами привода, в том числе и с электроприводом, например модернизированные установки с роторными приставками.

Наиболее простым методом определения фактических затрат энергии можно считать метод измерения комплектами электроизмерительных

приборов типа К-50, К-51, а также типа КМТ. Но по этому методу отчеты по приборам необходимо производить при установившемся режиме работы электромотора. А с целью учета потерь энергии в электромоторе измеримую мощность необходимо умножать на величину к.п.д. электромотора при данной нагрузке.

В связи с пульсирующим характером измеряемой нагрузки, а также конструктивными и кинематическими недостатками модернизированной установки с роторной приставкой и электроприводом, для бурения исследуемых скважин были выбраны специализированные установки ФА-12, а для проведения эксплуатационных измерений фактических энергозатрат был выбран тензометрический способ.

Местом наклейки тензодатчиков был выбран карданный вал ротора установки.

Сопротивления проволочных датчиков (R = 200 Ом, L = 20 мм) перед наклейкой измерялись прибором Р-316 с целью комплектования в группы.

Наклейка проволочных датчиков производилась на подготовленную поверхность карданного вала под углом 45° к оси вала с целью исключения влияния изгибающих моментов.

После наклейки проволочных датчиков, соединенных в мостовую схему, и последующей сушки для защиты от влаги и возможных повреждений во время проведения испытаний тензовал был покрыт эпоксидной смолой.

Тензовал тарировался с помощью тарированного рычага длиной 1 м и динамометра.

В качестве тензометрического оборудования (рис. 46) были выбраны: осциллограф Н-700, усилитель ТДА-3, блок питания из четырех аккумуляторов с напряжением 6 В, токосъемник — ртутно амальгамированный конструкции ЦМИС типа ТРАП и индукционный датчик числа оборотов. Тензометрическая схема дана на рис. 47.

Методика исследований процесса бурения включала три этапа: определение крутящего момента на вращение незагруженного ротора, определение крутящего момента на холостое вращение бурильной колонны и определение крутящего момента в процессе собственного бурения. При этом производилась запись чисел оборотов инструмента и регистрировались осевая нагрузка, скорость подачи ведущей штанги и геологический разрез.

Исследования проводились при бурении восьми скважин диаметром 762 мм, глубиной 60 м в различных геологических отложениях.

Для получения достоверных данных запись осциллограмм производилась не менее трех раз за время бурения каждой бурильной трубы длиной 3 м при скоростях осциллографической бумаги 4 и 16 см/с.

Тензограммы холостого привода снимались не менее трех раз на скважину. Перед каждой записью и после нее делались нулевые отметки.

После окончания опытов тензовал тарировался для выявления постоянства и определения масштаба тарировки.

Обработка экспериментальных данных производилась методами математической статистики, вариационным способом.

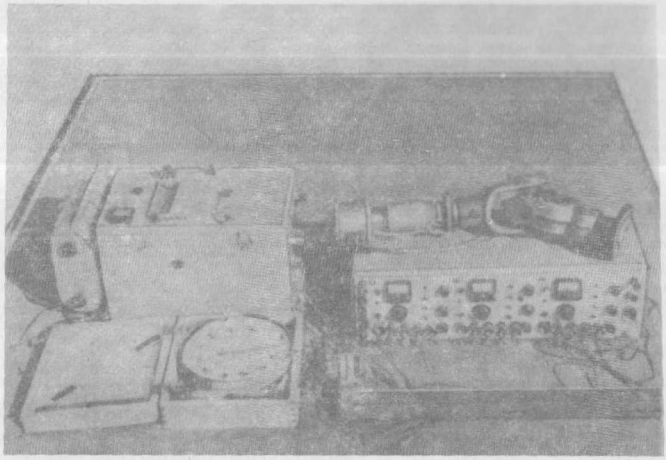


Рис. 46. Тензометрическое оборудование

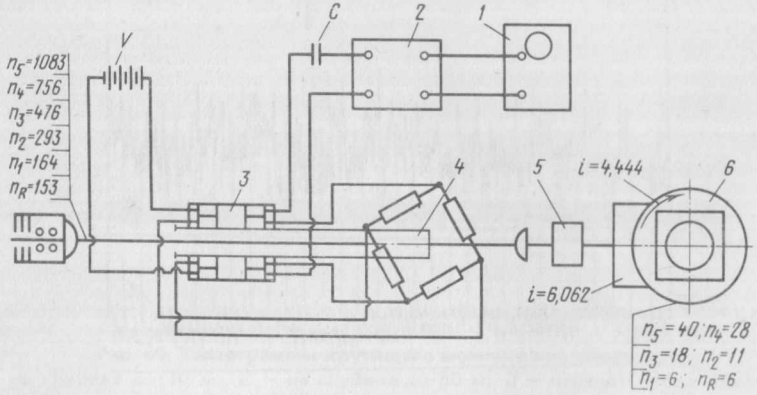


Рис. 47. Тензометрическая схема:
1 — осциллограф; *2* — усилитель; *3* — токосъемник; *4* — тензовал; *5* — ограничитель крутящего момента; *6* — ротор

В качестве породоразрушающего инструмента были использованы трехлопастные долота с жесткими лопастями, одношарошечное долото типа ЮМБО и трехлопастное долото с поворотными лопастями.

Во время исследования резцы трехлопастных долот направлялись рылитом по мере износа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРИ БУРЕНИИ ЛОПАСТНЫМИ ДОЛОТАМИ

В течение экспериментальных работ трехлопастными долотами бурились скважины в различных отложениях.

Типичные осциллограммы крутящих моментов при бурении даны

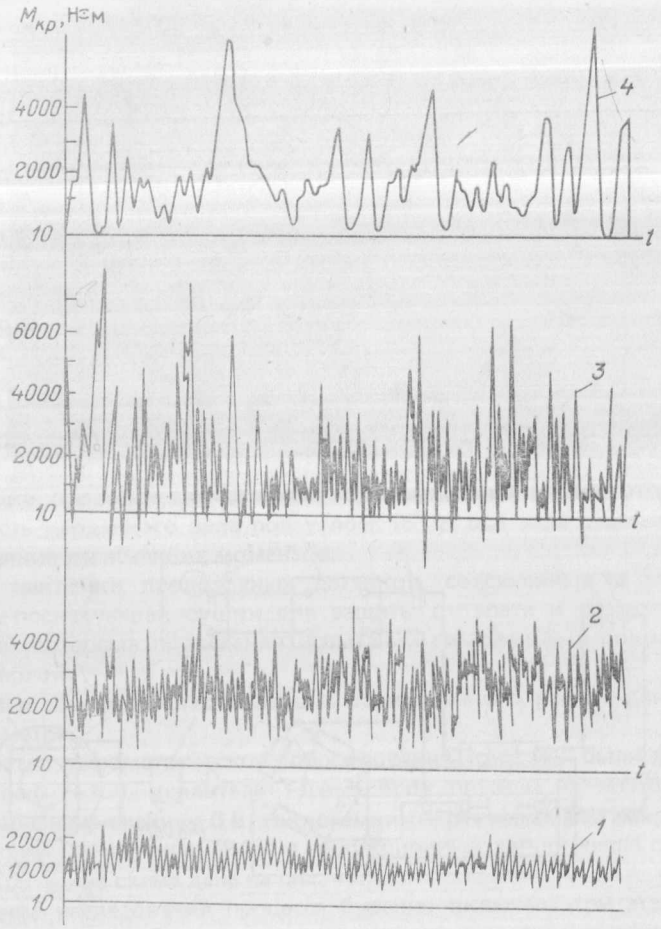


Рис. 48. Тензограммы крутящего момента при бурении в различных отложениях: *1* — песчаных и супесчаных; *2, 4* — гравийно-галечниковых; *3* — галечниковых

на рис. 48, на холостом ходу рис. 49. Кривые *1, 2, 3* (рис. 48) записывались при скорости протяжки осциллографической бумаги 4 см/с, а кривая *4* — при скорости 16 см/с.

Кривые крутящего момента имеют пульсирующий характер. Амплитуда пульсации величины крутящего момента при бурении в песчаных и супесчаных отложениях составляет (0,3—0,4) наибольшего значения. При бурении в гравийно-галечниковых отложениях амплитуда колебаний крутящего момента достигает (0,4—1).

Изучение осциллограмм позволило установить, что с повышением осевой нагрузки амплитуды колебаний величины крутящих моментов снижаются.

Осциллограммы холостого хода снимались для установления сопротив-

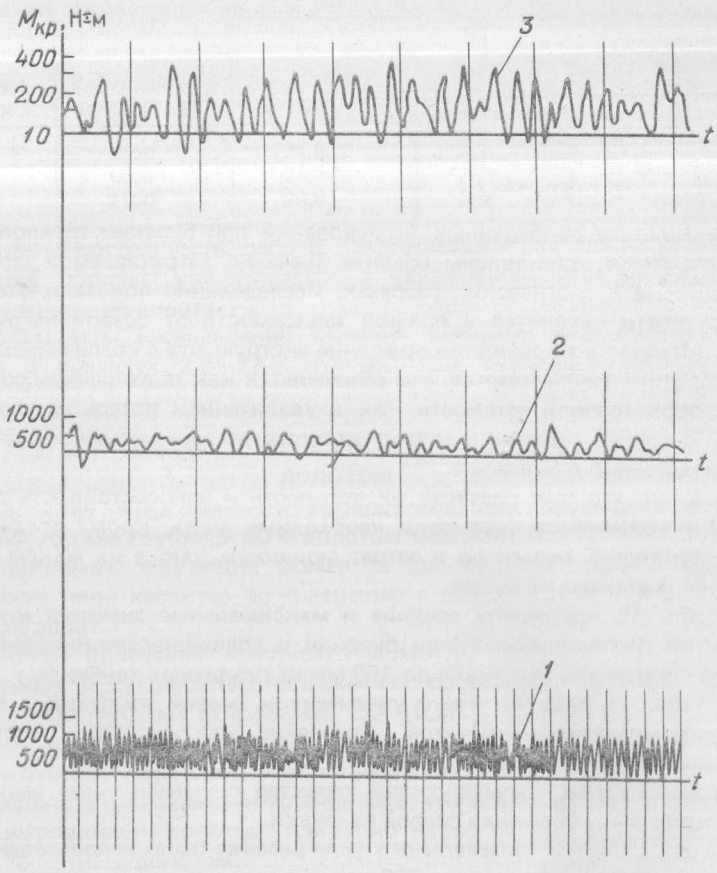


Рис. 49. Тензограммы крутящего момента холостого хода:
1 — на глубине до 10 м; *2* — на глубине до 50 м; *3* — передаточного механизма с пятикратным усилением

лений в роторе и вертлюге без колонны труб (кривая *3*) с пятикратным усилением при скорости протяжки бумаги 16 см/с, и максимальных числах оборотов ведущей трубы и с учетом сопротивлений ствола скважины на различных глубинах, кривые *1, 2*.

Пульсирующий характер крутящего момента холостого вращения инструмента на глубине до 50 м объясняется трением породоразрушающего инструмента о стенки скважины.

Обработка экспериментальных данных производилась методами математической статистики, вариационным способом, который по сравнению с планиметрированием позволяет получать характеристики изменения исследуемой величины, т.е. минимальные, средние и максимальные значения.

Получение вариационных рядов упрощено применением метода пик. По результатам обработки экспериментальных данных и в результате

хронометражных наблюдений средние значения исследуемых показателей по скважинам составили:

Номинальный крутящий момент, Н·м . . . . . 2860—3300
Максимальный крутящий момент, Н·м . . . . . 4400—5250
Механическая скорость, м/ч . . . . . 11—15,
Частота вращения инструмента, об/мин . . . . . 28—31
Номинальная мощность, кВт . . . . . .8,5—9,2

В результате проведенных исследований при бурении трехлопастным долотом были установлены средние значения затрачиваемой мощности в различных геологических разрезах. Исследования показали, что затраты мощности находятся в прямой зависимости от осевой нагрузки на забой. Мощность на холостое вращение инструмента с увеличением глубины скважины увеличивается, что объясняется как повышением сопротивления промывочной жидкости, так и увеличением потерь на трение лопастей о стенки скважин в связи с отсутствием центрирующих устройств непосредственно в скважине.

Известно, что для расчетов на прочность и износостойкость деталей, узлов и механизмов установки необходимо знать, кроме средних значений крутящих моментов и затрат мощности, также их максимальные значения, характер нагрузки.

В табл. 15 приведены средние и максимальные значения крутящих моментов, установленных при бурении в гравийно-галечниковых отложениях с размером галечника до 150 мм на различных глубинах.

Из табл. 15 следует, что с увеличением осевой нагрузки и средних значений крутящих моментов, изменение максимальных (пиковых) крутящих моментов незначительно.

Нагрузка имеет пульсирующий характер с уменьшением амплитуды колебания, при увеличении осевой нагрузки.

Для определения оптимального угла резания было использовано трехлопастное долото диаметром 760 мм с поворотными лопастями. Тензограммы снимались в одинаковых геологических условиях и при постоянном значении чисел оборотов. Результаты исследования при бурении в рыхлых отложениях сведены в табл. 16.

Дальнейшее уменьшение угла резания приводит к уменьшению всех показателей и к повышению силы сопротивления внедрению долота в породу, в связи с увеличением площади резания. А при уменьшении толщины режущих элементов необходимо добавление ребер жесткости к задней поверхности, которые при уменьшении угла резания препятствуют внедрению резцов в породу.

Таблица 15

Глубина бурения, м	Осевая нагрузка, Н	Крутящие моменты, Н·м	
		$M_{ср}$	$M_{ср.max}$
9—12	10000	3100	6500
36—39	20000	3800	6600
51—54	25000	4400	6650

Таблица 16

Угол резания, градус	Крутящий момент, Н·м	Скорость бурения, м/ч	Подача, см/об	Удельная энергоемкость, Н·м/см^3
90	1650	21,6	1,2	1,88
70	1800	24,1	1,34	1,84
60	2100	28,8	1,6	1,80

Удельная энергоемкость работы, затрачиваемая на единицу объема выбуренной породы, увеличивается с увеличением веса инструмента и частоты вращения долота.

По результатам исследования значения удельной энергоемкости находились в пределах 2,5—22,5 Н·м/см^3 при бурении трехлопастным долотом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ БУРЕНИИ ШАРОШЕЧНЫМ ДОЛОТОМ

Исследование энергоемкости проводилось при бурении скважины диаметром 760 мм глубиной 60 м долотом типа ЮМБО.

Осциллограммы крутящих моментов при бурении шарошечным долотом носят иной характер по сравнению с осциллограммами для трехлопастных долот.

Амплитуда колебания крутящего момента, например, при бурении в супесчаных и суглинистых отложениях составляет (0,1—0,3), а при бурении в галечниковых отложениях (0,4—0,5).

График зависимости энергоемкости от коэффициента сцепления породы при бурении шарошечным долотом дан на рис. 50.

В результате исследования установлено, что затрачиваемая мощность на бурение шарошечным долотом примерно вдвое ниже мощности при бурении трехлопастным долотом.

Например, при бурении в гравийно-галечниковых отложениях при равной частоте вращения 30 об/мин и одинаковом осевом давлении около 25000 Н мощность на бурение трехлопастным долотом составила 9,2 кВт, а долотом ЮМБО — 4,8 кВт при равной энергоемкости 3,75 н·м/см^3 и скорости бурения шарошечным долотом, вдвое меньшей. При бурении в плотных породах, когда скорость бурения трехлопастного долота очень мала, а удельная энергоемкость увеличивается, применение шарошечного долота позволяет увеличить скорость бурения и снизить энергоемкость в десятки раз. Например, показатели бурения трехлопастным долотом в плотных породах $v = 0{,}08$ м/ч, $A = 240$ Н·м/см^3 составили для шарошечного долота соответственно 3,6 м/ч, 16 Н·м/см^3.

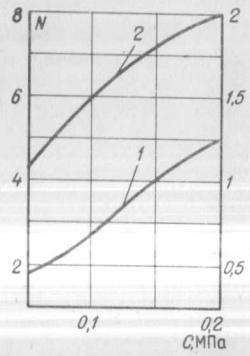


Рис. 50. График зависимости энергоемкости от коэффициента сцепления породы при бурении шарошечным долотом:
1 — удельная энергоемкость; *2* — приводная мощность

На основании результатов исследований энергоемкости бурения скважин обратной промывкой можно сделать следующие выводы.

1. Мощность, затрачиваемая на холостое вращение инструмента, с увеличением глубины скважины, увеличивается в связи с трением о стенки скважины и повышением сопротивления промывочной жидкости и составляет 10—15 % от общей мощности бурения.

2. Мощность, затрачиваемая на собственное бурение, зависит от диаметра, глубины скважины, от давления на забой, от формы режущего инструмента и от плотности буримой породы.

Средняя мощность при бурении трехлопастным долотом вдвое выше мощности при бурении шарошечным долотом типа ЮМБО.

3. Максимальные значения крутящего момента при бурении в галечниковых отложениях с размером галечника более 150 мм равны 8000—9000 Н·м с амплитудой колебания 0,5—1 наибольшей величины.

4. Для трехлопастных долот скорость бурения и энергоемкость при прочих равных условиях зависит от угла резания. Оптимальный угол резания для песчаных, супесчаных, суглинистых и гравийных отложений составляет 60°.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баш̀катов Д.Н.* Обоснование конечных диаметров инженерно-геологических скважин. — Разведка и охрана недр, 1970, № 7, с. 29—32.

2. *Башкатов Д.Н., Тесля А.Г.* Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М., Недра, 1970.

3. *Башкатов Д.Н., Роговой В.Л.* Бурение скважин на воду. М., Колос, 1976.

4. *Борисович В.Т., Зеленцов Р.В., Чунусов В.В.* Бурение скважин большого диаметра. М., Недра, 1977.

5. *Брылов С.А., Багдасаров Ш.Б., Зеленцов Р.В.* Современная технология проходки шурфов. М., Недра, 1971.

6. *Брылов С.А., Грабчак Л.Г., Шеленков А.А.* Бурение скважин большого диаметра установкой ЛБУ-50 взамен проходки шурфов. — Разведка и охрана недр, 1973, № 7, с. 52—55.

7. *Вортман З.М.* Практика ударно-канатного бурения на воду. М., Недра, 1971.

8. *Гаврилко В.М., Алексеев В.С., Гуркин А.Я.* Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. М., Колос, 1974.

9. *Дубровский В.В., Керченский М.М.* Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. М., Недра, 1972.

10. *Ильин В.Г., Сафонов Н.А.* Буровое дело. М., Колос, 1972.

11. *Кардыш В.Г., Мурзанов Б.В., Окмянский А.С.* Бурение неглубоких скважин. М., Недра, 1971.

12. *Керимов В.А.* Бурение скважин с обратной промывкой для вертикального дренажа. — Разведка и охрана недр, 1971, № 8, с. 49—51.

13. *Керимов В.А.* Исследование энергоемкости бурения скважин с обратной промывкой. — Разведка и охрана недр, 1974, №7, с. 29 — 31.

14. *Куличихин Н.И., Воздвиженский Б.И.* Разведочное бурение. М., Недра, 1973.

15. *Ребрик Б.М.* Ударное бурение грунтов. М., Недра, 1976.

16. *Рекомендации* по бурению скважин на воду вращательным способом с промывкой распадающимся раствором. М., ВНИИГИМ, 1976.

17. *Руководство* по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1977.

18. *Справочник* по бурению скважин на воду. Под редакцией проф. Д.Н. Башкатова/Д.Н. Башкатов, С.С. Сулакшин, С.Л. Драхлис, Г.П. Квашнин. М., Недра, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава I. Условия сооружения и назначение скважин большого диаметра 4

Глава II. Способы бурения скважин большого диаметра 6

Глава III. Ударный способ бурения 8

§ 1. Буровые станки и установки 8
§ 2. Зарубежные буровые установки 9
§ 3. Механизмы ударного бурения 12
§ 4. Буровой инструмент 13

Глава IV. Вращательный способ бурения скважин большого диаметра. 16

§ 1. Шнековое бурение. 16
§ 2. Вращательное бурение с прямой промывкой 21
§ 3. Вращательное бурение с обратной промывкой 23
§ 4. Бурение ковшовыми бурами 41
§ 5. Бурение без извлечения выбуренной породы из скважины 45

Глава V. Комбинированные способы бурения 48

§ 1. Ударно-вращательное бурение 48
§ 2. Термо-механическое бурение 53
§ 3. Комбинированные способы извлечения выбуренной породы из скважины. 56

Глава VI. Технические средства для бурения скважин с расширением 57

§ 1. Виды расширения скважин 58
§ 2. Разновидности расширителей 58
§ 3. Расширители с жестко закрепленными рабочими органами 59
§ 4. Расширители с подвижными рабочими органами 64
§ 5. Расширители непрерывного действия 75

Глава VII. Экспериментальные и опытно-производственные исследования бурения скважин большого диаметра с обратной промывкой 81

§ 1. Экспериментальные исследования для выбора типа породоразрушающего инструмента 81
§ 2. Исследование устойчивости скважин 82
§ 3. Экспериментальные работы по исследованию энергоемкости 85

Список литературы 93

Ваид Амирджанович Керимов

ТЕХНИКА БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Редактор издательства Н.А. Круглова
Обложка художника В.Д. Петухова
Художественный редактор В.В. Шутько
Технический редактор О.А. Колотвина
Корректор А.Д. Карваниди
Оператор Л.Н. Жучкова

ИБ № 3492

Подписано в печать 0 3.0.5.82 Т—10207 Формат 60×90 1/16
Бумага офсетная № 1 Набор выполнен на наборно-пишущей машине типа ИБМ "Композер"
Печать офсетная Усл.печ.л. 6,0
Усл.кр.-отт. 6,25 Уч.-изд.л. 6,59 Тираж 4400 экз.
Заказ 769. /7805—5 Цена 35 коп.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра", 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Тула, проспект Ленина, 109.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НЕДРА"
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ

КОДЗАЕВ Ю.В. Бурение разведочных горизонтальных скважин. — 2-е изд., перераб. и доп. 15 л. 95 к.

Во втором издании (1-е изд. — 1978) значительно обновлены и дополнены разделы, посвященные технике и технологии бурения. Рассмотрены буровое оборудование и инструмент. Проанализированы и экономически обоснованы формы подземных камер и схемы расположения оборудования. Приведены сведения о новых механизмах для спуско-подъемных операций. Рассмотрены зависимости выхода керна от различных факторов. Особое внимание уделено направленному бурению скважин при их горизонтальном заложении. На основе исследований последних лет разработаны новые технические средства и новая технология бурения направленных и многоствольных горизонтальных скважин. Изложены рекомендации по предупреждению и ликвидации аварий и осложнений.

Для инженерно-технических работников геологической службы и горной промышленности, занимающихся бурением скважин.

ЛИМИТОВСКИЙ А.М., ГЛАНЦ А.А. Оптимизация и совершенствование электроснабжения геологоразведочных работ. 15 л. 80 к.

Впервые дана методика расчета и выбора оптимальных систем электроснабжения на геологоразведочных работах. Изложены вопросы, связанные с повышением эффективности геологоразведочных работ посредством обеспечения оптимального электроснабжения объектов. Приведены результаты исследований в области надежности работы электрооборудования в полевых условиях, с учетом которых разработаны рациональный ряд этого оборудования и типовые схемы электроснабжения для различных стадий разведки месторождений. Рассмотрены новые перспективные энергоисточники для отдаленных районов и обоснованы их области рационального применения.

Для инженерно-технических работников геологоразведочных организаций, специализирующихся в области бурения скважин.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел "Книга—почтой" магазинов:

№ 17 — 199178, Ленинград, В.О., Средний проспект, 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.

Издательство "Недра"

2 220000 395151
67476

НЕДРА